

Presentazione

Gli attuali ordinamenti didattici delle Università, articolati in un numero crescente di Corsi e di Titoli di studio, richiedono un contestuale adeguamento dei programmi di insegnamento. I singoli docenti devono tener conto della specifica preparazione che l'allievo intende conseguire con il percorso universitario prescelto; devono quindi orientare in tal senso i propri moduli didattici. L'offerta didattica si è molto arricchita in questi ultimi anni e sta per adeguarsi a quella già prevista nei diversi Paesi della Unione Europea, come esigenza da soddisfare anche per favorire una più facile circolazione libera delle professioni.

Si dovrebbe comunque evitare che i contenuti di ciascun corso tradizionale, con i continui progressi della ricerca scientifica e dello sviluppo tecnologico, finiscano per ammassare un bagaglio di conoscenze sempre più pesante per lo studente e sproporzionato al reale interesse dei suoi studi.

Occorre, pertanto, molto impegno da parte di tutti i docenti per assecondare una siffatta innovazione didattica, nella consapevolezza della grande responsabilità che è loro affidata. Essi sono sollecitati ad offrire anche testi adeguati alle esigenze, mantenendo un qualificante livello superiore dell'insegnamento universitario.

In questo quadro, si inserisce l'apprezzabile lavoro compiuto da Andrea Fabbri. Egli stesso, nel presentare questa pubblicazione, illustra infatti gli scopi specifici che intende raggiungere; spiega perché il volume non può essere definito un testo di Agronomia e precisa opportunamente i motivi per i quali non ha inteso illustrare sistematicamente le singole specie vegetali coltivate.

E' una trattazione generale, aggiornata alla luce delle più moderne conoscenze scientifiche e tecniche, di ciò che un laureato deve sapere per operare nel settore delle tecnologie applicate alle produzioni agroalimentari di origine vegetale.

L'impegno del prof. Andrea Fabbri rappresenta un encomiabile esempio di adeguamento alle esigenze dei tempi.

Franco Scaramuzzi

1 PRODUZIONI VEGETALI E ALIMENTAZIONE

L'alimentazione della popolazione del pianeta dipende essenzialmente dalla capacità delle piante superiori di convertire energia solare in carboidrati attraverso il processo di fotosintesi. Il successivo accumulo dei carboidrati, o la loro trasformazione in altre sostanze di riserva o strutturali in seguito a processi biochimici, è la fonte diretta di alimenti per l'uomo. In alternativa, i prodotti dell'accrescimento delle piante possono essere consumati da animali, e trasformarsi in cibo sotto la forma di carne e altri alimenti di origine animale. Gli elementi minerali, estratti dal terreno, le vitamine, prodotte dalle piante, nonché un numero illimitato di prodotti secondari del metabolismo dei vegetali, suppliscono a tutte le necessità della dieta dell'uomo. La produzione di cibo dalle piante coltivate e spontanee è quindi essenziale per la sopravvivenza dell'umanità e delle altre

forme di vita; il 70% per cento dell'alimentazione della popolazione mondiale proviene direttamente dalle produzioni vegetali. Il resto, con l'eccezione dei prodotti della pesca, proviene da produzioni vegetali trasformate in carne negli allevamenti.

Oltre a produrre alimenti (comprese bevande varie, spezie, ecc.), un gran numero di specie vegetali è in grado di produrre materiali grezzi per usi industriali. Tra questi sono gli oli vegetali, l'amido, le fibre tessili, il legname da combustione e da opra, la gomma, prodotti da fumo, prodotti medicinali e cosmetici; pur se i prodotti sintetici conquistano sempre maggiori spazi di mercato nei settori elencati, i prodotti naturali sono ancora lontani dall'essere completamente sostituiti, per ragioni diverse, quali costi di produzione, mancanza di accettabili surrogati, o altre ragioni legate alla qualità.

In ogni modo le produzioni più importanti sono quelle alimentari, divise in tre grandi gruppi: cereali da granella, radici e tuberi amidacei, leguminose da granella (Tab. 1.1). Le altre produzioni, per quanto importanti in certe aree, sono rappresentate da quantitativi assai inferiori (Tab. 1.2).

Nel corso degli ultimi due millenni la popolazione umana è aumentata di circa venti volte (Fig. 1.1). All'inizio della nostra era infatti i nostri antenati non superavano il numero di 300 milioni, valore peraltro notevole se rapportato ai 10 milioni di esseri umani che si stima esistessero nel neolitico, quando ebbe inizio l'agricoltura. Fu proprio l'affermarsi dell'agricoltura a determinare la crescita della popolazione umana, crescita che rimase però soggetta a interruzioni e a inversioni di tendenza fino al XVII secolo, quando ancora sulla terra non vivevano più di 500 milioni di abitanti. Poi le forze economiche scatenate dal tramonto della società feudale determinarono una travolgente crescita della popolazione, consentita da un parallelo aumento delle produzioni alimentari. Oggi la popolazione che vive sul pianeta è di circa 6 miliardi, e ci si comincia a domandare se l'agricoltura riuscirà a tenere il passo con l'incremento demografico, e continuare a sfamare tutti in modo soddisfacente.

Le produzioni agricole sono aumentate nel passato grazie a due fattori, l'aumento delle superfici coltivate e l'aumento delle produzioni unitarie. Le superfici messe a coltura sono aumentate notevolmente dall'antichità, e hanno avuto un ruolo centrale nell'aumento delle produzioni soprattutto nel medioevo, quando i progressi nella produttività unitaria erano scarsi. Anche nel recente passato le superfici coltivate hanno continuato ad aumentare (Tab 1.3), ma a un tasso meno che proporzionale rispetto a quello demografico. Negli ultimi due secoli gli incrementi produttivi sono stati invece

dovuti principalmente agli aumenti delle rese unitarie, che sono continuati a ritmi prodigiosi anche negli ultimi decenni (Tab. 1.4).

Anno	Milioni di ettari	Popolazione in milioni
1860	650	1200
1920	1080	2500
1978	1500	5000
2100 (previsione)	2000	12000

Tab. 1.3 – Incremento delle terre arabili e della popolazione mondiale.

Le rese sono ancora suscettibili di ulteriori incrementi, anche se sempre più marginali (Fig. 1.1 bis), ed è certo che si è lontani dall'aver raggiunto il massimo della produttività, se non altro perché in gran parte del mondo le rese medie sono ancora assai basse, mentre alti sono gli sprechi, le perdite dovute ad eventi naturali e a insufficienze nei confronti di conservazione e trasformazione dei prodotti. Ciononostante, il tecnico agronomo, il politico, l'economista, non possono non domandarsi di quale portata saranno questi incrementi, a fronte di un'apparentemente inarrestabile crescita demografica. Nonostante le promettenti prospettive che le nuove biotecnologie consentono di intravedere, la base genetica delle piante coltivate non è molto ampia, ed è in larga parte sfruttata; tra l'altro, come vedremo più avanti, il patrimonio genetico a nostra disposizione viene eroso senza apparente speranza di inversione di tendenza. Le specie coltivate sono circa 300, ma quasi tutto il cibo proviene da sole 24 specie; l'85% degli alimenti è però fornito da 8 specie, e di queste 3, frumento, riso e mais, provvedono da sole al 50% del nostro fabbisogno alimentare.

Le stime sul numero di persone in condizioni di nutrizione insufficiente oscillano tra i 200 milioni ed il miliardo: quanti saranno tra un secolo, quando con gli attuali ritmi si prevede che la specie umana conterà 12 miliardi di individui? Non è questa la sede per affrontare un argomento di tale portata sociale, economica e scientifica, anche perché non vi è penuria di voci allarmate ed allarmanti circa il futuro dell'umanità; resta però il dovere di informare il tecnico agronomo sullo scenario probabile nel quale potrà trovarsi ad operare. Anche perché la soluzione non può essere solo di tipo tecnologico-scientifico, visto che la carenza di alimenti non sempre dipende da scarsa produzione, carestie o problemi logistici, in quanto la denutrizione alligna anche in paesi ricchi come gli Stati Uniti d'America, e che paesi esportatori di cereali come l'India sono ben lontani dall'aver sconfitto lo spettro dei disastri legati a carenze di cibo.

1.1 I fattori della produzione

Le produzioni vegetali sono ottenute grazie alla combinazione razionale di numerosi fattori che, a seconda della combinazione prescelta, definiscono un dato sistema colturale. I fattori della produzione si dividono in naturali e artificiali. L'agricoltore si dedica alla ottimizzazione dei fattori artificiali, pur se non rinuncia ad operare per modificare a suo vantaggio anche i fattori naturali.

1.1.1 Fattori naturali:

- Clima: radiazione solare, temperatura dell'aria e del terreno, idrometeorie, vento, e loro effetti su pedogenesi, distribuzione della vegetazione, accrescimento e sviluppo delle piante, azoto nel terreno.
- Condizioni topografiche: inclinazione, esposizione, quota e posizione del terreno, e loro effetti sul microclima.
- Terreno: composizione in detriti minerali ed organici, e capacità come sostegno per le piante e riserva di acqua ed elementi nutritivi; ricchezza in microrganismi e macrorganismi, e loro effetti su pedogenesi e nutrizione delle piante.
- Lavoro: animale ed umano.
- Concimazioni organiche: loro effetti su nutrizione e struttura.
- Piante coltivate: diverse per tassonomia, morfologia, fisiologia.

1.1.2 Fattori artificiali:

- Concimi minerali.
- Correttivi ed ammendanti.
- Macchine.
- Irrigazione e drenaggio.
- Sistemazioni e lavorazioni del terreno.
- Tecniche di semina e piantagione, diserbo, potatura, avvicendamento, consociazione, forzatura, raccolta.
- Difesa da avversità biotiche ed abiotiche.
- Conservazione e condizionamento in azienda.

1.2 Resa

Abbiamo visto come in sostanza l'obiettivo ultimo dell'agronomia è la messa a punto degli interventi tecnici rivolti a regolare i fattori naturali della produzione vegetale per ottenere la *resa* desiderata, la quale è costituita da prodotti della riproduzione o da prodotti dell'accrescimento vegetativo delle piante.

Il modo più semplice per esprimere la resa è come quantità di prodotto per unità di superficie. In genere si considerano due tipi di resa: *resa biologica* (l'insieme della biomassa prodotta) e *resa economica* (valore del raccolto). Non sempre tutta la biomassa viene utilizzata; più spesso è solo una parte di essa che ha utilità, e che viene raccolta. Gli organi della pianta che vengono utilizzati come alimenti o per altri scopi sono i più vari: nel caso della patata i tuberi, fusti sotterranei trasformati come organi di riserva, sono un alimento per l'uomo; nella barbabietola si raccoglie la radice, per estrarne zucchero, e per utilizzarla come foraggio dopo l'estrazione; del tabacco e di molti ortaggi si raccolgono fusti o foglie, per scopi anche assai diversi. In molti altri casi si raccolgono i prodotti della riproduzione: le cariossidi del frumento e di altri cereali, e i semi dei legumi, per la panificazione ed altri usi alimentari, i frutti degli alberi e degli ortaggi, da consumo prevalentemente fresco, i semi oleosi, per l'estrazione dell'olio.

La resa va espressa in termini che riflettano l'utilità del prodotto. Per i *foraggi* per esempio il peso del raccolto o anche la sostanza secca non significano molto, perché conta di più la qualità (sostanza organica digeribile o proteina secca digeribile). Inoltre la misurazione della resa deve essere fatta secondo criteri prestabiliti; per i *cereali* le rese sono in tonnellate/ha di granella con il 13% di umidità: infatti l'umidità può variare molto alla raccolta, e l'unico modo di confrontare e valutare i raccolti è di uniformare l'umidità, quella massima che per ogni prodotto consente una conservazione senza problemi. Per il *colza* questo valore è il 10%; In questo caso è standardizzato anche il contenuto in olio, 42%. La produzione di *barbabietola da zucchero* è espressa in t/ha di radici scollettate al 16% di zucchero. In questa specie i confronti sono importanti, perché il raccolto è eseguito su un periodo di mesi (Fig. 1.2). Più difficile è il calcolo della resa per le *patate*, perché c'è una dimensione minima per il mercato, che riduce la resa economica rispetto alla massa totale di tuberi. Inoltre una parte di tuberi non è raccolta per inefficienza delle operazioni di raccolta. Vi sono poi tuberi scartati perché danneggiati, e perdite da conservazione. Quindi la resa economica è espressa in tuberi commerciabili, il che può avere poco rapporto con la massa di tuberi prodotta.

La distinzione tra resa biologica e resa economica, o utilizzabile, è importante quando si tratta dei fattori che nelle varie colture influenzano la resa. Uno degli obiettivi di qualsiasi sistema produttivo è di aumentare al massimo la quantità del prodotto o dei

prodotti della crescita che interessano. In pratica le rese massime possono avere scarsa importanza, per gli alti costi da sostenere per raggiungerle. Se si confrontano le rese massime ottenibili con quelle medie reali (Fig 1.3) si vede come gli attuali sistemi produttivi siano inefficienti. In realtà è notevole la variazione di resa tra gli anni, ma anche tra ambienti diversi, o addirittura nello stesso appezzamento, nello stesso anno. Di fatto, gli aumenti nelle rese (soprattutto per i cereali) sono stati dovuti a miglioramenti tecnologici e genetici; un obiettivo importante dei sistemi di produzioni vegetali è quello di ridurre le variazioni di resa al minimo, grazie a una migliore comprensione dei fattori della resa stessa.

1.3 Qualità

Un'altra componente della resa è la qualità, che si può definire come idoneità ad uno scopo. Si tratta di un aspetto che è aumentato di importanza negli ultimi decenni, sia per un miglioramento del tenore di vita del consumatore medio, sia per un'accresciuta coscienza alimentare.

I prodotti alimentari di origine vegetale si caratterizzano, da un punto di vista qualitativo, per alcune peculiarità: la *durata*, che è breve per gli ortaggi e la frutta, e che è maggiore nei prodotti secchi o conservati in vari modi, ma che ha comunque un termine; *rischio per la salute*, dovuto alla presenza di sostanze tossiche e di altre sostanze con effetti negativi sull'organismo; *aspetti edonistici*, per il piacere che possono provocare in seguito al consumo; *aspetti socio-culturali*, dovuti a particolari significati culturali, religiosi, o di status symbol di taluni alimenti.

In genere la qualità degli alimenti vegetali è valutata in funzione di una serie di aspetti specifici: *alimentari, d'uso o di servizio, tecnologici*.

Qualità alimentare – È l'attitudine di un alimento a nutrire e quindi a consentire la vita ad un organismo umano o animale. Si tratta di una proprietà complessa, che comprende diverse componenti. La qualità *igienica* è rappresentata dai requisiti di sicurezza che impongono la non tossicità dell'alimento. Riguardano la presenza di sostanze tossiche o agenti patogeni, che possono essere di origine endogena (prodotti naturali capaci di indurre disturbi anche gravi), ed esogena (residui di prodotti chimici utilizzati nel corso delle coltivazioni, inquinanti ambientali, particelle radioattive, agenti patogeni, ecc.). La *qualità nutrizionale* è la capacità di un alimento di fornire metaboliti necessari all'organismo; essa presenta due aspetti, quello quantitativo, che rispecchia grosso modo la quantità dei metaboliti essenziali (carboidrati, proteine, grassi, ecc.) presenti, e quello

qualitativo, legato alla presenza o assenza di particolari sostanze (vitamine, sali minerali, fibra, ecc.) per il raggiungimento di una dieta equilibrata, o per altri scopi anche edonistici. La *qualità edonistica o organolettica* riguarda quelle caratteristiche che provocano piacere o appetibilità attraverso i sensi; pur essendo una componente assai importante, è difficile da definire e quantificare, essendo soggetta a grandi variazioni nel tempo, nello spazio, e anche da individuo e individuo. Inoltre questa qualità ha sia una componente puramente sensoriale (odore, sapore, colore, forma, ecc.), che può essere, sia pure con difficoltà, misurata, sia una componente psicologica, legata ad aspetti non intrinseci dell'alimento, quali la confezione, la pubblicità con la quale questo è fatto conoscere, le circostanze in cui può essere consumato, ecc.

Qualità d'uso o di servizio - Riguardano caratteri, diversi dai precedenti, che possono costituire interesse o vantaggio per il consumatore. Tra questi sono: *conservabilità*, sia nella confezione intatta che dopo una prima consumazione; *comodità d'impiego del prodotto*, come facilità di conservazione e di manutenzione dell'imballaggio, facilità e tempi di preparazione dell'alimento, ecc.; *prezzo* ; *aspetti commerciali*, come disponibilità, presentazione, ecc.; altri *aspetti regolamentari* come etichette e informazioni su di esse presenti.

Qualità tecnologiche - Anch'esse qualità d'uso, riguardano però più specificamente gli operatori della catena alimentare, in quanto rispecchiano la idoneità di un prodotto ad essere sottoposto a certi processi tecnologici. È il caso della adattabilità del frumento duro alla produzione di paste alimentari, o delle varietà di pesche percoche al confezionamento di pesche sciroppate. Tra queste qualità vi è anche l'attitudine alla conservazione per lunghi periodi in magazzini più o meno attrezzati allo scopo.

Nonostante questa classificazione, la qualità resta difficile da definire, nella maggior parte dei casi, in modo totalmente oggettivo, anche perché non costituisce una caratteristica statica, stabilita una volta per tutte, ma piuttosto un aspetto dinamico, che per molte delle sue caratteristiche può essere continuamente rimesso in discussione; inoltre il produttore può avere un ruolo attivo nel costituire nuovi o migliori aspetti qualitativi nei suoi prodotti.

Negli ultimi anni si sono avute numerose iniziative per la creazione di marchi di qualità, i quali però non garantiscono tanto la qualità quanto la uniformità nel tempo di un dato prodotto, il che può costituire un vantaggio per il consumatore. Nei migliori casi garanzie si possono avere per taluni aspetti della qualità, quale quello igienico, grazie ai controlli (e agli auto-controlli) imposti ai produttori.

Si tratta comunque di un contesto estremamente ampio ed articolato, anche perché i tipi di alimenti ottenuti dalle produzioni vegetali sono estremamente numerosi ed in continua evoluzione.

2 CLIMA E AGRICOLTURA

Il clima è l'insieme dei fenomeni meteorologici di una data regione o comprensorio. Tali fenomeni, mutevoli di anno in anno secondo fluttuazioni anche relativamente ampie, definiscono un ambiente climatico in base al loro comportamento medio valutato su un lungo periodo, non inferiore a 30 anni.

Le principali grandezze fisiche che caratterizzano lo stato dell'atmosfera, o *elementi climatici*, sono: radiazione solare e illuminazione; temperatura; precipitazioni, umidità dell'aria, evaporazione; vento.

La variazione di questi elementi del clima è determinata da svariati *fattori* o *agenti del clima*, quali: latitudine, altitudine, esposizione, distanza da grandi bacini d'acqua, correnti marine, venti dominanti.

L'ambiente fisico nel quale le colture vivono può avere effetti notevoli sul loro modo e ritmo di crescita e sviluppo. Nell'ambiente controllato di una serra temperatura, radiazione solare, fotoperiodo, regime idrico e composizione gassosa dell'atmosfera possono essere regolati per assecondare i mutevoli bisogni di una coltura nel corso della sua vita. Il controllo di queste componenti dell'ambiente fisico è assai più difficoltoso nel caso di colture di pieno campo, e spesso impossibile.

La natura variabile degli elementi del clima determina limitazioni alla produttività delle colture, in modi spesso imprevedibili; le componenti del tempo atmosferico possono essere identificate e quantificate, e fino a un certo punto previste, ma i modi in cui esse interagiscono e le conseguenze di queste interazioni sulla crescita delle piante coltivate non sono sempre ben chiari. Il clima delle zone temperate del mondo è abbastanza uniforme nelle grandi linee, ma all'interno di questo clima si possono dare numerose situazioni locali, assai diversificate e che impediscono le generalizzazioni. Se è vero che il clima determina le specie che si possono coltivare, è altresì vero che il tempo atmosferico è il principale responsabile delle rese.

Nella tabella 2.1 sono elencate le varie componenti dell'ambiente in cui vivono le piante; è evidente la grande varietà di elementi che concorrono a formare l'ambiente aereo e *edafico*, e quindi la difficoltà dell'interpretazione degli effetti del singolo fattore sulla coltura, dal momento che in genere essi operano contemporaneamente.

Tabella 2.1 . Elementi naturali dell'ambiente delle piante

Aria	Suolo
Energia radiante	Caratteristiche fisiche
Luce: fotoperiodo composizione dello spettro intensità	Umidità: quantità disponibilità
Temperatura: escursioni stagionali e giornaliere incidenza delle gelate	Temperatura: gradienti con la profondità
Umidità	pH
Vento: velocità frequenza di raffiche direzione	Composizione dell'atmosfera del terreno: rapporto CO ₂ /O ₂
Nebbia	
Precipitazioni: pioggia, nevischio, neve, grandine, rugiada	
Composizione dell'atmosfera: CO ₂ inquinamento	

Dati gli scopi di questo libro, non è possibile soffermarsi su argomenti quali i meccanismi che determinano il clima e la classificazione dei climi. Cercheremo invece di parlare degli elementi più importanti del clima, relativamente all'ambiente agrario italiano, che si può classificare, a seconda degli Autori, come di transizione tra il clima umido e quello sub-umido, o tra il temperato freddo e il temperato caldo, o, ancora, tra il clima subtropicale mediterraneo e quello temperato continentale. Quel che è certo è che la nostra penisola, sia per il suo sviluppo da nord a sud, sia per la sua posizione tra masse

continentali e marine, sia infine per la sua irregolarità di conformazione e rilievo, offre una varietà di condizioni ambientali e microambientali difficilmente riscontrabile in altri paesi di dimensioni simili.

2.1 Radiazione solare e illuminazione

In ultima analisi, sia il clima che la vita stessa sulla Terra dipendono dall'immenso ed incessante flusso di energia che il Sole emette e la Terra riceve (Fig. 2.3). Tale *irraggiamento* non è uguale in ogni punto della Terra, né in ogni momento dell'anno (Fig. 2.4).

La valutazione della radiazione globale ha un interesse indiretto in agricoltura, e non ce ne occuperemo, se non per ricordare che i dati che più comunemente si rilevano, e che possono essere presenti in trattazioni di agrometeorologia, sono quelli sulla durata del soleggiamento (*eliofanìa*), e sulla percentuale di cielo coperto (*nuvolosità*).

Numerosi studi hanno posto in evidenza che in situazioni in cui si ha una diminuzione consistente dell'energia radiante disponibile l'attività vegetativa e riproduttiva risultano drasticamente ridotte e di conseguenza le caratteristiche quantitative e qualitative del prodotto risultano più scadenti. Per esempio, le piante seminate troppo fitte presentano foglie ingiallite che cadono prematuramente, hanno culmi esili, lunghi, poco lignificati e ramificati e, sovente, vanno incontro a gravi problemi di sterilità. In ogni modo la luce è importante in ogni momento della vita della pianta, dalla germinazione del seme, attraverso l'accrescimento vegetativo e la fioritura, fino alla formazione del frutto e del seme.

Esiste inoltre un adattamento morfologico, anatomico e fisiologico delle diverse specie nell'applicazione delle varie tecniche colturali. Il miglioramento genetico con la creazione di varietà capaci di sfruttare al massimo la radiazione incidente ha contribuito notevolmente ad aumentare la produttività di alcune specie (es. mais a foglie erette). È evidente l'importanza che ha il portamento del fogliame sulla penetrazione della luce all'interno della copertura vegetale nel caso di illuminazione molto intensa: nel caso di foglie *patenti* le foglie superiori sono iperilluminate, mentre quelle inferiori sono fortemente ombreggiate; nel caso di foglie *assurgenti* la luce si distribuisce su una superficie assimilatoria molto più estesa in profondità entro la vegetazione, così da rendere possibile un aumento della densità di piantagione (Figg. 2.5-2.6). Altri accorgimenti per aumentare l'intercettazione della luce sono le semine fitte ed uniformi, senza fallanze, la distribuzione delle piante sul terreno con la massima regolarità (in

quadro o a quinconce per le piante arboree), idonei sistemi di potatura e allevamento, orientamento dei filari Nord-Sud, ecc.

La luce ha effetto in rapporto alla sua qualità e intensità (Fig. 2.6) ed in rapporto alla durata e periodicità dell'azione. Essa è di rado un fattore sfavorevole alle piante, le quali dispongono di molteplici possibilità di adattarsi. L'influenza della luce è anche subordinata alla specie vegetale, oltre che all'individuo e alla fase del suo sviluppo. Così, in relazione ai livelli ottimali di intensità luminosa, le piante si suddividono in *eliofile*, che richiedono elevate quantità di luce, e *sciafile*, che soffrono di eccessi di illuminazione. Le piante agrarie raramente appartengono agli estremi di queste categorie; esistono però differenze che è bene conoscere.

Anche la qualità della luce influisce sulla produttività delle piante, agendo sul quadro ormonale e sulla natura dei composti di sintesi che derivano dall'attività delle foglie. Per quanto riguarda la fotosintesi, la luce nella gamma dei 400-700 nanometri (Fig. 2.8) è considerata la sola utile (radiazione fotosinteticamente attiva, o PAR). Le foglie in presenza di radiazioni rosse sintetizzano più carboidrati che non in presenza di radiazioni blu, le quali stimolano piuttosto la sintesi delle proteine, la crescita e la differenziazione degli organi. Altri processi fisiologici dipendono dalla luce di parti diverse dello spettro, come nel caso del *fotoperiodismo* e della germinazione dei semi, influenzati dalle zone del rosso e del rosso lontano della radiazione.

Riguardo all'effetto della intensità della luce occorre tener conto della luce diretta e di quella diffusa: la prima è nociva alle piante se troppo intensa, la seconda è più favorevole.

Nel complesso l'intensità luminosa è distribuita sulla terra nel periodo estivo con una certa uniformità, dato che alle maggiori latitudini la luce diffusa compensa la scarsità di radiazione diretta. Nel rapporto tra le due diverse qualità di luce si hanno forti differenze anche col variare dell'orientamento del terreno.

Le conseguenze che la intensità e la qualità della luce determinano nel campo agrario sono molteplici e interessanti. È noto, ad esempio, che la riduzione dell'intensità luminosa viene sfruttata per ottenere *l'imbianchimento* degli ortaggi (sedano, cardo, asparago, ecc.). È pure noto che l'ombra produce nel frumento una riduzione dell'attività fotosintetica ed un aumento del contenuto di azoto causando uno squilibrio nel rapporto tra l'azoto e gli idrati di carbonio che favorisce *l'allettamento*. È anche risaputo che l'ombreggiamento prodotto da semine fitte favorisce lo sviluppo in altezza degli steli, con vantaggio per certe produzioni come le fibre corticali delle piante tessili.

Effetti non meno importanti si hanno in conseguenza della maggiore luminosità, unita alle più elevate temperature, di alcune regioni, come quelle dell'Italia meridionale: il

tabacco è più ricco di nicotina, i semi più ricchi di sostanze proteiche, i frutti più ricchi di zucchero, di acidi organici, di oli essenziali, di sostanze azotate e tanniche, rispetto ai corrispondenti prodotti settentrionali. In quelle stesse regioni è favorita la produzione dei frutti e dei semi a scapito del rigoglio vegetativo delle piante e la flora spontanea è formata in prevalenza di specie a propagazione sessuale. Nei territori del nord predominano invece le specie poliennali a propagazione agamica.

La durata e la periodicità d'illuminazione, cioè l'alternanza del giorno e della notte, hanno importantissimi effetti: il più notevole e più evidente di essi consiste nel regolare la lunghezza del periodo vegetativo e l'epoca della fioritura. Vi sono delle piante che non hanno una particolare sensibilità alla diversa durata del giorno; altre, invece, arrivano alla fioritura soltanto se possono godere di un lungo periodo d'illuminazione; altre ancora hanno esigenze opposte e sono adattate ad un giorno "breve"(Tab. 2.2). Naturalmente, come sempre accade in natura, tra l'una e l'altra di tali categorie esistono dei termini intermedi. Quindi poiché la lunghezza del giorno varia sulla terra secondo la latitudine, anche la luce è un fattore che regola la distribuzione geografica delle piante e che, dove la durata d'illuminazione cambia con la stagione, costringe il ciclo colturale in un definito periodo dell'anno.

A questo proposito, però, non si dimentichi che la temperatura e l'umidità influiscono anch'esse sulla vegetazione e che gli effetti del *fotoperiodismo* (come è detto il fenomeno ora accennato) sono complicati dall'intervento di questi due fattori.

Le applicazioni che la conoscenza del fotoperiodismo ha avuto nel campo agrario sono già numerose. Ricordiamo, ad esempio, la riduzione della durata del giorno, attuata in floricoltura mediante la copertura con laminato plastico nero, per ottenere un anticipo di alcuni giorni nella fioritura dei crisantemi (Fig. 2.9).

2.2 Temperatura

Un altro importante elemento climatico in grado di condizionare profondamente l'attività vegeto-produttiva delle piante è la temperatura.

Per quanto non sia sempre agevole discriminare gli effetti specifici della temperatura da quelli di altri fattori climatici, è indubbio che, in condizioni ottimali di disponibilità energetica ed idrica, il regime termico esercita una decisa influenza sull'intensità di molti processi fisiologici, quali la traspirazione, la respirazione, la fotosintesi, le attività enzimatiche, la formazione e la degradazione della clorofilla, la divisione e la distensione cellulare e quindi il differenziamento e lo sviluppo dei vari organi. Tutti questi processi

non si innescano quando la temperatura è sotto determinati valori minimi e cessano quando supera certi valori massimi; oltre questi limiti termici possono insorgere danni più o meno gravi in relazione al livello di temperatura, alla rapidità con cui viene raggiunta ed al tempo per il quale essa viene mantenuta. L'attività fisiologica delle piante, soprattutto in certe fasi del loro sviluppo, è particolarmente influenzata dalle differenze fra il regime termico notturno e quello diurno. Importanti sono soprattutto le temperature notturne, che possono influire non solo sull'accrescimento totale delle piante, ma anche sullo sviluppo differenziato dei diversi organi.

2.2.1 Fluttuazioni termiche

La temperatura media annua assume un interesse relativo rispetto alle minime termiche invernali che sono invece uno dei fattori limitanti della distribuzione geografica delle specie e delle cultivar.

La temperatura, la luce e l'umidità sono intimamente legate nei loro effetti sulla vegetazione, ma la temperatura è l'elemento del clima che regola la distribuzione delle piante sul globo se l'acqua non è deficiente, come avviene invece nei climi sub-aridi, nei quali quest'ultima diventa a sua volta l'elemento limitante.

La temperatura è un elemento in continua fluttuazione. Essa manifesta delle oscillazioni diurne, dovute alla rotazione terrestre, e delle oscillazioni annue, dovute all'inclinazione dell'asse terrestre nel movimento di rivoluzione intorno al sole.

La temperatura massima dell'aria si raggiunge di consueto con circa due ore di ritardo rispetto al massimo d'intensità della radiazione solare; poi diminuisce, dapprima rapidamente e quindi lentamente, fino al sorgere del sole per riprendere, infine, a salire arrivando in breve tempo al limite massimo.

La nebulosità del cielo altera, com'è naturale, l'andamento termico. La posizione geografica e topografica influiscono a loro volta sulle escursioni della temperatura.

Anche l'altitudine ha influenza sulla temperatura. Di regola la temperatura dell'aria si abbassa via via che ci si allontana dalla superficie terrestre. Può però darsi il caso che negli strati bassi dell'atmosfera, quelli in contatto con le coltivazioni, il gradiente si inverta, e che strati caldi si trovino più in alto di strati freddi. Questo fenomeno, che può interessare gli strati d'aria più bassi per un'altezza da 1-2 metri fino a qualche decina di metri, prende il nome di *inversione termica*, ed è determinato dalla perdita di calore della copertura vegetale, che rapidamente raffredda. Il processo è aggravato dal fatto che le masse di aria fredda tendono a ristagnare; ove esse abbiano temperature troppo basse possono quindi dare luogo a gelate, dette per *irraggiamento*. Le gelate possono essere particolarmente gravi nelle vallate, in quanto le masse d'aria fredda tendono a scivolare

lungo le pendici, formando degli spessi accumuli di aria molto fredda nei fondovalle, con gravi conseguenze per le piante; in questo caso si parla di gelate per convezione (Fig. 2.10).

2.2.2 Temperatura e vita delle piante

Le funzioni della vita vegetale divengono più attive man mano che la temperatura aumenta (Fig. 2.11), ma bisogna tener presente che le temperature oltre i limiti più adatti alle esigenze della pianta invece che utili riescono più o meno nocive (Fig. 2.12). Inoltre, poiché le manifestazioni del clima sono in parte sostituibili l'una con l'altra e interagiscono tra loro, la temperatura necessaria alle piante varia da luogo a luogo.

Va comunque ricordato che il difetto o l'eccesso di temperatura, secondo il modo come si presentano, hanno effetti diversi sui vegetali. La pianta, infatti, sopporta peggio un improvviso abbassamento di temperatura, anche se modesto, che un abbassamento progressivo il quale giunga anche a limiti molto bassi.

E' poi noto che le piante hanno esigenze diverse di temperatura secondo le loro fasi vegetative. Per esempio, la temperatura necessaria per la nascita del frumento è diversa ed inferiore a quella della fioritura o della maturazione: per la germinazione, infatti, occorrono circa 6°, per la fioritura più di 16° e per la maturazione 20°. Perciò ai fini agronomici interessano i dati che rappresentano l'andamento della temperatura nel corso dell'anno e soprattutto quelli che riguardano i minimi invernali, nonché le gelate tardive primaverili e le precoci d'autunno. E' opportuno ricordare che nell'Italia centro-settentrionale vi è il pericolo di gelate per oltre sei mesi all'anno, nel mezzogiorno per quattro mesi e nelle isole per soli tre mesi. Inoltre diverse sono le conseguenze pratiche nell'agricoltura dei freddi precoci autunnali, di quelli invernali e di quelli tardivi primaverili.

Una particolare azione della temperatura sulla vita dei vegetali è quella di stimolo alla fioritura. Molte piante se sottoposte a una temperatura costante non riescono a fiorire, ma continuano a crescere permanendo allo stato vegetativo; per passare alla fase riproduttiva devono subire uno stimolo termico: per lo più (cereali vernini) sono le basse temperature a esplicare tale azione stimolante della fioritura, più raramente (cotone, mais) sono le alte temperature. Dalla constatazione di questo fenomeno è nata la pratica della *vernalizzazione* che consiste nel sottoporre prima della semina le sementi che hanno appena iniziato la germinazione ad un trattamento termico che conduce ad un accorciamento del ciclo vegetativo. Il risultato si ottiene inumidendo la semente in modo

che abbia inizio il processo di germinazione e quindi sottoponendola a temperature di poco superiori allo zero per alcune settimane (da 15 a 60 giorni).

Le temperature primaverili-estive sono molto importanti per l'accrescimento vegetativo e per lo sviluppo e la maturazione dei frutti; alla loro mitezza, riscontrata in taluni ambienti, è legata molto spesso la possibilità di sviluppare alcune tipiche produzioni precoci (fragola, nespole del Giappone, pesco, uva da tavola ed alcune produzioni orticole). Occorre tenere conto che il carattere maturazione precoce può estrinsecarsi pienamente solo al Centro-Sud, per una programmazione efficace sia al Nord che nel Mezzogiorno. Oltre al clima, influisce la componente pedologica: la fragranza delle albicocche vesuviane dipende sia dall'intensità dell'energia radiante sia dall'origine vulcanica del suolo.

2.2.3 Temperatura dell'aria e del terreno

Vi è un rapporto tra temperatura dell'aria e temperatura del terreno che ha i suoi effetti sull'attività vitale della pianta. Di solito la temperatura del terreno è diversa da quella dell'aria (Fig. 2.13): essa varia nel suolo con ritardo rispetto all'aria e le oscillazioni sono più smorzate e più tardive quanto maggiore è la profondità. Naturalmente sulla temperatura del terreno influiscono anche il colore, l'esposizione, il contenuto d'umidità. La temperatura del terreno agisce direttamente sull'assorbimento delle soluzioni da parte delle radici. Essa può compensare inoltre gli eccessi o le deficienze di temperatura dell'aria.

Per concludere è utile ricordare che il carattere di resistenza al freddo dipende anche dalle condizioni della vegetazione e dell'ambiente colturale. Piante coltivate in terreni ricchi e freschi resistono al freddo meno bene di piante coltivate in terre povere e asciutte perché i loro tessuti sono meno maturi, meno lignificati. D'altra parte, la siccità, se prolungata e intensa, può determinare un indebolimento della pianta che ne riduce la resistenza alle basse temperature.

2.2.4 Difesa dalle gelate

Le piante possono essere danneggiate da temperature estreme, dette temperature critiche, in modo più o meno grave, fino alla morte della pianta stessa.

Le basse temperature colpiscono i giovani meristemi in accrescimento ed i tessuti più idratati, causando la formazione di cristalli di ghiaccio che lacerano le cellule e altri danni a livello biochimico.

In genere però i pericoli di eccessi termici sono sotto controllo in quanto la scelta dell'ambiente e del genotipo, e la tecnica colturale, ci mettono al riparo dagli estremi di

temperatura, salvo eventi eccezionali. Maggiore attenzione si è invece dedicata alla difesa dalle gelate in frutticoltura, sia per la irregolarità dell'evento, sia per la portata del danno eventuale che questo può determinare.

Per una efficace difesa delle piante dalle gelate sono state proposte numerose soluzioni di diversa efficacia. Questi metodi, economicamente giustificati solo in presenza di colture da frutto o comunque da alto reddito unitario, possono essere suddivisi in preventivi e diretti.

I sistemi di difesa più validi e razionali sono rappresentati dai fornelli antibrina, dai ventilatori e dalla irrigazione antigelo.

I *fornelli antibrina* (Fig. 2.14) sono speciali generatori di calore (spesso si tratta di bruciatori per gasolio ad alimentazione centralizzata) uniformemente distribuiti, in numero di circa 150-200/ha all'interno di impianti arborei. Una volta accesi, i fornelli antibrina emanano calore per irraggiamento, ma soprattutto emettono dalla loro bocca una corrente d'aria calda che, raggiunto il "tetto termico", refluisce verso il basso e contribuisce così ad innalzare la temperatura dell'aria più prossima al suolo. I fornelli antibrina sono efficaci nel caso di gelate per irraggiamento e nell'ambito di un campo relativamente ristretto di variazione termica. A parte i problemi connessi con l'inquinamento ambientale (peraltro risolvibili con opportuni bruciatori e con l'impiego di carburanti a basso titolo di zolfo), il sistema dei fornelli è divenuto oggi troppo oneroso per essere di pratico impiego, almeno nei Paesi come il nostro che non dispongono di proprie risorse petrolifere.

I *ventilatori* sono torri metalliche (Fig. 2.15), alte 9-10 metri sulle quali sono installate speciali eliche azionate da grossi motori a combustione. La funzione dei ventilatori è quella di miscelare l'aria fredda che circonda le piante ed il suolo con l'aria più calda dello strato di inversione termica (Fig. 2.16). L'elica produce quindi una convezione forzata dall'alto verso il basso determinando un leggero aumento di temperatura nello strato di aria che circonda le piante coltivate.

L'efficacia di un ventilatore è massima in un raggio medio di 20 metri e diminuisce progressivamente con l'aumentare della distanza. Se si verifica una brezza notturna, l'area protetta dal ventilatore diviene di forma ellittica ed eccentrica rispetto alla installazione. Per i motivi sopra esposti conviene disporre di più ventilatori, opportunamente distanziati fra di loro e distribuiti sulle superfici che si intendono proteggere dalle gelate primaverili. L'irrigazione a pioggia antigelo si basa sul principio che l'acqua congelando libera calore (80 Kcal/l) e quindi impedisce l'abbassamento della temperatura a livelli pregiudizievole per gli organi inclusi nel ghiaccio formatosi in seguito alla distribuzione continua di acqua tramite impianti sopra-chioma. Questa viene irrorata uniformemente e

continuativamente sugli alberi durante tutto il periodo in cui la temperatura atmosferica si mantiene intorno ai valori critici. Sui rami, sui fiori, sui germogli si forma così, ininterrottamente, uno strato di ghiaccio che, liberando calore, mantiene i delicati organi da proteggere intorno a 0°C.

Naturalmente, se l'erogazione dell'acqua cessa quando la temperatura atmosferica è ancora sotto zero, i fiori od i germogli inclusi nel ghiaccio raggiungono valori termici critici e vengono danneggiati. La quantità di acqua da irrorare non deve essere elevata per evitare un'eccessiva formazione di ghiaccio e soprattutto per ovviare agli inconvenienti che potrebbero verificarsi nel terreno in seguito ad un apporto troppo abbondante di acqua. In media si calcola che siano sufficienti quantitativi corrispondenti ad una precipitazione di 2,5-4 mm/h. Altro elemento molto importante è rappresentato dal grado di dispersione dell'acqua che, teoricamente, dovrebbe essere spinto fino al valore massimo oltre al quale le goccioline gelerebbero prima di raggiungere gli alberi.

A tutte queste condizioni devono rispondere gli impianti che, in questi ultimi anni, sono stati approntati dall'industria per consentire questo sistema di difesa antigelo. Tali impianti, che permettono anche di praticare la normale irrigazione estiva, sono essenzialmente costituiti da irrigatori lenti a piccolo ugello, installati su tubi verticali alti 8-10 metri e distanti tra loro circa 30 metri in modo da irrigare contemporaneamente ed uniformemente tutto il frutteto. Un interessante perfezionamento di questi impianti è rappresentato dalla regolazione automatica dell'acqua a mezzo di termostati convenientemente tarati.

L'irrigazione antibrina costituisce il metodo di difesa più sicuro contro ogni tipo di gelata ed è efficace anche con sensibili abbassamenti termici (-6°-7°C) (Fig. 2.17). A causa dell'eccessivo carico di ghiaccio sulla chioma esso non può essere applicato alle specie sempreverdi, per le quali risulta preferibile ricorrere al sistema dei ventilatori.

Nel caso delle gelate primaverili i mezzi di prevenzione sono essenzialmente basati sul ritardo della fioritura nel presupposto, generalmente fondato, che quanto più questa è tardiva, tanto minori sono le probabilità di incorrere in danni da freddo.

In questo senso è stata tentata, peraltro senza molto successo pratico, l'applicazione di vari regolatori di crescita (idrazide maleica, SADH, CEPA e CCC) che hanno dimostrato modesta efficacia e sono spesso accompagnati da effetti collaterali negativi.

Scarso successo ha riscosso anche l'irrigazione pre-antesi ad effetto climatizzante, nonostante consenta di ritardare la fioritura anche di 20 giorni.

Ritardo di fioritura (g) ottenuto in alcune specie arboree con l'irrigazione climatizzante

Pesco

5-14

Nettarine	10-14
Melo	8-17
Pero	9-15
Ciliegio	15
Vite	4-12

2.2.5 Eccessi di temperatura

Temperature estive eccessivamente elevate, specialmente se associate a stress idrici, possono invece causare, oltre che danni diretti come ustioni sugli organi aerei, anche riduzione della fotosintesi, del contenuto in acidi dei frutti e della sintesi di pigmenti antocianici.

Per ridurre gli effetti di temperature troppo elevate durante alcune fasi del ciclo riproduttivo e per mantenere il livello termico degli organi aerei degli alberi entro valori più favorevoli ai processi da cui dipendono alcune importanti caratteristiche dei frutti, può essere utile fare ricorso all'*irrigazione climatizzante*.

Altra pratica tradizionale è quella dell'*imbiancatura* dei tronchi con calce, che ha, quale comprovato effetto, un migliore regime termico nella zona subcorticale ed una conseguente migliore efficienza del sistema vascolare.

Nei vivai efficaci sono le varie forme di *ombreggiamento*.

2.3 Idrometeore

Tutta l'acqua utilizzata dalle piante ha origine da quella che, evaporata dalla superficie del mare, dei laghi, dei fiumi e della terra ad opera dell'energia solare, si trova nell'atmosfera sotto forma gassosa, o di vapore acqueo. L'aria è una miscela di gas, nella quale il vapore acqueo è sempre presente. La quantità di vapore acqueo nell'unità di volume costituisce l'*umidità assoluta*. Vi è una quantità massima di vapore acqueo che può essere presente nell'aria e che prende il nome di *umidità di saturazione*; tale valore varia molto in funzione della temperatura, ed è massimo con alte temperature. Quando si raggiunge il punto di saturazione (per esempio con rapidi raffreddamenti dell'ambiente) il vapore si condensa come gocce d'acqua. Un altro valore importante, e molto usato, è quello dell'*umidità relativa*, che indica in percentuale quanto prossima alla saturazione sia l'aria. L'umidità atmosferica quindi, a seguito di un raffreddamento, si condensa in goccioline

minutissime che, restando sospese nell'aria, costituiscono le nubi negli strati elevati dell'atmosfera, e la nebbia a livello del suolo. A seguito di ulteriore raffreddamento si ha la formazione delle varie idrometeorie o precipitazioni atmosferiche: la rugiada, la brina, la pioggia, la grandine, la neve.

La *rugiada* è il prodotto della condensazione dell'umidità atmosferica sulle superfici fredde che ha luogo nelle ore più fresche della notte, a temperatura superiore allo zero.

La *brina* è, come la rugiada, umidità condensata sulle superfici fredde, ma a temperatura sotto lo zero. Si forma nelle località basse, umide, vicine ai corsi d'acqua. È una idrometeora assai dannosa in primavera quando le piante sono in fiore.

La *pioggia* è la precipitazione più frequente e più importante: essa si forma in conseguenza della riunione delle minutissime goccioline che costituiscono le nubi, in gocce grosse e pesanti che cadono al suolo.

Può anche avvenire un rapido passaggio dell'acqua allo stato solido con formazione di *grandine* oppure un passaggio diretto del vapor d'acqua allo stato solido, per sublimazione a temperatura sotto lo zero, con la formazione di *neve*.

L'intensità delle precipitazioni è espressa dallo spessore dello strato di acqua che esse formerebbero se cadessero su un piano perfettamente impermeabile. Le precipitazioni vengono misurate con appositi apparecchi, detti pluviometri.

2.3.1 Pioggia

Le piogge sono la fonte principale d'acqua per il terreno, e quindi per le piante, almeno nei climi ove più diffusa è l'agricoltura, e costituiscono quindi un elemento climatico fondamentale nel determinare l'idoneità di un dato clima alle produzioni vegetali.

Come già accennato, la pioggia è prodotta dalla condensazione del vapore acqueo atmosferico quando l'aria si raffredda; ma oltre allo stato di saturazione, indicato dalla formazione di nubi, è anche necessario che nell'aria vi siano particelle (pulviscolo, cristalli di ghiaccio) che fungano da *nuclei di condensazione* intorno ai quali l'acqua si accumuli in gocce sufficientemente grandi.

La pioggia non cade nella stessa quantità in tutti i punti del pianeta: vi sono deserti nei quali in un anno può non piovere mai, mentre in altri luoghi si sono misurate

precipitazioni fino a 12 000 mm. Anche in Italia, pur non in modo così estremo, vi sono differenze marcate, per esempio tra i rilievi del Centro-Nord, con 2 500-3 000 mm, ed alcune zone del Sud e delle isole, con meno di 500 mm. Si tratta però di un dato che da solo non è sufficiente a definire le potenzialità agricole di un comprensorio.

Oltre la quantità di acqua interessa infatti la cognizione del numero dei giorni di pioggia, o *frequenza*, nel corso dell'anno e relative epoche (è chiamato giorno di pioggia ogni giorno nel quale la pioggia cade anche in piccola quantità, purché umetti il terreno). Ovviamente l'agricoltura è favorita ove, a parità di altre condizioni, il numero di giorni di pioggia sia maggiore.

Ma ancora di più della frequenza dei giorni piovosi, è vitale ai fini agrari la *distribuzione* delle piogge nel corso delle stagioni. Nella fascia temperata, quella che più ci interessa e che racchiude Europa, Nord America, Australia, Sudafrica, Argentina, Cina del Nord, ecc., si possono dare diverse situazioni: le piogge possono essere concentrate nei mesi estivi, oppure distribuite regolarmente nel corso dell'anno (clima europeo continentale), oppure ancora essere concentrate nel periodo freddo, dall'autunno alla primavera, come nel caso del Mediterraneo. Nella tabella 2.3 si può vedere come a precipitazioni paragonabili come totale annuo corrispondano climi affatto diversi.

Naturalmente, oltre alla quantità complessiva e alla distribuzione nel corso dell'anno, ha molta importanza ai fini agrari anche l'entità di ogni precipitazione, o meglio, l'intensità di pioggia, che è la quantità di acqua caduta nell'unità di tempo. Infatti non tutta l'acqua che cade giunge al suolo (Fig. 2.18) perché una parte viene trattenuta, e rapidamente evapora, dalle chiome dei vegetali (acqua di intercettazione), né tutta quella che giunge al suolo riesce efficace per le piante: le piogge troppo scarse bagnano lo strato più superficiale ed evaporano facilmente; quelle a carattere torrenziale in gran parte scorrono sul terreno senza penetrarvi, soprattutto se esso è declive. Ma anche l'acqua che effettivamente penetra nel suolo non è tutta utilizzabile dalle piante, perché, scendendo negli strati più o meno profondi, può sfuggire alle possibilità di assorbimento da parte almeno di alcune specie. Altri fattori riducono ulteriormente la percentuale delle precipitazioni utilizzata dalle colture, come la natura del terreno, la temperatura ed i movimenti dell'aria che regolano l'evaporazione superficiale.

L'intensità e la durata della pioggia sono quindi essenziali nel determinare l'utilità reale di

una data pioggia; in genere le piogge più efficaci sono quelle di leggera intensità (intorno ai 2 mm h⁻¹).

2.3.2 Altre idrometeore

Tra le precipitazioni la *neve* ha un particolare interesse agrario, poiché l'umidità prodotta dalla sua fusione penetra lentamente nel terreno e si disperde assai meno di quanto avviene per le piogge; va ricordato che la quantità di acqua prodotta dalla neve corrisponde a un decimo del suo spessore. La coltre nevosa, coibente, arieggiata e permeabile alla luce, offre poi alle colture protezione contro le temperature invernali troppo basse. Inconvenienti della neve possono essere l'inaccessibilità dei pascoli e la stroncatura di branche di alberi.

La *rugiada* o *guazza* nella maggior parte dei casi non ha grande importanza data la piccola quantità d'acqua che si deposita, ma nelle regioni a clima molto arido rappresenta una risorsa notevole per le piante, soprattutto nel caso di forti umidità notturne e nei periodi con notti più lunghe (*precipitazioni occulte*).

La *brina* è rugiada a temperature inferiori a 0°C, e può causare danni ai tessuti più delicati nel corso della ripresa primaverile.

La *galaverna* consiste nella formazione di ghiaccio intorno ai tessuti vegetali che raggiungono temperature inferiori allo zero, ed in presenza quindi di alta umidità relativa (nebbia, pioggia); i danni sono soprattutto per gli alberi, quando il ghiaccio che si forma raggiunge un peso non sostenibile da rami e branche, che possono stroncarsi.

La *grandine* è una idrometeora essenzialmente dannosa, in quanto l'apporto idrico di una grandinata è in genere trascurabile, a fronte dei danni che può provocare. Come già accennato, la grandine deriva dalla condensazione di acqua negli strati alti dell'atmosfera, con temperature assai basse, intorno a pulviscolo atmosferico; oltre una certa massa il ghiacciolo precipita, avendo raggiunto un diametro che di solito è tra i 5 e i 50 mm. Le dimensioni del ghiacciolo, e quindi il potenziale distruttivo della grandinata, dipendono in modo inversamente proporzionale dalla quantità di pulviscolo presente nell'atmosfera; quindi, perché i chicchi di grandine non possano ingrossare molto, è necessario che i nuclei di condensazione siano numerosi; in tal caso i chicchi potranno sciogliersi prima di

raggiungere il suolo, o le piante.

La difesa contro la grandine può essere "attiva" o "passiva". Concettualmente la difesa attiva consiste nell'intervenire durante l'evoluzione della nube grandinigena, in modo da annullare o diminuire gli effetti distruttivi della grandine al suolo. A sua volta la difesa attiva può essere diretta od indiretta. Appartiene alla difesa indiretta la cosiddetta "nucleazione artificiale" che consiste nell'immettere all'interno della nube grandinigena un'adeguata quantità di nuclei artificiali di "ghiacciamento" (di solito costituiti da particelle di ioduro d'argento o di piombo), in modo da aumentare notevolmente il numero dei chicchi a scapito delle loro dimerizioni e quindi della loro pericolosità.

La nucleazione artificiale si può ottenere o mediante appositi razzi vettori che liberano i nuclei di ghiacciamento nella nube grandinigena esplodendo all'interno di essa, oppure mediante "inseminazione" dall'alto (a mezzo di aerei che sorvolano le nubi) o dal basso (mediante combustione delle sostanze reagenti in appositi fornelli installati al suolo).

Sempre alla difesa preventiva appartengono i razzi antigrandine che, lanciati fino ad un'altezza di circa 2 000 m da apposite postazioni, esplodono provocando un'onda d'urto destinata a sfaldare i chicchi di grandine presenti entro un certo raggio dal punto di deflagrazione.

La difesa diretta consiste nell'impedire che la grandine battente raggiunga le colture e si attua con l'impiego delle *reti antigrandine*. Questo tipo di difesa è attuato principalmente in arboricoltura (Fig. 2.19), poiché necessita di strutture fisse e costose, ed è quindi giustificato solo da colture ad alto reddito. Quest'ultima tecnica è l'unica in grado di dare risultati certi.

La difesa passiva consiste nel risarcimento dei danni causati dalla grandine alle colture, in base ai benefici previsti dal "fondo di solidarietà nazionale" istituito con la legge 25 maggio 1970 n. 364 per i consorzi volontari di difesa delle colture pregiate. Tali consorzi possono semplicemente stipulare contratti di assicurazione per conto dei propri aderenti, oppure possono anche attuare interventi attivi di difesa antigrandine.

2.3.3 Evapotraspirazione

In normali condizioni colturali il suolo perde acqua anche per evaporazione. L'acqua che evapora dal suolo nudo ed umido corrisponde più o meno a quella che evapora da uno

specchio d'acqua libero che abbia la stessa esposizione e temperatura. Nelle zone aride l'evaporazione dal suolo è nettamente inferiore alla traspirazione delle piante perché l'orizzonte superficiale asciutto protegge dalle perdite idriche gli orizzonti sottostanti. Nelle misurazioni di campagna è difficile separare l'acqua perduta dal suolo per evaporazione da quella perduta per traspirazione dalle piante e perciò le due quantità vengono stimate assieme come *evapotraspirazione* (ET). Essa rappresenta la somma dell'acqua perduta per *evaporazione* e per *traspirazione*. Esistono vari metodi e formule per misurare l'ET la cui trattazione esula dai nostri scopi, tuttavia è opportuno sottolineare che L'ET dipende dalla radiazione solare, dalle condizioni dell'atmosfera (umidità, vento, ecc.), dalla dotazione idrica del terreno, nonché dalle caratteristiche della vegetazione.

Risulta tuttavia necessario introdurre i termini di *evapotraspirazione potenziale* (ETP) cioè l'acqua evaporata in un certo periodo di tempo da un terreno coperto di vegetazione fitta, bassa, omogenea, in piena attività di sviluppo, ottimamente rifornita di acqua, che ombreggi completamente il terreno e di notevole estensione, e di *evapotraspirazione reale* (ETR) cioè l'acqua realmente perduta da una superficie per evaporazione e per traspirazione (Fig 2.20). ETR è al massimo uguale ad ETP, spesso ne è inferiore: il suolo infatti, nel caso che l'acqua scarseggi, vede diminuita grandemente la sua capacità evaporante, in quanto il fronte bagnato si ritira negli strati sottosuperficiali dove l'evaporazione avviene con un ritmo molto ridotto; da parte loro i vegetali, se l'acqua fa loro difetto ed il potere evaporante dell'atmosfera è grande, reagiscono con un meccanismo di difesa efficace per difenderli da squilibri idrici troppo forti: chiudono gli stomi. Essi così facendo determinano la riduzione di ETR, ma anche una drastica limitazione degli scambi di CO₂ tra atmosfera e apparato assimilatore (Fig. 2.20). Pertanto la massima attività assimilatoria di un vegetale si ha quando ETR=ETP; ogni volta che ETR < ETP la fotosintesi, e quindi l'attività vegeto-produttiva, viene ad essere rallentata.

2.4 Vento

Anche la eccessiva ventosità può pregiudicare la produttività di una zona, soprattutto se non si fa ricorso a frangivento idonei sia consortili, sia aziendali, di cui troppo spesso si sente la mancanza. I rapporti che intercorrono tra questo fattore climatico e le piante sono vari e molteplici.

Una moderata ventilazione è benefica soprattutto durante l'antesi, in quanto favorisce l'impollinazione anemofila. In generale, poi, essa attiva la traspirazione ed esercita un favorevole effetto sulla temperatura delle piante e sulle condizioni microambientali, impedendo il formarsi di un regime termoigrometrico (caldo-umido) favorevole alla diffusione di molte malattie.

Sono invece dannosi i venti forti e persistenti. Essi, soprattutto nel caso di piante arboree, influiscono negativamente sul portamento e sulla conformazione stessa delle piante che si sviluppano marcatamente asimmetriche e cioè con la chioma protesa in direzione opposta a quella da cui provengono i venti dominanti (*chioma a bandiera*, Fig. 2.21).

Una eccessiva ventilazione esalta i caratteri xeromorfici, portando ad una più ridotta superficie fogliare, ad un portamento più raccolto e compatto della parte aerea, ad un aumento della traspirazione, non sempre compensati da un proporzionale aumento dell'assorbimento radicale: da questo squilibrio possono derivare caratteristiche manifestazioni di carenza idrica, quali l'accentuata cascola dei frutti, il disseccamento del lembo fogliare, la filloptosi, ecc. Se poi i venti sollevano e trasportano granelli di sabbia, allora si può verificare una vera e propria "smerigliatura" degli organi investiti dal vento ed in particolare di quelli non lignificati. Il vento può anche favorire l'allettamento dei cereali in determinati periodi.

Un'altra azione negativa del vento è l'erosione eolica, cioè il distacco ed il trasporto degli strati più superficiali del terreno in zone più o meno distanti da quella di prelevamento. Pur se in Italia questo fenomeno non è rilevante, esso costituisce un motivo di crescente preoccupazione in ampie zone agricole del mondo.

Nelle zone soggette a persistente azione dei forti venti i frutteti devono essere protetti da adeguate "barriere frangivento". Queste possono essere, almeno inizialmente, rappresentate da semplici filari di canna (*Arundo donax*) o da schermi "inerti" (cannicciati, reti di plastica, ecc.), ma successivamente devono essere costituite da filari di idonee essenze arboree di alto fusto ed a rapido accrescimento, quali l'eucalipto ed il pioppo; quali frangivento possono essere anche usati il cipresso e lo stesso olivo. Anche i cereali e altre colture di pieno campo come la patata si avvantaggiano dei frangiventi, nelle zone in cui il vento è un problema anche per le colture erbacee; in tali condizioni l'uso dei frangiventi può portare a incrementi di produttività stimati tra il 10 e il 50%.

L'efficacia delle fasce frangivento si estende per una lunghezza pari a circa 10 volte la loro altezza; pertanto debbono essere ripetute ad intervalli regolari (ogni 100-200 m circa) per assicurare un adeguato riparo per le colture (Fig. 2.22). Esse devono inoltre essere di una densità appropriata (Fig. 2.23).

L'impiego di frangivento comporta alcuni inconvenienti quali:

- occupazione di una parte non indifferente di terreno, che viene così sottratta alle colture;
- competizione radicale che può stabilirsi tra gli alberi frangivento e quelli più prossimi da proteggere;
- modificazioni indotte nelle condizioni microclimatiche che tendono a presentare una più ampia escursione termica ed igrometrica;
- possibile diffusione di malattie e di fitofagi eventualmente ospitati dalle essenze usate come frangivento.

2.5 Inquinamento

In certi casi l'atmosfera può risultare inquinata e dannosa per la vita delle piante. L'inquinamento può dipendere da fatti naturali, come nel caso del trasporto di polvere, eruzioni vulcaniche, sabbia, ghiaccio, sale, polline e spore, oppure può dipendere da fatti artificiali come nel caso di ceneri, fumi o sostanze gassose prodotti da fabbriche, abitazioni e motori di automobile.

Tra le sostanze tossiche più comuni ricorderemo l'*anidride solforosa* (SO₂), che è considerata una delle più dannose e frequenti perché di solito presente nei fumi degli impianti industriali, l'*acido fluoridrico*, che proviene dalla combustione dei carboni fossili e dalle fabbriche di perfosfati ed alluminio, l'*acido solfidrico* (H₂S), ecc.

La combinazione della nebbia col fumo ed i residui gassosi delle grandi città e dei complessi industriali costituisce lo *smog*. Esso contiene, tra l'altro, i vapori liberati dai motori a combustione interna che reagendo con l'ozono, formano dannose perossidasi olefiniche, acidi ed aldeidi.

Le piante sottoposte allo smog presentano clorosi, striature e metallizzazione delle foglie. Tra le specie più sensibili ricorderemo l'erba medica, l'avena, la bietola da orto, lo spinacio e l'endivia; tra le più resistenti il fagiolo, il frumento, il mais ed il cavolo.

3 LA PIANTA

3.1 Le piante e l'acqua

L'acqua è essenziale per l'accrescimento delle piante e, nella fase di attiva crescita, può costituire tra il 70 e il 95% del peso fresco totale, nelle piante erbacee. A maturità le specie da granella hanno di solito perso la gran parte dell'acqua, che costituisce solo il 5-30% del peso. Inoltre, acqua è costantemente perduta attraverso la traspirazione, e sostituita dall'assorbimento dal suolo operato dal sistema radicale. Un ettaro di vegetazione ben illuminata, in un giorno d'estate, può perdere 25 tonnellate di acqua ed oltre. Questo significa la necessità di irrigare con 25 mm di acqua ogni 10 giorni.

L'umidità dell'aria è anch'essa un regolatore della vegetazione, poiché concorre a condizionare l'attività traspiratoria. È noto che un eccesso di traspirazione sull'assorbimento radicale può condurre a gravi conseguenze per la pianta che non possa compensare lo squilibrio tra le due funzioni. L'umidità dell'aria ha un caratteristico andamento giornaliero ed annuo e aumenta con l'aumentare della temperatura. Inoltre essa varia con l'altitudine.

Una deficienza di umidità atmosferica può essere compensata da un aumento di quella del terreno, mentre invece una deficienza di acqua nel terreno può essere compensata solo da idonei interventi culturali, come l'irrigazione.

Alle mutevolissime condizioni che presentano atmosfera e terreno nei confronti dell'umidità corrispondono esigenze altrettanto varie delle piante. Si hanno nei vegetali forme di adattamento a condizioni di umidità deficiente, media, abbondante o variabile (piante *xerofite*, *mesofite*, *igrofito*, *tropofite*).

Il costante movimento dell'acqua attraverso la pianta è fondamentale per la sua sopravvivenza. Il flusso traspirativo porta elementi essenziali dal terreno ai siti in cui essi sono necessari. Il flusso idrico permette altresì la traslocazione di assimilati prodotti nelle foglie verso altre parti della pianta, per nuova crescita o per costituire riserve. L'acqua ha quindi un essenziale compito di trasporto.

L'acqua conferisce anche resistenza meccanica alla pianta nei tessuti non lignificati. La pressione osmotica delle cellule vegetali indica la misura in cui queste assorbono acqua e divengono turgide e rigide. Quando si ha un'eccessiva perdita d'acqua le cellule mostrano un afflosciamento che macroscopicamente significa appassimento. Carenze idriche prolungate portano ad appassimento irreversibile e a morte dei tessuti e della pianta, (Fig. 3.1).

Le conseguenze che hanno nel campo agricolo l'eccesso o la deficienza di umidità del terreno e dell'aria sono molteplici e spesso d'importanza vitale. La quantità d'acqua disponibile per la pianta influisce sulla rapidità di crescita, sulle caratteristiche vegetative, sulla composizione nelle diverse fasi di sviluppo, sulla produzione e sulla qualità del prodotto, sulla resistenza ad alcune malattie.

Un altro fattore da prendere in considerazione nella valutazione dell'idoneità di un determinato ambiente è il rapporto tra evapotraspirazione e precipitazioni utili. In questo caso la formulazione di un bilancio idrico consente di commisurare le esigenze delle piante alla disponibilità di acqua meteorica e di trarne indicazioni razionali. Tenuto conto delle esigenze biologiche delle piante, le piogge dovrebbero essere complessivamente adeguate al consumo idrico annuale delle singole colture e ben distribuite nelle diverse stagioni. Purtroppo queste condizioni non si verificano nel nostro paese dove le precipitazioni tendono ad essere scarse e, generalmente, irregolari. Per esempio, alcune colture (mais, arboreti da frutto, ecc.) possono essere attuate senza ricorrere a particolari sistemi di irrigazione solo nelle zone caratterizzate da precipitazioni sufficienti ed adeguatamente distribuite secondo le esigenze idriche della specie che si intende coltivare.

Nel caso delle piante arboree, una buona piovosità è indispensabile soprattutto all'inizio del

ciclo vegetativo, quando è necessaria un'elevata attività radicale per favorire un'adeguata nutrizione minerale e disponibilità idrica alle piante in fase di accrescimento. Effetti favorevoli hanno anche le piogge estive quando, oltre ad evitare problemi di stress idrico, favoriscono la crescita dei frutti anche grazie ad una maggiore attività fotosintetica. Le piogge di fine estate possono, talvolta, creare qualche problema, prolungando eccessivamente il periodo vegetativo o favorendo malattie. Nel caso dei seminativi, invece, il regime ideale dipende da specie ed epoca di semina, anche se una buona piovosità primaverile è sempre benvenuta.

Nelle ultime fasi di maturazione di vari tipi di frutta (es. uva, ciliegie) le abbondanti piogge possono provocare fenomeni di turgescenza cellulare con conseguente rottura dell'epicarpo. Nella vite questo evento espone gli acini a vari tipi di "marciume".

3.1.1 Stress da carenza idrica

Numerosi processi fisiologici nelle piante sono legati agli stress idrici. La crescita della cellula, la sintesi della parete cellulare e delle proteine sono processi assai sensibili agli stress idrici, che li influenzano in senso negativo. Gli stomi si chiudono (aumenti di ABA) quando l'umidità cala oltre certi valori: questo riduce gli scambi di CO₂, e quindi la fotosintesi e, di conseguenza, le produzioni (Fig. 3.2).

Gli stress idrici provocano nelle piante numerose alterazioni anatomiche e fisiologiche. Le piante che hanno subito tali stress presentano di solito cellule e spazi intercellulari più piccoli, cuticola e pareti cellulari più spesse, lamine fogliari ridotte, stomi più piccoli e numerosi, palizzata del mesofillo più sviluppato e tessuto lacunoso più ridotto, pareti delle cellule epidermiche meno sinuose, accentuate produzioni epidermiche lipidiche e cerose, maggiore densità dei peli nelle foglie pubescenti ed anche cellule xilematiche più piccole e più grande sviluppo dei tessuti meccanici. La perdita di turgore e la ridotta espansione e divisione cellulare, conseguenza dei deficit idrici, determinano infine una riduzione dell'accrescimento delle parti aeree e quindi un proporzionale aumento dell'apparato radicale.

A queste modificazioni *xeroplastiche* si accompagnano alterazioni fisiologiche. Fra queste assumono particolare rilevanza la diminuzione di fotosintesi e i cambiamenti che avvengono nella respirazione che in un primo momento cresce per poi in seguito calare a livelli più bassi. Al contrario le reazioni idrolitiche, quali per esempio la trasformazione dell'amido in zuccheri e delle proteine in aminoacidi, risultano accentuate per cui la pressione osmotica delle cellule aumenta; la degradazione dell'RNA diviene più rapida della sintesi con riflessi negativi sulla produzione enzimatica e sullo sviluppo; risultano infine anticipate la fioritura, la fruttificazione e la senescenza delle foglie.

Da qui l'importanza di fornire sufficiente acqua alle colture quando necessario. Infatti, le fasi critiche di accrescimento sono invariabilmente legate ai periodi in cui lo stress idrico può essere più dannoso. Così è la fase di attecchimento, quando le semine sono primaverili e non piove a sufficienza per la germinazione e il successivo sviluppo dei semenzali; così è la fase di attiva crescita di fusto e foglie; così, ancora, è la fase di fioritura e allegagione nei fruttiferi e nelle erbacee da granella: una produzione adeguata di polline e il processo di fecondazione richiedono acqua; lo stesso vale per lo sviluppo del seme e del frutto.

La determinazione dell'acqua necessaria alla pianta, e delle quantità che devono essere

apportate oltre quelle disponibili in natura, è un compito assai complesso, in quanto i fattori da prendere in considerazione sono numerosi (Fig. 3.3).

3.1.2 Stress da ristagno idrico

Il ristagno idrico insorge quando il contenuto di acqua del terreno persiste su livelli superiori alla capacità di campo fino a raggiungere la completa saturazione dei pori. Il ristagno può essere solo sotterraneo o risultare manifesto anche sulla superficie del terreno. Esso è raro nei terreni a tessitura grossolana mentre può ricorrere facilmente nei terreni argillosi o limosi non sufficientemente drenati e regimati.

I terreni soggetti a ristagno idrico subiscono il disfacimento degli aggregati strutturali, l'abbassamento del potenziale di ossidoriduzione, l'arresto dei processi di nitrificazione e l'avvio dei processi di denitrificazione, l'aumento del contenuto di anidride carbonica e di etilene, la formazione di idrogeno solforato, di ammoniaca e di tossine; l'attività dei microrganismi aerobi diminuisce marcatamente, sostituita da quella dei microrganismi anaerobi.

Le conseguenze per le colture sono spesso gravi, soprattutto se la situazione anomala si protrae a lungo e senza rinnovo dell'acqua in eccesso. L'effetto più importante è l'asfissia radicale conseguente al ridotto contenuto di aria del terreno. Le radici deperiscono progressivamente, imbruniscono, poi si imbevono di acqua presentando vistosi sintomi di lenticellosi, infine marciscono sfaldandosi; intorno a esse si forma spesso un caratteristico manicotto costituito da particelle argilliformi di colore grigio-cinereo, emanante uno sgradevole odore di zolfo. La carenza di ossigeno provoca poi fenomeni di fermentazione cellulare, con formazione di composti tossici, come l'acido cianidrico, che contribuiscono alla morte delle radici. Negli alberi in vegetazione i primi sintomi dell'asfissia radicale sono rappresentati dal disseccamento del lembo delle foglie a partire dal margine. Con l'aggravarsi della situazione si può giungere alla morte dell'intera pianta. Diversa è la sensibilità delle varie specie all'asfissia radicale. In ordine decrescente di resistenza alla prolungata sommersione delle radici, tra i fruttiferi si classificano il diospiro, la vite, il cotogno, il mirabolano, il melo, il pero, il ciliegio dolce, l'albicocco, il pesco, il magaleppo e il mandorlo. Per quanto riguarda i portinnesti clonali del melo l'M 7 e l'M 9 sono più resistenti dell'M 2, dell'M 26 e dell'M 109. Tra le erbacce il riso è assai resistente, mentre dal lato opposto il tabacco subisce danni permanenti dopo pesanti piogge che si prolunghino per più di un giorno o due.

3.2 Le piante e gli elementi minerali

La dimostrazione che le piante necessitano di assorbire sostanze diverse dall'acqua fu fornita per la prima volta nel 1699 dal botanico inglese John Woodward. Egli fece crescere piantine di menta in acqua piovana, in acqua di fiume, in acqua distillata e in acqua alla quale era stato aggiunto del terreno; quando dopo qualche tempo pesò le piantine dovette concludere che l'accrescimento non poteva che essere collegato a sostanze sciolte nell'acqua.

La crosta terrestre è composta da oltre 90 diversi elementi chimici, e dalle analisi delle ceneri delle piante noi sappiamo che queste possono contenerne fino a 50-60. Sono tutti essenziali per crescita e sviluppo, o la pianta prende dal terreno quello che trova? L'argomento fu studiato in

modo sistematico per la prima volta nel 1860 dal fisiologo tedesco Julius Sachs, che utilizzava piante allevate con le radici immerse in soluzioni di sali minerali (coltura idroponica). Egli vide che molte piante crescevano in modo soddisfacente se nella soluzione erano presenti solo tre sali: nitrato di calcio, fosfato potassico e solfato di magnesio. Se uno dei sei elementi (N, K, P, Ca, S, Mg) veniva ommesso dalla soluzione la pianta non cresceva più normalmente, e Sachs concluse che questi 6 elementi erano essenziali per la pianta. Più tardi aggiunse alla lista anche il ferro. Oggi si ritiene che le soluzioni nutritive usate da Sachs fossero contaminate con piccole quantità di altri minerali. La chimica moderna ha reso possibile l'uso di prodotti più puri, e quindi nella prima metà di questo secolo si è potuto accertare che le piante necessitano di quantità minime (tracce) di altri sette elementi, oltre al ferro: boro, rame, cloro, manganese, molibdeno, nichelio e zinco. Quindi gli elementi essenziali per le piante sono 14. Carenze di questi elementi possono determinare una crescita anormale, oltre a causare problemi sanitari negli animali nutriti con materiale vegetale con tali carenze.

Qualche altro elemento sembra essere necessario solo per alcune specie. Il sodio è gradito dalle piante alofile. Le diatomee, e qualche cereale come il riso, hanno bisogno di silicio. I microrganismi azotofissatori necessitano di cobalto (e quindi la presenza di cobalto nel terreno è un fattore importante nella produttività di molte leguminose).

Altri elementi possono essere assorbiti anche se non necessari; talvolta se ne capisce la ragione, come per il selenio che rende la pianta velenosa per i mammiferi, altre no. I vari elementi sono comunque presenti nei tessuti vegetali in quantità assai variabili (Fig. 3.4)

Gli attacchi chimici e fisici dell'ambiente determinano una graduale disintegrazione delle particelle del terreno. Alcuni minerali si dissolvono con facilità, altri molto lentamente, altri ancora precipitano dopo essere stati solubilizzati. Tutti gli elementi nutritivi devono essere disciolti nella soluzione circolante prima di poter essere assorbiti dalle piante; la fertilità del suolo non è quindi data dalla quantità bruta di elementi minerali utili, ma dalla quantità di questi che è nella soluzione circolante o in forma utilizzabile, negli orizzonti superficiali del terreno.

Gli elementi sono presenti nell'acqua sotto forma di ioni; la tabella 3.1 mostra i vari cationi e anioni dei principali elementi che sono presenti nella soluzione circolante.

3.2.1. Azoto

L'azoto è l'elemento nutritivo che ha la maggiore influenza su accrescimento e sviluppo. È uno dei componenti base per la formazione delle cellule e dei tessuti, e inoltre influenza il metabolismo della pianta entrando nella formazione di aminoacidi e proteine, degli alcaloidi, degli acidi nucleici, di un gran numero di ormoni e vitamine.

L'effetto dell'apporto di azoto alle piante è molto evidente, in quanto queste mostrano maggior rigoglio vegetativo insieme a una colorazione verde più intensa delle foglie, e più rapido accrescimento. La forma azotata che le piante preferiscono nel terreno è quella *nitrica*, anche se importanti specie coltivate (riso, avena, mais, ecc.) possono assorbire pure quella *ammoniacale*. Vi è poi un gruppo di piante (tra le quali importanti sono le leguminose) che convive in simbiosi con alcuni batteri (*Rhizobium spp.*) fornendo loro energia e probabilmente anche sostanze nutritive, ricevendo in cambio forme di azoto organico che è in grado di utilizzare. L'importanza dell'azoto è evidente in agricoltura, ed i concimi azotati sono di gran lunga i più utilizzati, anche perché praticamente non esistono minerali di azoto, e in natura le piante lo possono ottenere solo attraverso la mineralizzazione della sostanza organica. Le dosi più adatte non sono però le stesse per ogni coltura, né per ogni ambiente, e vanno valutate con cura nelle varie situazioni.

La *carenza di azoto* determina un accrescimento stentato e lento fin dai primi stadi, aumenta la possibilità di turbe all'apparato riproduttivo, determina un periodo vegetativo abbreviato, un aumento dell'acidità dei nuclei e numerosi altri squilibri a livello cellulare ed enzimatico che si evidenziano visivamente con una vegetazione scarsa, mal distribuita e di colore giallastro o verde pallido per arrivare, a volte, fino alla necrosi delle foglie e dei rami più giovani. Mentre in passato le carenze di azoto erano frequenti, oggi che i concimi azotati sono disponibili a prezzi accettabili il problema più comune è quello dell'eccesso di questo elemento nelle piante.

L'*eccesso di azoto* determina: eccessivo rigoglio vegetativo che modifica l'equilibrio che nella pianta deve esistere tra fase vegetativa e fase riproduttiva, privilegiando la prima; rallentamento della velocità di sviluppo della pianta (le piante quindi fioriscono, fruttificano e maturano in un tempo più lungo); più forte consumo idrico a causa del maggiore sviluppo dell'apparato fogliare e per la maggiore quantità di sostanza organica formata; minore resistenza alle avversità, siano esse parassiti animali, patogeni o agenti atmosferici: quando il rapporto C/N è troppo basso i tessuti meccanici della pianta tendono a svilupparsi poco e la lignificazione è ridotta, il che riduce la resistenza meccanica (*allettamento* nei cereali, Fig. 3.5); peggioramento della qualità dei frutti, che risultano così meno saporiti e meno adatti alla conservazione; riduzione della concentrazione di zuccheri nei tessuti di riserva, il che può essere estremamente negativo in colture che su tali sostanze basano la loro qualità come la vite, la barbabietola, ecc.; eccessivo assorbimento e accumulo di ioni nitrici, che in colture tipo quelle da foraggio può provocare danni non tanto alla pianta in sé quanto agli animali che se ne nutrono.

La presenza di azoto nitrico in eccesso nel terreno, rispetto alle capacità di assorbimento delle piante e di altri organismi, può costituire un pericolo per l'equilibrio di tutto l'ambiente: trattandosi di ioni assai dilavabili, in zone dove l'impiego di azoto è eccessivo essi vengono trasportati dall'acqua nelle falde acquifere inquinandole e provocando danni ecologici anche rilevanti (Fig. 3.6).

Azoto può essere perduto dal terreno anche in virtù dell'attività di microrganismi denitrificanti, attivi soprattutto in condizioni di scarsa areazione, che determinano il passaggio dell'azoto minerale a azoto elementare, quindi gassoso.

3.2.2 Fosforo (Fig. 3.7)

È un elemento fondamentale per le funzioni vitali degli organismi vegetali, pur se la sua incidenza quantitativa nelle ceneri non è molto alta. E' un componente della molecola nucleoproteica ed in particolare degli acidi nucleici; entra nei composti responsabili degli scambi energetici (ATP e ADP); è presente in molecole che intervengono nella fotosintesi; è contenuto in importanti sostanze di riserva come la *fitina* e i *fosfolipidi*, che costituiscono anche le membrane cellulari.

Il fosforo, a differenza dell'azoto, accelera e favorisce tutti i fenomeni attinenti alla fioritura, alla fruttificazione, alla maturazione del seme, alla lignificazione dei tessuti e alla resistenza alle malattie; è particolarmente importante nelle fasi più rapide dell'accrescimento, in quanto favorisce l'attività dei meristemi. Le piante erbacee mostrano in genere fabbisogni di fosforo maggiori rispetto alle piante arboree, e la presenza di fosforo nei foraggi ha effetti positivi sulla salute dei ruminanti (in particolare quelli da latte).

Il fosforo è poco mobile nel terreno, e la sua disponibilità è fortemente influenzata dal pH (Fig. 3.8). Quindi una buona presenza dell'elemento nel terreno non garantisce una sua sufficiente disponibilità; inoltre va tenuto presente che poco del fosforo assorbito ritorna al terreno, in

quanto esso è presente soprattutto nella granella ed in altre produzioni che sono raccolte. Non sono quindi rari fenomeni di carenza.

I sintomi di *carenza* (Fig. 3.9) si manifestano sotto forma di ridotto sviluppo vegetativo (soprattutto negli organi ipogei), ritardo nel ciclo vegetativo, scarsa allegagione e formazione dei semi, imbrunimenti e precoce filloptosi.

L'*eccesso di fosforo* si traduce in un ciclo vegetativo accorciato, allegagione eccessiva ma con risultati produttivi insoddisfacenti.

3.2.3. Potassio

Il potassio non è un costituente delle sostanze strutturali fondamentali della pianta, ma è essenziale per la sintesi degli aminoacidi e delle proteine a partire dagli ioni ammonio. Una quantità adeguata di potassio è anche essenziale per una fotosintesi efficiente, e l'elemento partecipa anche ai meccanismi di trasporto di altri elementi attraverso le membrane cellulari. In generale la sua presenza risulta in una migliore qualità di fiori, semi e frutti, in resistenza alle malattie ed a fenomeni come l'allettamento.

I fenomeni di *carenza del potassio* sono abbastanza rari, poiché la parte asportata torna quasi integralmente al terreno con il concime organico e con i residui colturali; inoltre i terreni italiani sono spesso sufficientemente dotati di potassio. Nonostante ciò, in particolari situazioni, per esempio in presenza di alti livelli di concimazione azotata e fosforica, il potassio può divenire un fattore limitante. In tali casi si possono manifestare carenze con deboli clorosi (Fig. 3.10), disseccamento degli apici dei germogli e dei margini fogliari, ridotta pezzatura dei frutti. Quando invece il potassio è in eccesso le piante ne assorbono in quantità anche molto superiore al fabbisogno, con relativo spreco economico. L'eccesso di potassio può anche causare una carenza nell'assorbimento del magnesio, in quanto esiste un rapporto antagonistico fra lo ione K e lo ione Mg.

3.2.4 Calcio

È essenziale per il normale sviluppo dei meristemi, ed è un costituente fondamentale delle pareti, come pectato. È abbondante soprattutto nelle parti vecchie della pianta. Si tratta quindi di un elemento che deve sempre essere presente in quantità sufficienti, cosa che di solito avviene; infatti è l'elemento alcalino più importante nei terreni, ed ha la funzione importantissima di mantenere la reazione del terreno intorno alla neutralità. Nei casi in cui venga dilavato il pH si abbassa rapidamente, e si rendono necessarie correzioni (*calcitazioni*) per restaurare valori di pH compatibili con le coltivazioni.

Nei nostri terreni la *calcio-carenza* è rara; è più frequente in terreni torbosi e acidi dove può manifestarsi con butteratura amara nelle mele e disseccamento del rachide nella vite. In caso di eccesso si possono avere problemi nell'assorbimento di altri elementi quali fosforo, potassio, magnesio, ferro (*clorosi ferrica*), dovuti all'effetto di competizione del catione Ca nei loro confronti.

3.2.5 Magnesio

Il magnesio è un altro elemento essenziale per la crescita delle piante, poiché è un importante costituente della molecola della clorofilla e di altri pigmenti, e svolge funzioni simili a quelle del potassio. E' catalizzatore e attivatore delle carbossilasi, attive nella demolizione dei carboidrati, favorisce la migrazione e l'accumulo del fosforo. Carenze si presentano più facilmente nei terreni sabbiosi e acidi, e comunque soggetti a dilavamento delle basi. Subisce la competizione di Ca e K. I sintomi sono tipiche manifestazioni clorotiche (soprattutto nelle foglie più vecchie) con decolorazioni nelle zone internodali delle foglie. Nella barbabietola, come la patata molto sensibile alla Mg-carenza, si è anche riscontrato un alterato rapporto fra amidi e zuccheri e una più forte sensibilità agli attacchi di cercospora.

3.2.6 Zolfo

Assorbito dalle piante come solfato, è presente nelle piante in discrete quantità, partecipa alla formazione di molte proteine ed è indispensabile per la fotosintesi. Carenze di questo elemento sono rare, in quanto viene apportato al suolo anche come componente o come impurità dei concimi, come antiparassitario, come componente dei diserbanti, oltre che dalla pioggia; si possono manifestare carenze nei terreni molto sciolti, con ingiallimento fogliare, fusti sottili, peggioramento della qualità dei prodotti. Negli ultimi decenni lo zolfo si è manifestato come un pericolo per le piante, nelle zone industrializzate, in quanto presente nelle piogge acide.

3.2.7 Ferro

Pur se non entra a far parte della molecola della clorofilla, la *carenza di ferro* risulta in clorosi fogliare. Esso è presente soprattutto nei cloroplasti, e regola un gran numero di reazioni enzimatiche, comprese quelle della respirazione. Oltre che da deficienza di ferro la clorosi può essere determinata indirettamente da un eccesso di calcio, che provoca la fissazione del ferro come idrato e quindi la sua indisponibilità per la pianta.

3.2.8 Boro

Non fa parte di sistemi enzimatici, ma regola l'attività di numerosi enzimi. Agisce sulla formazione degli organi della riproduzione e dei frutti, sul processo di moltiplicazione cellulare e sulla traslocazione dei glucidi, oltre a regolare l'assorbimento degli altri ioni. La *boro-carenza* è favorita da terreni con pH anomalo e con scarsa sostanza organica; la carenza si manifesta più frequentemente nei fruttiferi (ma anche in barbabietola e tabacco) con necrosi dei tessuti floematici, tessuto sugheroso nella polpa (mele), maggiore sensibilità alle infezioni fungine (cicoria, orzo), acinellatura e mal del piombo (vite).

3.2.9 Manganese

Ha un ruolo essenziale nella respirazione e nel metabolismo azotato, catalizza la sintesi clorofilliana e numerose altre reazioni. *Carenza*: fenomeni di marcescenza e clorosi nelle zone internodali delle foglie, fusti ingialliti.

3.2.10 Zinco

Lo zinco è importante nella sintesi del triptofano, un precursore dell'auxina; è quindi legato ai fenomeni di accrescimento, oltre che alla rizogenesi avventizia nelle talee. L'elemento è presente in numerosi enzimi della pianta (deidrogenasi, proteinasi, peptidasi), e la sua carenza ha effetti negativi sui contenuti in acidi nucleici. Ha anche un effetto sul bilancio idrico della pianta. Le carenze si manifestano con foglie clorotiche e necrotiche, talvolta arricciate (vite), a cominciare dalle più giovani, mal della rosetta (mancato accrescimento degli internodi).

3.2.11 Rame

Il ruolo del rame nelle piante è poco conosciuto. L'elemento è comunque necessario per le reazioni enzimatiche di ossido-riduzione. È possibile un suo ruolo nella fotosintesi e nella formazione di vitamina A. La sua carenza è favorita da terreni calcarei e ricchi di fosforo, ed è comunemente scongiurata dall'impiego di antiparassitari rameici. Nella barbabietola l'accrescimento si arresta, le foglie mostrano chiazze clorotiche, ed il contenuto zuccherino delle radici è ridotto.

3.2.12 Molibdeno

E' indispensabile per il metabolismo dell'azoto, in quanto componente di nitrogenasi e di nitrato-riduttasi. La sua *carenza* limita l'utilizzo dei nitrati, soprattutto nei terreni più acidi, e quindi determina ridotto sviluppo, macchie clorotiche, scarsa produttività. Singolarmente, le piante tollerano quantità estremamente alte di molibdeno senza mostrare sintomi di sofferenza da eccesso.

3.2.13 Cloro

Contribuisce alla regolazione della pressione osmotica. La pioggia normalmente ne apporta quantità sufficienti. Riduce la combustibilità delle foglie di tabacco.

3.2.14 Tossicità degli elementi

Gli effetti tossici non sono limitati ad eccessi di elementi essenziali; altri elementi, non essenziali, come piombo, nichelio e alluminio, possono causare tossicità quando presenti in adeguate concentrazioni. Pur se eccessi di elementi tossici possono essere presenti nei terreni, il problema è principalmente legato alle conseguenze dell'attività dell'uomo, come scarichi urbani, inquinamento atmosferico, residui di lavorazioni industriali e minerarie.

Gli elementi presenti come sali solubili nel terreno possono avere due tipi di effetti deleteri sulle piante: il primo, generico, è legato all'aumento della concentrazione della soluzione circolante, con conseguente stress osmotico; il secondo, specifico, dovuto all'attività tossica di ioni particolari. Questo tipo di effetto può essere di diversa natura; alcuni elementi agiscono a livello radicale, come l'alluminio che può causare la morte dei peli radicali; altri, come i metalli pesanti, inattivano alcuni sistemi enzimatici. Alcune tossicità si manifestano sotto la forma di carenze indotte, come la carenza di ferro indotta dal rame o dal nichelio; l'alluminio induce la precipitazione del fosforo in forma insolubile all'interno delle cellule. I sintomi più comuni di

tossicità sono varie forme di clorosi, ridotto accrescimento e necrosi; essendo sintomi assai comuni, la diagnosi può richiedere un'analisi chimica dei tessuti.

3.2.15 Assorbimento radicale

Le piante assorbono le sostanze nutritive dal terreno, attraverso l'apparato radicale. Le fonti dalle quali le radici traggono nutrimento sono: la soluzione circolante (l'acqua del terreno con disciolti i sali minerali), gli ioni scambiabili ed i minerali prontamente disponibili. Queste tre fonti non sono però indipendenti, poiché la soluzione circolante è in equilibrio con i cationi scambiabili e con i composti fosfatici del terreno; se qualche principio nutritivo (ad eccezione del nitrato) viene asportato dalla soluzione, almeno una parte di questa perdita viene compensata dalle riserve nutritive insolubili presenti nel terreno.

La velocità del processo di assorbimento degli elementi nutritivi dipende dalle caratteristiche del terreno (un aspetto importante in questo senso è il pH, Fig. 3.12), che influenza la velocità con la quale le sostanze nutritive vengono trasportate nel terreno fino a contatto con le cellule superficiali dell'apparato radicale; l'assorbimento degli elementi nutritivi dipende però anche dalla pianta stessa (Tab. 3.2) ed in particolare dalla velocità con cui essi possono essere traslocati all'interno della medesima dai peli radicali ai tessuti di conduzione del fusto. La rapidità di questo processo dipende dalle dimensioni dell'apparato radicale e dalla velocità del suo accrescimento, dal fabbisogno che le parti epigee della pianta hanno di un certo elemento, dai processi di traslocazione che avvengono all'interno dello xilema, dalle condizioni fisiologiche delle cellule dell'apparato radicale. Una volta assorbiti, gli elementi nutritivi traslocano in forma inorganica; fa eccezione l'azoto che viene prontamente convertito, nelle stesse radici, in composti organici (amminoacidi o ammidi), quali l'acido aspartico, l'acido glutammico, ecc.

Le piante arboree possono assorbire elementi nutritivi anche attraverso gli organi epigei (tronco, branche, rami, foglie). Su questa proprietà si basa la concimazione epigea che consiste nell'irrorare soluzioni fertilizzanti sugli organi epigei dell'albero, in particolare sulle foglie (concimazione fogliare). Questa tecnica è particolarmente valida nei casi di carenza dei microelementi. L'assorbimento da parte degli organi lignificati avviene attraverso le naturali soluzioni di continuità della corteccia (lenticelle, fenditure dovute all'accrescimento diametrico, ecc.), oppure attraverso le ferite di potatura. Le foglie sono caratterizzate da una capacità di assorbimento maggiore anche se variabile da specie a specie e da momento a momento del ciclo vegetativo; le foglie giovani, ad esempio, hanno un potere di assorbimento più elevato di quelle adulte.

3.3 I fitoregolatori

Abbiamo già visto come la crescita e lo sviluppo nelle piante coltivate possano essere manipolati sia modificando l'ambiente che attraverso la somministrazione di elementi nutritivi e acqua. Ma le piante possiedono anche meccanismi di controllo interni, basati sulle proprietà di sostanze chimiche particolari, denominate regolatori di crescita, o *fitoregolatori*, sostanze che pur se presenti in minime quantità, producono effetti vistosi.

Negli animali in genere gli ormoni sono prodotti in organi specializzati per questa funzione; la sostanza viene quindi traslocata verso l'organo ove deve svolgere il suo compito, l'organo "bersaglio". Si ha quindi una estrema specificità di produzione, di bersaglio, e di azione. Inoltre è semplice distinguere tra l'organo che produce l'ormone, e quello che ne è destinatario. Nelle piante questa distinzione non è possibile (Fig. 3.12) in quanto spesso l'ormone, meglio detto "fitoregolatore", o "regolatore di crescita", agisce nello stesso sito in cui è formato. Inoltre i fitoregolatori si distinguono anche per scarsa specificità: per ogni processo sono necessari più fitoregolatori, anche se i loro rapporti reciproci variano, e ogni fitoregolatore presiede a più funzioni, o processi. I fitoregolatori si distinguono in *endogeni* (presenti naturalmente nella pianta) e *esogeni* (provenienti da trattamenti operati dall'uomo). Anche se gli scienziati avevano già ipotizzato nel corso del secolo passato che le piante possano contenere sostanze chimiche che controllano la loro crescita e sviluppo (Figg. 3.13, 3.14), l'isolamento del primo fitoregolatore naturale, l'acido indol-3-acetico (IAA), non si ebbe prima degli anni '40. Indoli sintetici e derivati del naftalene, disponibili dal 1904, furono somministrati alle piante per la prima volta negli anni '30, dopo che Went aveva dimostrato l'esistenza di un regolatore di crescita naturale, chiamato auxina da altri studiosi. Le auxine sintetiche furono quindi prodotte per usi in ortoflorofrutticoltura, e utilizzate inizialmente per ritardare la cascola o per diradare i frutti. Negli anni '40 fu prodotto un certo numero di *auxine sintetiche*, tra cui 2,4-D e 2,4,5-T, che ebbero successo come erbicidi. La scoperta delle *gibberelline* (GA) e delle *citochinine* seguì nel decennio successivo. In realtà le proprietà delle prime erano già conosciute sin dal 1926 in Giappone, ma ciò rimase sconosciuto in occidente sino al 1950. Le citochinine, che stimolano le divisioni cellulari, furono caratterizzate nel 1955 (zeatina), e composti sintetici con attività citochinino-simile (6-BAP) divennero disponibili negli anni '60. L'attività biologica di gas insaturi dei fumi, come *etilene* e *acetilene*, fu notata negli anni '20, ma la difficoltà di somministrare etilene alle piante ne ritardò l'uso in agricoltura. La successiva disponibilità di prodotti che cedono etilene come l'ethrel ha superato queste difficoltà, e adesso tali prodotti sono utilizzati ampiamente. L'ultimo gruppo di fitoregolatori endogeni a essere riconosciuto sono state le "abscissine", rappresentate dall'*acido abscissico* (ABA). Nonostante il nome lo indichi come agente dell'abscissione, l'ABA è considerato un inibitore dell'accrescimento, ed è attivo nel controllo dell'attività stomatica e nella regolazione dell'espressione genica.

3.3.1 Auxine

L'auxina naturale (IAA) (Fig. 3.15) svolge un ruolo importante nella moltiplicazione, distensione e differenziazione cellulare; queste proprietà sono quindi di stimolo all'accrescimento, ma a alte concentrazioni l'IAA esercita l'effetto contrario (Fig. 3.16). L'IAA promuove anche la dominanza apicale. Una delle prime applicazioni pratiche dell'auxina è stato lo stimolo alla rizogenesi in specie arboree da frutto e ornamentali. In molte piante le auxine possono stimolare la fioritura, l'allegagione, e regolare la cascola dei frutti.

L'IAA è sintetizzato nei meristemi e nei tessuti in accrescimento.

3.3.2 Gibberelline

Inizialmente si riteneva vi fosse una sola GA (*acido gibberellico* o gibberellic acid), ma negli anni diverse decine di GA sono state isolate, ognuna con minuscole differenze strutturali rispetto alla formula tipo (Se ne conoscevano 34 nel '74, 51 nel '77, 60 nell'83, 84 nel '90, 112 nel '98). Le GA sono più complesse delle auxine, e più difficili da sintetizzare; i prodotti commerciali (GA₃, GA₄, GA₇) sono isolati da funghi.

Il ruolo principale delle GA nelle piante è lo stimolo all'accrescimento in lunghezza, determinato dalla distensione cellulare (Fig. 3.17). Favorendo la moltiplicazione cellulare nel meristema subapicale ostacolano la induzione e differenziazione a fiore. Le GA accelerano anche l'espansione fogliare, e la fioritura in piante che richiedono vernalizzazione (carota). Piante con vegetazione a rosetta (bietola) salgono a fiore (sviluppo di un fusto) se trattate con GA; piante geneticamente nane possono crescere normalmente dopo somministrazioni di GA. La GA può ridurre il fabbisogno in freddo in semi dormienti (Fig. 3.18), e favorire la dominanza apicale; stimola anche la partenocarpia nell'uva e nelle pere.

Le GA sono prodotte negli apici meristemati e nei primordi fogliari, in embrioni e cotiledoni, nei frutti, nelle radici (conversione).

3.3.3 Citochine

L'azione principale delle citochinine è lo stimolo alla divisione cellulare; essendo la crescita il prodotto sia di divisioni che di distensioni cellulari, è ovvio il ruolo delle citochinine nell'accrescimento. L'altro effetto importante di questi fitoregolatori è la regolazione della differenziazione in tessuti escissi, insieme all'auxina, e sono quindi fondamentali nella micropropagazione.

Le citochinine inoltre ritardano la senescenza nei tessuti fogliari, e contrastano la dominanza apicale (favorendo quindi lo sviluppo delle gemme ascellari); inoltre stimolano la formazione di tuberi nella patata. Esse sono meno mobili nella pianta, rispetto a GA e IAA. Sono formate nei giovani frutti e nei semi (poco mobili), e nelle radici (mobili).

3.3.4 Etilene

Essendo un gas, questo fitoregolatore ha un comportamento diverso nella pianta. E' ormai accertato che viene prodotto dai tessuti vegetali un po' dappertutto, soprattutto ove hanno luogo condizioni di stress (ristagno idrico, vento, ferite, ecc.). Stimola il germogliamento dei tuberi di patata, e la germinazione dei semi, ma la sua caratteristica più interessante, e sfruttata in pratica, è lo stimolo alla maturazione dei frutti; essendo il fitoregolatore più coinvolto nei fenomeni di senescenza, induce anche precoce abscissione di frutti e foglie. Ha proprietà *autocatalitiche*.

3.3.5 Acido abscissico

Come già detto, è considerato come un inibitore di crescita un po' in tutte le piante vascolari; anch'esso promuove la senescenza, ed è antagonista delle GA in molti processi, come la dormienza, che induce in semi e gemme durante la loro formazione. Si accumula rapidamente nei tessuti in situazioni di stress, e determina i meccanismi di resistenza, come la chiusura degli stomi, proprietà che è stata utilizzata in pratica (*antitrspirante*). Ha numerosi altri effetti su diversi processi di accrescimento e sviluppo.

3.3.6 Fitoregolatori di sintesi

Questa breve illustrazione delle caratteristiche dei fitoregolatori indica la loro importanza nel controllo delle attività della pianta, attività direttamente legate anche alle produzioni agricole. Non sempre i fitoregolatori possono essere utilizzati così come si trovano in natura, per diverse ragioni; è stata quindi sviluppata una serie di composti più o meno artificiali, che chiameremo sintetici (Tab. 3.3).

Tab. 3.3. Fitoregolatori di sintesi utilizzati in agricoltura.

Nome chimico	Nome comune
Auxino-simili	
1-naftil metil carbammato	Carbaryl
Acido 4-clorofenossiacetico	4-CPA
Acido 2, 4-diclorofenossiacetico	2,4-D
Acido (indol-3-yl) butirrico	IBA
Acido 1-naftalene acetico	NAA
Acido 2, 4, 5-triclorofenossiacetico	2, 4, 5-T
Citochinino-simili	
6-benzilaminopurina	BAP
Metil 1-(butilcarbamoil) benzimidazol-2yl carbammato	Benomyl
N, N ¹ -difenilurea	DPU
Prodotti che generano o cedono etilene	
Acido 2-cloroetilfosfonico	Ethephon, Ethrel
Ritardanti di crescita	
Cloruro di 2-cloroetiltrimetil ammonio	Chlormequat, CCC
Acido N-dimetilaminosuccinamico	Daminozide
Inibitori di crescita	
6-idrossi-3-(2H)-piridazinone	Idrazide maleica
Erbicidi	
Ione 1-1-etilene-2-2-bipiridilio dibromuro monoidrato	Diquat
N-(fosfonometil) glicina trimetil sulfonato	Glifosate

Prodotti con attività auxino-simile, con struttura spesso assai diversa dall'IAA ma con effetti biologici simili, sono utilizzati in agricoltura; il Carbaryl, per esempio, oltre ad essere un insetticida determina l'aborto dei semi ed è un efficace diradante del melo. 2,4-D e 2,4,5-T sono erbicidi che distruggono le dicotiledoni che infestano i cereali. L'IBA è un prodotto rizogeno, l'NAA inibisce il germogliamento delle gemme laterali, oltre a favorire a sua volta la rizogenesi.

Le gibberelline utilizzate, come già accennato sopra, sono isolate da funghi, e non sono quindi di sintesi.

Le citochinine sono poco usate fuori dai laboratori, ma il Benomyl, un fungicida sistemico, ha proprietà ormonali.

L'etilene non può essere somministrato come tale alle piante in campo, e quindi devono essere usati prodotti che penetrano come liquidi nei tessuti, e che a contatto coi succhi cellulari generano o cedono etilene. Il più diffuso di questi prodotti è l'Etephon, o Ethrel.

I ritardanti di crescita rallentano le divisioni cellulari e l'allungamento, e sono usati per controllare l'altezza delle piante, impedendo l'espressione di auxine e gibberelline. Il Chlormequat (CCC) è usato per ridurre la lunghezza del culmo in frumento e avena, ma anche sulle piante in vaso.

Gli inibitori di crescita hanno un effetto simile, ma più drastico: l'idrazide maleica impedisce l'accrescimento dei germogli di cipolla durante la conservazione, permettendo di conservare i bulbi più a lungo.

Altri fitoregolatori, non auxino-simili, sono usati come erbicidi; il diquat, per esempio, che è utile anche sulla specie coltivata quando, come nel caso della patata, è utile come disseccante per accelerare la senescenza. Il Glyphosate ha effetti simili, ma è di solito usato come erbicida.

3.4 Propagazione

La propagazione, attuata per via sessuale o per via agamica, è la pratica che consente l'ottenimento di nuove piante.

I principali metodi di propagazione sono:

- *riproduzione o propagazione gamica*, nella quale l'elemento interessato è il seme ed in particolare l'embrione formatosi a seguito di un processo di fecondazione;
- *moltiplicazione o propagazione agamica*, nella quale i nuovi individui derivano dalla rigenerazione di organi, tessuti o cellule appartenenti ad un unico genitore.

3.4.1 Propagazione per seme

I semi sono le unità di propagazione della gran parte delle specie erbacee temperate, con poche eccezioni, e alla base delle produzioni vegetali è la semina e l'accrescimento di una adeguata popolazione di piante sane e vigorose. A questo scopo è necessario conoscere sia la struttura dei semi che i fattori che ne influenzano la germinazione.

Struttura del seme

Tutti i semi sono provvisti di tre componenti essenziali: un embrione (che darà origine alla nuova pianta e ne possiede in nuce le strutture fondamentali), un tessuto o organo che contiene le sostanze di riserva per sostenere la crescita fino al momento in cui il semenzale può sostenersi da sé con la fotosintesi (di solito carboidrati, spesso anche grassi; talvolta sono presenti anche proteine) e un apparato tegumentale, di protezione.

Le caratteristiche di queste tre componenti nei semi delle diverse specie possono però variare di molto; di seguito si descrive la struttura di tre diversi tipi di seme, rappresentativi

di molte specie, anche se da questo punto di vista la varietà di forme è tale da non poter essere esaurita in questa sede (Fig. 3.19).

Il frumento è una tipica graminacea; nell'endosperma (80-86% in peso), sono abbondanti le riserve amilacee. L'embrione e lo scutellum rappresentano il 3-4% del seme, mentre il resto sono tegumenti vari.

Il fagiolo è una dicotiledone; l'embrione è una parte minima del peso totale del seme, e le riserve sono contenute nei due cotiledoni, che fungeranno anche da foglie nelle prime fasi di vita della plantula.

Anche la barbabietola da zucchero è una dicotiledone, ma assai diversa: le riserve sono principalmente in perisperma e endosperma, e meno nei cotiledoni. Il tutto è rivestito da un sottile rivestimento (testa). Il seme è incluso in un pericarpo lignificato, che può contenere anche inibitori della germinazione.

Il tipo di sviluppo del semenzale varia dopo la germinazione a seconda della specie (Fig. 3.20); nei cereali i resti del seme rimangono sottoterra mentre la prima foglia si sviluppa dal coleoptile (crescita *ipogea*); questo modello è anche di alcune dicotiledoni. Altre dicotiledoni invece hanno i cotiledoni che emergono dal terreno, si distendono e formano clorofilla; la prima foglia vera si sviluppa successivamente (crescita *epigea*).

Nel periodo tra inizio della germinazione e inizio della fotosintesi (sia questa fatta da cotiledoni o da foglie vere) il semenzale dipende dalle riserve immagazzinate nel seme. In alcuni semi (es. crucifere) queste riserve sono scarse e la profondità di semina deve essere stabilita con cura per garantire un periodo di emergenza breve; per queste specie non dovrebbe superare i 2-3 cm, se la superficie non è troppo asciutta. I semi di maggiori dimensioni (mais, fava, molti fruttiferi) hanno più riserve e possono essere seminati a profondità superiori. D'altronde la semina a profondità anche superiori all'optimum può rendersi necessaria per sfuggire a diversi pericoli che minacciano il seme e il giovane semenzale: erbicidi nel terreno, siccità, uccelli e altri predatori.

Fattori che influenzano la germinazione

Se non esistono specifici problemi di dormienza, i fattori che principalmente influenzano la germinazione sono ambientali. La temperatura è assai importante nel controllo di percentuale e velocità di germinazione. Nei climi temperati molte specie sono seminate in primavera o autunno, quando la temperatura del terreno è al di sotto dell'optimum (Tab. 3.3 bis). Questo spesso determina una germinazione ridotta e lenta. La gran parte delle specie può germinare a basse temperature (3-5°C) ma le temperature ottimali sono molto più alte (15-37°C). Alle nostre latitudini è assai improbabile avere effetti negativi sulla germinazione da parte delle alte temperature.

Tab. 3.3 bis - Temperature alle quali si ha germinazione in alcuni cereali

	Temperatura (°C)		
	Minima	Ottimale	Massima
Mais	8-10	32-35	40-44
Riso	10-12	30-37	40-42
Frumento	3-5	15-31	30-43
Orzo	3-5	19-27	30-40
Segale	3-5	25-31	30-40
Avena	3-5	25-31	30-40

In Fig. 3.21 si vedono gli effetti della temperatura sul modello di germinazione della barbabietola. A 3,5° la germinazione inizia con un ritardo di quasi 20gg, e al 45° giorno si è raggiunto il massimo, del 25% di germinazione; molto diverso il modello a 15°C. Nel girasole invece la percentuale finale non è influenzata dalla temperatura (5-25°).

L'acqua è essenziale per la germinazione, ed è assunta dal seme asciutto, per imbibizione, dal substrato. I tempi e ritmi di questo processo sono determinati dalla composizione del seme, dalla permeabilità dei tegumenti e dalla disponibilità di acqua liquida o gassosa nell'ambiente (Fig. 3.22). In frumento, girasole e mais la quantità di acqua assorbita durante l'imbibizione è di circa il 150% del peso di partenza del seme. Il substrato deve quindi essere sufficientemente umido alla semina. La disponibilità di acqua aumenta con il contatto tra seme e terreno, di qui le rullature. In ambienti più caldi si può aumentare la profondità di semina, anche se ciò ritarda l'emergenza.

Anche l'ossigeno è essenziale, e quindi non si deve seminare in terreni con acqua gravitazionale; il terreno deve essere poroso e drenato. La luce non è di solito un fattore limitante.

Dormienza

La dormienza è un periodo di riposo nel ciclo vitale della pianta (o parte di pianta), in cui la crescita è sospesa. I semi di molte specie presentano dormienza, che può causare problemi sia di semina che di trasformazione. I semi vitali sono considerati dormienti quando non germinano in condizioni ambientali favorevoli. E' il caso dell'orzo, che non germina appena raccolto, ma che, nelle stesse condizioni di temperatura e umidità, germina dopo qualche mese di conservazione all'asciutto.

Le cause della dormienza dei semi sono di solito legate alla loro morfologia e fisiologia. Nelle leguminose molte specie hanno un rivestimento seminale duro ed impermeabile all'acqua; un esempio è il trifoglio bianco (25-40% di semi duri). Il problema si supera con scarificazione meccanica o chimica.

La raccolta prematura dei semi può avere come conseguenza immaturità dell'embrione, che a sua volta causa dormienza. Questa può essere la causa della scarsa germinabilità di molte partite di seme di barbabietola.

La dormienza in alcuni semi può essere dovuta alla presenza di inibitori della germinazione nella testa o nel pericarpo. In genere questi inibitori sono solubili in acqua, e quindi rimossi dall'ammollamento.

La temporanea dormienza dell'orzo è dovuta al bisogno di una "post-maturazione" in magazzino. Avena e frumento hanno anch'essi questo tipo di dormienza, ma in misura minore. Si tratta di un possibile problema, ove si semini poco dopo la raccolta (ambienti nordici), ma anche di un vantaggio, che impedisce la germinazione in momenti sfavorevoli, come in presenza di forti piogge.

Alcuni semi sono sensibili alla luce, e germinano solo se, dopo l'imbibizione, vengono esposti alla luce. E' un fenomeno raro (lattuga) nelle piante coltivate, più comune nelle malerbe. Altre specie richiedono, dopo l'imbibizione, l'esposizione a basse temperature (*chilling*), per poter germinare; fenomeno più comune nelle specie arboree da frutto.

In realtà, con l'eccezione dell'orzo da malto, nelle principali coltivazioni erbacee temperate la dormienza non è un problema.

La dormienza che esiste nei semi subito dopo il distacco dalla pianta (ma anche prima) è detta *dormienza innata*. Ma molte specie selvatiche hanno la possibilità di riacquistare la dormienza, dopo averla perduta, in particolari condizioni ambientali (*dormienza indotta*); molte infestanti ne sono dotate (Fig. 3.23).

La dormienza non è fenomeno limitato ai semi, ma la si riscontra anche nelle gemme. La dormienza delle gemme è importante nella patata, nella quale l'accrescimento dipende dallo sviluppo di gemme negli occhi del tubero. Durante lo sviluppo del tubero sulla pianta madre non si ha vera dormienza gemmaria, anche se le gemme si sviluppano assai lentamente. Dopo la raccolta, invece, la vera dormienza gemmaria è palese, e può durare 18-33 settimane (di norma 20-23). Questa dormienza è utile durante la conservazione, in quanto impedisce un indesiderato germogliamento. Nei tuberi da seme la dormienza va interrotta per avere il pre-germogliamento. La conservazione a basse temperature (3-4°C) abbatte la dormienza e consente il germogliamento quando la temperatura aumenta. La gemma può uscire dalla dormienza anche grazie a trattamenti chimici. Come nei semi che richiedono vernalizzazione, le gemme dormienti dei tuberi di patata contengono bassi livelli di acido gibberellico e alti livelli di acido abscissico; trattamenti con gibberelline riescono a superare la dormienza. Anche l'immersione in tiourea è efficace, ma è anche accompagnata dall'eliminazione della dominanza apicale, e quindi da un troppo abbondante germogliamento del tubero.

La semente

Il valore agricolo di una partita di seme, cioè la sua capacità di generare piante in grado di fornire adeguate prestazioni produttive, può variare fortemente in funzione di un numero di caratteristiche, agronomiche e genetiche. Le caratteristiche agronomiche sono, in genere, più o meno facilmente rilevabili analizzando il seme stesso e riguardano: *purezza*, *germinabilità*, *energia germinativa*, *stato sanitario*, *grossezza*, *umidità*, *peso specifico*, *peso unitario*, *forma*, *colore*, *odore*, ecc. Le caratteristiche genetiche invece sono quelle determinate dal patrimonio genetico della specie e varietà.

Purezza

È la percentuale in peso della semente costituita dai semi della specie indicata sull'etichetta di una partita. In un dato campione di seme si possono separare semi puri, cioè semi interi della specie in oggetto, semi estranei, di specie diversa, e impurità inerti (pezzetti di semi, detriti vari). Questa purezza è detta anche *purezza fisica*, o meccanica, o commerciale, per distinguerla dalla *purezza genetica* o *purezza varietale*, che è la percentuale di semi della varietà dichiarata. L'accertamento della purezza varietale è più difficoltoso, anche perché talvolta può essere importante conoscere la provenienza dei semi (*ecotipi*); in tal caso solo le prove colturali di campo possono dare una risposta attendibile. La purezza della semente deve rientrare in minimi stabiliti per legge specie per specie.

Potere germinativo

Quando un seme è posto in condizioni adatte di umidità, temperatura, aerazione, ecc., manifesta una attitudine a produrre piantine capaci di sopravvivere e accrescersi. Questa attitudine prende il nome di *potere germinativo* per il quale si possono distinguere due aspetti: la germinabilità e l'energia germinativa. La *germinabilità* è la percentuale di semi capaci di fornire piantine normali, in un determinato periodo di tempo variabile da specie a

specie, se vengono posti in ambiente adatto. L'*energia germinativa*, invece, riguarda la velocità di germinazione. Il potere germinativo varia, oltre che con la specie e la cultivar, anche con lo stato di maturazione e l'età del seme. In genere nelle piante coltivate i semi sono pronti a germinare quando il frutto che li porta è maturo, ma il massimo della germinabilità si ha qualche mese dopo. Vi sono però specie i cui semi possono germinare anche prima della maturazione del frutto (alcune graminacee e solanacee, taluni fruttiferi tropicali), mentre altre (molti fruttiferi temperati) hanno semi che mostrano una buona germinabilità solo dopo un periodo di tempo dalla maturazione (Tab. 3.4). In quest'ultimo caso si tratta di semi soggetti ad un periodo di *dormienza*, e la loro germinazione può essere favorita dalla conservazione in ambiente adatto (6 mesi-2 anni).

In genere però l'invecchiamento dei semi è negativo, e via via che ci si allontana dalla raccolta il potere germinativo decade; quindi, nella gran parte delle specie, è bene utilizzare per la riproduzione i semi dell'ultimo raccolto. La longevità dei semi può tuttavia essere anche notevolmente lunga; in genere perdono più rapidamente la loro vitalità i semi oleosi e quelli più ricchi di acqua.

Per la determinazione del potere germinativo (germinabilità ed energia germinativa) occorre un insieme di attrezzature particolari: germinatoi (Fig. 3.24), substrati, ambienti condizionati, apparecchi contasemi, ecc. In molte specie la germinazione viene favorita da pretrattamenti, quali:

- a) la *prerefrigerazione*, che consiste nel mantenimento dei semi a basse temperature per un dato periodo;
- b) l' *ammollamento*, che consiste nella immersione dei semi in acqua per tempi variabili ed a determinate temperature;
- c) la *sgusciatura*, che consiste nella asportazione di rivestimenti che ritardano la germinazione.

Altre tecniche utilizzate sono *scarificazione* (parziale danneggiamento dei rivestimenti coriacei o lignificati, meccanicamente o chimicamente), *stratificazione*, *esposizione alla luce*, *essiccamento*, *trattamento con fitoregolatori*.

Esistono *limiti minimi di germinabilità previsti dalla legge* per la immissione delle sementi sul mercato (Tabb. 3.4, 3.5)

Tab. 3.4 – Durata del potere germinativo dei semi delle più importanti specie arboree	
Specie	Durata della facoltà germinativa
Melo	mesi 6
Pero	mesi 6
Nespolo del Giappone	giorni 15
Pesco	mesi 6
Mandorlo	mesi 4
Susino	mesi 6
Ciliegio	mesi 6
Albicocco	mesi 6
Olivo	anni 3
Agrumi	mesi 1
Vite	anni 3
Nocciolo	mesi 8
Noce	mesi 6

Castagno	mesi 3
Carrubo	mesi 12
Diospiro	mesi 6
Pino da pinoli	mesi 6

Tab. 3.5 - Limiti minimi di germinabilità per alcune specie erbacee (%)	
Sorgo volgare	98
Loiessa, loietto	96
Sorgo ibrido	95
Mais	90
Frumento, segale, orzo, avena, riso	85
Colza	85
Medica, trifogli	80
Tabacco	80
Lupinella, sulla	75
Bietola diploide	73
Altre bietole	68

Un altro indice della qualità del seme è dato, come già detto, dall'energia germinativa, che in sostanza rappresenta la rapidità con la quale il seme germina, e che è funzione sia del numero dei semi germinati che del tempo che essi impiegano a germinare. Questo aspetto può essere evidenziato con la determinazione del *tempo medio di germinazione* (TMG) che viene così calcolato: $TMG = \frac{\sum (n \times t)}{\sum n}$; si rileverà la germinazione ogni giorno per un dato numero di giorni, quindi si rappresenterà con n il numero di semi che hanno fornito germogli normali in un dato giorno; con t il numero di giorni necessari a quei semi per germinare; $\sum n$ costituisce il numero totale di semi germinati.

Ovviamente la migliore semente è quella con un TMG più basso, in quanto più rapida sarà la germinazione, migliori saranno i risultati della semina, poiché la coltura sarà più uniforme, i semi saranno sfuggiti prima ai pericoli dovuti a predatori, e la coltura avrà davanti a sé un più lungo periodo di accrescimento.

Certificazione

È importante seminare semi di buona qualità, e in molti paesi questo è ottenuto assicurandosi che i semi siano sottoposti a uno schema di certificazione. Gli schemi di certificazione comprendono due procedure: in primo luogo le piante che producono i semi sono ispezionate per determinare il livello delle impurità (della stessa o di altre specie) e, talvolta, anche la popolazione di malerbe, i cui semi possono essere difficili da separare alla raccolta e dopo. Secondariamente, il seme, dopo la raccolta, è soggetto ad analisi e a una prova di germinazione. Per superare la prova il campione deve superare il minimo di germinabilità per quella specie, in condizioni date. Analisi di laboratorio stabiliscono i livelli di *impurità* del campione (che può essere dovuta a semi diversi, o a impurità inerti, come terra, materiali vegetali ed animali, ecc.).

In seguito alla certificazione all'agricoltore sono garantiti alti livelli di purezza e germinabilità per la semente che acquista. I criteri per la certificazione di ogni specie

variano, ma in ogni caso hanno come risultato la commercializzazione di seme assai pregiato.

Conservazione e trattamenti ai semi

Il seme per la semina può provenire da due fonti: il commerciante e le piante coltivate in azienda. In entrambi i casi il seme va conservato per un periodo di tempo prima della semina. L'ambiente di conservazione influenza la vitalità del seme, e dovrebbe essere sempre controllato. Nella gran parte dei casi il seme, se nell'ambiente appropriato, può essere conservato per anni senza perdere gran che della sua vitalità.

I fattori ambientali più importanti per la vitalità dei semi in magazzino sono due: la *temperatura* e l'*umidità*. I migliori risultati si hanno a basse temperature e a bassa umidità. I cereali sono portati a umidità inferiori al 15%, mentre per il colza si arriva al 9%; è anche importante l'umidità dell'ambiente, perché un altro pericolo per i semi sono gli attacchi fungini. La luce non sembra invece importante nella conservazione dei semi. Topi e insetti costituiscono un ulteriore problema.

I semi subiscono spesso trattamenti prima della conservazione e della semina:

- *Trattamenti fisici* - Dopo la raccolta i semi sono spesso divisi per dimensioni (*calibratura*), per separare i più grandi ed eliminare i più piccoli, in genere poco vitali. La partita di seme sarà così assai uniforme, e vitale, con conseguenze positive alla semina. Inoltre, l'uniformità di dimensioni renderà più facile la semina di precisione. Contemporaneamente si elimineranno tutte le impurità.

I semi di barbabietola possono essere sottoposti a una scarificazione, come già visto, che rimuove gli strati più esterni del pericarpo, rendendoli più uniformi di dimensioni e più germinabili. Comunque si ha un'ulteriore calibratura prima della confettatura. La *confettatura* consiste nel rivestire il corpo riproduttore con uno straterello di calcare o argilla o polvere di carbone o sabbia imbevuta di un collante, o di altro materiale arricchito di principi nutritivi e di antiparassitari. Si hanno così sferette, monogermi, che, avendo una forma più regolare, possono essere meglio seminate con seminatrici di precisione.

La *segmentazione* è operazione che si può fare su corpi riproduttori che possono dare più di una pianta (patata, barbabietola, ecc.).

La *stratificazione* consiste nella conservazione dei semi mescolati a sabbia leggermente inumidita e a bassa temperatura, in attesa che sia superata la dormienza; pratica tipica della frutticoltura (Figg. 3.25, 3.26 e Tab. 3.6).

Pregermogliamenti (patata) e *pregerminazione* (cipolla, carota, peperone) possono essere necessari per avere la certezza di piante sane, o per maneggiare meglio il materiale per l'impianto.

- *Trattamenti chimici* - Ai semi si possono fare diversi trattamenti chimici. L'*ammollamento* in acqua consiste nel far assorbire umidità al seme prima della semina. Viene talora eseguito per il cotone allo scopo di favorire la germinazione e per il riso seminato in terreno sommerso per facilitare la discesa del seme fino al suolo. Nella barbabietola e in altri semi è utile per rimuovere gli inibitori. La *disinfezione* dei semi prima della semina (*concia*) con insetticidi e fungicidi viene spesso praticata allo scopo di proteggere il corpo riproduttore da attacchi parassitari e di insetti nel terreno.

- *Inoculazione* - La *inoculazione* o *batterizzazione* dei semi di leguminose è una pratica assai diffusa nei territori di recente messa a coltura. Essi vengono trattati con specifiche colture di *Rhizobium*, talora opportunamente selezionate in modo da isolare linee capaci di adattarsi ai

vari ambienti e dotate di una elevata capacità fissatrice dell'azoto atmosferico.

Scelta della quantità di seme

La quantità di seme utilizzata per una particolare specie è in gran parte responsabile della densità finale della popolazione vegetale. Si tratta comunque di un valore che va deciso tenendo in mente il potenziale di germinabilità e di attecchimento di quel genotipo. La germinabilità stabilita in laboratorio garantisce la vitalità del seme, ma il risultato quantitativo può essere anche di molto inferiore nelle condizioni meno favorevoli di campagna. Così i quantitativi di seme devono comprendere anche una quota di sicurezza per le perdite di germinazione e attecchimento. L'attecchimento è di solito alto nei cereali (80%), ma in condizioni sfavorevoli del terreno può scendere al 50%. Il seme di barbabietola è molto piccolo, e anche se la germinazione supera l'80%, l'attecchimento in campo può scendere anche al 20% (Fig. 3.27). Le perdite in attecchimento sono importanti in specie come la barbabietola che sono seminate di precisione, monogerme, a una densità relativamente bassa. Il problema è meno grave nei cereali (ma non nel mais) grazie al fenomeno dell'accestimento, che può compensare una densità ridotta.

Tradizionalmente si semina un certo peso di semi/ha, senza considerare che i semi possono variare di dimensioni in modo considerevole. Se invece si parte dalla densità a m² desiderata, e si conosce il peso esatto del seme disponibile, si può seminare il quantitativo corretto.

Epoca di semina o piantamento

La decisione del momento in cui seminare è molto importante. La ricerca ci mette oggi a disposizione una quantità di informazioni sulle più adatte epoche di semina per ciascuna specie; ma la data ottimale teorica di semina raramente è utile. Infatti le condizioni meteorologiche prevalgono di gran lunga sull'epoca teorica di semina nel guidare le scelte dell'agricoltore, anche se le conoscenze di base sono utili nel programmare il lavoro.

La prima considerazione nella scelta dell'epoca di semina è il suo effetto sulla resa economica. Nel caso delle semine primaverili, se si pianta troppo presto si rischia minore attecchimento e danni da gelo sulle piantine; se si pianta troppo tardi il periodo vegetativo potrebbe essere troppo corto (Fig. 3.28). Nel caso delle semine autunnali, l'obiettivo è di avere le piantine ben insediate nel terreno prima dell'arresto di crescita determinato dalle basse temperature. D'altronde il frumento è seminato in autunno perché, resistendo al freddo invernale, ne trae vantaggio.

Molte colture orticole, e anche il tabacco, si seminano prima in letto caldo o in serra per poi trapiantarle in pieno campo quando la temperatura lo permette; in questo modo è anche possibile avere produzioni precoci. Per il pisello da industria, certi erbai, e il mais, l'epoca di semina è scelta anche in funzione di ottenere una certa scalarità nelle raccolte.

Semina

Tutte le colture che non si seminano in semenzaio (per un successivo trapianto) si seminano in campo. La semina può essere fatta a spaglio (detta anche alla volata), a file (o a righe), a postarelle (o a buchette), di precisione. A seconda del sistema di distribuzione del seme, la semina è fatta a mano o con macchine seminatrici.

Semina a spaglio

La semina a spaglio è in genere eseguita a mano, ma può anche essere eseguita con seminatrici centrifughe.

Con la semina a spaglio, la semente caduta a terra resta in superficie e deve quindi essere rapidamente coperta con una lavorazione leggera di zappa o rastrello, se si fa a mano, di erpice, se si fa a macchina. L'interramento dei semi in questo modo risulta spesso fatto a profondità molto variabile, il che determina scalarità nell'emergenza dei semi, impossibilità ad emergere per i semi troppo in profondità, pericolo di predatori per i semi non interrati.

La semina a spaglio non determina una distribuzione regolare dei semi sul terreno, ed è attualmente praticata solo per le colture più fitte e che non richiedono successivi interventi colturali: quindi semenzai, colture foraggere (prati ed erbai), riso, ed in genere nei casi in cui la semina a righe non è possibile.

Semina a righe

La semina a righe è il sistema di gran lunga più adottato in agricoltura, in quanto è completamente meccanizzato, consente la regolare distribuzione del seme nella quantità e profondità desiderate con immediata ricopertura, ed inoltre consente la meccanizzazione delle operazioni colturali successive.

Il tipo principale di seminatrici a file è quello detto universale (Fig. 3.29), in grado di distribuire un'ampia varietà di sementi, dalle più minute alle più grosse. Queste seminatrici lasciano cadere la semente allineata sulla fila, nella quantità desiderata ma senza una precisa frequenza, cioè con distanze tra i semi che oscillano casualmente intorno al valore medio. Ad una eccessiva fittezza si può rimediare con l'operazione del diradamento.

Le seminatrici universali sono composte di una tramoggia, del distributore, che regola la quantità di seme, dei tubi adduttori del seme, degli assolcatori, di copriseme (Figg. 3.30, 3.31).

Semina a postarella

La semina a postarella, o a buchetta, consiste nel seminare vicini più semi in modo che si produca un piccolo cespuglio di piante. Si tratta di una tecnica tipica di zone a scarso sviluppo tecnologico, in quanto richiede una preparazione del terreno localizzata ed eseguibile a mano; inoltre le scarse risorse di fertilizzanti e di acqua possono essere concentrate con la certezza che lo spreco sarà ridotto al minimo. Da noi può trovare applicazione in orticoltura.

La semina a postarella è comunemente eseguita a mano, ma esistono seminatrici a file che depositano i semi a gruppetti.

Semina di precisione

Con la semina di precisione vengono depositi lungo la fila i semi uno alla volta, a distanza prefissata e rigorosamente costante. E' la tecnica di semina più recente, e consente una distribuzione delle piante sul terreno molto regolare, il che evita all'agricoltore l'operazione del diradamento. La semina di precisione si esegue con le seminatrici di precisione (Fig. 3.32), che sono costituite da un elemento distributore indipendente per ogni fila di semina; gli elementi possono essere regolati alla distanza voluta tra le file. Ogni elemento è costituito da un organo assolcatore, da una tramoggia contenente l'organo distributore e da un attrezzo copriseme. In base al tipo di distributore le seminatrici di precisione possono essere a distribuzione meccanica o a distribuzione pneumatica (Fig. 3.33, 3.34, 3.35).

Queste seminatrici svolgono un lavoro regolare solo se si impiega seme di elevata germinabilità e di dimensione e forma regolari e uniformi. Questa necessità rende necessario che le sementi, per essere adatte alla semina di precisione, siano sottoposte a operazioni come la calibratura o la confettatura.

Pur se la germinabilità è in genere più alta nella semente utilizzata con questa tecnica, anche con la semina di precisione esiste il problema delle fallanze, che può raggiungere anche valori considerevoli (barbabietola). Va quindi tenuto conto di questa possibilità, cercando di prevederne la portata, dato d'altronde assai variabile in funzione di terreno (preparazione, umidità, tessitura), stato sanitario della semente, clima, ed aumentando proporzionalmente la quantità di semente da utilizzare.

Profondità di semina

Per avere buoni risultati è importante che il seme sia posto alla idonea profondità; i semi che vengono a trovarsi troppo in superficie sono soggetti alla raccolta da parte di predatori quali insetti, uccelli o roditori, e al disseccamento nelle prime fasi di vita della plantula; quelli che sono deposti troppo in profondità incontrano difficoltà ad emergere.

Il primo aspetto da considerare sono le dimensioni dei semi: più grandi sono, più profonda deve essere la semina.

Così i semi di maggiori dimensioni (fave, piselli, mais, molte piante da frutto) possono essere posti anche a 6-7 cm; i semi intermedi, come frumento e girasole, vanno seminati a 3-4 cm; i semi minuti (erba medica, tabacco, colza) vanno seminati a 1-2 cm di profondità. Per questi ultimi semi va posta particolare attenzione nei confronti dell'umidità del terreno, che in superficie tende a diminuire velocemente.

3.4.2 Propagazione agamica

La *moltiplicazione* o *propagazione agamica* è resa possibile dall'attitudine, più o meno pronunciata, che parti diverse delle piante hanno di rigenerare organi. Infatti ogni cellula somatica possiede tutta l'informazione genetica necessaria per ricostituire un intero individuo (*totipotenza* cellulare); anche una sola cellula, dopo essere regredita a livello meristematico dalla condizione differenziata che possedeva (*dedifferenziazione*), può in teoria rigenerare un organismo completo. In realtà spesso esistono ostacoli fisiologici o tecnici tali da rendere impossibile o assai complessa tale rigenerazione; per questa ragione sono disponibili numerose tecniche, dalle più antiche a quelle di più recente introduzione, che permettono nella maggior parte dei casi la moltiplicazione utilizzando parti più o meno grandi della pianta madre.

La propagazione agamica consente di ottenere piante identiche tra loro, oltre che identiche alla pianta madre, determinando quindi una popolazione di individui che discende da un unico capostipite (*clone*). Si tratta di un vantaggio innegabile in certe colture quali quelle arboree da frutto, in quanto si possono ottenere comportamenti omogenei e prevedibili da tutti gli individui, e razionalizzare tutti i vari interventi colturali; inoltre anche le caratteristiche del prodotto finale saranno assai omogenee. Lo stesso vale per le piante ornamentali, per le quali è spesso necessario conservare caratteri morfologici che andrebbero perduti con la gamia; nel caso degli alberi da frutto, inoltre, la propagazione agamica utilizza materiale di propagazione (talee, gemme, ecc.) proveniente da organi adulti, e quindi l'albero che si otterrà non avrà da passare attraverso un più o meno lungo periodo di

giovanilità. Il principale aspetto negativo della moltiplicazione consiste nella trasmissibilità delle virosi, cosa che normalmente non avviene nella propagazione per seme. Le specie erbacee sono invece di solito propagate per seme, per ragioni sia tecniche che economiche, ma vi sono importanti eccezioni, quali la patata, il banana, la fragola, ecc.

Ogni specie può essere moltiplicata in vari modi, ma di solito non con tutti i sistemi. Per ognuna esiste quindi una tecnica di moltiplicazione preferita, con la quale la propagazione fornisce i migliori risultati.

Di seguito si descrive una serie di tecniche di moltiplicazione, qualcuna importante almeno per una specie, altre adatte a un gran numero di specie, altre ancora di interesse solo storico o di giardinaggio.

Apomissia e poliembrionia

In alcune specie l'embrione che si sviluppa dal seme non è il risultato di meiosi e fecondazione, ma il prodotto di un processo asessuale. Si tratta quindi in tal caso di propagazione agamica a tutti gli effetti. Nella tecnica frutticola il fenomeno del genere più conosciuto è la *poliembrionia nucellare* degli agrumi (Fig. 3.36). Questa tecnica ha il vantaggio della mancata trasmissione delle virosi, ma si perde quello del superamento della fase giovanile. È ottima per la propagazione di portinnesti.

Stoloni

Uno *stolone* è un fusto specializzato che si sviluppa all'ascella di una foglia al colletto della pianta, cresce orizzontalmente lungo il terreno, e forma una nuova pianta a uno dei nodi. La fragola si propaga tipicamente in questo modo (Fig. 3.37). Lo stolone può essere aereo, e quindi non striscia, ma è un ramo che quando raggiunge una certa lunghezza è piegato dal suo stesso peso; nel punto in cui tocca il terreno emette radici (rovo, menta).

Polloni

I *polloni* sono germogli vigorosi che si sviluppano dal colletto (*polloni pedali*: olivo, dattero) o dalle radici (*polloni radicali*: susini, lampone) (Fig. 3.38). Possono emettere radici naturalmente, specie se la loro base è interrata, oppure emetterle in seguito ad interrimento naturale, e ad altre pratiche che favoriscono la rizogenesi (*strozzatura, incisione, eziolamento, ecc.*). Va rammentato che nelle piante bimembri i polloni possono provenire dal portinnesto piuttosto che dal nesto; in tal caso si possono solo usare come portinnesti, perché non avranno le caratteristiche della parte epigea dell'albero, e se il portinnesto è da seme avranno anche caratteristiche giovanili.

Propaggini

La propagginazione è la tecnica che consiste nel far sviluppare radici da un ramo (*propaggine*), mentre è ancora unito alla pianta madre. Esso viene quindi successivamente asportato, perché diventi una nuova pianta, che, come quasi tutte quelle ottenute con la propagazione agamica (eccezione l'innesto), si dice *autoradicata*, o *franca di piede*. Anche le propaggini possono avvalersi di pratiche che favoriscono la rizogenesi (*strozzatura, incisione, eziolamento, trattamenti ormonali, ecc.*), nella zona destinata ad emettere radici.

Margotta aerea - (Fig. 3.39) Nelle margotte in genere non è il ramo che va al terreno, ma il terreno che sale al ramo. La margotta aerea viene ottenuta avvolgendo una parte di ramo col substrato di radicazione (di solito torba) contenuto in un involucro (plastica nera, vaso sagomato appositamente, ecc.).

Margotta di ceppaia - (Fig. 3.40) La pianta madre viene capitozzata, ed i germogli avventizi vengono interrati alla base via via che si allungano.

Propaggine semplice - (Fig. 3.41) Si ottiene piegando un ramo fino a interrarlo e a farne emergere la parte distale.

Propaggine di trincea - (Figg. 3.42, 3.43) Un'intera piantina viene interrata in un affossamento che poi viene coperto da terra. I vari rametti produrranno tante piantine autoradicate.

Separazione

E' un sistema di propagazione che utilizza organi che si staccano naturalmente, tipico di specie erbacee perenni.

Bulbi - Sono organi sotterranei specializzati formati da un fusto breve, carnoso, che termina con un apice vegetativo od un primordio florale racchiuso in scaglie spesse e carnose o catafilli (Figg. 3.44a, 3.44b). All'ascella delle scaglie si possono formare nuovi apici vegetativi, o bulbilli. Questi nuovi bulbi, una volta raggiunto un adeguato sviluppo, possono essere separati dalla pianta madre per dare origine ad una nuova pianta.

Bulbi-tuberi - Il bulbo-tubero consiste nella base ingrossata di un asse caulinare, racchiusa da foglie squamiformi ispessite. A differenza del bulbo che in gran parte è formato dalle squame fogliari, il bulbo-tubero presenta una struttura caulinare compatta con nodi e internodi distinti e evidenti. (Fig. 3.45). La moltiplicazione consiste nella formazione di nuovi bulbi-tuberi, e nella loro separazione dalla pianta madre.

Divisione

E' un sistema di propagazione che utilizza parti di pianta tagliate in sezioni.

Tuberi - Il tubero è la porzione terminale di un fusto sotterraneo che si è localmente ingrossato in seguito all'accumulazione di sostanze di riserva. L'esempio più noto è quello della patata. Un tubero possiede tutti i caratteri di un fusto. Gli "occhi" sono regolarmente distribuiti sulla superficie e rappresentano i nodi; ciascuno consiste in una o più piccole gemme poste vicino ad una cicatrice fogliare. I nodi sono sistemati a spirale, cominciando dalla gemma terminale, che si trova dalla parte opposta alla cicatrice prodotta dall'attacco al rizoma. La moltiplicazione per tubero può essere fatta sia piantando tuberi interi sia tagliandoli a pezzi, con l'accorgimento che ogni sezione contenga una gemma od occhio (Figg. 3.46, 3.47). Questi piccoli pezzi di tubero vengono comunemente chiamati "semi". Prima della semina le superfici tagliate devono "suberizzare".

Rizomi - Il rizoma è un fusto che cresce orizzontalmente sia sottoterra che a fior di terra. Di solito è l'asse principale della pianta, che produce radici nella porzione inferiore e porta foglie e steli fiorali nella parte superiore. La moltiplicazione dei rizomi si fa tagliandoli o dividendoli a pezzi in modo che ogni porzione sia in grado di produrre un nuovo germoglio.

Talea

La *talea* è una porzione distaccata di pianta (ramo, foglia, radice), che viene indotta a ricostituire una nuova pianta, di solito emettendo radici, talvolta neoformando gemme, tal'altra riformando entrambe le strutture, come nelle talee di foglia, sprovviste sia di strutture radicali che di gemme. La talea radicata è denominata *barbatella*.

Le talee si possono classificare in base alla parte di pianta che si utilizza:

Talea di ramo

Legnosa

Semilegnosa

Erbacea

Talea di germoglio

Talea di foglia

Talea di foglia con gemma

Talea di radice

Talea di branca

Altre (ovolo, zampa di cavallo, magliolo)

Talee di ramo - La talea possiede già gemme apicali o ascellari, e deve rigenerare un nuovo sistema radicale. Le talee legnose si ottengono da specie caducifolie nel periodo di riposo vegetativo; sono quindi talee senza foglie. Si tratta di un vantaggio in quanto sono facili da manipolare e la mancanza di foglie riduce di molto le perdite di acqua da parte dei tessuti. Le talee semilegnose sono talee con foglie che in teoria possono essere prelevate tutto l'anno da rami in accrescimento; se sono prelevate da germogli scarsamente lignificati prendono il nome di talee erbacee.

Talee di germoglio - Questo tipo di talee è costituito da germogli nelle prime fasi di accrescimento.

Talee di foglia - Queste talee non possiedono né gemme né radici, che devono quindi formare *ex-novo*. Si utilizzano per piante ornamentali come begonia e sansevieria, e normalmente entrambi i tipi di organi si originano dallo stesso punto, dando luogo ad una nuova pianta indipendente dalla lamina fogliare.

Talee di foglia con gemma - In questo caso la presenza della gemma è necessaria per l'incapacità della foglia a formare gemme, mentre di solito radici si formano dal picciolo.

Talee di radice - Queste talee devono formare gemme avventizie, come le talee di foglia, ma hanno ovviamente molte meno difficoltà a formare nuove radici avventizie; anche se il prelievo del materiale può essere più laborioso, vi è il vantaggio di un'abbondanza di tessuti di riserva nella radice. Bisogna però ricordare che, oltre al limite posto dalla presenza di portinnesti in molte piante coltivate, anche nelle piante autoradicate il mantenimento dei caratteri della pianta madre con questa tecnica non è possibile se questa deriva da *chimera* periclinale (vedi Miglioramento genetico)

Talee di branca - Vi sono specie che possono dare origine a nuove piante partendo da porzioni di branca (struttura epigea di 2 o più anni), come nel caso dell'olivo.

Ovoli - Gli ovoli sono masse iperplastiche presenti nella ceppaia di piante adulte di specie come l'olivo, contenenti iniziali radicali e caulinari, e che quindi possono emettere radici e germogli. Si possono prelevare e porre a radicare, oppure favorirvi lo sviluppo e la radicazione di polloni che saranno asportati in seguito.

Zampe di cavallo - Si tratta di talee legnose costituite da rami prelevati insieme ad una piccola porzione di legno di due anni proveniente dalla branca sulla quale erano inseriti.

Maglioli - In questo caso, simile al precedente, la porzione di legno vecchio è più cospicua, tale da far assomigliare la talea ad un piccolo martello.

Anatomia e fisiologia della propagazione per talea

Il processo della *rizogenesi* o radicazione è fondamentale per il successo della propagazione per talea. Da un punto di vista anatomico il fenomeno si esplica nel sorgere in certi punti della base della talea di masserelle meristematiche (*iniziali*) che si sviluppano sino ad organizzarsi in *primordi* radicali differenziati, i quali a loro volta si apriranno la strada verso l'esterno attraverso i vari tessuti della talea. Talvolta a questo processo si accompagna la formazione di un *callo* cicatriziale, che non sembra però avere un effetto diretto sulla rizogenesi. Esistono specie che sono in grado di produrre primordi sul ramo ben prima che questo sia prelevato (cotogno, ribes nero, fico, pioppo), e che quindi radicano senza difficoltà e senza che siano necessari accorgimenti particolari. Tuttavia l'assenza di primordi non significa di per sé scarsa capacità rizogena, e vi sono specie che radicano altrettanto bene pur se prive di primordi preformati, come la vite europea.

Più spesso le talee non radicano prontamente, o lo fanno in percentuali troppo basse; altre volte non mostrano alcuna attitudine rizogena. Questo fatto non è dovuto tanto all'anatomia del ramo, quanto a condizioni fisiologiche sfavorevoli. Infatti il processo che porta alla dedifferenziazione di alcune cellule ed al loro successivo indirizzamento verso la differenziazione di radici è molto complesso ed ancora non del tutto chiarito. Le sostanze che sembrano avere un ruolo importante nel processo sono i fitoregolatori, ed in particolare l'auxina: come vedremo, in molti casi di scarsa radicabilità la somministrazione di auxina esogena riesce a far radicare il materiale vegetale utilizzato. Molti studi comunque hanno dimostrato che anche gli altri fitoregolatori hanno un ruolo nel processo. Non sempre però l'auxina è riuscita a superare la reticenza della talea a produrre radici. Si è allora potuto osservare che numerose altre sostanze, presenti talvolta in piccole o piccolissime quantità come i fitoregolatori e altri prodotti secondari del metabolismo, o in grandi quantità come i sali minerali e i carboidrati, potevano avere un peso sulla riuscita della propagazione. In particolare, si sa che nelle piante sono presenti, prodotte da foglie e gemme, sostanze che hanno il potere di stimolare o inibire la rizogenesi, e che sono quindi state chiamate *stimolatori* e *inibitori*. Le loro caratteristiche non sono del tutto conosciute, anche perché sembra siano più specifiche dei fitoregolatori, cioè che cambino con il gruppo tassonomico cui appartiene la pianta. È ovvio che il propagatore ricercherà tutte le condizioni atte a favorire gli stimolatori e a ridurre gli inibitori. In questo senso vanno studiate le tecniche, antiche e moderne, che sono state messe a punto per incrementare la rizogenesi avventizia.

Fattori che influenzano la radicazione delle talee

Abbiamo visto come la capacità di formare radici da parte delle talee è un carattere primariamente genetico, nel senso che vi sono specie che radicano con facilità, anche in natura, mentre altre possono avere grosse difficoltà a rigenerare. Vi è però una serie di condizioni che possono influire sul fenomeno, talvolta in maniera notevole, e che se conosciute possono permettere di ottenere accettabili risultati anche da talee di specie

recalcitranti. Queste condizioni, o fattori, si possono dividere in *intrinseci*, legati alle caratteristiche della talea stessa, ed *estrinseci*, dipendenti da interventi esterni alla talea.

Fattori intrinseci

Piante madri - In genere una pianta in buone ed equilibrate condizioni nutrizionali fornisce le migliori talee; le piante madri dovrebbero comunque essere sempre potate per fornire rami di giusta vigoria, con un buon contenuto di carboidrati. Questa condizione è esaltata dall'assenza di frutti, che se presenti spesso riducono il potenziale rizogeno delle talee. Un altro aspetto importante, cui si è già accennato, è la condizione di giovanilità: se si tratta di portinnesti, mantenere le piante madri giovanili potandole severamente incrementa la rizogenesi nelle talee.

Epoca di prelievo - Sia per le talee legnose, che si propagano d'inverno, che per le semilegnose, l'epoca in cui si esegue il prelievo è molto importante riguardo alla resa in barbatelle (Fig. 3.48); differenze di qualche settimana possono comportare notevoli differenze nelle percentuali di radicazione. Informazioni sui periodi migliori sono disponibili per la gran parte delle specie.

Tipo di ramo - Anche in questo caso il materiale migliore è quello di media vigoria, ben esposto, senza frutti; sono da scartare i succhioni, e i rami più deboli ed esili. Va poi tenuto conto della eventuale *topofisi*, per cui rami inclinati potrebbero mantenere tale portamento nelle piante da essi originate (Fig. 3.48bis). Riguardo alla posizione della talea sul ramo, vi sono differenze, ma raramente di grande portata.

Fattori estrinseci

Temperatura - Questo fattore è importante in quanto un'adatta temperatura ha un effetto di stimolo sui processi rizogeni; è quindi importante che, anche d'inverno, la base delle talee riceva temperature relativamente alte, che nei bancali sono mantenute intorno ai 20-25°C; nel caso delle talee legnose, però, che non devono germogliare troppo presto, la temperatura ambiente dovrebbe essere mantenuta molto più bassa. Alcune specie inoltre beneficiano della conservazione delle talee a basse temperature prima dell'inizio della propagazione.

Umidità - La perdita di umidità è il peggior nemico delle talee in radicazione, che possono disseccare prima che le radici neoformate giungano ad essere funzionali. Quindi il mantenimento di un'alta umidità relativa nell'ambiente è essenziale per le talee semilegnose ed erbacee; per le talee legnose invece pericoli per attacchi fungini possono derivare da eccessi di umidità, soprattutto nel substrato.

Lavaggio - Il mantenimento delle talee in acqua per qualche tempo ha spesso un effetto positivo sulla radicazione, probabilmente per il dilavamento che esercita su molte sostanze presenti nelle talee, ed in particolare sugli inibitori della rizogenesi.

Eziolamento - La luce è importante nelle talee con foglia in quanto consente a questo organo di fotosintetizzare e, soprattutto, di produrre le sostanze che presiedono alla neoformazione radicale. D'altro canto, la zona della talea che deve produrre radici è più efficiente in questo compito se è stata mantenuta al buio per un periodo più o meno lungo prima del prelievo dalla pianta madre; il fenomeno si spiega per l'effetto di stimolo che la luce ha sugli enzimi che degradano l'auxina. La riduzione di questo effetto ha la conseguenza di un accumulo locale del fitoregolatore.

Substrato - Il materiale nel quale è posta la talea nel corso della propagazione non ha effetti sul processo rizogenetico, ma l'utilizzazione del substrato adatto può essere determinante

sullo sviluppo delle radici, e quindi sulla qualità della barbatella; infatti il substrato determina le caratteristiche dell'ambiente nel quale la barbatella si sviluppa, quali l'umidità, l'aerazione, l'acidità. Il materiale più usato è la *perlite*, ma altre sostanze sono utilizzate, da sole o in miscugli, come *vermiculite*, *sabbia*, *torba*, *segatura di cocco*, ecc. (Fig. 3.48ter). La scelta del substrato è fondamentale per il successo della propagazione di una data specie.

Fitoregolatori - Abbiamo visto come l'auxina è uno dei fattori di stimolo della rizogenesi. In effetti l'utilizzazione di auxine nel processo di radicazione delle talee è una delle principali innovazioni in questo campo nel dopoguerra, ed anche il caso di maggior successo nell'uso dei fitoregolatori in agricoltura. Si può usare l'auxina naturale, IAA, ma normalmente migliori risultati si ottengono con auxine sintetiche, quali IBA (acido indol butirrico), NAA e NAD (acido naftalen acetico e la sua ammido), e altri prodotti auxino-simili di sintesi. Questi prodotti sono somministrati alla talea in vari modi: i più comuni consistono nell'immergere la base della talea in una soluzione idroalcolica del principio attivo, o in un miscuglio asciutto con talco. La soluzione acquosa è possibile se si utilizzano basse concentrazioni (100-500 ppm), mentre le altre tecniche sono utilizzate per i trattamenti ad alte concentrazioni (1000-5000 ppm e oltre); per questo tipo di trattamenti si può anche ricorrere a sali potassici o ammoniacali delle auxine.

Tecniche particolari di radicazione

Riscaldamento basale - Questa tecnica, adottata principalmente per le talee legnose, consiste nell'impedire alle gemme di schiudere prima che le radici si siano formate, fenomeno comune quando la propagazione è eseguita verso la fine dell'inverno. Lo scopo è raggiunto mantenendo nei pressi della base delle talee temperature adatte alla rizogenesi (di solito circa 21°C), mentre la parte più distale delle talee stesse è mantenuta fuori del substrato, all'aperto, a temperature che, data la stagione, sono relativamente basse. Il risultato è raggiunto ponendo nel substrato, poco al di sotto delle talee, tubi con acqua calda o resistenze: il calore, data la coibenza del substrato, resta in basso e non interferisce con la dormienza delle gemme.

Nebulizzazione - Questo metodo consiste nell'impedire la perdita di acqua da parte delle talee erbacee o semilegnose, che richiedono la presenza di foglie per poter radicare. Acqua finemente suddivisa (*mist*) viene irrorata sulle talee a intervalli periodici, in modo da mantenere uno strato sottile di umidità sulle lamine fogliari, senza necessariamente creare condizioni di ristagno idrico nel substrato. Per questa tecnica sono necessarie serre appositamente attrezzate (Fig. 3.49), che prevedono anche sofisticati sistemi di temporizzazione delle somministrazioni di acqua. Le talee, grazie all'effetto di raffreddamento dovuto all'evaporazione dell'acqua, hanno un'attività epigea rallentata, mentre nel substrato di solito è anche presente riscaldamento basale; queste condizioni, associate ai trattamenti auxinici, hanno dato risultati notevoli nelle sempreverdi ornamentali e in specie da frutto come l'olivo. La tecnica ha subito negli anni perfezionamenti sostanziali, con innovazioni riguardanti il controllo delle irrorazioni, il tipo di micronizzazione dell'acqua (sistema *fog*, o *a nebbia*), semplificazioni costruttive (*assoni riscaldati*).

Innesto

L'*innesto* è un metodo di propagazione che consiste nell'unire porzioni di piante diverse in modo che si venga a costituire un nuovo individuo bimembre (o talvolta trimembre). È una tecnica tuttora importantissima per le piante arboree da frutto.

Normalmente, quindi, l'albero proveniente da innesto è costituito da due parti, o *bionti*, delle quali quella sottostante prende il nome di *ipobionte*, *soggetto*, *selvatico* o *portinnesto*; l'altra è detta *epibionte*, *oggetto*, *gentile* o *nesto*. Può esistere una terza componente tra le prime due, come nel caso del *reinnesto* o del *sovrinnesto*, che prende il nome di *intermediario*.

Scopi dell'innesto

Oltre ad essere un'importante tecnica di moltiplicazione, l'innesto si è dimostrato insostituibile per una serie di vantaggi che può consentire, anche se non in tutte le specie.

Tra i vari scopi dell'innesto i seguenti sono i più importanti:

- Adattamento della coltura a condizioni ambientali estreme. Esistono portinnesti che meglio delle varietà si adattano ad ambienti difficili; per molte specie esistono portinnesti resistenti a diversi tipi di ambiente edafico (umidità, siccità, salinità, calcare).

- Resistenza a parassiti e malattie. Molte specie o varietà sono sensibili a insetti del terreno o della chioma, a nematodi, a malattie fungine e marciumi; in molti casi sono disponibili portinnesti resistenti o che inducono resistenza nell'epibionte.

- Regolazione della vigoria. Per alcune specie esistono portinnesti che modificano la vigoria naturale dell'epibionte, sia accrescendola, sia, più sovente, riducendola, come nel caso del melo.

- Reinnesto. Talvolta, quando una varietà di fruttifero non è più conveniente perché divenuta obsoleta, al posto del reimpianto può convenire innestare sulle chiome degli alberi una nuova varietà più interessante.

- Riparazione danni. Danneggiamenti al tronco provocati da animali o da macchine possono essere superati con particolari tipi di innesto, che ristabiliscono la continuità tra chioma e radici.

- Introduzione di impollinatori. Se dopo l'impianto ci si accorge di non avere una buona impollinazione perché le varietà prescelte non sono adatte, si può risolvere il problema in tempi relativamente brevi reinnestando alcuni alberi o branche con impollinatori idonei.

Tipi di innesto

Gli innesti rientrano in tre principali categorie, a seconda delle modalità di esecuzione e del materiale usato: innesti *per approssimazione*, innesti *a gemma*, innesti *a marza*.

Classificazione degli innesti

Innesti per approssimazione (Fig. 3.50)

Innesti a gemma

a occhio (o scudetto)

Vegetante

Dormiente (Fig. 3.51)

a pezza (Fig. 3.52)

a anello

alla maiorchina (Fig. 3.53)

Innesti a marza

- a spacco (pieno, parziale, totale (Fig. 3.54), doppio (Fig. 3.55), laterale, terminale)
- a intarsio
 - a triangolo (Fig. 3.56)
 - a sella
 - a cavallo
- a corona
 - a penna
 - a becco di luccio
 - a corona propriamente detto (Figg. 3.57, 3.58)

Innesti a ponte e ad arco

Innesto intermedio

- a doppia marza
- a coccarda
- a doppio scudo

Microinnesto

Nell'innesto *per approssimazione* l'oggetto resta unito alla pianta madre fino a che l'attecchimento è avvenuto. Si tratta di un innesto che ha luogo anche in natura, tra i rami di piante che nelle foreste si intrecciano. Nella tecnica vivaistica ha poco interesse da noi, ma ne riveste ancora nei paesi tropicali, per specie colà coltivate.

Negli innesti *a gemma* l'oggetto è costituito da una sola gemma, con una porzione di corteccia e, più raramente, di legno del ramo di provenienza. Con l'eccezione dell'innesto *alla maiorchina*, per questo tipo di innesti è necessario che la pianta da innestare sia in succhio, affinché si possa distaccare con facilità la corteccia. È quindi un innesto che si può fare nel corso del periodo vegetativo, anche se in genere ci si limita all'inizio della primavera ed alla fine dell'estate.

Negli innesti *a marza* l'oggetto è rappresentato da una porzione di ramo che porta una o più gemme. Sono innesti che si eseguono di norma nel corso del riposo invernale, e in qualche caso sono eseguibili anche a macchina. Gli innesti *a spacco* prevedono una fenditura del portinnesto, nella quale viene inserita la marza appositamente sagomata. Negli innesti *a intarsio* invece si asporta dal portinnesto una porzione di legno; alla cavità risultante si adatta la marza. Gli innesti *a corona*, infine, pur essendo a marza, prevedono l'inserimento di questa sotto la corteccia, che quindi deve potersi staccare con facilità; per questi innesti quindi vale quanto detto per gli innesti a gemma circa l'epoca adatta alla loro esecuzione.

Gli innesti *a ponte* e *ad arco* consistono nell'inserzione sotto la corteccia del tronco di lunghe marze (a ponte) o di un succhione (ad arco), per rimediare a danni più o meno gravi che il tronco possa aver subito.

L'innesto *intermedio* è un tipo di innesto, detto anche sovrintesto, che serve a superare le disaffinità tra i bionti. Si può innestare l'intermediario sul portinnesto, e quindi l'anno successivo innestare la cultivar sull'intermediario, ma ciò richiede anni; per ovviare a questo problema vengono utilizzate altre tecniche, quali l'innesto *a doppia marza*, che consiste nell'innestare sul portinnesto una marza composta dai due bionti superiori innestata al tavolo e fatta saldare in forzatura; oppure l'innesto *a coccarda*, per cui si innesta a gemma la cultivar sull'intermediario, quindi a saldatura avvenuta si preleva la gemma con una porzione di legno dell'intermediario e si innesta a sua volta sul portinnesto, sempre a gemma. Ma il sistema più recente e veloce è l'innesto *a doppio scudo*, che è un innesto a gemma nel quale si interpone tra portinnesto e cultivar una sottile porzione di legno

dell'intermediario; per quanto piccola, essa sarà sufficiente a consentire il superamento della disaffinità.

Il microinnesto consiste nell'unione in condizioni asettiche di apici esenti da virusi su portinnesti altrettanto sani. Serve ad ottenere piante virus-esenti da utilizzare per diffondere materiale risanato.

Attecchimento dell'innesto

La riuscita dell'innesto dipende da numerosi fattori, che devono essere conosciuti per avere i migliori risultati.

Contatto - I tessuti generatori devono essere il più possibile vicini ed a contatto, sia per evitare le perdite di umidità che possono far disseccare i bionti prima che avvenga la saldatura, sia per favorire lo stabilirsi di una continuità tissutale nel più breve tempo possibile. In tal senso è importante una stretta legatura, l'immobilità dei due bionti, e la protezione del punto d'innesto con le legature o con mastice.

Fattori ambientali - Le temperature ottimali oscillano tra i 20 e i 30°C. L'umidità deve essere alta, come visto sopra.

Attività del portinnesto - In molti innesti il portinnesto deve essere in succhio, in quanto è il bionte che più partecipa al processo di saldatura. Negli innesti invernali invece il processo è molto più lento, e si deve prevedere una adeguata protezione.

Stato sanitario - Esistono specie nelle quali la presenza di virusi in uno dei bionti può ridurre drasticamente la riuscita dell'innesto.

Polarità - La polarità, come nelle talee, va rispettata. L'innesto può comunque riuscire ma in percentuali più basse, ed i germogli sono in genere più deboli.

Affinità - I risultati sono migliori quanto più il materiale innestato è affine; rari sono i casi di disaffinità all'interno della stessa specie, mentre nel caso di specie diverse (nella stessa famiglia) si possono avere difficoltà. Ciononostante l'innesto tra specie diverse è possibile in certe combinazioni, e talvolta un leggero grado di disaffinità è accettabile, se non auspicato per gli effetti che può avere sulla vigoria della pianta. Ancora più rari sono i casi di innesto tra generi diversi.

Saldatura dell'innesto

Il processo richiede in primo luogo uno stretto contatto tra i due bionti. La loro attività (Fig. 3.59), favorita anche dalla *pressione*, induce una cicatrizzazione in seguito alla deposizione di callo da parte delle cellule cambiali, callo che tende a riempire rapidamente gli spazi vuoti rimasti, e ad isolare il punto d'innesto dall'esterno. All'interno del callo di cicatrizzazione si differenzia quindi un tessuto nuovo, detto *cambiforme*, che collega i due bionti e successivamente dà luogo ad un cambio dipleurico vero e proprio, che forma nuovo tessuto vascolare e quindi una completa continuità tra i due bionti. Questa continuità deve essere stabilita prima che la gemma del nesto inizi a vegetare.

Il processo di saldatura può essere ostacolato da fenomeni di disaffinità, che in genere si manifestano con scarso attecchimento, saldatura lenta e fragile, stentato sviluppo delle piante attecchite, con fenomeni clorotici, precoce filloptosi, fenomeni necrotici nella zona di saldatura, accumuli di amido al di sopra del punto di innesto, e, spesso, con stroncatura della pianta al punto d'innesto. Le cause della disaffinità sono diverse: differenze nel trasporto della linfa e conseguenti scompensi traspirativi, accumuli di sostanze tossiche nel punto d'innesto, virusi; anche il clima può influire nell'aggravare i sintomi di disaffinità. In molti

casi la disaffinità può essere superata con l'utilizzazione di intermediari, cioè di bionti da interporre tra i due principali, che abbiano buona affinità con entrambi. L'utilità degli intermediari è comunque da valutare caso per caso.

Micropropagazione

È una tecnica di propagazione *in vitro* che si basa sulla moltiplicazione intensiva, in condizioni di sterilità, di materiale vegetale posto in mezzo nutritivo. Si tratta di una tecnica relativamente nuova, che si è diffusa a livello vivaistico solo negli ultimi 20-25 anni, e che presenta caratteristiche molto particolari:

Propagazione di massa - È uno dei principali vantaggi: con questa tecnica è teoricamente possibile ottenere un grandissimo numero di piantine, in breve tempo, partendo da un solo espianto.

Aspetti sanitari - Partendo da meristemi di giovani germogli è possibile disporre di materiale esente da virus e altri patogeni.

Conservazione di germoplasma - Le colture *in vitro* possono essere conservate, con crescita minima, a basse temperature (0-10°C) per molti anni, con minima occupazione dello spazio. Inoltre esistono buoni risultati in alcune specie per la *crioconservazione*, con la quale gli espianti possono essere conservati per tempi indefiniti in azoto liquido (-196°C).

Facilità di trasporto - Oltre al minimo ingombro, il materiale *in vitro* può essere trasportato all'estero senza essere sottoposto a quarantena.

Organizzazione del lavoro - La produzione è poco limitata dai cicli stagionali, e quindi l'attività non è periodica come nei vivai.

Attrezzature - La micropropagazione richiede una gamma di attrezzature sofisticate e costose, che determinano alti costi iniziali e quindi la necessità di operazioni su scala medio-alta. Inoltre è necessario personale altamente specializzato.

Mutazioni - La comparsa di mutazioni è un rischio che può esistere e che va controllato, di solito con la riduzione del numero di passaggi. Infatti una mutazione nella coltura *in vitro* può, per le caratteristiche della tecnica, tradursi in migliaia di piantine non rispondenti ai requisiti di identità genetica.

Propagazione per se - Vi sono specie che non possono essere propagate agamicamente con altre tecniche, perlomeno con costi accettabili. La micropropagazione ha permesso di superare questo ostacolo in molti casi.

Miglioramento genetico - Con le colture *in vitro* il miglioramento genetico ha ricevuto nuovo impulso, sia per la possibilità di indurre mutazioni *in vitro*, sia per l'importanza della tecnica per la rigenerazione da cellule ingegnerizzate.

Tecnica della micropropagazione

I principali metodi di micropropagazione sono (Fig. 3.60): *proliferazione dei germogli ascellari*, che determina una rapida moltiplicazione degli espianti; *produzione di germogli avventizi*, indotti a formarsi direttamente sull'espianto o su callo; *organogenesi* in colture di callo, che richiede una preventiva e indipendente formazione di callo; *accrescimento dell'apice meristemato*, utilizzato soprattutto per ottenere piante esenti da virus; *embriogenesi somatica* (Fig. 3.61), con l'ottenimento di embrioni da cellule differenziate dei tessuti o da callo.

La fase di allestimento della coltura aseptica è critica, in quanto estrema cura va dedicata alla scelta della pianta madre dalla quale prelevare gli espianti, da un punto di vista sia sanitario che di identità genetica. Gli espianti sono poi lavati e sterilizzati con cura. Inizia quindi la propagazione vera e propria, che si suole dividere in 3 fasi principali: *moltiplicazione, radicazione, acclimatazione* (Fig. 3.62).

Moltiplicazione - Consiste nella messa a coltura vera e propria degli espianti in contenitori su adatto substrato in modo da favorire un rapido accrescimento dell'espianto. I germogli ascellari o avventizi, una volta raggiunta la dimensione desiderata, vengono suddivisi e posti in nuovi contenitori, nei quali il ciclo riprende (Fig. 3.63). Oltre a vari aspetti specialistici della tecnica, vale la pena di menzionare, per la loro importanza, i *substrati* o *mezzi di coltura*. Ve ne sono diversi disponibili, che possono essere usati con molte specie, ma in genere per ogni specie se ne mette a punto uno più adatto, spesso partendo da quelli più comuni. Il substrato è in genere costituito da una soluzione acquosa di sali minerali (macro e micro elementi), da composti organici (zuccheri, vitamine e aminoacidi) e da fitoregolatori; il tutto il più delle volte è reso solido con l'aggiunta di gelificanti come l'agar. La presenza di acqua e sali è indispensabile in quanto si tratta di una pianta che comunque necessita di acqua e elementi minerali assorbibili, mentre la presenza di zuccheri ed altri metaboliti è dovuta all'incapacità dell'espianto di organizzare il carbonio. La componente ormonale è determinante in quanto influisce sulle fasi più importanti della micropropagazione (Fig. 3.64). Durante la fase proliferativa è utile, ai fini della moltiplicazione, un rapporto citochinine:auxine favorevole alle prime; si tratta però di una indicazione di massima, da aggiustare in funzione di numerose variabili che si possono presentare. Anche il substrato deve essere sterile. Le condizioni ambientali sono altrettanto importanti per la crescita degli espianti; quelle in genere più controllate sono la luce, anche relativamente al fotoperiodo, la temperatura, e la componente gassosa dell'atmosfera interna al contenitore.

Radicazione - Lo stadio di radicazione è generalmente preceduto da un periodo (15-20 giorni) definito di allungamento, durante il quale i processi proliferativi sono rallentati per ottenere germogli migliori. Gli espianti sono quindi posti nel mezzo di radicazione, caratterizzato da quantità ridotte di zuccheri e sali minerali, assenza di citochinine, e relativa abbondanza di auxine. Le condizioni ambientali non cambiano molto, con l'eccezione della luce: di solito è previsto un periodo iniziale di oscurità per favorire l'emissione dei primordi (Fig. 3.65).

Acclimatazione - Quando le microtalee hanno sviluppato un buon apparato radicale (Fig. 3.66) vengono trasferite *in vivo* in contenitori alveolari o vasetti con torba e perlite, che garantiscono buona ritenzione idrica e sofficità del terreno. Le piantine sono dotate al momento del trapianto di caratteristiche anatomiche e fisiologiche particolari, dovute all'ambiente nel quale sono cresciute, e devono gradualmente adattarsi all'ambiente esterno. A questo scopo negli ambienti di acclimatazione luce, temperatura e soprattutto umidità devono essere controllate con cura per evitare alti tassi di mortalità. Nelle 2-4 settimane di acclimatazione l'umidità viene gradualmente ridotta, mentre le piantine producono nuove foglie, più adatte al nuovo ambiente. I passaggi successivi sono l'ombrario e il vivaio in pieno campo.

3.5 Accrescimento e sviluppo della pianta

La produzione vegetale richiede la semina o l'impianto di una unità di propagazione, ed il successivo passaggio della pianta attraverso le diverse fasi di accrescimento e sviluppo, fino alla raccolta del prodotto economicamente utile. Nel corso di questo processo è importante distinguere tra accrescimento e sviluppo, e comprendere i fattori interni ed esterni che li possono influenzare. L'*accrescimento* è di solito definito come una crescita dimensionale irreversibile, misurata come peso secco, che ha luogo per tutta la durata del ciclo vitale. L'accrescimento viene anche misurato con altri parametri, come altezza e diametro del fusto, ma questi possono essere poco rappresentativi e poco legati alla produzione di peso secco. Ciononostante, poiché non è possibile misurare il peso secco di una pianta senza asportarla dal terreno, spesso è necessario affidarsi a valori indiretti, per quanto mai definitivi come il peso secco, per seguire l'accrescimento delle piante, soprattutto quelle poliennali ed arboree.

Sviluppo è una serie di modificazioni morfologiche che avvengono durante l'accrescimento della pianta, ed è meglio descritto in termini qualitativi che quantitativi. Stadi di sviluppo molto ben distinguibili sono per esempio quelli dei cereali (seme, semenzale, accostamento, levata e allungamento del culmo, fioritura e maturazione della cariosside).

La comprensione dell'andamento di accrescimento e sviluppo nelle specie coltivate è fondamentale. Le produzioni vegetali comportano la manipolazione di accrescimento e sviluppo per poter fare il miglior uso delle risorse e massimizzare la resa. La manipolazione dell'accrescimento può essere ottenuta con più efficacia se è ben conosciuto il comportamento di base del genotipo coltivato. Lo stesso vale per lo sviluppo, poiché è importante assicurare la presenza delle condizioni ottimali per garantire una agevole transizione da uno stadio di sviluppo ad un altro, sempre in funzione di adeguate rese finali.

La conoscenza dei principali stadi di sviluppo può anche aiutare l'agricoltore a utilizzare più efficientemente le risorse. L'epoca di somministrazione degli erbicidi ai cereali è indicata in funzione delle più importanti fasi di sviluppo della specie coltivata e delle malerbe piuttosto che sulla base di date del calendario. Così, diserbo condotto troppo presto o troppo tardi può causare danni o morte anche nella specie coltivata. Lo stesso vale per i fungicidi e gli insetticidi. Un altro esempio riguarda l'epoca di distribuzione frazionata dei concimi azotati ai cereali. Il fertilizzante azotato può essere somministrato per stimolare l'accostamento, e quindi aumentare la resa; i cereali rispondono a questo stimolo solo se il concime è somministrato prima dell'inizio dell'ondata naturale di accostamento.

3.5.1 Modelli di accrescimento

Il modello base di accrescimento nelle piante annuali è semplicemente descritto da una curva *sigmoide* (Fig. 3.67). In essa si possono osservare tre principali fasi della crescita.

La prima si riferisce alla germinazione del seme ed alla crescita del semenzale. I semi variano molto in peso tra le diverse specie, e questa differenza iniziale in peso secco, principalmente dovuta alla massa cotiledonare, influenza il tasso di accrescimento iniziale, anche se questa influenza non si ripercuote sulla resa finale. I semi dipendono dalle sostanze di riserva dei cotiledoni e di altri tessuti fino all'emergenza e all'inizio della fotosintesi. Queste sostanze vengono consumate nella prima fase, e quindi il peso secco può diminuire, anche se in realtà i tessuti si differenziano in radici, foglie e fusto. La produzione di sostanza secca supererà i consumi solo dopo che i cotiledoni o le prime vere foglie cominceranno ad avere clorofilla e a sintetizzare, con conseguente rapido incremento della crescita.

La seconda fase di accrescimento è caratterizzata da un rapido e spesso lineare aumento della produzione di sostanza secca. Nelle piante annuali questa fase è di sola crescita vegetativa, e termina con la fioritura (*antesi*). Nei cereali la prima parte di questa fase coincide con la produzione di foglie e con l'accostamento. La fine dell'accostamento è seguita da un periodo di allungamento del fusto e di espansione delle foglie; con l'espansione dell'ultima foglia il tasso di allungamento del fusto si riduce e ha luogo l'emergenza dell'infiorescenza precedentemente formata. In questa fase cresce anche l'apparato radicale. Nel colza il modello di crescita in questa fase è diverso: inizialmente il semenzale forma una rosetta di foglie che si espandono prima dell'allungamento del fusto, il quale è caratterizzato da una struttura ramificata, con numerose foglie piccole. La produzione di un gran numero di gemme a fiore indica il termine della fase di intenso accrescimento, e l'inizio della fioritura. La durata del periodo di produzione di infiorescenze varia con la specie. I cereali completano questa fase in breve tempo, esibendo una *crescita determinata* (maturazione uniforme) (Fig. 3.68). Altre specie (crucifere, leguminose) producono strutture riproduttive per un periodo di tempo prolungato (maturazione scalare), e sono descritte come a *crescita indeterminata* (Fig. 3.69).

La terza fase di accrescimento è caratterizzata da una riduzione del tasso di crescita, fino all'arresto completo a maturità del raccolto. Nei cereali, dopo la fioritura, i semi si sviluppano mentre la crescita di fusto e foglie cessa. In questo periodo l'accrescimento del seme è in parte sostenuto dalla ritraslocazione degli assimilati di riserva di foglie e

fusto. Quindi la parte aerea della pianta perde progressivamente acqua, termina la fotosintesi e il seme matura.

Questo modello è valido per tutte le specie annuali, ma anche per gli alberi e per singoli organi. L'andamento generale non cambia, anche se si possono avere profonde differenze quantitative, e sulle date di inizio e fine del processo. È quindi evidente l'importanza di conoscere il modello di accrescimento delle piante coltivate, e l'importanza dei vari fattori che possono modificarlo.

3.5.2 Sviluppo e ripartizione della sostanza secca

Gli andamenti descritti sono validi solo per il peso secco totale o per quello di alcuni organi. Ma nel corso della crescita delle piante si hanno sostanziali modificazioni morfologiche, e la sostanza secca totale viene distribuita tra i vari organi della pianta in modo non paritario; si tratta di aspetto non secondario, quando si parla di resa economica, ed è ovvio che le pratiche di coltivazione tendono a indirizzare il massimo della sostanza secca verso gli organi che compongono la resa.

Nella Fig. 3.70 è illustrato il modello di crescita e sviluppo in frumento, in un ambiente centro-europeo; in questo come in altri casi i dati si limitano all'analisi delle parti epigee a causa delle difficoltà ad estrarre con accuratezza il sistema radicale. In primavera il peso secco è concentrato nelle foglie del semenzale; in questo periodo cominciano a formarsi i germogli, ed inizia l'*accestimento*. Col momento del massimo accestimento coincide l'inizio della *levata*, o accrescimento del fusto; su questo comincia a formarsi l'infiorescenza, la cui sostanza secca è inizialmente data dalle sole *glume* e *glumelle*, e dal *rachide*. Infine si ha lo sviluppo delle *cariossidi*, che a maturità rappresentano da sole il 40% del peso totale; il calo del peso delle altre componenti indica una ritraslocazione parziale degli assimilati. In questa specie sono importanti, nel corso dell'accrescimento, quei fattori che influenzano il numero di spighe fertili, come l'intensità dell'accestimento. Non molto diverso è l'andamento del fenomeno nel mais, nel quale però appare più importante ai fini della resa il periodo che segue la fioritura, mentre nella barbabietola da zucchero lo sviluppo si distingue notevolmente da quello delle specie da granella (Fig. 3.71). La barbabietola ha un accrescimento solo vegetativo nel primo anno, formando radici, foglie e fusti; essendo la radice un grosso *fittone*, in questa specie è agevole studiare anche lo sviluppo dell'apparato radicale. Inizialmente la crescita è lenta, e foglie e fusto costituiscono la parte principale del peso secco; poi la radice comincia ad

aumentare di peso con rapidità, fino ad arrivare a costituire il 70% e oltre del peso secco totale. Gli altri organi comunque continuano a crescere perché la pianta è biennale, e l'anno successivo, se non fosse raccolta, le riserve della radice servirebbero alla fioritura. L'obiettivo dell'agricoltore, in questo caso, è di favorire una rapida copertura del terreno da parte del fogliame, affinché l'intercettazione della radiazione luminosa sia massima. Questi esempi mostrano l'importanza della conoscenza di crescita e sviluppo di una coltura lungo tutto il ciclo vitale, in quanto le tecniche agronomiche non dovrebbero avere lo scopo di stimolare l'accrescimento in modo generico, ma piuttosto quello di manipolare lo sviluppo delle piante in modo da esaltare la produzione di sostanza secca e la sua ripartizione nelle parti di pianta di maggiore interesse economico.

3.5.3 Analisi e misurazione dell'accrescimento

Abbiamo visto come il modo in cui le piante regolano il loro accrescimento e sviluppo sia complesso, e come quindi la semplice misurazione della resa finale sia insufficiente a descrivere tali dinamiche. Gli studiosi della fisiologia applicata alle piante coltivate hanno proposto modelli matematici per analizzare l'accrescimento, nel tentativo di spiegare le variazioni di resa, e di comprendere i meccanismi di risposta agli interventi sui fattori della produzione, sia per migliorarli, sia per derivarne indicazioni per il miglioramento genetico. L'analisi dell'accrescimento è anche utile per interpretare la risposta delle piante alle variazioni dell'ambiente naturale.

I metodi di analisi più importanti sono i seguenti:

Intensità di accrescimento o *crop growth rate* (CGR) - Misura la produzione di sostanza secca per unità di tempo e per unità di superficie (es. $\text{g/cm}^2/\text{d}$). Varia nel tempo, e indica come i vari fattori influenzano la coltura.

Intensità relativa di accrescimento, o *relative growth rate* (RGR) - Il CGR è un indice assoluto, l'RGR è invece rapportato alla sostanza secca della precedente misurazione; si misura quindi in g/g/d . È anche detto tasso di accrescimento, perché misura gli incrementi.

Intensità di assimilazione, o *net assimilation rate* (NAR) - Misura l'efficienza produttiva della superficie fogliare, rapportando ad essa la quantità di sostanza secca prodotta in un intervallo di tempo ($\text{g/cm}^2/\text{t}$) (Fig. 3.72).

Rapporto dell'area fogliare, o *leaf area ratio* (LAR) - È il rapporto dell'area fogliare totale con il peso secco totale della pianta. Anche questo misura l'efficienza fotosintetica

della lamina fogliare. Come il precedente, tende a diminuire con l'aumento della sostanza secca della pianta, se l'area fogliare cessa di espandersi (specie annuali) ($\text{cm}^2/\text{g/t}$) (Fig. 3.73)

Indice fogliare, o *leaf area index* (LAI) - È il rapporto tra l'area fogliare e l'area di suolo coperta dalla coltura. È un indice della superficie assimilatoria che varia da specie a specie e, nell'ambito della stessa specie, con la varietà, le tecnica colturale e con lo stadio di sviluppo (Figg. 3.74, 3.75). Per il mais in fioritura, per esempio, è di 4,5-5, per la soia può essere anche il doppio (Fig. 3.76). È molto utilizzato, ma si sono anche sollevate osservazioni al suo impiego: difficoltà di misurazione dell'area fogliare, diversa efficienza delle foglie a diverse età, effetti di posizione e angolo di inserzione delle foglie nella chioma (le *erettofile* sono più efficaci delle *planofile*), presenza di altri organi fotosintetici.

Durata dell'apparato assimilatore, o *leaf area duration* (LAD) - Misura la persistenza del fogliame. È l'area del grafico al di sotto del LAI (cm^2/d).

3.6 Apparati Radicali

Le radici svolgono un complesso di funzioni di cui le più importanti sono: assorbimento e trasporto di acqua e elementi minerali, sintesi di composti organici, accumulo di carboidrati, ancoraggio al terreno.

3.6.1 Struttura e sviluppo del sistema radicale

Come nel caso dell'apparato epigeo, anche il sistema radicale è molto più complesso nelle specie arboree, rispetto alle specie erbacee. Inoltre una ulteriore differenziazione permette di distinguere tra monocotiledoni (erbacee) e dicotiledoni e gimnosperme (erbacee e arboree); queste ultime infatti sviluppano inizialmente una radice principale (*fittone*) che deriva direttamente dalla radichetta seminale (*sistema radicale fittonante*). Nelle monocotiledoni invece la radice primaria ha breve durata, e viene sostituita da numerose radici avventizie che si formano al colletto o anche più in alto (*sistema radicale fascicolato*) (Fig. 3.77). La gran parte dell'apparato radicale è di solito superficiale (primi 50-80 cm) ma le varie specie possono avere maggiori o minori capacità di esplorazione. Essendo le caratteristiche dell'apparato radicale più complesse nelle piante arboree, su queste concentreremo la nostra attenzione.

L'aspetto dell'apparato radicale delle piante arboree ricorda quello della parte epigea (se allevata liberamente), con una maggiore estensione in larghezza e minore spessore. La distribuzione dei diversi tipi di radici varia con l'età; in particolare la percentuale di radici assorbenti decresce continuamente (Fig. 3.78).

Nelle prime fasi di crescita il sistema radicale ha conformazione diversa, a seconda dell'origine. Nel semenzale si ha una radice principale che si ingrossa e si mantiene più o

meno verticale, dalla quale si dirama poi il capillizio; la talea emette invece molte radici laterali, inizialmente tendenti all'orizzontalità (Fig. 3.79). E' quindi possibile accertare dall'osservazione del sistema radicale se una giovane pianta è un semenzale o una barbatella.

In passato si riteneva che il fittone conferisse ai semenzali maggiore resistenza, ma ciò non risponde a verità perché dopo qualche anno gli apparati radicali sono uguali, e la distinzione non è più possibile; inoltre la potatura di trapianto rende i sistemi radicali ancora più simili fin dal primo anno.

3.6.2 Distribuzione delle radici nel terreno

Il modo in cui le radici si dispongono nel terreno deriva in buona parte dalle caratteristiche genetiche dell'individuo (Fig. 3.80); queste possono però essere influenzate, anche in forte misura, da numerosi altri fattori, quali: caratteristiche del terreno, umidità, età, pratiche agronomiche, ecc. Nei terreni dei nostri frutteti la zona esplorata dalle radici è quella tra i 20 e i 150 cm di profondità, ma la maggior frequenza è tra 20 e 70 cm (anche se qualche radice può spingersi a 4-5 m di profondità). L'estensione orizzontale dell'apparato radicale è nettamente superiore a quella della chioma (anche di 3-4 volte), ed il capillizio è in gran parte localizzato al di fuori della proiezione della chioma (Fig. 3.81). Anche l'età, come già rammentato, influisce sull'estensione e l'approfondimento del sistema radicale (Fig. 3.82).

Le radici secondarie si formano in corrispondenza delle arche xilematiche. Mancando strutture predeterminate, del tipo delle gemme, tutte le radici laterali sono avventizie, e la loro formazione dipende principalmente dall'ambiente. Se si mette una piantina in un vaso contenente strati di terreno fertile alternati a sabbia, si vede che le radici si sviluppano in corrispondenza degli strati fertili (Fig. 3.83).

3.6.3 Fattori che influenzano l'accrescimento radicale

- Attacchi parassitari

Numerosi sono gli organismi che vivono a spese delle radici, e che in tal modo ne influenzano l'accrescimento. Tra questi marciumi, nematodi e insetti sono i più comuni.

- Aerazione

L'ossigenazione del terreno regola l'approfondimento delle radici. L'optimum è 10% o più di O₂. 30' di anaerobiosi uccidono gran parte degli apici radicali.

- Temperatura del terreno

Le radici mostrano accrescimento anche in inverno, a partire da temperature di 2-5°C, per il melo; oltre i 7°C l'accrescimento diviene rapido, e l'optimum è 21-24°C. Per il pesco l'optimum è 18-21°C; a 27° l'attività radicale si riduce del 40%, a 32-35°C del 97%. Per gli agrumi si ha: minimo 12°, optimum 26°, massimo 37°C.

Oltre al caldo eccessivo, anche il freddo può dare seri problemi. La clorosi può essere indotta dal freddo, per l'inibizione dell'assorbimento di Fe e P. Lo stesso può avvenire in certi casi per l'N.

- Tensione della soluzione circolante

Con valori di 43-57 millibar la crescita radicale del melo si arresta; il suo optimum è di 28 millibar o meno. E' quindi questo il valore che va mantenuto con l'irrigazione.

3.6.4 Accrescimento delle radici

Il parametro che si usa per valutare l'accrescimento radicale è la *lunghezza totale delle radici attive*, dovuta alla formazione di nuove radici ed all'allungamento di quelle preesistenti, da un lato, ed alla suberificazione del tessuto corticale e all'abscissione radicale, dall'altro.

L'accrescimento in lunghezza delle radici riprende in primavera, prima di quello dei germogli, e si protrae più a lungo; la massima intensità si ha in coincidenza con la ripresa dell'attività vegetativa della chioma; successivamente, gli intensi ritmi di accrescimento di germogli e frutti deprimono la crescita radicale, che in condizioni normali riprende solo a fine estate, per poi decrescere gradualmente. La variabilità è notevole tra le specie, cultivar, e anche tra individui con lo stesso genotipo. Il metodo della finestra, sviluppato a East Malling, ha permesso di seguire gli accrescimenti radicali di pero, melo, susino (Figg. 3.84, 3.85). I picchi variano con la specie. Il melo mostra 2 picchi, lo stesso vale per l'olivo. Sull'andamento dell'accrescimento radicale hanno una funzione fondamentale le foglie, come si può vedere quando si confrontano piante normali e defoliate. Importante è anche la presenza di fiori e frutti. Per quanto riguarda la potatura, il suo effetto è negativo sull'accrescimento radicale inizialmente, in quanto si creano dei potenti sink nell'apparato epigeo che competono con le radici, ma successivamente si ha un maggiore stimolo della crescita radicale, grazie ad una maggiore efficienza fotosintetica dei giovani germogli, a un maggiore afflusso di ormoni, ecc. (Fig. 3.86).

Nel momento di massimo accrescimento la velocità di allungamento delle radici varia molto, da 1 a 25 mm al giorno. Nella giornata si hanno forti oscillazioni nel tasso di crescita, anche del 100%. E' inoltre risaputo che le radici si accrescono più intensamente di notte.

Per quanto riguarda il terreno, il terreno ideale per le piante da frutto è sicuramente quello che più consente un buono sviluppo del sistema radicale. Su questo hanno effetto profilo, struttura, asfissia, lavorazioni (Fig. 3.87).

3.6.5 Sistema radicale e tecnica colturale

E' un aspetto importante, in quanto il comportamento delle radici nei riguardi della tecnica colturale può influire su alcune scelte iniziali, che nel caso delle specie arboree non si potranno più modificare nel corso della vita della coltura. I fattori che più influenzano lo sviluppo delle radici, e che possono essere controllati dall'agricoltore, sono:

- Scelta del suolo. Servono analisi chimiche, fisiche, pedologiche.
- Scasso totale all'impianto, o lavorazione preparatoria principale: si può incidere con la profondità, e con eventuali drenaggi.
- Profondità d'impianto (Fig. 3.88); aumenta con l'aumentare della % di sabbia.
- Distanze. La tendenza è verso la loro riduzione (Fig. 3.89), ma si deve tenere presente che l'apparato radicale è modificato dalle distanze. Con l'aumento del numero di piante per unità di superficie le modificazioni sono le seguenti:
 - più stretto angolo geotropico
 - maggiore densità radicale
 - riduzione del numero di radici per pianta
 - più radici negli strati più profondi del terreno

- maggiore sfruttamento del terreno

Riguardo alle lavorazioni, si può scegliere tra (Figg. 3.90, 3.91):

- Lavorazioni superficiali: si eliminano le malerbe, si migliora il bilancio idrico, è possibile l'interramento dei concimi. Ma allo stesso tempo ne risulta poca attività radicale nello strato superficiale, la formazione di una suola di lavorazione nei terreni argillosi.

- Pacciamatura verde: si hanno radici anche superficiali, miglior drenaggio, miglior passaggio delle macchine, miglior assorbimento di alcuni elementi, miglior colore dei frutti. Ma si può anche verificare una forte competizione per azoto e acqua, maggiore incidenza dei danni da freddo, maggiore presenza di parassiti nella copertura vegetale (Fig. 3.92).

- Pacciamatura artificiale. Si può fare con materiali plastici o con altri materiali; di solito poco adatta ai frutteti, è più comune in orticoltura e nei vivai.

- Diserbo chimico. È senza dubbio il migliore per lo sviluppo dell'apparato radicale, anche se alla lunga può creare problemi di inquinamento. Meglio se con disseccanti, e a strisce o alternato. Da non utilizzare nei primi anni dall'impianto (Fig. 3.93).

- Irrigazione. Gli effetti del ristagno idrico sulle radici sono già stati ricordati. La carenza di acqua, oltre allo stress, riduce lo sviluppo dell'apparato radicale perché il terreno diviene più duro e difficile da penetrare. Per quanto riguarda i sistemi d'irrigazione, quello a goccia sembra determinare un aumento percentuale delle radici fibrose.

- Fertilizzazione. Nessun effetto particolare: l'apparato radicale è influenzato dalla carenza di elementi nutritivi come la chioma.

3.6.6 Le micorrize

Nei rapporti fra piante e terreno un ruolo importante può essere svolto dalle simbiosi micorriziche che si stabiliscono fra le radici di molte specie e funghi eterotrofi. Il fenomeno, inizialmente reperito su specie forestali come conifere e quercia, è stato segnalato e studiato anche su specie arboree da frutto e, più recentemente, su frumento e altre graminacee, e su leguminose.

Secondo la loro morfologia le micorrize si dividono in due categorie principali: le micorrize *ectotrofiche* e le micorrize *vescicolo-arbuscolari*. Nelle prime i funghi filamentosi si sviluppano intorno alla radice assorbente, formando un vero e proprio manicotto; la radice non è più in contatto con il terreno, se non attraverso l'intermediazione del fungo. Nel secondo tipo il micelio non è più presente all'esterno della radice, ma vive all'interno delle cellule del tessuto corticale.

La micorrizia è una vera e propria simbiosi. La pianta fornisce metaboliti (carboidrati) e regolatori di crescita al fungo; questo, per parte sua, aumenta notevolmente la superficie di contatto tra suolo e pianta, emettendo una quantità enorme di micelio che si estende intorno alla radice. Le possibilità di approvvigionamento idrico e di elementi minerali presenti nella soluzione circolante sono quindi accresciute, anche perché i funghi sono capaci di assorbire molti elementi minerali sotto forme che sono inutilizzabili per le piante in condizioni normali; il caso più evidente è quello del fosforo.

In conclusione quindi le piante micorrizzate sono in genere più produttive del normale, a parità di condizioni, e per questa ragione la ricerca sta studiando attivamente l'argomento.

3.7 Miglioramento genetico delle piante agrarie

La produzione quantitativa e qualitativa delle piante agrarie dipende, oltre che dalle condizioni dell'ambiente in cui le piante vivono, anche dalle loro caratteristiche genetiche, cioè da un potenziale che le piante possiedono indipendentemente dal fatto che si esprima o no.

Il miglioramento delle piante coltivate può considerarsi antico quanto l'agricoltura, poiché certamente l'uomo ha sempre scelto per la propagazione delle colture il seme prodotto dalle piante più produttive e migliori secondo i suoi bisogni. Tuttavia, un progresso decisivo in questo campo si è avuto in questo secolo, in seguito all'applicazione all'agricoltura dei principi e delle tecniche della genetica.

3.7.1 Richiami di biologia e genetica

Le cellule degli individui di una stessa specie contengono un numero costante di cromosomi riuniti in coppie. Il numero di coppie di cromosomi è caratteristico di ciascuna specie: così abbiamo 21 coppie (42 cromosomi) nel frumento tenero (*Triticum aestivum*), 10 coppie (20 cromosomi) nel mais (*Zea mays*). I cromosomi portano i geni, tratti di DNA che contengono l'informazione genetica per dati caratteri. Gli individui di una stessa specie si scambiano questa informazione grazie a due processi fondamentali, la *meiosi* e la *fecondazione*.

In una pianta diploide, durante la meiosi, passaggio dalla fase *diploide* ($2n$) alla fase *aploide* (n), il *nucleo* che dà luogo ai due *gameti* subisce due successive divisioni (Fig. 3.94). Le cellule che si originano sono i gameti, o cellule sessuali, aploidi, che congiungendosi a gameti del sesso opposto daranno origine allo *zigote*, diploide, la cellula dalla quale si originerà l'embrione e quindi il nuovo individuo. I cromosomi presenti nei gameti hanno caratteri presenti nelle cellule madri, ma ridistribuiti in modo diverso grazie a diverse ragioni: una è che la separazione dei cromosomi omologhi e la loro ripartizione nei gameti avvengono in maniera casuale, per cui i due genomi che ne risultano sono costituiti da cromosomi paterni e materni variamente mescolati; l'altra è il *crossing-over*, per cui cromosomi omologhi possono scambiarsi tratti di cromosoma durante la meiosi. I geni che si trovano nella stessa posizione (*locus*) in cromosomi omologhi si chiamano *alleli*.

L'insieme dei geni di un individuo costituisce il suo patrimonio ereditario, o *genotipo*. I geni controllano sia i caratteri morfologici e biochimici che i comportamenti fisiologici o patologici.

L'apparizione di un carattere, o il modo in cui questo si manifesta, sono sempre influenzati dalle condizioni ambientali. Lo sviluppo e accrescimento di una pianta sono il risultato di incessanti interazioni tra il patrimonio ereditario ed i fattori esterni dovuti all'ambiente. Il *fenotipo* è l'insieme delle caratteristiche visibili, e rappresenta l'espressione del genotipo in funzione delle condizioni ambientali.

Se ipotizziamo che un certo carattere possa avere due tipi di alleli, che chiameremo A e a, il genotipo può essere per quel carattere sia *omozigote*, quindi AA o aa, oppure *eterozigote*, Aa.

Un individuo omozigote produce gameti tutti uguali per il carattere considerato

e quindi, se autofecondato, dà luogo a una discendenza tutta uguale a se stesso; un eterozigote, invece, nel corso della meiosi darà luogo a gameti diversi, dei quali una metà riceve un allele, l'altra metà l'altro allele.

Se consideriamo una pianta omozigote per il colore rosso del fiore, essa conterrà in ogni sua cellula alleli identici per quel carattere, che indichiamo con le lettere CC. Ipotizziamo poi di avere un'altra pianta della stessa specie, che differisce dalla precedente solo per il colore dei fiori, che sarà bianco, ed è omozigote per questo carattere; questa pianta possiede due alleli anch'essi identici tra loro, ma diversi da quelli della prima pianta, che indichiamo con le lettere cc.

Al momento della formazione dei gameti tutti quelli della prima pianta conterranno un C, mentre tutti quelli prodotti dalla seconda pianta conterranno un c.

Incrociando tra loro le due piante, ogni gamete C non potrà che fondersi con un gamete c, dando luogo ad uno zigote, e quindi ad un organismo, eterozigote per il colore del fiore, con la formula Cc per quel locus (Fig. 3.95).

Per quanto riguarda la manifestazione del carattere, in genere in caso di eterozigosi uno solo degli alleli si manifesta nel fenotipo, impedendo il manifestarsi dell'altro: in tal caso il fenotipo si comporta come se il genotipo fosse omozigote, e non eterozigote quale è: questo fenomeno, in cui un allele domina un altro, si dice *dominanza*. L'allele dominato è detto *recessivo*. Nel nostro esempio nella prima generazione autofecondata (F1) tutti gli individui avranno genotipo Cc, e tutti i loro fiori saranno rossi.

Un organismo eterozigote, quindi con patrimonio Cc, produce gameti per metà portanti il carattere C, e metà col carattere c; nel caso di fecondazione tra individui eterozigoti, come potrebbe essere tra i prodotti F1 del nostro esempio, o la stessa autofecondazione, l'accoppiamento tra i gameti è casuale, dando luogo alle seguenti combinazioni: CC, Cc, cC, cc; metà degli individui saranno omozigoti (1/4 per l'allele C e 1/4 per l'allele c), metà eterozigoti. Per la dominanza, solo gli omozigoti per c saranno bianchi, tutti gli altri (3/4) saranno rossi.

L'esistenza di tali rapporti nella discendenza di un eterozigote fu scoperta da un monaco agostiniano boemo, Gregorio Mendel, che pubblicò i suoi dati ottenuti con i piselli nel 1866; tali dati rimasero però ignorati fino al 1900.

L'incrocio tra individui differenti solo per una coppia di alleli è un caso di *monoibridismo*. Si ha invece *poliibridismo* quando si uniscono individui che sono diversi tra loro per più di un carattere. Se i caratteri, o alleli, differenti sono due si ha un diibrido, se sono tre si ha un triibrido, e così via. In tal caso le possibili combinazioni genetiche sono in numero maggiore, che cresce con il numero di alleli considerati, come pure i possibili fenotipi, poiché ogni coppia di alleli è indipendente dalle altre (Fig. 3.96).

In base a quanto sopra si possono fare alcune proposizioni, che sono anche chiamate "*leggi di Mendel*":

- Gli individui F1 ottenuti dall'incrocio di genitori omozigoti sono tutti uniformi e manifestano i caratteri dominanti dei genitori (legge della *dominanza* o della

uniformità degli ibridi F_1).

- I due geni allelici per un dato carattere che l'incrocio unisce nell'ibrido non si mescolano né si alterano reciprocamente, ma al momento della meiosi si separano passando immutati in gameti diversi (legge della *disgiunzione*).
- I caratteri determinati da geni che si trovano su cromosomi diversi si comportano in modo indipendente (legge dell'*indipendenza*).

Ben presto è apparso chiaro che le leggi di Mendel non spiegano tutti i fenomeni dell'ereditarietà, ma che esistono ad esse numerose eccezioni.

Quando due alleli sono presenti nello stesso individuo la dominanza non è sempre assoluta, e il fenotipo può essere intermedio tra quelli dei genitori. Nel nostro primo esempio, gli ibridi F_1 avranno fiore rosa, ferma restando la regola della uniformità.

La legge dell'indipendenza non è valida per i caratteri determinati da geni che si trovano sullo stesso cromosoma (*associazione o linkage*) perché questi geni tendono a rimanere sempre insieme, venendo quindi ereditati in blocco. Però durante la meiosi ricorrono abbastanza frequentemente scambi di parti tra cromosomi omologhi (*crossing-over*), e quindi l'associazione dei geni situati nello stesso cromosoma non è sempre completa; ne deriva che, sia pure con basse frequenze, anche nel caso dei caratteri associati si possono avere ricombinazioni.

Altre eccezioni alle cosiddette leggi di Mendel si devono al fatto che i geni possono influenzarsi a vicenda (*interazioni geniche*). Si possono così avere geni che mascherano o inibiscono altri geni (*epistasi*), come pure l'occorrenza di *interazioni* e di *complementarietà*. Talvolta un solo gene controlla diversi caratteri (*pleiotropia*); altri determinano la morte degli individui che li portano se omozigoti (*geni letali*).

Certi caratteri morfologici (taglia, vigoria, ecc.), la cui manifestazione non è esprimibile in termini netti, qualitativi, ma solo attraverso misurazioni, sono detti caratteri *quantitativi*. Essi dipendono da numerosi geni (si chiamano anche caratteri *poligenici* o *polifattoriali*) e nelle loro svariate combinazioni danno luogo ad una gamma di fenotipi estremamente ricca, nei quali non è praticamente possibile riscontrare i rapporti mendeliani. La maggior parte dei caratteri di interesse agronomico (produttività, qualità organolettica, resistenze alle avversità, caratteri fenologici, ecc.) è di tipo quantitativo.

3.7.2 Tipi di propagazione e caratteristiche genetiche delle piante

Le piante presentano due grandi tipi di propagazione: la riproduzione, o propagazione gamica, o propagazione sessuale, e la moltiplicazione, o propagazione agamica, o propagazione asessuata. Anche se entrambe possono essere presenti in molte specie, in genere una prevale. Il tipo di propagazione esclusivo o prevalente di una data specie ne influenza anche le caratteristiche genetiche.

Riproduzione

Le specie vegetali possono essere caratterizzate da due regimi di riproduzione: l'*allogamia* e l'*autogamia*. Il regime di riproduzione condiziona la trasmissione del patrimonio ereditario e le possibilità di migliorarlo.

Allogamia e autogamia

Le piante che di norma si riproducono per fecondazione incrociata si dicono *allogame*. Il polline emesso da una pianta feconda gli ovuli delle piante vicine. Il mais, la segale, la barbabietola sono piante allogame. In alcune, come nel mais, la presenza di fiori monosessuati (monoicismo e dioicismo) favorisce l'allogamia. Altri fattori favorenti sono: *dicogamia* (maturazione non contemporanea degli stami e dei pistilli nei fiori della stessa pianta), particolari conformazioni dei fiori, *autoincompatibilità*.

L'allogamia è il meccanismo di riproduzione più diffuso in natura. Tra piante vicine le ibridazioni sono continue: gli individui sono notevolmente diversi e il loro insieme costituisce una *popolazione*. Una popolazione implica una variabilità genetica più o meno grande, sempre però in presenza di caratteri comuni legati all'adattamento alle condizioni locali. All'eterogeneità genetica, o eterozigosi, corrisponde una eterogeneità fenotipica variabile, in funzione delle caratteristiche di dominanza o recessività degli alleli. Se si scelgono delle piante all'interno di una popolazione e si moltiplicano si possono ottenere popolazioni diverse. Le varietà agricole di piante allogame, a parte gli ibridi, sono delle *popolazioni*.

Nel caso di altre specie coltivate, come frumento, pomodoro, avena, lino, pisello, ecc., la fecondazione avviene direttamente all'interno dei fiori; gli ovuli sono fecondati dal proprio polline. Tra i meccanismi atti a favorire l'autofecondazione vi è la *cleistogamia*, tipica del frumento e di altri cereali. In queste specie si ha l'autofecondazione perché i fiori, al momento dell'impollinazione, non sono ancora aperti e quindi non possono ricevere polline estraneo. Il metodo di riproduzione è l'*autogamia*; ciò significa che dopo una serie di autofecondazioni consecutive si raggiunge una certa omogeneità genetica del materiale vegetale. I cromosomi omologhi divengono identici; ogni locus porta alleli simili e la pianta è omozigote. L'autofecondazione di una pianta omozigote non comporta alcuna variazione; tutti i discendenti sono identici tra loro, e uguali alla pianta madre: l'insieme costituisce una linea pura, stabile e omogenea. Una popolazione di piante autogame è quindi un insieme di linee pure.

Va però ricordato che in genere un basso tasso di allogamia è presente anche in queste specie; nel frumento è valutato nell'ordine del 4%.

Inbreeding ed eterosi

In un'ampia popolazione di una specie allogama in equilibrio la probabilità che due alleli di uno stesso individuo siano identici per discendenza è in pratica uguale a zero ($F=0$); quando le piante sono costrette a riprodursi per autogamia, il grado di omozigosi aumenta (Fig. 3.97). Contemporaneamente, si può osservare una rapida diminuzione di vigore e di resa rispetto alla popolazione di

origine; è l'effetto di *inbreeding*, o di *consanguineità*. L'effetto è particolarmente marcato nel corso delle prime generazioni, per poi continuare con sempre minore intensità.

All'opposto, quando linee omozigote sono incrociate tra loro, l'altissima eterozigosi che ne deriva determina un forte aumento di vigore: è il fenomeno dell'*eterosi*. L'effetto si manifesta anche in seguito all'incrocio di due diverse popolazioni. Esso è tanto più marcato quanto più distanti sono i genitori da un punto di vista genetico. Gli ibridi F_1 sono eterozigoti; il loro patrimonio genetico, che proviene per metà dal padre e per metà dalla madre, è identico. Se si autofeconda un ibrido F_1 si osserva in F_2 una redistribuzione dei patrimoni genetici, e un calo del vigore ibrido.

Sia la riduzione di vigore per *inbreeding* che il suo aumento per eterosi riguardano l'insieme dei caratteri di una pianta: peso secco, peso della granella, velocità di accrescimento, resistenza ai parassiti, ecc. I due fenomeni si spiegano con la presenza o l'assenza di caratteri sfavorevoli o subletali come omozigoti: questi, essendo in genere recessivi, possono esprimersi solo quando presenti su entrambi i cromosomi omologhi; alti livelli di eterozigosi consentono solo l'espressione di alleli dominanti, con il conseguente alto grado di vigore, detto anche "*lussureggiamento degli ibridi*".

Moltiplicazione

Molte piante si propagano in natura per via vegetativa, anche se è raro che una specie abbia del tutto perduto la capacità di riprodursi. In agricoltura il fenomeno è sfruttato principalmente per le piante arboree. La propagazione agamica consente di ottenere piante identiche alle piante madri, in quanto derivate da cellule somatiche e non da zigoti. Gli individui, tutti uguali, derivati da un unico capostipite, costituiscono un *clone*. Il clone si può considerare affine alla linea pura perché in entrambi i casi si tratta di individui omogenei; però, mentre gli individui della linea pura sono omozigoti, quelli del clone sono in genere eterozigoti. Ne consegue che la linea pura si mantiene con la propagazione per seme, mentre il clone resta tale solo se viene indefinitamente propagato per via agamica.

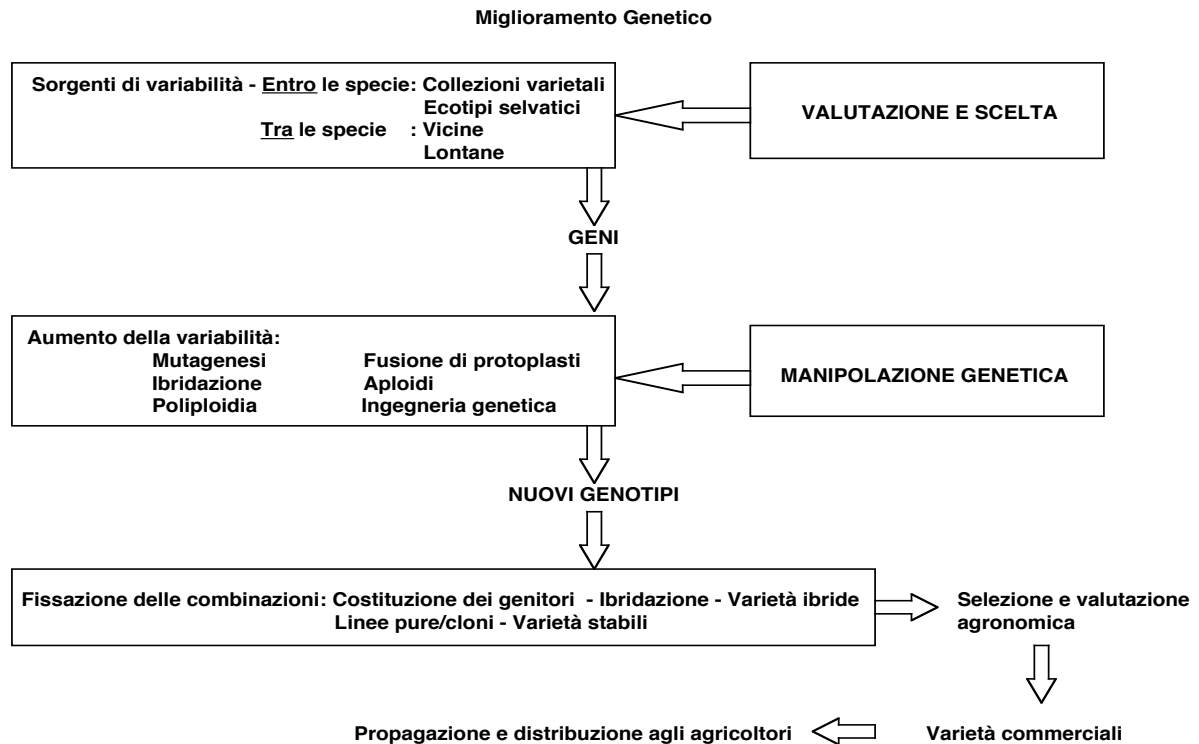
3.7.3 Il miglioramento del patrimonio genetico

Gli obiettivi del miglioramento genetico sono quelli del miglioramento delle produzioni come quantità, qualità e regolarità, e del miglioramento della tecnica colturale soprattutto nel senso della semplificazione delle operazioni e della riduzione dei costi. Non sempre questi obiettivi sono tra loro indipendenti.

Una nuova varietà deve possedere, oltre a un potenziale produttivo accresciuto, una buona capacità di adattamento a un'ampia gamma di condizioni climatiche ed edafiche, e alle avversità biotiche.

Il miglioratore si propone una serie di obiettivi, definendo le caratteristiche del materiale vegetale che spera di ottenere. A tale scopo deve riuscire a reperire

quegli individui che portino geni che, per la loro presenza e la loro organizzazione, consentano di esprimere i caratteri ricercati. La fase successiva consiste nella creazione di genotipi con i caratteri desiderati, grazie a una ricombinazione, un rimescolamento dei genotipi esistenti. Tra i prodotti ottenuti sarà poi operata una scelta degli individui che meglio corrispondono allo scopo prefissato.



Il lavoro del miglioratore comporta quindi tre tipi di attività:

- attività di *esplorazione* e *valutazione* del materiale vegetale;
- attività di *costituzione* di materiale nuovo;
- attività di *selezione*: ricerca tra le combinazioni ottenute di quella con le qualità desiderate.

Il miglioratore utilizza la variabilità genetica esistente, ma può anche cercare di aumentarla. Per utilizzare la variabilità genetica esistente, è necessario esplorare sia le piante coltivate che le piante selvatiche. Queste ultime di fatto spesso possiedono caratteri interessanti assenti nelle piante coltivate, per esempio geni di resistenza ai parassiti. Tutte le istituzioni che si occupano di miglioramento genetico costituiscono e mantengono considerevoli collezioni di *germoplasma*. Poiché i singoli individui o istituzioni non riescono spesso a gestire collezioni che divengono sempre più cospicue, si sono create banche di geni a livello internazionale, anche per limitare *l'erosione genetica*, il fenomeno per il quale la biodiversità è costantemente in pericolo. La variabilità genetica è una ricchezza nella misura in cui viene caratterizzata, studiata, conservata e resa disponibile.

Il miglioratore dispone di numerosi mezzi per accrescere la variabilità genetica. Il più comune consiste nell'incrociare individui, all'interno della stessa specie, che possiedano geni che si vuole riunire in un unico individuo.

Successivamente il materiale vegetale ottenuto (in genere un alto numero di discendenti, o incroci) viene esaminato per separare gli individui interessanti dal resto. Le variazioni del patrimonio ereditario devono essere valutate tenendo conto dell'ambiente. Le possibili varietà nuove sono confrontate con un controllo, o testimone, di caratteristiche ben conosciute; i caratteri esaminati sono numerosi. In qualche caso è necessario creare condizioni particolari per lo studio di certi caratteri, come l'inoculazione artificiale per lo studio di resistenze a fattori biotici. Le osservazioni continuano per diversi anni, in ambienti diversi, prima di poter decretare la nascita di una nuova varietà.

Manipolazioni genetiche

Mutagenesi

Le *mutazioni* sono cambiamenti improvvisi ed ereditabili nel materiale genetico, e costituiscono la base della variazione genetica di una popolazione, oltre a fornire materia prima per il lavoro di selezione.

Possono essere geniche, cromosomiche e genomiche. Le mutazioni geniche riguardano geni singoli e consistono nel passaggio di un gene da uno ad un altro stato allelico; le mutazioni cromosomiche consistono in alterazioni strutturali del cromosoma e comportano perdite di geni, aggiunte di geni o variazioni nella loro disposizione; le mutazioni genomiche hanno come conseguenza variazioni nel numero di cromosomi.

Poliploidia

La *poliploidia*, cioè il fenomeno per cui l'assetto cromosomico base è rappresentato un numero di volte diverso da 2 nelle cellule somatiche, è stata una forma importante di evoluzione per le piante coltivate. Così, abbiamo piante triploidi, nelle quali il genoma è rappresentato 3 volte nelle cellule somatiche (3x), tetraploidi (4x), pentaploidi (5x), esaploidi (6x), e così via.¹ A seconda del modo in cui si viene a formare il poliploide, si definiscono due tipi di poliploidia: l'*autopoliploidia*, nella quale vengono moltiplicati genomi identici di una singola specie, e l'*alloploidia*, nella quale i genomi sono più o meno diversi perché derivati da due o più specie.

I poliploidi si originano essenzialmente da due processi: 1) raddoppiamento del numero dei cromosomi in cellule somatiche e successiva moltiplicazione di tali cellule; 2) formazione di cellule germinali non ridotte. La seconda di queste

¹ Si indica con "X" il numero base dei cromosomi sul quale si è basata la differenziazione delle specie in un gruppo (genere, famiglia), e con "n" e "2n" il numero cromosomico gametico e somatico delle specie. Es.: nel genere *Triticum* x=7; *Triticum monococcum* 2n=2x=14; *Triticum durum* 2n=4x=28; *Triticum aestivum* (frumento tenero) 2n=6x=42.

cause è in particolare la responsabile dell'insorgenza dei triploidi che sono molto frequenti nel melo e nel pero; essi derivano dalla fecondazione di una cellula germinale non ridotta con una regolarmente ridotta. Il raddoppiamento somatico si ha dal fallimento nella formazione della membrana di separazione tra i nuclei figli, mentre i gameti non ridotti risultano dal fallimento della separazione tra cromosomi omologhi alla meiosi: ciò è particolarmente frequente nella meiosi degli ibridi. I due processi sopra menzionati, che normalmente avvengono in natura anche se con frequenza piuttosto bassa, noi li possiamo provocare artificialmente trattando gli apici vegetativi con un veleno mitotico, come la colchicina, o sottoponendo a shock termici le piante alla meiosi o subito dopo la fecondazione nel corso della prima mitosi.

Gli autopoliploidi non sono stati molto importanti nell'evoluzione naturale perché di norma presentano un comportamento aberrante dei cromosomi alla meiosi e un alto grado di sterilità. Bisogna però tenere presente che l'autopoliploidia può aver rappresentato in natura una fase di passaggio all'alloploidia, cioè alcuni incroci interspecifici si sono resi possibili solo dopo che nelle due specie si era avuta autoploidia.

A causa della limitata capacità riproduttiva le specie e le varietà autopoliploidi vengono abitualmente propagate per via agamica. Esse hanno spesso fiori, frutti, e altre parti di pianta più grandi che nelle corrispondenti cultivar diploidi, e per questa ragione sono utili ed interessanti pur avendo una più bassa fertilità ed una più lenta velocità di accrescimento. L'autopoliploidia quindi conserva importanza nei programmi di miglioramento genetico, limitatamente alle piante che possono essere propagate per via vegetativa.

L'alloploidia è legata all'ibridazione tra specie diverse seguita dal raddoppiamento del numero dei cromosomi. Sappiamo che per un normale funzionamento della meiosi è necessaria la presenza contemporanea di due cromosomi omologhi per ogni tipo. Nell'ibridazione interspecifica, quando i cromosomi delle due specie che si uniscono sono differenziati in modo da non potersi considerare omologhi, non può avvenire un regolare appaiamento alla meiosi e si avrà quindi sterilità. Se il numero cromosomico dell'ibrido però viene raddoppiato, ciascun cromosoma trova immediatamente il suo omologo per effetto del raddoppiamento e la meiosi può avere svolgimento regolare e la fertilità viene restaurata. Il processo di sintesi di una specie nuova partendo da due specie preesistenti ripetuto in laboratorio ha non solo permesso di modificare specie preesistenti in natura, ma anche di creare nuove specie. In ogni modo, gran parte delle specie coltivate, forse la metà, è alloploide. Infine, ci sono specie nelle quali i tipi cromosomici fondamentali non sono rappresentati egualmente riguardo al loro numero e questo fatto è stato denominato poliploidia secondaria. La conseguenza più importante da un punto di vista pratico riguarda la fertilità. Appare ovvio che, se si pensa al processo meiotico, le piante con ploidia dispari, o con poliploidia secondaria, trovino enormi difficoltà a produrre gameti bilanciati, e quindi fertili: la conseguenza di ciò è che le cultivar triploidi (come quelle di melo e di pero) non producono polline funzionante e i semi capaci di germinare regolarmente e produrre semenzali di buona vigoria sono rari. Anche tra i semi che sembrano costituiti

normalmente molti sono poco vitali a causa della loro costituzione cromosomica *aneuploide* ($2n + 1, 2$, ecc.). Data la forte sterilità le forme poliploidi $3x, 5x$ e $7x$ hanno trovato sviluppo solo tra le piante a propagazione agamica, fruttiferi e piante ornamentali, nelle quali ultime inoltre la mancata produzione del frutto e del seme spinge a una fioritura più abbondante, come possiamo osservare nei ciliegi da fiore, nei peschi da fiore, ecc.

Anche le piante autotetraploidi che possiedono un numero pari di cromosomi omologhi presentano frequenti irregolarità alla meiosi. Il risultato è che i gameti che ne risultano hanno un numero di cromosomi inferiore o superiore a quello che rappresenta il normale assetto diploide, cosicché un certo grado di sterilità gametica è sempre presente negli autopoliploidi. Invece nei veri alloploidi, nei quali le varie coppie di cromosomi omologhi sono ben differenziate tra loro, l'appaiamento alla meiosi non si discosta da quello dei diploidi normali, e così la fertilità. Tra il vero autopoliploide ed il vero alloploide esiste tutta una serie di casi intermedi nei quali la fertilità gametica va man mano crescendo quanto più ci si avvicina al tipo alloploide, cioè quanto più i cromosomi si differenziano tra loro a coppie.

La poliploidia porta conseguenze importanti anche nella fisiologia. Per esempio l'importante fenomeno dell'incompatibilità che nel ciliegio dolce ha un comportamento mendeliano semplice, nelle specie poliploidi, come in susino europeo, pero, melo, ecc., presenta comportamenti non prevedibili. La stessa fase giovanile delle piante, ben visibile nelle piante arboree, considerata sia come aspetto particolare della crescita (foglie diverse, più piccole, spinescenza, diverso portamento) sia come lunghezza del periodo di immaturità sessuale, è collegata con l'origine complessa delle specie: pesco, ciliegio dolce, vite hanno un periodo improduttivo assai breve, mentre esso è in genere assai lungo in melo, pero, susino europeo. I poliploidi appaiono inoltre più tolleranti dei diploidi alle forti altitudini e alle condizioni estreme del clima. Dal punto di vista agronomico, spesso si osserva che la poliploidia dà luogo a piante più sviluppate e vigorose. In generale però, dato un determinato genotipo, esiste un optimum del grado di poliploidia, oltre il quale l'aumento del numero di cromosomi deprime fortemente lo sviluppo vegetativo, oltre ai fenomeni legati alla riproduzione.

Mutazioni geniche e cromosomiche

In natura le mutazioni si verificano con bassissime frequenze, ed in genere passano inosservate, perché molti cambiamenti del DNA non producono effetti nel fenotipo; oppure le cellule mutate non riescono a superare la competizione del tessuto non mutato quando tentano di moltiplicarsi. Gran parte delle mutazioni sono peggiorative o letali. Molti mutanti sono deboli o poco vitali, deficienti in clorofilla, o sterili. Le mutazioni sono eventi casuali, ed il genetista ha ridotte possibilità di controllarle.

Sappiamo che per ciascun locus nel cromosoma esistono almeno due forme alternative di gene, dette alleli, ma spesso le forme alternative di uno stesso gene sono molte (poliallelia), come nel caso estremo del *Trifolium pratense*, che mostra ben 212 alleli del gene dell'incompatibilità. Tutte queste forme

alternative del gene derivano per mutazione - cioè modificazione - della struttura originaria, selvatica del gene. Le *mutazioni geniche* si verificano per introduzione o perdita o sostituzione di basi puriniche o pirimidiniche costituenti la doppia elica del DNA, cosicché ne risulta un cambiamento nel codice genetico che si riflette su un cambiamento nelle catene polipeptidiche trascritte dal gene.

Le *mutazioni cromosomiche* consistono in cambiamenti che intervengono a livello della struttura del cromosoma. Cambiamenti di questo tipo sono la perdita di un frammento di cromosoma terminale (*deficienza*) o intercalare (*delezione*) in seguito a una o due rotture del cromosoma; non sempre la rottura del cromosoma comporta la perdita del frammento perché assai spesso si può avere immediatamente la riparazione o restituzione della rottura sotto l'effetto di un enzima adatto. Se il pezzetto di cromosoma, in qualche modo staccatosi; si riattacca in posizione invertita avremo una *inversione*, mutazione molto frequente in natura e spesso responsabile della prima differenziazione di sottospecie nell'ambito della specie. Inoltre un dato pezzetto di cromosoma può essere duplicato (*duplicazione*), oppure trasferito ad un cromosoma non analogo (*traslocazione*).

Delle mutazioni genomiche abbiamo già parlato per quanto riguarda la poliploidia (moltiplicazione dell'intero genoma); aploidia invece indica la presenza di una sola copia del genoma nelle cellule somatiche, mentre con aneuploidia si definisce il fenomeno per cui si ha addizione o sottrazione di singoli cromosomi ($2n+1$, $2n-2$, ecc.).

Gli agenti di queste trasformazioni sono i cosiddetti mutageni, che possono essere fisici (varie forme di irraggiamento) o chimici. Alcuni di questi mutageni sono naturali, cioè presenti nell'ambiente e negli esseri viventi, ed hanno dato luogo alla mutagenesi naturale, cioè quel lento processo che ha dato origine alla grande varietà di alleli e di forme esistenti attualmente e che continua, pur se lentamente, a produrre nuovi mutanti. Fattori intrinseci responsabili di mutazione naturale sono la costituzione genetica e le condizioni fisiologiche, cioè metaboliti prodotti naturalmente dalla pianta. Tra le cause esterne si annoverano: nutrizione, temperatura, radiazione naturale.

A partire dagli anni '50 si è sviluppata una tecnica tendente a indurre mutazioni mediante mutageni di natura chimica o fisica. I mutageni fisici sono le radiazioni nella loro duplice forma di radiazioni non ionizzanti (luce ultravioletta, usata di solito sul polline) e di radiazioni ionizzanti. Queste ultime sono i raggi X, molto usati per una serie di vantaggi pratici, i neutroni, che penetrano più in profondità nei tessuti, le particelle α e β emesse da radioisotopi, i raggi γ , molto penetranti. In genere questi trattamenti richiedono notevoli precauzioni. Tra le sostanze chimiche impiegate per indurre mutazioni ricordiamo l'iprite, il metansulfonato di etile, l'acido nitroso, ecc.

Con gli agenti mutageni si trattano di solito semi, gemme, granuli pollinici, ovuli. Ricordiamo che in genere le mutazioni sono recessive; quindi, se hanno luogo in organi destinati alla riproduzione (polline, ovuli), non si manifesteranno in F_1 , ove saranno sempre dominate, ma solo in F_2 in seguito a segregazione. Quelle invece che si hanno in cellule somatiche (semi, gemme) si

manifesteranno, se omozigote, nella misura in cui daranno luogo a nuovi tessuti e organi.

Chimere

Nelle piante a propagazione vegetativa è possibile che cellule mutate convivano con cellule non mutate. L'assenza del filtro della meiosi e della riproduzione (la propagazione non passa da una sola cellula ma per gruppi di cellule o interi organi) permette il perpetuarsi di situazioni di eterogeneità fra cellule dello stesso organismo, portanti mutazioni diverse e spesso insorte in momenti diversi. Gli individui composti da tessuti diversi geneticamente sono chiamati chimere. Tralasciando le chimere d'innesto, di scarso interesse genetico e pratico, le chimere derivate da mutazione spontanea o indotta, o chimere genetiche, assumono un'importanza rilevante nelle piante a propagazione vegetativa. Queste piante, fruttifere e ornamentali, vengono moltiplicate per tempi lunghissimi, se non addirittura indefinitamente, senza passare attraverso la gamia e quindi hanno la possibilità di accumulare mutazioni, a patto che esse non ledano la vitalità e il ritmo di accrescimento delle cellule colpite.

Infatti l'evento mutativo colpisce a caso le cellule, in numero esiguo. Se le cellule mutate hanno la possibilità di moltiplicarsi avremo un tessuto mutato che concreterà col tessuto normale. L'insorgenza di una mutazione normalmente avrà luogo in forma chimerica; solo nel caso in cui da una o poche cellule dipenda la costituzione di un germoglio, e che quell'unica o poche cellule mutino, potremo avere un germoglio mutato in tutti i tessuti (mutazione compatta) e non una chimera.

Ovviamente non si può escludere che chimere insorgano nelle piante propagate per seme, ma in tal caso la loro durata è limitata a quella dell'individuo, perché mancheranno di mezzi per trasmettersi ad altri individui.

Di solito si suddividono le chimere in *periclinali*, *mericlinali* e *settoriali*, a seconda della ubicazione del tessuto mutato nel germoglio che, sviluppandosi, darà luogo a un ramo, una branca o una intera pianta, come si vede nell'illustrazione (Fig. 3.98).

Le *citochimere* sono chimere nelle quali il tessuto mutato è poliploide. Esse rivestono un particolare interesse perché questo tipo di mutazione è individuabile facilmente ad uno studio cito-istologico.

Ibridazione

L'incrocio tra genotipi diversi (linee, varietà, razze, specie affini) allo scopo di costituire popolazioni adatte allo sviluppo di un programma di selezione è il metodo più collaudato e più importante per il conseguimento di questo obiettivo. Seguito dagli ibridatori prima che nascesse la genetica, è ancora oggi il metodo su cui si basano buona parte dei piani di miglioramento genetico. La conoscenza del sistema ereditario dei caratteri ha consentito di impostare questo lavoro in modo che la frequenza delle combinazioni geniche utili e quindi le probabilità di successo della selezione siano molto elevate. L'incrocio

può essere fatto anche tra specie diverse, comprese quelle che vivono allo stato selvatico, quando nell'ambito della specie non può essere trovata la variabilità genetica necessaria. Il prodotto dell'incrocio di due individui differenti per contenuto genetico è *l'ibrido*.

Ibridazione intraspecifica

È l'ibridazione condotta tra individui della stessa specie. Si opera con incroci controllati per riunire nella progenie i geni dei genitori per diversi scopi:

- creare nuova variabilità;
- produrre seme F_1 per sfruttare l'eterosi;
- prove di progenie su numerose piante madri impollinate da uno stesso impollinatore.

Uno dei problemi da superare nella esecuzione degli incroci controllati è il pericolo che gli stigmi delle piante portaseme vengano impollinati da polline diverso da quello desiderato, di solito proveniente da piante diverse (Figg. 3.99, 3.100). Ovviamente il problema ha gravità diversa a seconda del tipo di fiori e di fioritura: facile da superare nelle piante dioiche, diventa arduo nel caso di fiori ermatroditi e di cleistogamia. In molti casi quindi si deve operare demascolazione, o castrazione, per eliminare prima della deiscenza le antere. L'operazione può essere manuale, ma si può anche ovviare al problema devitalizzando il polline con calore, freddo o alcool.

L'impollinazione, eseguita in diversi modi, non costituisce di solito un problema, anche se può essere difficile mantenere vitale polline che deve essere trasportato a distanza; l'attenzione del miglioratore si deve quindi concentrare sulla messa a punto delle migliori condizioni di conservazione del polline, di solito operando sulle condizioni di temperatura e di umidità dei contenitori.

Ibridazione interspecifica

In genere, gli incroci tra specie diverse sono difficili. La *specie* è definita come "un insieme di individui interfertili che danno origine a progenie illimitatamente feconde"; si tratta quindi di un sistema geneticamente chiuso. Individui appartenenti a specie diverse non possono incrociarsi liberamente, e ove questo fosse possibile, la progenie non sarebbe feconda, mostrando quindi forme e livelli diversi di sterilità.

Le barriere che ostacolano l'ibridazione interspecifica sono di due tipi:

- Prezigotiche

1) Incompatibilità

- Postzigotiche

1) non vitalità, o scarsa vigoria, degli ibridi F_1 ;

2) non vitalità, o scarsa vigoria, delle generazioni segreganti;

3) sterilità degli ibridi F_1 .

D'altra parte la diversità delle specie fa sì che sia desiderabile associare in un unico genotipo più caratteri utili; la ricerca di nuovi genotipi ibridi interspecifici non è quindi mai cessata, ed ha spesso dato risultati interessanti (Tab. 3.7).

L'ibridazione interspecifica è stata molto usata nel miglioramento genetico delle

specie ornamentali che, essendo propagate agamicamente, non devono essere fertili, né è loro richiesta produzione di frutti e semi.

L'impossibilità di produrre ibridi F_1 può dipendere da mancata fecondazione (polline che non germina, tubetto pollinico che si arresta nello stilo, incapacità da parte del nucleo spermatico di fecondare l'ovocellula) o da morte dell'embrione.

Esistono diverse tecniche che consentono ai miglioratori di superare le barriere di incompatibilità tra specie diverse. Tra queste:

- Uso di specie-ponte, compatibili con entrambe le specie da incrociare, dalle quali possano transitare i caratteri desiderati;
- Modificazione dei livelli di ploidia;
- Uso di tecniche particolari di impollinazione, come rimozione dello stigma, trattamento con fitoregolatori per favorire lo sviluppo del budello pollinico, impollinazione in successione con polline compatibile devitalizzato (*pioneer pollen*) e quindi con polline vitale, impollinazione in contemporanea con i due pollini (*mentor pollen* e polline vitale).
- Ibridazione somatica, o fusione dei protoplasti seguita da rigenerazione *in vitro*.

L'ibridazione interspecifica permette anche di creare specie completamente nuove, come nel caso del triticale, ibrido tra frumento e segale: si tratta del risultato del tentativo di unire l'alta resa e l'elevato contenuto di proteine del frumento con l'adattabilità a condizioni ambientali estreme (freddo e siccità) e l'alto contenuto in lisina della segale. Numerose specie coltivate sono inoltre ibridi interspecifici naturali.

Trasformazioni del patrimonio genetico

Lo svilupparsi e l'affinarsi delle tecniche di colture *in vitro* ha reso possibile la realizzazione di tecniche di trasformazione genetica che, superando le barriere biologiche, consentono di accelerare i programmi di miglioramento, o di raggiungere obiettivi altrimenti impensabili. Oggi le tecniche disponibili sono numerose, pur se la rigenerazione di piante trasformate (transgeniche) partendo da singole cellule ingegnerizzate può ancora presentare difficoltà.

Fusione di protoplasti e ibridazione somatica

In una coltura *in vitro* di protoplasti la fusione tra le cellule può avvenire naturalmente, o essere promossa con l'aggiunta di sostanze che ne favoriscono l'agglutinazione, oppure mediante applicazione di campi elettrici (*elettrofusione*). È inoltre possibile l'introduzione diretta di DNA, RNA, organelli, interi nuclei o cromosomi all'interno dei protoplasti mediante *elettroporazione*, cioè aumentando consistentemente la permeabilità del plasmalemma a seguito dell'applicazione di campi elettrici ad alto voltaggio per tempi brevi ad una coltura di protoplasti.

Aplodiploidia

Consiste nel coltivare *in vitro* gametofiti maschili o femminili: le piante rigenerate sono aploidi (n cromosomi) se la pianta madre è diploide. In questo

modo i caratteri del genotipo appaiono più chiaramente in quanto vengono a mancare fenomeni di dominanza, e la selezione è più agevole. Con il successivo raddoppiamento dei cromosomi dei genotipi prescelti si ottengono linee pure.

Trasferimento e integrazione di geni

Sistema *Agrobacterium*

Gli agrobatteri sono microrganismi patogeni per i vegetali (Fig. 3.101). Le specie impiegate in ingegneria genetica sono *A. tumefaciens* e *A. rhizogenes*, entrambi responsabili di risposte anormali da parte della pianta in seguito ad infezione. L'infettività è conferita da *plasmidi*, molecole circolari di DNA; in essi è presente una zona "T-DNA", trasferibile ed integrabile nei cromosomi delle cellule infettate, costituita da geni che inducono alterazioni dei processi naturali, e manifestazioni ipertrofiche. Inserendo con opportune tecniche di laboratorio una specifica sequenza nucleotidica all'interno del T-DNA dell'*Agrobacterium*, e favorendo l'infezione di una colonia del batterio in un tessuto vegetale in coltura, si può determinare il trasferimento e l'integrazione del T-DNA nel genoma di alcune delle cellule infettate.

Microiniezione

Consiste nell'introduzione diretta di DNA nei protoplasti con l'aiuto di aghi di vetro sottilissimi. Si tratta di una tecnica che richiede una notevole manualità.

Biolistica

Il termine sta per "balistica biologica", e si riferisce ai sistemi di trasformazione che si basano sul bombardamento di cellule e tessuti vegetali con microproiettili sulla cui superficie è stato adsorbito DNA plasmidico. I microproiettili sono costituiti da microscopiche particelle d'oro o tungsteno, che vengono "sparate" sul tessuto bersaglio per mezzo di un flusso di gas inerte a forte pressione. Con la penetrazione all'interno delle cellule il DNA plasmidico viene rilasciato e può andare ad integrarsi nel DNA genomico della cellula.

Strategie classiche di selezione

Per ottenere nuove varietà si devono scegliere genitori che presentano caratteri interessanti, oppure si manipola il patrimonio genetico al fine di provocare riorganizzazioni del genoma. Quindi si valutano le piante ottenute, scegliendo quelle che possono essere interessanti. I due tipi di attività sono intrecciati tra loro, dando luogo a particolari procedure di selezione:

- selezione massale;
- selezione genealogica;
- creazione di varietà ibride.

Selezione massale

All'interno di una popolazione esiste un certo grado di variabilità genetica; la *selezione massale* consiste nella scelta di piante in base ai loro caratteri fenotipici (quantità di granella, colore dei frutti, contenuto in zuccheri, ecc.) e nella loro propagazione. Data la notevole influenza dell'ambiente sull'espressione del genotipo, il metodo è estremamente empirico. È efficace

solo con i caratteri del fenotipo che sono ereditabili; la scelta di individui con un fenotipo interessante infatti può non avere alcun effetto da un punto di vista genetico sulle generazioni successive. La selezione massale è invece totalmente inefficace quando è utilizzata per caratteri correlati negativamente; è il caso di resa e qualità, come nella barbabietola da zucchero riguardo a peso in radici e contenuto in zucchero, o erba medica se si prendono in considerazione produttività in sostanza secca e tenore in proteine.

Selezione genealogica

Il valore di un riproduttore lo si può stabilire solo sulla discendenza. Nella *selezione genealogica*, si segue separatamente la discendenza di ciascuna pianta. Il materiale vegetale di partenza è spesso un ibrido F_1 proveniente dall'incrocio di due linee o popolazioni le cui qualità sono conosciute e complementari.

Lo schema della procedura è tale che si conosce sempre la successione delle generazioni a partire da tutte le piante selezionate all'interno della popolazione F_2 . Mentre in F_2 la selezione si fa sugli individui, nella F_3 e nelle generazioni successive si scelgono prima le famiglie migliori e poi, nell'ambito di ognuna di queste, le piante migliori. È una procedura lunga e laboriosa, che richiede anche molto terreno. Comunque esistono modificazioni per accelerare il processo e renderlo più efficace.

Creazione di varietà ibride

L'*eterosi* e l'importanza delle varietà ibride sono ormai conosciute da molto tempo, e da oltre mezzo secolo esistono varietà ibride di diverse specie; il caso più importante è quello del mais. Nel mais, tra l'altro, la produzione di ibridi è stata facilitata dal monoicismo che caratterizza questa specie.

La creazione di una varietà ibrida comprende tre fasi:

- preparazione di linee parentali;
- incrocio dei genitori;
- ricerca della migliore combinazione.

A partire da un materiale vegetale eterogeneo, si individuano piante con caratteri interessanti. Il materiale è più o meno eterozigote; a partire dalle piante scelte o da incroci tra loro, si opera una serie di autofecondazioni (piante allogame) al fine di ottenere la più grande omozigosi possibile, anche se questo comporta una graduale diminuzione di vigoria nelle linee sempre più pure.

Questa prima fase si compie in 5-10 anni.

Le linee pure sono quindi incrociate tra loro. Gli individui F_1 mostrano l'effetto eterosi, con produttività estremamente superiore a quella dei genitori. Le combinazioni che danno i migliori risultati potranno essere scelte per la produzione di sementi commerciali.

L'incrocio tra due linee dà ibridi semplici (ibridi a 2 vie); se i genitori sono essi stessi ibridi F_1 l'ibrido è doppio (ibrido a 4 vie) (Fig. 3.102). Si può anche dare il caso di incroci tra un ibrido e una linea pura (ibridi a 3 vie).

La produzione di ibridi F_1 è possibile solo in presenza di alcune condizioni, in assenza delle quali i costi risulterebbero proibitivi:

- facilità di castrazione della linea portaseme; nel caso del mais e della barbabietola il carattere maschiosterilità ha facilitato ulteriormente la procedura;
- abbondante produzione di granella F_1 ;
- specie altamente produttiva.

3.7.4 Biodiversità.

La ruggine del mais fu dapprima segnalata nel 1961, nelle Filippine; poco dopo si ritrovò nel Messico. I primi segnali che era sbarcata in USA sono del 1968; nella primavera del 1970 colpì il mais della Florida, ma si venne a sapere tardi, in agosto, semplicemente perché salirono le quotazioni alla Borsa di Chicago. Alla fine si era perso il 15% della produzione, un disastro enorme.

L'inverno 1971-72 in Ucraina fu particolarmente freddo, e non nevicò abbastanza. La primavera successiva non piovve. Su 40 milioni di ettari era seminata una varietà di frumento ad alto rendimento, sensibile alla siccità (Besostaja). Non si sa con certezza quale sia stato il danno della siccità, ma comunque fu gravissimo: in luglio i russi acquistarono 27 milioni di tonnellate di frumento, un fatto senza precedenti. Le conseguenze peggiori non furono tanto per i russi quanto per gli abitanti dei paesi più poveri, importatori di cereali: il prezzo dei cereali sui mercati internazionali aumentò infatti del 50%. In entrambi i casi il colpevole era l'uniformità genetica: varietà campioni della produzione, prezioso e orgoglioso prodotto del moderno miglioramento genetico, possono essere vulnerabili ad uno dei tanti fattori ambientali; ma quando il danno si verifica il disastro è inevitabile, perché sono in genere coltivate su superfici enormi, tutte con la stessa, identica, varietà.

In questo dopoguerra la ricerca di nuove HYV (High Yielding Varieties, Varietà ad alto rendimento), che ha determinato la cosiddetta "Rivoluzione Verde", ha costantemente impoverito il pool genetico delle nostre colture, cancellando per sempre un gran numero di vecchie varietà coltivate.

Nei primi anni '70 si ebbe però un risveglio di interesse delle grandi compagnie sementiere del Nord verso le risorse genetiche del Sud. Perché si capì che il Nord, ricco di cereali, è in realtà povero di geni. È nel Sud povero che si deve andare per cercare la diversità; il Sud, mai coperto da glaciazioni, ricco di climi e microambienti diversi, ha potuto sviluppare una eccezionale varietà di forme di vita. Così si è sviluppato un altro fenomeno, quello della ricerca di nuovi geni e di nuovi genotipi da sfruttare, un business enorme, che ormai riveste anche importanza politica internazionale. Ma nemmeno questa nuova strada, per quanto ricca di possibili successi e scoperte, garantisce la soluzione in modo permanente del problema.

Per orizzontarci, per capire lo scenario attuale, bisogna prima capire come si è arrivati a questa situazione; dobbiamo quindi fare un passo indietro, a quando esisteva solo biodiversità naturale.

Origini dell'agricoltura

L'umanità è vissuta di caccia e raccolta per la gran parte della sua esistenza; solo nel corso delle ultime poche migliaia di anni l'umanità è passata gradualmente all'agricoltura, e ancora non del tutto. Ancora qualche secolo fa una gran parte della popolazione mondiale viveva di sola caccia e raccolta. E ancora oggi si possono trovare in remoti angoli del pianeta sparuti gruppi etnici che vivono senza coltivare la terra.

Come vivevano questi popoli cacciatori-raccoglitori? Grazie all'archeologia e allo studio di questi discendenti ancora indisturbati nel secolo scorso, ormai c'è un notevole accordo sul fatto che non se la cavavano poi tanto male:

- Avevano cultura: conoscevano perfettamente l'ambiente in cui vivevano, seppellivano i loro defunti secondo un certo rituale, disponevano di tecnologie di lavorazione dei cibi, di caccia, ecc., e dovevano quindi disporre di mezzi di comunicazione per trasmettere queste complesse conoscenze. Inoltre avevano una vita sociale sviluppata.

- Il cibo era abbondante, perché data la scarsa popolazione le superfici sulle quali insisteva il gruppo avevano dimensioni sufficienti a nutrire tutti di vegetali e selvaggina (gli stessi boscimani dell'Africa del Sud-Ovest ancora oggi destinano solo una media pro capite di 9-12 ore per settimana per approvvigionarsi di cibo; lo stesso si può dire degli indios dell'Amazzonia, gli inventori dell'amaca). Scarso era il lavoro necessario anche per le altre attività essenziali.

- L'alimentazione era basata su un altissimo numero di specie vegetali (3 000-5 000 nel solo Nord America), il che significava una dieta assai varia e salutare.

- Non vi erano carestie (se non per interventi esterni di altri gruppi umani); come potevano esservi? Gli ecosistemi sui quali vivevano erano stabili, e in ogni modo le fonti di cibo erano così numerose da non potersi estinguere tutte insieme. Le carestie sono una invenzione delle società agricole, come pure la gran parte dei disastri "naturali".

Quindi, poche erano le motivazioni a cambiare stile di vita. Atteggiamento che permane nei gruppi etnici che in epoca recente sono entrati in contatto con la "civiltà".

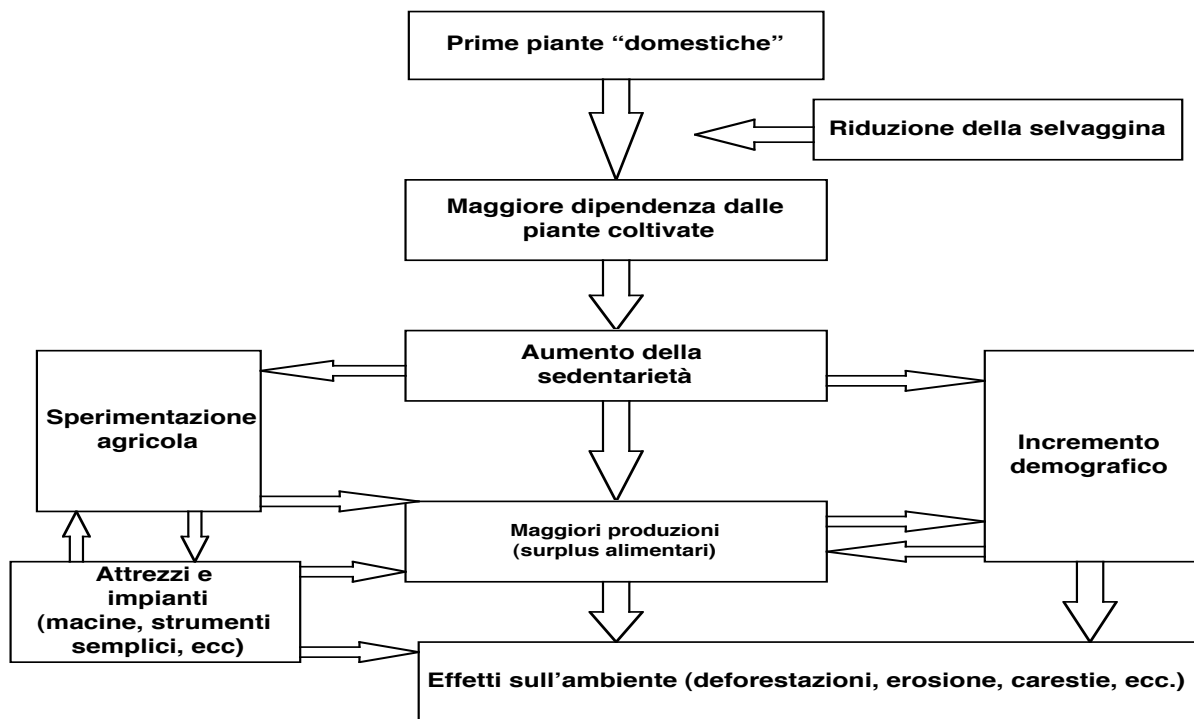
Perché e come l'agricoltura? L'ipotesi che si sia trattato di un'invenzione improvvisa verificatasi in un bel giorno di 10-12 000 anni fa da parte di un signore scontento della dieta varia e casuale cui era abituato non riscuote ormai alcun credito, perché pare sia sorta quasi contemporaneamente in punti diversi del mondo. Piuttosto, è più probabile che si sia verificato un passaggio molto graduale (con soste, marce indietro, vicoli ciechi) tra caccia/raccolta e allevamento/coltivazione.

Quali possono essere state le ragioni che hanno determinato questa transizione?

Una risposta che viene alla mente è che sia stata la fame, visto che l'agricoltura è assai più produttiva per unità di superficie, a spingere i nostri antenati a coltivare la terra, per sfamare le bocche sempre più numerose della popolazione; ma questa ipotesi non regge se si pensa che nel momento della fame non si inizia un processo lungo come la coltivazione, né tantomeno lo si inventa, soprattutto se ancora non si sa che l'agricoltura è più produttiva;

piuttosto si mangiano tutte le scorte, compresi i semi.

Probabilmente le prime piante coltivate furono piante preziose e rare (medicinali, rituali, coloranti, velenose), difficili da trovare e necessarie in piccole quantità. Poi forse, per eventi contingenti, come diminuzione della selvaggina per clima avverso o super sfruttamento dell'ambiente, aumentò la dipendenza dalle piante coltivate nei pressi del villaggio, inizialmente con tutta probabilità ad opera delle donne. Così il gruppo imparò che si poteva vivere anche coltivando le piante, invece di andarle a cercare. Verrà poi un qualche momento di difficoltà in cui la tribù rinuncia a migrare in cerca di nuovi territori più ricchi (forse non ce ne sono vicini, oppure è circondata da altre tribù bellicose), come aveva fatto da tempo immemorabile, ed aumenta ulteriormente la sua dipendenza dall'agricoltura.



Con l'aumentare della sedentarietà aumenta anche la popolazione: gli uomini non partono più per lunghe battute di caccia. Più persone possono lavorare e sfruttare il terreno; anche gli uomini si dedicano all'agricoltura. Questo gradualmente determina, oltre ad un aumento delle superfici sfruttate, anche un miglioramento delle tecnologie; quindi l'ulteriore aumento delle produzioni consente la continuazione dell'incremento demografico, fenomeno che non si è più arrestato fino al giorno d'oggi.

Le piante che oggi coltiviamo non sono quelle di allora, e nemmeno assomigliano loro granché. Le piante di oggi sono piante domesticate, cioè trasformate in funzione delle esigenze dell'uomo.

La *domesticazione* è principalmente consistita in una scelta di quali individui si

dovessero ogni anno scegliere per prelevarne il seme per la semina della stagione successiva, e quindi quali fenotipi meritassero di essere perpetuati. In questo modo si operava la cosiddetta selezione, non più naturale, ma guidata.

La domesticazione è una forma di evoluzione guidata dall'uomo.

Quali sono i caratteri che hanno interessato l'uomo, e per i quali esso ha selezionato le specie utili? Le prime specie domesticate avevano alcune caratteristiche importanti per la nuova tecnologia alimentare: facilità di conservazione e immagazzinamento dei semi, contenuto elevato di amido nei semi di cereali, contenuto elevato di proteine nei semi di legumi.

Ma vi erano altri caratteri importanti:

- Tipi non-disperdenti i semi: se i semi si staccano con facilità quando si raccoglie la spiga, si tratta di un fenomeno che favorisce la disseminazione della specie, ma che riduce anche la quantità di granella che l'uomo riesce a raccogliere; analogo carattere è stato selezionato anche nelle leguminose, che oggi hanno baccelli indeiscenti;
- Contemporaneità di maturazione: anche questo fenomeno, negativo per la specie, è positivo per le rese agricole;
- Contemporaneità di germinazione: la scalarità di germinazione permette alla pianta selvatica di propagarsi in condizioni anche estreme, ma è un ostacolo all'ottenimento di seminativi fitti e produttivi;
- Semi più grandi (piante potenzialmente più forti e vivaci), come nel mais;
- Perdita di caratteri difensivi (spine, tossicità).

Tab. 3.8 - Caratteristiche delle piante modificate dalla domesticazione

Caratteristica	Esempi
Perdita dei meccanismi di dispersione	Mais, frumento, legumi
Perdita della dormienza	Frumento, avena, riso
Passaggio da annua a perenne	Riso, segale, manioca
Perdita della produzione di frutti	Igname, patata dolce
Perdita della produzione di semi	Banana, agrumi, diospiro
Aumento del volume di	
Semi	Fagioli, mais
Frutti	Zucchini, fruttiferi vari
Organi di riserva	Manioca, patata, carota

Più le piante si modificavano, più gli uomini si dedicavano all'agricoltura, che diveniva sempre più produttiva; di conseguenza essi sempre più perdevano le abitudini di caccia/raccolta (mai però del tutto abbandonate); a causa di questa trasformazione, sempre più si alterava l'ecosistema sul quale l'uomo operava. Così, sempre meno piante costituivano la dieta dell'uomo, perché quelle migliorate erano più produttive, e si raccoglievano meno piante selvatiche. Oggi

le specie coltivate sono circa 130, al posto di varie migliaia di specie che costituivano la dieta dei raccoglitori. Ma in realtà l'85% degli alimenti proviene da 8 specie, e riso, frumento e mais ci forniscono da soli il 50% del cibo. Va ricordato, tuttavia, che la domesticazione di circa 200-250 specie compiuta nei 10.000 anni trascorsi è stata una conquista di enorme portata, che meriterebbe maggiore risalto. Oggi però stiamo perdendo gran parte dei risultati di quella conquista, mentre i cibi selvatici sono inesistenti nelle nostre diete.

Sviluppo della diversità

Così, con la domesticazione l'uomo guida l'evoluzione delle piante coltivate; non si è trattato di un processo lineare, né univoco. Famoso è l'esempio del celebre genetista che chiedeva a un agricoltore africano il perché della sua scelta di piante di sorgo ricurve per il prelievo del seme per la stagione successiva; la risposta fu che se tutte le piante fossero state ricurve sarebbe stato più facile metterle a seccare agganciate al tetto della capanna. Gli scopi sono quindi stati numerosi, in certe epoche alcuni più importanti di altri. I mais colorati del Sudamerica erano importanti perché i colori indicano altre caratteristiche allora utili; le cucurbitacee servivano anche come strumenti musicali, contenitori per liquidi, astuccio penico, oltre che come alimenti. Il sorgo in Africa serviva per scope, per melasse, per masticare, per fare pane e birra, per costruzione, come colorante, ecc. Cotone: in Perù c'erano varietà di diversi colori, e non era necessario tingerlo.

Con lo sviluppo di ciascuna coltivazione alimentare decresceva parallelamente l'impulso a domesticare le altre specie. La diversità in natura non veniva perduta, ma non si utilizzava più, e col tempo se ne perdeva la conoscenza. Però aumentava enormemente la diversità all'interno delle specie domesticate; due villaggi separati da una montagna potevano sviluppare due diversi tipi di fagiolo, perché l'ambiente era diverso, o perché i gusti alimentari differivano. Fino a non molto tempo fa certi ortaggi si producevano solo in certi luoghi. Nel corso delle migliaia di anni di domesticazione la gran parte delle colture ha dovuto quindi adattarsi alle più varie condizioni, producendo genotipi molto diversificati. È per questo che molte specie si ritrovano un po' ovunque, con genotipi adattati ad ambienti anche assai diversificati. L'albicocco per esempio è diffuso negli ambienti caldi del Mediterraneo, ma si trova anche in ambienti più estremi come le pendici dell'Himalaya o, per restare da noi, nella tirolese Val Venosta; o il sorgo, tipico sia dei tropici umidi che delle zone semi-aride; ma anche il riso, che in India si trova dal livello del mare fino a 2 000 m. La massima duttilità è però forse dimostrata dalla patata, che si trova anche nelle depressioni, ma che non è rara ad altitudini fino a 3 000 m, con longitudini dal circolo polare all'Africa equatoriale.

Questi genotipi sono le *varietà*, o *cultivar* (cv), che appartengono alla stessa specie, ma che si distinguono per un numero di solito ridotto di caratteri. Questa diversificazione è avvenuta in genere in base a due fattori di trasformazione, la *mutazione* (insorgere casuale di nuovi caratteri in un individuo, seguito da selezione ad opera dell'uomo) e l'*introgressione* (insorgere di nuove

combinazioni di geni già esistenti, casuale o guidata dall'uomo con l'ibridazione).

Le novità vegetali che interessarono l'uomo avevano caratteri nuovi e utili riguardo a resistenze a malattie e insetti nocivi, all'adattamento ad ambienti estremi, alla qualità e quantità delle produzioni, ecc. Per avere miglioramento genetico per introgressione è necessaria la presenza nelle popolazioni di piante di una grande variabilità genetica, in modo da poter ottenere un grande numero di combinazioni genetiche tra cui scegliere. Questa variabilità è massima negli ambienti in cui una data specie è esistita più a lungo, perché così ha avuto più possibilità di produrre forme nuove. Questi ambienti sono ovviamente quelli nei quali la specie si è originata o si è in qualche modo trasferita in tempi antichissimi.

A questo punto è necessario parlare di Nikolai Ivanovic Vavilov, uno scienziato geniale ma poco conosciuto al di fuori dell'ambiente dei genetisti vegetali, un biologo e genetista che viaggiò per il mondo dal 1916 al 1940, osservando e raccogliendo campioni vegetali.

La sua scoperta più importante fu che la variazione genetica, la diversità creata da migliaia di anni di agricoltura, non era egualmente distribuita nel mondo. Vavilov tracciò una mappa della distribuzione della diversità per ognuna delle specie coltivate che aveva studiato. Ipotizzò anche che il livello di diversità fosse indicativo del tempo durante il quale tale specie era stata coltivata in quell'area. Più lungo il periodo di tempo, maggiore la diversità che si poteva riscontrare. Più erano gli usi che ne erano stati fatti, maggiore sarebbe stata la varietà delle forme: era il caso del mais che in Messico aveva genotipi adatti per pop corn, per scopi cerimoniali e medicinali, da abbrustolire; lo stesso vale per i più vari meccanismi di difesa da patogeni e insetti, ecc. Vavilov pensò che identificando il centro della diversità genetica di una specie coltivata se ne sarebbe anche individuato il centro di origine: doveva trovarsi nella zona in cui la coltivazione aveva avuto il tempo e le possibilità di sviluppare un'ampia diversità. Molti caratteri non si trovano che in questi centri; spesso si tratta di caratteri primitivi, selvatici, in genere di tipo dominante sui corrispondenti alleli delle varietà coltivate. Allontanandosi dalla parte più interna del centro diminuisce la varietà di caratteri, ed i dominanti si fanno più rari, a favore dei caratteri recessivi; così nelle aree periferiche del centro di diversità si trova materiale relativamente uniforme, con prevalenza di caratteri recessivi. Vavilov individuò 8 centri (Fig. 3.103). Si tratta in genere di zone montagnose, o comunque con una varietà di ambienti. Le montagne assicuravano le condizioni ideali per il sorgere della diversità: varietà topografica, con diversi tipi di suolo e di clima. Costituivano anche eccellenti barriere naturali contro incursioni dall'esterno e ostacolavano gli scambi perfino a livello locale.

Siccome i centri di origine non erano tali per una sola specie, ma per numerose colture, Vavilov teorizzò che tutte le specie coltivate si fossero originate negli 8 centri di diversità, quasi tutti localizzati nel terzo mondo.

Oggi non si identificano più i centri di diversità con i centri di origine: infatti, oltre alla diversità, un centro di origine deve anche disporre di forme selvatiche,

progenitrici delle specie coltivate. Secondo questa interpretazione, Harlan (Fig. 3.104) individua solo 3 centri di origine, che poi sono ormai riconosciuti anche come centri di origine dell'agricoltura, e i cosiddetti non-centri, o centri impropri, o centri secondari di diversità dove l'agricoltura si è estesa, e dove il processo di domesticazione è continuato. I centri di origine sono: Messico centro-meridionale, Medio Oriente (Fig. 3.105), Cina del nord-est. L'incremento demografico seguito alla nascita e sviluppo dell'agricoltura ha anche determinato movimenti demici verso le zone meno popolate e ricche di terre da mettere a coltura. Con le popolazioni sono emigrate anche le colture; questo non ha costituito un problema, al contrario, cambiando ambiente le specie coltivate hanno dovuto subire processi di adattamento ancora più drastici che nel passato. Così, la diversità ha viaggiato con il grande viaggio dell'agricoltura che andava alla conquista del mondo.

Importanza della diversità

Quando nei tempi antichi l'agricoltura si affermò e si sviluppò, si stabilì anche un equilibrio tra piante, insetti nocivi e malattie; questo era possibile perché la velocità di trasformazione delle specie e dei sistemi culturali era lentissima, e quindi c'era tutto il tempo per una *coevoluzione* dei diversi organismi, analogamente a quanto avviene negli ecosistemi naturali.

Le varietà primitive erano caratterizzate da una notevole variabilità genetica; senza dubbio insetti e malattie colpivano, ma i loro danni erano attenuati dalla diversità dei genotipi, molti dei quali possedevano difese efficaci. Inoltre i campi erano sparsi, tra foresta e foresta, e difficilmente le infestazioni si trasmettevano. Le colture erano danneggiate, ma non devastate. La situazione cambiò con l'estendersi dell'agricoltura, prima, e con la concentrazione di pochi genotipi, se non di uno solo, su enormi estensioni. Un caso tipico fu la patata in Europa: diffusa in Sudamerica, fu introdotta in Inghilterra e in Spagna nel secolo XVI. Poi lentamente si diffuse, ma sempre basata su quelle due introduzioni iniziali, quindi su una base genetica assai ristretta. In Irlanda era divenuto il cibo principale del popolo. L'arrivo della *Phytophthora infestans* (Peronospora della patata) significò la distruzione di tutti i raccolti, e la conseguente carestia, con milioni di morti e milioni di emigrati in America. I geni di resistenza c'erano, ma erano sulle Ande; altrimenti noi oggi non conosceremmo la patata come alimento di base per tanta parte dell'umanità.

Nonostante questo ed altri insegnamenti, lo sviluppo dell'agricoltura moderna ha seguito altre vie: l'esistenza di caratteri diversi nelle varietà tradizionali è servita a creare varietà nuove, adatte a particolari situazioni, ma ovviamente non adatte a tutte le situazioni. Con lo sviluppo della genetica seguito alla scoperta delle leggi di Mendel, e con lo sviluppo delle tecniche agricole, fu possibile creare varietà sempre più produttive, con la tecnica della "linea pura" nelle specie da seme, e del "clone" negli alberi: in entrambi i casi le coltivazioni erano (sono) composte di individui identici geneticamente. Così i campi presentavano sempre più la caratteristica dell'omogeneità genetica (al posto di quello che era stato definito "armonioso disordine"), con varietà che rispondevano positivamente agli input di concimi, lavorazioni, irrigazione, mentre gli eventuali nemici biotici venivano tenuti a bada con trattamenti con prodotti che la nuova

industria chimica forniva a basso prezzo.

Ma ciò non fu sufficiente ad impedire disastri: nel 1870 le piantagioni di caffè di Sri Lanka, India e Africa orientale furono completamente distrutte dalla ruggine (per cui l'Inghilterra divenne un paese di bevitori di tè). Nei decenni successivi eventi patologici disastrosi colpirono cotone, frumento (USA), riso (India), avena (USA), mais (USA), frumento (URSS).

Ogni volta fu necessaria la resistenza; e ogni volta questa fu reperita nei centri di diversità, nelle varietà tradizionali che si erano salvate, o nei parenti selvatici delle colture. L'importanza dei centri di diversità si dimostrò allora essenziale, un'importanza che non si manifesta una sola volta nella storia di una coltura: infatti i caratteri di resistenza ai vari fattori abiotici e biotici servono sempre, perché insetti e malattie riescono nel tempo a mutare e ad evolversi in funzione della resistenza ai pesticidi, e in modo da poter colpire i genotipi resistenti. È ancora il caso della peronospora della patata: nel secolo appena trascorso la malattia è stata contenuta anche dall'uso di fungicidi, ma a partire dalla metà degli anni '80 sono stati ripetutamente segnalati casi di resistenza agli anticrittogamici. Negli anni '90 questi nuovi ceppi hanno distrutto il 15% delle produzioni di patate nel mondo, ed in certe regioni, come gli altopiani della Tanzania, le perdite sono state quasi totali. Ancora una volta si è tornati sulle Ande, dove fortunatamente adesso esiste un Centro Internazionale della Patata, a Lima; il Centro studia questa specie e ne conserva buona parte della biodiversità, ed è quindi ragionevole la speranza di salvare di nuovo questa coltura.

Gli esempi di colture salvate da caratteri provenienti da varietà selvatiche, solo in questo secolo, sono troppi perché valga la pena di enumerarli. La diversità delle varietà selvatiche le ha rese capaci di sopravvivere senza l'assistenza dell'uomo. Se la loro resistenza non le avesse fatte sopravvivere, si sarebbero estinte molto tempo fa. Perciò, come fonte di resistenza, le varietà selvatiche rappresentano una ricchezza inestimabile. Come ha detto Harlan, "i parenti selvatici stanno tra l'uomo e la fame".

E qui sta il punto: i parenti selvatici, oltre alle vecchie varietà, serviranno sempre; quindi serviranno sempre gli ambienti nei quali crescono e si evolvono anche in questo momento. In questo sta la perenne importanza della diversità vegetale: senza la diversità l'agricoltura non sopravviverebbe.

Erosione genetica

La storia agraria di questo dopoguerra è in buona parte la storia di quella che un po' pomposamente si è voluto chiamare "Rivoluzione Verde". Le ditte sementiere e organismi internazionali hanno prodotto nuovi genotipi delle principali specie coltivate, linee pure capaci di fornire altissime produzioni, in presenza di forti apporti degli altri fattori della produzione (fertilizzanti, acqua, pesticidi).

È stato raggiunto l'obiettivo delle alte produzioni, soppiantando le vecchie colture, ma non quello dell'eliminazione della fame. Non è questa la sede per affrontare questo argomento, ma è certo che le HYV (*High Yielding Varieties*)

hanno fornito una soluzione tecnologica, ammesso che si tratti di una soluzione, ad un problema che è prima di tutto sociale e politico; nel terzo mondo si sono arricchiti coloro che erano già ricchi.

La vera e durevole conseguenza dell'introduzione delle varietà ad alto rendimento (soprattutto cereali) è stata la cacciata o l'emarginazione delle vecchie varietà, ovunque, anche nei centri di diversità, con la conseguente scomparsa di molta diversità, e la messa in pericolo di quella restante.

Il solito Harlan racconta di un tipo di frumento che aveva raccolto nel 1948 in Turchia. Piccolo, rachitico, con semi piccoli, sensibile al freddo e a diverse malattie, inadatto alla panificazione, nessuno gli diede importanza per 15 anni, finché non esplose il problema della ruggine striata: allora si vide che questo frumento che non aveva nemmeno un nome vero e proprio resisteva a 4 tipi di ruggine striata, a 35 tipi di ruggine comune, a 10 tipi di ruggine nanizzante, e mostrava una buona resistenza alla muffa bianca. Da allora il miserabile frumento di Harlan è usato in tutti i programmi di miglioramento degli USA, e ha evitato danni per milioni di dollari.

L'importanza del vecchio germoplasma è testimoniata da un'infinità di storie simili con specie come orzo, riso, miglio, sorgo, patata, dalle quali dipendono miliardi di vite; ma lo stesso si può dire per altre specie come fruttiferi, pisello, okra, barbabietola da zucchero, ecc.

I nuovi semi fanno parte di un processo di trasformazione dell'agricoltura, che prevede maggiori input tecnologici, maggiore apertura al mercato mondiale, concentrazione delle produzioni su genotipi particolarmente adatti a questo mercato; quindi, perdita di diversità, trasformazione delle società agricole (perdita di diversità sociale e culturale). L'agricoltura è sempre più controllata dall'industria, dai politici e dagli scienziati, e sempre meno dagli agricoltori.

Per quanto riguarda la diversità, il fenomeno per cui sempre meno genotipi sono coltivati, e quelli obsoleti e meno redditizi vanno dimenticati e quindi perduti per sempre, si chiama *erosione genetica*. Questo può anche avvenire per interi gruppi di specie, come nel caso dei legumi: ove si diffonde la monocoltura di cereali, le integrazioni proteiche (legumi) non sono più prodotte, impoverendo così la dieta delle popolazioni che vivono dei prodotti diretti della terra (un esempio terribile del recente passato è stata la coltivazione esclusiva del mais in certe zone della Val Padana).

La nuova agricoltura non si ferma certo di fronte alla distruzione di habitat naturali: dighe, cementificazione, strade, estensione dei pascoli a spese delle foreste naturali, desertificazione, deforestazione, sono tutti fenomeni determinati dall'uomo indirettamente o direttamente, che in comune hanno la caratteristica di strappare spazio alla sopravvivenza di genotipi preziosi ed irripetibili. Ma il peggior nemico della diversità è l'agricoltura stessa, per la sostituzione genetica che opera. Quali sono le specie la cui diversità è più in pericolo? Quelle per le quali sono in corso programmi di miglioramento genetico, che producono nuove varietà, e in genere si tratta anche delle specie più importanti per l'umanità.

Per avere un'idea dell'uniformità genetica delle principali colture basta vedere la situazione in USA:

Specie	Principali varietà	Percentuale delle superfici
Arachide	9	95
Barbabietola da zucchero	2	42
Cotone	3	53
Fagiolo	3	76
Frumento	9	50
Mais (granella, foraggio e silomais)	6	71
Miglio	3	100
Patata	4	72
Patata dolce	1	69
Pisello	2	96
Riso	4	65
Soia	6	56

Le varietà coltivate negli Stati Uniti prima del 1904 e ormai assenti dall'agricoltura commerciale vanno dall'81% per il pomodoro al 90% per i piselli e i cavoli. Le percentuali sono più basse nei paesi in via di sviluppo, ma si stima che in Cina le varietà coltivate di frumento siano passate da 10.000 nel 1949 a circa 1.000 negli anni Settanta, e che in Messico oggi esista solo il 20% delle varietà di mais coltivate negli anni Trenta.

Un'aggravante di questa situazione è che le cultivar più utilizzate in genere hanno una base genetica assai ristretta, e in gran parte comune a tutte: in altre parole, si tratta di cultivar spesso assai poco diverse tra loro, con uno o più genitori in comune, che differiscono solo per un carattere di interesse tecnologico (epoca di maturazione, numero di spighe, resistenza a un fattore ambientale, nanismo, ecc.). Così le diverse varietà non sono poi così diverse.

I primi contadini ridussero il numero di specie usate (rispetto ai raccoglitori), ma nei millenni l'agricoltura aumentò la diversità all'interno di quelle specie.

Noi stiamo distruggendo quella diversità senza produrre niente in cambio, solo un'effimera ricchezza che non risolve i problemi dell'umanità. Gran parte della diversità creata da milioni di anni di evoluzione vegetale, e da migliaia di anni di agricoltura, è stata distrutta.

Foreste tropicali

Nessuno sa con certezza quante siano le specie animali e vegetali. Si stima un numero da 13 a 14 milioni, di cui solo il 13% è stato fino ad oggi descritto scientificamente.

Una gran parte di queste specie, probabilmente i due terzi, vivono ai tropici, soprattutto nelle foreste tropicali. La varietà, la diversità di forme che esiste in quegli ambienti è enormemente maggiore che negli ambienti temperati. Per capirci, Panama, uno staterello dell'America Centrale, ha una varietà di specie di molto superiore a quella dell'intera Europa. Un famoso naturalista ha scritto che su un piccolo vulcano spento coperto da foreste, nelle Filippine, ha trovato più specie arboree di alto fusto di quante se ne possano trovare negli interi Stati Uniti.

Come è possibile che le differenze siano di così grande portata? Abbiamo già visto che i tropici non hanno conosciuto interruzioni nel processo di diversificazione durato milioni di anni. Inoltre le temperature ottimali e l'umidità hanno favorito l'esistenza, il sostentamento e l'evoluzione di un numero incredibile di specie. Ognuna occupa uno spazio ben preciso, e ha acquisito un altissimo grado di specializzazione; questo significa anche che le specie animali e vegetali che convivono sono tutte dipendenti le une dalle altre. La scomparsa di una specie di uccelli potrebbe implicare la scomparsa di numerose specie di alberi e arbusti che su di essa si basavano per la disseminazione; la scomparsa di una specie vegetale può significare la fine per quelle specie di insetti, ragni, mammiferi che si erano specializzati nel cibarsi di quella pianta; ma a loro volta quegli animaletti non potranno più, per esempio, fungere da trasportatori ignari del polline per altre specie ancora, e così via. Naturalmente, specie si sono estinte in tutte le ere precedenti, ed il processo non si arresterà mai: specie che non si adattano a nuove situazioni climatiche scompaiono, altre più duttili si adeguano. Ma in tal caso i mutamenti hanno luogo nel corso di periodi relativamente lunghi, e molte specie hanno la possibilità di adeguarsi, e di essere selezionate dal nuovo ambiente; eventuali spazi che si rendono liberi nel sistema sono riempiti da specie diverse. Si tratta di un argomento interessante e complesso, che qui possiamo solo accennare; inoltre della diversità tropicale conosciamo ancora assai poco. Ma non sarebbe un problema, si tratta piuttosto di un appassionante lavoro da fare per i naturalisti di domani. Il problema è che le terre occupate dalle foreste stanno diminuendo, ad una velocità impressionante, e comunque maggiore della capacità della natura di adattarsi alla trasformazione. Il problema sono le ruspe, le motoseghe, gli incendi.

La perdita delle foreste è notevole, ed è uno dei fenomeni di degrado ambientale meglio conosciuti dal grande pubblico. Il dato medio del quinquennio 1991-95 è di 11,27 milioni di ettari perduti per deforestazione; per avere un punto di riferimento, l'Italia è circa 30 milioni di ettari, montagne comprese (quindi, in 5 anni, quasi 2 volte l'Italia). Ma il dato reale di perdita di biodiversità è assai maggiore: per la FAO una superficie è deforestata se la copertura arborea si riduce a meno del 10% di quella originaria. Quindi se una foresta viene ripulita delle essenze di pregio tecnicamente non si è avuta deforestazione; ma la biodiversità ha ricevuto un colpo mortale. Lo stesso vale se si rade al suolo una foresta e poi si fa un impianto forestale, ovviamente con una o poche essenze; ci sarà vita in quel bosco, certo, ma sarà sempre un sistema estremamente semplificato, se non altro perché entro poche decine di

anni sarà di nuovo raso al suolo. Inoltre i rimboschimenti e la creazione di aree protette riguardano principalmente i paesi del Nord ricco, dove si ha meno diversità.

La storia dell'agricoltura è storia di deforestazione. L'uomo ha sempre tagliato alberi, per coltivare, costruire case e navi, scaldarsi, estrarre i metalli, ecc. E, sia ben chiaro, ha causato anche in passato disastri ecologici. Ma si trattava di un'attività proporzionata alla popolazione e allo sviluppo produttivo e tecnologico.

Con il colonialismo questa attività ascese a un livello più alto. Nelle terre sulle quali le potenze coloniali avevano completo dominio si cominciò a coltivare estensivamente tutto quello che in Europa potesse servire: e per coltivare si doveva liberare il terreno dagli alberi. Cuba era un'immensa foresta ai tempi di Colombo: ora importa legname, a causa della canna da zucchero che ha espulso la flora autoctona. Ma la stessa storia si è verificata in modi analoghi per la gomma, il cacao, il caffè, il banano, ecc. Ogni volta superfici forestate enormi venivano distrutte, e numerose popolazioni, spesso importate come i negri in America, erano costrette a vivere nelle piantagioni.

Naturalmente, ove l'economia delle piantagioni è fallita, anche in tempi recenti, questa umanità è venuta a perdere la fonte, unica, di sostentamento, e si è rivolta alla foresta: non per tornare a fare i cacciatori/raccoglitori, non ne hanno più la cultura, ma per fare i contadini, permanenti o itineranti; tipica di questa situazione è l'agricoltura taglia e brucia (slash and burn), che consiste nello sfruttare per qualche anno i terreni deforestati, per poi passare ad altri terreni quando la fertilità si esaurisce, il che avviene assai rapidamente. Ma i contadini sono solo apparenti colpevoli. I veri beneficiari di questo fenomeno che si sta svolgendo sotto i nostri occhi sono le compagnie del legname, prima, e poi gli allevatori, che in paesi come il Brasile producono carne di bassa qualità per gli hamburger dei nostri fast food dai pascoli stabiliti nei territori deforestati. E i governi che si sono succeduti non hanno fatto che incentivare queste tendenze, eufemisticamente battezzate "miglioramenti".

Non crediamo sia necessario dilungarsi sull'importanza delle foreste che si trovano nella fascia dei tropici. Le foreste tropicali contengono la gran parte delle specie esistenti, compresi i progenitori di gran parte delle specie coltivate (caucciù, cacao, cassava, caffè, anacardio, vaniglia, ananas, melograno; alberi da legname pregiato; piante medicinali e farmaceutiche importanti). Inoltre hanno un effetto fondamentale riguardo alla produzione di ossigeno, all'erosione, all'effetto serra. Difenderle è difendere l'umanità dai disastri ecologici.

In altro aspetto, spesso trascurato, riguarda la popolazione: quella che potremmo chiamare biodiversità culturale. In Thailandia gli abitanti di un villaggio della foresta mangiano 295 diverse specie di piante, e ne usano 119 come farmaci. L'O.M.S. calcola che nel mondo 3 000 specie di piante siano utilizzate dai popoli tribali solo per il controllo delle nascite. Ma anche questa risorsa sta sparando: le forze combinate di sterminio fisico

(massacri che stanno avvenendo anche adesso) e di sterminio culturale (la cosiddetta "civilizzazione" dei cosiddetti "primitivi") stanno annientando queste popolazioni, le loro lingue, i loro saperi, che la nostra presunzione fa considerare arretrati e inferiori, e che invece sono parte integrante della biodiversità umana.

Conclusioni

La responsabilità che l'uomo di oggi ha verso le generazioni future è grande, in quanto eccezionale è il potere di distruzione di cui dispone. Nel caso della biodiversità vegetale, esso deve trasmettere intatto tutto il patrimonio di geni e genotipi accumulatosi sul pianeta nel corso della sua storia millenaria.

Abbiamo visto come il progresso dell'agricoltura determini un preoccupante processo di erosione genetica che mette in pericolo gran parte della variabilità disponibile; e tale processo è più vistoso nei paesi in via di sviluppo, che spesso coincidono con i centri di diversità.

Nei vari paesi, soprattutto del Nord industrializzato, numerose iniziative sono state varate per salvare la diversità esistente; in Italia, per esempio, vi sono state campagne di individuazione e raccolta di germoplasma vegetale, e istituzioni universitarie, del C.N.R. e del Ministero dell'Agricoltura hanno il compito di conservare ricche collezioni genetiche. Ma la vera soluzione può risiedere solo nell'affrontare il problema a livello planetario, sia per le dimensioni del compito, sia perché la massima varietà genetica risiede in grandi aree del Sud meno sviluppato.

L'istituzione che attualmente è maggiormente coinvolta in questa benemerita attività è l'International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), una organizzazione scientifica autonoma, che però ha forti legami con la Food and Agriculture Organization (F.A.O.), delle Nazioni Unite. L'IPGRI svolge attività di ricerca, addestramento, consulenza scientifica e tecnica, informazione, in riferimento alla conservazione e all'utilizzazione delle risorse genetiche vegetali.

Molto è stato fatto, ma rapporti sempre più allarmanti sulla distruzione della biodiversità evidenziano la necessità di interventi più incisivi ed estesi, sia sulla conservazione della diversità, sia sulle cause che la mettono in pericolo.

Questo mondo è caratterizzato da una spinta verso l'uniformità, l'omologazione, la macdonaldizzazione. La facilità dei trasporti e delle comunicazioni ha consentito lo spostamento di germoplasma che, lungi dall'arricchire la diversità, l'ha invece depressa, in quanto ogni genotipo di pregio ne scaccia e talvolta ne fa scomparire un gran numero di quelli tradizionali. E quindi un fenomeno preoccupante anche a causa della velocità con cui avviene. La soluzione del problema riguarda solo in parte gli scienziati.

4 IL TERRENO

4.1 Genesi e stratigrafia del terreno

Il terreno è lo strato superficiale delle terre emerse, idoneo a servire da sostegno meccanico, ma anche da fonte di rifornimento di elementi nutritivi e acqua per le piante superiori.

Il terreno è costituito da detriti minerali ed organici più o meno alterati e decomposti, da organismi vivi o morti, da acqua e da aria. Esso si forma in seguito a tre processi distinti, indicati complessivamente con il nome di *pedogenesi*. Il primo consiste nella disgregazione fisico-meccanica e nell'alterazione chimica delle rocce, operate dai fattori climatici e biotici e dagli agenti di erosione; questo primo processo porta alla formazione di una massa di detriti minerali. Il secondo comporta l'aggiunta ai detriti minerali di una quantità, via via crescente, di sostanza organica fornita dalla vegetazione spontanea e pioniera che colonizza il terreno in formazione, e dagli organismi che l'accompagnano. Il terzo processo consiste nella traslocazione di sostanze solubili e colloidali da un punto all'altro della massa detritica ad opera dell'acqua che vi circola; queste migrazioni portano alla formazione di strati impoveriti (orizzonti A) e, rispettivamente, arricchiti (orizzonti B) di sali e di colloidali; questi strati a loro volta poggiano sugli orizzonti C e D, che rappresentano rispettivamente il substrato pedogenetico e la roccia madre. Il terreno formatosi attraverso azioni puramente naturali si chiama *terreno naturale*. Si forma, invece, il *terreno agrario* quando a tali azioni subentra quella antropica della coltivazione delle piante necessarie all'uomo, la quale comporta l'incorporamento artificiale di concimi organici e inorganici alla matrice minerale e l'inversione degli orizzonti operata dall'aratura.

L'azione dell'uomo sulla genesi e sulle caratteristiche del terreno agrario è di solito poco marcata, come nel caso del suolo che ospita le formazioni naturali (pascoli, prati naturali, ecc.) che l'agricoltore si preoccupa soltanto di mantenere in efficienza produttiva, ma tale azione può giungere non di rado a trasformare sostanzialmente il substrato originario, così da trasformare terreni naturali assai poveri o inospitali in fertili terreni agrari: vedi, ad esempio, gli orti ottenuti su sabbie marine (Olanda), gli agrumeti sulle lave dell'Etna, le risaie su forti pendenze in Asia.

Anche il caso opposto è purtroppo possibile: non di rado l'impatto dell'agricoltura ha trasformato in tempi relativamente brevi ampi comprensori, anche da un punto di vista pedologico, per gli effetti dell'uso sconsiderato di pratiche quali disboscamenti, lavorazioni, irrigazione, ecc.

4.1.1 Degradazione della roccia e formazione del suolo

L'alterazione delle rocce che origina il terreno è dovuta ad azioni fisico-meccaniche, chimiche e biologiche.

Azioni fisico-meccaniche sono quelle provocate da diversi agenti, quali ad esempio i ghiacciai che, nel loro movimento lento ma incessante nelle vallate, le modellano e determinano il disfacimento delle rocce che formano il loro letto. Anche i venti possono esercitare questo tipo di azione, proiettando con forza le particelle solide sospese nell'aria contro le masse rocciose, intaccandole (*corrosione*). L'acqua è il terzo importante agente

disgregatore delle rocce (*erosione*): essa movimentata i detriti che si sono formati in vari modi frantumandoli, levigandoli, polverizzandoli; essa può inoltre spostare col tempo frammenti di roccia anche grandi.

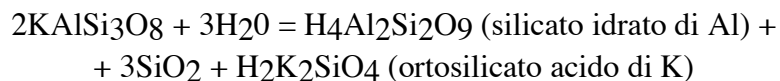
Acqua, ghiacciai e vento hanno però soprattutto un'importanza determinante nell'azione di trasporto dei materiali di disgregazione, azione che origina un complesso di terreni estremamente comuni in tutti i continenti e detti appunto terreni di trasporto (o alloctoni), dei quali parleremo più avanti.

Altre azioni fisico-meccaniche sono quelle dell'acqua di infiltrazione che favorisce lo scoscendimento delle rocce tenere o poco compatte; in caso di gelo, inoltre, formandosi ghiaccio, e perciò determinandosi un notevole aumento di volume dell'acqua insinuata nelle fessure delle rocce, si hanno forti pressioni e ad un successivo disfacimento del materiale quando l'acqua torna allo stato liquido. Anche l'alternanza di alte e basse temperature dovuta alle variazioni dell'irradiazione solare, con escursioni in ambienti continentali anche di 50°C, agisce nello stesso modo del gelo e disgelo, a causa del diverso coefficiente di dilatabilità dei minerali che costituiscono le rocce composte, riducendone la coesione e determinando la formazione di strati detritici assai sminuzzati. Altro effetto meccanico esercitato sulle masse rocciose è quello dovuto alle radici delle piante, che possono determinare notevoli pressioni e che quindi possono col tempo smuovere e frantumare rocce anche molto resistenti.

Le *azioni chimiche* hanno un duplice effetto nel disfacimento delle rocce, sia per il loro proprio effetto, sia perché rendono i substrati maggiormente vulnerabili nei confronti degli agenti fisici. Gli agenti chimici che decompongono le rocce sono l'acqua, l'ossigeno e l'anidride carbonica. In genere la loro azione sulle rocce è contemporanea.

L'acqua idrolizza lentamente alcuni minerali. La sua azione più importante si esercita sui silicati primari (feldspati, feldspatoidi, ecc.) dando origine alla formazione del silicato idrato di alluminio che è argilla vera e propria se prevalentemente colloidale o caolino se prevalentemente cristallino (decomposizione argillosa o caolinizzazione delle rocce silicate).

Lo schema del processo di trasformazione di un silicato (ad es. l'ortoclasio) in argilla è il seguente:



I minerali argillosi si raggruppano in tre tipi principali (caolinite, smectite, illite) in base alla struttura dei loro reticoli cristallini, ed alle conseguenti proprietà chimico-fisiche.

L'acqua agisce anche come solvente di alcune componenti delle rocce. Molto importanti sono i processi di solubilizzazione che l'acqua più o meno ricca di anidride carbonica determina penetrando nelle fratture delle rocce calcaree, decomponendole in vario modo, impoverendole di calce e di altre basi solubili, e lasciando in posto solo il residuo insolubile. I soluti asportati potranno in seguito, ed in altri punti del suolo, essere depositati al cambiare delle condizioni fisico-chimiche della soluzione. Va inoltre ricordata un'altra azione dell'acqua, quella idratante, che trasforma alcuni minerali, come ad esempio l'anidrite in gesso.

L'ossigeno agisce come ossidante in presenza di umidità. Sono attaccati soprattutto il ferro e il manganese con formazione di composti ossidati

Tra gli *agenti biologici* sono compresi tutti gli organismi viventi, inferiori e superiori, vegetali e animali. Sulla roccia compatta non vi sono condizioni di vita per le piante superiori: però alghe, muschi e licheni, oltre ai microrganismi, possono insediarsi, contribuendo alla decomposizione biochimica dei minerali con le sostanze che emettono. In un secondo tempo, quando si è formato un poco di terriccio ed è possibile la vita alle piante più esigenti, queste agiscono per via meccanica con le radici che penetrano a forza nelle fessure disgregando le rocce, e anche per via chimica perché le radici con i loro essudati solubilizzano taluni minerali con i quali entrano in contatto.

Indirettamente, poi, le piante e gli altri organismi contribuiscono ad originare il terreno a mezzo dei residui organici: residui che, trasformati da vari organismi, generano l'humus e altre sostanze a loro volta attive nella decomposizione delle rocce sottostanti.

Così l'azoto organico si ammonizza e poi nitrifica; l'acido nitrico solubilizza le basi alcalino-terrose e alcaline dei silicati e li salifica. In modo analogo si comporta lo zolfo che viene ossidato ad acido solforico e forma poi dei solfati.

Quando, inoltre, la vegetazione è giunta ad insediarsi in un terreno sorgono possibilità di vita per animali più grandi, che, a loro volta, contribuiscono all'opera degli altri agenti di formazione del terreno vero e proprio attaccando i materiali inorganici direttamente o indirettamente mediante i prodotti di trasformazione dei loro residui organici.

Il materiale detritico derivante dalla disgregazione delle rocce può accumularsi sul posto o essere trasportato altrove ad opera di agenti vari per essere depositato sopra un substrato costituito da rocce anche di diversa natura. Nel primo caso il materiale detritico origina terreni detti *autoctoni* o *in posto*, nel secondo caso *terreni alloctoni* o *di trasporto*.

Nei terreni *autoctoni* il materiale detritico può avere una composizione chimica uguale a quella della roccia madre sottostante (terreni *d'accumulo* o *autoctoni propriamente detti*) o, a seguito di azioni fisico-chimiche, può subire delle trasformazioni che ne rendono la composizione del tutto diversa (terreni *residuali* o *parautoctoni*). Sono spesso terreni poveri e poco profondi.

I terreni *alloctoni* sono di solito più ricchi e più fertili degli autoctoni, a causa della varietà mineralogica e chimica dei loro componenti, poiché di solito alle azioni di demolizione, trasporto e deposito dei materiali si associa il vantaggio del miscelamento di vari elementi grossolani e minuti provenienti da rocce di diversa origine. Spesso questi terreni sono molto profondi, assommando così alle loro ottime proprietà chimiche e strutturali un altro carattere favorevole alla vegetazione per la maggiore riserva minerale ed idrica che ne derivano.

Gli agenti naturali che determinano la formazione dei terreni alloctoni sono vari: la gravità, le acque (fiumi, mari), i ghiacciai, il vento. I terreni costituiti per azione della gravità (*colluviali*) hanno scarsa importanza e limitata estensione; si trovano sulle pendici od ai piedi dei rilievi montuosi e sono di solito dotati di scarsa fertilità. Soltanto i terreni di origine piroclastica (vulcanica) costituiscono una eccezione a questa regola. Molto importanti, invece, sono i terreni originati dall'azione di trasporto delle acque. Se il trasporto e la sedimentazione dei materiali sono avvenuti per opera dell'acqua corrente di un fiume, i terreni vengono detti *alluvionali* ed hanno caratteri assai diversi per le varie dimensioni dei materiali depositatisi, cioè secondo la velocità dell'acqua che li ha

trasportati; sono spesso profondi e fertili. I terreni litorali (*marini*) sono la risultante dell'azione delle maree, delle correnti e del moto ondoso, completata spesso dall'azione del vento. Di solito si tratta di terreni poco fertili, salmastri, a granulometria grossolana. I terreni *glaciali* o *diluviali* o *morenici* hanno origine dall'accumulo dei materiali esarati dalle rocce che si trovavano sulla direttrice di movimento della massa glaciale sul fronte del ghiacciaio stesso, che nella fase di ritiro lascia dietro di sé questi cumuli di detriti. Questi terreni sono costituiti da materiali di grossezza differente, mescolati in vario modo: perciò la loro fertilità oscilla entro ampi limiti. I terreni *eolici*, originati dall'azione del vento (dune desertiche, loess), hanno anch'essi notevole importanza. Il vento agisce, nell'azione di trasporto e di deposito dei materiali di varia grossezza, in modo analogo alle correnti d'acqua. I terreni *lacustri* derivano dal prosciugamento di laghi e zone umide; sono in genere fertili e ricchi di sostanza organica.

Stratigrafia del terreno

La parte del terreno agrario direttamente utilizzata dall'agricoltura e che è la più superficiale prende il nome di *suolo*. La parte sottostante si dice *sottosuolo*. Mentre, come abbiamo visto, il terreno naturale differenzia di solito quattro orizzonti principali, nel caso del terreno agrario la zona esplorata dalle radici, il suolo, si distingue in due soli strati: lo *strato attivo* e lo *strato inerte* (Fig. 4.1).

Lo strato attivo è più ricco di principi nutritivi, sia perché viene concimato, sia per l'asportazione verso l'alto di elementi da parte delle radici; inoltre è più scuro per la presenza di sostanza organica, più soffice per le lavorazioni e per la presenza di organismi animali e vegetali, e quindi più arieggiato ed adatto alla vita anche dei microrganismi. Nello strato inerte il suolo è invece in genere più compatto, poco permeabile e quindi poco arieggiato; gli elementi per questa ragione sono presenti in forma più ridotta, e il colore del suolo è diverso, anche per la mancanza di sostanza organica. Le radici vi si spingono raramente alla ricerca di acqua.

Il profilo (Fig. 4.2a, b) può talvolta presentare particolari orizzonti che impediscono o ostacolano l'approfondimento degli apparati radicali. Si tratta degli *strati di inibizione*, di varia natura. Si può considerare tale la falda freatica troppo alta, che determina asfissia negli strati di suolo interessati, ma anche gli strati aridi e gli strati tossici, con caratteristiche negative per la vita delle piante. Comuni sono anche strati impermeabili, posti a profondità varie, formati dalla cementazione di particelle di terreno ad opera di cementanti provenienti dall'orizzonte superiore per illuviazione. I *crostoni*, calcarei, ed i *ferretti*, sono di ostacolo alle lavorazioni e alla vegetazione, e vanno rotti o rimossi, ove economicamente possibile. Il *crostone* o *suola di lavorazione* è invece uno strato impermeabile che si può formare nei terreni argillosi in seguito alla pressione esercitata dal tallone dell'aratro sul terreno, ove la profondità di lavorazione si mantenga la stessa per diversi anni. Può essere evitato lavorando in condizioni fisiche favorevoli, variando la profondità di lavorazione da un anno all'altro, e ricorrendo alla ripuntatura.

4.1.2 Sostanza organica

Il terreno non è soltanto un substrato di sostanze nutritive, ma un *complesso vivo* nel quale hanno notevole importanza i rapporti che si instaurano fra le componenti minerali, le sostanze organiche, l'acqua e un notevolissimo numero di esseri viventi (Fig. 4.3) dalle strutture e dalle caratteristiche diverse, ma tutti ugualmente importanti nella logica dell'equilibrio ecologico (Tab. 4.1).

I terreni divengono fertili solo quando contengono una certa quantità di sostanza organica, in differente stadio di evoluzione, derivata dalla presenza e dall'azione di questi organismi. La sostanza organica si raggruppa in tre tipi: humus, prodotti di decomposizione, residui organici più o meno inalterati.

Per *humus* si intende un insieme di sostanze organiche a struttura chimica complessa e non del tutto conosciuta (acidi fulvici, acidi humatomielanici, acidi umici e umine), con un rapporto assai stabile C:N:S:P di circa 100:10:1:2, piuttosto resistenti alla degradazione, di colore scuro, colloidali, a reazione acida, unite alle argille (complesso argillo-umico). Gli agenti principali dell'humus sono batteri, attinomiceti e funghi, ed i substrati principali di partenza sono cellulosa, lignina, emicellulosa. I *prodotti intermedi* della decomposizione dei residui animali e vegetali sono proteine, amminoacidi, carboidrati di diversa complessità, sostanze aromatiche, grassi, ecc. Queste sostanze possono essere mineralizzate, con la messa a disposizione dei principi nutritivi che contengono, oppure essere utilizzate per la sintesi dei composti umici. I residui organici indecomposti possono essere di origine animale o vegetale; essi vengono attaccati dai microrganismi e seguono un certo tipo di evoluzione, in funzione sia della loro natura che delle condizioni ambientali nelle quali si trovano. Maggiore il numero dei microrganismi, più rapida la decomposizione. Però il tasso di decomposizione della sostanza organica dipende anche dalla quantità di azoto che contiene; infatti i microbi del terreno utilizzano sia il carbonio che l'azoto dei residui organici per la loro crescita e riproduzione. Il contenuto in azoto della sostanza organica è dato dal suo *rapporto carbonio/azoto* (C:N). La paglia ha un C:N di 80:1, mentre quello della segatura è di 400-800:1 (Tab. 4.1 bis). Le stoppie di erbamedica hanno invece un rapporto di solo 13:1. Siccome più basso è il rapporto, più velocemente i residui organici vengono decomposti, la segatura risulta molto resistente alla decomposizione. Il rapporto C:N si abbassa col progredire della decomposizione, con il carbonio che viene ceduto dalla biomassa come anidride carbonica.

Tab. 4.1 bis – Rapporto Carbonio/Azoto (C:N) in alcuni materiali organici

Materiale	Rapporto C:N
Paglia di frumento	80
Stocchi di mais	57
Erbamedica (piante sviluppate)	25
Erbamedica (piante giovani)	13
Segatura	400 e oltre

La sostanza organica, nei terreni agrari, può giungere anche dall'esterno grazie agli apporti operati dall'uomo. Inoltre vi sono terreni particolarmente ricchi di sostanza organica per ragioni precedenti alla messa a coltura (disboscamenti, terreni torbosi, ecc.). La sostanza organica svolge un gran numero di funzioni nel terreno. Le proprietà fisiche del suolo sono migliorate dalla abbondante presenza di sostanza organica, la quale

favorisce la formazione di aggregati stabili con le particelle minerali del terreno, con conseguente miglioramento della capacità di ritenzione idrica nei terreni sabbiosi, e della porosità in quelli argillosi. Da un punto di vista chimico, la sostanza organica ha la capacità di adsorbire ioni, che potranno poi essere ceduti con gradualità alla soluzione circolante.

La quantità di humus stabile che si accumula e si mineralizza nel terreno alle differenti latitudini e altitudini è molto varia: nei climi freddi la bassa temperatura media lo preserva dalla rapida mineralizzazione e ne favorisce l'accumulo nel terreno; nei climi più caldi la temperatura ne favorisce la mineralizzazione, fino all'estremo dell'*eremacausi*, processo di rapida mineralizzazione tipico degli ambienti caldo-aridi. Questi processi però possono essere modificati anche in modo sostanziale da altri fenomeni quali il regime pluviometrico, il tipo di sostanza organica predominante, il tipo di terreno, l'azione dell'uomo.

4.2 Proprietà fisiche, chimiche e biologiche del terreno

Il terreno, a causa della complessità della sua natura e della ricchezza di vita che contiene, nonché degli stretti rapporti che si stabiliscono tra le varie componenti, viene oggi considerato come un vero e proprio organismo vivente; schematicamente, esso si compone di tre fasi (solida, liquida e gassosa) e presenta un insieme di caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche che ne determinano il grado di *fertilità*, ovvero la capacità di fornire produzioni.

Molto importante per lo sviluppo delle piante è l'equilibrio tra i diversi componenti solidi, liquidi e gassosi del terreno. Infatti mentre la parte solida (inorganica e organica) è indispensabile per garantire il sostegno e come riserva nutritiva, è grazie ai componenti liquidi e gassosi che possono svolgersi importanti funzioni biologiche come la respirazione radicale e la nutrizione.

4.2.1 Proprietà fisiche

Tessitura

Per tessitura o grana o composizione granulometrica si intende la costituzione della parte solida del terreno; si misura in percentuale in peso delle varie classi di diametro delle particelle elementari del terreno.

Le particelle con dimensioni superiori a 2 mm vengono generalmente definite scheletro (ghiaio, ghiaia, pietre e ciottoli), sono derivate dal disfacimento della roccia madre e non interessano particolarmente ai fini della fertilità, in quanto non partecipano ai fenomeni di assorbimento di elementi nutritivi, né favoriscono la capacità di ritenuta idrica. Nei terreni a prevalente scheletro (>40% scheletro) si ha buona permeabilità, forte aerazione, scarsa trattenuta di acqua; se associati a terra fine possono dare buoni risultati, soprattutto con gli ambienti e colture adatti.

Le particelle con dimensioni inferiori a 2 mm vengono invece definite terra fine e sono la sabbia grossa (2-0,2 mm), la sabbia fine (0,2-0,02 mm), il limo (0,02-0,002 mm) e l'argilla (< 0,002 mm). A seconda che prevalga una delle tre componenti il terreno avrà caratteristiche assai diverse, tali a volte da determinare il tipo di utilizzo colturale. La sabbia è costituita da materiale pressoché inerte (frammenti di roccia, conchiglie, calcari

cristallini); è utile come supporto per le particelle colloidali. I terreni sabbiosi (>50-60% sabbia) hanno bassa ritenzione idrica e di elementi nutritivi, sono facilmente lavorabili, non temono il calpestamento. Il limo è costituito da vari silicati, ha caratteristiche intermedie tra sabbia e argilla; i terreni limosi (>80% limo) sono freddi e polverulenti se secchi, poveri o mediamente dotati di elementi nutritivi, di difficile coltivazione, tendono a formare una crosta superficiale, hanno zolle durissime, sono poco permeabili e quindi l'acqua ristagna con facilità. L'argilla comprende i silicati (argilla vera e propria, caolinite, illite, montmorillonite), silice, idrati di Fe e di Mn (colloidi). I terreni argillosi (>40% argilla) hanno sufficiente o notevole disponibilità di elementi nutritivi (soprattutto K), resistenza alla penetrazione degli organi lavoranti (tenacità), capacità di trattenere molta acqua (con rischi di asfissia), mostrano crepacciabilità, che ha, quando si verifica, effetti negativi (dispersione di acqua irrigua, perdite di acqua per evaporazione, rottura degli apparati radicali) e positivi (rottura zolle, penetrazione dell'acqua in profondità, arieggiamento, minor sforzo richiesto per le lavorazioni); sono assai diffusi in Italia, e sono adatti a fornire alte rese.

I criteri dimensionali qui riportati per la suddivisione delle diverse classi granulometriche sono quelli della Società internazionale della scienza del suolo. Oggi però molti studiosi, compresa la larga maggioranza di quelli americani, per esempio, definiscono limo tutte le particelle comprese tra 0,05 e 0,002 mm di diametro, secondo lo schema di classificazione proposto dall'USDA (Dipartimento d'Agricoltura degli Stati Uniti) (Figg. 4.5, 4.6). Nella suddivisione granulometrica non è poi compreso l'humus, derivato dal disfacimento della sostanza organica. Si tratta, come abbiamo visto di una componente importante, capace di esercitare una profonda influenza sulle caratteristiche fisiche e chimiche del terreno.

Porosità

L'insieme degli spazi vuoti che esistono tra le particelle del terreno costituisce la *porosità*, che viene espressa come percentuale in volume del terreno. La misura della porosità è piuttosto difficoltosa e non fornisce mai risultati utilizzabili poiché il volume degli interstizi tra le particelle varia di continuo in rapporto alla struttura del terreno. In un terreno con caratteristiche di medio impasto, ben strutturato, la porosità si aggira intorno al 50% (*terreno soffice*).

Gli spazi vuoti del terreno non sono mai del tutto vuoti, ma occupati da aria, acqua e microrganismi, oltre alle radici delle piante e alla fauna terricola. Per un buon sviluppo delle piante l'aria e l'acqua devono essere presenti in proporzioni equilibrate, in modo da consentire sia la respirazione delle radici e dei microrganismi terricoli che l'assorbimento idrico.

La porosità viene distinta, in base alla dimensione dei pori, in *microporosità* (< 8-10 μ) e in *macroporosità* (> 10 μ); un buon equilibrio tra macro- e microporosità è indispensabile per una adeguata fertilità del terreno. Infatti, in terreni con eccessiva macroporosità (sabbiosi) l'acqua tende a percolare rapidamente attraverso gli ampi spazi presenti, andando quindi perduta per le radici e contemporaneamente dilavando le sostanze nutritive solubili. In terreni con alta microporosità (argillosi) si possono verificare condizioni asfittiche in quanto i piccoli spazi che costituiscono la quasi totalità della porosità possono rimanere per un lungo tempo imbevuti di acqua, impedendo la circolazione dell'aria e inibendo quindi i processi aerobici del terreno.

I terreni migliori da un punto di vista dell'accrescimento e della produttività delle piante sono quindi quelli nei quali si ha un rapporto adeguato fra microporosità e macroporosità: mentre i pori più piccoli avranno il compito di trattenere l'acqua creando così un ambiente umido indispensabile al movimento delle sostanze nutritive, gli interstizi più grandi serviranno a contenere l'aria indispensabile per lo svolgimento della vita aerobica del terreno.

Struttura

La *struttura* è la disposizione che le particelle solide del terreno assumono l'una rispetto all'altra. Schematicamente, si possono dare due condizioni estreme:

1- *struttura granulare* (o *tessiturale*, o *manca di struttura*), quando le particelle (siano esse limo, argilla o sabbia) assumono una disposizione di massimo assestamento (Fig. 4.7): in questo caso il terreno avrà una porosità che dipende dalla dimensione dei suoi componenti originari e quindi gli spazi fra particella e particella saranno ampi se queste hanno dimensioni notevoli (terreni con prevalenza di sabbia) mentre saranno molto piccoli con particelle di piccole dimensioni (terreni con prevalenza di argille).

2 - *struttura grumosa* (o *glomerulare*, o *stato strutturale*), quando le particelle di dimensioni minori, come limo e argilla, determinano fenomeni di aggregazione, unendosi in grumi, all'interno dei quali gli spazi interstiziali fra particella e particella sono assai ridotti (microporosità), mentre fra grumo e grumo si formano spazi assai più grandi (macroporosità); la formazione di tali aggregati è resa possibile dalla presenza di cementi colloidali organici o minerali (Fig. 4.8). Le sostanze cementanti più efficaci sono quelle di natura organica presenti nell'humus o derivanti dalla decomposizione. Esse infatti sono costituite da lunghe molecole filamentose capaci di legare i microscopici frammenti minerali fino a costituire i grumi visibili ad occhio nudo.

La struttura non è una proprietà statica del terreno e, poiché varia rapidamente per effetto di numerosi fattori come ad esempio l'azione battente della pioggia o il calpestio delle macchine, come cause di natura fisica, o la deflocculazione dei colloidali per carenza di Ca o per eccesso di Na, come cause chimiche, nei terreni agrari essa deve essere continuamente ripristinata.

Creazione o ripristino della struttura

La struttura, nei terreni adatti, deriva, come abbiamo visto, dall'aggregazione di particelle favorita dall'azione di colloidali, sia minerali (argille, ossidi, idrossidi) che organici (humus e composti intermedi), che le cementano. Perché questo avvenga i colloidali devono trovarsi in uno stato di coagulazione (flocculazione), a sua volta favorito da diversi fattori, tra i quali abbiamo sopra rammentato l'azione positiva di una buona dotazione di ione Ca, mentre il Na ad alti livelli può avere un'azione deflocculante.

Un altro fattore che contribuisce alla formazione della struttura è l'alternanza di inumidimento ed essiccazione del terreno, che determina variazioni di volume dello stesso; un'azione simile, da un punto di vista fisico, è esercitata dall'alternanza di gelo e disgelo, che ha però anche effetti chimici utili allo stesso fine.

Tra i mezzi a disposizione dell'agricoltore per realizzare artificialmente condizioni di sofficietà in terreni che si sono rassodati i più importanti sono di gran lunga le lavorazioni. Penetrando il terreno con organi che lo rompono e in parte lo rimescolano, la lavorazione ne riduce lo strato superficiale in zolle di varie dimensioni, al di sotto delle quali si

trovano ampie cavità; la struttura si formerà col tempo, trasformando le zolle in ammassi di glomeruli porosi, grazie soprattutto all'azione dei fattori naturali sopra descritti. Altri strumenti tecnici sono le letamazioni, l'apporto di calcio o di altri ioni ad azione flocculante, l'adozione di ordinamenti colturali adeguati (rotazioni, colture intercalari, consociazioni), pacciamatura artificiale e pacciamatura verde o inerbimento.

Tenacità

E' la proprietà del terreno di opporre resistenza alla penetrazione degli attrezzi ed è il principale fattore responsabile della resistenza all'avanzamento nel suolo degli organi lavoranti degli attrezzi. E' strettamente legata alla coesione (capacità delle particelle di legarsi saldamente tra loro) e quindi risulta più elevata nei terreni a grana fine (terreni argillosi), e minima in quelli sabbiosi.

Adesività

Indica la tendenza del terreno ad aderire agli organi lavoranti, ed aumenta con l'aumentare dell'umidità del suolo, fino ad un massimo che varia con il tipo di terreno. Anche una forte adesività può aumentare di molto lo sforzo richiesto per eseguire una lavorazione.

Plasticità

Indica la capacità del terreno di farsi modellare e di mantenere la forma derivante dalle lavorazioni; essa è in funzione dell'umidità che non deve essere né troppo elevata, né troppo scarsa. Infatti, quando l'umidità è troppo elevata il terreno diventa fluido, mentre quando è scarsa il terreno non è più modellabile ed aumenta la propria tenacità.

Comportamento dell'aria nel terreno

L'aria contenuta nel terreno è indispensabile per consentire la respirazione alle radici delle piante ed a tutti gli organismi aerobici presenti nel terreno stesso, ed è quindi importante quanto le componenti solida e liquida. Una carenza di aria derivante da eccessiva compattezza del terreno o da troppa umidità rallenta i processi respiratori delle radici, con conseguente riduzione della attività di assorbimento radicale, e dello sviluppo dello stesso apparato ipogeo; inoltre condizioni asfittiche inibiscono processi favorevoli alla vita della pianta (umificazione, nitrificazione, ecc.), favorendo le attività anaerobiche, quali la denitrificazione e la formazione di composti nocivi alle piante. Una sufficiente aerazione del terreno è quindi una componente essenziale della fertilità. D'altra parte, una eccessiva aerazione può essere altrettanto dannosa, in quanto può accelerare i processi di ossidazione della sostanza organica, soprattutto in presenza di alte temperature, e favorire la perdita di umidità.

L'aria del terreno ha una *composizione* diversa da quella atmosferica, e la differenza aumenta via via che ci si allontana dalla superficie (Fig. 4.9). Le modificazioni che si verificano rispetto all'aria esterna al terreno riguardano tutte le sue componenti: l'*ossigeno* diminuisce, poiché viene utilizzato da tutti gli organismi che vivono nel terreno, comprese le radici delle piante superiori (in molti casi quando scende al di sotto del 2% le radici cessano di accrescersi). L'*anidride carbonica* aumenta per la respirazione degli stessi organismi; inoltre, essendo più pesante, tende a stazionare negli interstizi del

terreno; essa è favorevole per l'azione di solubilizzazione di molti elementi nutritivi, ma se in eccesso può interferire con le attività radicali. Il *vapor acqueo* aumenta, determinando spesso alta umidità relativa, anche il 100%.

Detto questo, bisogna però ricordare che la composizione dell'aria nel terreno varia anche notevolmente con il variare delle stagioni, del tipo di terreno, delle lavorazioni, dello stato idrico, del tipo di coltivazione e dell'attività biologica.

L'aria esterna ed interna al suolo non sono separate, esse comunicano e sono in grado di scambiare i propri componenti attraverso il meccanismo della diffusione. In tal modo si verifica un continuo passaggio di ossigeno dall'atmosfera al terreno, ove questo è presente in concentrazione minore, mentre l'anidride carbonica ed il vapor acqueo, presenti in misura maggiore nel terreno, tendono a migrare verso l'atmosfera per stabilire una condizione di equilibrio. Siccome grazie alla diffusione l'aria del terreno si rinnova, è importante favorire questo processo, effettuando tutti quegli interventi che migliorano la struttura (macroporosità) del terreno e favoriscono la circolazione dell'aria. Quindi utili a questo scopo sono le lavorazioni, sia per gli effetti in profondità che per la rottura della crosta superficiale, l'arricchimento in sostanza organica, le rotazioni, ed in genere tutti gli interventi che migliorano la struttura ed impediscono il verificarsi di ristagni idrici.

Comportamento dell'acqua nel terreno

Negli ecosistemi naturali, l'acqua raggiunge il terreno principalmente come pioggia o come neve disciolta. Negli agroecosistemi l'acqua può anche essere somministrata con l'irrigazione.

Perché possa divenire disponibile per le piante, l'acqua deve penetrare nel terreno, evento che non sempre è scontato: infatti molta acqua può essere perduta per scorrimento in superficie, ed anche per evaporazione, se l'infiltrazione nel terreno non è agevole. L'*infiltrazione* dell'acqua è influenzata dal tipo di terreno, dalla pendenza, dalla copertura vegetale e dalle caratteristiche della precipitazione o irrigazione. I terreni molto porosi, come quelli sabbiosi o ricchi di sostanza organica, sono i più permeabili, cioè sono facilmente attraversati dall'acqua. Anche la pendenza del terreno ha effetto nel rendere più difficoltosa l'infiltrazione dell'acqua, soprattutto se non è increspata da terreno smosso. La copertura vegetale, sia viva che come residui, aumenta notevolmente la capacità dell'acqua di penetrare nel suolo.

La parte più superficiale del terreno viene presto saturata, cioè tutti gli spazi vuoti sono riempiti dall'acqua (Fig. 4.10); a questo punto la forza di gravità inizia a far penetrare l'acqua non trattenuta verso il basso, per una profondità variabile a seconda delle caratteristiche del terreno e dell'entità della precipitazione. Nei casi estremi questo fenomeno di *percolazione* fa in modo che l'acqua meteorica arricchisca la falda acquifera, mentre le irrigazioni dovrebbero essere calibrate in modo da non causare questo fenomeno, che costituisce uno spreco di acqua.

L'umidità può anche abbandonare il terreno nella direzione opposta, verso l'atmosfera, a causa dell'*evaporazione*. Anche se questo fenomeno (favorito da alte temperature, aria atmosferica poco umida e buona ventilazione) si verifica in superficie, i suoi effetti sull'umidità del terreno sono percepiti anche in profondità.

Infine, come già visto, l'acqua può abbandonare il terreno attraverso il meccanismo della *traspirazione*, per cui le piante la emettono come vapor acqueo dagli stomi dopo averla assorbita dal terreno per mezzo dei peli radicali.

A causa dell'assorbimento di acqua da parte della radice, o per evaporazione, può avvenire che in un certo punto del terreno il contenuto di umidità si riduca; si crea quindi un punto con maggiore energia libera, con un gradiente di potenziale idrico (vedi sotto) che tende ad attirare umidità da tutti i punti circostanti del terreno (Fig. 4.11), di solito dal basso perché più umido, soprattutto se la falda è vicina. Si tratta della *capillarità*, grazie alla quale l'acqua presente nel terreno tende a muoversi all'interno degli interstizi (Fig. 4.12); se non viene assorbita, e nelle condizioni di terreno adatte, può giungere alla superficie dove evapora. Le forze che governano il movimento capillare sono dovute sia all'attrazione delle molecole di acqua verso le particelle di terreno, sia alle forze di coesione nell'acqua. L'acqua si può muovere solo di pochi centimetri al giorno per capillarità, ma grazie alla grande estensione dei sistemi radicali questo movimento è in genere più che sufficiente.

Nel terreno esiste sempre una certa quantità di acqua, che ne costituisce la fase liquida, e che prende il nome di *soluzione circolante* poiché non si tratta mai di acqua pura ma di una soluzione nella quale sono disciolte numerose sostanze; si tratta dei componenti solubili del terreno, la cui concentrazione non è costante ma dipende da numerosi processi (evaporazione, dilavamento, concimazioni, assorbimento radicale, attività microbica, ecc.).

Per l'agronomo è importante sapere quanta acqua è disponibile per la coltura in un dato momento. Tradizionalmente l'umidità del terreno si misurava raccogliendo campioni di terreno e facendoli seccare in stufa a 105°C per 24 ore; la differenza in peso dava la percentuale di acqua presente nel terreno. Questa procedura però non dà la misura dell'acqua disponibile per le piante nel terreno, in quanto non prende in considerazione la forza con la quale l'acqua aderisce alle particelle di terreno. Via via che il contenuto in argilla e sostanza organica aumenta nel terreno, l'acqua è trattenuta con più forza dalle particelle dello stesso, e le radici hanno maggiori difficoltà ad estrarla. La lattuga, per esempio, può appassire in un terreno argilloso che abbia un'umidità del 15%, mentre in un terreno sabbioso l'umidità può scendere anche al 6% prima che si abbiano segni di appassimento. Quindi, a causa di questa diversa forza di ritenzione dell'acqua nei vari tipi di suolo, l'umidità deve essere rappresentata in termini energetici. La forza di attrazione delle molecole di acqua alle particelle di terreno, o *potenziale idrico*, viene di solito espresso come energia per unità di volume, ossia in unità di pressione: pertanto viene comunemente misurato ed espresso in bar.

In funzione della forza di ritenzione idrica l'acqua del terreno è definita in diversi modi (Fig. 4.13):

- *Acqua gravitazionale*, è l'acqua che si muove nel terreno obbedendo solo alla forza di gravità; il terreno non la trattiene, e quindi essa tende a muoversi verso il basso, occupando e poi abbandonando i macropori. Le piante non compiono alcuno sforzo per sottrarla al terreno, e quindi il suo potenziale idrico è uguale a zero. In questo caso si parla di *capacità idrica massima*, o umidità di saturazione.

- *Acqua capillare*, è l'acqua che resta nel terreno dopo che l'acqua gravitazionale ha percolato verso il basso; occupa la microporosità del terreno (<10µm) ed è trattenuta dalle particelle con una forza che varia da 0,3 a 31 bar. La massima quantità di acqua che le forze di capillarità sono in grado di trattenere nel terreno è detta *capacità idrica di campo* (o capacità di campo), o *potere di ritenzione*, ed è l'acqua che è presente in un

terreno non appena l'acqua gravitazionale ha finito di percolare (-0,3 bar circa); successivamente, in mancanza di piogge o irrigazione, il terreno continuerà a perdere umidità, con conseguente aumento progressivo del potenziale idrico. Parallelamente, le piante dovranno svolgere un lavoro sempre maggiore per estrarre acqua dal terreno, fino ad un livello di umidità, vario per i diversi tipi di terreno, e ad un potenziale idrico, di solito -15 bar, oltre il quale non riescono più a assorbire acqua; si tratta *del punto* (o *coefficiente*) *di appassimento*, che prelude alla morte della pianta se non si abbassa di nuovo il potenziale idrico aggiungendo nuova acqua al terreno. Come tutti gli altri coefficienti varia in base alla natura del terreno ed è più elevato nei terreni argillosi rispetto a quelli sabbiosi (Fig. 4.14). Vi sono però specie adattate a condizioni di aridità che possono sopravvivere anche con potenziali idrici più alti. Al punto di appassimento c'è ancora acqua presente nel terreno, ma non è utilizzabile dalle piante: è acqua capillare trattenuta nei capillari più sottili. Quindi l'acqua tra la capacità di campo e il punto di appassimento (da -0,3 a -15 bar) è detta *acqua disponibile*.

- *Acqua igroscopica* è quella trattenuta con forza superiore ai -31 bar; in pratica, indica la quantità di umidità che un terreno completamente essiccato in stufa è in grado di riassorbire dall'aria satura di umidità. Le sue molecole sono trattenute con tensioni che possono raggiungere i 10.000 bar.

- *Acqua costituzionale o di idratazione*: fa parte della molecola della particella terrosa, e richiede forze ancora maggiori per essere estratta.

Determinazione dell'umidità del terreno

Per misurare l'acqua presente nel terreno esistono diversi metodi, il più semplice dei quali è la differenza di peso di campioni di terreno prima e dopo il loro essiccamento in stufa.

Come abbiamo visto, ciò che interessa in agricoltura non è però la misura dell'acqua presente nel terreno, ma la determinazione dei livelli di disponibilità idrica per le piante. Ciò è possibile utilizzando strumenti come l'apparecchio di Bouyoucos e il tensiometro, attraverso i quali si può leggere su una scala graduata la percentuale di acqua disponibile (Figg. 4.15, 4.16).

Questi due strumenti si basano su principi opposti per misurare l'umidità: l'apparecchio di Bouyoucos utilizza come elemento sensibile un blocchetto di materiale poroso capace di assorbire l'umidità del terreno, mentre il tensiometro utilizza un bulbo poroso pieno di acqua distillata che viene ceduta progressivamente al terreno in rapporto al suo grado di prosciugamento. Entrambi gli strumenti vengono utilizzati in pieno campo ponendo l'elemento sensibile nello strato di terreno interessato dall'assorbimento radicale.

Proprietà termiche del terreno

La *temperatura del terreno* è molto importante per l'attività biologica, e poiché parte della pianta vive immersa nel suolo è ovvio che questo fattore riveste estremo interesse. Il *colore* e l'*umidità* sono fattori importantissimi che condizionano l'assorbimento termico e la cessione di calore da parte del terreno. I terreni scuri assorbono una maggior quantità di radiazione luminosa rispetto a quelli chiari che, al contrario, sono riflettenti. Infatti si definiscono "caldi" i terreni più scuri e "freddi" quelli di colore chiaro.

Condizionamenti analoghi derivano dalla umidità del terreno; terreni molto umidi sono generalmente più freddi ma meno soggetti agli sbalzi termici rispetto a quelli che trattengono poca umidità.

Infine, la presenza di vegetazione riduce le oscillazioni giornaliere di temperatura, contenendo i valori estremi.

4.2.2 Proprietà chimiche

Composizione chimica del terreno

E' estremamente variabile, dipendendo in primo luogo dal tipo di roccia che ha originato la parte minerale del terreno e da tutti quei fattori che hanno contribuito e contribuiscono incessantemente alla sua evoluzione (agenti climatici, tempo, vegetazione, microrganismi, interventi agronomici, ecc.).

I composti chimici che ne derivano spesso presentano scarsa stabilità e tendono a reagire con altre sostanze per raggiungere configurazioni molecolari più stabili. Questo fenomeno può essere però ostacolato dai microrganismi del terreno che, effettuando continui scambi di elementi nutritivi e di rifiuto, mantengono dinamico e multiforme il processo di trasformazione chimica.

Da un punto di vista agronomico ciò che interessa di più è il contenuto in elementi nutritivi (azoto, fosforo, potassio, e elementi minori), dei quali abbiamo parlato in sede di nutrizione minerale, o l'eventuale presenza di elementi che possono provocare interferenze chimiche, come ad esempio il calcio, o produrre effetti tossici sulla vegetazione, come ad esempio l'eccesso di salinità.

Soluzione circolante e potere assorbente

Per *soluzione circolante* si intende la fase liquida del terreno composta dall'acqua e dalle sostanze disciolte in essa.

La soluzione circolante viene così definita perché è in continuo movimento all'interno degli interstizi del terreno grazie a quei fenomeni di capillarità, percolazione, igroscopicità, che sono stati descritti precedentemente.

La sua composizione e la sua concentrazione variano continuamente a causa dei numerosi scambi ionici con le fasi solida e gassosa o dell'apporto di nuovi elementi mediante piogge, irrigazioni e concimazione. Inoltre intervengono anche le piante e i microrganismi asportando o trasformando gli elementi fertilizzanti dei quali necessitano. Altri fattori che concorrono a determinare le caratteristiche della soluzione circolante sono le lavorazioni, la temperatura e, ovviamente, le caratteristiche pedologiche del terreno.

Tra la soluzione circolante e la fase solida del terreno avvengono in continuazione degli scambi ionici; alcuni ioni vengono mobilitati, altri invece vengono trattenuti; questa caratteristica, che varia da terreno a terreno, è la *capacità di scambio ionico*. Sia i cationi che gli anioni del terreno tendono a mantenere un equilibrio tra fase solida e fase liquida, attraverso processi di *assorbimento* (passaggio dalla fase liquida alla fase solida) e *desorbimento* (passaggio dalla fase solida alla fase liquida). La proprietà che ha il terreno di fissare determinati ioni prende il nome di *potere assorbente*. Il potere assorbente dipende soprattutto dalla presenza dei colloidi organici e minerali contenuti nell'humus e nei complessi argillosi.

I colloidi sono le particelle più piccole del terreno: hanno proprietà specifiche, tra cui: a) la carica elettrica, positiva e negativa. La stabilità delle sospensioni colloidali (*stato*

disperso) è dovuta alla repulsione tra le cariche dello stesso segno di cui sono dotate le particelle (*micelle*); b) la possibilità delle singole particelle colloidali disperse, sospese in un liquido, di riunirsi a formare, in determinate condizioni, degli aggregati maggiori che si depositano sotto forma di fiocchi (*flocculazione*). Nel terreno sono presenti diversi tipi di colloidali: argille, humus, idrossidi, ecc. Essendo dotati di carica elettrica i colloidali sono in grado di trattenere ioni presenti nella soluzione circolante dotati di carica elettrica opposta (assorbimento) (Fig. 4.17; Tab. 4.2).

L'humus e le argille, essendo colloidali elettronegativi assorbono gli ioni elettropositivi (cationi) come ad esempio il sodio (Na^+), il potassio (K^+), lo ione ammonio (NH_4^+), il calcio (Ca^{2+}), il magnesio (Mg^{2+}) (Fig. 4.18). Gli idrossidi di ferro e di alluminio sono invece colloidali elettropositivi ed assorbono gli ioni elettronegativi (anioni). Tra gli anioni trattenuti assumono notevole importanza quelli riguardanti il fosforo essendo uno degli elementi fertilizzanti più usati. Le forme ioniche del fosforo trattenute dai colloidali del terreno in forma decrescente sono: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- .

Non tutti gli anioni sono però trattenuti dal terreno; infatti lo ione nitrico (NO_3^-) sfugge al potere assorbente e, se non viene assorbito rapidamente dalle piante, può essere facilmente dilavato.

Il potere assorbente non viene esercitato in ugual misura nei confronti di tutti gli ioni; alcuni vengono trattenuti saldamente e per lunghi periodi, altri invece non vengono affatto trattenuti e rimangono all'interno della soluzione circolante. La conoscenza del comportamento dei diversi elementi nei confronti del potere assorbente è molto importante per una corretta applicazione delle tecniche di concimazione. Infatti i concimi a pronto effetto, come ad esempio i nitrati, non vengono trattenuti dal potere assorbente e devono essere distribuiti quando le piante sono già in grado di utilizzarli, mentre quelli a lento effetto vengono trattenuti e ceduti gradatamente alla soluzione circolante e quindi dovranno essere somministrati con anticipo come riserva fertilizzante.

Il pH del terreno

La *reazione del terreno* o *pH* esprime la concentrazione idrogenionica (ioni H^+) della soluzione circolante (Tab. 4.3).

Tab. 4.3 – Classificazione dei terreni in base al pH.

Intervallo di pH	Classificazione
<5,0	Peracido
5,1 – 6,0	Acido
6,1 – 6,7	Subacido
6,8 – 7,2	Neutro
7,3 – 7,7	Subalcalino
7,8 – 8,8	Alcalino
> 8,8	Peralcalino

La misura del pH viene effettuata con una scala che va da 0 a 14, ove il punto centrale, 7, rappresenta la neutralità. Tutti i valori di pH inferiori a 7 individuano i terreni acidi,

mentre tutti i valori superiori a 7 individuano terreni alcalini. In pratica, comunque, si è soliti definire una fascia di neutralità con valori di pH compresi fra 6,8 e 7,2. All'interno di questa fascia la gran parte delle piante ha le condizioni migliori per vivere e svilupparsi (V. Nutrizione minerale).

In terreni eccessivamente alcalini ($\text{pH} > 9$) o in terreni eccessivamente acidi ($\text{pH} < 4$) le piante non riescono a vegetare a causa della tossicità intrinseca del terreno nei confronti delle radici.

Poiché di rado si raggiungono nel terreno i valori limite, l'effetto diretto del pH nei confronti delle radici non è eccessivamente preoccupante. Quello che invece va ricordato è il fatto che il pH incide in maniera notevolissima sull'assorbimento degli elementi nutritivi da parte della pianta. Il fosforo, come abbiamo visto, diventa insolubile se il terreno è molto acido o molto alcalino; alcuni microelementi invece diventano più facilmente assimilabili in ambienti subacidi o acidi. I terreni acidi sono frequenti nelle zone umide o altamente piovose: le abbondanti precipitazioni, infatti, dilavano fortemente i cationi responsabili dell'alcalinità, oppure, se il terreno è molto ricco di sostanza organica, provocano eccessivo accumulo di acidi umici. Al contrario, tipici degli ambienti poco umidi sono i terreni alcalini, ove scarse sono le perdite per dilavamento.

Correttivi e ammendanti

Si definiscono *correttivi* i materiali che aggiunti al terreno ne migliorano il pH. *Ammendanti* sono invece le sostanze che migliorano le caratteristiche fisiche del terreno (struttura e tessitura). Così, se si tratta di correggere un suolo eccessivamente acido esistono sostanze chimiche che ne riducono l'acidità (calcitazioni). Se le condizioni sono veramente gravi, l'impiego di queste sostanze, anche se molto costoso, è necessario. Ma per situazioni meno gravi può essere sufficiente ricorrere a concimi fisiologicamente alcalini (scorie Thomas, nitrato di calcio, calciocianamide). Si potrà in tal modo apportare il fertilizzante desiderato e contemporaneamente migliorare la reazione del terreno, ottenendo, con un solo intervento, un doppio risultato sulla fertilità del suolo. Ciò che è stato esemplificato per i terreni acidi può essere messo in pratica anche per i terreni alcalini (gesso), e salsi. Gli ammendamenti invece in genere si limitano all'aggiunta di sostanza organica, che migliora le caratteristiche fisiche (ma anche chimiche) sia dei terreni eccessivamente sciolti che di quelli troppo compatti.

4.2.3 Proprietà biologiche

Gli organismi viventi del terreno

Il terreno non è soltanto un substrato di sostanze nutritive, ma, come già accennato, un complesso vivo nel quale hanno notevole importanza i rapporti che si instaurano fra le componenti minerali, le sostanze organiche, l'acqua e un notevolissimo numero di esseri viventi dalle strutture e dalle caratteristiche diverse, ma tutti ugualmente importanti nella logica dell'equilibrio ecologico.

Tali organismi, pur con funzioni diverse a seconda delle specifiche caratteristiche biologiche di ognuno di essi, sono responsabili della degradazione della sostanza organica fino alla produzione di humus, anidride carbonica, elementi nutritivi in forme disponibili e assimilabili dalle piante e inoltre di altre sostanze utili alla crescita delle

piante stesse. Nei confronti del ciclo dell'azoto, di particolare importanza è l'associazione simbiotica tra batteri del genere *Rhizobium*, capaci di fissare azoto dall'aria tellurica, e le radici di leguminose. Le radici formano noduli come reazione all'invasione delle cellule corticali da parte dei batteri; le piante ottengono azoto dai batteri dei noduli, e riescono così a non dipendere dall'azoto del terreno. I batteri ricevono dalla pianta carboidrati necessari alle loro funzioni vitali. La fissazione può essere anche non simbiotica (Fig. 4.19; Tab. 4.4).

La fauna e i microrganismi che vivono nel suolo, poi, contribuiscono a mantenere una struttura del terreno confacente alla vita dei vegetali, determinando un corretto rapporto fra macro e microporosità e di conseguenza una buona aerazione del terreno.

Questo equilibrio è in continua e incessante evoluzione secondo i ritmi stagionali; inoltre è influenzato da diversi fattori quali la temperatura, l'umidità, le caratteristiche strutturali del terreno, il contenuto di sostanza organica, il contenuto di elementi nutritivi, il pH.

Anche l'intervento dell'uomo, attraverso le pratiche colturali comuni (lavorazioni, irrigazioni, concimazioni, difesa antiparassitaria, diserbo, ecc.), incide sui delicati equilibri intercorrenti fra terreno e organismi terricoli: adottando pratiche corrette si mantiene l'equilibrio ottimale di tutte le componenti e quindi si ha un substrato estremamente fertile e produttivo; quando invece gli interventi sono sconsiderati e irrazionali il danno all'agroecosistema può essere grave, con ripercussioni nel medio e lungo termine anche sulla stessa produttività che si era inteso accrescere.

Le micorrize

Nei rapporti fra piante e terreno un ruolo importante può essere svolto dalle *simbiosi micorriziche* che si stabiliscono fra le radici di molte specie e funghi eterotrofi. Il fenomeno, inizialmente reperito su specie forestali come conifere e quercia, è stato segnalato e studiato anche su specie arboree da frutto e, più recentemente, su frumento e altre graminacee, e su leguminose.

Secondo la loro morfologia le micorrize si dividono in due categorie principali: le micorrize *ectotrofiche* e le micorrize *vescicolo-arbuscolari*. Nelle prime i funghi filamentosi si sviluppano intorno alla radice assorbente, formando un vero e proprio manicotto; la radice non è più in contatto con il terreno, se non attraverso l'intermediazione del fungo. Nel secondo tipo il micelio non è più presente all'esterno della radice, ma vive all'interno delle cellule del tessuto corticale.

La micorrizia è una vera e propria simbiosi. La pianta fornisce metaboliti (carboidrati) e regolatori di crescita al fungo; questo, per parte sua, aumenta notevolmente la superficie di contatto tra suolo e pianta, emettendo una quantità enorme di micelio che si estende intorno alla radice. Le possibilità di approvvigionamento idrico e di elementi minerali presenti nella soluzione circolante sono quindi accresciute, anche perché i funghi sono capaci di assorbire molti elementi minerali sotto forme che sono inutilizzabili per le piante in condizioni normali; il caso più evidente è quello del fosforo.

In conclusione quindi le piante micorrizzate sono in genere più produttive del normale, a parità di condizioni, e per questa ragione la ricerca sta studiando attivamente l'argomento.

Stanchezza del terreno

La *stanchezza* è un termine che indica tutti i casi in cui si manifesta una perturbazione della fertilità dovuta a cause molteplici ma non trasmissibili. Una pianta che soffre in un

terreno stanco, trapiantata in terreno normale riprende a vivere normalmente. L'aggiunta di terreno stanco ad un contenitore può peggiorare le condizioni di vita delle piante che questo ospita.

Si tratta di un fenomeno che si è notato per secoli in diverse specie, e che è particolarmente percepibile quando in un terreno che ha ospitato una data coltura si reimpianta la stessa specie; è quindi particolarmente sentito per le piante arboree, che per varie ragioni tecnico-economiche spesso si reimpiantano sugli stessi terreni. Da qui l'altro nome della stanchezza, che è anche chiamata *malattia da reimpianto*, e che è particolarmente evidente in specie come il pesco, il melo, la vite, il ciliegio. Pur se favorita da aspetti genetici, la stanchezza mostra di essere più grave in terreni pesanti, e con piante particolarmente vigorose. Vi sono però anche casi di stanchezza dovuta all'avvicinarsi di specie diverse.

Vi sono molte teorie che hanno tentato di spiegare l'origine della stanchezza. Tra queste le più attendibili sono:

- Teoria delle tossine: le radici emetterebbero sostanze di rifiuto che la pianta non gradisce. Un reimpianto metterebbe i giovani apparati radicali a contatto con un terreno ricco di sostanze sgradite, che ne inibirebbero l'accrescimento. Il punto debole della teoria è che in genere si tratta di sostanze poco persistenti nel terreno.

- Esaurimento di elementi nutritivi: ogni specie ha particolare predilezione per taluni macro- e microelementi, e tende a impoverirne il terreno, rendendolo quindi inospitale per la stessa specie una volta reimpiantata. Questa stanchezza dovrebbe però essere rimossa da adatte concimazioni, cosa che di solito non avviene.

- Popolamento di parassiti specifici: i parassiti specifici di una data coltura (insetti, nematodi, crittogame), ma anche le malerbe, tendono ad aumentare in un dato terreno nel corso di una coltura. Anche in questo caso le piante che succedono alle precedenti troverebbero un ambiente biotico particolarmente ostile. Come nel caso precedente però gli interventi biocidi (fumigazioni) non sempre sono efficaci ad eliminare la stanchezza.

Queste ed altre teorie non sono sinora riuscite a spiegare compiutamente il fenomeno, per ovviare al quale gli interventi possibili sono i seguenti:

a) Rotazioni con piante erbacee o arboree, sino alla scomparsa della stanchezza. E' il mezzo migliore, ma talvolta le leggi dell'economia impongono il reimpianto in dati ambienti.

b) Cambiamento del portinnesto. Non sempre è possibile, e talvolta nemmeno efficace.

c) Sterilizzazione con vapore. Dà buoni risultati, ma non in tutti i casi.

d) Disinfezione con prodotti chimici. Spesso efficaci ma con problemi di costo e ecologico-sanitari.

5 LA TECNICA AGRONOMICA

5.1 Lavorazioni del terreno

Per lavorazioni si intende l'insieme degli interventi meccanici che vengono fatti allo scopo di perfezionare le condizioni pedologiche nelle quali le piante coltivate devono accrescersi e produrre, e cioè le proprietà fisico-meccaniche, chimiche, microbiologiche del terreno e la regimazione delle acque. Nella maggior parte dei casi con le lavorazioni si esegue anche la somministrazione e l'interramento dei concimi.

Le lavorazioni costituiscono pertanto la più importante pratica agricola per conservare e migliorare la fertilità del terreno. Con tutta probabilità è col lavoro della terra che ha avuto inizio l'agricoltura, e questa pratica è stata, per lungo tempo, l'unica operazione atta a migliorare la fertilità del suolo presso i popoli primitivi.

I tipi di lavorazioni del terreno che nel corso dei secoli sono stati messi a punto dagli agricoltori per raggiungere i loro molteplici obiettivi sono assai numerosi, e diversificati in funzione dello scopo che di volta in volta ci si prefigge di raggiungere.

5.1.1 Scopi delle lavorazioni

I principali scopi delle lavorazioni sono:

1 - Ripristino e miglioramento della struttura. Un terreno sottoposto a coltivazione assume la struttura compatta, soprattutto se ricco di elementi colloidali minerali. Questa "degradazione" della struttura è dovuta al calpestio degli uomini e degli animali, ed alla compressione delle macchine, nonché all'azione deflocculante dell'acqua d'irrigazione ed a quella battente delle piogge sulla superficie incompletamente coperta dalla vegetazione. Il terreno diviene quindi duro e compatto, gli spazi vuoti sono di diametro assai piccolo e si saturano facilmente d'acqua, restando privi d'aria. La struttura glomerulare si ripristina attraverso l'azione dei lavori, sia diretta che indiretta (predisponendo e favorendo l'attività degli agenti atmosferici: gelo, insolazione, ecc.).

2 - Arieggiamento ed ossigenazione del terreno, tali da favorire non solo la respirazione radicale, ma anche lo sviluppo della microflora aerobica a danno di quella anaerobica.

3 - Miglioramento del bilancio idrico; infatti le lavorazioni determinano:

A - migliore capacità di infiltrazione dell'acqua durante le piogge o l'irrigazione, con relativa consistente riduzione dello scorrimento delle acque in superficie e della erosione, e conseguente maggiore utilizzazione dell'acqua (irrigua o piovana) da parte delle piante;

B - rapida penetrazione in profondità, per il fenomeno della percolazione, delle acque giunte alla superficie del terreno; a ciò corrisponde anche un aumento notevole della capacità da parte del terreno stesso di costituire abbondanti riserve idriche negli strati profondi del sottosuolo, grazie all'aumentato volume degli spazi vuoti nel terreno; questa capacità è tanto maggiore quanto più profondo è lo strato del terreno interessato dalle lavorazioni;

C - recupero, mediante una accresciuta capacità di risalita capillare fino alla zona interessata dalle radici, delle riserve idriche sotterranee;

D - riduzione delle perdite d'acqua per evaporazione, grazie alla rottura, mediante le lavorazioni di zappatura e sarchiatura, della capillarità dello strato superficiale del terreno; in tal caso si ottiene uno strato isolante di terreno che ombreggia quello sottostante, riducendo notevolmente l'evaporazione dell'acqua capillare (Fig. 5.1). Tale azione viene poi accresciuta

dalla contemporanea rimozione della vegetazione erbacea nonché dall'eliminazione delle fessurazioni del terreno nei suoli argillosi.

4 - Aumento dello strato del suolo esplorabile e sfruttabile dagli apparati radicali delle piante.

5 - Eliminazione della competizione per acqua ed elementi nutritivi esercitata dalle erbe infestanti, sia attraverso l'azione diretta di distruzione, sia attraverso la devitalizzazione degli organi di moltiplicazione sotterranei o dei semi.

6 - Distruzione di gran parte delle forme sotterranee di insetti e parassiti vegetali, nonché dell'habitat ideale per taluni predatori (ivi compresi alcuni piccoli mammiferi).

7 - Interramento di sementi, di concimi (con particolare riferimento alla sostanza organica), di ammendanti e correttivi, di prodotti per la disinfestazione del suolo, ecc.

8- Altre azioni ausiliarie alla produzione vegetale, come preparare adeguatamente i letti di semina, consentire la raccolta dei prodotti sotterranei (patate, barbabietole), ecc.

5.1.2 Classificazione delle lavorazioni

Dato il gran numero di compiti che le lavorazioni possono svolgere, esiste un numero abbastanza ampio di lavori possibili, come pure di attrezzi idonei a ciascuno scopo. I lavori al terreno possono così raggrupparsi:

1 - lavori di messa a coltura (disboscamento, dissodamento, scasso, spietramento, spianamento);

2 - lavori preparatori principali (aratura, vangatura, scarificazione, fresatura);

3 - lavori preparatori complementari (estirpatura, fresatura, erpicatura, rullatura);

4 - lavori di coltivazione, o successivi o consecutivi (scarificazione, erpicatura, sarchiatura, zappatura, rincalzatura, rullatura, fresatura).

5.1.3 Condizioni di lavorabilità del terreno

La lavorabilità del terreno va considerata sotto due aspetti: possibilità di eseguire i lavori, e efficacia di questi.

Le terre sabbiose o in genere sciolte sono le meno difficili da lavorare, purché non si trovino in condizioni estreme di aridità o di umidità (vedi "tenacità" ed "adesione"). Il terreno argilloso, invece, presenta per l'esecuzione dei lavori delle difficoltà che sono correlate alla percentuale di argilla e al clima (nei climi umidi si lavora meglio la terra). I migliori risultati si ottengono, sempre con i terreni pesanti, quando questi sono "in tempera", cioè contengono una percentuale d'acqua tale che il terreno presenta la minima coesione e plasticità. In tal caso l'esecuzione del lavoro è efficace e spedita, e il terreno riceve da questo il massimo beneficio in termini di struttura (Fig. 5.2). Un terreno si dice *in tempera ottimale* quando la sua umidità è tale da permetterne la lavorazione con il minimo impiego di energia, e ottenendo allo stesso tempo il massimo risultato tecnico; di norma ciò si verifica al punto di incontro delle curve di coesione e

di plasticità. Poiché le quantità di acqua capaci di modificare plasticità e coesione in un terreno argilloso sono minime, a differenza dei terreni sciolti, le condizioni di tempera saranno, nei primi, più difficili da conservare. Per questo motivo la tempera è più duratura nei climi nord europei, ricchi di frequenti ma contenute precipitazioni, e rara negli ambienti tipicamente mediterranei, caratterizzati dall'alternanza di stagioni assai secche a stagioni con piogge torrenziali. L'individuazione dello stato di tempera è assai ardua, e demandata all'esperienza dell'agricoltore, in quanto è improponibile farne oggetto di analisi di laboratorio; il fatto poi che l'umidità di solito vari alle diverse profondità interessate alla lavorazione fa sì che la scelta su quando lavorare derivi da un compromesso, e sia di natura squisitamente empirica.

Talvolta può essere inevitabile lavorare un terreno non in tempera: in tal caso esiste il rischio di arrecare un danno invece di un vantaggio. Nei terreni troppo umidi è facile che, a causa dell'impastamento e la compressione dello strato lavorato, si crei un ambiente asfittico, al posto della struttura auspicata.

Soprattutto, non si deve lavorare mai i terreni argillosi quando il primo strato superficiale è secco e gli strati sottostanti sono impregnati d'acqua, o, ancor peggio (caso più frequente nei nostri climi), quando scarse piogge estive dopo una lunga siccità abbiano inumidito solo superficialmente il terreno senza penetrare in profondità. Il rimescolamento degli strati umidi con quelli secchi provoca il famoso fenomeno dell'*arrabbiaticcio* (o *caldafredda* o *verdesecca* o *guasto*). In tal caso si ha immediata sterilità del terreno, che può prolungarsi, con effetti drammatici sulle future coltivazioni, anche per due e perfino tre anni. A nulla varrebbero, in tal caso, anche interventi successivi con lavorazioni effettuate nello stato di tempera.

5.1.4 Messa a coltura del terreno

Disboscamento

La parte epigea della copertura vegetale (arborea e arbustiva) viene asportata dopo essere stata segata, oppure bruciata. Le ceppaie vengono asportate con adeguate macchine operatrici, cercando di lasciare nel terreno il minor numero di radici.

Spietramento

La presenza di massi o pietre interrato viene eliminata con l'uso di particolari attrezzi portati (Fig. 5.3) (ripuntatori a denti o *ripper*) che dissotterrano e frantumano i massi; i frammenti verranno poi asportati con apposite macchine raccoglipietre. Un tempo si realizzava con gli esplosivi, e con lavoro a mano.

Livellamento o spianamento

Si tratta di operazioni fondamentali per assicurare un adeguato sgrondo delle acque, ed una agevole circolazione delle macchine. Si impiegano macchine per movimento terra quali apripista (Figg 5.5, 5.6), escavatori, livellatrici, ruspe, ecc.

Dissodamento o scasso

E' una lavorazione profonda che ha lo scopo di dissodare il sottosuolo costipato, creando spazi per le future radici, migliorare la circolazione dell'aria e dell'acqua, nonché la capacità di campo, oltre a provvedere al rimescolamento dello strato più superficiale (ricco di humus, sostanza organica, flora e fauna utili, ecc.) con il sottostante strato inerte.

Questo tipo di lavorazione profonda viene chiamata *dissodamento* (profondo 60-80 cm) quando la si attua per la prima volta allo scopo di preparare alla coltivazione un terreno che si trova allo stato naturale da decenni o da secoli (boschi, foreste, praterie, ecc.); viene chiamata *scasso* (lavoro profondo 70-130 cm, di norma 1 metro) quando la si attua in un terreno già agrario per prepararlo all'impianto di colture poliennali (coltivazioni arboree, medicai, ecc.)

Lo scasso può essere *totale* (*o reale, o andante*) oppure *parziale*, a seconda che interessi tutta la superficie o soltanto alcune parti (*a trincea* se interessa soltanto le strisce in cui verranno messi a dimora i filari delle piante, oppure *a buche* quando si riferisce soltanto alla zona in cui verrà posta a dimora la singola pianta).

Lo scasso si dice *aperto* quando le fosse o le buche vengono scavate in autunno e lasciate a cielo aperto durante tutto l'inverno allo scopo di esporre la più ampia massa di terreno (ivi compreso il fondo degli scavi) all'azione degli agenti meteorici, ed in particolare al gelo e al disgelo; la terra scavata si accumula lungo un lato della fossa o intorno alla buca.

Lo scasso (o dissodamento, a seconda dei casi) veniva realizzato utilizzando appositi aratri che consentissero di superare il metro di profondità di lavorazione. Attualmente, va sempre più diffondendosi il criterio di effettuare la lavorazione con aratri ripuntatori così da ottenere il rimescolamento degli strati soltanto nei primi 50-70 cm di spessore, mentre gli strati sottostanti vengono rotti sul posto (senza cioè rivoltarli); oppure si effettua un primo passaggio con appositi strumenti chiamati discissori o ripuntatori che rompono il terreno fino a notevoli profondità senza rivoltarlo, provvedendo poi, con un successivo passaggio, al rivoltamento dello strato più superficiale, con un'aratura a media profondità, utilizzata anche spesso per interrare i concimi organici. Con tali tecniche, oltre a ridurre i costi della lavorazione, si evita l'inconveniente di interrare ad eccessive profondità lo strato superficiale più ossigenato e ricco di humus e di microrganismi e la contemporanea predominanza anche in superficie del terreno asfittico sottostante.

5.1.5 Aratura

E' la più importante e diffusa lavorazione preparatoria del terreno. Consiste nel tagliare e rivoltare la parte superiore del terreno, allo scopo di rimescolare tra loro strato attivo e strato inerte, riossigenare il terreno, ricreare la struttura glomerulare, aumentare la capacità idrica, ecc.

L'aratura si esegue con l'*aratro* (Fig. 5.8) che, nella sua forma elementare risulta costituito da:

- *coltro o coltello* che effettua il taglio verticale del terreno (Fig. 5.9);

- *vomere* che esegue il taglio orizzontale della fetta di terra;
- *versoio od orecchio* che ne favorisce il rovesciamento (Fig. 5.10);

Gli organi lavoranti sono collegati tra loro ed alla potenza motrice (trazione funicolare, trattrici, motocoltivatori) da una sorta di robusta trave, la *bure*.

Questo tipo di aratro viene chiamato *monovomere*.

Come sistema di collegamento dell'aratro alla trattrice è ormai generalizzato l'*attacco a tre punti* (Fig. 5.11), che, oltre a consentire l'attacco di attrezzi trainati, permette il sollevamento di quelli portati, consentendo un certo grado di oscillazione laterale.

Spesso l'aratro viene preceduto da un piccolo aratrino - *avanvomere* - che ha la funzione di tagliare e rovesciare lo strato più superficiale del terreno prima del passaggio dell'aratro. Lo si usa soprattutto quando si lavorano terreni con uno spesso e consolidato cotico erboso, contribuendo così a rendere più veloce ed economica l'operazione di aratura, nonché a migliorare e facilitare l'interramento del cotico o delle piante da sovesciare.

Gli obiettivi principali dell'aratura sono quindi: a) miglioramento delle caratteristiche di abitabilità del terreno da parte delle piante; b) soppressione della vegetazione preesistente (distruzione, soffocamento, creazione di condizioni inadatte alla germinazione e alla crescita dei semenzali); c) trasporto in superficie di organi vegetativi di moltiplicazione di piante infestanti (disseccamento); d) interrimento di residui colturali (arricchimento in sostanza organica); e) interrimento di concimi organici e minerali.

Tipi di aratro

In funzione dei diversi tipi di terreno da lavorare e delle forze motrici disponibili, sono stati realizzati diversi tipi di aratro:

- *aratro polivomere*, costituito da più aratri collegati in parallelo così da ampliare il fronte di lavorazione ad ogni passaggio (Fig. 5.12);
- *aratro a dischi*, dove gli organi lavoranti sono costituiti da calotte emisferiche (Fig. 5.13);
- *aratro voltaorecchio*, dove vomere e versoio, per la loro conformazione modificata, possono ruotare attorno a un perno fissato alla bure così da consentire l'aratura sia a destra che a sinistra del fronte di avanzamento, e quindi il rivoltamento della fetta di terreno sempre verso la stessa parte, indipendentemente dal senso di marcia dell'aratro;
- *aratro doppio* (Figg. 5.12, 5.14) provvisto di due coltri, due vomeri, due versoio, cioè di due aratri sovrapposti, così che ruotando la bure di 180° si può arare in un senso o nell'altro; è adoperato per le stesse funzioni dell'aratro voltaorecchio;
- *aratro a bilanciere*, i due aratri si trovano posizionati ai lati opposti di un carrello, e ciascuno con la propria bure, in modo tale che uno rovescia la fetta verso destra e l'altro, al ritorno, verso sinistra;

- *aratro assolcatore*, costituito da due vomeri e due versoi saldati insieme che lavorano contemporaneamente rovesciando su entrambi i lati, così da lasciare, dopo il passaggio, un solco aperto;
- *aratro ravagliatore*, costituito da due aratri montati uno di seguito all'altro; il secondo è posto più in basso ed ha il versoio molto alto. Questo secondo aratro approfondisce il solco aperto dal primo e, grazie al versoio molto sviluppato porta in superficie lo strato più profondo del solco;
- *aratro ripuntatore* (Fig. 5.15), dove l'aratro vero e proprio è seguito da un organo discissore che lavora molto più in profondità del solco dell'aratro per smuovere e rompere gli strati del terreno sottostanti l'aratura senza però mescolarli;
- *aratro fognatore o aratro talpa* (Fig. 5.16), un attrezzo che, immerso nel terreno al di sotto dello strato lavorato, consente di tracciare una rete di cunicoli sotterranei più o meno ravvicinati, secondo le caratteristiche del terreno (distanza tra i 2 ed i 4 metri in relazione alla profondità dei cunicoli stessi), rete che va poi collegata in un adeguato sistema di collettori, come per ogni altro tipo di fognatura.

Esecuzione dell'aratura

Nei terreni sabbiosi, o comunque sciolti, non vi sono problemi particolari, in quanto sono sempre in tempera. Nei terreni argillosi, detti anche compatti o pesanti, dove l'adesione e la tenacità sono massime, occorre prestare molta attenzione alle modalità di esecuzione ed all'epoca di aratura.

In primo luogo bisogna sempre cercare di anticipare i lavori di aratura quanto più si può rispetto all'epoca della semina o della piantagione. Ciò allo scopo di lasciare il più a lungo possibile le zolle di terreno sottoposte all'azione degli agenti atmosferici (caldo, gelo, disgelo, piogge, ecc.) così da agevolare al massimo l'opera disgregatrice e di sfaldamento sulle grosse zolle, nonché la successiva azione di formazione della struttura glomerulare. Questa precauzione però non serve, anzi può essere dannosa, nei terreni sciolti, che conviene lavorare subito prima della semina. In realtà, però, l'epoca di aratura è di solito imposta dall'ordinamento colturale adottato, dall'organizzazione aziendale e dall'andamento stagionale.

Occorre comunque ricordare che se il terreno è secco, la resistenza all'avanzamento dell'aratro, e quindi lo sforzo alla trazione, risulta massimo e spesso proibitivo anche con l'impiego di potenti trattrici. Se il terreno è troppo bagnato, l'eccessiva plasticità assunta dallo stesso, unitamente all'azione di compressione degli organi lavoranti, tendono a far cementare le fette di terra rovesciate impedendo o rallentando la successiva azione disgregatrice degli agenti atmosferici, come abbiamo già visto sopra. Per conseguire i risultati migliori occorre quindi preoccuparsi sempre di eseguire l'aratura soltanto quando i terreni sono in tempera.

Modi di aratura

L'aratura, nei terreni di pianura, può venire eseguita in tre modi (Fig. 5.17):

1 - *aratura a colmare* o *colmando*: dopo aver aperto un solco longitudinale al centro del campo, si iniziano a tracciare i due solchi di andata e ritorno rovesciando le fette verso il centro del campo; ripetute arature, eseguite sempre con queste modalità, provocano negli anni il formarsi di una progressiva convessità o *baulatura* dell'appezzamento lavorato. Al termine restano aperti ai lati del campo due solchi;

2 - *aratura a scolmare* o *scolmando*: i due solchi d'inizio del lavoro vengono aperti partendo dai due lati longitudinali opposti del campo; da qui si procede verso il centro, rovesciando le zolle verso l'esterno del campo. Al termine dell'aratura resterà aperto al centro un doppio solco, cioè una scolina verso cui, col tempo - cioè con il ripetersi negli anni dell'aratura a scolmare - confluiranno le pendenze delle due metà;

3 - *aratura alla pari*: si esegue rovesciando la fetta sempre dallo stesso lato del campo, conservando così al terreno il profilo esistente prima dell'aratura. Per realizzare questa tecnica con l'aratro normale, tipico, occorre effettuare il giro di ritorno a vuoto. Volendo evitare il giro a vuoto occorre utilizzare quegli aratri speciali che lavorano nel doppio senso di marcia. Per conservare al terreno l'andamento superficiale originario in luogo dell'aratura alla pari, si può ricorrere all'alternanza negli anni dell'aratura scolmando e colmando. Alla pari è anche l'aratura *a rittochino*, secondo le linee di massima pendenza nei terreni declivi (Fig. 5.18); si approfondisce bene la lavorazione, ma spesso si deve fare il ritorno a vuoto; è un'aratura che può causare eccessiva erosione. Nei terreni declivi si può operare anche in trasverso, secondo le curve di livello, rovesciando la fetta verso monte (finché la pendenza e la stabilità trasversale lo consentono) o verso valle.

Profondità di aratura

I lavori preparatori possono essere classificati, rispetto allo spessore dello strato smosso, come segue:

lavori superficiali	<20	cm
lavori leggeri	20-25	cm
lavori medi	25-40	cm
lavori profondi	40-60	cm

Nel dopoguerra la disponibilità di motori di potenza sempre maggiore e praticamente illimitata ha determinato la tendenza a eseguire i lavori preparatori a profondità sempre maggiori.

La profondità delle lavorazioni è stata comunque sempre oggetto di disaccordi tra gli agronomi. Alcuni sostengono che lavori oltre 25-30 cm di profondità sono inutili o comunque sempre non remunerativi anche in clima arido. Altri sostengono che le lavorazioni profonde sono sempre convenienti.

Questa divergenza di opinioni, tutte fondate sia su considerazioni teoriche che su dati sperimentali, è determinata dalla differenza delle condizioni climatiche, pedologiche e di coltura nelle quali i vari studiosi hanno condotto le loro osservazioni. Dobbiamo quindi prendere coscienza delle variabili che possono influire sul risultato colturale di una data profondità di lavorazione (Fig. 5.19).

Nel terreno lavorato le radici penetrano con maggiore facilità che in quello sodo; anche le piante a radice fittonante, più rustiche sotto questo aspetto, se ne avvantaggiano, e quindi il discorso è quanto mai vero per le specie a radice debole. È ovvio che quanto più profondamente si lavora tanto maggiore è la penetrabilità delle radici nel terreno e la massa di terra (materasso terroso) a disposizione di ciascuna pianta. Alcuni autori osservano che circa il 90% in peso delle radici è distribuito nei primi 25 cm di suolo (nella gran parte delle piante erbacee) e che quindi un ulteriore approfondimento favorirebbe una parte irrisoria dell'apparato radicale. D'altronde, le parti più attive nell'assorbimento non sono le radici grosse e legnose (che determinano il peso radicale rilevato), ma bensì le radichette fibrose site in posizioni periferiche, spesso addirittura sfuggenti al rilevamento del ricercatore. Quindi l'ipotesi che lo smuovimento profondo del suolo favorisca l'approfondimento radicale e le condizioni nutrizionali mantiene la sua validità. Resta inteso che la profondità ottimale di lavorazione non può essere stabilita una volta per tutte: a parte le caratteristiche del suolo, è ovvio che le piante ad apparato radicale capace di approfondirsi molto (erba medica, girasole, barbabietola) si avvantaggeranno della maggiore profondità di lavorazione rispetto a specie a radici fascicolate (graminacee in genere), ad andamento naturalmente più superficiale.

La profondità di lavorazione, oltre che sullo sviluppo delle radici, ha importantissimi riflessi sul bilancio idrico del suolo. Nel terreno lavorato profondamente l'acqua penetra e circola più facilmente in profondità; da questa constatazione discende che la lavorazione profonda esplica i suoi effetti positivi soprattutto nei terreni compatti, mentre ha importanza scarsa o nulla in quelli sciolti e leggeri.

Un argomento assai valido contro la profondità di lavorazione è il costo, che cresce proporzionalmente all'accrescersi della profondità a cui è immerso l'organo lavorante (Fig. 5.20).

5.1.6 Ripuntatura

Lavoro fatto per approfondire il solco dell'aratro. La convenienza della ripuntatura risulta evidente quando esiste, sotto lo strato attivo, uno strato coerente impermeabile che crea resistenza all'approfondimento radicale ed all'infiltrazione delle acque meteoriche e quando, pur essendo necessario aumentare la profondità dello strato smosso di terreno, non risulti opportuno eseguire un'aratura profonda che, con il rovesciamento della fetta di terra, porterebbe in

superficie terreno con caratteristiche anomale. Con questo lavoro si evita la formazione della suola di lavorazione (lavorazione a due strati, Fig. 5.21).

5.1.7 Scarificazione

Operazione con la quale si ottiene la rottura del terreno fino alla profondità di 35-40 cm, con appositi attrezzi denominati scarificatori (Figg. 5.22, 5.23), provvisti di aste o corpi metallici in numero da uno a tre.

La scarificazione, a seconda della profondità cui viene effettuata e dell'epoca, può assumere il ruolo di lavorazione preparatoria, in funzione principale o complementare, oppure di lavorazione colturale, o consecutiva o successiva (Figg. 5.24, 5.25).

La scarificazione è operazione colturale caratteristica dei prati poliennali negli anni successivi all'impianto. Viene eseguita per favorire l'aerazione delle cotiche, così da prevenire un'eccessivo accumulo dei prodotti dell'umificazione anaerobia, e per garantire una migliore penetrazione all'acqua ed ai concimi. Può anche servire a rompere il terreno per favorire un successivo lavoro di aratura, o a amminutare il terreno in sostituzione dell'erpicoltura.

5.1.8 Vangatura

Con questo lavoro, anticamente eseguito con la vanga, la fetta di terreno tagliata viene sollevata e fatta ricadere, rovesciata, sul terreno stesso. È oggi eseguita da apposite macchine, chiamate *vangatrici* (Fig. 5.26), che imitano abbastanza bene il lavoro della vanga manuale, e presenta alcuni pregi (perfetto rovesciamento della fetta, modesto disturbo della struttura del terreno, calpestamento trascurabile), che la fanno preferire in talune occasioni, quando il lavoro richiesto è superficiale e si desidera rapidità di esecuzione (Fig. 5.27).

5.1.9 Erpicatura

Ha lo scopo di sminuzzare le grosse zolle lasciate dall'aratura, livellare e pulire dalle erbe infestanti il terreno arato (preparando un adeguato letto di semina), ricoprire i semi, interrare e mescolare al terreno concimi e diserbanti volatili, rompere la crosta dei seminati, diradare un seminato troppo fitto, ecc. È un lavoro superficiale (10-15 cm) da eseguirsi col terreno in tempera dopo che lo stesso ha subito l'azione disgregatrice degli agenti atmosferici. Si esegue con attrezzi chiamati *erpici*, i cui tipi principali sono:

- erpici striscianti a telaio rigido con organi di lavoro rigidi (Fig. 5.28);
- erpici striscianti a telaio rigido con organi di lavoro elastici (Fig. 5.29);
- erpici striscianti a telaio snodato (Fig. 5.30);
- erpici a denti rotanti o oscillanti (Figg. 5.31, 5.32);
- erpici a dischi (Figg. 5.33, 5.34, 5.35).

5.1.10 Estirpatura

Operazione destinata ad estirpare le erbe in un terreno già arato. Ha anche lo scopo di sminuzzare la parte inferiore dello strato arato e di rimescolare il terreno. Per questa lavorazione si utilizzano attrezzi di vario tipo (rigidi, elastici, vibranti) da usarsi sempre ed esclusivamente con terreno in tempera; gli attrezzi rigidi si chiamano *estirpatori* (Fig. 5.36), se montati su lame flessibili, *coltivatori* (Fig. 5.37). Analoghi effetti ha l'uso degli erpici strigliatori (Fig. 5.38).

5.1.11 Fresatura

Si esegue con le *zappatrici* rotative (Fig. 5.39), dotate di utensili rotanti attorno ad un asse orizzontale (chiamate anche *fresatrici* quando gli utensili sono elastici). Il lavoro di fresatura consente di perfezionare il lavoro fatto dall'aratro, od anche di sostituirlo con un'azione di sminuzzamento e rimescolamento del terreno (Fig. 5.40). È più adatta a terre sabbiose, in quanto può danneggiare le strutture delle argille. Inoltre l'azione di tritramento accentuato può favorire la propagazione delle infestanti stolonifere o rizomatose.

5.1.12 Rullatura

È un'operazione che ha diversi scopi, a seconda dell'epoca in cui è eseguita. In presemina può essere utilizzata per ridurre la zollosità (Fig. 5.40). Dopo la semina il passaggio dei rulli può favorire il contatto dei semi col terreno, in modo che possano assorbirne con facilità l'umidità, cosa che può essere altrimenti difficoltosa per i semi piccoli in terreni troppo soffici (Fig. 5.41, 5.42).

Con la coltura in atto il rullo può essere impiegato per rompere la crosta del terreno sollevata dal gelo (Fig. 5.43); le piantine, le cui radici possono essere in tal caso disancorate dal terreno sottostante, vi sono riavvicinate senza subire gravi danni, e riescono a sfuggire al probabile disseccamento. Il rullo può inoltre risultare utile per impedire un'eccessiva crescita dei cereali autunno-vernini, che risulterebbe in una predisposizione all'allettamento.

5.1.13 Sarchiatura

Con la sarchiatura viene smossa la parte più superficiale del terreno, fino a una profondità di 3-5 cm. È un'operazione complementare di coltivazione, e permette di raggiungere diversi obiettivi:

- lotta contro le piante infestanti;
- aerazione del terreno;
- facilitazione della penetrazione delle acque piovane;
- riduzione dell'evaporazione interrompendo la capillarità e colmando le fessurazioni profonde del terreno;

- interrimento dei concimi in copertura.

La sarchiatura è forse la più conosciuta delle lavorazioni consecutive ed in passato ha rivestito notevole e preminente importanza nella coltivazione di alcune piante (sarchiate) (Fig. 5.44).

Attualmente tende a venir superata sia per il sempre crescente e più specifico impiego di diserbanti (con alcuni dei quali, che richiedono uniforme distribuzione senza soluzione di continuità nel primo straterello di terreno, risulta evidentemente contrastante) sia per il diffondersi della tecnica del *minimum tillage*.

Le sarchiature vengono effettuate con macchine chiamate sarchiatrici, che possono essere dotate di utensili (piccoli vomeri o dischi) fissi allo strumento, oppure rotanti folli sul proprio asse, oppure rotativi e comandati dalla presa di potenza della trattrice (Figg. 5.45, 5.46).

5.1.14 Rincalzatura

Consiste nel prelevare una certa quantità di terra attorno alle piante o nelle interfila e nel riutilizzarla immediatamente addossandola al pedale delle piante stesse. Si fa con la zappa o, più frequentemente, con aratri assolcatori con doppio versoio (Fig. 5.47).

In alcune specie (vite appena innestata, patate precoci, radici carnose mantenute in campo d'inverno) ha lo scopo di proteggere dal freddo; in alcune specie ortive (cardi, finocchi, sedani, ecc.) consente l'imbianchimento del prodotto. Inoltre ha un effetto rinettante verso le malerbe, e crea solchi adatti all'irrigazione. L'utilità dell'effetto di favorire l'emissione di radici avventizie dallo stocco nel mais è oggetto di discussione. I solchi, inoltre, possono costituire un ostacolo all'avanzamento delle macchine per la raccolta.

5.1.15 Tipi particolari di lavorazioni

Al pari dello scasso e del dissodamento, alcune lavorazioni si eseguono ad intervalli di tempo più o meno regolari.

Rinnovo

Consiste in lavorazioni più profonde della norma (tra i 30 e i 60 cm), effettuate per preparare il terreno ad ospitare colture più esigenti in fatto di fertilità (dette “da rinnovo”), che aprono la rotazione colturale.

La maggiore profondità di lavorazione accresce la fertilità del terreno grazie ai suoi effetti migliorativi sulla struttura e sulla microflora; nei terreni argillosi è favorevole anche la rottura della suola di lavorazione. Inoltre è in occasione del rinnovo che vengono interrati i concimi organici.

Maggese

Il maggese consiste nel tenere a riposo il terreno per un'intera annata, pur eseguendo una serie di lavorazioni. Il terreno può restare libero dalla coltura per un anno (maggese nudo), oppure essere coltivato a erbaio nel periodo autunno-vernino, da interrarsi a primavera (maggese vestito).

Si tratta di una pratica quasi abbandonata, che perdura solo in qualche ambiente mediterraneo, o che viene sfruttata per far superare al terreno condizioni di stanchezza prima del reimpianto con specie arboree.

Preceduto dalla concimazione organica e dal riposo, il maggese era praticato fin dall'antichità come mezzo per restituire fertilità al terreno. Con tale tecnica si realizzava un accumulo di sostanza organica durante il riposo, e con i successivi lavori se ne favoriva la mineralizzazione.

Il maggese comporta ulteriori benefici, con effetti estesi a gran parte del ciclo successivo: l'accumulo e la conservazione di adeguate riserve idriche (effetto sfruttato in aridocoltura), la fissazione asimbiotica dell'N, la lotta alle piante infestanti, il controllo degli agenti patogeni e, soprattutto, migliori condizioni fisiche del suolo.

5.2 Avvicendamenti e consociazioni

5.2.1 Avvicendamento delle colture

Fin dall'antichità è noto che, per la maggior parte delle specie, la continua ripetizione della stessa coltura arativa sullo stesso appezzamento di terreno (monocoltura e monosuccessione) determina una progressiva riduzione delle produzioni. A questo fenomeno si faceva fronte non coltivando il terreno ad intervalli più o meno lunghi, pratica che è chiamata riposo, oppure applicando la tecnica del maggese.

Un altro modo di conservare la fertilità, che nelle sue grandi linee era già conosciuto dai georgici romani, risiede nell'avvicendamento, cioè nella successione di colture diverse.

Un grande passo avanti nell'evoluzione della tecnica agronomica ebbe luogo nel 1730, in Inghilterra, allorché si formulò la cosiddetta rotazione di Norfolk (Fig. 5.48). Si trattava di una rotazione quadriennale così concepita: 1° anno rapa, 2° anno orzo (con o senza bulatura di trifoglio pratense), 3° anno trifoglio pratense (se al 2° anno era stata fatta la bulatura) oppure fagiolo, 4° anno frumento. La novità principale della rotazione di Norfolk era rappresentata dallo sfruttamento di una leguminosa quale pianta miglioratrice (fissazione di N nel terreno) e quindi in grado di incrementare la produzione della coltura successiva, in genere frumento.

Anche gli agronomi italiani avevano affrontato il problema delle rotazioni, che furono presto applicate in Italia, sostituendo però alle rape altri rinnovi, quali il mais, ed utilizzando l'erba medica come leguminosa. Nei due secoli successivi le rotazioni si affermarono incontrastate, divenendo un pilastro della tecnica agronomica.

Oggi però l'agricoltore si vede spinto nelle scelte tecniche da una serie di fattori vincolanti, quali situazioni di mercato, orientamenti nazionali e sovranazionali di politica agraria, necessità di una specializzazione sempre più estrema per il migliore utilizzo delle macchine e di altri mezzi tecnici; tutto ciò determina l'adozione di ordinamenti colturali più semplici, fino all'estremo della monosuccessione. È quindi necessario avere presenti

le ragioni che a suo tempo portarono all'adozione delle rotazioni, e quelle che oggi si aggiungono alle precedenti, per valutare i pro e i contro di questa tecnica.

I principi dell'avvicendamento

L'avvicendamento svolge un ruolo importante in relazione a numerosi fattori della produzione, riconducibili alle proprietà del terreno.

Proprietà fisiche

Ogni avvicendamento è aperto da una lavorazione di rinnovo, la quale ha un effetto miglioratore e duraturo sulla struttura.

Altri effetti di tipo fisico sono esercitati dalle colture stesse. In genere le specie a radice fascicolata lasciano il terreno in ottime condizioni di struttura per la disgregazione operata dalle radici, per i residui organici lasciati, per l'abbondante microfauna. D'altra parte, certe colture a radice fittonante profonda (erba medica, barbabietola) modificano profondamente in meglio la permeabilità e la porosità degli strati di suolo più profondi; di ciò la coltura successiva si avvantaggia.

Al contrario certe colture che impongono intenso calpestio di macchine o di operatori, irrigazioni ripetute, o che lasciano per lunghi periodi la superficie del suolo scoperta ed esposta all'azione battente della pioggia, possono lasciare in cattive condizioni di struttura certi terreni limosi-argillosi.

Proprietà chimiche

Le principali azioni chimiche derivano da arricchimento o impoverimento di qualche elemento nutritivo o di sostanza organica, fino all'estremo di determinare variazioni di pH. Certe colture sono forti consumatrici di certi elementi e alla fine del loro ciclo lasciano il terreno depauperato. Invece le leguminose hanno l'effetto di conferire al suolo azoto in quantità talvolta considerevoli.

Le diverse colture possono influire anche sul contenuto in sostanza organica del terreno.

Proprietà biologiche

Notevoli sono anche le influenze che le piante esercitano, sia sulla vita microbica del terreno che sulla flora e fauna patogena e infestante: si tratta in genere di escrezione di sostanze fisiologicamente attive capaci di influenzare, positivamente o negativamente, la popolazione microbica, oltre alle piante superiori (tra le quali possono essere anche piante incapaci di vivere bene in un terreno già popolato da individui della stessa specie); altre volte il problema riguarda i residui lasciati dalla coltura precedente: in certi casi (ad esempio per la paglia interrata) la microflora entra in competizione con la coltura successiva per l'azoto.

Riguardo all'infestazione di malerbe, l'avvicendamento può modificarla sostanzialmente: certe colture la riducono perché sono sarchiate o diserbate (mais, barbabietola, pomodoro, girasole) o perché sono soffocanti (riso, canapa, prati); altre invece la favoriscono, per cui la loro coltura ripetuta porta a infestazioni ogni anno più pronunciate. Inoltre quando gli erbicidi non riescono a controllare tutte le specie infestanti, può originarsi la cosiddetta flora di sostituzione, costituita dalle poche specie resistenti.

Anche lo sviluppo di molti parassiti animali e vegetali che, per mezzo di spore, miceli, uova, larve, cisti, semi sopravvivono da un anno all'altro o addirittura per parecchi anni, nel terreno o nei residui delle piante, può essere favorito dalla monosuccessione.

Tecnica dell'avvicendamento

Come abbiamo visto, la constatazione degli effetti sopra elencati determinò in passato gli avvicendamenti, cioè l'alternarsi sullo stesso terreno di colture diverse. Le varie colture sono state distinte in *depauperanti* o *sfruttanti* (frumento, orzo, avena, riso, lino), che al termine del loro ciclo lasciano il terreno dotato di minore fertilità, e *miglioratrici* (rinnovi, leguminose in genere), che lasciano il terreno più fertile di come lo hanno trovato. Queste, a loro volta, si distinguono in:

- *miglioratrici da rinnovo*, quelle che lasciano il terreno in buone condizioni di fertilità non tanto per virtù proprie ma per la tecnica colturale che le caratterizza;
- *miglioratrici pratensi*, rappresentate dai prati di leguminose; queste migliorano soprattutto la fertilità chimica del suolo, grazie agli apporti azotati dovuti alla fissazione simbiotica, ma anche quella fisica per l'abbondante sostanza organica che rimane in profondità.

Regola fondamentale di ogni avvicendamento è quella di alternare colture miglioratrici con colture depauperanti. Un avvicendamento razionale può essere:

- 1 - coltura da rinnovo;
- 2 - coltura depauperante;
- 3 - coltura miglioratrice pratense;
- 4 - coltura depauperante.

Lo schema generale dell'avvicendamento può variare per il numero di colture da farsi, la loro durata e la loro relativa estensione.

L'alternanza delle colture può essere compiuta senza alcun ordine prestabilito, in avvicendamento libero o aperto, oppure può seguire un ciclo ben determinato per un certo numero di anni, trascorsi i quali il turno si ripete per una o più volte di seguito: *avvicendamento a ciclo chiuso* o *rotazione* (Fig. 5.49).

Le colture poste di solito a capo della rotazione sono dette *colture di testa*; le colture che entrano nell'avvicendamento e occupano il terreno per una o più annate agrarie sono dette *colture principali*; le colture che vengono talvolta praticate nell'intervallo di tempo che può separare due colture principali sono dette colture *intercalari* o *secondarie* o anche *furtive*.

Le rotazioni sono continue quando le colture si succedono senza interruzione e discontinue quando il terreno resta, a turno, improduttivo (maggese o riposo).

Le rotazioni si distinguono in base alla durata, cioè agli anni che intercorrono tra una coltura e il ritorno della stessa in condizioni identiche (biennali, triennali, ecc.) ma sono anche individuate con nomi di persona o di luoghi (ad esempio di Norfolk, del Tarello, del Wurttemberg, ecc.). Vengono considerate brevi le rotazioni che si svolgono in due o tre anni, medie quelle il cui ciclo si compie in quattro-sei anni, lunghe quelle che oltrepassano i sei anni.

Le rotazioni sono poi definite semplici o composte a seconda che comprendano una sola o più colture da rinnovo o maggesate. Esempio di rotazione semplice è la quadriennale (rinnovo - frumento - trifoglio - frumento) e di rotazione composta la decennale (rinnovo

- frumento - trifoglio - frumento - rinnovo - frumento - medica - medica - medica - frumento).

Impianto di una rotazione

Per mettere in avvicendamento una data superficie di terreno è necessario prevedere in primo luogo le specie che saranno coltivate nell'azienda. Infatti, per evitare gli inconvenienti tecnico-economici che deriverebbero dalla successione di monocolture che la coltivazione su tutta la superficie dell'azienda di una sola specie per volta determinerebbe, mediante raggruppamenti e suddivisioni di appezzamenti verranno costituite sezioni di dimensioni simili che devono essere tante quanti sono gli anni del ciclo della rotazione. In tal modo tutte le specie saranno coltivate nell'azienda ogni anno, mentre la rotazione riguarderà le singole sezioni.

Sono escluse dal computo delle sezioni le superfici incolte, quelle improduttive, quelle a frutteto specializzato, e in genere tutte quelle il cui utilizzo non si presta a far parte di una rotazione.

Colture intercalari

Le colture principali dell'avvicendamento non occupano generalmente il terreno per tutto l'anno; fra una coltura e l'altra rimane un certo lasso di tempo che può essere sfruttato per eseguire una coltura intercalare o coltura furtiva o secondo raccolto.

Tra la raccolta del frumento e la semina primaverile della barbabietola intercorrono 8 mesi, che salgono a 9 se il frumento è seguito dal mais; fra frumento e frumento (*ristoppio*) ci sono circa 4 mesi; sono spazi temporali piuttosto lunghi, che consentono di ottenere un reddito addizionale, e talvolta anche di migliorare il terreno in vista della coltura principale successiva.

A seconda del momento in cui vengono coltivate, le colture intercalari possono essere estive o estive-autunnali, autunno-invernali e autunno-primaverili o anche primaverili. Si tratta, in genere, di colture foraggere, ma si utilizzano anche specie orticole; tutte devono essere caratterizzate da un ciclo produttivo breve e, naturalmente, da una buona adattabilità alle condizioni climatiche esistenti nel momento in cui si coltivano (Fig. 5.50).

In certi casi la coltura intercalare non viene effettuata per l'ottenimento di una vera e propria produzione ma per essere sovesciata. Negli altri casi vi sono opinioni contrarie all'utilizzazione delle colture intercalari, in quanto si viene a perdere il riposo estivo del terreno, che permette di eseguire l'aratura nello stato di tempera più propizio; l'aratura estiva inoltre facilita la distruzione di alcune erbe infestanti perenni che altrimenti tenderebbero a diffondersi sempre di più nell'azienda. Non potendo poi arare prima dell'inverno, si ridurrebbe sensibilmente il beneficio operato dagli agenti atmosferici nel terreno a tutto svantaggio della coltura primaverile successiva. Altri aspetti negativi possono riguardare il bilancio idrico e nutrizionale, al punto da determinare cali produttivi nelle colture principali che seguono.

5.2.2 Consociazioni delle piante agrarie

Con il termine di consociazione agraria (o coltura consociata) si intende la coltivazione contemporanea di più specie nello stesso appezzamento di terreno. Si parla invece di *monocoltura* quando nell'intera azienda si coltiva una sola specie, contrariamente alla *pluricoltura*. Di solito con riferimento alle sole piante da frutto, si parla di *coltura specializzata* quando su un dato appezzamento vengono coltivate piante appartenenti alla stessa specie (pescheto, vigneto, bananeto), o a specie affini (agrumeto), e di *coltura promiscua* quando sullo stesso appezzamento coesistono colture diverse e indipendenti tra loro.

Principi della consociazione

La consociazione è vantaggiosa quando:

- le specie consociate hanno apparato radicale diverso, in quanto la consociazione di specie a radice fascicolata e superficiale con altre a radice fittonante e profonda consente di sfruttare meglio la massa del terreno per quanto riguarda l'acqua e gli elementi minerali, verso i quali inoltre le diverse specie hanno esigenze non identiche; anche la sostanza organica derivante dai residui colturali risulterà meglio distribuita;
- le specie consociate hanno un diverso habitus di crescita; infatti dalla consociazione di piante con vegetazione raccolta e bassa con piante con steli allungati e mobili può risultare un miglior sfruttamento della luce e una maggiore produzione;
- le specie consociate hanno un ritmo di crescita stagionalmente diverso, come le graminacee foraggere a sviluppo prevalentemente autunnale o invernale e le leguminose a sviluppo quasi esclusivamente primaverile-estivo.

In generale, la consociazione è vantaggiosa quando si verificano le condizioni espresse dalla formula

$$AB > \frac{A + B}{2}$$

dove AB è la produzione delle colture consociate e A e B le produzioni delle colture pure.

Scopi della consociazione

Gli scopi che l'agricoltore si propone di raggiungere con la consociazione sono diversi:

- 1 - ottenere maggiori prodotti nell'unità di superficie;
- 2 - ottenere prodotti di qualità migliore. I prati polifiti stabili, se impiantati con adatti miscugli, rendono la produzione foraggera più abbondante e di migliore qualità: più abbondante in quanto le diverse specie, se opportunamente scelte, possono utilizzare in modo migliore l'ambiente ad esse assegnato; di migliore qualità perché il foraggio costituito di essenze pabulari varie acquista considerevolmente in appetibilità;
- 3 - avere un primo prodotto mentre cresce la specie principale; consociazioni temporanee di specie a sviluppo rapido con altre a sviluppo iniziale lento consentono di ottenere un prodotto durante il periodo di improduttività di queste ultime; è anche il caso delle colture ortive nell'interfila di frutteti nei primi anni dall'impianto;

4 - ottenere protezione od aiuto da una specie a favore di un'altra; è il caso delle colture frangivento di eucalipto o di altre specie legnose a rapido sviluppo, a protezione dei fruttiferi;

5 - avere una specie che funga da sostegno per le altre; è il caso dell'avena, orzo e segale che vengono consociate, in veste di piante tuttrici, alle vecce sia nella costituzione di erbai che in coltura da granella; oppure i tradizionali tutori vivi per le viti maritate;

7 - guadagnare tempo; in orticoltura le diverse specie si concatenano in modo da aversi la semina o il trapianto di alcune prima della raccolta o della maturazione di altre; così avremo il pomodoro coltivato tra la patata, il finocchio, il cavolfiore, ecc., gli spinaci coltivati tra le carote, il prezzemolo, le melanzane, ecc.; lo stesso vale per la bulatura, o trasemina, del trifoglio sulla coltura di un cereale;

8 - ottenere prodotti molto diversi nella stessa annata; è una considerazione che era valida soprattutto in una economia di sussistenza;

9 - assicurare la fecondazione incrociata, specialmente in frutticoltura (olivo, ciliegio, melo, ecc.), ma anche nel caso dell'ottenimento di mais ibridi, consociando diverse linee pure.

10 - ottenere effetti di sinergismo, o di protezione antiparassitaria, dall'associazione di certe specie; si tratta di tecniche in evoluzione e che hanno una specifica importanza nell'agricoltura biologica.

11 - ottenere vantaggi riguardo alle caratteristiche del terreno; è il caso dell'inerbimento in frutticoltura: si accetta un certo grado di competizione tra le piante erbacee, che vengono frequentemente sfalciate ma non asportate, e gli apparati radicali dei fruttiferi, per evitare ristagni idrici, soprattutto nei terreni pianeggianti, che impediscono il passaggio delle macchine in certi periodi dell'anno. Naturalmente questo tipo di consociazione deve essere ben programmato, affinché non causi danni maggiori dei vantaggi.

La pratica della consociazione mantiene tuttora una certa diffusione, anche perché vi sono impieghi, tra quelli elencati, che non sono evitabili (impollinazione incrociata, prati polifiti, frangiventi, inerbimento) e tecnicamente validi, oppure che hanno una loro importanza in tecniche alternative di coltivazione (Fig. 5.51). Molte altre delle motivazioni alla consociazione, che avevano estrema importanza in altre condizioni tecniche e sociali, non mantengono più la loro validità tecnica ed economica, e tendono ad essere abbandonate, soprattutto nei paesi sviluppati e nelle aziende molto meccanizzate. Infatti nella gran parte dei casi la consociazione implica necessità diversificate dei vari fattori della produzione (concimazioni, irrigazione, difesa antiparassitaria, diserbo), che in passato erano scarsi od assenti, e la cui somministrazione era in gran parte eseguita a mano dall'uomo; lo stesso vale per una serie di operazioni (cure colturali, semina e raccolta) che oggi sono nella gran parte meccanizzate. Questo, salvo rare eccezioni, non è più possibile, e quindi anche le consociazioni hanno visto la loro applicabilità ridotta di conseguenza.

5.3 Fertilizzazione

La *fertilità* di un dato terreno è la sua attitudine a garantire alle piante su di esso coltivate, per l'intero loro ciclo di sviluppo, condizioni di vita adeguate per l'ottenimento di produzioni soddisfacenti.

La *fertilizzazione* comprende tutti gli interventi che l'uomo può adoperare per accrescere la fertilità, e *fertilizzanti* sono i mezzi atti a questo scopo. Una parte fondamentale della fertilità agronomica è la fertilità chimica, legata alla dotazione che il terreno ha in elementi chimici indispensabili, e tale dotazione può essere artificialmente accresciuta con sostanze varie, che prendono il nome di *concimi*. I concimi sono quindi fertilizzanti, ma vi sono anche fertilizzanti che non agiscono direttamente sulla dotazione in elementi nutritivi, e quindi non tutti i fertilizzanti sono concimi; l'esempio più evidente è dato dalle sostanze adoperate per correggere o ammendare un terreno.

I concimi possono essere organici, minerali e organo-minerali. Ognuno di essi contiene uno o più elementi nutritivi principali (azoto, fosforo e potassio) e talvolta anche elementi secondari e microelementi. La percentuale in peso degli elementi fertilizzanti costituisce il *titolo* di un concime.

5.3.1 I concimi organici

Una caratteristica dei concimi organici è la loro composizione in genere complessa, e spesso variabile, pur se contengono i vari elementi nutritivi essenziali; questi sono però combinati in tutto o in parte sotto forma organica, e quindi non direttamente assorbibile dalle piante. La loro utilizzazione da parte dei vegetali è quindi subordinata ad una decomposizione che di solito avviene nel terreno, anche se può iniziarsi anche prima della somministrazione dei concimi stessi.

L'importanza dei concimi organici non è tanto legata all'apporto di elementi nutritivi, in genere basso, quanto all'arricchimento del terreno in microelementi e in sostanza organica, la quale è insostituibile nel migliorare la fertilità del terreno migliorandone la struttura in modo durevole. Per questa ragione molti dei fertilizzanti elencati di seguito sono considerati dalla moderna legislazione come ammendanti.

Letame

Il *letame* di stalla o *stallatico* è un miscuglio di deiezioni animali e di materiali vegetali usati nelle stalle come lettiera, in genere paglie di varie colture, ed altri materiali. La sua composizione varia in funzione di numerosi fattori, quali il tipo di animali, la loro alimentazione, il tipo di lettiera, la proporzione tra deiezioni e lettiera, ecc. Anche la

quantità prodotta varia molto: in genere annualmente si aggira intorno a 25 volte il peso dell'animale che lo produce.

Il letame fresco non può essere usato come tale per la concimazione; esso va tenuto in concimaia per qualche mese, trasformandosi nel letame maturo, una massa informe di colore scuro. D'altra parte, più maturo è il letame e maggiori sono le perdite di principi nutritivi a causa di denitrificazione, dilavamento, ossidazioni.

In mancanza di letame, se ne può produrre di artificiale utilizzando paglia che viene bagnata e stratificata con concimi minerali; i processi fermentativi sono innescati grazie all'aggiunta di piccoli quantitativi di letame naturale.

La produzione dei *terricciati* (o *composte*) segue una procedura simile, ma al miscuglio è aggiunta una certa quantità di terra; l'insieme viene rimescolato in modo da ottenere una massa uniforme.

Liquami

In molti tipi moderni di allevamento è più semplice ottenere quantità di deiezioni liquide e solide, mescolate a acque di lavaggio; questo materiale liquido prende il nome di *liquame*. Si tratta di un tipo di concime che crea problemi tecnici di spargimento, e quindi spesso i liquami, che hanno uno scarso potere fertilizzante e nessun effetto positivo sulla struttura, sono eliminati in qualche modo (scarichi, depuratori); ciò ha determinato problematiche ambientali che sarebbero superabili se si scegliesse di impiegare i liquami come fertilizzanti in modo razionale.

Sovescio

Consiste nel far crescere una data coltura erbacea nel terreno da concimare; ad un certo grado di sviluppo della coltura, invece di raccogliere il materiale vegetale, lo si interra con una lavorazione. È diffuso nelle zone caratterizzate dalla assenza di estesa zootecnia. In genere le specie preferite per il sovescio sono le leguminose (favino, veccia, trifogli, ecc.) ma spesso vi sono mescolate anche graminacee. Il sovescio ha un'azione fertilizzante per diverse ragioni: riguardo alle leguminose, se ne sfrutta la capacità di fissare l'azoto, che sarà disponibile per le colture successive con una certa gradualità; l'interramento implica un'arricchimento del terreno in sostanza organica; le specie sovesciate avranno estratto dal terreno potassa e fosfati, che saranno disponibili per la coltura successiva.

Altri concimi organici

Materie vegetali - Molti residui di processi di estrazione industriale, come i *panelli* di semi oleosi, le *vinacce*, le *sanse*, possono essere utilizzati come concimi o come ammendanti, se non è più conveniente usarli come mangimi.

Materie animali - Sono in genere residui della lavorazione di carni o pesce, spesso ricchi in azoto a lenta cessione; tra questi sono il *sangue secco*, il *carniccio*, il *cornunghia*, i *cuoiattoli*, il *laniccio*, le *ossa*, ecc.

5.3.2 I concimi minerali

Sono concimi derivati da minerali presenti in natura, o costituiti per sintesi; sono di solito solidi, ma possono essere anche liquidi o gassosi. Essi si dividono in concimi semplici, che contengono solo uno degli elementi principali della fertilità (N, P, K), e concimi composti, che ne contengono due o tre.

Concimi azotati

Sono concimi semplici che contengono azoto in una o più forme. Dati gli effetti dell'azoto sulla produttività delle colture, sono i più utilizzati dagli agricoltori, e i principali responsabili degli aumenti delle rese degli ultimi decenni (Tab. 5.1).

Concimi nitrici - Poiché le piante assorbono l'azoto come ione nitrico, sono i concimi a più pronta azione. Sono quindi adatti a interventi *in copertura*. Lo ione nitrico però non è trattenuto dal terreno, e quindi è facilmente dilavato dalle piogge; a tale scopo le concimazioni dovrebbero essere diluite in più interventi con quantità ridotte di concime. I più importanti sono il nitrato di calcio e il nitrato di sodio (titolo di N 15-16), di sintesi, il nitro del Cile (soprattutto nitrato di sodio), da giacimenti di guano (15-16), il nitrato di calcio e magnesio (13-14), di sintesi. Sono relativamente costosi e a basso titolo, e quindi il loro uso è in declino.

Concimi ammoniacali - Lo ione ammonio è poco assorbito dalle piante, ma il processo di nitrificazione che subisce nel terreno lo rende disponibile. Esso è trattenuto dal potere assorbente del terreno, e quindi vi permane un po' più a lungo, ed è meno dilavato dei nitrati. I concimi ammoniacali più importanti sono il solfato ammonico (titolo 20-21), e l'ammoniaca anidra (titolo 82) sono entrambi di sintesi. Quest'ultima ha un titolo molto alto, ma essendo un gas presenta problemi di conservazione e di impiego.

Concimi nitrici-ammoniacali - Combinano le caratteristiche positive delle due forme di azoto. Il più importante, e anche il più venduto tra i concimi azotati, è il nitrato d'ammonio (26-27% di N).

Concimi con azoto organico di sintesi - Si possono assimilare come comportamento ai concimi ammoniacali, in quanto nel terreno il loro azoto è rapidamente convertito in azoto ammoniacale. La calciocianammide (titolo 20-21), di sintesi, contiene anche ossido di calcio e altre impurità. È un po' più costoso e oggi meno impiegato. L'urea (46% di N), anch'essa di sintesi, è molto impiegata in Italia, per il basso costo dell'unità fertilizzante; inoltre si può facilmente utilizzare anche come concimazione fogliare.

Concimi a lento effetto - Poiché i concimi azotati hanno tutti il difetto, in maggiore o minor misura, di essere soggetti a dilavamento, si è tentato di ottenere, in modi diversi, concimi che prolungassero nel tempo l'effetto fertilizzante. I risultati però sinora non sono stati molto buoni, a fronte di costi sempre elevati.

Concimi fosfatici

I concimi fosfatici solidi provengono generalmente da rocce fosfatiche. Il fosforo è un elemento che viene trattenuto dal potere assorbente del terreno, e non viene quindi dilavato; vi possono piuttosto essere problemi di eccessivo trattenimento da parte dei colloidali, e quindi di scarsa mobilità. Il titolo è espresso in P_2O_5 (Tab. 5.2)

Il perfosfato minerale (titolo 18-21), molto comune, contiene il 40-50% di solfato di calcio.

Il perfosfato d'ossa è simile al precedente, e contiene piccole quantità di azoto.

Il perfosfato concentrato ha un titolo maggiore (titolo 25-38), come pure il perfosfato triplo (38-48).

Le scorie Thomas, sottoprodotto della siderurgia, contengono il 12-20% di P_2O_5 . Anche in questo è alta la percentuale di impurità di calcio, ed il concime ha un pH basico.

Concimi potassici

Anche per questi concimi valgono le considerazioni fatte per i fosfatici riguardo alla loro interazione con il terreno; lo ione K può però essere dilavato nei terreni acidi. Il K è in genere meno importante come concime, perché in buona parte ritorna al terreno con le deiezioni e i residui colturali, e anche perché i terreni italiani ne sono in genere ben provvisti. Il titolo di questi concimi è espresso in K_2O (Tab. 5.3).

Il cloruro e solfuro di potassio sono i concimi potassici più utilizzati, con titolo del 60% e 50%, rispettivamente; il primo non può essere usato in colture che temono il cloro, come il tabacco o il lino, il secondo ha il vantaggio di contenere il 18% di zolfo.

Il salino potassico, sottoprodotto dell'industria zuccheriera, contiene il 34-45% di K_2O .

Concimi composti

Sono concimi che contengono due o più elementi chimici principali della fertilità (N, P, K). A seconda del numero di questi elementi si dividono in binari (azoto-fosfatici, azoto-potassici, fosfo-potassici) e ternari (Tab. 5.4). Il titolo di questi concimi è espresso in unità N, P₂O₅, K₂O, indicati in questo ordine (es. 20-10-10).

Questi concimi si sono discretamente diffusi nell'uso agricolo, in quanto hanno il vantaggio di semplificare le operazioni di conservazione, trasporto e distribuzione, pur se più costosi dei concimi semplici. D'altra parte, riguardo alla migliore utilizzazione dei principi nutritivi, il loro uso non è sempre preferibile a quello dei concimi semplici.

5.3.3 I concimi organo-minerali

Sono concimi ottenuti da miscelazione o reazione di uno o più concimi organici con uno o più concimi minerali. Sono in genere più costosi dei precedenti, anche se hanno avuto un certo successo.

5.3.4 Leggi della concimazione

La produzione vegetale varia in funzione dell'aumentare di un fattore della produzione, con un andamento che è comune a tutti i fattori (Fig. 5.52). È ovvio che il nostro fattore deve essere presente in quantità tale da porsi in un punto della zona B; stabilire quale è il compito dell'agronomo, che ne deve valutare l'utilizzabilità ottimale tenendo in considerazione numerosi altri fattori, di ordine sia biologico-culturale che economico. La curva mostrata può essere sintetizzata dalla *legge di Mitscherlich*, secondo la quale l'incremento produttivo determinato da una dose addizionale del fattore della produzione è tanto minore quanto più si è vicini alla massima resa. Un'altra legge importante è la *legge del minimo*, per la quale la produzione è commisurata alla quantità dell'elemento della fertilità presente in misura minore, con riferimento ai fabbisogni di una data coltura; non vale quindi abbondare con un dato fattore se non sono presenti in quantità sufficiente anche gli altri (Fig. 5.53).

5.3.5 Risposte delle specie ai principali elementi

Di tutti i fertilizzanti l'azoto è il più impiegato, ed è utile per spiegare le risposte alla fertilizzazione in generale. La tipica curva di risposta dei cereali a crescenti quantità di concimi azotati è quella in figura 5.54. La curva parabolica mostra come, dopo i 100 kg/ha di N, gli incrementi di resa per kg aggiunto di concime sono sempre più piccoli, fino al punto (150 kg/ha) in cui le rese iniziano a decrescere. Ma anche prima dell'inizio

della curva discendente la convenienza a somministrare azoto può venire a mancare da un punto di vista economico (Fig. 5.55). Infatti nella barbabietola alti livelli di N stimolano maggiormente l'accrescimento fogliare, senza che questo abbia effetti congrui sulla radice e sul suo tenore in zucchero.

La prima parte del grafico è meglio rappresentata da una relazione lineare, che cambia direzione a un punto di flessione. La risposta lineare, a bassi livelli di N, è evidente con molte specie, mentre il comportamento dopo tale punto è più variabile (Fig. 5.56). Le foraggere infatti rispondono molto bene all'N, e la resa continua ad aumentare dopo il punto di flessione. Non è così, come abbiamo visto, per la barbabietola da zucchero. La patata ed alcuni cereali vedono addirittura cali di resa con l'aumentare dell'N. La diversa risposta alle somministrazioni di N può anche essere dovuta a una diversa capacità di estrarre N dal terreno (Fig. 5.57).

La risposta a dosi crescenti di P e K non è così chiara. Nei terreni carenti di forme disponibili di questi elementi si è potuta vedere una risposta lineare alle somministrazioni, in una gamma di valori però più ristretta. Di conseguenza P e K sono somministrati in quantità minori rispetto all'N, per mantenere le riserve del terreno. Inoltre le varie specie hanno esigenze diverse per questi elementi. La barbabietola da zucchero richiede molto potassio, mentre le patate sono esigenti per il fosforo. Le leguminose richiedono poco o niente N, mentre sono relativamente esigenti per P e K.

5.3.6 Interazioni tra elementi fertilizzanti

In pratica le piante richiedono quantità variabili dei tre elementi fondamentali, e possibilmente anche degli altri. In Fig. 5.58 si vede l'interazione tra N e P nella barbabietola da zucchero. A bassi livelli di P le rese seguono la curva normale; in presenza di alti livelli di P, le rese sono sempre più alte, a qualsiasi concentrazione di N. Dal grafico emerge anche che bassi livelli di P limitano la risposta produttiva ad alti livelli di N. Un comportamento simile è stato osservato nella patata. Inoltre si può dare il caso che la risposta agli elementi principali sia limitata dalla carenza di microelementi quali Mg o Mn. Quindi la risposta a singoli elementi dovrebbe essere sempre valutata a fronte dei livelli degli altri elementi indispensabili.

5.3.7 Effetti sulla qualità

Anche la qualità è influenzata dalla dose di un dato principio nutritivo; l'esempio più classico è dato dall'azoto, che se carente può determinare granella striminzita, frutta di piccole dimensioni, ortaggi troppo dotati di fibra; viceversa, un eccesso di questo elemento determina frutta meno zuccherina e saporita, e meno conservabile, un ridotto

contenuto di amido in patata e frumento, e svariati tipi di peggioramento in ortaggi e altre produzioni vegetali. Effetti analoghi sono dati anche dagli altri elementi, e possono interessare numerosi aspetti della vita della pianta, come le fasi fenologiche, la presenza di particolari metaboliti, ecc.

5.3.8 Esecuzione della concimazione

I concimi possono essere distribuiti in modo *localizzato* o *a spaglio*, generalmente con macchine apposite (*spandiconcime*). In alternativa, con la *fertirrigazione* si possono aggiungere elementi nutritivi alle acque di irrigazione. Per piccole quantità di concime si può anche ricorrere alla *concimazione fogliare* o epigeica, in quanto le piante possono assorbire gli elementi nutritivi anche per via fogliare.

Riguardo all'epoca di concimazione, nelle colture erbacee si concima in *presemina*, alla *semina*, o *in copertura* (Fig. 5.60), cioè quando il terreno è già coperto dalla vegetazione. Nelle colture arboree invece si distinguono una *concimazione di fondo*, o pre-impianto, che si esegue in occasione dello scasso, e le *concimazioni ordinarie*, o annuali, suddivise in due o tre interventi.

Le dosi di concimazione sono ovviamente assai variabili, in funzione di un gran numero di fattori, tra i quali sono il clima, il tipo dei concimi impiegati, il tipo di terreno e le sue dotazioni in elementi minerali e sostanza organica, la specie coltivata, la specie che l'ha preceduta nella rotazione, la tecnica colturale (lavorazioni, irrigazione, diserbo, ecc.). Un buon criterio per la quantificazione delle dosi di elementi nutritivi da apportare è quello della restituzione degli elementi asportati dalla coltura, ma è importante anche conoscere bene le dotazioni del terreno in elementi disponibili, nonché trarre ulteriori informazioni dall'analisi dei tessuti vegetali (*diagnostica fogliare* o *peziolare*).

5.3.9 Correzione

I materiali che quando aggiunti al terreno ne modificano la reazione o pH sono chiamati *correttivi*. Si tratta di interventi non ordinari, che tendono a rendere il terreno più adatto alla vita produttiva di una o più specie agrarie. Nel caso dei terreni acidi, ai quali poche specie si adattano, si utilizzano composti alcalini del calcio (calce viva, minerali di calcio). Nei terreni salsi, che presentano un'eccessiva concentrazione della soluzione circolante, la correzione è eseguita con l'irrigazione dilavante, cioè creando un fenomeno che può avvenire anche in natura con ritmi più blandi. I terreni alcalini sono tollerati da molte specie se l'alcalinità è dovuta al calcio; se è invece il sodio a determinarla, le

condizioni fisico-chimiche del terreno possono renderlo inabitabile. In questi terreni il correttivo più usato è il gesso (solfato di calcio).

5.3.10 Ammendamento

Questa pratica serve a modificare caratteristiche fisiche del terreno, come la struttura e la tessitura. Così nei terreni eccessivamente sciolti, poveri di colloidali, si possono aggiungere sostanze che favoriscono una modificazione della tessitura, come sostanza organica di vario tipo, o colmate con acque torbide. Nei terreni eccessivamente compatti, nei quali è difficile mantenere una buona struttura, si può intervenire con aggiunte di sostanza organica, sabbia, calcare, nonché con particolari sostanze cementanti che favoriscono la formazione dei grumi. Va però valutata con attenzione la convenienza economica di questi interventi.

5.4 Regime idraulico

Si intendono con *regime idraulico* tutte le opere che presiedono alla difesa dagli effetti negativi derivanti da eccesso o difetto delle acque, e alla loro utilizzazione.

5.4.1 Bonifica

La difesa si attua con le grandi opere di *bonifica* e con le piccole opere di bonifica, o *sistemazioni idraulico-agrarie*. La difesa dagli eccessi idrici è fatta in base alle precipitazioni medie massime in un certo periodo, e non in base a quelle eccezionali.

Le grandi opere di bonifica hanno la funzione di eliminare l'eccesso di acqua ed assicurare così il *franco di coltivazione*, l'altezza massima che in una determinata area la falda freatica deve raggiungere, nel periodo di massime precipitazioni, in modo da non danneggiare le colture (Tab. 5.5). Tale obiettivo può essere raggiunto in molti modi, ma sostanzialmente la scelta è tra l'innalzare il livello dei terreni (*colmata*), o abbassare il livello delle acque (*emungimento*).

Tipi di bonifica

La *bonifica per scolo naturale* è caratterizzata da una quota altimetrica dell'area da bonificare superiore a quella dei bacini di raccolta. Basta quindi aprire una via di scolo alle acque, che defluiranno per gravità.

Nel caso della *bonifica per scolo intermittente*, l'area da bonificare è posta in condizioni di scolo agevole solo in certi periodi, quando il bacino ricevente non è in piena; non appena si verifica la piena lo scolo non è più possibile.

Bonifica per sollevamento meccanico: tutto o quasi il comprensorio di bonifica si trova ad una quota pari al livello del bacino ricevente, se non addirittura inferiore. Questo tipo di bonifica si attua delimitando il *comprensorio di bonifica* ed arginando la zona depressa, per impedire il rientro delle acque. In seguito i terreni del comprensorio vanno suddivisi in terre alte, medie e basse. Le prime si trovano a un livello superiore al bacino

ricevente, e possono scolare grazie ad un emissario a parte (*canale delle acque alte*), le seconde possono scolare in modo solo intermittente (*canale delle acque medie*), le ultime scolano solo con le idrovore (*canale delle acque basse*). Nel caso delle bonifiche per emungimento il franco di coltivazione non è stabile: è maggiore all'inizio della bonifica, e via via che il terreno si assesta diminuisce.

Bonifiche per colmata (Fig. 5.61): richiedono la costruzione di una rete di canali che convogli l'acqua torbida di fiumi o torrenti sul terreno depresso; infatti le acque che attraversano zone ricche di materiali argillosi si caricano, nel periodo di massime precipitazioni, quando i corsi d'acqua scorrono più impetuosi, di particelle in sospensione. Convogliate nelle zone depresse e arginate, in seguito a drastica riduzione di velocità, le acque depositano tali materiali; una volta divenute limpide vengono fatte defluire. Le opere di colmatazione hanno il pregio di essere opere che forniscono risultati permanenti, ma richiedono molto tempo (30 anni e oltre per 1 metro di innalzamento di livello del terreno). I terreni che ne risultano sono ottimi, sia sotto l'aspetto chimico che sotto quello fisico..

5.4.2 Sistemazioni idraulico-agrarie

Le sistemazioni idraulico-agrarie sono tecniche con le quali viene modellata la superficie dei terreni coltivati, allo scopo di eliminare le acque in eccesso o di salvaguardare il suolo dall'azione erosiva delle piogge.

Sistemazioni dei terreni in piano

Effetti dell'eccesso idrico

Si ha eccesso di acqua quando gli afflussi idrici (acque meteoriche o di irrigazione) superano la capacità di ritenuta del terreno. È uno stato di saturazione del suolo che compromette lo sviluppo della maggior parte delle colture e l'esecuzione tempestiva delle operazioni colturali (semina, lavorazioni, trattamenti, raccolta, ecc.).

Tra gli effetti negativi dell'eccessiva umidità abbiamo:

- A) insufficiente ricambio gassoso a livello della rizosfera, con un conseguente eccessivo accumulo di CO₂ e ridotta presenza di ossigeno;
- B) ridotto assorbimento degli elementi nutritivi a causa del loro eccessivo dilavamento, delle condizioni fisiologiche sfavorevoli della pianta, e per l'instaurarsi di fenomeni biochimici dannosi (inibizione dei processi aerobici di trasformazione della sostanza organica e dei minerali, e stimolo alla denitrificazione);
- C) ridotto accrescimento radicale, il che rende la pianta più debole e vulnerabile ad altre avversità;
- D) condizioni favorevoli per sviluppo di erbe infestanti e di malattie parassitarie, sia per l'indebolimento della pianta che per la maggior virulenza di tali attacchi;
- E) raffreddamento del suolo bagnato, che ha come conseguenza una ritardata ripresa vegetativa;

F) effetti negativi sulla struttura del terreno, a causa della mancata azione del gelo e disgelo, dello spappolamento delle argille, della impossibilità di esecuzione delle lavorazioni (o della loro esecuzione su terreno non in tempera).

Lo smaltimento delle acque superflue può essere realizzato attraverso due principali modalità: affossatura e drenaggio.

Affossatura

L'*affossatura* consiste nell'apertura di una rete di trincee a cielo aperto, destinata a raccogliere e smaltire le acque superficiali, nonché quelle di falda quando troppo vicine alla superficie. Questi piccoli canali prendono il nome di *scoline* o *fossi*.

L'affossatura offre diversi vantaggi:

- abbassamento della falda freatica, e conseguente aumento del franco di coltivazione;
- raccolta delle acque che non penetrano nel terreno, e di quelle che non riescono a percolare al di sotto della suola d'aratura (Fig. 5.62);
- notevole capacità d'invaso;
- rapido deflusso delle acque anche con lievi pendenze;
- esecuzione completamente meccanizzabile, a costi contenuti.

Vi sono però anche aspetti negativi della tecnica che vanno conosciuti:

- necessità di manutenzioni periodiche;
- aumento delle tare, o superficie non coltivabile;
- impedimento alla circolazione delle macchine;
- punti di diffusione di semi di erbe infestanti.

Le scoline possono scaricare in invasi naturali (corsi d'acqua, bacini vari), o in fosse di 2a raccolta o collettori, artificiali. Il volume dell'affossatura dipende da numerosi fattori, quali la capacità di trattenuta idrica e di percolazione delle acque in eccesso di un terreno, la frequenza e l'entità delle piogge più intense in un dato comprensorio, la pendenza, ecc.; in generale, passando dai terreni più sciolti a quelli più compatti, si ha un'affossatura di 100-300 m³/ha, con punte di 400 m³. Tale differenza si realizza di solito operando sulle distanze tra le scoline (da 15 - 20 m nei terreni molto argillosi a 35 - 40 m nei terreni molto sciolti) e sulla loro sezione, in misura minore (Fig. 5.63). La profondità delle scoline deve essere superiore alla profondità di lavorazione

Per lo scavo delle scoline sono oggi utilizzate apposite macchine *scavafossi* (Figg. 5.64, 5.65).

Nel caso di terreni perfettamente pianeggianti è indispensabile ricorrere al modellamento del terreno, per dare a questo delle pendenze artificiali che favoriscano il deflusso dell'acqua verso le scoline; l'insieme di queste pendenze si chiama *baulatura*, e vi si è già accennato trattando dell'aratura. I terreni baulati presentano una linea centrale di colmo, in genere parallela al lato lungo, e due spioventi (*b. a schiena d'asino*), oppure quattro (*b. a padiglione*) (Fig. 5.66). La differenza di livello tra linea di colmo e margini del campo dipende dalle caratteristiche ambientali e del terreno, ed è massima nei terreni pesanti in ambienti caratterizzati da forti piovosità stagionali.

Drenaggio

Con *drenaggio* o *fognatura* si intende un sistema di canali sotterranei, atti a raccogliere le acque in eccesso. Anche il drenaggio quindi è utile ad abbassare la falda freatica, ma a differenza dell'affossatura non può raccogliere le acque superficiali o subsuperficiali che non riescono a percolare. Il drenaggio presenta comunque numerosi vantaggi rispetto all'affossatura:

- assenza di tare negli appezzamenti in coltura;
- assenza di ostacoli alla circolazione delle macchine, e quindi semplificazione di tutte le operazioni colturali;
- minori costi di manutenzione;
- assenza di focolai di piante infestanti;
- migliore arieggiamento del terreno;
- minore evaporazione superficiale nei periodi asciutti.

Svantaggi invece sono:

- minore rapidità nello smaltimento delle acque;
- necessità di pendenze maggiori;
- incompatibilità con le colture arboree, per il disturbo dato dalle radici degli alberi;
- maggiori costi di realizzazione.

Fognatura

È il sistema più antico di drenaggio. Esso implica la costruzione di fosse emungenti sotterranee a profondità variabile (0,80 - 1,20 m), larghe 60-70 cm in alto e 40-50 cm in basso, nelle quali sono ottenuti cunicoli con pietra, mattoni, canne o fascine, sovrastati da materiale drenante (ciottoli, ghiaia). Il tutto viene poi ricoperto di terra fino al livello di campagna (Fig. 5.67a).

Aratura fognante

Si tratta di creare una rete di piccole gallerie, a distanza commisurata alle caratteristiche del terreno e delle necessità di smaltimento. Tali gallerie (lunghe da 50 a 100 m con pendenze intorno allo 0,5%) vengono realizzate con l'*aratro talpa*, costituito da un organo discissore che entra nel terreno e porta all'estremità inferiore un organo lavorante cilindrico e appuntito, con un diametro di 7-8 cm (vedi Lavorazioni). L'organo discissore, tagliando il terreno, favorisce la penetrazione dell'acqua, la quale poi scorre nelle gallerie sotterranee scavate dall'obice. Il lavoro è completato dal *lisciatoio*, sfera metallica trascinata dall'obice, che comprime le pareti della galleria, rendendole più stabili.

È un sistema economico, che nei terreni pesanti può arrivare a durare anche 3-4 anni. Effetti simili, e meno duraturi, si possono avere anche con la scarificazione profonda.

Drenaggio

Il *drenaggio* propriamente detto (meglio definito come drenaggio sottosuperficiale), consente l'allontanamento delle acque in eccesso attraverso condotte sotterranee che scaricano in canali di raccolta.

La tecnica del drenaggio prevede la costituzione di una rete principale in cui si immettono i collettori secondari, nei quali affluiscono le acque dei *dreni* (Figg. 5.67b, 5.69). Gli elementi drenanti vanno posti a profondità e distanze diverse a seconda della

natura del terreno e della coltura prevista: da 1 a 1,5 metri di profondità passando dai prati alle colture a radici fittonanti, e da 12 a 24 metri e oltre dai terreni argillosi a quelli sabbiosi (Fig. 5.70). La pendenza che garantisce un rapido smaltimento delle acque non può essere inferiore al 2-3‰. I dreni tradizionali sono tubi di terracotta porosa, di 30-40 cm di lunghezza; i vari elementi sono posti in opera inserendoli l'uno nell'altro, e l'acqua penetra dagli spazi esistenti nei punti di collegamento. I diametri sono di solito compresi fra 100 e 150 mm. Più recentemente si sono utilizzati tubi di plastica di polietilene ad alta densità (PEAD) o di cloruro di polivinile (PVC). I tubi possono essere lisci o corrugati; quelli di maggiori dimensioni sono spesso rivestiti di materiale che impedisce alle particelle di terreno di penetrare nel tubo, oggi spesso fibra di cocco (Figg. 5.71, 5.72)

Esistono diversi sistemi per meccanizzare, a livelli diversi, la posa dei tubi da drenaggio. Un sistema consiste nello scavare la fossa utilizzando una benna, posare manualmente i tubi sul fondo della stessa e ricoprire.

Tempi di posa più ridotti possono essere ottenuti con macchine scavafossi. La meccanizzazione più spinta si può ottenere con le cosiddette macchine posadreni talpa o posadreni fognatrici, che sfruttano lo stesso principio dell'aratro talpa, spingendo il tubo nel fondo della fessura creata dall'organo lavorante, fessura che si richiude da sé dopo il passaggio (Figg. 5.68, 5.72)

Sistemazioni di pianura

Le sistemazioni idraulico-agrarie dei terreni di pianura hanno lo scopo di mantenere le condizioni idriche ottimali nei periodi di maggiori precipitazioni. Rispetto alla situazione di 40-50 anni fa, nella quale il panorama era dominato da sistemazioni che erano rimaste pressoché immutate per secoli, si è avuta una evoluzione tecnica notevole; tale evoluzione è stata determinata da diversi fattori, tutti però riconducibili al fatto che la estrema meccanizzazione, determinata dal crescente costo della manodopera, dai bassi prezzi dei carburanti e, relativamente, delle macchine, dai migliori risultati tecnici ottenibili, ha fatto sì che scomparissero le colture promiscue, che molte opere idrauliche passassero da permanenti a temporanee, che le dimensioni delle unità colturali minime aumentassero.

Pertanto può risultare arduo riconoscere le suddette sistemazioni nella forma tipica con cui furono inizialmente attuate; ciononostante la descrizione delle principali sistemazioni classiche è un passaggio obbligato per comprendere le determinazioni tecniche alla loro attuazione, e le modalità con le quali sono state modificate.

Sistemazione a cavalletto o alla bolognese (Fig. 5.73)

E' una sistemazione che realizza un ottimo sgrondo del terreno, e si è particolarmente sviluppata nelle zone argillose tra il bolognese e il delta del Po. I campi, di forma rettangolare, lunghi 80-120m e larghi 30-35m, hanno la superficie con baulatura a padiglione, e sono delimitati da doppie scoline sul lato lungo e da capezzagne accompagnate da un capofosso alle testate. Tra le coppie di scoline sono strette strisce di terreno (larghe 4-6m) denominate cavalletti, con filari di vite maritata all'acero. Il volume complessivo dell'affossatura è di 180-200 m³/ha, le tare l'8-12%.

Oggi il cavalletto non viene ricreato, sostituito da una affossatura relativamente profonda.

Sistemazione a piantata (Figg. 5.74, 5.75)

Nei terreni più sciolti dell'Emilia occidentale e della Lombardia meridionale, è più diffusa la piantata. Rispetto al cavalletto, nella piantata scompaiono le scoline laterali, sostituite da una semplice linea di compluvio o depressione tra campo e piantata (filare arborato su una striscia di terreno a fianco del campo) che sgronda le acque meteoriche nelle capezzagne. Rispetto al cavalletto i campi sono più corti, e l'affossatura poco più della metà.

Sistemazione a prode o a rivale o alla toscana (Fig. 5.76)

È la più antica, e tipica toscana, ove il terreno della fattoria è diviso in sezioni rettangolari di uguale superficie cui si dà il nome di campi o tràmiti, di lunghezza variabile e con baulatura a schiena d'asino. Sui lati lunghi dei campi (uno o entrambi) sono filari di viti, spesso maritate a sostegni vivi; lo spazio tra il filare e il fosso è la proda. La presenza del filare, la impossibilità a lavorarlo come il resto del campo, ed il conseguente ristagno in punti interni al filare stesso determinano un cambiamento del profilo, detto a basto rovescio (Fig. 5.77). È una sistemazione che è utilizzata in ambienti molto diversi, e l'affossatura quindi varia tra i 100 e i 280 m²/ha; le tare sono ridotte, 5-8%.

Sistemazione a cavini o alla padovana (Fig. 5.78)

In questa sistemazione, diffusa nelle terre basse del veneto a scarsa cadente, e soprattutto dove vi è difficoltà o addirittura impossibilità di scolo durante i periodi di maggiore piovosità, la linea di colmo è perpendicolare al lato più lungo del campo. È caratterizzata da una pronunciata baulatura nel senso della lunghezza del campo (1-1,5m) e dalla mancanza di scoline laterali. I campi sono separati da strisce arborate; sui lati corti si trovano affossature (cavini) o strade-fosso (capezzagne). L'affossatura non è eccessiva (100-110 m³/ha), le tare coprono il 10-14% della superficie. Grazie all'eliminazione delle alberature, evoluzione analoga a quella riscontrata anche nella piantata e nella proda, nel cavino si vengono a formare appezzamenti particolarmente estesi, in quanto quello che era il lato lungo del campo diviene il lato più corto, e la linea di colmo della baulatura in tal modo è parallela ai lati lunghi.

Sistemazione a larghe o alla ferrarese (Fig. 5.79)

Sistemazione che si ritrova spesso nei terreni di recente bonifica, privi di alberature. È costituita da una rete di stradoni sopraelevati, che dividono il terreno in vasti appezzamenti, a loro volta suddivisi in campi con baulatura a padiglione o a schiena d'asino, molto lunghi. L'affossatura è notevole, fino a 300 m³/ha, le tare il 10-15%.

Sistemazioni dei terreni declivi

Scopi delle sistemazioni in pendio

Quando un terreno supera il 5% di pendenza è considerato declive, o in pendio; oltre il 25-30% diviene difficilmente lavorabile e sistemabile, se non con ciglionamenti o terrazzamenti. I terreni declivi presentano alcuni problemi, a volte difficilmente superabili: oltre alla difficoltosa lavorabilità, possono essere di difficile accesso, con suolo di scarso spessore, con problemi di erosione. Questi fattori ne hanno in molti casi

determinato l'abbandono, anche e soprattutto nel recente passato. D'altronde non si può immaginare di concentrare nella sola pianura la nostra agricoltura, data l'estensione dei terreni declivi sulla superficie nazionale, né si possono sottacere i problemi di dissesto idrogeologico derivanti dall'abbandono di terreni già coltivati, e quelli di altro ordine dovuti allo spopolamento delle campagne meno favorite. Inoltre vi sono produzioni agricole che sono esaltate dall'ambiente collinare e montano, soprattutto da un punto di vista qualitativo. È quindi interesse della comunità mantenere abitati e ben gestiti da un punto di vista agricolo e selvicolturale gli ambienti caratterizzati da forti pendenze del terreno.

Nella preparazione di una sistemazione di collina, il primo intervento è in genere l'allontanamento delle acque poste più in alto delle terre coltivate, con lo scavo di una *fossa di guardia*.

Alla base delle sistemazioni in pendio sono la *fossa livellare* e l'*acquidoccio*. La fossa o strada livellare segue le quote del terreno e raccoglie le acque superficiali e profonde; è in genere 5-10 cm più profonda dello strato lavorato. La larghezza della fossa è di circa 1m e la lunghezza non deve essere superiore a 200 m, per evitare portate troppo forti. La pendenza è dell'1-2,5%, e deve essere costante. Le fosse sono aperte nei punti dove l'acqua rallenta il suo movimento, a distanza di 60-100 m l'una dall'altra. Le acque sono scaricate in impluvi naturali o in acquidocci, cioè scoline costruite secondo le linee di massima pendenza e rivestite in modo da non subire erosione. La fossa livellare può talvolta scorrere sul lato a monte di una strada.

Dopo la semina la sistemazione è completata dallo scavo dei *fossi acquai*, affossatura più superficiale.

Per quanto riguarda le lavorazioni, queste possono essere eseguite secondo le *curve di livello* (o *in traverso*) o a *rittochino*, cioè secondo la massima pendenza (Fig. 5.80). Il primo sistema è spesso poco preciso per l'irregolarità dell'avanzamento che aumenta con la pendenza. La lavorazione a rittochino, che prevede il ritorno a vuoto, presenta diversi vantaggi: omogeneità di lavorazione a buona profondità, possibilità di utilizzare la trattrice a ruote, minore usura del mezzo; per contro, il pericolo di eccessiva erosione che questa tecnica può determinare può essere annullato da un accorciamento della lunghezza dei campi col crescere della pendenza, e dalle lavorazioni complementari effettuate in traverso.

Un'altra tecnica di difesa dall'erosione, sia idrica che eolica, molto diffusa negli Stati Uniti, è la coltura a *strisce livellari* (Fig. 5.81); è applicabile con pendenze che consentano la lavorazione in traverso (5-15%), ed i campi, lunghi anche chilometri, sono di larghezza variabile con la pendenza (20-40 m). Le varie strisce sono coltivate con specie diverse, in modo che in ogni momento dell'anno siano contigue colture in fasi diverse del loro ciclo, e con caratteristiche diverse nei confronti dell'erosione.

Principali sistemazioni di collina

Sistemazione a rittochino

Questa sistemazione è utilizzata nel caso di pendenze accentuate, per sfruttare i vantaggi della omonima tecnica di lavorazione, fatta secondo le linee di massima pendenza. La lunghezza delle unità di terreno è variabile a seconda della pendenza, andando da poche

decine di metri per pendenze molto forti (25-30%) a 150-200 m per pendenze lievi (5-10%).

Sistemazione a girapoggio (Fig. 5.82)

È, come la precedente, una vecchia sistemazione, e interessa solo per investimenti a prati e pascoli permanenti. Le unità colturali sono delimitate da *scoline* che seguono quasi fedelmente l'andamento delle linee di livello (pendenza dell'1,5-3%), per cui, se le condizioni lo permettono, queste scendono verso il piano con una tipica conformazione ad elica delimitando appezzamenti di larghezza variabile in funzione della pendenza del terreno. Le scoline scaricano in acquidocci o invasi naturali che si presentano nella morfologia del pendio..

Sistemazione a cavalcapoggio (Fig. 5.83)

Si adotta in terreni che hanno pendenze fino al 20% e oltre. Gli appezzamenti sono delimitati da scoline equidistanti, spesso alberate, che confluiscono in collettori o invasi naturali. Le scoline sono tracciate dall'intersezione di piani verticali con il terreno. Si vengono quindi a formare diverse pendenze.

Sistemazione a spina (Fig. 5.84)

Si tratta di una sistemazione abbastanza laboriosa, che si ottiene attraverso un complesso modellamento, cercando di sfruttare il movimento dell'acqua al fine di favorire l'erosione in certi punti e la sedimentazione in altri. Il risultato è l'ottenimento di campi regolari con larghezze variabili da 8 a 12 m, con ottime caratteristiche agronomiche ed idrauliche. Oggi la sistemazione è ottenibile rapidamente con i potenti mezzi meccanici disponibili, ma continua a essere caratterizzata da alti costi unitari.

Terrazzamento e ciglionamento (Fig. 5.85)

Quando la pendenza è troppo forte (oltre il 30%), si può trasformare il pendio in pianura, scavando e riportando il terreno in modo da configurare l'appezzamento a scalinata. Si tratta di una tecnica antichissima e molto diffusa in tutte le civiltà agricole del mondo, dall'America Centrale all'Estremo Oriente, al Mediterraneo. L'unità di questa sistemazione è costituita da: la *panchina*, o *muro a secco* in pietra; la *lenza*, o *pianale*, superficie coltivata con leggera pendenza a monte; il *canaletto di scolo*, ai piedi del muro, che raccoglie le acque superficiali. In caso di pendenze irregolari, e in genere inferiori a quelle che richiedono il terrazzamento, si parla di *gradonamento*; le *lunette* invece sono opere analoghe che servono a mantenere singoli alberi in ambienti poveri di suolo: la terra è portata all'albero, e mantenuta sul posto da muretti semicircolari.

Anche i *ciglioni* sono adottati in presenza di pendenze meno forti; le panchine sono inclinate e inerbite, le lenze sono relativamente ampie, e con una leggera pendenza verso valle.

5.4.3 Irrigazione

La quantità di acqua necessaria ad una determinata coltura, il periodo di tempo in cui tale acqua deve essere distribuita e le modalità tecniche con le quali tale distribuzione ha luogo, costituiscono nel loro insieme quello che viene definito come *regime irriguo* di una coltura.

Fin dai tempi delle antiche civiltà, come la cinese, l'assira, l'egizia, l'irrigazione è stata un mezzo estremamente efficace per accrescere e, quel che più conta, rendere pressoché costanti le produzioni vegetali; spesso la necessità di organizzare grandi lavori per la provvista e la distribuzione dell'acqua è stata la causa prima della nascita di quelle grandi società imperiali.

La provvista d'acqua e le caratteristiche meccaniche, fisiche e biochimiche del suolo sono strettamente interdipendenti. L'acqua è indispensabile alla vita delle piante ed allo svolgimento delle loro funzioni fisiologiche, comprese quelle che conducono alle produzioni che a noi più stanno a cuore, e ha pure notevole importanza sulla esecuzione e sull'efficacia dei lavori agricoli. Solo parte dell'acqua meteorica penetra nel terreno, mentre una frazione spesso notevole si disperde per evaporazione immediata o per ruscellamento superficiale. Ma anche l'acqua che penetra nel terreno non è tutta assorbita dalle radici: vi sono i fenomeni di percolamento e quelli di capillarità che ne rendono inutilizzabile per ragioni opposte una certa percentuale. Perciò l'acqua meteorica di cui possono disporre le piante varia entro limiti molto ampi secondo la distribuzione delle precipitazioni, la qualità dei terreni, il clima, le colture, argomenti peraltro già trattati in precedenza.

D'altronde l'irrigazione è praticata per un gran numero di ragioni, che conviene riassumere:

A) *irrigazione ammendante* : ha lo scopo di migliorare le proprietà fisiche del terreno, trasportando in sospensione materiale terroso diverso da quello predominante nel terreno irrigato;

b) *irrigazione antiparassitaria* : serve a combattere certi parassiti, affogandoli (fillossera, arvicole) o trasportando antiparassitari;

C) *irrigazione correttiva* : intende modificare il pH;

D) *irrigazione dilavante* : per eliminare l'eccesso di sali;

E) *irrigazione fertilizzante (fertirrigazione)* : somministrazione di concimi disciolti nelle acque di irrigazione;

F) *irrigazione termica* : si propone di modificare la temperatura del terreno o delle piante (per esempio nelle marcite e nei frutteti, con scopi spesso assai diversi a seconda dell'epoca);

G) *irrigazione umettante*: serve a mantenere nel terreno una conveniente disponibilità idrica anche nei periodi nei quali difetta l'acqua meteorica. E' quella di gran lunga più diffusa, e alla quale normalmente faremo riferimento. Un caso particolare dell'irrigazione umettante è l'*irrigazione di soccorso*, che serve a far superare alla pianta un momento critico dello sviluppo, eccezionale e non prevedibile con certezza.

Qualità delle acque irrigue

Le acque usate per l'irrigazione possono avere caratteristiche fisiche e chimiche tali da renderle inadatte allo scopo, o da richiedere accorgimenti particolari. È quindi necessario conoscere tali caratteristiche, delle quali le più importanti sono:

Temperatura. L'acqua del sottosuolo è fredda durante l'estate, calda durante l'inverno; le acque superficiali (ad esempio quelle lontane dall'origine di un corso) sono calde nella stagione estiva e fredde in quella invernale; inoltre, l'acqua irrigua può essere considerata fredda o calda in relazione alla località d'impiego, alla coltura e al sistema d'irrigazione utilizzato.

La temperatura ottimale dovrebbe essere pressoché uguale a quella delle colture e del terreno in corrispondenza delle radici; infatti l'impiego di acque fredde può causare ritardi di vegetazione e disturbare l'attività fisiologica delle piante con conseguenti cali di produzione.

Utili accorgimenti per aumentare la temperatura dell'acqua sono:

- costringerla a lunghi percorsi a serpentina (caldane in risaia);
- farla sostare in appositi serbatoi;
- usare sistemi irrigui che sfruttano quantità ridotte d'acqua;
- irrigare quando è minima la differenza tra temperatura del suolo e temperatura dell'acqua (ad esempio nelle ore mattutine o in quelle notturne).

Sostanze in sospensione. Possono essere di origine minerale (acque torbide ricche di materiali come argilla e limo) o di origine organica (acque luride derivate da scarichi fognari, allevamenti zootecnici, macelli, concerie, ecc.). Le *acque torbide* sono vantaggiosamente impiegate nelle bonifiche per colmata e nei terreni con tessitura anomala per la funzione ammendante che svolgono (torbide argillose su terreni sabbiosi e viceversa). Le acque superficiali hanno coefficiente di torbida (quantità espressa in grammi di sostanze sospese in un m³ di acqua) variabile secondo la loro provenienza; più limpide sono invece le acque sotterranee.

Gli aspetti negativi del loro impiego sono rappresentati da:

- interrimento della rete irrigua con conseguente maggiorazione delle spese di manutenzione;
- occlusione degli ugelli nell'irrigazione a goccia;
- imbrattamento dei foraggi e delle colture ortensi.

Le *acque luride* possono essere utilizzate per aumentare la fertilità del terreno. Ai fini agronomici la loro validità è condizionata dalla carica batterica che può risultare dannosa alla salute degli uomini e degli animali se trasmessa (soprattutto con il metodo per aspersione) su vegetali consumati crudi come ortaggi, frutta, foraggi. A questo proposito i microrganismi più segnalati sono coliformi, streptococchi, salmonelle, ecc.

Sostanze in soluzione. Sono rappresentate principalmente da sodio, calcio, magnesio, carbonati, solfati e cloruri. La concentrazione quantitativa e qualitativa di questi elementi è uno dei più importanti parametri di valutazione dell'acqua destinata all'irrigazione: infatti, un contenuto eccessivo di sali determina, a contatto con il terreno, reazioni fisiche e chimiche negative per la fertilità del suolo e la vita delle colture.

Concentrazione salina totale. Una classificazione ancora diffusa distingue le acque in:

- Dolci, con meno del 1,5‰ di residuo secco;
- Salse, con un residuo secco pari o superiore del 1,5-2‰;
- Dure, se contengono quantità notevole di solfati (durezza permanente) e bicarbonati (durezza temporanea) di calcio e magnesio.

Poiché gli effetti negativi di elevate concentrazioni saline sulle piante non si devono tanto al contenuto totale di sali solubili presenti nella fase liquida, quanto alla pressione osmotica determinata dagli stessi, si è proposto di ricorrere anche per la valutazione

dell'acqua irrigua alla determinazione della sua *conduttività elettrica (ec)*, indice strettamente collegato con la pressione osmotica della soluzione circolante.

Qualità' dei sali disciolti. Gli elementi che, allo stato di ioni disciolti, possono causare effetti nocivi al terreno e alle piante sono:

Sodio (Na⁺). Svolge azione tossica diretta, anche a basse concentrazioni, su colture particolarmente sensibili (essenze arboree) e, se presente in alte concentrazioni, indiretta sul terreno (degrado della struttura, abbassamento della velocità d'infiltrazione e della permeabilità) per l'antagonismo esercitato su calcio e magnesio che tende a sostituire.

La pericolosità del sodio si esprime con l'indice SAR (*sodium adsorption ratio*). Livelli di SAR superiori a 9 indicano fitotossicità certa per le colture e perdita di struttura per peptizzazione delle argille.

Carbonati (CO₃⁻⁻) e bicarbonati (HCO₃⁻). Le acque che li contengono in quantità elevata presentano la tendenza a far precipitare calcio e magnesio sotto forma di carbonati; il fenomeno può dar luogo ai seguenti inconvenienti:

- Otturazione dei gocciolatori nell'irrigazione a microportata,
- Formazione di patine calcaree sulle parti aeree delle piante nell'irrigazione per aspersione;
- Aumento del livello di sodio con effetti negativi per la struttura del terreno e per le piante;
- Aumento del pH per formazione di carbonati e bicarbonati di sodio in presenza di elevate concentrazioni dello stesso.

Cloruri (Cl⁻). In genere nelle acque d'irrigazione il loro contenuto non è tale da creare problemi di tossicità per le colture a meno che non superino concentrazioni pari a 5 meq/l nelle irrigazioni per espansione superficiale e pari a 2-3 meq/l in quelle soprachioma.

Solfati (SO₄⁻⁻). In quantità superiore a quella dei bicarbonati, la loro presenza si rivela utile in quanto essi bloccano la formazione di carbonato di calcio e di sodio.

Gas disciolti. La quantità totale presente nell'acqua varia da 30 a 50 cm³/l; sono rappresentati principalmente da ossigeno, azoto, anidride carbonica. Le acque superficiali sono più ricche di ossigeno di quelle sotterranee, più ricche di anidride carbonica. La presenza di ossigeno in un'acqua irrigua è importante sia per l'azione svolta nei processi fisiologici della pianta, sia perché determina il comportamento dei microrganismi aerobi e anaerobi.

pH. Valori nella norma sono quelli compresi tra 6,5 e 8,5, anche se sono stati proposti limiti di tolleranza molto più ampi. La presenza di sostanze inquinanti o l'eccesso di sali nell'acqua influiscono sul suo pH facendogli assumere valori lontani dalla neutralità.

Sostanze inquinanti. Ad esse si ascrive un folto gruppo di contaminanti che va dai prodotti di sintesi non biodegradabili ai metalli pesanti provenienti dall'attività agricola e industriale, immessi nell'ambiente e veicolati dalle acque. Sono rappresentate da detersivi, fenoli, solventi, idrocarburi, fitofarmaci, erbicidi, piombo, rame, stagno, cromo, zinco, ecc. L'uso di queste acque a scopi irrigui è spesso sconsigliabile per i danni che l'accumulo di metalli pesanti, pesticidi e altri agenti inquinanti possono causare alla fertilità del terreno e alle piante.

Nella tabella 5.6 sono riportati i limiti di accettabilità delle acque destinate all'irrigazione, suggeriti dalla F.A.O. e dall'Agenzia per l'Ambiente U.S.A.

Fabbisogni idrici delle colture

I fabbisogni irrigui possono essere calcolati da dati meteorologici, pedologici e colturali, per un dato ambiente agrario. L'entità delle precipitazioni e la loro distribuzione nel tempo fornisce una prima informazione sulla disponibilità di acqua per una data coltura; altrettanto importante è la capacità di un dato terreno di trattenere acqua, ossia la sua capacità di campo, che come sappiamo dipende da caratteristiche fisiche del terreno. Questi dati, sommati a quelli dell'evapotraspirazione di una data coltura, consentono di stabilire quale sia il deficit idrico, cioè la quantità di acqua da somministrare in dati periodi per mantenere il terreno alla capacità di campo, che poi è l'umidità del terreno che consente la massima produttività delle colture. Questo valore dovrà poi essere corretto in funzione di vari fattori, il più importante dei quali è il *coefficiente di utilizzazione o efficienza irrigua*, e cioè il rapporto tra acqua erogata ed acqua effettivamente trattenuta dal terreno. Si tratta di un valore che dovrebbe avvicinarsi il più possibile all'unità, e così è per sistemi come aspersione e, soprattutto, irrigazione localizzata, mentre scende allo 0,5 e anche meno con sistemi per espansione superficiale in ambienti molto caldi.

Metodi di adacquamento e impianti di irrigazione

Facendo riferimento alla sistemazione dei terreni le diverse tecniche seguite nell'erogazione dell'acqua possono essere ricondotte a tre gruppi fondamentali:

- al primo gruppo appartengono i *metodi per espansione superficiale*, che richiedono accurata preparazione del terreno. I principali sono: *sommersione*, *scorrimento*, *infiltrazione laterale*;
- al secondo gruppo appartengono i *metodi per aspersione e di irrigazione localizzata*, richiedenti sistemazioni superficiali modeste o assenti;
- al terzo gruppo appartiene la *subirrigazione*, nella quale l'apporto idrico viene erogato al disotto della superficie.

Irrigazione per sommersione.

Consiste nel coprire il terreno con uno strato di acqua di adeguato spessore che vi permane per un periodo di tempo più o meno lungo (sommersione permanente o temporanea). Richiede terreni pianeggianti non troppo permeabili, sistemazioni e manutenzione spesso onerose, corpi d'acqua consistenti.

Comprende:

Metodo a scomparti (Fig. 5.88). Tipico della risaia, prevede la divisione degli appezzamenti in scomparti (o *camere*), possibilmente regolari, ben livellati, a superficie orizzontale, separati gli uni dagli altri da argini in terra a sezione trapezoidale. Al loro interno, quando si eseguono le lavorazioni principali, vengono tracciati dei solchi acquai per favorire l'espansione dell'acqua e il suo allontanamento nei periodi di asciutta.

L'ampiezza degli scomparti varia da poche migliaia di m² a qualche ettaro, in relazione all'inclinazione ed alla configurazione naturale del terreno, al grado di permeabilità, alla disponibilità idrica, alla ventosità. L'acqua, fornita in dispensa continua per tutta la durata della stagione irrigua (aprile-settembre), arriva alla camera direttamente dall'adacquatrice nella sistemazione a scomparti indipendenti; oppure, tramite bocchette d'immissione, passa in successione alla serie di camere componenti l'appezzamento nella sistemazione a scomparti dipendenti. Scoline e/o colatrici svolgono spesso la duplice funzione di rete di sgrondo per gli appezzamenti posti a monte e di distribuzione per quelli posti a valle.

Quando si rende necessario (ad esempio per favorire il radicamento o per operazioni di diserbo e concimazione), s'interrompe l'immissione d'acqua (*asciutta*), la cui altezza, per tutto il resto della stagione, oscilla fra i 20 e i 5 cm.

Metodo a conche. Interessa terreni alberati posti in zone con modeste disponibilità idriche; si ottiene sommergendo una conca circolare scavata in corrispondenza della proiezione della chioma dell'albero. La conca è collegata attraverso canaletti o tubi mobili ad una adacquatrice che dispensa l'acqua in modo discontinuo. Per limitare il pericolo di marciumi alle radici si può migliorare la sistemazione realizzando una controconca al piede delle piante (Figg. 5.89, 5.90).

Irrigazione per scorrimento

L'acqua immessa nel campo scorre in modo costante e sotto forma di velo continuo per la durata dell'adacquamento. Richiede notevoli portate e una sistemazione di superficie generalmente molto costosa e accurata che dovrebbe consentire lo scorrimento e l'assorbimento uniforme del velo liquido, in funzione del corpo d'acqua disponibile, della permeabilità e della pendenza del terreno (Fig. 5.91).

Il metodo, soprattutto nelle sistemazioni tradizionali di seguito citate, ha una bassa efficienza irrigua (40-60%) ma consente modeste spese per la distribuzione dell'acqua.

Metodo a spianata, usato per colture foraggere, si adatta a terreni di medio impasto, permeabili e con pendenza naturale compresa tra 0,3 e 0,8%. Le parcelle irrigue o *spianate* hanno forma rettangolare, dimensioni variabili da 75 a 300 m di lunghezza e da 5 a 30 m di larghezza (in relazione alla struttura del terreno) e pendenza costante (mediamente 0,3-0,7%). Separano una spianata dall'altra piccoli arginelli di altezza tale (0,10-0,15 m) da non creare intralcio al movimento delle macchine. L'irrigazione si ottiene con il concorso di una adacquatrice posta sulla testata dell'appezzamento (lato più corto) e si sospende quando l'acqua ha bagnato circa l'80% della superficie. Possiede il pregio di un basso costo per la sistemazione del terreno.

Metodo a campoletto. Usato in pianura su prati ed erbai, rispetto al metodo a spianata presenta appezzamenti (*campoletti*) più larghi, una adacquatrice di testata (lato più corto) e due laterali (lato più lungo) che terminano a circa 2/3 della lunghezza, superficie con lieve pendenza longitudinale e concavità trasversale. Sull'appezzamento l'acqua converge da tre lati, facilitata dall'apertura di bocchette lungo il margine delle adacquatrici; la parte più bassa del campo viene irrigata con le colature. Il metodo è diffuso meno del precedente per le onerose opere di sistemazione e manutenzione, anche se i campi sono di dimensioni maggiori.

Metodo ad ala doppia. E' tipico delle *marcite*, prati permanentemente a duplice irrigazione: invernale a scopo termico e dispensa continua; estiva a scopo umettante e dispense discontinue (Fig. 5.92). Utilizza campi rettangolari a due falde (*ali*) contrapposte (lunghe 60- 100 m e larghe 6-12 m) con pendenza dell'ordine dell'1-2%. Dall'adacquatrice a fondo cieco posta sulla linea di colmo delle ali, l'acqua tracima dirigendosi lungo i lati delle stesse; qui si raccoglie nelle scoline, che a loro volta la convogliano nelle adacquatrici che servono gli appezzamenti posti a quote inferiori. Richiede alti costi di sistemazione e notevole manodopera.

Metodo ad ala semplice. Applicato con gli stessi scopi del precedente, differisce perché richiede terreni con pendenze naturali elevate (2-4%) e diversa sistemazione del terreno. I campi o ali sono di forma rettangolare con il lato più lungo (50-200 m) disposto a monte

dove si trova l'adacquatrice che eroga l'acqua per tracimazione; a valle, parallela ad essa, si trova una scolina destinata a raccogliere l'acqua non penetrata nel terreno.

Metodo a fossatelli orizzontali. In genere utilizzato in montagna per l'irrigazione di prati e pascoli, su terreni non sistemati con forte pendenza (5-30%). L'adacquatrice di testata, che si trova a monte dei campi fornisce l'acqua ad una adacquatrice che scende a valle secondo la linea di massima pendenza. Dall'adacquatrice si diramano i *fossatelli*, a spina di pesce (a distanza variabile da 5 a 40 m a seconda della pendenza e della struttura del terreno), che si sviluppano (con pendenza 0,1-0,2%) seguendo le curve di livello. Per evitare erosione e dilavamento è necessario che la cotica erbosa sia ben consolidata.

Irrigazione per infiltrazione laterale

L'acqua in questo caso non giunge a diretto contatto con tutta la superficie del terreno, ma scorre in solchi superficiali penetra nel terreno con movimento verticale e orizzontale (Fig. 5.93). Presenta notevoli vantaggi rispetto ai metodi precedenti:

- corpi d'acqua più contenuti;
- possibile utilizzo di acque fredde, incrostanti o luride;
- sistemazioni meno accurate;
- minor dilavamento e costipamento;
- maggior efficacia irrigua (55-75%).

Esige però solchi con pendenze uniformi e tempi lunghi nell'esecuzione dell'intervento irriguo. È utilizzato per colture ortensi e da rinnovo che necessitano di particolari lavori colturali (sarchiatura e rincalzatura) e anche per l'irrigazione di frutteti piantati a file. Si attua mediante la formazione di solchi disposti nel senso della lunghezza dell'appezzamento che intervallano una o due file di piante nelle colture sarchiate; una striscia di terreno nelle colture seminate a spaglio o a file ravvicinate; il filare nelle colture arboree.

In corrispondenza della testata del campo si trova l'adacquatrice, che distribuisce l'acqua in ogni solco (Fig. 5.94). L'immissione di acqua può avvenire anche da tubazioni fisse o mobili che dispongono di fori, oppure da sifoncini mobili di materiale plastico posti sull'argine che separa l'alimentatore dall'appezzamento (Fig. 5.95). Le dimensioni e le distanze dei solchi variano in relazione al terreno e alla coltura; la lunghezza dipende dal corpo d'acqua disponibile e dalla maggiore o minore permeabilità del terreno (Fig. 5.96). Infatti bisogna tener conto delle perdite per percolazione, che aumentano con l'aumentare della lunghezza dei solchi (Fig. 5.97).

Irrigazione per aspersione

A) Aspetti principali.

Il sistema di irrigazione per aspersione comporta l'erogazione dell'acqua sotto forma di pioggia artificiale che umetta la coltura e il terreno in modo uniforme, mediante l'impiego di apposite apparecchiature. I principali aspetti positivi sono:

- minore occupazione di terreno, e minori costi per le sistemazioni;
- possibilità di applicazione su terreni in pendio;
- possibilità di ridurre le perdite nel trasporto dell'acqua;
- possibilità di variare facilmente il volume di adacquamento;

- possibilità di utilizzare modeste portate;
- possibilità di abbinare all'irrigazione altre pratiche, quali la fertilizzazione, la difesa dalle brinate e dai parassiti, l'irrigazione climatizzante;
- possibilità di ridurre al minimo erosione e ristagni d'acqua;
- alta efficienza idrica.

I principali aspetti negativi sono:

- difficoltà di applicazione nelle zone ventose;
- difficoltà di impiegare acque salmastre nell'irrigazione soprachioma,
- maggior rischio di diffusione di malattie crittogamiche;
- maggiori costi per gli impianti di pompaggio e distribuzione, e per il loro funzionamento e manutenzione.

B) Costituzione e tipi di impianto.

Un impianto di irrigazione a pioggia è essenzialmente costituito da:

- un'opera di presa dell'acqua o stazione di pompaggio; la *pompa* è in genere di tipo centrifugo, azionata da motori vari, o dalla presa di potenza della trattrice. Le pompe possono avere portate tra 1 e 10.000 m³/h.
- una condotta di adduzione ed una o più condotte di distribuzione (tubazioni, in materiali vari) variamente sistemate a seconda del tipo di impianto; in genere si distingue tra *impianti fissi*, in cui l'intera rete di condotta destinata ad alimentare gli irrigatori è fissa, il che comporta alti investimenti conseguenti, sia il notevole sviluppo della rete di distribuzione (fino a 5000 m/ha), sia l'alto numero di irrigatori; *impianti semifissi*, nei quali è fissa ed interrata solo una parte della rete di condotta. Mobili sono invece le ali piovane realizzate in tanti elementi, fra loro collegabili a mezzo di opportuni giunti rapidi, la cui sistemazione richiede però un alto impiego di manodopera; *impianti mobili*, nei quali le ali piovane sono alimentate direttamente da pompe di solito azionate dalla presa di potenza di una trattrice; *impianti mobili con sistemi a grande superficie irrigua*, costituiti di carro-bobina dotato di irrigatore gigante a grande gittata (impianto a carro-bobina con tubo avvolgibile), o di impianti meccanizzati mobili a grande superficie irrigante (impianto pivot).
- apparecchi di erogazione denominati *irrigatori*.

Gli irrigatori sono gli apparecchi destinati a distribuire l'acqua sotto forma di pioggia nell'irrigazione per aspersione. Possono essere statici o rotativi, questi ultimi sono i più usati in agricoltura.

Quelli *statici* sono costituiti da elementi forati, o dagli stessi tubi che ricevono l'acqua a pressione contenuta (0,5-1 atm) e la distribuiscono in modo abbastanza uniforme; sono usati in orticoltura, giardinaggio, nelle serre di nebulizzazione, ecc.

Il tipo *rotante* è essenzialmente costituito da un *tubo di lancio* a sezione decrescente inclinato sull'orizzontale (12-30°) alla cui estremità di valle si trova un ugello da cui l'acqua effluisce con notevole velocità; il tubo di lancio, mediante l'impiego di appropriati meccanismi azionati dal getto medesimo, ruota attorno ad un asse verticale. Il getto, sia per effetto della resistenza dell'aria sia per l'interferenza di opportuni dispositivi detti *frangigetti*, viene polverizzato in gocce che cadono, dopo traiettorie di varia lunghezza, su di un'area circolare.

Possono essere a bassa, media e alta pressione, con diverse prestazioni (Figg. 5.98, 5.99)

L'intensità media della pioggia è una caratteristica degli irrigatori e rappresenta l'altezza dell'acqua distribuita sul terreno in 1 ora, espresso in mm, ed è data dalla portata in l/h, divisa per l'area servita in m². In rapporto all'intensità gli impianti si dividono in (Tab. 5.7):

- impianti a bassa intensità, per valori di <5 mm/h;
- impianti a media intensità, per valori di 6-10 mm/h;
- impianti a alta intensità, per valori > 10 mm/h.

Il cerchio di terreno irrigato è raramente umettato dalla stessa quantità di acqua; in genere cade più acqua nel centro, nei pressi degli irrigatori, e la quantità diminuisce via via che ci si avvicina ai bordi; questa regola può essere modificata da un'errata regolazione degli irrigatori (Fig. 5.100).

La *disposizione degli irrigatori* negli impianti fissi a copertura integrale può essere a quadrato o a triangolo (Fig. 5.101). Una certa superficie di sovrapposizione tra le superfici irrigate da irrigatori contigui può essere auspicabile, in quanto la quantità di acqua che raggiunge la periferia del disco irrigato è in genere minore e insufficiente. Inoltre la disposizione degli irrigatori può essere modificata in caso di presenza costante di venti prevalenti.

Un caso particolare degli irrigatori rotanti sono gli irrigatori mobili, destinati a grandi superfici irrigue:

Nel sistema a *carro-bobina con tubo avvolgibile* su tamburo (Fig. 5.102), comunemente chiamato rotolone, la versione più diffusa è quella che consiste in un carro-bobina fisso e in un irrigatore semovente montato su telaio a ruote o su slitta, posto all'estremità della tubazione; la trattrice provvede a srotolare la tubazione portando l'irrigatore nel punto dal quale si intende iniziare l'irrigazione; questa ha luogo man mano che l'irrigatore avanza sul terreno grazie al motore incorporato nel carro che riavvolge il tubo; il carro rimane fermo e collegato al tubo di adduzione.

Durante l'irrigazione viene irrigata una striscia rettangolare di terreno avente una lunghezza variabile di 200-300 m e oltre, ed una larghezza che, dai 30 m, arriva anche a 100 m; l'irrigatore avanza con velocità regolabile in funzione della dose di acqua distribuita. Nella pratica si verificano velocità di traslazione diverse a seconda se il tubo è tutto svolto o se il riavvolgimento è alla fine. Tale variazione non dovrebbe però superare il 10%.

Il *sistema pivot* (Fig. 5.103) consiste invece in una intelaiatura metallica montata su ruote, sulla quale sono inserite le tubazioni di distribuzione e i relativi irrigatori. Il sistema, azionato da motore idraulico o elettrico, ruota intorno a un perno (il pivot) descrivendo un cerchio intero, un mezzo cerchio, od un settore di cerchio (Fig. 5.104). Le larghezze di irrigazione partono da minimi di 70 m per giungere sino a massimi di 600 m. Si può utilizzare in terreni ben livellati e con pendenze massime del 5%.

Nel caso delle *torri semoventi con moto rettilineo*, la stazione di pompaggio montata su un carrello si sposta lungo un fosso o canale, mentre l'ala erogante, perpendicolare al canale, si sposta nella stessa direzione (Fig. 5.105).

Irrigazione localizzata o a microportata

L'irrigazione localizzata è un sistema di irrigazione che consente economie d'acqua da 1/3 a 1/2 rispetto all'irrigazione a pioggia. Si tratta di uno dei settori tecnologici più innovativi e dinamici in agricoltura; noi cercheremo di illustrare gli aspetti generali della

tecnica, e le sue più diffuse applicazioni, ma le varianti riguardo a apparecchiature, tecniche e materiali sono numerose ed in costante e rapida evoluzione.

L'aspetto fondamentale di questi sistemi di irrigazione (Fig. 5.106) è che erogano l'acqua irrigua su di una parte soltanto della superficie del suolo (nel caso di colture arboree, in prossimità delle singole piante e, nel caso di colture a file, lungo le medesime) (Fig. 5.107), funzionano a bassa pressione (in genere inferiore a 1,5 bar) e con portate specifiche di modestissima entità (per ogni erogatore 1-10 l/h), realizzando così alte efficienze irrigue; si possono utilizzare anche acque fredde, ed è facilitata la fertirrigazione. Lo scopo è quello di restituire giornalmente alle colture il volume di acqua consumato per evapotraspirazione nello stesso periodo. L'acqua raggiunge le colture in modo lento e continuo, e in tal modo il terreno esplorato dalle radici è mantenuto in condizioni costanti e ottimali di umidità, mentre non è necessario bagnare l'apparato epigeo delle piante stesse. L'irrigazione localizzata dirige lo sviluppo dell'apparato radicale in prossimità delle zone di terreno nelle quali le condizioni di umidità sono le più favorevoli, cioè tra la zona eccessivamente umettata e asfittica, e quella non umettata; si forma il cosiddetto "globoide di umidità" (Fig. 5.108), di forma diversa nei terreni con caratteristiche fisiche diverse.

In relazione al modestissimo valore delle portate di adacquamento si hanno sezioni idriche talmente piccole da risultare suscettibili di occlusione o di intasamento, sia da parte delle particelle eventualmente presenti in sospensione nell'acqua irrigua, sia da parte di eventuali depositi o di microrganismi. Diviene pertanto necessario procedere ad una filtrazione e ad un trattamento chimico delle acque. Altri aspetti negativi possono essere i costi dell'impianto, l'ostacolo dell'impianto (fisso) alle pratiche colturali, e i gravi pericoli di stress idrico se per qualche ragione l'erogazione deve essere interrotta, poiché non è stato favorito l'approfondimento degli apparati radicali.

L'impianto è essenzialmente costituito da:

- rete di alimentazione consistente in tubazioni fisse ed interrate;
- apparecchiature di filtrazione, di controllo e di regolazione;
- rete di distribuzione che termina con le tubazioni adacquatrici sulle quali sono inseriti gli organi erogatori, quando non sono le stesse tubazioni adacquatrici ad avere funzione erogatrice grazie ad una serie di fori opportunamente distanziati.

Gli erogatori rappresentano però la soluzione più diffusa. Nell'*irrigazione a goccia* si parla di gocciolatori, che possono essere posti fuori terra, sottoterra o sospesi (Fig. 5.109). I gocciolatori sono di varie fogge, e possono erogare l'acqua direttamente o attraverso tubicini detti "spaghetti". Per superare l'inconveniente dell'otturazione degli erogatori che spesso si verifica nei sistemi a goccia quando le acque non sono pure e il sistema di filtrazione non è efficiente, si ricorre all'*irrigazione a sorso*, nella quale l'acqua viene accumulata in piccoli serbatoi quanti sono gli erogatori, dai quali si ottiene un deflusso automatico e periodico attraverso fori di diametro non inferiore ai 5 mm.

Subirrigazione

L'*irrigazione sotterranea* o *subirrigazione* è un sistema basato sulla erogazione dell'acqua al disotto della superficie del suolo; l'acqua raggiunge le radici delle piante per capillarità.

Vantaggi:

- non crea ostacoli alle operazioni colturali e non interferisce con esse;

- consente una notevole automazione degli impianti (metodo a tubi sotterranei), con basse pressioni di funzionamento (0,1-0,3 atm);
- annulla le perdite per evaporazione e ruscellamento;
- riduce le infestazioni da erbe e da parassiti.

Svantaggi:

- elevato costo degli impianti;
- possibilità di notevoli perdite d'acqua per percolazione se si realizzano impianti troppo profondi;
- facilità di occlusione degli erogatori.

Le tecniche possibili per realizzare questo tipo di irrigazione sono due:

Subirrigazione freatica. Viene ottenuta innalzando la falda idrica fino a livello delle radici delle piante mediante apporti d'acqua nella rete aziendale superficiale (affossatura) o sotterranea (dreni). Il metodo è poco costoso ma difficilmente realizzabile se la falda è troppo profonda e il terreno presenta caratteristiche fisiche non adatte alla risalita dell'acqua.

Subirrigazione capillare. Ottenuta interrando, a profondità adeguata, dei tubi disperdenti, che rilasciano l'acqua in prossimità della rizosfera delle piante. L'ostruzione degli organi eroganti, grave inconveniente lamentato da questo metodo, si può superare impiegando tubazioni flessibili di plastica (diametro 10-20 mm), provviste di aperture (lunghe 5-8 mm) che si aprono sotto la spinta esercitata dalla pressione dell'acqua e si richiudono quando questa cessa.

5.4.4 Aridocoltura.

Per *aridocoltura* si intende un insieme di tecniche agronomiche impiegate nelle zone dove le scarse precipitazioni e l'assenza di irrigazione costituiscono un limite alla produttività delle colture.

Le linee lungo le quali si muove ogni sistema di aridocoltura sono: incrementare il più possibile l'accumulo nel terreno di acqua meteorica, ridurre al minimo le perdite di acqua per evaporazione e traspirazione, ottenere dall'acqua il massimo rendimento produttivo.

Le tecniche agronomiche utilizzabili per raggiungere gli scopi dell'aridocoltura sono numerose; le più importanti sono le seguenti:

- sistemazioni particolari dei terreni (costruzione di argini per frenare la velocità dell'acqua, favorire l'allagamento dei campi e facilitare la penetrazione dell'acqua nel terreno);
- lavorazioni profonde effettuate prima della stagione più piovosa;
- lavorazioni superficiali che limitano l'evaporazione, come le sarchiature, e controllano le erbe infestanti, come le erpicature;
- pacciamatura e diserbo chimico, che raggiungono gli stessi scopi delle lavorazioni superficiali, talvolta in modo più conveniente ed efficace;
- barriere frangivento, per ridurre l'evaporazione;
- utilizzazione del maggese. L'applicazione razionale di questa tecnica vorrebbe una lavorazione profonda prima del periodo di maggior piovosità e lavorazioni superficiali nella primavera e nell'estate successiva per eliminare le infestanti e le perdite d'acqua per evaporazione;
- impiego di colture autunno-vernine (frumento, fava, veccia, ecc.), la cui fase di sviluppo coincide nei nostri climi con il periodo delle piogge;

- adozione di specie resistenti alla siccità, sia per la capacità di estrarre acqua dal terreno (es. alberi da frutto meglio delle erbacee; erbamedica meglio del trifoglio) che per caratteristiche xerofitiche (es. miglio, sorgo, frumento duro, fava).
- semine a file con limitata densità di piante nell'unità di superficie, che consentono un maggior sfruttamento delle scarse riserve idriche del suolo.

5.4 Regime idraulico

Si intendono con *regime idraulico* tutte le opere che presiedono alla difesa dagli effetti negativi derivanti da eccesso o difetto delle acque, e alla loro utilizzazione.

5.4.1 Bonifica

La difesa si attua con le grandi opere di *bonifica* e con le piccole opere di bonifica, o *sistemazioni idraulico-agrarie*. La difesa dagli eccessi idrici è fatta in base alle precipitazioni medie massime in un certo periodo, e non in base a quelle eccezionali.

Le grandi opere di bonifica hanno la funzione di eliminare l'eccesso di acqua ed assicurare così il *franco di coltivazione*, l'altezza massima che in una determinata area la falda freatica deve raggiungere, nel periodo di massime precipitazioni, in modo da non danneggiare le colture (Tab. 5.5). Tale obiettivo può essere raggiunto in molti modi, ma sostanzialmente la scelta è tra l'innalzare il livello dei terreni (*colmata*), o abbassare il livello delle acque (*emungimento*).

Tipi di bonifica

La *bonifica per scolo naturale* è caratterizzata da una quota altimetrica dell'area da bonificare superiore a quella dei bacini di raccolta. Basta quindi aprire una via di scolo alle acque, che defluiranno per gravità.

Nel caso della *bonifica per scolo intermittente*, l'area da bonificare è posta in condizioni di scolo agevole solo in certi periodi, quando il bacino ricevente non è in piena; non appena si verifica la piena lo scolo non è più possibile.

Bonifica per sollevamento meccanico: tutto o quasi il comprensorio di bonifica si trova ad una quota pari al livello del bacino ricevente, se non addirittura inferiore. Questo tipo di bonifica si attua delimitando il *compensorio di bonifica* ed arginando la zona depressa, per impedire il rientro delle acque. In seguito i terreni del comprensorio vanno suddivisi in terre alte, medie e basse. Le prime si trovano a un livello superiore al bacino ricevente, e possono scolare grazie ad un emissario a parte (*canale delle acque alte*), le seconde possono scolare in modo solo intermittente (*canale delle acque medie*), le ultime scolarono solo con le idrovore (*canale delle acque basse*). Nel caso delle bonifiche per emungimento il franco di coltivazione non è stabile: è maggiore all'inizio della bonifica, e via via che il terreno si assesta diminuisce.

Bonifiche per colmata (Fig. 5.61): richiedono la costruzione di una rete di canali che convogli l'acqua torbida di fiumi o torrenti sul terreno depresso; infatti le acque che attraversano zone ricche di materiali argillosi si caricano, nel periodo di massime precipitazioni, quando i corsi d'acqua scorrono più impetuosi, di particelle in sospensione. Convogliate nelle zone depresse e arginate, in seguito a drastica riduzione di

velocità, le acque depositano tali materiali; una volta divenute limpide vengono fatte defluire. Le opere di colmatazione hanno il pregio di essere opere che forniscono risultati permanenti, ma richiedono molto tempo (30 anni e oltre per 1 metro di innalzamento di livello del terreno). I terreni che ne risultano sono ottimi, sia sotto l'aspetto chimico che sotto quello fisico..

5.4.2 Sistemazioni idraulico-agrarie

Le sistemazioni idraulico-agrarie sono tecniche con le quali viene modellata la superficie dei terreni coltivati, allo scopo di eliminare le acque in eccesso o di salvaguardare il suolo dall'azione erosiva delle piogge.

Sistemazioni dei terreni in piano

Effetti dell'eccesso idrico

Si ha eccesso di acqua quando gli afflussi idrici (acque meteoriche o di irrigazione) superano la capacità di ritenuta del terreno. È uno stato di saturazione del suolo che compromette lo sviluppo della maggior parte delle colture e l'esecuzione tempestiva delle operazioni colturali (semina, lavorazioni, trattamenti, raccolta, ecc.).

Tra gli effetti negativi dell'eccessiva umidità abbiamo:

- A) insufficiente ricambio gassoso a livello della rizosfera, con un conseguente eccessivo accumulo di CO₂ e ridotta presenza di ossigeno;
- B) ridotto assorbimento degli elementi nutritivi a causa del loro eccessivo dilavamento, delle condizioni fisiologiche sfavorevoli della pianta, e per l'instaurarsi di fenomeni biochimici dannosi (inibizione dei processi aerobici di trasformazione della sostanza organica e dei minerali, e stimolo alla denitrificazione);
- C) ridotto accrescimento radicale, il che rende la pianta più debole e vulnerabile ad altre avversità;
- D) condizioni favorevoli per sviluppo di erbe infestanti e di malattie parassitarie, sia per l'indebolimento della pianta che per la maggior virulenza di tali attacchi;
- E) raffreddamento del suolo bagnato, che ha come conseguenza una ritardata ripresa vegetativa;
- F) effetti negativi sulla struttura del terreno, a causa della mancata azione del gelo e disgelo, dello spappolamento delle argille, della impossibilità di esecuzione delle lavorazioni (o della loro esecuzione su terreno non in tempera).

Lo smaltimento delle acque superflue può essere realizzato attraverso due principali modalità: affossatura e drenaggio.

Affossatura

L'*affossatura* consiste nell'apertura di una rete di trincee a cielo aperto, destinata a raccogliere e smaltire le acque superficiali, nonché quelle di falda quando troppo vicine alla superficie. Questi piccoli canali prendono il nome di *scoline* o *fossi*.

L'affossatura offre diversi vantaggi:

- abbassamento della falda freatica, e conseguente aumento del franco di coltivazione;
- raccolta delle acque che non penetrano nel terreno, e di quelle che non riescono a percolare al di sotto della suola d'aratura (Fig. 5.62);
- notevole capacità d'invaso;
- rapido deflusso delle acque anche con lievi pendenze;
- esecuzione completamente meccanizzabile, a costi contenuti.

Vi sono però anche aspetti negativi della tecnica che vanno conosciuti:

- necessità di manutenzioni periodiche;
- aumento delle tare, o superficie non coltivabile;
- impedimento alla circolazione delle macchine;
- punti di diffusione di semi di erbe infestanti.

Le scoline possono scaricare in invasi naturali (corsi d'acqua, bacini vari), o in fosse di 2a raccolta o collettori, artificiali. Il volume dell'affossatura dipende da numerosi fattori, quali la capacità di trattenuta idrica e di percolazione delle acque in eccesso di un terreno, la frequenza e l'entità delle piogge più intense in un dato comprensorio, la pendenza, ecc.; in generale, passando dai terreni più sciolti a quelli più compatti, si ha un'affossatura di 100-300 m³/ha, con punte di 400 m³. Tale differenza si realizza di solito operando sulle distanze tra le scoline (da 15 - 20 m nei terreni molto argillosi a 35 - 40 m nei terreni molto sciolti) e sulla loro sezione, in misura minore (Fig. 5.63). La profondità delle scoline deve essere superiore alla profondità di lavorazione

Per lo scavo delle scoline sono oggi utilizzate apposite macchine *scavafossi* (Figg. 5.64, 5.65).

Nel caso di terreni perfettamente pianeggianti è indispensabile ricorrere al modellamento del terreno, per dare a questo delle pendenze artificiali che favoriscano il deflusso dell'acqua verso le scoline; l'insieme di queste pendenze si chiama *baulatura*, e vi si è già accennato trattando dell'aratura. I terreni baulati presentano una linea centrale di colmo, in genere parallela al lato lungo, e due spioventi (*b. a schiena d'asino*), oppure quattro (*b. a padiglione*) (Fig. 5.66). La differenza di livello tra linea di colmo e margini del campo dipende dalle caratteristiche ambientali e del terreno, ed è massima nei terreni pesanti in ambienti caratterizzati da forti piovosità stagionali.

Drenaggio

Con *drenaggio* o *fognatura* si intende un sistema di canali sotterranei, atti a raccogliere le acque in eccesso. Anche il drenaggio quindi è utile ad abbassare la falda freatica, ma a differenza dell'affossatura non può raccogliere le acque superficiali o subsuperficiali che non riescono a percolare. Il drenaggio presenta comunque numerosi vantaggi rispetto all'affossatura:

- assenza di tare negli appezzamenti in coltura;
- assenza di ostacoli alla circolazione delle macchine, e quindi semplificazione di tutte le operazioni colturali;
- minori costi di manutenzione;
- assenza di focolai di piante infestanti;
- migliore arieggiamento del terreno;
- minore evaporazione superficiale nei periodi asciutti.

Svantaggi invece sono:

- minore rapidità nello smaltimento delle acque;
- necessità di pendenze maggiori;
- incompatibilità con le colture arboree, per il disturbo dato dalle radici degli alberi;
- maggiori costi di realizzazione.

Fognatura

È il sistema più antico di drenaggio. Esso implica la costruzione di fosse emungenti sotterranee a profondità variabile (0,80 - 1,20 m), larghe 60-70 cm in alto e 40-50 cm in basso, nelle quali sono ottenuti cunicoli con pietra, mattoni, canne o fascine, sovrastati da materiale drenante (ciottoli, ghiaia). Il tutto viene poi ricoperto di terra fino al livello di campagna (Fig. 5.67a).

Aratura fognante

Si tratta di creare una rete di piccole gallerie, a distanza commisurata alle caratteristiche del terreno e delle necessità di smaltimento. Tali gallerie (lunghe da 50 a 100 m con pendenze intorno allo 0,5%) vengono realizzate con l'*aratro talpa*, costituito da un organo discissore che entra nel terreno e porta all'estremità inferiore un organo lavorante cilindrico e appuntito, con un diametro di 7-8 cm (vedi Lavorazioni). L'organo discissore, tagliando il terreno, favorisce la penetrazione dell'acqua, la quale poi scorre nelle gallerie sotterranee scavate dall'obice. Il lavoro è completato dal *lisciatoio*, sfera metallica trascinata dall'obice, che comprime le pareti della galleria, rendendole più stabili.

È un sistema economico, che nei terreni pesanti può arrivare a durare anche 3-4 anni. Effetti simili, e meno duraturi, si possono avere anche con la scarificazione profonda.

Drenaggio

Il *drenaggio* propriamente detto (meglio definito come drenaggio sottosuperficiale), consente l'allontanamento delle acque in eccesso attraverso condotte sotterranee che scaricano in canali di raccolta.

La tecnica del drenaggio prevede la costituzione di una rete principale in cui si immettono i collettori secondari, nei quali affluiscono le acque dei *dreni* (Figg. 5.67b, 5.69). Gli elementi drenanti vanno posti a profondità e distanze diverse a seconda della natura del terreno e della coltura prevista: da 1 a 1,5 metri di profondità passando dai prati alle colture a radici fittonanti, e da 12 a 24 metri e oltre dai terreni argillosi a quelli sabbiosi (Fig. 5.70). La pendenza che garantisce un rapido smaltimento delle acque non può essere inferiore al 2-3‰. I dreni tradizionali sono tubi di terracotta porosa, di 30-40 cm di lunghezza; i vari elementi sono posti in opera inserendoli l'uno nell'altro, e l'acqua penetra dagli spazi esistenti nei punti di collegamento. I diametri sono di solito compresi fra 100 e 150 mm. Più recentemente si sono utilizzati tubi di plastica di polietilene ad alta densità (PEAD) o di cloruro di polivinile (PVC). I tubi possono essere lisci o corrugati; quelli di maggiori dimensioni sono spesso rivestiti di materiale che impedisce alle particelle di terreno di penetrare nel tubo, oggi spesso fibra di cocco (Figg. 5.71, 5.72)

Esistono diversi sistemi per meccanizzare, a livelli diversi, la posa dei tubi da drenaggio. Un sistema consiste nello scavare la fossa utilizzando una benna, posare manualmente i tubi sul fondo della stessa e ricoprire.

Tempi di posa più ridotti possono essere ottenuti con macchine scavafossi. La meccanizzazione più spinta si può ottenere con le cosiddette macchine posadreni talpa o posadreni fognatrici, che sfruttano lo stesso principio dell'aratro talpa, spingendo il tubo nel fondo della fessura creata dall'organo lavorante, fessura che si richiude da sé dopo il passaggio (Figg. 5.68, 5.72)

Sistemazioni di pianura

Le sistemazioni idraulico-agrarie dei terreni di pianura hanno lo scopo di mantenere le condizioni idriche ottimali nei periodi di maggiori precipitazioni. Rispetto alla situazione di 40-50 anni fa, nella quale il panorama era dominato da sistemazioni che erano rimaste pressoché immutate per secoli, si è avuta una evoluzione tecnica notevole; tale evoluzione è stata determinata da diversi fattori, tutti però riconducibili al fatto che la estrema meccanizzazione, determinata dal crescente costo della manodopera, dai bassi prezzi dei carburanti e, relativamente, delle macchine, dai migliori risultati tecnici ottenibili, ha fatto sì che scomparissero le colture promiscue, che molte opere idrauliche passassero da permanenti a temporanee, che le dimensioni delle unità colturali minime aumentassero.

Pertanto può risultare arduo riconoscere le suddette sistemazioni nella forma tipica con cui furono inizialmente attuate; ciononostante la descrizione delle principali sistemazioni classiche è un passaggio obbligato per comprendere le determinazioni tecniche alla loro attuazione, e le modalità con le quali sono state modificate.

Sistemazione a cavalletto o alla bolognese (Fig. 5.73)

E' una sistemazione che realizza un ottimo sgrondo del terreno, e si è particolarmente sviluppata nelle zone argillose tra il bolognese e il delta del Po. I campi, di forma rettangolare, lunghi 80-120m e larghi 30-35m, hanno la superficie con baulatura a padiglione, e sono delimitati da doppie scoline sul lato lungo e da capezzagne accompagnate da un capofosso alle testate. Tra le coppie di scoline sono strette strisce di terreno (larghe 4-6m) denominate cavalletti, con filari di vite maritata all'acero. Il volume complessivo dell'affossatura è di 180-200 m³/ha, le tare l'8-12%.

Oggi il cavalletto non viene ricreato, sostituito da una affossatura relativamente profonda.

Sistemazione a piantata (Figg. 5.74, 5.75)

Nei terreni più sciolti dell'Emilia occidentale e della Lombardia meridionale, è più diffusa la piantata. Rispetto al cavalletto, nella piantata scompaiono le scoline laterali, sostituite da una semplice linea di compluvio o depressione tra campo e piantata (filare arborato su una striscia di terreno a fianco del campo) che sgronda le acque meteoriche nelle capezzagne. Rispetto al cavalletto i campi sono più corti, e l'affossatura poco più della metà.

Sistemazione a prode o a rivale o alla toscana (Fig. 5.76)

E' la più antica, e tipica toscana, ove il terreno della fattoria è diviso in sezioni rettangolari di uguale superficie cui si dà il nome di campi o tràmiti, di lunghezza variabile e con baulatura a schiena d'asino. Sui lati lunghi dei campi (uno o entrambi) sono filari di viti, spesso maritate a sostegni vivi; lo spazio tra il filare e il fosso è la

proda. La presenza del filare, la impossibilità a lavorarlo come il resto del campo, ed il conseguente ristagno in punti interni al filare stesso determinano un cambiamento del profilo, detto a basto rovescio (Fig. 5.77). È una sistemazione che è utilizzata in ambienti molto diversi, e l'affossatura quindi varia tra i 100 e i 280 m²/ha; le tare sono ridotte, 5-8%.

Sistemazione a cavini o alla padovana (Fig. 5.78)

In questa sistemazione, diffusa nelle terre basse del veneto a scarsa cadente, e soprattutto dove vi è difficoltà o addirittura impossibilità di scolo durante i periodi di maggiore piovosità, la linea di colmo è perpendicolare al lato più lungo del campo. È caratterizzata da una pronunciata baulatura nel senso della lunghezza del campo (1-1,5m) e dalla mancanza di scoline laterali. I campi sono separati da strisce arborate; sui lati corti si trovano affossature (cavini) o strade-fosso (capezzagne). L'affossatura non è eccessiva (100-110 m³/ha), le tare coprono il 10-14% della superficie. Grazie all'eliminazione delle alberature, evoluzione analoga a quella riscontrata anche nella piantata e nella proda, nel cavino si vengono a formare appezzamenti particolarmente estesi, in quanto quello che era il lato lungo del campo diviene il lato più corto, e la linea di colmo della baulatura in tal modo è parallela ai lati lunghi.

Sistemazione a larghe o alla ferrarese (Fig. 5.79)

Sistemazione che si ritrova spesso nei terreni di recente bonifica, privi di alberature. È costituita da una rete di stradoni sopraelevati, che dividono il terreno in vasti appezzamenti, a loro volta suddivisi in campi con baulatura a padiglione o a schiena d'asino, molto lunghi. L'affossatura è notevole, fino a 300 m³/ha, le tare il 10-15%.

Sistemazioni dei terreni declivi

Scopi delle sistemazioni in pendio

Quando un terreno supera il 5% di pendenza è considerato declive, o in pendio; oltre il 25-30% diviene difficilmente lavorabile e sistemabile, se non con ciglionamenti o terrazzamenti. I terreni declivi presentano alcuni problemi, a volte difficilmente superabili: oltre alla difficoltosa lavorabilità, possono essere di difficile accesso, con suolo di scarso spessore, con problemi di erosione. Questi fattori ne hanno in molti casi determinato l'abbandono, anche e soprattutto nel recente passato. D'altronde non si può immaginare di concentrare nella sola pianura la nostra agricoltura, data l'estensione dei terreni declivi sulla superficie nazionale, né si possono sottacere i problemi di dissesto idrogeologico derivanti dall'abbandono di terreni già coltivati, e quelli di altro ordine dovuti allo spopolamento delle campagne meno favorite. Inoltre vi sono produzioni agricole che sono esaltate dall'ambiente collinare e montano, soprattutto da un punto di vista qualitativo. È quindi interesse della comunità mantenere abitati e ben gestiti da un punto di vista agricolo e selvicolturale gli ambienti caratterizzati da forti pendenze del terreno.

Nella preparazione di una sistemazione di collina, il primo intervento è in genere l'allontanamento delle acque poste più in alto delle terre coltivate, con lo scavo di una *fossa di guardia*.

Alla base delle sistemazioni in pendio sono la *fossa livellare* e l'*acquidoccio*. La fossa o strada livellare segue le quote del terreno e raccoglie le acque superficiali e profonde; è in genere 5-10 cm più profonda dello strato lavorato. La larghezza della fossa è di circa 1m e la lunghezza non deve essere superiore a 200 m, per evitare portate troppo forti. La pendenza è dell'1-2,5%, e deve essere costante. Le fosse sono aperte nei punti dove l'acqua rallenta il suo movimento, a distanza di 60-100 m l'una dall'altra. Le acque sono scaricate in impluvi naturali o in acquidocci, cioè scoline costruite secondo le linee di massima pendenza e rivestite in modo da non subire erosione. La fossa livellare può talvolta scorrere sul lato a monte di una strada.

Dopo la semina la sistemazione è completata dallo scavo dei *fossi acquai*, affossatura più superficiale.

Per quanto riguarda le lavorazioni, queste possono essere eseguite secondo le *curve di livello* (o *in traverso*) o a *rittochino*, cioè secondo la massima pendenza (Fig. 5.80). Il primo sistema è spesso poco preciso per l'irregolarità dell'avanzamento che aumenta con la pendenza. La lavorazione a rittochino, che prevede il ritorno a vuoto, presenta diversi vantaggi: omogeneità di lavorazione a buona profondità, possibilità di utilizzare la trattoria a ruote, minore usura del mezzo; per contro, il pericolo di eccessiva erosione che questa tecnica può determinare può essere annullato da un accorciamento della lunghezza dei campi col crescere della pendenza, e dalle lavorazioni complementari effettuate in traverso.

Un'altra tecnica di difesa dall'erosione, sia idrica che eolica, molto diffusa negli Stati Uniti, è la coltura a *strisce livellari* (Fig. 5.81); è applicabile con pendenze che consentano la lavorazione in traverso (5-15%), ed i campi, lunghi anche chilometri, sono di larghezza variabile con la pendenza (20-40 m). Le varie strisce sono coltivate con specie diverse, in modo che in ogni momento dell'anno siano contigue colture in fasi diverse del loro ciclo, e con caratteristiche diverse nei confronti dell'erosione.

Principali sistemazioni di collina

Sistemazione a rittochino

Questa sistemazione è utilizzata nel caso di pendenze accentuate, per sfruttare i vantaggi della omonima tecnica di lavorazione, fatta secondo le linee di massima pendenza. La lunghezza delle unità di terreno è variabile a seconda della pendenza, andando da poche decine di metri per pendenze molto forti (25-30%) a 150-200 m per pendenze lievi (5-10%).

Sistemazione a girapoggio (Fig. 5.82)

È, come la precedente, una vecchia sistemazione, e interessa solo per investimenti a prati e pascoli permanenti. Le unità colturali sono delimitate da *scoline* che seguono quasi fedelmente l'andamento delle linee di livello (pendenza dell'1,5-3%), per cui, se le condizioni lo permettono, queste scendono verso il piano con una tipica conformazione ad elica delimitando appezzamenti di larghezza variabile in funzione della pendenza del terreno. Le scoline scaricano in acquidocci o invasi naturali che si presentano nella morfologia del pendio..

Sistemazione a cavalcapoggio (Fig. 5.83)

Si adotta in terreni che hanno pendenze fino al 20% e oltre. Gli appezzamenti sono delimitati da scoline equidistanti, spesso alberate, che confluiscono in collettori o invasi naturali. Le scoline sono tracciate dall'intersezione di piani verticali con il terreno. Si vengono quindi a formare diverse pendenze.

Sistemazione a spina (Fig. 5.84)

Si tratta di una sistemazione abbastanza laboriosa, che si ottiene attraverso un complesso modellamento, cercando di sfruttare il movimento dell'acqua al fine di favorire l'erosione in certi punti e la sedimentazione in altri. Il risultato è l'ottenimento di campi regolari con larghezze variabili da 8 a 12 m, con ottime caratteristiche agronomiche ed idrauliche. Oggi la sistemazione è ottenibile rapidamente con i potenti mezzi meccanici disponibili, ma continua a essere caratterizzata da alti costi unitari.

Terrazzamento e ciglionamento (Fig. 5.85)

Quando la pendenza è troppo forte (oltre il 30%), si può trasformare il pendio in pianura, scavando e riportando il terreno in modo da configurare l'appezzamento a scalinata. Si tratta di una tecnica antichissima e molto diffusa in tutte le civiltà agricole del mondo, dall'America Centrale all'Estremo Oriente, al Mediterraneo. L'unità di questa sistemazione è costituita da: la *panchina*, o *muro a secco* in pietra; la *lenza*, o *pianale*, superficie coltivata con leggera pendenza a monte; il *canaletto di scolo*, ai piedi del muro, che raccoglie le acque superficiali. In caso di pendenze irregolari, e in genere inferiori a quelle che richiedono il terrazzamento, si parla di *gradonamento*; le *lunette* invece sono opere analoghe che servono a mantenere singoli alberi in ambienti poveri di suolo: la terra è portata all'albero, e mantenuta sul posto da muretti semicirculari.

Anche i *ciglioni* sono adottati in presenza di pendenze meno forti; le panchine sono inclinate e inerbite, le lenze sono relativamente ampie, e con una leggera pendenza verso valle.

5.4.3 Irrigazione

La quantità di acqua necessaria ad una determinata coltura, il periodo di tempo in cui tale acqua deve essere distribuita e le modalità tecniche con le quali tale distribuzione ha luogo, costituiscono nel loro insieme quello che viene definito come *regime irriguo* di una coltura.

Fin dai tempi delle antiche civiltà, come la cinese, l'assira, l'egizia, l'irrigazione è stata un mezzo estremamente efficace per accrescere e, quel che più conta, rendere pressoché costanti le produzioni vegetali; spesso la necessità di organizzare grandi lavori per la provvista e la distribuzione dell'acqua è stata la causa prima della nascita di quelle grandi società imperiali.

La provvista d'acqua e le caratteristiche meccaniche, fisiche e biochimiche del suolo sono strettamente interdipendenti. L'acqua è indispensabile alla vita delle piante ed allo svolgimento delle loro funzioni fisiologiche, comprese quelle che conducono alle produzioni che a noi più stanno a cuore, e ha pure notevole importanza sulla esecuzione e

sull'efficacia dei lavori agricoli. Solo parte dell'acqua meteorica penetra nel terreno, mentre una frazione spesso notevole si disperde per evaporazione immediata o per ruscellamento superficiale. Ma anche l'acqua che penetra nel terreno non è tutta assorbita dalle radici: vi sono i fenomeni di percolamento e quelli di capillarità che ne rendono inutilizzabile per ragioni opposte una certa percentuale. Perciò l'acqua meteorica di cui possono disporre le piante varia entro limiti molto ampi secondo la distribuzione delle precipitazioni, la qualità dei terreni, il clima, le colture, argomenti peraltro già trattati in precedenza.

D'altronde l'irrigazione è praticata per un gran numero di ragioni, che conviene riassumere:

A) *irrigazione ammendante* : ha lo scopo di migliorare le proprietà fisiche del terreno, trasportando in sospensione materiale terroso diverso da quello predominante nel terreno irrigato;

b) *irrigazione antiparassitaria* : serve a combattere certi parassiti, affogandoli (fillossera, arvicole) o trasportando antiparassitari;

C) *irrigazione correttiva* : intende modificare il pH;

D) *irrigazione dilavante* : per eliminare l'eccesso di sali;

E) *irrigazione fertilizzante (fertirrigazione)* : somministrazione di concimi disciolti nelle acque di irrigazione;

F) *irrigazione termica* : si propone di modificare la temperatura del terreno o delle piante (per esempio nelle marcite e nei frutteti, con scopi spesso assai diversi a seconda dell'epoca);

G) *irrigazione umettante*: serve a mantenere nel terreno una conveniente disponibilità idrica anche nei periodi nei quali difetta l'acqua meteorica. È quella di gran lunga più diffusa, e alla quale normalmente faremo riferimento. Un caso particolare dell'irrigazione umettante è l'*irrigazione di soccorso*, che serve a far superare alla pianta un momento critico dello sviluppo, eccezionale e non prevedibile con certezza.

Qualità delle acque irrigue

Le acque usate per l'irrigazione possono avere caratteristiche fisiche e chimiche tali da renderle inadatte allo scopo, o da richiedere accorgimenti particolari. È quindi necessario conoscere tali caratteristiche, delle quali le più importanti sono:

Temperatura. L'acqua del sottosuolo è fredda durante l'estate, calda durante l'inverno; le acque superficiali (ad esempio quelle lontane dall'origine di un corso) sono calde nella stagione estiva e fredde in quella invernale; inoltre, l'acqua irrigua può essere considerata fredda o calda in relazione alla località d'impiego, alla coltura e al sistema d'irrigazione utilizzato.

La temperatura ottimale dovrebbe essere pressoché uguale a quella delle colture e del terreno in corrispondenza delle radici; infatti l'impiego di acque fredde può causare ritardi di vegetazione e disturbare l'attività fisiologica delle piante con conseguenti cali di produzione.

Utili accorgimenti per aumentare la temperatura dell'acqua sono:

- costringerla a lunghi percorsi a serpentina (caldane in risaia);
- farla sostare in appositi serbatoi;
- usare sistemi irrigui che sfruttano quantità ridotte d'acqua;

- irrigare quando è minima la differenza tra temperatura del suolo e temperatura dell'acqua (ad esempio nelle ore mattutine o in quelle notturne).

Sostanze in sospensione. Possono essere di origine minerale (acque torbide ricche di materiali come argilla e limo) o di origine organica (acque luride derivate da scarichi fognari, allevamenti zootecnici, macelli, concerie, ecc.). Le *acque torbide* sono vantaggiosamente impiegate nelle bonifiche per colmata e nei terreni con tessitura anomala per la funzione ammendante che svolgono (torbide argillose su terreni sabbiosi e viceversa). Le acque superficiali hanno coefficiente di torbida (quantità espressa in grammi di sostanze sospese in un m³ di acqua) variabile secondo la loro provenienza; più limpide sono invece le acque sotterranee.

Gli aspetti negativi del loro impiego sono rappresentati da:

- interrimento della rete irrigua con conseguente maggiorazione delle spese di manutenzione;
- occlusione degli ugelli nell'irrigazione a goccia;
- imbrattamento dei foraggi e delle colture ortensi.

Le *acque luride* possono essere utilizzate per aumentare la fertilità del terreno. Ai fini agronomici la loro validità è condizionata dalla carica batterica che può risultare dannosa alla salute degli uomini e degli animali se trasmessa (soprattutto con il metodo per aspersione) su vegetali consumati crudi come ortaggi, frutta, foraggi. A questo proposito i microrganismi più segnalati sono coliformi, streptococchi, salmonelle, ecc.

Sostanze in soluzione. Sono rappresentate principalmente da sodio, calcio, magnesio, carbonati, solfati e cloruri. La concentrazione quantitativa e qualitativa di questi elementi è uno dei più importanti parametri di valutazione dell'acqua destinata all'irrigazione: infatti, un contenuto eccessivo di sali determina, a contatto con il terreno, reazioni fisiche e chimiche negative per la fertilità del suolo e la vita delle colture.

Concentrazione salina totale. Una classificazione ancora diffusa distingue le acque in:

- Dolci, con meno del 1,5‰ di residuo secco;
- Salse, con un residuo secco pari o superiore del 1,5-2‰;
- Dure, se contengono quantità notevole di solfati (durezza permanente) e bicarbonati (durezza temporanea) di calcio e magnesio.

Poiché gli effetti negativi di elevate concentrazioni saline sulle piante non si devono tanto al contenuto totale di sali solubili presenti nella fase liquida, quanto alla pressione osmotica determinata dagli stessi, si è proposto di ricorrere anche per la valutazione dell'acqua irrigua alla determinazione della sua *conduttività elettrica (ec)*, indice strettamente collegato con la pressione osmotica della soluzione circolante.

Qualità' dei sali disciolti. Gli elementi che, allo stato di ioni disciolti, possono causare effetti nocivi al terreno e alle piante sono:

Sodio (Na⁺). Svolge azione tossica diretta, anche a basse concentrazioni, su colture particolarmente sensibili (essenze arboree) e, se presente in alte concentrazioni, indiretta sul terreno (degrado della struttura, abbassamento della velocità d'infiltrazione e della permeabilità) per l'antagonismo esercitato su calcio e magnesio che tende a sostituire.

La pericolosità del sodio si esprime con l'indice SAR (*sodium adsorption ratio*). Livelli di SAR superiori a 9 indicano fitotossicità certa per le colture e perdita di struttura per peptizzazione delle argille.

Carbonati (CO_3^{--}) e *bicarbonati* (HCO_3^-). Le acque che li contengono in quantità elevata presentano la tendenza a far precipitare calcio e magnesio sotto forma di carbonati; il fenomeno può dar luogo ai seguenti inconvenienti:

- Otturazione dei gocciolatori nell'irrigazione a microportata,
- Formazione di patine calcaree sulle parti aeree delle piante nell'irrigazione per aspersione;
- Aumento del livello di sodio con effetti negativi per la struttura del terreno e per le piante;
- Aumento del pH per formazione di carbonati e bicarbonati di sodio in presenza di elevate concentrazioni dello stesso.

Cloruri (Cl^-). In genere nelle acque d'irrigazione il loro contenuto non è tale da creare problemi di tossicità per le colture a meno che non superino concentrazioni pari a 5 meq/l nelle irrigazioni per espansione superficiale e pari a 2-3 meq/l in quelle soprachioma.

Solfati (SO_4^{--}). In quantità superiore a quella dei bicarbonati, la loro presenza si rivela utile in quanto essi bloccano la formazione di carbonato di calcio e di sodio.

Gas disciolti. La quantità totale presente nell'acqua varia da 30 a 50 cm^3/l ; sono rappresentati principalmente da ossigeno, azoto, anidride carbonica. Le acque superficiali sono più ricche di ossigeno di quelle sotterranee, più ricche di anidride carbonica. La presenza di ossigeno in un'acqua irrigua è importante sia per l'azione svolta nei processi fisiologici della pianta, sia perché determina il comportamento dei microrganismi aerobi e anaerobi.

pH. Valori nella norma sono quelli compresi tra 6,5 e 8,5, anche se sono stati proposti limiti di tolleranza molto più ampi. La presenza di sostanze inquinanti o l'eccesso di sali nell'acqua influiscono sul suo pH facendogli assumere valori lontani dalla neutralità.

Sostanze inquinanti. Ad esse si ascrive un folto gruppo di contaminanti che va dai prodotti di sintesi non biodegradabili ai metalli pesanti provenienti dall'attività agricola e industriale, immessi nell'ambiente e veicolati dalle acque. Sono rappresentate da detersivi, fenoli, solventi, idrocarburi, fitofarmaci, erbicidi, piombo, rame, stagno, cromo, zinco, ecc. L'uso di queste acque a scopi irrigui è spesso sconsigliabile per i danni che l'accumulo di metalli pesanti, pesticidi e altri agenti inquinanti possono causare alla fertilità del terreno e alle piante.

Nella tabella 5.6 sono riportati i limiti di accettabilità delle acque destinate all'irrigazione, suggeriti dalla F.A.O. e dall'Agenzia per l'Ambiente U.S.A.

Fabbisogni idrici delle colture

I fabbisogni irrigui possono essere calcolati da dati meteorologici, pedologici e colturali, per un dato ambiente agrario. L'entità delle precipitazioni e la loro distribuzione nel tempo fornisce una prima informazione sulla disponibilità di acqua per una data coltura; altrettanto importante è la capacità di un dato terreno di trattenere acqua, ossia la sua capacità di campo, che come sappiamo dipende da caratteristiche fisiche del terreno. Questi dati, sommati a quelli dell'evapotraspirazione di una data coltura, consentono di stabilire quale sia il deficit idrico, cioè la quantità di acqua da somministrare in dati periodi per mantenere il terreno alla capacità di campo, che poi è l'umidità del terreno che consente la massima produttività delle colture. Questo valore dovrà poi essere corretto in funzione di vari fattori, il più importante dei quali è il *coefficiente di utilizzazione* o

efficienza irrigua, e cioè il rapporto tra acqua erogata ed acqua effettivamente trattenuta dal terreno. Si tratta di un valore che dovrebbe avvicinarsi il più possibile all'unità, e così è per sistemi come aspersione e, soprattutto, irrigazione localizzata, mentre scende allo 0,5 e anche meno con sistemi per espansione superficiale in ambienti molto caldi.

Metodi di adacquamento e impianti di irrigazione

Facendo riferimento alla sistemazione dei terreni le diverse tecniche seguite nell'erogazione dell'acqua possono essere ricondotte a tre gruppi fondamentali:

- al primo gruppo appartengono i *metodi per espansione superficiale*, che richiedono accurata preparazione del terreno. I principali sono: *sommersione*, *scorrimento*, *infiltrazione laterale*;
- al secondo gruppo appartengono i *metodi per aspersione e di irrigazione localizzata*, richiedenti sistemazioni superficiali modeste o assenti;
- al terzo gruppo appartiene la *subirrigazione*, nella quale l'apporto idrico viene erogato al disotto della superficie.

Irrigazione per sommersione.

Consiste nel coprire il terreno con uno strato di acqua di adeguato spessore che vi permane per un periodo di tempo più o meno lungo (sommersione permanente o temporanea). Richiede terreni pianeggianti non troppo permeabili, sistemazioni e manutenzione spesso onerose, corpi d'acqua consistenti.

Comprende:

Metodo a scomparti (Fig. 5.88). Tipico della risaia, prevede la divisione degli appezzamenti in scomparti (o *camere*), possibilmente regolari, ben livellati, a superficie orizzontale, separati gli uni dagli altri da argini in terra a sezione trapezoidale. Al loro interno, quando si eseguono le lavorazioni principali, vengono tracciati dei solchi acquai per favorire l'espansione dell'acqua e il suo allontanamento nei periodi di asciutta.

L'ampiezza degli scomparti varia da poche migliaia di m² a qualche ettaro, in relazione all'inclinazione ed alla configurazione naturale del terreno, al grado di permeabilità, alla disponibilità idrica, alla ventosità. L'acqua, fornita in dispensa continua per tutta la durata della stagione irrigua (aprile-settembre), arriva alla camera direttamente dall'adacquatrice nella sistemazione a scomparti indipendenti; oppure, tramite bocchette d'immissione, passa in successione alla serie di camere componenti l'appezzamento nella sistemazione a scomparti dipendenti. Scoline e/o colatrici svolgono spesso la duplice funzione di rete di sgrondo per gli appezzamenti posti a monte e di distribuzione per quelli posti a valle. Quando si rende necessario (ad esempio per favorire il radicamento o per operazioni di diserbo e concimazione), s'interrompe l'immissione d'acqua (*asciutta*), la cui altezza, per tutto il resto della stagione, oscilla fra i 20 e i 5 cm.

Metodo a conche. Interessa terreni alberati posti in zone con modeste disponibilità idriche; si ottiene sommergendo una conca circolare scavata in corrispondenza della proiezione della chioma dell'albero. La conca è collegata attraverso canaletti o tubi mobili ad una adacquatrice che dispensa l'acqua in modo discontinuo. Per limitare il pericolo di marciumi alle radici si può migliorare la sistemazione realizzando una controconca al piede delle piante (Figg. 5.89, 5.90).

Irrigazione per scorrimento

L'acqua immessa nel campo scorre in modo costante e sotto forma di velo continuo per la durata dell'adacquamento. Richiede notevoli portate e una sistemazione di superficie generalmente molto costosa e accurata che dovrebbe consentire lo scorrimento e l'assorbimento uniforme del velo liquido, in funzione del corpo d'acqua disponibile, della permeabilità e della pendenza del terreno (Fig. 5.91).

Il metodo, soprattutto nelle sistemazioni tradizionali di seguito citate, ha una bassa efficienza irrigua (40-60%) ma consente modeste spese per la distribuzione dell'acqua.

Metodo a spianata, usato per colture foraggere, si adatta a terreni di medio impasto, permeabili e con pendenza naturale compresa tra 0,3 e 0,8%. Le parcelle irrigue o *spianate* hanno forma rettangolare, dimensioni variabili da 75 a 300 m di lunghezza e da 5 a 30 m di larghezza (in relazione alla struttura del terreno) e pendenza costante (mediamente 0,3-0,7%). Separano una spianata dall'altra piccoli arginelli di altezza tale (0,10-0,15 m) da non creare intralcio al movimento delle macchine. L'irrigazione si ottiene con il concorso di una adacquatrice posta sulla testata dell'appezzamento (lato più corto) e si sospende quando l'acqua ha bagnato circa l'80% della superficie. Possiede il pregio di un basso costo per la sistemazione del terreno.

Metodo a campoletto. Usato in pianura su prati ed erbai, rispetto al metodo a spianata presenta appezzamenti (*campoletti*) più larghi, una adacquatrice di testata (lato più corto) e due laterali (lato più lungo) che terminano a circa 2/3 della lunghezza, superficie con lieve pendenza longitudinale e concavità trasversale. Sull'appezzamento l'acqua converge da tre lati, facilitata dall'apertura di bocchette lungo il margine delle adacquatrici; la parte più bassa del campo viene irrigata con le colature. Il metodo è diffuso meno del precedente per le onerose opere di sistemazione e manutenzione, anche se i campi sono di dimensioni maggiori.

Metodo ad ala doppia. E' tipico delle *marcite*, prati permanentemente a duplice irrigazione: invernale a scopo termico e dispensa continua; estiva a scopo umettante e dispense discontinue (Fig. 5.92). Utilizza campi rettangolari a due falde (*ali*) contrapposte (lunghe 60- 100 m e larghe 6-12 m) con pendenza dell'ordine dell'1-2%. Dall'adacquatrice a fondo cieco posta sulla linea di colmo delle ali, l'acqua tracima dirigendosi lungo i lati delle stesse; qui si raccoglie nelle scoline, che a loro volta la convogliano nelle adacquatrici che servono gli appezzamenti posti a quote inferiori. Richiede alti costi di sistemazione e notevole manodopera.

Metodo ad ala semplice. Applicato con gli stessi scopi del precedente, differisce perché richiede terreni con pendenze naturali elevate (2-4%) e diversa sistemazione del terreno. I campi o ali sono di forma rettangolare con il lato più lungo (50-200 m) disposto a monte dove si trova l'adacquatrice che eroga l'acqua per tracimazione; a valle, parallela ad essa, si trova una scolina destinata a raccogliere l'acqua non penetrata nel terreno.

Metodo a fossatelli orizzontali. In genere utilizzato in montagna per l'irrigazione di prati e pascoli, su terreni non sistemati con forte pendenza (5-30%). L'adacquatrice di testata, che si trova a monte dei campi fornisce l'acqua ad una adacquatrice che scende a valle secondo la linea di massima pendenza. Dall'adacquatrice si diramano i *fossatelli*, a spina di pesce (a distanza variabile da 5 a 40 m a seconda della pendenza e della struttura del terreno), che si sviluppano (con pendenza 0,1-0,2%) seguendo le curve di livello. Per evitare erosione e dilavamento è necessario che la cotica erbosa sia ben consolidata.

Irrigazione per infiltrazione laterale

L'acqua in questo caso non giunge a diretto contatto con tutta la superficie del terreno, ma scorre in solchi superficiali penetra nel terreno con movimento verticale e orizzontale (Fig. 5.93). Presenta notevoli vantaggi rispetto ai metodi precedenti:

- corpi d'acqua più contenuti;
- possibile utilizzo di acque fredde, incrostanti o luride;
- sistemazioni meno accurate;
- minor dilavamento e costipamento;
- maggior efficacia irrigua (55-75%).

Esige però solchi con pendenze uniformi e tempi lunghi nell'esecuzione dell'intervento irriguo. È utilizzato per colture ortensi e da rinnovo che necessitano di particolari lavori colturali (sarchiatura e rincalzatura) e anche per l'irrigazione di frutteti piantati a file. Si attua mediante la formazione di solchi disposti nel senso della lunghezza dell'appezzamento che intervallano una o due file di piante nelle colture sarchiate; una striscia di terreno nelle colture seminate a spaglio o a file ravvicinate; il filare nelle colture arboree.

In corrispondenza della testata del campo si trova l'adacquatrice, che distribuisce l'acqua in ogni solco (Fig. 5.94). L'immissione di acqua può avvenire anche da tubazioni fisse o mobili che dispongono di fori, oppure da sifoncini mobili di materiale plastico posti sull'argine che separa l'alimentatore dall'appezzamento (Fig. 5.95). Le dimensioni e le distanze dei solchi variano in relazione al terreno e alla coltura; la lunghezza dipende dal corpo d'acqua disponibile e dalla maggiore o minore permeabilità del terreno (Fig. 5.96). Infatti bisogna tener conto delle perdite per percolazione, che aumentano con l'aumentare della lunghezza dei solchi (Fig. 5.97).

Irrigazione per aspersione

A) Aspetti principali.

Il sistema di irrigazione per aspersione comporta l'erogazione dell'acqua sotto forma di pioggia artificiale che umetta la coltura e il terreno in modo uniforme, mediante l'impiego di apposite apparecchiature. I principali aspetti positivi sono:

- minore occupazione di terreno, e minori costi per le sistemazioni;
- possibilità di applicazione su terreni in pendio;
- possibilità di ridurre le perdite nel trasporto dell'acqua;
- possibilità di variare facilmente il volume di adacquamento;
- possibilità di utilizzare modeste portate;
- possibilità di abbinare all'irrigazione altre pratiche, quali la fertilizzazione, la difesa dalle brinate e dai parassiti, l'irrigazione climatizzante;
- possibilità di ridurre al minimo erosione e ristagni d'acqua;
- alta efficienza idrica.

I principali aspetti negativi sono:

- difficoltà di applicazione nelle zone ventose;
- difficoltà di impiegare acque salmastre nell'irrigazione soprachioma,
- maggior rischio di diffusione di malattie crittogamiche;
- maggiori costi per gli impianti di pompaggio e distribuzione, e per il loro funzionamento e manutenzione.

B) Costituzione e tipi di impianto.

Un impianto di irrigazione a pioggia è essenzialmente costituito da:

- un'opera di presa dell'acqua o stazione di pompaggio; la *pompa* è in genere di tipo centrifugo, azionata da motori vari, o dalla presa di potenza della trattrice. Le pompe possono avere portate tra 1 e 10.000 m³/h.
- una condotta di adduzione ed una o più condotte di distribuzione (tubazioni, in materiali vari) variamente sistemate a seconda del tipo di impianto; in genere si distingue tra *impianti fissi*, in cui l'intera rete di condotta destinata ad alimentare gli irrigatori è fissa, il che comporta alti investimenti conseguenti, sia il notevole sviluppo della rete di distribuzione (fino a 5000 m/ha), sia l'alto numero di irrigatori; *impianti semifissi*, nei quali è fissa ed interrata solo una parte della rete di condotta. Mobili sono invece le ali piovane realizzate in tanti elementi, fra loro collegabili a mezzo di opportuni giunti rapidi, la cui sistemazione richiede però un alto impiego di manodopera; *impianti mobili*, nei quali le ali piovane sono alimentate direttamente da pompe di solito azionate dalla presa di potenza di una trattrice; *impianti mobili con sistemi a grande superficie irrigua*, costituiti di carro-bobina dotato di irrigatore gigante a grande gittata (impianto a carro-bobina con tubo avvolgibile), o di impianti meccanizzati mobili a grande superficie irrigante (impianto pivot).
- apparecchi di erogazione denominati *irrigatori*.

Gli irrigatori sono gli apparecchi destinati a distribuire l'acqua sotto forma di pioggia nell'irrigazione per aspersione. Possono essere statici o rotativi, questi ultimi sono i più usati in agricoltura.

Quelli *statici* sono costituiti da elementi forati, o dagli stessi tubi che ricevono l'acqua a pressione contenuta (0,5-1 atm) e la distribuiscono in modo abbastanza uniforme; sono usati in orticoltura, giardinaggio, nelle serre di nebulizzazione, ecc.

Il tipo *rotante* è essenzialmente costituito da un *tubo di lancio* a sezione decrescente inclinato sull'orizzontale (12-30°) alla cui estremità di valle si trova un ugello da cui l'acqua effluisce con notevole velocità; il tubo di lancio, mediante l'impiego di appropriati meccanismi azionati dal getto medesimo, ruota attorno ad un asse verticale. Il getto, sia per effetto della resistenza dell'aria sia per l'interferenza di opportuni dispositivi detti *frangigetti*, viene polverizzato in gocce che cadono, dopo traiettorie di varia lunghezza, su di un'area circolare.

Possono essere a bassa, media e alta pressione, con diverse prestazioni (Figg. 5.98, 5.99)

L'intensità media della pioggia è una caratteristica degli irrigatori e rappresenta l'altezza dell'acqua distribuita sul terreno in 1 ora, espresso in mm, ed è data dalla portata in l/h, divisa per l'area servita in m². In rapporto all'intensità gli impianti si dividono in (Tab. 5.7):

- impianti a bassa intensità, per valori di <5 mm/h;
- impianti a media intensità, per valori di 6-10 mm/h;
- impianti a alta intensità, per valori > 10 mm/h.

Il cerchio di terreno irrigato è raramente umettato dalla stessa quantità di acqua; in genere cade più acqua nel centro, nei pressi degli irrigatori, e la quantità diminuisce via via che ci si avvicina ai bordi; questa regola può essere modificata da un'errata regolazione degli irrigatori (Fig. 5.100).

La *disposizione degli irrigatori* negli impianti fissi a copertura integrale può essere a quadrato o a triangolo (Fig. 5.101). Una certa superficie di sovrapposizione tra le superfici irrigate da irrigatori contigui può essere auspicabile, in quanto la quantità di acqua che raggiunge la periferia del disco irrigato è in genere minore e insufficiente. Inoltre la disposizione degli irrigatori può essere modificata in caso di presenza costante di venti prevalenti.

Un caso particolare degli irrigatori rotanti sono gli irrigatori mobili, destinati a grandi superfici irrigue:

Nel sistema a *carro-bobina con tubo avvolgibile* su tamburo (Fig. 5.102), comunemente chiamato rotolone, la versione più diffusa è quella che consiste in un carro-bobina fisso e in un irrigatore semovente montato su telaio a ruote o su slitta, posto all'estremità della tubazione; la trattrice provvede a srotolare la tubazione portando l'irrigatore nel punto dal quale si intende iniziare l'irrigazione; questa ha luogo man mano che l'irrigatore avanza sul terreno grazie al motore incorporato nel carro che riavvolge il tubo; il carro rimane fermo e collegato al tubo di adduzione.

Durante l'irrigazione viene irrigata una striscia rettangolare di terreno avente una lunghezza variabile di 200-300 m e oltre, ed una larghezza che, dai 30 m, arriva anche a 100 m; l'irrigatore avanza con velocità regolabile in funzione della dose di acqua distribuita. Nella pratica si verificano velocità di traslazione diverse a seconda se il tubo è tutto svolto o se il riavvolgimento è alla fine. Tale variazione non dovrebbe però superare il 10%.

Il *sistema pivot* (Fig. 5.103) consiste invece in una intelaiatura metallica montata su ruote, sulla quale sono inserite le tubazioni di distribuzione e i relativi irrigatori. Il sistema, azionato da motore idraulico o elettrico, ruota intorno a un perno (il pivot) descrivendo un cerchio intero, un mezzo cerchio, od un settore di cerchio (Fig. 5.104). Le larghezze di irrigazione partono da minimi di 70 m per giungere sino a massimi di 600 m. Si può utilizzare in terreni ben livellati e con pendenze massime del 5%.

Nel caso delle *torri semoventi con moto rettilineo*, la stazione di pompaggio montata su un carrello si sposta lungo un fosso o canale, mentre l'ala erogante, perpendicolare al canale, si sposta nella stessa direzione (Fig. 5.105).

Irrigazione localizzata o a microportata

L'irrigazione localizzata è un sistema di irrigazione che consente economie d'acqua da 1/3 a 1/2 rispetto all'irrigazione a pioggia. Si tratta di uno dei settori tecnologici più innovativi e dinamici in agricoltura; noi cercheremo di illustrare gli aspetti generali della tecnica, e le sue più diffuse applicazioni, ma le varianti riguardo a apparecchiature, tecniche e materiali sono numerose ed in costante e rapida evoluzione.

L'aspetto fondamentale di questi sistemi di irrigazione (Fig. 5.106) è che erogano l'acqua irrigua su di una parte soltanto della superficie del suolo (nel caso di colture arboree, in prossimità delle singole piante e, nel caso di colture a file, lungo le medesime) (Fig. 5.107), funzionano a bassa pressione (in genere inferiore a 1,5 bar) e con portate specifiche di modestissima entità (per ogni erogatore 1-10 l/h), realizzando così alte efficienze irrigue; si possono utilizzare anche acque fredde, ed è facilitata la fertirrigazione. Lo scopo è quello di restituire giornalmente alle colture il volume di acqua consumato per evapotraspirazione nello stesso periodo. L'acqua raggiunge le colture in modo lento e continuo, e in tal modo il terreno esplorato dalle radici è

mantenuto in condizioni costanti e ottimali di umidità, mentre non è necessario bagnare l'apparato epigeo delle piante stesse. L'irrigazione localizzata dirige lo sviluppo dell'apparato radicale in prossimità delle zone di terreno nelle quali le condizioni di umidità sono le più favorevoli, cioè tra la zona eccessivamente umettata e asfittica, e quella non umettata; si forma il cosiddetto "globoide di umidità" (Fig. 5.108), di forma diversa nei terreni con caratteristiche fisiche diverse.

In relazione al modestissimo valore delle portate di adacquamento si hanno sezioni idriche talmente piccole da risultare suscettibili di occlusione o di intasamento, sia da parte delle particelle eventualmente presenti in sospensione nell'acqua irrigua, sia da parte di eventuali depositi o di microrganismi. Diviene pertanto necessario procedere ad una filtrazione e ad un trattamento chimico delle acque. Altri aspetti negativi possono essere i costi dell'impianto, l'ostacolo dell'impianto (fisso) alle pratiche colturali, e i gravi pericoli di stress idrico se per qualche ragione l'erogazione deve essere interrotta, poiché non è stato favorito l'approfondimento degli apparati radicali.

L'impianto è essenzialmente costituito da:

- rete di alimentazione consistente in tubazioni fisse ed interrate;
- apparecchiature di filtrazione, di controllo e di regolazione;
- rete di distribuzione che termina con le tubazioni adacquatrici sulle quali sono inseriti gli organi erogatori, quando non sono le stesse tubazioni adacquatrici ad avere funzione erogatrice grazie ad una serie di fori opportunamente distanziati.

Gli erogatori rappresentano però la soluzione più diffusa. Nell'*irrigazione a goccia* si parla di gocciolatori, che possono essere posti fuori terra, sottoterra o sospesi (Fig. 5.109). I gocciolatori sono di varie fogge, e possono erogare l'acqua direttamente o attraverso tubicini detti "spaghetti". Per superare l'inconveniente dell'otturazione degli erogatori che spesso si verifica nei sistemi a goccia quando le acque non sono pure e il sistema di filtrazione non è efficiente, si ricorre all'*irrigazione a sorso*, nella quale l'acqua viene accumulata in piccoli serbatoi quanti sono gli erogatori, dai quali si ottiene un deflusso automatico e periodico attraverso fori di diametro non inferiore ai 5 mm.

Subirrigazione

L'*irrigazione sotterranea* o *subirrigazione* è un sistema basato sulla erogazione dell'acqua al disotto della superficie del suolo; l'acqua raggiunge le radici delle piante per capillarità.

Vantaggi:

- non crea ostacoli alle operazioni colturali e non interferisce con esse;
- consente una notevole automazione degli impianti (metodo a tubi sotterranei), con basse pressioni di funzionamento (0,1-0,3 atm);
- annulla le perdite per evaporazione e ruscellamento;
- riduce le infestazioni da erbe e da parassiti.

Svantaggi:

- elevato costo degli impianti;
- possibilità di notevoli perdite d'acqua per percolazione se si realizzano impianti troppo profondi;
- facilità di occlusione degli erogatori.

Le tecniche possibili per realizzare questo tipo di irrigazione sono due:

Subirrigazione freatica. Viene ottenuta innalzando la falda idrica fino a livello delle radici delle piante mediante apporti d'acqua nella rete aziendale superficiale (affossatura)

o sotterranea (dreni). Il metodo è poco costoso ma difficilmente realizzabile se la falda è troppo profonda e il terreno presenta caratteristiche fisiche non adatte alla risalita dell'acqua.

Subirrigazione capillare. Ottenuta interrando, a profondità adeguata, dei tubi disperdenti, che rilasciano l'acqua in prossimità della rizosfera delle piante. L'ostruzione degli organi eroganti, grave inconveniente lamentato da questo metodo, si può superare impiegando tubazioni flessibili di plastica (diametro 10-20 mm), provviste di aperture (lunghe 5-8 mm) che si aprono sotto la spinta esercitata dalla pressione dell'acqua e si richiudono quando questa cessa.

5.4.4 Aridocoltura.

Per *aridocoltura* si intende un insieme di tecniche agronomiche impiegate nelle zone dove le scarse precipitazioni e l'assenza di irrigazione costituiscono un limite alla produttività delle colture.

Le linee lungo le quali si muove ogni sistema di aridocoltura sono: incrementare il più possibile l'accumulo nel terreno di acqua meteorica, ridurre al minimo le perdite di acqua per evaporazione e traspirazione, ottenere dall'acqua il massimo rendimento produttivo.

Le tecniche agronomiche utilizzabili per raggiungere gli scopi dell'aridocoltura sono numerose; le più importanti sono le seguenti:

- sistemazioni particolari dei terreni (costruzione di argini per frenare la velocità dell'acqua, favorire l'allagamento dei campi e facilitare la penetrazione dell'acqua nel terreno);
- lavorazioni profonde effettuate prima della stagione più piovosa;
- lavorazioni superficiali che limitano l'evaporazione, come le sarchiature, e controllano le erbe infestanti, come le erpicature;
- pacciamatura e diserbo chimico, che raggiungono gli stessi scopi delle lavorazioni superficiali, talvolta in modo più conveniente ed efficace;
- barriere frangivento, per ridurre l'evaporazione;
- utilizzazione del maggese. L'applicazione razionale di questa tecnica vorrebbe una lavorazione profonda prima del periodo di maggior piovosità e lavorazioni superficiali nella primavera e nell'estate successiva per eliminare le infestanti e le perdite d'acqua per evaporazione;
- impiego di colture autunno-vernine (frumento, fava, veccia, ecc.), la cui fase di sviluppo coincide nei nostri climi con il periodo delle piogge;
- adozione di specie resistenti alla siccità, sia per la capacità di estrarre acqua dal terreno (es. alberi da frutto meglio delle erbacee; erbamedica meglio del trifoglio) che per caratteristiche xerofitiche (es. miglio, sorgo, frumento duro, fava).
- semine a file con limitata densità di piante nell'unità di superficie, che consentono un maggior sfruttamento delle scarse riserve idriche del suolo.

5.5 Potatura e forme di allevamento

La potatura consiste in una gamma di interventi atti a modificare il modo naturale di vegetare e di fruttificare di una pianta. Non si tratta quindi solo di interventi cesori, ma anche di

modificazioni di posizione dei rami, e di altri interventi quali trattamenti con fitoregolatori che modificano in modo analogo ai tagli l'habitus della pianta o di sue parti, la cosiddetta "potatura chimica". Pur se sono possibili interventi di potatura sulle piante erbacee (es. cimatura del tabacco), normalmente la potatura è condotta sulle piante arboree da frutto e ornamentali.

La potatura si propone di modificare la pianta per raggiungere una serie di obiettivi:

- dare alla pianta una forma idonea all'utilizzazione ottimale della luce (ma anche per facilitare le operazioni colturali) (Fig. 5.110);
- accelerazione dello sviluppo dei giovani alberi per raggiungere al più presto lo scheletro definitivo e l'entrata in produzione;
- raggiungimento di un equilibrio chioma/radici e fase vegetativa/fase riproduttiva, per una produzione alta, costante, di qualità;
- far sì che le piante si adattino alla fertilità agronomica;
- estendere il ciclo produttivo nelle piante senescenti.

5.5.1 Classificazione della potatura

A seconda degli scopi che si intende raggiungere si distinguono diversi tipi di potatura:

- *potatura di allevamento*. Comprende gli interventi che si eseguono sulle piante in vivaio;
- *potatura di trapianto*. Interventi di preparazione delle piante estirpate dal vivaio, o estratte dai contenitori, per l'impianto;
- *potatura di formazione*. Sono le operazioni che si eseguono sulla pianta in accrescimento per conferirle una forma adatta agli scopi produttivi;
- *potatura di produzione*. È l'insieme degli interventi periodici che si praticano per mantenere la pianta in condizioni di produttività ottimale.

Altri tipi di potatura sono la potatura di *risanamento*, per eliminare parti malate o danneggiate, la potatura di *trasformazione*, per modificare la forma della chioma, la potatura di *ringiovanimento*, per ringiovanire una pianta deperita o senescente.

La potatura, infine, si può classificare in base alla *frequenza* (annuale, biennale, ecc.), in base all'*epoca* in cui la si esegue (invernale, estiva, autunnale), in base alla *quantità di materiale* vegetale asportato (ricca o povera), ecc.

5.5.2 Competizioni

Le varie parti della chioma sono in competizione costante tra loro, e la crescita complessiva è un risultato delle loro interazioni.

Si tratta di una lotta che risulta in una selezione, che si può considerare come una naturale "potatura".

La competizione è per l'acqua, gli elementi minerali, gli assimilati, la luce. Essa avviene tra parti di pianta (chioma e radici), organi (vegetativi e riproduttivi, Fig. 5.111), e tra organi dello stesso tipo (frutti, rami, ecc.).

Nei primi anni la crescita delle radici è favorita (l'albero non produce) (Fig. 5.112), poi nell'albero adulto si stabilisce un equilibrio tra chioma e radici, abbastanza costante in un dato ambiente; infine, quando la pianta entra nella fase di senescenza, la massa dell'albero diviene troppo onerosa e si creano condizioni per un progressivo deperimento. Senza l'intervento di potatura, sempre meno sostanza secca viene investita nelle radici, si ha quindi a disposizione meno acqua e nutrienti per la chioma, la quale produce meno assimilati; è un circolo vizioso che porta in breve alla senescenza, cioè a un ridotto accrescimento vegetativo, accompagnato da abbondante fioritura e fruttificazione, pur se di scarsa qualità (Fig. 5.113).

Le competizioni variano durante la stagione e, come visto, durante la vita dell'albero. Germogli e frutti in accrescimento di solito dominano, come potere di attrazione di assimilati, su branche, radici, siti di accumulo di riserve.

Vi sono però eventi eccezionali di stress che possono modificare questi comportamenti. Gli stress idrici, per esempio, determinano l'abbandono dei frutti, che possono arrestarsi nell'accrescimento, o addirittura abscindere, a favore dell'esplorazione di nuove zone di terreno da parte delle radici. La carenza di luce invece favorisce la formazione di più foglie. Si tratta di aggiustamenti costosi in termini energetici: essi non si dovrebbero verificare, e la tecnica colturale serve a evitarli, stabilizzando il micro-ambiente del frutteto.

Meno dannose e scontate sono le competizioni tra gli stessi organi: è il caso del fiore centrale del corimbo del melo, che in genere è il primo ad allegare, e quindi acquisisce un vantaggio competitivo; lo stesso vale per il frutto basale del corimbo del pero. Nelle specie acrotone analogo vantaggio è goduto dal germoglio apicale.

Molto più importanti sono le competizioni tra attività vegetativa e attività riproduttiva. In genere una delle due prevale sull'altra, a seconda della fase fenologica. La situazione può però variare in funzione di diversi fattori, quali l'inclinazione della branca (fig. 5.114), le condizioni di illuminazione, ecc.

In modo molto generale si può dire che ogni evento che indebolisce i germogli favorisce l'attività riproduttiva. Questa regola include le varie fasi del ciclo riproduttivo, e quindi comprende anche induzione e differenziazione a fiore (Fig. 5.115). Non bisogna comunque dimenticare che quest'ultimo fenomeno dipende strettamente anche dalla superficie fogliare disponibile (Fig. 5.116).

5.5.3 Forma dell'albero

E' importante per la distribuzione spaziale della superficie fotosintetizzante e per il compito che questa ha di cattura e distribuzione dell'energia. La forma dipende principalmente dalla distribuzione sul tronco e sulle branche dei rami, dal loro angolo di inserzione, dal loro sviluppo. Queste caratteristiche sono principalmente regolate dal fenomeno della dominanza apicale, per cui la gemma apicale è favorita nel germogliamento primaverile, e controlla successivamente la schiusura delle gemme e il loro sviluppo come germogli nel corso della stagione. Entrambi i controlli possono essere esercitati in misura molto varia, sia come carattere genetico, sia in funzione delle caratteristiche del singolo ramo. Così le specie da frutto possono essere classificate, in base all'entità del controllo apicale, in *basitone* (scarso), *mesotone* (intermedio) e *acrotone* (pronunciato) (Fig. 5.117). Acrotonia e basitonia possono inoltre variare nel corso della vita della pianta. A livello di intera pianta, in seguito alle interazioni e competizioni dell'accrescimento, la forma si pone, nella pianta non potata, in una posizione intermedia tra gli estremi delle *piante scorrenti* e *decorrenti* (Figg. 5.118, 5.119). La forma è inoltre influenzata da numerosi eventi che si verificano per i singoli rami, quali inclinazione (Fig. 5.120) e curvatura dovuta alla fruttificazione, nonché dalla presenza di tipi diversi di branche e rami (*lamburde*, *mazzetti di maggio*, *brindilli*, *succhioni*, ecc.)(Fig. 5.121). Le piante raggiungono una forma tipica per la specie e cultivar, che è mantenuta immutata per tutto il periodo della maturità; la senescenza, come abbiamo visto, comporta anche un cambiamento di forma (Fig. 5.122)

5.5.4 Possibilità di modificare il comportamento naturale

Per ottenere sistemi più adatti alle nostre esigenze, si può operare su diversi fattori:

- *scelta della cultivar*: le varietà disponibili differiscono per efficienza fotosintetica, portamento, taglia, rapporto tra fase vegetativa e fase riproduttiva.
- *scelta del portinnesto*: anche il portinnesto in molte specie può influire su dimensioni, efficienza fotosintetica, caratteristiche del fogliame (dimensioni, numero, portamento), velocità di crescita, assimilazione, trasporto (Fig. 5.123)
- *carica di frutti*: il numero di frutti che si decide di lasciare sull'albero ha influenza sia sulla forma dell'albero che sulla qualità dei frutti stessi (Fig. 5.124)
- *potatura* in senso stretto: gli interventi sui rami determinano una serie di modificazioni del loro comportamento, e la assunzione da parte dell'albero di una data forma.

5.5.5 Principali operazioni di potatura

Taglio

Il taglio dei rami è il principale intervento di potatura. In tal modo viene ridotto il numero di gemme presenti sulla pianta, ottenendo il risultato di una migliore penetrazione della luce all'interno della chioma, e di una riduzione della possibile fioritura e produzione entro limiti compatibili con una buona qualità e costanza delle produzioni. Inoltre i tagli, favorendo il mantenimento di una buona vigoria, ritardano l'instaurarsi di fenomeni di senescenza.

La riduzione della vegetazione conseguente ai tagli induce nei germogli che si schiuderanno a primavera una maggiore vigoria; si considera quindi che il taglio stimoli la vigoria della pianta. Non si deve però confondere il comportamento del singolo ramo con quello della pianta intera. In realtà ogni operazione di taglio, riducendo il numero di gemme, riduce la quantità totale di superficie fotosintetizzante che la pianta avrà a disposizione (Fig. 5.125).

Il taglio dei rami può essere eseguito raccorciandoli in vario modo (*raccorciamento*). La *spuntatura* consiste nel recidere solo gli ultimi nodi del ramo; se eseguita durante il periodo vegetativo (*potatura verde*) prende il nome di *cimatura*. Se invece si asporta quasi tutto il ramo, lasciando solo 2-4 nodi si parla di *speronatura*. Se in alternativa si decide di tagliare il ramo per intero, si parla di *diradamento dei rami* (*potatura a tutta cima*); negli ultimi decenni la potatura invernale dei fruttiferi si è basata su questa operazione.

Nel caso in cui si renda necessario tagliare una branca si parla di *capitozzatura* (*taglio di ritorno*).

Inclinazione e piegatura

Consiste nell'aumentare l'angolo di inserzione del ramo o della branca, fino a raggiungere i 90° di apertura. Il ramo inclinato si accresce in misura minore, proporzionalmente all'entità dell'apertura. Inoltre l'intervento determina anche una modificazione della dominanza apicale (Fig. 5.126). Il risultato opposto può essere ottenuto restringendo l'angolo di inserzione. È una operazione utile sia nella potatura di produzione che in quella di formazione. La piegatura consiste in una inclinazione oltre i 90°; in genere i rami piegati sono destinati ad essere asportati negli anni seguenti.

Curvatura

In questo caso il ramo viene piegato ad arco, in modo il più possibile uniforme (Fig. 5.127). Il risultato è una modificazione del gradiente di vegetazione sul ramo, ed una maggiore tendenza di questo a fruttificare.

Forme di allevamento

La forma che si può dare ad una pianta da frutto rientra in genere in due gruppi principali, le *forme in volume* e le *forme appiattite*; le prime consentono l'accrescimento della pianta in tutte le direzioni, e presentano quindi una chioma grosso modo isodiametrica, mentre le forme appiattite favoriscono una crescita più sviluppata su un piano verticale, per cui i filari si presentano come pareti vegetative ininterrotte. Quest'ultima soluzione è quella che nei decenni più recenti ha prevalso negli impianti, anche se spesso è ottenuta creando pareti vegetative e produttive composte da numerosi alberelli che sono allevati in forme in volume, ma di ridotte dimensioni. La ragione di questa scelta deriva dalla constatazione che l'utilizzazione della luce migliora, per unità di superficie, con il diminuire della taglia degli alberi e con l'aumento della densità d'impianto (Fig. 5.128). Anche la produttività aumenta con il diminuire delle dimensioni degli alberi (Fig. 5.129).

Forme in volume

Sono quelle che più assecondano il modo naturale di vegetare dell'albero. Sono le più antiche per questa ragione, e si distinguono in due gruppi, a seconda che il fusto centrale manchi o permanga. Nel primo caso si parla di:

- *vaso*: ad una certa altezza del tronco (70-100 cm) si dipartono 3-4 branche, che si ramificano in modo regolare e simmetrico, a formare una chioma rotondeggiante o, al centro della quale vi sia una cavità che consenta la penetrazione della luce (Figg. 5.130, 5.131);
- *vaso cespugliato*: le branche si dipartono da un'altezza molto bassa, e talvolta la chioma è formata da tre alberelli piantati agli apici di un triangolo (olivo)
- *globo*: è un vaso la cui cavità centrale è riempita dalla vegetazione; è adatto a zone molto assolate.

Se si mantiene il fusto centrale si possono avere diverse forme; tra le più importanti sono:

- *piramide*: dall'asse centrale si dipartono 3-5 palchi di 3 branche, meno lunghe via via che ci si avvicina all'apice; è una forma che trovava la sua migliore realizzazione nel pero;

- *fuso*: simile alla piramide, ma con le branche più corte, dando quindi luogo ad alberi più affusolati;
- *fusetto*: forma di allevamento che prevede l'utilizzazione di piante di ridotta vigoria, causata sia dai portinnesti che dalle accresciute densità d'impianto. La potatura è essenziale, condotta per buona parte durante la stagione vegetativa (Fig. 5.132). È una forma di allevamento moderna, particolarmente adatta sia al melo che al pero;
- *monocono*: equivalente al fusetto sull'olivo. È adatta alla raccolta meccanica delle olive (Figg. 5.133, 5.134).

Forme in superficie o appiattite

Sono dette anche forme obbligate, e derivano dalle spalliere rinascimentali, file di piante che venivano fatte crescere addossate ai muri dei pomari. Le più importanti per le piante da frutto sono:

- *palmetta*: si è molto diffusa negli anni '60, in quanto rappresentò la possibilità di ridurre i costi di manodopera nei frutteti, e di aumentare la densità di impianto, allora piuttosto bassa. Può essere regolare o irregolare, a branche orizzontali o oblique (Figg. 5.135, 5.136);
- *controspalliere basse*: ve ne sono numerose, in genere di origine francese o belga, non molto diffuse da noi; il sistema *Marchand*, o *a bandiera*, è adatto al ciliegio. Altre controspalliere sono il *Bouché Thomas*, il *Lepage* (Fig. 5.137), ecc.

Forme di allevamento della vite

La vite merita un discorso a parte, in quanto più che di un albero si tratta di una pianta sarmentosa, e per questo richiede forme di allevamento e tecniche di potatura particolari. Per la vite è stato messo a punto un gran numero di forme di allevamento. Per la gran parte si tratta di forme in superficie, cioè di controspalliere di vario sviluppo, a seconda delle condizioni ambientali. Le più conosciute sono il *Guyot*, l'*archetto*, il *capovolto*, il *Sylvoz*, il *cordone speronato*, la *doppia cortina* (*GDC* e *Duplex*), in genere utilizzate per l'uva da vino (Fig. 5.138). Le forme in volume, con l'eccezione dell'*alberello* (Fig. 5.139), adatto ad ambienti poveri, sono più spesso utilizzate per l'uva da tavola (*tendone*, Fig. 5.140), o per ambienti relativamente fertili (*pergoletta romagnola* e *trentina*, Fig. 5.140, *raggi*).

5.6 Avversità biotiche e difesa delle piante

5.6.1 Piante infestanti e diserbo

Malerbe e piante coltivate

Competizioni

Tutti i terreni arativi hanno una popolazione di semi di erbe infestanti (ma anche rizomi e stoloni), che possono germinare e accrescersi contemporaneamente alle specie coltivate, determinandosi così una competizione interspecifica. A differenza della competizione intraspecifica, questo tipo di competizione è sempre negativo, in quanto si determina sempre una riduzione delle rese. Questa riduzione, a sua volta, discende dalla concorrenza esercitata dalle malerbe nei confronti di luce, acqua ed elementi nutritive (Figg. 5.141, 5.142). Ma non solo: una pianta dicesi *infestante* se, in rapporto alla sua ubicazione, risulta indesiderabile per una o più ragioni: perché è tossica per l'uomo o per gli animali; perché attraverso la competizione per l'acqua, la luce e gli elementi nutritivi danneggia le colture, determinando diminuzioni della resa e alterazioni della qualità del raccolto; perché ospita insetti dannosi alle colture o agenti di malattie crittogamiche o virali; perché escreta sostanze che risultano nocive alle piante coltivate, sulle quali inducono rallentamenti dello sviluppo vegetativo, clorosi, filloptosi, inibizioni della germinabilità dei semi; perché, infine, crea rischi d'incendio, procura intralcio alla lavorazione del terreno ed alle macchine in generale, ostacola la circolazione dell'acqua nei fossi di scolo, ecc.

La *luce* è necessaria per la fotosintesi e l'accrescimento, e malerbe che crescono rapidamente possono ombreggiare la coltura e ridurre il tasso di crescita; la portata della competizione per la luce dipende dal tasso di crescita delle infestanti, dal loro habitus vegetativo, dalla loro densità e dall'epoca in cui la loro crescita inizia rispetto alla coltura. Spesso infatti la concorrenza è particolarmente forte in primavera, se l'infestante germina a temperature più basse di quelle minime della coltura, o prima della ripresa vegetativa. Anche l'habitus vegetativo è importante: infestanti striscianti o basse non sono di solito un problema per colture erette, ma il problema esiste nella situazione opposta. La barbabietola forma una rosetta di foglie, e soffre della concorrenza per la luce delle infestanti alte; si tratta di un fattore che risente sia dell'epoca di germinazione della malerba che della sua densità.

Un'altra importante competizione ha luogo per *l'acqua*: abbiamo visto quanto importante sia questo fattore della produzione, e come sue carenze portino a gravi cali delle rese; la capacità di una pianta di competere con successo per l'acqua dipende dalla velocità ed efficienza con cui utilizza la riserva idrica del terreno, e questa a sua volta dipende dall'RGR e dalla estensione delle radici nel terreno. Lo sviluppo di un profondo ed esteso apparato radicale fittonante in molte dicotiledoni consente loro di competere molto presto

con colture come i cereali, dotate di un sistema radicale fascicolato e superficiale. In periodi di carenza idrica queste specie sono più adatte a sopravvivere e competere per le altre risorse di molte altre specie coltivate.

La competizione per l'acqua è strettamente legata a quella per gli *elementi minerali*, in quanto il tasso di assorbimento radicale è correlato al flusso di acqua verso la superficie delle radici. Alcune infestanti assorbono i fertilizzanti più velocemente e in maggiore misura rispetto a numerose specie coltivate, riducendo così la quantità di concime disponibile per queste ultime. In ogni modo le infestanti rispondono alla somministrazione di fertilizzanti, e quindi la concimazione può non dare alcun vantaggio alla coltura, se non quando la densità delle malerbe è bassa. Anche il portamento è importante: le infestanti basse sembrano essere più competitive per l'azoto, a differenza di quelle alte, più efficienti a contendere la luce. Competizione esiste anche per potassio e fosforo.

In definitiva, l'esistenza della competizione è indiscutibile; l'entità dei cali di resa ad essa dovuti dipende da intensità e durata del fenomeno.

Fattori che influenzano gli effetti delle infestanti sulle rese

La competizione delle malerbe può determinare riduzioni delle rese economiche delle colture (Tabb. 5.8, 5.9).

Tab. 5.8 - Cali di produzione causati dalle malerbe (Stime di Autori Vari)		
Ambiente	Produzione	Calo %
Mondo	Tutte	10-20
Europa	Tutte	7
Nord America	Tutte	8-20
Asia	Tutte	11
Africa	Tutte	16
Agricoltura avanzate	Tutte	5
Agricoltura intermedie	Tutte	10
Agricoltura in via di sviluppo	Tutte	25
Mondo	Cereali	11-15
Mondo	Zucchero	13
Mondo	Ortaggi	8
Mondo	Riso	11
Mondo	Mais	13
Mondo	Frumento	10

Mondo	Canna da zucchero	15
Mondo	Cotone	6

Tab. 5.9 - Cali di resa derivanti dal mancato controllo delle malerbe (Stime di Autori Vari)		
Paese	Coltura	Calo%
Germania	Barbabetola da zucchero	100
Italia	Barbabetola da zucchero	20-85
Colombia	Frumento	0-90
Germania	Frumento	9
Gran Bretagna	Frumento	25-70
Italia	Frumento	2-75
Germania	Girasole	17
Giappone	Girasole	65-70
Colombia	Mais	10-84
Germania	Mais	54
U. S. A.	Mais	16-100
Italia	Mais	27-100
Nigeria	Mais	40
Germania	Orzo	13
Germania	Patata	54
Colombia	Riso	30-73
Gambia	Riso	100
Giappone	Riso	30-70
Nigeria	Riso	90
Perù	Riso	34-68
Germania	Segale	9
Germania	Soia	24
Italia	Soia	20-45
U. S. A.	Soia	45
Nigeria	Soia	60
U. S. A.	Tabacco	26

Non è però semplice determinare l'entità dell'impatto delle diverse malerbe sulle rese nelle diverse colture, impatto che è determinato dall'interazione di numerosi fattori:

Specie coltivata; alcune specie sono più sensibili di altre: il frumento e l'orzo possono produrre il 10-70% in meno, ma la barbabetola può anche non produrre affatto se le piante infestanti non sono controllate.

Varietà; vi sono varietà più adatte a competere, per migliori caratteristiche di rapidità di germinazione ed emergenza, tassi di crescita, rapidità e entità dell'accestimento, ecc.

Densità della coltura; abbiamo già visto come la densità di semina può influire sulla competizione malerbe/coltura.

Specie infestante; per ogni specie coltivata vi sono infestanti più dannose per la resa di altre; in genere, più l'infestante assomiglia alla coltura, più tende esserle dannosa. Inoltre è anche più difficile da controllare.

La *densità* delle malerbe è un fattore assai importante: la quantità di semi presenti può variare tra i 20 e i 200 ed oltre milioni di semi per ettaro, nei terreni coltivati. La dormienza ne diluisce l'effetto nel tempo. Pur con tutte le eccezioni e aggiustamenti, in genere il rapporto densità delle malerbe/resa è non lineare, e segue un andamento sigmoidale (Fig. 5.143), anche se diverso a seconda della specie infestante (Fig. 5.144). Questo ci dice che basse densità di malerbe sono supportabili senza serie perdite di resa, e che non sono necessarie colture completamente "pulite". Così è stato formulato il concetto di "*soglia d'intervento (SI)*". Essa è individuata dalla densità di infestazione capace di provocare un danno appena superiore al costo del trattamento. La SI è un valore incostante e difficile da individuare; essa cambia col costo dei diserbanti, con la loro efficacia, con il valore del prodotto agrario utile, con il tipo di infestazione, con gli effetti residuali dell'infestazione stessa, ecc. Si è comunque accertato che, con qualche eccezione, alcune piante per m² possono essere tollerate.

Abbiamo visto parlando della dormienza come la *data di inizio della competizione* sia variabile in molte specie selvatiche, a causa della dormienza indotta; le specie coltivate hanno tempi diversi di germinazione ed emergenza, e la competizione si stabilisce quindi in un numero infinito di combinazioni.

Un altro aspetto è la *disposizione nello spazio* della coltura: quelle seminate a file relativamente distanti, e che inizialmente crescono lentamente, come la barbabietola, sono più vulnerabili; lo stesso vale per la patata. I cereali invece, che sono seminati a file ravvicinate e con una quantità di seme notevole, si difendono assai meglio.

Ambiente e tecnica colturale: la specie coltivata e quelle spontanee infestanti non sono adattate nello stesso modo all'ambiente in cui vivono. Saranno diverse riguardo alla temperatura e ai pH ottimali per l'accrescimento; daranno diverse risposte a fertilizzazione, irrigazione e drenaggio. Più le condizioni ambientali si avvicinano a quelle ideali per una data specie, più questa diviene competitiva.

Un altro aspetto è la *durata*; può non essere necessario mantenere la coltura diserbata per tutto il tempo, ed esiste un *periodo critico (o periodo sensibile)*, in cui l'effetto della

presenza delle malerbe è maggiore (Fig. 5.145). Il periodo in cui è importante l'assenza di malerbe per evitare riduzioni sensibili di resa varia tra le specie coltivate, non solo come data, ma anche come durata. In alcune specie la durata dell'epoca più esiziale di concorrenze delle malerbe, o il momento in cui si verifica, dipende dall'andamento stagionale. Negli anni piovosi, quando l'accrescimento delle infestanti è abbondante, le specie che producono radici non solo subiscono perdite di resa maggiori se le malerbe non sono controllate, ma lo stesso periodo ottimale di eliminazione delle malerbe è assai più breve, e quindi difficile da individuare (Fig. 5.146).

Ovviamente i fattori che influenzano le rese sono numerosi: le piante infestanti possono ridurre le produzioni attraverso meccanismi diversi dalle competizioni descritte; basti citare il fenomeno dell'allelopatia, oppure le piante parassite. D'altronde, le conseguenze negative della presenza di malerbe non sono solo sulla resa: l'applicazione di erbicidi in epoca tardiva, ininfluenza sulla resa, può servire nella barbabietola per facilitare le operazioni di raccolta; diserbo tardivo (epoca di maturazione della cariosside) nel frumento può essere buona pratica per ridurre l'entità dell'infestazione l'anno successivo. Vi sono poi numerosi casi in cui le piante infestanti determinano un peggioramento della qualità delle produzioni, oltre che delle rese: il romice può peggiorare la qualità dei foraggi, *Datura* e altre infestanti possono rendere sgradito e malsano l'insilato di mais, altre specie, come la *Cicuta*, possono essere semplicemente velenose. Anche per l'uomo vi sono pericoli: semi di gitaione e loglio possono avvelenare la farina di frumento, altre piante urticanti possono rendere difficile la raccolta a mano, come nella canna da zucchero. Una forte competizione può causare lo striminzimento della cariosside dei cereali, con conseguenti crolli del prezzo.

5.6.2 Lotta contro le piante infestanti

La lotta alle piante infestanti può essere condotta con metodi indiretti e diretti.

Metodi indiretti

I metodi indiretti di lotta riguardano tutti gli accorgimenti posti in atto dall'agricoltore per evitare il diffondersi di queste piante, e possono essere suddivisi come segue:

- *Rotazione agraria*. Certe colture, dette *rinettanti*, per effetto del loro sviluppo o per la tecnica colturale che richiedono, riducono sensibilmente lo sviluppo della flora infestante. Tra queste colture vi sono piante soffocanti, come canapa, sorgo gentile, ecc.; piante sarchiate come mais, barbabietola, patata, ecc.; alcune specie prative come l'erba medica.

- *Bruciatura delle stoppie*. Vi è un ovvio effetto della temperatura sui semi presenti nel terreno.
- *Impiego di letame ben maturo*; le temperature raggiunte dal letame nel corso della fermentazione inattivano la gran parte dei semi che contiene.
- *Impiego di sementi selezionate*. È possibile che le sementi siano inquinate da semi estranei.
- *Pacciamatura*, con film di polietilene nero o con altri materiali; la pacciamatura impedisce alla luce di raggiungere il terreno, e quindi di consentire l'accrescimento dei semenzali.
- *Sfalcio* di aree inerbite prossime alle colture (canali, fossi, bordi delle strade, ecc.) prima che i semi maturino.
- *Non uso di motozappe* ove sono abbondanti piante rizomatose.

Metodi diretti

I metodi diretti sono quelli applicati direttamente sulle malerbe, e sono di diversa natura:

- *Meccanici*; tutte le lavorazioni del terreno hanno un qualche effetto di contenimento dell'infestazione, siano esse preparatorie (aratura) o complementari (sarchiatura, rincalzatura, coltivazione, estirpatura, ecc.).
- *Fisici*; le erbe possono essere distrutte mediante sommersione, siccità (risaie), fuoco (debbio, pirodiserbo).
- *Biologici*; oltre alla coltivazione di specie con notevole forza competitiva, in alcuni casi è possibile ricorrere allo sfruttamento dell'*allelapatia* e alla diffusione di parassiti animali o vegetali di particolari infestanti.
- *Chimici*; utilizzazione di prodotti chimici, o *diserbanti*.

Diserbo chimico

Gli *erbicidi* sono prodotti fitotossici il cui impiego, in condizioni ben definite, consente di combattere le piante infestanti sia uccidendole sia limitandone lo sviluppo in maniera che la loro nocività divenga tollerabile. Il *diserbo* chimico a mezzo degli erbicidi, oggi universalmente adottato, può perseguire due distinti obiettivi: il diserbo totale e il diserbo selettivo (Tab. 5.10).

Il *diserbo totale*, riguardante di norma le zone non coltivate, consiste nella distruzione completa, per un tempo più o meno lungo, di tutta la vegetazione, come nel caso di marciapiedi, cortili di officina, strade ferrate, canali, ecc. La distruzione completa della vegetazione non è, tuttavia, sempre augurabile, sia per evitare fenomeni di erosione,

come sulle sponde dei canali, sia per ragioni estetiche, come sui laterali delle banchine pedonali delle strade.

Il *diserbo selettivo*, perseguito in agricoltura, è così denominato perché consente di combattere le piante infestanti delle colture, salvaguardando la pianta coltivata.

Questi due tipi di diserbo comportano, ovviamente, l'impiego di prodotti dotati di caratteristiche differenti. Per il diserbo totale si adottano erbicidi capaci di distruggere il più grande numero possibile di specie e suscettibili di conservare la loro efficacia per un lungo periodo di tempo. Il diserbo selettivo esige, per contro, erbicidi che non danneggino la coltura e che esplicino un'azione meno radicale di quella degli erbicidi totali, potendo talvolta bastare una semplice modificazione dell'equilibrio tra le specie presenti in favore della pianta coltivata. La persistenza dell'efficacia, che è una qualità essenziale degli erbicidi totali, può divenire un inconveniente per gli erbicidi selettivi, i cui residui rischiano di danneggiare le colture successive.

In aggiunta alle caratteristiche del prodotto, una serie di artifici consente, inoltre, di aumentare o creare una selettività di ordine agronomico.

A questo fine i trattamenti vengono effettuati (Fig. 5.147):

1) *antesemina o pre-impianto*: il diserbante è applicato al terreno prima della semina o del trapianto, che saranno effettuati alcuni giorni dopo quando il trattamento avrà già esplicato la sua efficacia;

2) *pre-emergenza*: l'erbicida viene applicato il giorno della semina o qualche giorno più tardi, ma sempre prima della nascita della pianta coltivata. Si distinguono:

a) un trattamento *pre-emergenza di contatto*: il diserbante si applica allorché le erbe infestanti sono già emerse, ma prima che i germinelli della pianta coltivata attraversino la strato superficiale del terreno, che funge da protettore; b) un trattamento *pre-emergenza residuale*: in questo caso si tratta il terreno nudo, prima della comparsa delle erbe infestanti. I prodotti impiegati agiscono, in generale, sulle radici delle malerbe;

3) *post-emergenza*: questo tipo di trattamento ha il vantaggio di essere effettuato solamente quando il diserbo si rivela necessario e non preventivamente, come nel caso precedente (Figg. 5.148, 5.149). Gli erbicidi utilizzati a questo fine, in rapporto al loro meccanismo d'azione, sono riconducibili a due tipi:

- per *contatto* (Fig. 5.150);

- ad *azione sistemica* od *endoterapica* (Fig. 5.151), detti anche *teletossici*.

I primi agiscono uccidendo i tessuti vegetali che direttamente ne vengono a contatto e la loro azione è in genere piuttosto rapida. In alcune piante coltivate la selettività è dovuta in gran parte alla facoltà di queste di non lasciarsi bagnare dal liquido erbicida; per contro le infestanti, dalle foglie espanse, trattengono l'erbicida e vengono causticate.

Gli erbicidi ad azione sistemica agiscono in generale assai lentamente e sono i soli capaci di distruggere le piante vivaci. Essi, infatti, per assicurare la distruzione delle piante, devono raggiungere i meristemi, dove creano una disorganizzazione cellulare che impedisce un accrescimento normale (Fig. 5.152). Alcune volte essi agiscono direttamente sulla fisiologia, a livello della traspirazione, respirazione, ecc. senza procurare in un primo momento manifestazioni di ordine morfologico.

Il primo problema posto dall'impiego di un erbicida è quello relativo alla dose da adottare; in virtù del celebre adagio di Paracelso "è la dose che fa il veleno", bisogna impiegare la dose più conveniente per ottenere l'effetto desiderato; la dose efficace, tuttavia, varia enormemente in rapporto alla specie: per una data dose alcune specie si rivelano molto sensibili, mentre altre si mostrano perfettamente resistenti. Su questo differente comportamento specifico si fonda il fenomeno della selettività di azione, che permette di distruggere le erbe infestanti senza danneggiare la coltura.

Selettività

È la caratteristica più importante degli erbicidi, e consiste nella possibilità di danneggiare alcune specie in maniera maggiore delle altre (Figg. 5.153, 5.154). Anche i cosiddetti diserbanti totali hanno in sé qualcosa di selettivo, perché è sempre possibile che qualche specie sfugga alla loro azione. Il concetto di selettività è comunque molto aleatorio, in quanto un diserbante può essere selettivo verso una data specie solo se impiegato a determinate dosi, formulazioni, epoche e modalità di trattamento, fasi fenologiche delle piante, ecc. Schematizzando, si possono distinguere 5 tipi di selettività, e cioè: selettività di contatto, di ritenzione, di assorbimento, di traslocazione e intrinseca (o fisiologica).

La *selettività di contatto* è quella che deriva appunto dal mancato contatto (o da un contatto molto breve ed effimero) fra il diserbante e la specie da salvare, cioè la coltura. È quella che l'agricoltore cerca di ottenere mediante alcuni accorgimenti operativi, ad esempio diserbando quando ancora manca la coltura (in pre-semina) o quando questa non è ancora nata (pre-emergenza) oppure, se sono presenti contemporaneamente sia colture che infestanti, usando schermi protettivi o orientando opportunamente i getti nelle interfile. Si può anche sfruttare la diversa profondità degli apparati radicali, aumentando o meno la penetrazione dei diserbanti con una irrigazione, o usando diserbanti granulari; o, ancora, sfruttare la diversa durata della vita delle piante, colpendo con i diserbanti le sole parti aeree, eliminando così le piante annuali e dando la possibilità di recupero alle poliannuali. La selettività di contatto si realizza anche in funzione di fattori di ordine morfostrutturale, come la cerosità, la rugosità o la pubescenza dell'epidermide delle varie piante, che può impedire il contatto con il diserbante, oppure la diversa localizzazione

delle zone meristematiche (apicali e meno difese nelle leguminose, ascellari e protette nelle graminacee) che sono le più sensibili all'azione degli erbicidi.

La *selettività di ritenzione* è la diversa capacità di trattenuta del diserbante da parte delle varie specie, ciò che determina un più o meno lungo contatto del prodotto con la vegetazione. Essa dipende dalla conformazione e dal portamento delle foglie (larghe nelle leguminose, strette e a doccia nelle graminacee in modo da favorire lo sgrondo) e dalla presenza di peli o pubescenze nell'epidermide fogliare che facilitano la formazione di goccioline che vengono poi facilmente asportate dal vento.

La *selettività di assorbimento* (Fig. 5.155) riguarda solo i diserbanti sistemici e consiste in differenze di assorbimento cuticolare (in dipendenza dell'età delle piante e del differente spessore delle cuticole), di assorbimento stomatico (dipendente dal numero, grandezza e ore di apertura degli stomi) o radicale (relativo alla diversa attitudine delle piante ad assorbire ioni).

La *selettività di traslocazione*, anch'essa relativa ai diserbanti sistemici, che si muovono attraverso i tessuti di conduzione e per via intercellulare. Vi sono differenze specifiche sia nella intensità di traslocazione per via floematica, riguardante i diserbanti applicati alle foglie, sia nella velocità di traslocazione per via xilematica, che interessa i diserbanti applicati al terreno e che dipende dalla diversa capacità traspiratoria delle piante. Anche il movimento per via intercellulare, che riguarda gli oli minerali, è regolato dalla diversa permeabilità dei tessuti delle varie specie.

La *selettività intrinseca* (o fisiologica) interessa gli aspetti biochimici, perché riguarda la diversa capacità che le varie specie hanno di metabolizzare i prodotti rendendoli inattivi, o talvolta addirittura attivare dei prodotti di per sé stessi innocui. A questo proposito vi è l'esempio classico del mais, che resiste perfettamente a dosi di simazina tre volte superiori a quelle che sono sufficienti a distruggere la maggior parte delle infestanti di questa coltura grazie ad un enzima specifico, che degrada la simazina assorbita dalla pianta di mais prima che la simazina stessa eserciti la sua azione fitotossica. Altri aspetti importanti per questo tipo di selettività sono la fase fenologica, la permeabilità delle membrane, ecc.

Fattori che influenzano l'efficacia d'azione degli erbicidi

L'attività degli erbicidi presenta in realtà una variabilità notevolissima in quanto subisce l'influenza di numerosi fattori, tra i quali meritano di essere ricordati i seguenti.

a) *Fattori ambientali*; le condizioni dell'ambiente influenzano profondamente il comportamento degli erbicidi sino a renderli sia inefficaci contro le infestanti sia fitotossici per le piante coltivate. I fattori climatici giocano un ruolo di primaria

importanza; una elevata temperatura fa aumentare la tossicità degli erbicidi; il 2,4 D, ad esempio, che nello stadio giovanile è ben sopportato dal mais, diventa fitotossico se la temperatura supera i 25°C; lo stesso effetto è stato osservato con il phenmedipham sulla barbabietola, la quale a temperature elevate presenta bruciature più o meno gravi; per contro, le basse temperature attenuano l'attività degli erbicidi.

La pioggia può diminuire fortemente l'efficacia degli erbicidi applicati post-emergenza se sopravviene poco tempo dopo l'applicazione del prodotto, il quale viene lisciviato senza aver avuto il tempo di penetrare nelle foglie. Per converso l'assenza di pioggia può annullare l'effetto degli erbicidi applicati prima della germinazione in quanto è necessario un minimo di umidità perché i prodotti si mobilitino nel terreno e raggiungano le radici dalle quali essi saranno assorbiti.

La natura del terreno interferisce in misura elevata sul comportamento degli erbicidi applicati prima della germinazione; essi sono generalmente più attivi e più persistenti nei suoli pesanti ed argillosi che nei suoli leggeri, calcarei o sabbiosi.

Il tenore di sostanza organica può esercitare un'influenza importante sull'efficacia di un erbicida; a partire da un contenuto del 3% i fenomeni di assorbimento provocano una diminuzione dell'attività dell'erbicida fino alla totale inefficacia.

La struttura del terreno esercita anch'essa un'influenza rilevante; è stato frequentemente constatato che nelle zone di un campo dove il suolo è più compatto, per esempio in corrispondenza delle tracce delle ruote della trattoria, l'effetto degli erbicidi è più marcato.

b) *Fattori intrinseci ai prodotti impiegati*; quasi tutti i prodotti commerciali comprendono, oltre al principio attivo responsabile dell'azione fitotossica, prodotti coadiuvanti che ne facilitano l'impiego quali solventi, bagnanti, disperdenti, la cui natura può sensibilmente modificare l'efficacia di azione del principio attivo. E' stato osservato che differenti erbicidi contenenti lo stesso principio attivo, applicato alla stessa dose, presentano un'efficacia diversa per effetto delle differenze nella formulazione. Reazioni impreviste sono da attendersi, inoltre, nel caso di mescolanza di erbicidi con altri prodotti, quali gli insetticidi, i fungicidi, o i concimi liquidi in particolare, i quali ultimi hanno favorito il ricorso alla mescolanza per un'applicazione simultanea dei due principi. Causa di effetti imprevisti costituisce, infine, la presenza nel terreno di residui incompletamente degradati di erbicidi applicati nel corso di precedenti colture. In realtà si conosce ancora poco sulle interazioni suscettibili di verificarsi tra i diversi prodotti fitosanitari applicati su una medesima coltura, anche quando i trattamenti sono stati eseguiti separatamente.

c) *Fattori relativi alle piante trattate*; lo stadio vegetativo delle piante trattate con un erbicida esercita un ruolo importante sull'esplicazione degli effetti di questo sia sulla pianta infestante che su quella coltivata: i dinitrocresoli, per esempio, distruggono soltanto le malerbe allo stadio di plantula; le piante più adulte sopportano, infatti, senza gravi danni le bruciature derivanti dal trattamento con questi prodotti. Non si tratta, tuttavia, di una regola generale; lo stato di massima sensibilità del cardo al 2,4 D e all'MCPA si verifica al momento in cui la pianta comincia a fiorire; per contro, il ranuncolo dei campi è sensibile all'MCPA pressappoco lungo tutto il suo ciclo biologico. Lo stadio di sviluppo del frumento è determinante ai fini del suo comportamento nei confronti del 2,4 D o dell'MCPA, rispetto ai quali il massimo di resistenza si manifesta tra l'inizio della levata e la botticella; un trattamento con 2,4 D o con MCPA effettuato prima di questa fase provoca delle malformazioni della spiga e talvolta anche del culmo, tuttavia senza gravi ripercussioni sulla resa; per contro gli stessi prodotti, applicati dopo la botticella, provocano la sterilità di un numero più o meno grande di spighe con conseguenti gravi ripercussioni sulla resa in granella.

E' stato, inoltre, dimostrato che differenti varietà di una stessa specie di cereale reagiscono in maniera diversa ai trattamenti con 2,4 D o con MCPA. La differente sensibilità delle varietà è stata riscontrata anche rispetto ad altri prodotti ed in specie diverse dai cereali.

Anche lo stato fisiologico della pianta trattata si ripercuote sul suo comportamento nei confronti dei trattamenti erbicidi; in linea generale, una pianta sofferente, che si sviluppa male a causa sia di avverse condizioni climatiche che di attacchi di parassiti, si rivela sempre più sensibile di una pianta sana all'azione degli erbicidi.

La barbabietola da zucchero, ad esempio, sopporta bene il pirazone, ma può subire danni seri se la nascita è ritardata da un tempo umido e freddo. Le rullature, correntemente praticate a questa coltura, hanno dovuto essere bandite quando si è diffuso l'uso del pirazone, perché esso provoca in concomitanza con questa pratica seri fenomeni di fitotossicità.

La notevole resistenza del mais alla simazina ed all'atrazina risulta compromessa se le piante sono state danneggiate dalla grandine.

Comportamento dei diserbanti nel terreno

Gli erbicidi devono possedere, oltre alle caratteristiche diserbanti e selettive, anche una sufficiente persistenza d'azione, per poter controllare, per un tempo più o meno lungo, la nascita di nuove infestanti (Tab. 5.11). Questa caratteristica però non deve essere troppo pronunciata, se non si vuole incorrere in danni maggiori dei vantaggi ottenuti, quali

disturbo della coltura successiva e inquinamento dell'ambiente. I fenomeni che interessano la persistenza d'azione erbicida nel terreno sono (Fig. 5.156) :

- *Ruscellamento*. Quando la velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno è inferiore alla quantità che cade, o quando il terreno è saturo, l'acqua scorre sulla superficie (ruscellamento); quando la velocità è tale da consentire all'acqua di trasportare particelle di terreno si parla di erosione. La pendenza è quindi importante nel determinare l'entità del fenomeno. L'erbicida può essere trasportato disciolto nelle acque di scorrimento, oppure assorbito sulle particelle terrose presenti nell'acqua torbida. Le perdite ascrivibili al ruscellamento sono in genere comprese tra lo 0,2 e il 6% della dose applicata. Si parla allora di inquinamento delle acque superficiali.

- *Volatilizzazione*. E' il passaggio allo stato aeriforme che avviene alla superficie del terreno. Tra i fattori sono: *pressione di vapore* del diserbante (per i prodotti molto volatili è necessario l'interramento); *temperatura*, direttamente proporzionale alla volatilizzazione; *umidità del terreno*, inversamente proporzionale; *tipo di terreno*, i colloidi fissano il principio attivo.

- *Assorbimento*. Processo reversibile che avviene allorché il diserbante, in fase liquida, si lega alle particelle colloidali del terreno. In genere è maggiore alle basse temperature.

- *Dilavamento* o *lisciviamento*. E' il movimento lungo il profilo del terreno. La mobilità del p.a. può essere utile agronomicamente, ma può essere rischiosa per l'inquinamento delle falde acquifere.

- *Decomposizione* (o *degradazione*). E' l'unico processo che elimina il prodotto chimico dall'ambiente, formando alla fine del processo acqua, anidride carbonica e sali minerali. Tutti i diserbanti sono destinati a scomparire dall'ambiente, ma con tempi e modalità diverse. La degradazione può essere *chimica*, per reazioni chimiche catalizzate da enzimi presenti in acqua, terreno e piante; *fotochimica* (o *fotolitica*), da fotossidazioni derivanti da interazione acqua-luce; alcuni diserbanti sono sensibili ai soli raggi ultravioletti; *biologica*, ad opera dei microrganismi del terreno (batteri, attinomiceti e funghi); in genere è la forma preponderante di degradazione.

- *Assorbimento da parte delle piante*. La maggior parte dei p. a. può essere assorbita sia dalle malerbe, sia dalle piante coltivate. Una volta assorbiti, gli erbicidi vengono generalmente degradati attraverso i processi metabolici della pianta. La quantità assorbita dipende da: *epoca del trattamento*, *stato vegetativo della coltura*, *condizioni pedoclimatiche* e *tipo di coltura*. Nelle applicazioni su vegetazione ben sviluppata la quantità intercettata e successivamente assorbita può arrivare fino alla metà della dose impiegata, mentre la quantità di erbicida assorbita per via radicale raramente supera il 2% della dose applicata. E' ovvio che è importante conoscere, per ogni prodotto e per ogni

coltura (in particolare ortive e foraggere), la velocità di degradazione metabolica, per stabilire un lasso minimo di tempo tra diserbo e raccolta. In ogni modo, pur se il problema dei residui di diserbanti nei prodotti destinati all'alimentazione merita di essere attentamente studiato, esso non sembra così grave come per altri composti chimici impiegati in agricoltura, grazie alla metabolizzazione da parte della pianta, da un lato, e alla distanza tra date di trattamento e raccolta, dall'altro.

Effetti residuali degli erbicidi

Un altro problema sono gli *effetti residuali*, cioè i danni che un erbicida selettivo, dotato di notevole persistenza nel suolo, può arrecare a colture sensibili che succedono, nell'avvicendamento, a quella trattata con l'erbicida stesso.

La persistenza nel suolo di questi principi attivi, al di là della durata delle colture che si giovano della loro azione diserbante, è favorita dalla scarsità di piogge, dalla mancanza di irrigazione e quindi dalla carente attività biologica e chimica del terreno, nonché dalla scarsa entità dei fenomeni di lisciviazione, fotodecomposizione e volatilizzazione. E' ovvio che gli effetti residuali favoriscono la monosuccessione a scapito dell'avvicendamento colturale.

Tossicità degli erbicidi verso l'uomo, gli animali e l'ambiente

La pericolosità dell'impiego degli erbicidi (avvelenamento da contatto, ingestione e inspirazione), quella dei residui tossici che gli erbicidi possono lasciare nei prodotti destinati all'alimentazione e, infine, la pericolosità dell'accumulo di erbicidi nell'ambiente, sono, come già sopra accennato, generalmente inferiori a quelle delle altre categorie di fitofarmaci (insetticidi, fungicidi, acaricidi, nematocidi, ecc.). Ciò perché il numero degli erbicidi appartenenti alle classi tossicologiche I e II è piuttosto limitato; inoltre, perché tra il momento della loro applicazione e quello della raccolta intercorrono periodi di tempo piuttosto lunghi e, infine, perché, a motivo della bassa solubilità in acqua, di rado sono lisciviati nel sottosuolo, così che non sfuggono alla degradazione operata dai microrganismi del suolo.

Tuttavia, a tutela della salute dell'uomo e degli animali domestici, le autorità sanitarie di molti Paesi hanno fissato, per ciascun principio attivo, limiti di tolleranza e intervalli di sicurezza. Il *limite di tolleranza* è la quantità massima di un principio attivo, espressa in ppm, che può essere presente in ortaggi, cereali e piante industriali al momento della raccolta. L'*intervallo di sicurezza* è il tempo, espresso in giorni, che deve intercorrere fra l'ultimo trattamento e la raccolta stessa.

Relativamente agli animali selvatici a sangue caldo, sono stati giudicati pericolosi i diserbi in post-emergenza di colture cerealicole con dinitrofenoli e i trattamenti disseccanti con diquat e soprattutto con paraquat. Solo alcuni diserbanti (nitro- e fenossi-derivati) possono intossicare le api sia per contatto diretto che per avvelenamento dei fiori e dell'acqua. Per l'ittiofauna, i pericoli di contaminazione dei corsi d'acqua superficiali da parte degli erbicidi sembrano piuttosto limitati e solo pochi principi attivi risultano pericolosi. Per quanto attiene all'influenza dei diserbanti sulla microflora terricola, le ricerche compiute concludono che, nella maggior parte dei casi, l'applicazione degli erbicidi non provoca modificazioni permanenti del numero e dell'attività dei microrganismi del suolo.

L'uso ininterrotto di erbicidi può determinare dei cambiamenti nella composizione della flora spontanea. In molti casi si è venuta formare la cosiddetta *flora di sostituzione*, composta di specie più resistenti agli erbicidi. Talvolta, inoltre, emergono in specie infestanti già facilmente controllate, *biotipi resistenti* agli erbicidi.

5.6.3 Lotta antiparassitaria

Le perdite di resa, sia come quantità che come qualità, dovute ad attacchi di organismi patogeni e di insetti, sono diffuse in tutte le colture, e possono essere ingenti. È stato valutato che le sole malattie fungine sono responsabili di una riduzione del 20% delle produzioni alimentari potenziali; in un altro 25% è stimato il danno degli attacchi di insetti. Si tratta di stime medie a livello planetario; in genere nei climi temperati e temperato-freddi, meno favorevoli alla vita di molti organismi, i danni sono in qualche modo minori, mentre le perdite crescono di molto, sia in coltivazione che in conservazione, negli ambienti caldi tra i due tropici. Comunque, trattandosi di valori medi, quelli reali in una specifica situazione possono essere molto più alti. Abbiamo visto i danni derivati dal mancato controllo delle malerbe; l'oidio dei cereali può ridurre le rese del 50% in certi anni, e attacchi di taluni insetti possono significare la completa distruzione del raccolto, anche senza scomodare le bibliche locuste.

I sistemi di coltivazione devono quindi prevedere adeguate misure per proteggere le colture dagli attacchi di insetti e malattie. Gli agricoltori devono essere coscienti della varietà di avversità biotiche che possono colpire le loro colture, e capaci di riconoscerne i sintomi negli stadi iniziali. La prevenzione degli attacchi, più della cura, è in genere il metodo più efficace ed economico, e la conoscenza dei possibili rischi di infezione o

attacco è uno degli aspetti importanti della difesa delle piante. Questo significa che l'agricoltore deve analizzare continuamente il suo sistema colturale, per molti anni, per individuare le condizioni favorevoli allo scatenamento delle avversità biotiche. Si è già fatto riferimento, in questo senso, all'utilità degli avvicendamenti colturali.

La difesa delle piante è un campo estremamente ampio, che non può certamente essere trattato esaurientemente in questa sede. Cercheremo quindi soltanto di elencare i principali organismi che costituiscono le avversità di origine animale e vegetale, di discutere i modi in cui questi organismi possono ridurre resa e qualità, e di esaminare brevemente i modi in cui l'agricoltore può controllarli.

Gli organismi responsabili delle malattie (parassiti vegetali e virus)

I gruppi di organismi che causano malattie nelle piante sono tre: *virus*, *batteri* e *funghi* (Fig.5.157). I virus delle piante hanno la struttura più semplice, e consistono in una sequenza di RNA circondata da un cappuccio proteico. I batteri sono unicellulari e sono presenti come individui o come gruppi o catene di cellule. I tipi principali di batteri sono 2: quelli sferici (*cocchi*) e quelli a bastoncino (*bacilli*). Un altro gruppo di patogeni, i *fitoplasm*i, sono di dimensioni intermedie tra virus e batteri; siccome determinano malattie simili a quelle virali, sono di solito trattati insieme ai virus. I funghi hanno una struttura più complessa, e consistono in un insieme di *ife*, filamenti ramificati che consistono in file di cellule; la riproduzione è assicurata da *spore* sessuali e asessuali.

Metodi di trasmissione

Per avere successo un patogeno deve disporre di un metodo efficiente di trasmissione verso le piante sane, soprattutto se si tratta di un parassita obbligato; i parassiti facoltativi, invece, possono sopravvivere saprofiticamente sulla vegetazione in decomposizione, e una efficiente disseminazione non è essenziale per la loro sopravvivenza. La conoscenza sui modi di dispersione dei patogeni è utile per formulare programmi di controllo, in quanto la prevenzione della diffusione di una malattia può ridurre i fabbisogni di costosi trattamenti con sostanze chimiche.

I virus non sono mobili e si affidano ad altri agenti per raggiungere i succhi cellulari; inoltre, essi possono penetrare nelle piante solo attraverso ferite da insetti, o dovute all'attività dell'uomo. Anche se le attrezzature per la raccolta possono in teoria diffondere le virosi (foraggiere), il metodo di gran lunga più importante per la diffusione dei virus è quello legato al modo in cui insetti, acari e nematodi si alimentano. In particolare, i virus sono diffusi soprattutto da quegli insetti che hanno un apparato boccale adatto a succhiare la linfa dalla pianta; tra questi, gli afidi sono il gruppo più importante. La diffusione della

malattia è quindi massima nelle condizioni ottimali per l'attività afidica. Altri insetti capaci di trasmettere virus sono i tisanotteri e i coleotteri. I nematodi possono anch'essi diffondere i virus cibandosi di radici di piante infette. Qualche virus può essere portato dai semi (mosaico della lattuga), ma questo sistema è assai raro nella gran parte delle specie coltivate. Lo stesso vale per le spore di funghi, che in qualche caso possono essere vettori di virus. I virus sono invece sempre trasmessi attraverso le ferite che derivano dalla propagazione agamica, come la divisione nelle patate, il taleggio e l'innesto nelle piante da frutto.

Le malattie batteriche (batteriosi) sono raramente importanti nelle piante erbacee, ma possono essere un problema per alcune colture arboree, e in certi terreni (pesanti). Di solito interessano gli organi ipogei della pianta, e consistono in marciumi; la rogna dell'olivo però interessa anche gli organi epigei.

I patogeni fungini vengono trasmessi in diversi modi. Uno di questi è la semina di semi (o l'impianto di materiale di propagazione) già infetti. Altrimenti, la trasmissione delle malattie è indiretta, e richiede l'aiuto di un qualche agente o vettore esterno. Tra questi, il vento è il vettore più importante per la dispersione delle spore fungine. La gran parte dei patogeni fungini, in qualche momento della loro vita, produce spore al di fuori della pianta ospite; le spore possono passare nelle correnti dell'atmosfera per cessione passiva, come nel caso delle carie. Molti funghi però hanno la capacità di immettere le spore nell'atmosfera in modo attivo; le distanze variano da 1 mm a 45 cm, ma sono sufficienti per assicurare una dispersione efficace.

L'acqua è un altro vettore per la diffusione delle malattie fungine. Le spore di alcuni funghi sono mobili nell'acqua del terreno, e le infezioni sono più gravi in condizioni di scarso drenaggio. Dispersione può anche aver luogo per mezzo di acqua che schizza in seguito a impatto, per pioggia o irrigazione; le goccioline raccolgono e trasportano le spore, per esempio di ruggini e oidio (Figg. 5.158, 5.159).

Le spore delle malattie insediate nel terreno possono essere trasmesse con le particelle di terreno spostate dalle ruote delle macchine, dagli zoccoli degli animali e dalle scarpe degli uomini. Anche quelle malattie che permangono sui residui delle colture possono essere diffuse dalle lavorazioni e dai mezzi meccanici. Qualche malattia è trasmessa dagli animali: la segale cornuta dei cereali induce i fiori ad emettere un essudato zuccherino, che attira gli insetti; questi quindi raccolgono anche spore, che possono deporre su fiori di piante sane. Le spore possono anche muoversi attaccate alle penne degli uccelli o al pelo di animali che si muovono tra le piante.

Perdite di resa e qualità a causa di malattie

Precise stime quantitative sulle perdite di resa a causa di malattie sono difficili da ottenere, e in ogni modo variano di molto da un anno all'altro, dipendendo dalla entità e epoca dell'attacco. E' invece più semplice considerare gli effetti della malattia sulle funzioni fisiologiche della pianta, e il modo in cui resa e qualità sono influenzate.

Il sistema radicale delle piante svolge una funzione importante nell'assorbire elementi nutritivi ed acqua dal terreno; inoltre le radici sono un sito di sintesi di aminoacidi e proteine, oltre che di numerosi altri prodotti secondari. Le malattie che colpiscono il sistema radicale influenzano quindi crescita e sviluppo attraverso i loro effetti su questi processi. Il mal del piede del frumento attacca radici e colletto, e determina una ridotta crescita del culmo (Fig. 5.160). In seguito si possono avere spighe senza cariossidi e senescenza prematura.

Altri organi sotterranei possono essere soggetti a malattie, come accade nella patata. Sia la scabbia comune che quella polverulenta attaccano i tuberi dal terreno, e altre malattie possono poi aversi in conservazione, passate attraverso le ferite. La batteriosi invece raggiunge i tuberi dal fusto epigeo.

I fusti delle piante servono a una quantità di scopi; sostengono la pianta e forniscono uno scheletro perché le foglie possano sfruttare la luce per la fotosintesi. Inoltre è attraverso il fusto che si ha il trasporto di acqua e la traslocazione degli assimilati. Vi sono malattie che attaccano la base dei fusti, e che ne determinano l'allettamento (frumento); vi sono varietà di colza che non hanno alcuna resistenza a marciumi del colletto. Alcune avversità fungine e batteriche spesso infettano la pianta attraverso il sistema radicale, ma hanno effetto soprattutto sulle funzioni del fusto. Gli organismi responsabili producono gommosi e tillosi che otturano il sistema vascolare e inducono appassimento (es. *Fusarium oxysporum* del pisello).

Le foglie sono il sito principale per la fotosintesi, e disturbare questa funzione vitale da parte dei patogeni significa influenzare negativamente sia la qualità che la quantità delle rese. Le virosi spesso causano perdite di clorofilla nelle foglie, con conseguenti ingiallimenti, e sono comuni in molte specie. Altri virus causano decolorazioni a mosaico o a strisce (cavolfiore, tabacco, ecc.).

Batteriosi fogliari nelle specie temperate sono rare, mentre numerosi sono gli esempi di patogeni fungini che colpiscono le foglie. Il frumento è una specie assai colpita: varie ruggini, il mal bianco, septoriosi e altri funghi, particolarmente attivi in ambienti umidi, causano lesioni alle foglie e poi producono altre spore che infettano nuove foglie. La convenienza ad applicare fungicidi è determinata dalla percentuale di foglia colpita. Nella patata è tristemente famosa la peronospora (*Phytophthora infestans*).

Sono altresì importanti quelle malattie che colpiscono le strutture riproduttive. Nei cereali, i carboni (Fig. 5.161) e la segale cornuta rendono le granaglie inadatte all'alimentazione, sia umana che animale, con la seconda che è addirittura tossica. La septoria del frumento può causare perdite di resa del 50% grazie ai suoi effetti di riduzione delle dimensioni delle cariossidi. Le *Botrytis* o muffe grigie della fragola e della vite hanno anch'esse effetti sui frutti.

Da questi esempi appare evidente come le malattie possono in svariati modi ridurre quantità e qualità delle rese, interferendo con processi fisiologici. L'agricoltore deve cercare di ridurre al minimo questi danni, con le appropriate tecniche di coltivazione e di difesa.

Fattori che favoriscono lo sviluppo delle malattie

Il successo di una malattia nell'infettare una pianta è principalmente determinato dalle condizioni ambientali. La gran parte delle infezioni fungine hanno luogo grazie alla germinazione delle spore e alla conseguente penetrazione del tubo germinativo. Le condizioni adatte alla germinazione delle spore e all'infezione sono simili a quelle dei semi; per molte malattie un'adeguata umidità è necessaria, ed in realtà le infezioni sono assai frequenti in ambienti ad alta umidità. Alcune spore germinano in condizioni di alta umidità relativa, ma in genere è necessaria la presenza di goccioline o strati sottili di acqua. Alte temperature, in presenza di umidità adeguata, favoriscono la germinazione delle spore. La conoscenza delle condizioni ottimali per l'infezione può aiutare a prevedere il momento di forti attacchi di una malattia. In tal modo si possono predisporre programmi di controllo chimico prima che la malattia si affermi. I fattori ambientali sono quindi importanti riguardo al successo che può avere un processo di infezione, nella gran parte delle malattie.

Anche le condizioni in cui si trova una pianta ne influenzano la suscettibilità alle malattie; non si può però generalizzare, in quanto alcune malattie si sviluppano bene su piante deboli o senescenti, mentre altre preferiscono piante in attiva crescita. Inoltre la reazione dei tessuti ai patogeni può cambiare con l'età della pianta, in quanto variano anche contemporaneamente i suoi meccanismi di difesa. Lo stesso vale per le condizioni di nutrizione della pianta: spesso alti livelli di azoto favoriscono le infezioni, mentre buoni livelli di potassio le possono ridurre.

Lo sviluppo della malattia dipende anche dalle caratteristiche del patogeno: i funghi in genere sono presenti come ceppi di diversa virulenza; inoltre, in condizioni ambientali favorevoli, l'infezione è più forte se l'inoculo è di maggiore entità: infatti questo aspetto è esaltato da condizioni che favoriscono la germinazione delle spore e l'efficienza della loro

dispersione. Nel caso di virosi e batteriosi, il successo dell'infezione dipende di solito dall'entità del danno attraverso il quale i patogeni penetrano. Quando la trasmissione della malattia dipende da vettori animali, è ovvio che la sua entità dipende fortemente dalla popolazione del vettore e dalle condizioni ambientali relativamente alla moltiplicazione e movimento del vettore. Così, gli afidi si moltiplicano rapidamente con temperature medio-alte, e sono più attivi nelle giornate calde e senza vento; conoscere questo è importante perché di solito le virosi si combattono controllando questi vettori.

Infine il successo di una malattia dipende dal grado di resistenza del quale dispone il genotipo (specie, varietà, clone) colpito; si tratta di una caratteristica quantitativa, nel senso che molto rara è la totale immunità, mentre spesso la pianta riesce ad arginare l'attacco entro limiti tollerabili: la resistenza non è la stessa verso tutti i patogeni, ed inoltre non è nemmeno un carattere perenne, in quanto gli organismi patogeni sono in grado di sviluppare mutazioni più adatte a colpire il vegetale. In natura questo si difende con lo stesso meccanismo, mentre per le piante coltivate il meccanismo di adattamento è più complesso; comunque la genetica si occupa di individuare le resistenze esistenti nel germoplasma, e di inserirle nei genotipi coltivati.

Parassiti animali

Sono specie aventi caratteristiche morfologiche e fisiologiche molto diverse, appartenendo a un gran numero di entità tassonomiche: Insetti, Acari, Nematodi, Miriapodi, Molluschi, Vertebrati.

Insetti

Rappresentano la classe più ampiamente diffusa sulla Terra: si calcola che 4/5 del regno animale sia costituito da insetti. Tra loro ne esistono, per il loro rapporto con l'uomo, di indifferenti, di utili e di dannosi (Figg. 5.162, 5.163a, 5.163b).

Per insetto utile non si intende solo quello che fornisce sostanze pregiate all'uomo (seta, miele, cera, lacca), ma anche tutta quella miriade di specie che aiuta indirettamente l'uomo, interagendo con i suoi stessi nemici.

I danni provocati dagli insetti nocivi possono essere estremamente vari, in relazione soprattutto al tipo di apparato boccale, alla porzione di pianta che il danno colpisce ed allo stadio dannoso dell'individuo. Tutti questi parametri sono estremamente importanti anche, e soprattutto, per poter adeguatamente combattere il parassita.

Abbiamo quindi insetti con apparato boccale masticatore che provocheranno asportazioni di porzioni di foglie, frutti, radici, o rosure all'interno di tronchi e rametti; individui con apparato boccale succhiatore che provocheranno galle, depigmentazioni, accartocciamenti, ecc.

L'attacco può avvenire sui frutti, fiori, foglie, tronco, radici; all'esterno o all'interno delle piante; l'insetto può essere immobile (es. cocciniglie) o mobile (es. grillotalpa, cicaline, larve varie).

Non tutti gli stadi di un insetto risultano essere dannosi, generalmente è uno solo quello da cui si hanno i problemi: molte sono le larve temibili per le loro rosure, ma le farfalle che da esse si svilupperanno sono di per sé innocue.

Risulta quindi evidente la necessità di conoscere il meglio possibile il ciclo dei parassiti con cui si ha a che fare; non solo per individuare lo stadio dannoso ma anche per saper intervenire nel momento più idoneo a colpire la forma più debole (Fig. 5.165). Come si è già accennato in precedenza gli insetti possono anche arrecare un danno indiretto, come vettori di virus e batteri.

Acari

Sono anch'essi artropodi, come gli insetti, ed appartengono alla classe degli Aracnidi. Sono di dimensioni piuttosto piccole, si va da 0,2 a 10 mm; gli acari di interesse agrario sono dotati di apparato boccale fornito di stilette e quindi di tipo pungente-succhiante. Di conseguenza tra i danni più diffusi si ritrovano formazione di galle e decolorazioni dovute a sottrazione di linfa.

Gli Acari hanno presentato un notevole aumento negli ultimi trent'anni, fenomeno da imputare ad alcune pratiche legate alla moderna agricoltura. Così, il loro sviluppo è favorito dalle concimazioni abbondanti, mentre i trattamenti antiparassitari indiscriminati hanno danneggiato i loro predatori e parassiti; infine, alcuni principi attivi hanno stimolato la loro fecondità. La risultante è stato uno sviluppo eccezionale delle popolazioni di acari, che sono diventate un problema da combattere.

Infine è necessario ricordare che alcuni Acari (i Fitoseidi) sono utili all'uomo, comportandosi come predatori degli Acari fitofagi, mentre alcuni insetti (*Strethorus*, *Chrysopa*) sono predatori di Acari, e perciò vanno salvaguardati.

Nematodi

I nematodi parassiti delle piante sono esseri vermiformi, dalle dimensioni microscopiche (0,2-2 mm), il cui habitat è il terreno, per cui la parte della pianta che subisce il loro attacco è costituita principalmente dall'apparato radicale.

Grazie ad uno stiletto che infiggono nei tessuti radicali essi provocano necrosi degli apparati, cessazione dell'allungamento dei fittoni con eccessivo sviluppo di radici laterali, distorsione delle radici, galle; sulla parte aerea provocano lesioni di gemme, fusti e foglie increspate e distorti, accorciamento degli internodi, maculature e necrosi, semi trasformati in galle; inoltre i Nematodi possono provocare un rallentamento dell'accrescimento della pianta, precoce filloptosi, deperimento generale.

Questi sintomi, spesso aspecifici, rendono più grave l'attacco dei nematodi, poiché talvolta si interviene contro di loro troppo tardi.

Oltre ai danni diretti i nematodi assumono una notevole importanza come vettori di altri agenti patogeni (principalmente virus), il cui instaurarsi è d'altronde favorito dal deperimento generale della pianta determinato dagli stessi nematodi.

Miriapodi

I cosiddetti millepiedi, vivono in luoghi umidi, in terreni ben concimati, sotto foglie e cortecce. Si nutrono generalmente di sostanza organica in decomposizione e tessuti vegetali molto teneri. Possono arrecare danni a piantine nei primi stadi di sviluppo, sia in serra che in pieno campo.

Molluschi

Vi appartengono principalmente le lumache, provviste di conchiglia esterna, e le limacce, con conchiglia non visibile. La loro attività si esplica soprattutto dopo le piogge o durante le ore notturne; l'alimento è costituito da piantine giovani, germogli, foglie di piante orticole.

Vertebrati

Tra gli animali superiori che possono danneggiare le colture e i prodotti in magazzino ricordiamo alcuni uccelli (passeri e storni) ed alcuni mammiferi (topi, arvicole, talpe).

Metodi di lotta

Anche nel campo vegetale è possibile intervenire con metodi *preventivi* o *profilattici*, evitando cioè l'instaurarsi della malattia stessa, oppure *terapeutici* o *curativi*, intervenendo quando la malattia è già insorta.

Nel primo caso si cerca essenzialmente di creare attorno alla pianta un ambiente idoneo al suo miglior sviluppo ed inidoneo a quello del parassita, utilizzando inoltre varietà sempre

più resistenti ed adeguate alla situazione colturale contingente, evitando o limitando la possibilità di contatto tra agente patogeno e pianta.

Nel secondo caso si interviene direttamente sul patogeno, cercando nel contempo di contenere i danni provocati alle colture.

I metodi utilizzati possono essere di tipo agronomico, di tipo genetico (che hanno un'azione essenzialmente preventiva), di tipo fisico, chimico e biologico (che agiscono per lo più direttamente sul patogeno).

Metodi agronomici

Come si è già detto hanno nella maggior parte dei casi un'azione preventiva, cioè hanno lo scopo di creare intorno alla pianta l'ambiente migliore, favorendone lo sviluppo e rendendola quindi più resistente alle avversità. Inoltre una concimazione equilibrata, uno sgrondo ottimale, una buona spaziatura tra le piante, una semina corretta evitano già di per sé una parte di quelle fisiopatie che possono interessare le colture.

Ricordiamo comunque, in particolare, pratiche, a volte accantonate dall'agricoltura avanzata, che hanno invece un'estrema importanza per il contenimento delle avversità.

Rotazioni - Con l'avvento massiccio della monocoltura sono emerse tutte quelle problematiche di "specializzazione" da parte di insetti e piante infestanti, una volta sconosciute.

Con l'avvicendamento colturale è possibile limitare gli effetti negativi di insetti strettamente monofagi e di infestanti che mal si adattano ad ambienti colturali differenti, oltre ad esplicare un'azione benefica sulla struttura del terreno e sulla sua dotazione. Nel caso del nematode della barbabietola da zucchero (*Heterodera schachtii*), l'introduzione, ad esempio, nell'avvicendamento di specie non ospiti accelera il declino naturale della popolazione del fitofago.

In figura 5.166 vengono riferiti i controlli sul nematode condotti in annate successive in un terreno infestato nel quale è stato praticato un avvicendamento prima quadriennale e successivamente biennale. Dall'andamento del numero di uova-larve accertato al termine di ogni coltivazione si evidenzia come con la quadriennale, nella quale la bietola è seguita da tre colture non ospiti (frumento, mais, frumento), si sia ottenuto una diminuzione significativa dell'infestazione, mentre il successivo ritorno della bietola con sola interruzione biennale, abbia riportato l'infestazione a livelli tali da escludere la possibilità di ulteriori coltivazioni.

Impianto - Anche il tipo di impianto della coltura (ampiezza dell'interfila ed epoca di semina) può influenzare lo sviluppo dei patogeni fungini e delle virosi. Nella soia, ad esempio, per il controllo del cancro dello stelo (*Diaporthe phaseolorum* var. *caulivora*)

un'interfila di 75 cm ed un'epoca di semina ritardata consentono ad una cultivar anche solo parzialmente tollerante di subire in minima parte gli effetti della malattia (Tab. 5.12). Nell'orzo ad impianto autunnale, è da tempo noto che una semina più ritardata rappresenta un valido mezzo di lotta al virus del nanismo giallo in quanto la coltura si sviluppa durante il periodo di minore attività degli afidi vettori del BYV.

Lavorazioni del terreno - Lavorazioni eseguite in modo adeguato migliorano l'ambiente di sviluppo della pianta, aerando il terreno o favorendo lo sgrondo delle acque in eccesso; esse hanno anche il merito di sotterrare semi di piante infestanti e larve di insetti evitandone lo sviluppo o, al contrario, portarle in superficie dove, privi di protezione, saranno predati e dove comunque non troveranno la possibilità di svilupparsi e crescere.

Governo delle acque - La modifica del livello dell'acqua di sommersione viene utilizzata in risicoltura per il contenimento delle erbe infestanti, soprattutto i giavoni. L'irrigazione può risultare da un lato una pratica in grado di favorire la diffusione di alcuni patogeni, come la Cercospora e la Rizomania, ma dall'altro può invece consentire di contenere i danni di alcune malattie come il marciume carbonioso del girasole.

Potatura ed eliminazione di parti infette di pianta - Si tratta di una pratica che ha un'azione in parte curativa (bonifica di piante malate) ed in parte preventiva (eliminazione di organi che fungono da ricovero per lo svernamento e/o il successivo ingresso e sviluppo del parassita).

Si possono ricordare la raccolta delle "mummie" di *Monilia fructigena* su drupacee, l'eliminazione dei rametti dove sverna l'agente della Ticchiolatura del pero, *Venturia pirina*, la correzione, mediante potatura, di scosciature o rotture lacerate, ecc.

Anche la lotta obbligatoria contro la Piralide del mais, effettuata mediante interrimento o bruciatura degli stocchi a fine coltura, fa parte di questi metodi di lotta.

Eliminazione di piante spontanee - Piante spontanee sia erbacee che arboree, oltre ad esercitare il descritto effetto di competizione, possono fungere da ricovero o essere parte essenziale del ciclo di sviluppo di alcuni parassiti sia animali che vegetali.

Innesto- L'utilizzo di portinnesti americani nella vite ha permesso di condurre la lotta più semplice ed efficace contro la fillossera, creando individui con apparato radicale resistente all'attacco del patogeno; sempre sulla vite portinnesti idonei permettono la coltura in terreni con un alto tasso di calcare attivo, evitando od attenuando i danni della clorosi ferrica.

Metodi genetici

Sono metodi preventivi, permettendo di creare varietà resistenti alle avversità od esenti dal patogeno.

Impiego di varietà resistenti - E' senz'altro un campo in continua espansione, pur avendo già dato risposte estremamente positive in parecchi campi: si può citare anche qui il vantaggio conseguente all'utilizzo di portinnesti o varietà resistenti.

Anche nel campo delle fisiopatie le nuove varietà hanno dato un notevole contributo: frumento o riso di taglia più bassa possono evitare l'allettamento e tutti i problemi patologici e di raccolta ad esso connessi. Successi si sono anche ottenuti nella barbabietola da zucchero, nei confronti di Cercospora e Rizomania (Fig. 5.167).

Produzione di materiale da meristemi - E' il metodo più efficace per la lotta contro virus e batteri. In questo modo si ottengono piantine sicuramente esenti, poiché essi non si sviluppano all'interno dei tessuti meristemati.

Metodi fisici

Sono basati sull'utilizzazione del calore. Esso agisce sul patogeno provocandone l'inattivazione o la morte; possono essere utilizzati sia per risanare substrati che su materiale vegetale infetto.

Disinfezione del terreno con vapore - Agisce contro insetti, nematodi, funghi, batteri, semi d'infestanti. Dato il costo elevato è impiegato quasi esclusivamente per colture ad alto reddito.

Termoterapia - Viene effettuata con aria o con acqua calda. E' utilizzata per il risanamento di materiale affetto da virus: un riscaldamento adeguato e sufficientemente prolungato inattiva infatti il virus senza danneggiare i tessuti vegetali.

Metodi biologici

Questo tipo di lotta consiste nella conservazione e nella diffusione degli antagonisti esistenti nell'ambiente naturale, per controllare la densità dei fitofagi e mantenerli entro limiti accettabili. Ciò può essere realizzato immettendo nell'ambiente specie predatorie o parassite del patogeno da combattere (Figg. 5.168a, 5.168b) (es. *Bacillus thuringiensis*, *Chrysopa carnea* ecc.). È però anche lotta biologica quella che si attua creando "confusione" tramite trappole contenenti feromoni, che svierano i maschi delle specie patogene con falsi segnali di attrazione sessuale (Figg. 5.169, 5.170). Anche contro le crittogame si stanno moltiplicando i meccanismi sfruttati nella lotta biologica. La lotta biologica ha il vantaggio di essere durevole e di comportare, almeno in teoria, rischi trascurabili; l'unico punto debole della tecnica è quello legato all'introduzione di organismi esotici, dei quali non si riesce sempre a prevedere l'interazione con l'ambiente biotico.

La lotta biologica può essere condotta secondo due strategie principali:

- Lotta biologica classica. L'agente di controllo, di solito proveniente dal paese di origine della specie da combattere, viene rilasciato una sola volta nel nuovo ambiente. Le popolazioni dei due organismi (preda e predatore) raggiungono un equilibrio. La specie nociva, lungi dall'essere eliminata, raggiunge densità sufficientemente basse da essere inoffensiva.

-Lotta biologica inondativa. In questo caso gli agenti di controllo sono liberati ripetutamente ed in quantità massicce. È una strategia più efficace, sulla quale si concentra maggiormente la ricerca pubblica e privata.

Metodi chimici

E' il tipo di lotta più largamente utilizzato nella moderna agricoltura, ma è anche quello che, per le conseguenze dirette od indirette che provoca sull'uomo e sull'ambiente, si è dimostrato il più pericoloso ed il più difficile da utilizzare correttamente. Consiste nella utilizzazione di principi attivi allo stato liquido, polverulento o gassoso, su piante o parti di piante, nel terreno, in ambienti chiusi, allo scopo di prevenire o ridurre i danni da parte di fitofagi o di parassiti vegetali. Tali prodotti prendono il nome di *antiparassitari* o *fitofarmaci* (Figg. 5.171, 5.172, 5.173).

Ogni fitofarmaco immesso sul mercato è generalmente composto da due parti essenziali: il *principio attivo* ed i *coadiuvanti*, più sostanze inerti che fungono da veicolanti.

Principi attivi

Il principio attivo è la sostanza che esplica l'azione diretta contro il patogeno/parassita; sulla base della natura dell'avversità che deve colpire si potrà parlare di:

- *Anticrittogamici*: sostanze atte a combattere le malattie imputabili a funghi e batteri; possono essere utilizzati sulla pianta in campo, post-raccolta, come concianti e geo-disinfettanti;

- *Insetticidi*: comprendono quei formulati in grado di svolgere un'azione tossica contro gli insetti. Possono essere utilizzati sulle piante in campo, sulle derrate, come geo-disinfestanti, come esche;

- *Acaricidi*: sono prodotti utilizzati nella lotta contro gli Acari; in base alla fase del ciclo che colpiscono vengono suddivisi in ovicidi ed in adulticidi, mentre la fase di neanide è colpita da entrambi i tipi di prodotto. Vengono utilizzati solo su piante in campo;

- *Nematocidi* :diretti contro i nematodi fitoparassiti. I trattamenti sono indirizzati al terreno;

- *Limacidi*: utilizzati nella lotta contro lumache e limacce. Possono essere sotto forma di polvere o di esca;

- *Rodenticidi*: servono a combattere micro-mammiferi insettivori (talpe) o roditori (topi, arvicole): anch'essi si ritrovano sotto forma di esche o polvere;
- *Fumiganti*: in questa categoria sono compresi principi attivi che possono presentare azione insetticida, anticrittogamica, nematocida o antigerminello. La loro caratteristica comune è di agire sotto forma di gas o di vapore; per questa particolarità la loro somministrazione abbisogna di strumentazione specifica. Alcuni di essi possono essere applicati solo ed esclusivamente da personale altamente specializzato e fornito di particolare autorizzazione. Il loro utilizzo avviene in pieno campo, in serra, in magazzino;
- *Diserbanti* : utilizzati per il controllo delle infestanti; possiamo avere prodotti *alghicidi*, *antigerminello*, *erbicidi*, *arbusticidi* e *decespuglianti* (vedi sopra). Vengono distribuiti sul terreno nudo o con la coltura già in atto;
- *Repellenti*: hanno un'azione "disattraiva", inducendo gli insetti o gli animali ad allontanarsi ed impedendone l'azione dannosa o molesta. Si impiegano contro roditori, uccelli, mosche, zanzare.
- *Fisiofarmaci*: formulati adatti al controllo di alcune fisiopatie, tra cui idropatie (marciume apicale del pomodoro, butteratura amara delle mele), frigopatie (riscaldamento), chemiopatie da squilibri nutritivi, traumopatie. Possono essere utilizzati in pieno campo od in post-raccolta;
- *Fitoregolatori*: agiscono sull'attività dei fitormoni naturali, modificandone il funzionamento. Ricordiamo prodotti alleganti, anticascia, diradanti, brachizzanti, radicanti; vengono applicati in pieno campo o in serra.

Coadiuvanti

I fitofarmaci sono raramente applicati allo stato puro: di regola i principi attivi vengono diluiti con altri ingredienti che hanno lo scopo di migliorare la distribuzione e l'adesività dei prodotti, nonché l'esplicazione delle proprietà del principio attivo. Questi ingredienti sono spesso determinanti per l'efficacia di un antiparassitario, e lo stesso principio attivo può manifestare efficacia diversa contro lo stesso parassita se cambiano le caratteristiche delle sostanze aggiuntive.

Queste sostanze si dividono in:

- *Tensioattivi* : riducono la tensione superficiale dei liquidi, e quindi ne facilitano la distribuzione regolare sui tessuti vegetali, garantendone così una copertura completa ed uniforme. Vengono suddivisi in *emulsionanti* (quando si disperde un liquido in un altro) e *bagnanti* (che migliorano l'uniformità di distribuzione sugli organi trattati) (Fig. 5.174);

- *Adesivi* : hanno lo scopo di mantenere più a lungo e in modo migliore il contatto tra soluzione acquosa irrorante e superficie vegetale trattata; la persistenza del fitofarmaco aumenta, e ne resta favorita la penetrazione all'interno del vegetale.

Lotta guidata

La strategia su cui si basa la lotta antiparassitaria di tipo tradizionale è fondata su interventi cosiddetti "a calendario", cioè basati sugli stadi fenologici delle piante; gli antiparassitari utilizzati sono generalmente a largo spettro di azione, con un effetto marcato ed una persistenza notevole.

Questo tipo di interventi, che pure hanno svolto un fondamentale ruolo nella evoluzione tecnica della agricoltura, hanno portato come conseguenza negativa tutta una serie di problemi di cui non è possibile qui trattare, ma comunque di ordine ecologico, tossicologico (umano e animale), di qualità delle derrate, di costi aziendali.

La lotta guidata invece interviene solo in caso di reale necessità, e nel momento in cui il parassita è più vulnerabile; in tal modo il suo controllo è attuato con quantità ridotte di fitofarmaci; inoltre i prodotti utilizzati non sono più a largo spettro, ma selettivi e/o poco persistenti, in grado di rispettare il più possibile l'ambiente e la salute umana.

Gli individui dannosi dovranno anche essere presenti in numero tale da arrecare un danno economicamente tangibile: solo a questa condizione verrà eseguito il trattamento.

È quindi necessario introdurre il concetto di *soglia di tolleranza o di intervento*. Queste "soglie" sono state calcolate sulla base di lunghe sperimentazioni, condotte direttamente nel luogo in cui si intende introdurre questa metodologia, poiché esse possono risultare differenti da zona a zona, da coltura a coltura, da fitofago a fitofago.

Generalmente vengono tracciati dei grafici su cui viene riportato il grado di infestazione; questo accertamento viene compiuto attraverso controlli visivi su foglie, fiori, frutti o rametti, oppure mediante l'uso di trappole e/o apparecchiature che ne segnalano la presenza (Fig. 5.175). Seguendo il tracciato risultante si potrà decidere o meno di intervenire, e, in caso di intervento, la dinamica della popolazione ci permetterà di individuare il momento più idoneo.

La lotta guidata può essere adottata sia per il controllo di insetti, sia nel caso di avversità fungine. Le metodologie sono differenti, poiché, mentre nel primo caso si seguono le soglie di presenza del parassita, nel secondo caso è più esatto parlare di "indici epidemiologici".

Parassiti animali

Si può intervenire su insetti o su acari. Il conteggio delle presenze viene fatto sia attraverso controlli diretti sugli organi vegetali, sia attraverso le catture compiute con trappole (Fig. 5.176).

Le trappole (utilizzate anche per catture di massa e non solo per il monitoraggio) possono essere di diversi tipi:

- *trappole cromotropiche*, basate sulla attrazione che certi colori (ad esempio il giallo, il bianco, il rosso) esercitano su alcune specie di insetti; si tratta di fogli di plastica invischiata;
- *trappole a feromoni*, piccole capannine di plastica invischiata, all'interno delle quali viene immessa una capsula contenente l'attrattivo sessuale, specifico per l'insetto che si vuole catturare, detto appunto feromone;
- *trappole alimentari*, costituite da un recipiente contenente l'attrattivo alimentare, da cui l'insetto una volta penetrato non è più in grado di uscire.

Al conteggio delle presenze vengono affiancati controlli meteorologici su temperatura ed umidità, in modo da poter prevedere in anticipo quale sarà l'andamento della popolazione.

Avversità crittogamiche

Necessitano di attrezzature più sofisticate rispetto a quelle utilizzate per gli insetti, per cui generalmente il monitoraggio è condotto da un centro specializzato da cui partirà il segnale di esecuzione del trattamento.

Le crittogame contro cui si attua una lotta mirata, seguendo le tecniche in questione, sono principalmente la Ticchiolatura del melo e del pero, la Peronospora e la Muffa grigia della vite, la Peronospora della patata e del pomodoro, la Cercospora della barbabietola da zucchero.

Le attrezzature utilizzate sono costituite da un *captaspore*, da un *umettografo*, da una capannina meteorologica contenente *termoigrografo* e *pluviografo*; queste apparecchiature permettono di seguire l'andamento di tutti quei fattori (pioggia, umidità dell'aria, bagnatura degli organi vegetali, temperatura) che favoriscono lo sviluppo del fungo e di conseguenza permettono di prevedere con sufficiente anticipo e con buona approssimazione il momento di inizio ed il ritmo di crescita dei processi infettivi.

L'obiettivo della lotta guidata consiste quindi prevalentemente in una drastica riduzione dei trattamenti e sulla introduzione di prodotti meno tossici e meno inquinanti.

La successiva evoluzione della lotta guidata è stata la *lotta integrata*, che consiste nell'utilizzazione, oltre ai trattamenti con fitofarmaci, di tutti i mezzi di difesa disponibili.

Si tratta quindi di combinare, di integrare, con i trattamenti chimici, le tecniche agronomiche, fisiche, genetiche e biologiche sopra descritte, al fine di mantenere i parassiti al di sotto della soglia di intervento (Fig. 5.177).

5.7 Raccolta e conservazione

Le tecniche colturali hanno profonda influenza su qualità e quantità del prodotto, oltre che sulla economicità della attività agricola. Esse però assumono poco senso se non sono seguite da una raccolta tempestiva e adeguata, e da una corretta manipolazione del prodotto, in modo da salvaguardare quelle quantità e qualità desiderate. Tutti gli interventi legati alla raccolta, trasporto, condizionamento, ed eventuali conservazione, trasformazione e confezionamento in azienda, richiedono una profonda conoscenza delle caratteristiche del prodotto, sia nelle ultime fasi della sua permanenza sulla pianta, sia nel periodo, più o meno lungo, che intercorre tra raccolta e consumo.

5.7.1 Maturazione e raccolta

Coltivazioni erbacee e orticole

In un dato momento del ciclo produttivo una decisione deve essere presa sul momento in cui raccogliere. I criteri cui attenersi sono legati alla specie, e alla parte di pianta che si raccoglie; si daranno quindi alcuni esempi rappresentativi, data la grande varietà di situazioni.

Dal punto di vista del prodotto le specie erbacee coltivate si possono dividere in diverse categorie:

- semi maturi, es. cereali, leguminose da granella, semi oleosi;
- organi sotterranei freschi, es. patata e barbabietole;
- parti più o meno grandi di pianta da consumarsi fresche, o conservate; ortaggi vari, raccolti di solito prima della maturità fisiologica.

I cereali hanno una crescita determinata, ed il loro ciclo vitale si completa in un breve periodo di tempo. Dopo l'antesi la cariosside si sviluppa e la senescenza inizia dalle foglie più basse; nel corso della senescenza ha luogo una ritraslocazione di assimilati da foglie e fusto verso la cariosside. Quindi le foglie muoiono e i culmi ingialliscono, mentre la cariosside matura, e perde buona parte dell'acqua che contiene (Tab. 5.13; vedi anche Fig. 3.68).

La perdita di umidità dalla cariosside è il criterio principale per stabilire l'epoca adatta per la raccolta nei cereali. La gran parte dei cereali negli ambienti temperati può essere raccolta a macchina quando l'umidità della cariosside scende al di sotto del 20%, anche se spesso è assai inferiore. Però la conservazione può essere possibile solo dopo che la stessa umidità scende al di sotto del 15%.

La maturazione del prodotto e quindi l'epoca di raccolta dipendono, oltre che dalle caratteristiche genetiche della varietà coltivata, in primo luogo dalla temperatura e dall'umidità atmosferica e, secondariamente, dalle condizioni del terreno, in particolare dalla sua capacità idrica. Come tendenza generale sia maturazione che epoca di raccolta

ritardano al crescere della latitudine e dell'altitudine, ma sono anche influenzate dai fattori che modificano le condizioni climatiche a parità di latitudine e altitudine.

Nell'emisfero boreale la raccolta del frumento in semina autunnale avviene nel periodo maggio-settembre. Quella del frumento con semina a fine inverno, che interessa particolarmente Canada, Nord e Centro Europa, Russia, USA e Cina, ha invece luogo nell'intervallo di tempo che va da luglio a ottobre. Nei paesi dell'emisfero australe ha luogo nel periodo ottobre-gennaio.

In Italia la raccolta del frumento inizia nella terza decade di maggio nelle zone più calde di Sicilia, Sardegna, Calabria e Puglia; nella seconda metà di giugno nell'Italia Centrale; a fine giugno-inizio luglio nell'Italia Settentrionale.

Più difficile è stabilire l'epoca di raccolta per le leguminose da granella, in quanto queste maturano in tempi più lunghi, e possono avere un habitus di crescita indeterminato. Questo significa che semi (e baccelli) maturi e immaturi possono coesistere sulla pianta; inoltre la presenza del baccello può ritardare la perdita di umidità del seme. Quindi spesso i legumi sono raccolti con alte umidità, anche il 35% nei climi più freschi, in quanto altrimenti parte del raccolto andrebbe persa per l'apertura dei baccelli più maturi.

Il problema della maturazione scalare esiste anche nel colza, per la cui maturazione comunque ci si basa sulla percentuale di semi che hanno raggiunto un colore nero o marrone. Lo sviluppo e maturazione del seme di colza sono stati molto studiati (Fig. 5.178, Fig. 5.178 bis). Il peso secco del seme cresce lentamente dopo l'allegagione, per poi, dopo un mese, aumentare i ritmi di crescita e raggiungere il massimo dopo un totale di 12 settimane. In questo periodo nel seme vi sono cambiamenti biochimici importanti. Il contenuto di amido diminuisce progressivamente mentre l'olio aumenta fino a costituire circa il 50% della sostanza secca. Il contenuto proteico si mantiene invece relativamente stabile. Da tutto questo appare evidente che raccolti prematuri possono tradursi in perdite di peso e di olio (Fig. 5.179).

L'accrescimento della barbabietola da zucchero è notevole in estate-autunno, e di solito più tardi si raccoglie più alto è il tenore zuccherino (Fig. 5.180); quindi le massime produzioni si otterrebbero da raccolti fatti ai primi d'ottobre, in Italia, o più tardi, fino a tutto novembre, nell'Europa del Centro-Nord. In Italia, in realtà, a seconda della latitudine e altitudine, si raccoglie la barbabietola di semina primaverile da luglio a ottobre. In ogni modo la scelta dell'epoca dipende più dalle capacità di lavorazione degli impianti zuckerieri che non da considerazioni tecnico-agronomiche. Inoltre quando il terreno diviene troppo bagnato le operazioni di raccolta possono essere più difficoltose.

Più complessi e vari sono i criteri per la raccolta degli ortaggi e delle altre piante da consumo fresco, in quanto, oltre a variare la biologia della pianta e l'organo che dà la resa (Fig. 5.181), bisogna ricordare che il consumo segue di solito di pochi giorni la raccolta, e che la conservabilità dei prodotti è in genere scarsa a causa degli alti contenuti in acqua.

Gli ortaggi possono essere grosso modo raggruppati in tre categorie: semi e legumi; bulbi, tuberi, rizomi e radici; piante intere, fiori, gemme, fusti e foglie. Anche alcuni frutti sono consumati come verdure; alcuni maturi (pomodoro, melanzana, avocado, carambola, melone, anguria), altri immaturi (zucchini, cetriolo, okra).

Da un punto di vista della fisiologia della maturazione, gli ortaggi non frutti in genere non mostrano improvvisi cambiamenti dell'attività metabolica paragonabili a quelli che avvengono nei frutti, a meno che non siano iniziati ricrescite o germogliamenti. Alcuni semi vengono fatti germogliare, come in alcuni legumi, e l'ortaggio è la piantina

germogliata intera. In tal caso alcune modificazioni sono abbastanza evidenti, quale un aumento degli zuccheri in seguito all'utilizzazione dell'amido o dei lipidi. Notevoli sono anche gli incrementi in vitamina C.

I semi e i baccelli, se raccolti a maturazione completa, presentano bassa attività metabolica a causa dei livelli molto bassi di acqua. I semi, invece, consumati come verdura fresca, come i legumi e il mais zuccherino, presentano alte attività metaboliche perché sono raccolti ad uno stadio immaturo, spesso insieme a materiale non appartenente al seme, come il pericarpo del baccello nel fagiolino, ecc. La qualità dell'alimento non è data in questo caso dall'età fisiologica ma piuttosto da consistenza e sapore. Nel seme che matura gli zuccheri sono convertiti in amido, con conseguente perdita di dolcezza, il contenuto in acqua decresce mentre la quantità di fibre aumenta. I semi per consumo fresco sono raccolti quando contengono ancora il 70% di acqua, mentre i semi dormienti per farine e comunque per la conservazione non possono superare il 15%.

I fiori, gemme, fusti e foglie variano molto in attività metabolica, e quindi in rapidità di deterioramento. Fusti e foglie spesso vanno incontro a rapida senescenza, e perdono quindi sia valore nutrizionale che appetibilità. Il segno principale di senescenza è di solito l'ingiallimento delle parti verdi, dovuto alla distruzione della clorofilla e all'evidenza dei carotenoidi. La consistenza, che dipende principalmente dal turgore cellulare, spesso è la caratteristica più importante nel determinare sia l'epoca di raccolta che la qualità. Il sapore naturale invece riveste un'importanza minore, in quanto molti di questi ortaggi sono cucinati con l'aggiunta di sale e spezie.

Gli organi sotterranei sono composti principalmente da tessuti di riserva, che contengono metaboliti necessari alla pianta per riprendere la crescita dopo un periodo di stasi vegetativa. Alla raccolta sono contraddistinti da bassi tassi metabolici, e nelle condizioni adatte la loro condizione di dormienza può essere facilmente prolungata. Così l'epoca di raccolta delle patate dipende più che altro dallo scopo per il quale sono coltivate. Se si vogliono patate da seme la raccolta ha luogo molto prima della massima produttività per ettaro, per controllare le dimensioni dei tuberi; e per questo si può anche arrivare a distruggere i fusti. Altrimenti si tende ad ottenere le massime produzioni unitarie di tuberi di dimensioni commerciabili. Spesso per stabilire l'epoca di raccolta ci si affida alla parte epigea, il cespo: per le patate precoci si raccoglie quando i cespi cominciano ad ingiallire, per quelle tardive si attende che i cespi siano completamente secchi.

Un tipo particolare di produzione vegetale è la *foraggicoltura*, cioè la produzione di materiale vegetale da destinarsi all'alimentazione del bestiame. Molti sono i prodotti e sottoprodotti delle colture erbacee e arboree che possono essere utilizzati come alimenti degli animali, ma per colture foraggere si intendono solo quelle colture erbacee i cui prodotti non sono adatti all'alimentazione umana né a scopi industriali, e che sono invece destinati esclusivamente al consumo degli animali domestici erbivori.

Le colture foraggere propriamente dette si distinguono in:

- *pascoli*, il cui foraggio è direttamente brucato dal bestiame;
- *prati*, colture poliennali, la cui produzione è falciata e consumata dal bestiame in tempi successivi;
- *prati-pascoli*, la cui produzione è in parte falciata ed in parte pascolata;
- *erbai*, colture foraggere di breve durata, spesso utilizzate come colture intercalari.

Con poche eccezioni, la raccolta dell'erba delle colture foraggere si esegue nel momento in cui la quantità di sostanze nutritive digeribili è massima; e poiché in linea generale la quantità di sostanze nutritive aumenta nella pianta fino alla fioritura, per poi diminuire più o meno sensibilmente, e poiché la qualità di tali sostanze, soprattutto la digeribilità per i ruminanti, va lentamente peggiorando fino alla fioritura, per poi scadere rapidamente, la maturità economica delle piante foraggere tende a coincidere con la loro fioritura (Fig. 5.182).

La raccolta delle produzioni vegetali erbacee e ortive può essere fatta a mano, ed in realtà così è stato per migliaia di anni; ma l'introduzione delle macchine in agricoltura ha avuto uno dei suoi più grandi successi proprio nella meccanizzazione delle operazioni di raccolta delle produzioni erbacee, a cominciare dalle specie da granella e foraggere, per poi continuare con tutte o quasi le altre produzioni, sia epigee che sotterranee.

La raccolta della granella, sia di cereali che di leguminose o di altre specie, è in genere articolata in due operazioni, il taglio della pianta (*mietitura*) e la separazione della granella dalle altre parti quali paglia e pula (*trebbiatura*). Le due operazioni possono essere separate, nel qual caso una prima macchina (*mietilegatrice*, Fig. 5.183) provvede al taglio delle piante ed alla loro legatura in covoni, che successivamente saranno trebbiati. La *mietitrebbiatrice* (Fig. 5.184) è invece una macchina che realizza, con una sola passata in campo, l'intero ciclo di lavoro, dal taglio dei culmi alla trebbiatura (Fig. 5.185a). Si tratta di macchine ovviamente assai complesse, ma che sono state estremamente perfezionate al punto da potersi adattare alle condizioni operative più svariate, ed alle esigenze di specie molto diverse quali frumento, mais (Fig. 5.185b), riso, girasole, leguminose, ecc.

Per la raccolta di organi sotterranei (bulbi, tuberi, radici) è invece necessario provvedere allo scavo del terreno ed al sollevamento della parte ipogea (*estirpazione*), alla separazione del prodotto principale dal resto della pianta e dalla terra, e alla raccolta vera e propria del prodotto (Figg. 5.186, 5.187). Anche in questo caso i cantieri di lavoro possono essere separati o riuniti: le parti ipogee possono essere scavate e lasciate sul terreno in *andane* (Fig. 5.188), per essere poi raccolte da macchine raccogli-caricatrici, oppure scavate ed asportate con la stessa passata. In genere alle operazioni di raccolta si accompagnano altri interventi, a seconda della specie, di *sfogliatura*, *scollettatura*, eliminazione delle parti terrose, *cernita*, ecc.

Nel caso dei foraggi, bisogna ricordare che questi possono essere somministrati al bestiame sia allo stato fresco che conservato, e ciò ha ovviamente effetti sui cantieri di lavoro. In ogni caso la prima operazione necessaria è il taglio, che è eseguito da falciatrici dotate di barre falcianti di vario tipo, o di organi di taglio ruotanti (Figg. 5.189, 5.190, 5.191). Il foraggio può quindi essere lasciato sul terreno in andane, per asciugare, ovvero essere immediatamente asportato, per l'alimentazione o per l'insilamento. Il foraggio che perdendo acqua diviene facilmente conservabile prende il nome di *fieno*, e l'operazione che porta al suo ottenimento *fienagione*. Essa può richiedere *condizionamento* (Figg. 5.192, 5.193), *spandimento*, *rivoltamento* e *ranghinatura* (raccolta in andane, Figg. 5.194, 5.195) della massa del foraggio, e quindi *raccolta* ed *imballaggio* in balle di varie forme (Figg. 5.196, 5.197). Volendo conservare il foraggio secco riducendone al minimo le perdite di valore nutritivo si può utilizzare anche la tecnica dell'*essiccamento artificiale*

in appositi ambienti; si tratta però di una procedura che trova una giustificazione economica solo per produzioni di alto valore unitario, come le piante officinali.

Una via di mezzo tra foraggio fresco e fieno è l'*insilamento*, tecnica grazie alla quale si conserva in apposite strutture (*sili*) materiale fresco che viene sottoposto ad un processo di fermentazione. La conservazione del foraggio è resa possibile da due condizioni: aumento rapido dell'acidità dell'insilato, grazie alla produzione di acido lattico; e creazione di uno stato asfittico per saturazione dell'ambiente con anidride carbonica. Vi sono diversi tipi di sili, ma in genere la conservazione è migliore se nell'insilato è presente almeno il 50% di graminacee, se il materiale è ben trinciato e quindi meglio assestato, se l'aria è rapidamente eliminata, se il tenore in zuccheri e in acqua è adeguato.

Colture da frutto

La produzione di frutta fresca o da trasformare pone in genere maggiori problemi legati a maturazione, raccolta e conservazione, rispetto alle altre produzioni vegetali, e si rende quindi necessario un maggiore approfondimento della fisiologia di sviluppo e maturazione del frutto.

Lo sviluppo dell'embrione in molte angiosperme ha luogo contemporaneamente allo sviluppo dell'ovario in un organo specializzato, il *frutto*, che costituisce un ambiente adatto per la maturazione dei semi, e spesso un mezzo per la dispersione dei semi maturi. La gran parte dei frutti deriva da un gineceo che contiene uno o più carpelli; altre volte la parte edule del frutto, invece di consistere nel seme o nei tessuti carnosì dell'ovario, è costituita da tessuti vari che si trasformano sostituendo in vario modo l'ovario (falsi frutti) (Fig. 5.198).

Accrescimento del frutto

Riguardo all'andamento della crescita, i diversi frutti differiscono per (Fig. Tab. 5.14):

- durata del ciclo di accrescimento
- intensità dell'accrescimento
- dimensioni finali

Nella gran parte delle specie vegetali lo sviluppo del frutto può essere diviso in tre fasi:

- 1) sviluppo dell'ovario e decisione riguardo all'allegagione (proseguimento o abscissione);
- 2) aumento di volume del mesocarpo (o della parte carnosa, quale che ne sia l'origine) e del seme. In questa fase si ha attiva divisione delle cellule, seguita da distensione. Endocarpo e seme raggiungono dimensioni quasi finali;
- 3) intenso accrescimento per distensione delle cellule del mesocarpo, o dei tessuti carnosì, fino al raggiungimento delle dimensioni definitive. Nella prima parte di questa fase si completa il seme.

I diversi tipi di frutto possono discostarsi anche di molto da questo schema generale di sviluppo. Per esempio, in alcuni casi, come nell'avocado, le divisioni cellulari nel pericarpo possono continuare sino a poco prima della maturazione.

Se si prendono in considerazione parametri quali peso fresco o diametro del frutto, le curve di accrescimento possibili sono 2 (Fig. 5.199):

1) Sigmoide semplice (Pomacee)

2) Sigmoide doppia (Drupacee)

Nelle drupacee, ed in genere nelle specie con un endocarpo ed un seme prominenti, si ha una stasi nell'accrescimento del mesocarpo, a causa dell'attivo sviluppo dell'embrione e dell'indurimento dell'endocarpo (guscio), stasi che è breve nelle cv. precoci, lunga in quelle tardive. Ciò determina una curva a doppia sigmoide, con un rallentamento di crescita, che è apparente e che non va interpretato come un periodo di scarso impegno metabolico. Al contrario, se si valuta l'accumulo di sostanza secca si ha una sigmoide semplice (Fig. 5.200), in quanto la fase intermedia dei frutti a drupa è molto impegnativa, dovendosi svolgere i processi sopra descritti.

La intensità di respirazione del frutto è un parametro dell'impegno metabolico, ma se si valuta l'andamento della respirazione per il singolo frutto si ha un grafico che si confronta meglio con quello dell'accrescimento (Fig. 5.201).

Lo sviluppo non è costante nelle 24 ore (Fig. 5.202). Nelle mele, per esempio, di notte l'intensità di accumulo di sostanza fresca è 25 volte maggiore che tra le 12 e le 16. Sembra che la forte intensità della traspirazione blocchi o rallenti o inverta il flusso d'acqua verso il frutto. Ciò è reso più marcato in condizioni di stress idrico. Inoltre la distensione cellulare richiede alta pressione di turgore, che in certi periodi del giorno può mancare. In caso di stress idrico, la pianta cerca di sopravvivere sottraendo acqua ai frutti, fino al punto di liberarsene facendoli abscindere nei casi più gravi; è solo in prossimità del punto di appassimento irreversibile che la pianta può invece arrivare a far cadere le foglie.

Sia il ritmo di accrescimento che le dimensioni finali dei frutti possono essere influenzati da numerosi fattori, quali la carica di frutti sull'albero, il numero di semi per frutto (Fig. 5.203) la posizione del frutto sulla chioma, il tipo di ramo sul quale è portato il frutto, ecc., oltre agli ovvi fattori genetici e a quelli legati alla fertilità del terreno.

Maturazione

Per comprendere compiutamente l'insieme dei fenomeni biologici e chimici che portano il frutto allo stadio di maturità ed eventualmente al decadimento senescente occorre ricordare che i frutti, come del resto i fiori, non sono altro che foglie modificate. Tuttavia durante l'evoluzione i frutti assumono un corso autonomo proprio, diverso da quello delle foglie. Una funzione diversa a cui i frutti devono adempiere è quella di proteggere il seme fino alla sua maturità e successivamente di assicurarne la dispersione. Questo avviene anzitutto con un processo di distacco attivo (abscissione dei frutti) a maturità seguito da una serie di cambiamenti nella polpa (rammollimento, raddolcimento, scomparsa di sostanze tanniche) che rendono i frutti commestibili da parte degli animali e ne favoriscono così la disseminazione. Il rammollimento della polpa è la conseguenza dell'elevato contenuto di sostanze pectiche, che nel corso del processo di maturazione vengono idrolizzate.

Si è visto in precedenza che il modello di accrescimento segue andamenti diversi: si possono riscontrare modelli a sigmoide semplice, doppia e perfino tripla. Né la cosa deve stupire data la diversa origine delle cellule e dei tessuti che costituiscono la parte edule dei frutti. A questo proposito, un importante fattore da considerare è il fatto che le moderne cultivar sono spesso il risultato di continue prolungate selezioni dell'uomo ed hanno caratteristiche che le rendono molto diverse dai progenitori selvatici. La struttura e la composizione dei frutti sono stati determinati molto più dalla selezione artificiale che dai

rigori della selezione naturale. La natura dei cambiamenti desiderabili del colore, del sapore e della tessitura, mutano da frutto a frutto, sono caratteristici di quel tipo particolare di frutto e la soglia oltre la quale il frutto è “maturo” è, in buona parte, una valutazione soggettiva. Tuttavia alla base di questi cambiamenti sensoriali vi sono eventi metabolici il cui studio ha permesso di migliorare la comprensione degli aspetti fisiologici e biochimici della maturazione.

È stato dimostrato nelle mele che i cambiamenti visibili legati alla maturazione sono caratterizzati da un incremento improvviso del tasso respiratorio. Kidd e West nel 1924-25 denominarono questo fenomeno respirazione climaterica. Nel frutto staccato il tasso respiratorio cala ad un valore minimo (minimo climaterico) e comincia ad aumentare all'inizio della maturazione fino ad un massimo (picco climaterico), pari a circa il doppio del livello minimo, e quindi diminuisce nuovamente, ma lentamente. Il frutto raggiunge il livello ottimale delle qualità eduli qualche tempo dopo il picco climaterico.

Dopo la scoperta di questo andamento nelle mele si scoprirono modelli di variazione della respirazione analoghi nella maggior parte dei frutti delle zone temperate e tropicali (Fig. 5.206). L'ampiezza e la rapidità del processo varia da frutto a frutto: nella banana l'incremento respiratorio è di circa dieci volte, mentre nell'albicocca è soltanto del 30%. In molti frutti tropicali e sub-tropicali il picco climaterico è solo un momento transitorio seguito da un declino più rapido che nella mela. Questo andamento è associato ad un tasso di maturazione assai più rapido che nella mela. È interessante il fatto che nel pomodoro il picco climaterico sia raggiunto prima che vi sia un apprezzabile accumulo di pigmento rosso (il licopene, che caratterizza il frutto maturo); il tasso respiratorio diminuisce proprio mentre il licopene si accumula nella polpa del frutto.

Un altro aspetto del fenomeno è il fatto che il picco climaterico può aver luogo anche nel frutto attaccato alla pianta: e questo è dimostrato essere il caso di quasi tutti i frutti. Un'interessante eccezione è l'avocado il quale, benché presenti un normale incremento respiratorio nel frutto distaccato, non matura e non presenta incrementi respiratori nel frutto finché questo resta attaccato alla pianta. D'altra parte va ricordato che nell'avocado, a differenza di altri frutti, non cessa, durante tutta la vita del frutto, la crescita della polpa ed addirittura le divisioni cellulari continuano per tutta la durata del tempo in cui il frutto resta attaccato alla pianta madre.

Negli stessi anni '20 è stato dimostrato che l'etilene può stimolare e promuovere la maturazione dei frutti, stimolando sia l'inizio della respirazione climaterica che tutti gli altri cambiamenti tipici della maturazione. Questo trattamento richiede un minimo di tempo di esposizione al gas per provocare la risposta di maturazione. Si è anche visto che piccolissime quantità di etilene sono prodotte dai frutti durante tutta la loro vita. Di solito c'è un picco di etilene alla fioritura, dopo di che il livello cala ad un livello basso che rimane tale fino all'inizio della maturazione. Il tasso di produzione aumenta quindi notevolmente al momento (o subito prima) della respirazione climaterica ed in pari tempo iniziano i primi cambiamenti della maturazione, mentre la produzione di etilene raggiunge un picco; la produzione di etilene si mantiene poi elevata per tutta la durata del processo di maturazione (Fig. 5.207). Per numerosi fenomeni è stato constatato che il valore soglia per

provocare una risposta all'accumulo di etilene è di 0,1 ppm. Tuttavia il livello di etilene che si accumula nei frutti può essere anche di 10^4 volte più elevato. L'elemento interessante ed importante è che la presenza di etilene nel frutto non solo provoca la risposta di maturazione nei tessuti, ma anche stimola la sintesi di nuova etilene da parte dei tessuti stessi. La produzione di etilene segue un tasso di accrescimento logaritmico, perché è prodotta autocataliticamente. L'inizio di questa rapida produzione di gas porta anche alla diffusione del gas attraverso i tessuti, iniziando così, in tessuti lontani dai primi, il processo di maturazione e di produzione dell'etilene. L'induzione della maturazione in frutti climaterici *mature unripe* (cioè giunti a maturità, ma nei quali non è ancora iniziato il processo di maturazione) da parte di un trattamento di etilene esogena, abbrevia il periodo necessario dopo la raccolta per l'induzione del climaterio, senza peraltro influenzare il tasso respiratorio durante il picco climaterico stesso.

Tenendo conto di questi elementi il climaterio è stato recentemente definito il “periodo nella vita di certi frutti durante il quale ha luogo una serie di cambiamenti biochimici”. Esso inizia dalla produzione autocatalitica di etilene e segna la separazione tra il periodo di crescita e quello della senescenza. Esso comporta un aumento della respirazione e conduce alla maturazione del frutto.

Tuttavia ci si è accorti, durante gli anni '40 che non tutti i frutti avevano il modello di maturazione tipicamente climaterico: alcuni non presentavano né un incremento di respirazione né una produzione di etilene accelerata durante la maturazione dei frutti. L'esempio tipico è rappresentato dagli agrumi, ma anche le ciliegie e l'uva appartengono a questa categoria così come il peperone. Le arance giunte a maturità producono ben poco etilene (0,02-0,06 $\mu\text{l/kg/h}$), né c'è incremento associato alla maturazione. La respirazione declina lentamente nel frutto distaccato durante la conservazione. Tuttavia si è visto che le arance possono essere indotte ad aumentare la produzione di etilene conservandole in atmosfera di O_2 puro. Inoltre si è constatato che se arance ancora verdi vengono trattate con etilene si riscontra un aumento del tasso respiratorio accompagnato da una perdita del colore verde. Però se l'etilene viene rimosso il livello della respirazione e degli altri parametri ad essa connessi ricadono ai livelli precedenti. Questo dimostra che negli agrumi manca la fase autocatalitica della produzione di etilene. Meccanismi simili si riscontrano nella fragola e nel mirtillo rosso, mentre nel mirtillo comune mancano ancora studi sufficientemente approfonditi per assegnarlo ad una o all'altra classe di frutti.

È interessante il fatto che alcuni mutanti del pomodoro (es.: *rin*) non arrivano a maturazione. Si è infatti constatato che questo mutante del pomodoro, frutto normalmente climaterico, non solo non produce licopene, né si rammollisce, ma non presenta cambiamenti nel tasso di produzione di CO_2 (respirazione) o di etilene. Per di più, in risposta ad un trattamento con etilene i mutanti *rin* non reagiscono e producono poco etilene, esattamente come avviene negli agrumi. Viceversa se lesionati reagiscono producendo notevoli quantità di etilene. Il che sta ad indicare, anche in questo caso, che i tessuti hanno la capacità di produrre etilene, ma non quella di rispondere con un processo autocatalitico alla presenza di etilene.

In conclusione sembrerebbe poter dedurre da questi esperimenti che la via normale della

maturazione sia quella della respirazione climaterica e che la via non climaterica costituisca un mutante recessivo. Il processo climaterico sarebbe costituito da due processi sequenziali, corrispondenti a due fasi successive: la fase 1 che consente la produzione di etilene e la fase 2 che determina la risposta all'etilene, mediante la produzione autocatalitica di etilene endogeno. Di conseguenza la presenza di una piccola quantità di etilene provocherebbe, per risposta, la produzione di una quantità crescente di etilene e quindi ecciterebbe la respirazione verso quell'elevato livello che è tipico dell'inizio della maturazione.

Il processo di maturazione

L'aumento di etilene nei tessuti e il crescente tasso respiratorio sono soltanto alcuni dei sintomi della maturazione e forse i fattori che la scatenano, ma non sono la maturazione in sé. I fenomeni che costituiscono il processo di maturazione sono altri e sono quelli che determinano quei cambiamenti che rendono il frutto gradevole e adatto al consumo. Nei frutti carnosì riscontriamo principalmente un rammollimento della polpa e un cambiamento del sapore.

II RAMMOLLIMENTO DELLA POLPA

È stato constatato che nella cellula del frutto si ritrovano i polisaccaridi tipici della cellulosa (glucani), dell'emicellulosa (xiloglucani) e delle pectine (galatturonani). Queste sostanze sono legate tra loro mediante legami di idrogeno, così da costituire, nel loro insieme, la complessa struttura della parete cellulare. È stato però constatato che nella parete cellulare dei frutti il componente quantitativamente prevalente è quello pectico. Non stupisce quindi che un' aumentata solubilità dei poliuronidi della parete cellulare sia il cambiamento caratteristico di molti frutti al momento della maturazione (Figg. 5.204, 2.504bis).

In alcuni casi, come nella pera, è stato dimostrato che vi è un'ampia degradazione e solubilizzazione dei poliuronidi della parete cellulare. Nella pesca vi è una diminuzione del peso molecolare dei poliuronidi via via che avanza la maturazione. Inoltre è stato rilevato un incremento di acido galatturonico libero nella polpa di pesca durante il corso della maturazione del frutto distaccato. Nella mela i poliuronidi solubilizzati sono di alto peso molecolare, per cui si ritiene che la loro solubilizzazione sia dovuta a sottili modificazioni nei rapporti tra i diversi componenti della parete cellulare più che ad una loro profonda degradazione.

Nei frutti ricchi di amido durante l'accrescimento questa sostanza conferisce ulteriore compattezza, e la sua idrolisi contribuisce al rammollimento della polpa.

RAPPORTO ZUCCHERI/ACIDI

Un altro elemento che cambia al momento della maturazione è il sapore. In generale i frutti mostrano una diminuzione dell'acidità ed un addolcimento del sapore. Vi sono tuttavia delle eccezioni a questa regola generale: nella banana il pH scende da 5,4 a 4,5 e questo è

associato ad un aumento di acidi organici come il malico ed il citrico. In frutti come i meloni, che sostanzialmente non hanno riserve di carboidrati, non vi è aumento del contenuto zuccherino durante la maturazione dopo il distacco dalla pianta, mentre questi aumentano durante la maturazione sulla pianta per trasporto dalle foglie. Tuttavia la maggioranza dei frutti hanno carboidrati di riserva, principalmente amido, che serve sia come substrato per la respirazione sia come fonte di zuccheri per impartire il sapore dolce alla polpa del frutto maturo (Fig. 5.205).

Il quantitativo assoluto di zuccheri e di acidi, nonché il loro reciproco rapporto, giocano un ruolo importante nel formare il sapore del frutto. Le banane acerbe, ancora verdi, contengono il 20-25% di amido e la quasi totalità di questo (98-99%) viene convertito in zuccheri semplici (mono- e disaccaridi quali saccarosio, fruttosio, glucosio) che alla fine costituiscono il 15-20% del peso secco del frutto. Durante la maturazione delle banane vi è una perdita del 2-5% di zuccheri che rappresenta la frazione utilizzata dalla respirazione. L'uva è uno dei più grandi accumulatori di zuccheri tra i frutti e sono stati riscontrati livelli di zuccheri di più del 25% del peso fresco (80% del peso secco). Anche nelle mele ed in altri frutti, un'intensa idrolisi dell'amido accompagna la maturazione. Ed è interessante il fatto che l'idrolisi dell'amido accompagni l'inizio della respirazione climaterica. In frutti con importanti riserve di carboidrati (mele, banane, pesche, albicocche, ecc.), la maturazione post-raccolta è solitamente accompagnata da un raddolcimento e dal raggiungimento della qualità commestibile, mentre in altri frutti, come l'uva e le ciliegie, che sono privi di riserve di carboidrati, il raggiungimento di un livello di zuccheri che li renda appetibili dipende dalla continua sintesi ed accumulo di queste sostanze da parte della pianta madre. Di conseguenza, una raccolta prematura di questi frutti impedisce loro di raggiungere il livello zuccherino soddisfacente che raggiungerebbero se fossero lasciati sulla pianta fino al completamento della maturazione. Questo fatto ha riflessi tecnico-commerciali assai rilevanti perché insieme al raggiungimento del livello zuccherino ottimale inizia quel processo di rammollimento di cui si è parlato e che rende sì il frutto appetibile, ma anche difficilmente manipolabile durante la distribuzione ai consumatori.

Oltre agli zuccheri, anche gli acidi sono un'importante componente del succo cellulare dei frutti: il suo pH è spesso inferiore a 7 e può raggiungere anche 3 nelle cellule del limone. Due acidi si trovano solitamente nelle cellule dei frutti: il malico ed il citrico. Il malico predomina nelle mele, pere, albicocche, ciliegie, pesche, susine e banane. Il citrico, invece, predomina negli agrumi, fichi, fragole, lamponi, loganberry (rovello), guava e ananas, mentre una mescolanza di citrico e malico in parti approssimativamente uguali si trova nel pomodoro e nell'uva spina. Un caso a sé è l'uva nella quale l'acido accumulato in maggior quantità è il tartarico che si trova nella bacca in quantità approssimativamente uguali al malico. Questi acidi sembra siano accumulati e immagazzinati nel vacuolo e questo significa che non sono completamente disponibili per il sistema di ossidazione mitocondriale che si ritiene sia il sito principale del metabolismo della maturazione dei frutti. Nelle mele si trova un meccanismo di decarbossilazione dell'acido malico che probabilmente gioca un ruolo nella diminuzione dell'acidità durante la maturazione. Qualunque sia la localizzazione o il percorso del processo ossidativo dell'acido malico, è chiaro che i fattori che alterano la permeabilità del tonoplasto possono avere un ruolo importante nell'utilizzazione degli acidi organici.

ALTRE SOSTANZE NUTRITIVE

Negli agrumi, con l'approssimarsi della maturazione di raccolta, avvengono mutamenti nel contenuto di numerosi flavonoidi fra i quali hanno una particolare importanza: l'esperidina, presente nelle arance, nei mandarini, nei pompelmi e nei limoni; la naringina, caratteristica dei pompelmi, a cui conferisce il sapore amaro; la limonina, responsabile del sapore amarognolo tipico di alcune cultivar di arancio.

L'astringenza di molti frutti è data dalla presenza di tannini, che scompaiono a maturità. In alcuni frutti ciò non avviene (kaki, nespolo europeo, sorbo), e si rende necessario un periodo di maturazione dopo la raccolta (ammezzimento).

Anche il contenuto di vitamina C (acido ascorbico) e di altre vitamine (tiamina, niacina, beta-carotene, ecc.) raggiunge i valori più elevati nei frutti maturi.

Nelle noci, nel nocciolo e nelle mandorle, con l'approssimarsi della maturazione, il peso fresco comincia a diminuire mentre aumenta costantemente quello secco e il contenuto di sostanze grasse a scapito di quelle proteiche.

Nelle olive i lipidi cominciano ad essere presenti quando i frutti sono abbastanza sviluppati e il nocciolo si è già indurito. Nel corso del successivo sviluppo al progressivo aumento del contenuto delle sostanze grasse corrisponde una progressiva diminuzione del contenuto di acqua. Altri frutti accumulano lipidi nel corso della maturazione, quali l'avocado e il durian.

I COMPOSTI VOLATILI

Un altro elemento molto importante caratterizza la maturazione: i cambiamenti di aroma e di profumo che derivano dalla produzione di composti volatili. Perfino composti a bassa volatilità possono contribuire all'aroma ed al profumo dei frutti a causa dell'estrema sensibilità dell'epitelio olfattivo a certi composti. L'aroma ed il profumo del frutto dipendono dalle quantità dei composti prodotti, dal tipo di aroma di ogni composto e dalla reazione dei tessuti olfattivi ad uno spettro di concentrazioni di quel composto. La quantità di sostanze volatili è solitamente oscillante tra 1 e 20 ppm sebbene vi possano essere eccezioni, come nella banana, nella quale le sostanze volatili possono raggiungere una concentrazione anche superiore alle 300 ppm. Nella banana ne sono state identificate oltre 200, ciascuna presente in concentrazioni anche al di sotto di 1 ppm, ma se ne trovano alcune anche a concentrazioni dell'ordine di poche parti per miliardo. Queste sostanze volatili comprendono molte classi di composti organici appartenenti a categorie diverse, come acidi organici, alcoli, esteri, terpenoidi, aldeidi, chetoni, oli essenziali, ecc., ciascuno dei quali contribuisce in modo molto diverso alla composizione dell'aroma: un esempio tipico è l'etil-2-metilbutirato che sebbene sia prodotto in quantità minuscole gioca un ruolo molto importante nell'aroma della mela 'Delicious' matura, in quanto il suo livello soglia olfattivo è di 0,0001 ppm.

Le sostanze aromatiche più importanti nelle pere sono l'acetato di etile, l'etanolo, il butanolo, l'acido sebacico e l'alcol esilico e soprattutto i rispettivi esteri. Nelle mele compaiono esteri degli acidi formico, acetico, propionico, butirrico, valerianico e capronico oltre ad altre sostanze. Gli aromi che caratterizzano le pesche sono

principalmente dovuti alla presenza, nella polpa, di vari lanolilesteri, di acetaldeide e di alcol etilico. Il caratteristico aroma delle albicocche mature è originato da un complesso di sostanze volatili che comprendono il limonene, il geraniolo, l'acido acetico e un numeroso gruppo di lattoni e un terpene che non è presente nelle altre drupacee.

La produzione di sostanze volatili è in generale molto bassa nei frutti nello stadio immaturo, preclimaterico, ma cresce di molti ordini di grandezza durante la maturazione. Ad esempio, nelle mele 'Glockenapfel' la produzione di metil-2-butanolo è di 10-20 µg/100 g nel frutto preclimaterico e 10-20 giorni dopo il picco climaterico sale, a 17 °C, ad una punta di 250 mg/100 g. Nelle pesche 'Cardinal' che vengono raccolte immature non si ha formazione di γ -decalattone durante la maturazione, mentre se il frutto è lasciato fino ad un certo stadio sull'albero, diviene capace di produrre il γ -decalattone durante la maturazione successiva al distacco dall'albero. È interessante il fatto che la produzione di questa sostanza sia parallela alla dissoluzione delle pectine durante la maturazione del frutto. In certi frutti, come il cetriolo, si è constatato che importanti componenti del sapore sono le sostanze volatili trans-2-nonenal, trans-2-cis-6-nonadienal e trans-2-esenal. Tuttavia queste sostanze non sono normalmente presenti nel tessuto del frutto, ma derivano dalla degradazione dei lipidi endogeni in seguito a danni meccanici dei tessuti. Di conseguenza questi importanti componenti del sapore non sono presenti in vivo nel tessuto, ma si formano all'atto della masticazione. È stata descritta tutta una serie di passaggi enzimatici che portano dalla demolizione delle molecole di acido linoleico e linolenico alle molecole in precedenza elencate. Una sequenza analoga è stata descritta nel pomodoro. Molto però resta ancora da scoprire dell'enzimologia della produzione di sostanze volatili nei frutti in maturazione, premessa indispensabile per lo studio della loro regolazione.

IL COLORE

Il colore, infine, è un altro elemento che subisce vistosi cambiamenti nel corso del processo di maturazione: uno dei fattori principali che ne determina il cambiamento è la trasformazione dei cloroplasti, ricchi di clorofilla, in cromoplasti, ricchi in carotenoidi rossi o gialli. Il cambiamento di colore non avviene per trasformazione di clorofilla in carotenoidi bensì perché i carotenoidi, preesistenti nel frutto, non sono più mascherati e coperti dalla clorofilla in via di declino e degradazione durante la maturazione. Il percorso metabolico sia della demolizione che dell'interconversione dei carotenoidi non può essere sviluppato in uno schema unico che si adatti a tutte le piante.

Un altro gruppo di sostanze che contribuiscono alla colorazione di certi frutti durante la maturazione sono le antocianine, che sono state studiate soprattutto nell'uva e appartengono alla grande famiglia dei composti fenolici. A pH acido le soluzioni di antocianine sono rosse, mentre vicino e sopra la neutralità divengono blu o porpora. I vacuoli nei quali si trovano le antocianine si ritiene abbiano pH acido. Molti frutti di color blu hanno un pH adatto ad esprimere il colore rosso ed infatti, quando la polpa viene schiacciata essi danno un succo rosso. L'apparenza blu è quindi dovuta a complessi metallici e a fenomeni di copigmentazione.

La biosintesi delle antocianine durante la maturazione è strettamente legata all'accumulo di

carboidrati: il saccarosio può in parte sostituire la luce e la CO₂ nello stimolare la sintesi di antocianine. Esperimenti di innesto del grappolo hanno però dimostrato che la sintesi delle antocianine è controllata dal grappolo e non risente del genotipo delle foglie. Studi sulle mele e sull'uva hanno dimostrato che le antocianine si accumulano nel frutto durante la maturazione. Recenti studi con l'uva 'Shiraz' tuttavia hanno dimostrato che il massimo di antocianina si ottiene 20-30 giorni dopo l'invasatura: successivamente gli zuccheri continuano ad aumentare, ma le antocianine decrescono.

Quando i frutti sono raccolti troppo anticipatamente la degradazione della clorofilla è incompleta e determina una attenuazione nella colorazione dei frutti con possibile deprezzamento del prodotto.

La pigmentazione interessa in genere i tessuti epidermici e subepidermici del frutto (ipoderma); in molti casi però può interessare tessuti più interni della parte carnosa del frutto, come in certe varietà di vite, di pesco, ecc.

In alcuni frutti si distingue una colorazione di fondo, caratteristica della varietà e determinata geneticamente, e una colorazione superficiale, che può mancare o essere presente solo su parte del frutto; quest'ultima dipende da cause ambientali (illuminazione diretta, altitudine, escursione termica, ecc.).

Tutti gli aspetti descritti fanno parte del processo di maturazione: secondo le più recenti opinioni, questi processi sono, nel complesso, relativamente indipendenti l'uno dall'altro, ma la loro evoluzione è stimolata dalla presenza di etilene, sia esso endogeno o esogeno. Benché l'etilene resti il fattore principale, anche altri (acido abscissico, IAA) sembra sempre più che abbiano un ruolo importante nell'innescare l'inizio del processo di maturazione.

Costituenti dei frutti

A maturità i frutti presentano una composizione diversa da quella degli altri organi della pianta.

L'acqua è in genere il componente principale nei frutti polposi freschi; in genere il contenuto in acqua è del 75-90% (Fig. 5.208), più che nelle foglie, che in genere ne contengono circa il 60%.

L'altra componente principale dei frutti freschi maturi sono gli zuccheri, che possono costituire il 20% e oltre del peso fresco. Si tratta soprattutto di monosaccaridi come fruttosio e glucosio, ma vi sono frutti particolarmente ricchi di altri zuccheri, come il saccarosio (dattero, ananas, ecc.).

Le proteine sono in genere presenti in basse quantità, a causa della preponderanza delle due componenti appena citate. Possono invece essere presenti in forti percentuali i lipidi, in alcuni frutti particolari, come le olive e l'avocado, nei quali i grassi vegetali sostituiscono gli zuccheri come fonte di calorie.

Una componente meno importante da un punto di vista ponderale, ma fondamentale per le caratteristiche organolettiche, come abbiamo visto, sono gli acidi organici; ve ne sono

molti, e la loro presenza è caratteristica delle varie specie. Di solito in un dato frutto ne predomina uno, ma numerosi altri sono sempre presenti; tipico delle mele, ma anche di pere, albicocche, ciliegie, pesche, banane, ecc., è l'acido malico; l'acido citrico si trova in forti quantità in agrumi, fichi, fragole, lamponi, ananas, guava, ecc.. Nell'uva gli acidi malico e tartarico sono invece presenti in quantità simili. Gli acidi organici aumentano fino all'inizio della maturazione, poi la loro quantità diminuisce gradualmente. Altri acidi presenti sono l'ossalico, il formico, l'acetico, il chinico, l'isocitrico, ecc.

I sali minerali sono di solito inferiori che nelle foglie. Gli elementi più importanti sono il calcio, la cui carenza può determinare alterazioni fisiologiche nei frutti, come nel caso della butteratura amara, il potassio, il magnesio, il ferro, ecc.

Importante, da un punto di vista nutrizionale, è il contenuto in vitamine, che può variare ampiamente a seconda del frutto e della vitamina considerata.

Nella Tabella 5.15 si elencano alcune caratteristiche nutrizionali dei principali prodotti ortofrutticoli freschi.

Indici di maturazione

La scelta della corretta epoca di raccolta è essenziale in quanto scostamenti dalla data ottimale possono determinare la presenza di caratteristiche indesiderate nei frutti. In genere una raccolta precoce ci mette a disposizione frutti di qualità organolettica inferiore (meno zuccheri, meno aromi, più astringenza), con maggiore facilità di presenza di certe alterazioni fisiologiche (butteratura amara, raggrinzimento, riscaldamento), ma anche dotati di maggiore conservabilità. Per contro la raccolta ritardata significa frutti più saporiti, ma in minor numero per la cascola pre-raccolta, e caratterizzati da maggiore incidenza di marciumi e di altre patologie, oltre che da minore resistenza alla manipolazione e al trasporto.

Allo scopo di evitare che la data di raccolta dei frutti dipenda da giudizi soggettivi, che anche se espressi da esperti sono assai difficili da trasmettere e da estendere a situazioni diverse, sono stati messi a punto degli indici oggettivi. Questi *indici di maturazione* sono basati su caratteristiche fisiologiche, fisiche e biochimiche dei frutti, le cui variazioni sono correlabili con precisione con lo stato di maturazione, e che possono essere misurate con relativa facilità.

Colorazione della buccia

La colorazione della buccia viene distinta in colorazione di fondo e colorazione superficiale. La prima è sempre presente nel corso della maturazione, mentre la seconda dipende molto dai fattori ambientali, e può essere o no presente, o esserlo solo su parte del frutto. Il colore di fondo, in genere verde, ad un certo punto vira verso altri colori; la valutazione di questo processo, e dell'intensità del nuovo colore, può essere un indizio dello stato di maturazione. Per alcune specie sono addirittura disponibili carte colorimetriche cui fare riferimento, in quanto in ogni specie sono presenti numerose varietà con comportamenti diversi riguardo a questo carattere.

Durezza della polpa

Si tratta di un indice che misura l'evoluzione dell'intenerimento della polpa nel tempo; per ogni specie e varietà esiste un grado di intenerimento che corrisponde al momento ideale

per la raccolta. La durezza, o il suo contrario, l'intenerimento, si misura con il *penetrometro*, uno strumento assai semplice; l'operazione consiste nel misurare la resistenza della polpa alla penetrazione di un puntale a punta appiattita (Fig. 5.208bis). Il penetrometro è molto usato con le pomacee, con le pesche, e anche con gli agrumi.

Contenuto in amido

Questo indice è adatto alle specie che nella polpa contengono prevalentemente amido prima della maturazione. Il metodo, adatto soprattutto alle pomacee, consiste nell'immergere per qualche minuto i frutti tagliati su un piano equatoriale in una soluzione di iodio e ioduro di potassio; la soluzione colorerà soltanto l'amido presente di un colore violetto scuro, dando quindi un'informazione visiva di quanto amido si è trasformato in zucchero nel frutto (Fig. 5.208ter).

Contenuto in solidi solubili

Misura prevalentemente gli zuccheri riduttori, e si attua sia per via analitica (metodo *Fehling* o reazione dell'antrone) o per via ottica, mediante i *rifrattometri*; per alcune specie si utilizzano anche metodi densitometrici (*mostimetri*). È molto usato per uva da vino, actinidia, agrumi, e può anche essere utilizzato correlandolo al contenuto in acidi.

Resistenza al distacco

Si esegue con l'aiuto di *dinamometri*, ed è particolarmente utile quando si debba raccogliere a macchina, per scuotimento dell'albero.

Altri indici

Interessante ma poco applicato per ora in Italia è il numero di giorni dalla fioritura; sono necessari studi precisi per ogni specie e varietà, in funzione dell'ambiente considerato. Lo stesso vale per l'indice delle unità di caldo. Altri indici, di diversa applicabilità, sono il colore dei semi, la suberificazione delle lenticelle, la scomparsa dell'astringenza, l'efficienza respiratoria. Per le olive da olio va invece misurato il grado di inolizione, con estrazione al solvente, o per pressione, o con altri metodi.

Raccolta

Raccolta tradizionale

Viene eseguita distaccando a mano i frutti quando questi raggiungono la maturazione di raccolta. I raccoglitori riempiono apposite cassette, ceste o sacche (Figg. 5.209, 5.210), che a loro volta possono poi essere svuotate in contenitori più grandi, adatti al trasporto negli ambienti nei quali il prodotto sarà conservato o trasformato. Ovviamente il lavoro sarà facilitato dalla bassa taglia degli alberi, mentre per gli alberi troppo alti ci si dovrà avvalere di scale. Modalità di raccolta e tipo di contenitori sono influenzati dalle dimensioni, dal grado di maturazione e dalla delicatezza dei frutti, oltre che dal destino che i frutti avranno. Per alcuni frutti (frutta secca, olive) la raccolta può essere anche fatta da terra, di frutti caduti naturalmente o fatti cadere con *bacchiatura* dei rami, con risultati qualitativi spesso insufficienti.

Raccolta integrata

Si tratta di un sistema di raccolta parzialmente meccanizzata, con l'ausilio di carri e di attrezzature meccaniche che aumentano sensibilmente la resa del lavoro manuale. Nei frutteti, il tipo di carro-raccolta da utilizzare è condizionato dalla forma di allevamento: negli impianti con parete fruttifera continua (palmetta, fusi, ecc.) si utilizzano i carri-raccolta a piattaforme laterali pluriposto (Fig. 5.211), mentre in quelli con forme in volume occorrono i più agili carri a una o più piattaforme mobili. A questi si aggiunge l'ausilio della *pallettizzazione* e *superpallettizzazione* (Fig. 5.212). Con la raccolta pallettizzata, le cassette contenenti i prodotti sono accatastate e spostate in campo sopra pallets (speciali pedane) che poi vengono trasferiti al magazzino da sollevatori a forche applicati alle trattrici. La superpallettizzazione è basata invece sull'impiego di grossi cassoni pallettizzati che possono contenere fino a 450 kg di prodotto (Fig. 5.213).

Raccolta meccanica

La completa meccanizzazione della raccolta, compreso il distacco del frutto dalla pianta, è uno degli obiettivi più studiati nella moderna frutticoltura, in quanto consentirebbe di abbattere i costi di raccolta, una delle voci maggiori dei costi di produzione.

Numerose sono ormai le macchine disponibili per la raccolta meccanica, per scuotimento, per le diverse specie (Fig. 5.214). Le branche e il tronco sono sottoposti all'azione di dispositivi meccanici che possono imprimere sollecitazioni secondo una o più direzioni, oppure colpire il tronco. I frutti distaccati possono cadere su reti o teli stesi al suolo, o su telai intercettatori portati aperti sotto la pianta, oppure direttamente sul terreno; in quest'ultimo caso sarà necessaria un'ulteriore operazione di raccolta, anch'essa meccanizzabile. I piani intercettatori sono adatti alla raccolta di frutta più delicata, in quanto riescono ad ammortizzare l'impatto del frutto, e quindi a ridurre ammaccature e abrasioni (Fig. 5.215). Per la vite da uva da vino sono disponibili vendemmiatrici, che però in genere applicano lo scuotimento sulle branche produttive o su fili sui quali queste si appoggiano (Figg. 5.216, 5.217).

La completa meccanizzazione consente quindi di accrescere in modo sensibile la produttività del lavoro, ma presenta anche qualche aspetto negativo che non va trascurato. In primo luogo non tutto il prodotto viene raccolto, e ciò costituisce una perdita, che però è abbastanza variabile e va valutata situazione per situazione. Inoltre il prodotto raccolto, con l'eccezione della frutta secca, subisce una perdita di qualità, anch'essa variabile, che incide in misura diversa a seconda del tipo di utilizzazione che questo avrà. Il problema è meno grave quando il prodotto è destinato alla trasformazione (macedonie, succhi, frutta sciroppata, marmellate), anche se per produzioni di alta qualità può sussistere (vini di pregio, olio di oliva extravergine). Per il consumo fresco invece il problema della qualità permane in parte irrisolto, anche se ovviamente le situazioni sono varie e articolate. Infine, vi sono valutazioni di tipo tecnico-economico che possono rendere la meccanizzazione della raccolta inattuabile. Queste riguardano il costo delle macchine, in genere molto elevato e tale da richiedere un ampio sfruttamento della macchina (e quindi superfici minime di utilizzo) per un adeguato ammortamento del costo; la indisponibilità in molte specie di varietà adatte ad una raccolta efficiente; l'esistenza di impianti non adatti alla raccolta meccanica, e quindi la necessità di ristrutturare gli impianti stessi; la polverizzazione della proprietà in molte zone frutticole, con conseguente necessità, come minimo, di consorzi o di contoterzisti.

In conclusione, pur se in molti casi la meccanizzazione della raccolta è attuabile e efficacemente realizzata, nei confronti della raccolta della frutta da consumo fresco è si ancora lontani dall'aver raggiunto una situazione soddisfacente.

Principi e tecniche della conservazione dei prodotti ortofrutticoli

Basi fisiologiche

Una consistente quantità di prodotti ortofrutticoli viene utilizzata dopo trasformazione in conserve, marmellate, succhi, surgelati, disidratati, sottaceti, salamoie, ecc.; per il resto, destinato al mercato per il consumo fresco, rimane invece il problema di mantenere il più a lungo possibile le caratteristiche iniziali.

La possibilità e la tecnica della conservazione dipendono in linea di massima dalla natura del prodotto. A seconda della specie e della varietà, si passa da organi quiescenti (bulbi, tuberi, ecc.), che possono attendere a lungo senza problemi il momento più propizio per l'inserimento sul mercato, ad organi con un metabolismo talmente intenso da perdere in poche ore dalla raccolta le migliori caratteristiche organolettiche e subire notevoli diminuzioni del valore nutritivo (ricchezza in vitamine, zuccheri, ecc.), e pertanto del valore commerciale.

In rapporto alle loro caratteristiche morfologiche e fisiologiche i prodotti delle varie specie e varietà offrono una resistenza assai diversa ai vari agenti meccanici, ambientali e patologici, e quindi per molti prodotti la lavorazione, il confezionamento, il trasporto, oltre alla conservazione per lunghi periodi, possono costituire un problema.

Tale problema deriva in primo luogo dall'elevato contenuto in acqua (80-95%) della maggior parte di ortaggi e frutti, e poi dalla degradabilità dei componenti la sostanza secca: zuccheri riduttori, acidi organici, vitamine, composti fenolici, pigmenti.

I frutti e gli ortaggi dopo la raccolta manifestano una intensa attività metabolica che si estrinseca nell'emissione di anidride carbonica e con la produzione di calore. L'intensità delle manifestazioni appare nettamente differenziata tra una specie e l'altra, e spesso anche tra le cultivar. L'attività è strettamente correlata con la temperatura, in quanto la respirazione generalmente presenta la minima intensità alla temperatura immediatamente superiore al punto di congelamento, cioè in prossimità degli 0°C. All'aumento della temperatura corrisponde un incremento della respirazione secondo un andamento più che proporzionale anche se con intensità diverse a seconda delle specie (Fig. 5.218).

Per salvaguardare la qualità, evitando il rapido instaurarsi della senescenza, è indispensabile porre i frutti a temperature controllate affinché i fenomeni vitali siano limitati. Talvolta, allo scopo di limitare in maggiore misura l'intensità respiratoria, può essere opportuno agire non solo sulla temperatura, ma anche sulla composizione gassosa dell'atmosfera. Con la permanenza dei frutti o degli ortaggi in presenza di tassi ridotti di ossigeno e in misura ancor più evidente quando l'aria è stata arricchita di CO₂, è possibile controllare l'attività metabolica, pur nel rispetto di una individuale adattabilità alle concentrazioni di questi due gas nell'aria. Molte specie, infatti, mal si adattano o alla riduzione dell'ossigeno o all'incremento dell'anidride carbonica nell'atmosfera.

La temperatura di conservazione, la velocità con cui questa viene raggiunta, le modificazioni della composizione dell'atmosfera, l'eliminazione di determinati metaboliti dalla stessa sono i parametri su cui si basa la conservabilità dei prodotti ortofrutticoli.

Maturazione e conservazione

Il grado di maturazione alla raccolta, in molte specie, esplica un ruolo particolare sulla durata, sulla sensibilità alla temperatura e sull'adattabilità alla composizione dell'aria. La raccolta ad un corretto stadio di maturazione offre la possibilità di realizzare una conservabilità prolungata nel rispetto delle caratteristiche qualitative ottimali o almeno soddisfacenti.

Abbiamo già visto quali indici di maturazione sono preferiti per la frutta, ed anche che l'anticipo o il ritardo della raccolta possono determinare condizioni sfavorevoli alla conservazione.

Nel caso degli ortaggi, una raccolta molto anticipata permette a volte di prolungare la conservazione del prodotto, ma ciò spesso avviene a detrimento delle caratteristiche qualitative del prodotto, e talvolta anche della produttività.

Temperatura ed umidità relativa

La scelta delle temperature di conservazione più adatte ai vari prodotti (Tab. 5.16) è determinata da numerosi fattori, in quanto gli aspetti da considerare sono assai diversi; alcuni sono legati alla specie o varietà, altri dipendono dallo stadio di maturazione, altri ancora dalla durata prevista di conservazione.

In molti casi i prodotti risultano sensibili a temperature molto basse, o al prolungarsi di tali temperature; in tal caso si possono verificare manifestazioni fisiologiche anomale, e conseguenti alterazioni, che a loro volta possono favorire l'instaurarsi di patogeni (Tab. 5.17).

Per mantenere delle buone caratteristiche qualitative è assai importante anche la scelta dell'umidità relativa nell'ambiente di conservazione. A causa del deficit di pressione che si instaura tra il frutto, considerato saturo di umidità, e l'ambiente, è indispensabile mantenere i valori dell'umidità relativa a livelli molto alti per evitare il fenomeno della traspirazione, che è specialmente rilevante nelle specie o nelle cultivar caratterizzate da tessuti epidermici e subepidermici meno adatti ad isolare il frutto dall'ambiente. In molte specie già quando si verifica il 2-3% di perdita di peso appaiono evidenti fenomeni di appassimento (Fig. 5.219, Tab. 5.18).

Pre-refrigerazione

La pre-refrigerazione è un trattamento preliminare rapido inteso a portare in tempi brevi il prodotto dalla temperatura ambiente alla temperatura ottimale di conservazione. Può essere effettuata con i seguenti sistemi: distribuzione di ghiaccio a scaglie (*top-ice*), utilizzazione di camere ad aria fredda forzata, idrorefrigerazione, prerefrigerazione sotto

vuoto. Un veloce raggiungimento della temperatura di conservazione (Fig. 5.220) offre una serie di vantaggi. E' però da un punto di vista della qualità che il prodotto refrigerato offre i maggiori vantaggi. Abbassando rapidamente la temperatura vengono rallentati i processi della maturazione, quindi il prodotto non subisce modifiche sgradite visibili, la consistenza resta accettabile, il colore non si modifica eccessivamente, le manifestazioni di appassimento non sostituiscono la turgidità, gli attacchi fungini sono ridotti o nulli. Le variazioni di valore alimentare e le perdite in vitamina C risultano di gran lunga inferiori nel prodotto freddo rispetto a quello mantenuto a temperatura ambiente. Il raffreddamento rapido costituisce il mezzo principale per prolungare la durata della commercializzazione ed estendere l'offerta dei prodotti sui mercati più lontani (Fig. 5.221).

La scelta di un sistema o dell'altro, in relazione alla sua funzionalità, è legata a particolari aspetti del prodotto, alla durata desiderata del trattamento, alla valutazione del consumo energetico, ma soprattutto all'adattabilità della specie nel conseguire i migliori risultati (Tab. 5.19).

L'impiego del *ghiaccio a scaglie* è il metodo più antico e semplice, usato anche per le carni e il pesce; consiste nella distribuzione del ghiaccio sul prodotto appena raccolto e disposto in strati sottili; consente di ridurre notevolmente la temperatura interna della massa mantenendo al tempo stesso la turgescenza dei tessuti ed evitando perdite di peso; normalmente si effettua sui mezzi di trasporto durante il trasferimento dei prodotti.

L'*idrorefrigerazione (hydrocooling)* rappresenta il sistema più rapido di sottrazione del calore per l'alta capacità di scambio tra il mezzo refrigerante e il frutto ed è particolarmente valido per i frutti di grosse dimensioni, dove il rapporto superficie volume è ridotto. L'immersione in acqua gelida, o l'irrorazione, evitano la traspirazione, assai elevata quando il frutto presenta un'alta temperatura e addirittura favorisce un certo assorbimento d'acqua; non si ha quindi perdita di peso, e le caratteristiche organolettiche sono mantenute a lungo. Questo metodo tuttavia provoca per contro una maggiore sensibilità ai marciumi in caso di naturale predisposizione per l'elevato inquinamento ambientale, tanto che conviene provvedere all'effettuazione di particolari trattamenti di prevenzione. La durata del trattamento e la sua temperatura variano (Tab. 5.20). Questo metodo è particolarmente indicato per prodotti ad alta deperibilità e per quelli fogliosi.

La *pre-refrigerazione ad aria forzata*, realizzata mediante appositi tunnel, è un metodo di abbassamento della temperatura particolarmente valido per i frutti di piccole dimensioni, o per quelli assai delicati, che non possono essere facilmente manipolati. Lo scambio termico tra aria e prodotto risulta alquanto limitato e pertanto i tempi di trattamento possono risultare piuttosto prolungati. Il metodo è utilizzato in particolare per i frutti già confezionati pronti per la commercializzazione. È importante che l'umidità relativa dell'aria sia molto elevata e che non si determini una eccessiva sottrazione di umidità dai prodotti (1-2% del peso); per questo motivo tale metodo è poco adatto agli ortaggi da foglia. Comporta spese di stivaggio elevate.

La *pre-refrigerazione sotto vuoto* (Fig. 221bis) richiede complesse attrezzature in grado di realizzare notevoli depressioni (4-5 mm di Hg) in camere a tenuta. Tale depressione determina l'evaporazione di una certa quantità di acqua dai prodotti (2-3% del peso) e quindi il loro raffreddamento. Anche in questo caso la durata del trattamento è correlata con la temperatura che il prodotto può sopportare. Il sistema risulta molto costoso, ma se ne può prevedere l'impiego in grossi centri di commercializzazione, in quanto si presta

anche a prodotti già confezionati e pronti per la spedizione, purché l'imballaggio sia permeabile al vapore d'acqua (cartoni); è adatto soprattutto agli ortaggi da foglia come lattughe, sedani e spinaci.

Conservazione frigorifera

Abbiamo visto come il fattore esterno più importante per rallentare il metabolismo vegetale, e quindi per prolungare la conservazione della frutta e degli ortaggi, sia la temperatura. Quindi la conservazione degli ortofrutticoli freschi viene effettuata in regime di refrigerazione. Anche se tutti i prodotti possono essere conservati in frigo, differenti sono però le temperature e le umidità relative (UR) a cui possono essere mantenuti (Tab. 5.21); la suscettibilità alle alterazioni fisiologiche, ai danni da freddo, agli attacchi parassitari (Tab. 5.22) varia, oltre che con la specie e la cv, anche con la durata della permanenza in frigo.

Naturalmente queste diverse esigenze suggeriscono che per una prolungata conservazione in cella frigorifera occorre immagazzinare prodotti omogenei, allo stesso stadio di maturazione, ben selezionati, calibrati e confezionati, e possibilmente prerrefrigerati subito dopo la raccolta.

Atmosfera controllata (AC)

Questo sistema è basato sulla variazione della composizione dell'aria presente nelle celle di conservazione ed in particolare delle percentuali di O₂ e CO₂, che normalmente risultano di circa 21% e 0,04%.

La modificazione della composizione dei gas dell'atmosfera deve essere considerata una tecnica assai valida per assicurare la conservabilità nel tempo e per mantenere inalterate le caratteristiche qualitative dei frutti, rispetto alla semplice esposizione a temperature controllate (Fig. 5.223).

In seguito alla riduzione dell'ossigeno si verifica un abbassamento dell'intensità respiratoria che può portarsi a valori minimi (80% di contenimento), fenomeno che appare ancora più evidente quando l'atmosfera risulta arricchita di anidride carbonica.

I vantaggi dell'adozione dell'A.C. possono essere così sintetizzati:

- a) decremento della respirazione con riduzione del massimo climaterico;
- b) riduzione degli effetti dell'etilene sul metabolismo, ed in particolare dell'interazione tra l'etilene ed i fenomeni della senescenza;
- c) mantenimento di una elevata consistenza della polpa per azione della CO₂ sugli enzimi;
- d) ridotte perdite di acidità, di vitamina C, di zuccheri, cosicché le qualità organolettica e alimentare risultino elevate;
- e) contenimento delle alterazioni fisiologiche e patologiche;
- f) una maggior durata nella fase di commercializzazione per il prolungarsi degli effetti sulla respirazione.

Inizialmente l'atmosfera controllata si instaurava naturalmente in seguito all'azione della respirazione in locali chiusi fino a che sopraggiungeva un equilibrio tra i tassi di ossigeno

e anidride carbonica, che si fissavano su valori pressoché uguali. Successivamente, con l'avvento di apparecchiature tecnologicamente sempre più perfezionate, è stato possibile raggiungere atmosfere con livelli di ossigeno pari all'1% o poco più, limitando le concentrazioni della CO₂ ai valori desiderati (tra l'1 e il 5%)(Tab. 5.23). Particolarmente efficaci, per mantenere la qualità del prodotto conservato, i cosiddetti sistemi ULO (A.C. a basso livello di ossigeno) e LECA (A.C. con basso livello di etilene). Alcune specie, tuttavia, non si avvantaggiano delle modificazioni dell'atmosfera in quanto risultano sensibili alla riduzione dell'ossigeno o all'innalzamento dell'anidride carbonica (agrumi, albicocche, uva). In altri casi (pere) la risposta varia grandemente tra le varietà.

Anche la concentrazione di ossigeno esplica un'importante azione nei riguardi del comportamento dei frutti in conservazione. Agrumi e certe varietà di pere non possono essere esposti a concentrazioni di ossigeno inferiori al 6-10%, mentre altre specie (mele, pesche, actinidia) ben si adattano a concentrazioni di ossigeno molto più basse.

La rapidità della creazione dell'atmosfera è fondamentale ai fini della conservabilità (Fig. 5.224). A questo scopo può convenire introdurre nella cella azoto per allontanare l'ossigeno, così da creare molto rapidamente l'atmosfera propria della conservazione. In genere vengono utilizzate particolari attrezzature capaci di separare l'ossigeno dall'azoto, dopodiché si provvede all'allontanamento dell'anidride carbonica prima di introdurre il gas in cella.

Le celle destinate all'atmosfera controllata devono essere costruite con criteri tali da garantire la tenuta ai gas. Le celle devono essere inoltre dotate di apparecchiature idonee ad eliminare l'anidride carbonica prodotta dai frutti (*depuratori*) e di strumenti per la misura dell'O₂ e della CO₂.

Le specie che più comunemente sono conservate in atmosfera controllata sono le mele e le pere, per gli evidenti vantaggi riguardo alla durata e al miglioramento della qualità, con un'ampia gamma di atmosfere ottimali, risultato di un'ampia attività di ricerca.

Per brevi periodi è possibile, per certe specie (kaki, castagne, fragole, fichi, lamponi, limoni, mirtilli, noci, pesche, pompelmi), ottenere positivi risultati dall'esposizione dei frutti ad elevatissime concentrazioni di anidride carbonica (*trattamenti massivi*), in quanto questo trattamento evidenzia effetti particolarmente positivi (Tab. 5.24). Il più importante beneficio realizzato con i trattamenti massivi è rappresentato dall'inibizione allo sviluppo dei funghi.

In alcuni casi l'atmosfera controllata, o meglio modificata, viene creata adottando involucri di polietilene direttamente predisposti nella cassa o intorno ad un pallet, in modo da evitare gli scambi gassosi e favorire l'abbassamento dell'ossigeno e l'innalzamento dell'anidride carbonica.

Presenza dell'etilene nell'aria

L'etilene è considerato il fitoregolatore endogeno più importante per i processi di maturazione e senescenza, in quanto la sua presenza nell'atmosfera stimola la respirazione, soprattutto nei frutti climaterici. In questo gruppo di frutti l'aggiunta di etilene all'ambiente anticipa il climaterio, ma non lo eleva in modo significativo, a differenza di quanto avviene nei frutti non climaterici (agrumi, ciliegie, fragole, lamponi,

uva), nei quali come abbiamo visto la respirazione ha un andamento lineare, e la sua intensità è proporzionale non solo alla temperatura ma anche alla concentrazione di etilene nell'atmosfera (Fig. 5.225).

La formazione di etilene da parte del frutto coincide con l'inizio della maturazione. Il processo di stimolazione della respirazione è facilitato dalla formazione dell'etilene con un meccanismo autocatalitico; tuttavia affinché l'etilene stimoli la maturazione i frutti devono rimanere esposti ad esso per un periodo che varia da frutto a frutto e deve venire raggiunta una minima concentrazione soglia. (Tab. 5.25). Alcune specie come l'actinidia, il cetriolo e i cavoli sono molto sensibili all'azione di questo idrocarburo; tuttavia anche le specie più resistenti, come le mele, traggono beneficio dalla sua eliminazione dall'ambiente di conservazione, soprattutto nei confronti del rammollimento dei frutti e della comparsa del riscaldamento comune (Fig. 5.226, 5.227).

Al fine di conservare i frutti ed evitare indesiderate modificazioni è indispensabile allontanare l'etilene presente nell'aria e all'interno dei frutti, mediante idonee apparecchiature (*assorbitori catalitici o chimici*), o particolari tecniche di conservazione (*metodo ipobarico*).

A seguito delle modificazioni delle concentrazioni di ossigeno e di anidride carbonica è possibile constatare delle notevoli differenze dell'effetto dell'etilene, nel senso che a ridotte concentrazioni di ossigeno o in presenza di anidride carbonica l'azione stimolante risulta fortemente ridotta.

Lo sviluppo di etilene è molto contenuto dalla presenza di CO₂ nell'atmosfera, con un effetto inibente pressoché proporzionale alla concentrazione. L'ossigeno invece esplica un'azione di stimolo sulla sintesi dell'etilene, tanto che in atmosfere di azoto le pere cessano di emettere etilene. Da notare come in condizioni ipobariche la sintesi dell'etilene sia quasi completamente inibita con conseguenti effetti positivi sulla durata dei prodotti.

Confezionamento con sacchetti di plastica

Questa tecnica, diffusasi con l'espansione dei supermercati, per proteggere i prodotti da contaminazioni e perdita di peso, svolge un'azione positiva anche nei riguardi della respirazione dei vegetali.

Impiegando particolari film plastici dotati di adatta permeabilità al vapor acqueo, alla CO₂ e all'O₂, è possibile creare all'interno del contenitore una composizione gassosa in grado di inibire la respirazione; si sviluppa cioè un'atmosfera controllata spontanea. All'interno di queste confezioni aumenta la UR, diminuisce la concentrazione di O₂ ed aumenta quella di CO₂ in conseguenza della respirazione, fino al raggiungimento di uno stato di equilibrio che è funzione della natura e spessore del film plastico, della quantità di prodotto presente, della temperatura.

Uno dei film che a tutt'oggi ha fornito i migliori risultati è il polietilene; in alcuni casi convengono film forati per evitare eccessive condensazioni d'umidità.

Surgelazione

Consiste nel congelamento rapido dei prodotti a -40°C e successiva conservazione a -20°C per periodi di un anno e oltre. È necessario usare prodotto veramente fresco, e cioè a poche ore dalla raccolta, che non abbia subito perdite di valore nutritivo né modificazioni istologiche.

La produzione di ortaggi surgelati si è sviluppata progressivamente e rappresenta ormai una realtà per numerosi ortaggi.

Inscatolamento

È un metodo che si è sviluppato a livello industriale fin dalla fine del secolo scorso. La sterilizzazione con il calore - in bagnomaria a 100°C per 20-30 minuti, oppure mediante vapore surriscaldato in autoclave a 120°C per 15-20 minuti - consente di conservare a lungo alcuni prodotti orticoli inscatolati.

L'utilizzazione dei prodotti orticoli da parte dell'industria presuppone l'impiego di cv adatte, la programmazione delle produzioni e il rispetto di precisi indici di qualità, come d'altronde avviene per la surgelazione.

Essiccazione

Consiste nella parziale eliminazione dell'acqua di costituzione dei vari tessuti del prodotto, utilizzando una fonte di calore. Si tratta di uno dei metodi più antichi di conservazione; ancor oggi nel meridione si usa essiccare al sole i pomodori tagliati a fette, conservandoli poi mediante impiego di sale per tutto l'inverno; lo stesso vale per i fichi ed altri frutti, seccati e consumati come tali in numerosi paesi del bacino del Mediterraneo (Fig. 5.228). L'essiccazione ha ricevuto un impulso notevole dai moderni impianti di disidratazione e liofilizzazione.

L'essiccazione viene eseguita con aria calda alla temperatura di $50-70^{\circ}\text{C}$ (Fig. 5.229), mentre la liofilizzazione ha luogo sotto vuoto spinto ($0,001\text{ atm}$) dopo congelamento rapido.

La serbevolezza dei prodotti essiccati è direttamente proporzionale alla percentuale di materie solide solubili, ed inversamente proporzionale alla percentuale di umidità residua; dipende inoltre dalle condizioni ambientali di conservazione.

Conservazione sott'aceto

Anche questa tecnica di conservazione è assai antica. Si impiega aceto con 6 gradi di acido acetico, portato alla temperatura di 70°C , dopo aver aggiunto il 2-3% di sale; l'industria alimentare produce grandi quantità di ortaggi sottaceto impiegando cv appositamente costituite (cipolline, cetriolini, peperoncini), oppure produzioni normali tagliate in piccoli pezzi. Per una buona conservazione i prodotti devono essere puliti, omogenei e ben asciutti prima dell'immersione, ed inoltre si deve evitare che rimanga aria all'interno dei contenitori tra liquido e prodotto.

5.8 Agricoltura biologica

5.8.1 Principi

L'agricoltura biologica ha vissuto negli ultimi anni uno sviluppo considerevole, assumendo di diritto un posto di rilievo nel settore dell'agricoltura nazionale ed europea. Nei primi decenni del dopoguerra la necessità di aumentare le produzioni e di arricchire le diete di tutte le classi sociali limitò la diffusione del metodo biologico; ma a partire dagli anni '70, anche grazie a migliori conoscenze nutrizionali e sanitarie, e ad una accresciuta coscienza ambientalista, il fenomeno prende piede soprattutto in Nord Europa, per poi affermarsi appieno negli anni '80 un po' ovunque.

Alla base del fenomeno che si può definire genericamente della "agricoltura alternativa", contrapposta a quella chiamata "convenzionale" o "industriale", stanno diverse correnti di pensiero, sulle quali non è possibile soffermarci in questa sede; tutte però si caratterizzano per il rispetto dell'ambiente e delle vocazioni naturali di un certo territorio, e per il rifiuto di sostanze chimiche quali diserbanti, antiparassitari e fertilizzanti. Secondo l'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements), il settore si definisce come segue:

"L'agricoltura biologica comprende tutti i sistemi agricoli che promuovono la produzione di alimenti e fibre in modo sano socialmente, economicamente e dal punto di vista ambientale.

Questi sistemi hanno come base della capacità produttiva la fertilità intrinseca del suolo e, nel rispetto della natura delle piante, degli animali e del paesaggio, ottimizzano tutti questi fattori interdipendenti.

L'agricoltura biologica riduce drasticamente l'impiego di inputs esterni attraverso l'esclusione di fertilizzanti, pesticidi e medicinali chimici di sintesi. Al contrario, utilizza la forza delle leggi naturali per aumentare le rese e la resistenza alle malattie."

In Italia il settore ha ricevuto un notevole impulso negli ultimi anni, anche grazie a congrui incentivi economici della Comunità Europea alla conversione. In 5 anni, dal '93 al '98, le superfici a biologico e in conversione sono più che decuplicate, passando da 70.674 a 788.070 ettari (al 31/12/1998). La distribuzione delle superfici biologiche per area geografica vede in testa le regioni meridionali, interessate da 563.669 ettari, poi il Nord con 129.260, e il Centro con 95.142 ettari. La Sardegna in particolare emerge in quanto ospita ben 250.058 ettari complessivi di colture biologiche o in conversione. A fine 1999 la superficie totale era ulteriormente aumentata a 958.687 ha, che costituiscono il 6,5% della S.A.U.

In agricoltura biologica, ove possibile, i prodotti esterni che entrano nel ciclo produttivo sono rimpiazzati da risorse prodotte in azienda. Questo significa che nei limiti del possibile l'azienda fornisce i mezzi per la coltivazione, la fertilizzazione, la difesa delle colture, la produzione di energia. Sono però anche disponibili numerosi prodotti e strumenti extra aziendali (Fig. 5.230). Ne discende che i sistemi di agricoltura biologica possono differire in modo considerevole tra loro, in quanto ogni situazione richiede la messa a punto di pratiche e procedure specifiche per far fronte a condizioni ambientali ed economiche particolari. Non si deve però pensare che l'agricoltura biologica costituisca un ritorno alle pratiche agricole che precedettero la rivoluzione industriale; si tratta piuttosto di una combinazione di pratiche agricole tradizionali, volte alla conservazione dell'ambiente, con le più moderne innovazioni tecnologiche e scientifiche. Gli operatori del settore utilizzano attrezzature e macchine moderne, materiale di propagazione certificato, tecniche moderne di gestione del suolo e dell'acqua, metodi innovativi di riciclaggio dei rifiuti organici, ecc.

Gli elementi caratterizzanti l'agricoltura biologica sono in sintesi i seguenti:

- incremento della dotazione in sostanza organica del terreno;
- esclusione delle sostanze chimiche potenzialmente tossiche, presenti in erbicidi, pesticidi e fertilizzanti;
- utilizzazione delle leguminose come fonte primaria di azoto;
- somministrazione di fertilizzanti naturali;
- sfruttamento delle rotazioni colturali per ridurre al minimo i danni da insetti, malattie e malerbe;
- aumento del numero di specie coltivate, anche in consociazione;
- integrazione del sistema con colture arboree e allevamenti per ottenere un sistema naturale bilanciato;
- raccolta e conservazione dell'acqua meteorica, combattendo l'erosione superficiale.

5.8.2 Terreno

Un principio informatore dell'agricoltura biologica, in tutte le sue varianti, è che il terreno deve essere disturbato il meno possibile. È un organismo vivente che deve essere nutrito regolarmente, soprattutto con l'apporto di sostanza organica; batteri, funghi, attinomiceti e lombrichi migliorano la struttura del terreno, l'assimilazione di elementi nutritivi e la salute delle piante. Le lavorazioni sono poco profonde, tendenti più a rimescolare lo strato superficiale (6-10 cm) che a rivoltarlo; in tal modo lo strato più attivo non viene

portato in profondità, e residui vegetali e fertilizzanti restano in prossimità della superficie. Ciò contribuisce a contenere al minimo l'erosione. All'aratro si preferiscono attrezzi discissori (erpici a dischi, coltivatori, scarificatori, ecc.), montati su trattori leggeri, con ruote larghe, che consentano di ridurre la compattazione. Il terreno va mantenuto coperto da colture per tutto l'anno, o il più a lungo possibile, una pratica positiva per i contenuti in sostanza organica, la lotta alle malerbe e all'erosione, il bilancio idrico in taluni ambienti. Nei terreni pesanti possono essere usati attrezzi discissori in profondità e aratri talpa.

5.8.3 Fertilizzazione

Una sufficiente disponibilità di azoto e alti livelli di sostanza organica nel terreno sono per l'agricoltore biologico la chiave per l'alta produttività. La fonte principale di azoto nell'azienda biologica è l'atmosfera, il cui azoto viene fissato dai batteri simbiotici delle leguminose, coltivate per granella, per foraggio o per sovescio. Altre fonti di azoto sono i fertilizzanti organici, aziendali o commerciali, e i residui organici presenti nel terreno che vengono mineralizzati da vari microrganismi. Il letame può spesso essere compostato, in modo da conservare l'azoto presente in forma più durevole, mentre numerosi sono i prodotti ricchi in azoto disponibili sul mercato: residui della macellazione (*carnicci, cornunghia, sangue, farine di sangue e d'ossa*) e dell'industria (*cuoiattoli, borlande, cascami vari, guano, pollina*). In questi prodotti sono spesso presenti anche gli altri elementi nutritivi, che possono anche essere somministrati come minerali naturali (*rocce fosfatiche, polvere di granito e di basalto, calcare, gesso*). Sono inoltre disponibili prodotti che esercitano un'attività di stimolo, quali *aminoacidi, estratti umici, propoli, alghe* ed altri biostimolanti di composizione complessa.

Altri sottoprodotti aziendali possono essere utilizzati, con azione sia concimante che ammendante, quali vinacce, sanse, residui di lavorazioni varie (*gusci, tegumenti, pula e crusca, fogliame, ecc.*).

5.8.4 Rotazioni

Le rotazioni sono uno strumento essenziale dell'agricoltura biologica. Uno degli scopi principali è, come già rammentato, l'utilizzazione del potere di fissazione dei simbiotici delle leguminose, che sono sempre presenti negli schemi delle rotazioni e che vanno scelte in funzione dell'ambiente di coltivazione e delle specie cui si alternano. Ma non va sottovalutato l'effetto positivo dell'esplorazione alternata di zone diverse del terreno, l'utilità degli avvicendamenti nel ridurre il potenziale inoculo di malattie, insetti e malerbe, l'utilizzazione del sovescio anche per arricchire il terreno di sostanza organica,

l'utilizzazione delle colture intercalari per tenere occupato il terreno ed evitarne l'erosione.

5.8.5 Diserbo

Le piante infestanti di solito preoccupano più degli insetti e delle malattie. Il controllo biologico delle infestanti comprende rotazioni, lavorazioni preparatorie, sfalcio, pascolo, coltivazione di specie competitive, colture intercalari, scelta dell'epoca di semina o trapianto, false semine, distanze ravvicinate di semina, e talvolta diserbo manuale, oltre all'inerbimento nei frutteti, nei quali le lavorazioni come l'aratura sono possibili anche con la coltura in atto. Le lavorazioni successive nelle colture erbacee comprendono sarchiature, rincalzature, erpicature; gli interventi più caratteristici dell'agricoltura biologica sono il pirodiserbo, la solarizzazione e la strigliatura.

Particolare cura è posta in agricoltura biologica nella valutazione dell'opportunità di intervenire, e quindi dei valori di soglia d'intervento per le varie specie infestanti e per la popolazione complessiva di malerbe, coltura per coltura.

5.8.6 Difesa fitosanitaria

Come già ricordato, gli agricoltori biologici rinunciano all'impiego dei prodotti chimici di sintesi per il controllo di insetti e patogeni, al fine di evitare le numerose conseguenze negative dirette ed indirette legate al loro uso.

Le possibilità di interventi diretti sono perciò molto limitate, e sono di conseguenza estremamente importanti le misure culturali di prevenzione, che hanno la precedenza rispetto alla difesa diretta. Naturalmente, a seconda del tipo di parassita, ve ne saranno alcune più importanti di altre.

Le rotazioni sono ancora uno strumento essenziale, soprattutto nei confronti delle malattie e parassiti che vivono nel suolo e che sono specifici di una data coltura. Altri strumenti sono adatte colture intercalari, trasemine, consociazioni e altre pratiche che incrementino l'attività biologica del terreno e favoriscano i naturali antagonisti; uso di varietà e cloni resistenti; scelta di materiale di propagazione sano, e delle epoche e densità di semina. Anche una equilibrata fertilità chimico-fisica del terreno, con valori adeguati di umidità ambientale e di vigoria delle piante (tipica è l'attenzione a contenere le concimazioni azotate), contribuisce ad aumentare le difese delle piante. Infine, vanno adottate le più idonee date e modalità di raccolta per sfuggire a numerose avversità, che possono anche colpire nel corso della conservazione.

La lotta diretta può contare su una varietà di strumenti tecnici, di diversa natura. Contro gli insetti sono disponibili sostanze di origine vegetale, come rotenone, quassia, piretrine,

oli vegetali, azadiractina, derivati vari di piante superiori (aglio, assenzio, equisetolo, ortica, *Ryania*, tabacco, tanaceto, timo); saponi, oli minerali, sostanze minerali varie. La lotta è anche condotta con la cattura massale di insetti attraverso trappole arricchite di sostanze varie ad azione attrattiva. La lotta biologica, attraverso l'utilizzazione di organismi predatori o parassiti (insetti, acari e nematodi, ma anche microrganismi come il *Bacillus thuringiensis*, un batterio, e diversi virus, efficaci contro vari insetti in particolari stadi di sviluppo), è un'altra possibilità a disposizione dell'agricoltore.

Contro le crittogame un ruolo importante continua ad essere svolto da rame e zolfo e loro derivati, oltre che da altri prodotti, quali farine di argilla, acqua di vetro (silicato di Na), fosfito di potassio, derivati fungini, derivati di piante superiori come aglio e equisetolo.

Bibliografia

Agronomica, 1995 - Le tecniche di coltivazione delle principali colture agroindustriali. Bologna.

A.I.S.FO., 197? - Anche le foraggere vanno coltivate. Edagricole, Bologna

Amministrazione Provinciale di Ravenna, 1992 - L'irrigazione delle colture agrarie. Ravenna

Andreoli F., Antonaroli R., D'Errigo G., Martini P., Paganelli G., Perillo G., Sereni S., Vezzalini L., 1987 - Agronomia. Roma, REDA.

Baisi F., Galligani P. L., Pergola V., 1999 - Corso di agronomia ed elementi di meccanizzazione agraria. Edagricole, Bologna.

Baldini E., 1990. Arboricoltura Generale. Clueb, Bologna.

Baldoni G., 1998 - Ecologia ed agricoltura. Edagricole, Bologna.

Baldoni R., Giardini L. (Eds.), 1989 - Coltivazioni erbacee. Patròn, Padova.

Bellini E., Fabbri A., 1989 - La propagazione delle specie da frutto tropicali e subtropicali. Ed. L'Arciere, Cuneo.

Bellini P., Ghisleni P. L., 1987 - Agronomia Generale. Torino, UTET.

Bonciarelli F., 1995 - Fondamenti di Agronomia Generale. Edagricole, Bologna.

Braudel F., 1979 - Civiltà materiale, economia e capitalismo. Le strutture del quotidiano. Einaudi, Torino.

- Brown L. R., Flavin C., French H., 1998 - State of the world 1998. Stato del pianeta e sostenibilità. Rapporto annuale. Edizioni ambiente, Milano.
- Brunner T., 1990 - Physiological fruit tree training for intensive growing. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Catizone P., Marotti M., Toderi G., Tétényi P., 1986 - Coltivaz. delle piante medic. e arom. Pàtron, BO.
- Catizone P., Zanin G. (Ed.), 2001 - Malerbologia. Pàtron, BO.
- Chilò L., 1992 - La rivoluzione delle biotecnologie e la trasformazione del paesaggio agrario. Grafo, Brescia.
- Chrispeels M. J., Sadava D. E., 1996 - Biologia vegetale applicata. Piccin, Padova.
- C. N. R., 1961 - Il miglioramento genetico degli ortaggi. Firenze.
- Constantinidis C., 1998 - Idraulica applicata generale e agraria. Edagricole, Bologna.
- Cralle H. T., 1984 - Agronomy. Paladin, Lake Geneva, WI.
- D'Amato F., 1971- Genetica Vegetale. Boringhieri, Torino.
- Evans L. T., 1993 - Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fabbri A., 1992 - Dispense per il corso di "Colture da frutto", AA 1991-92. Scuola diretta a fini speciali in "Tecnica vivaistica", Pistoia.
- Faust M., 1989 - Physiology of temperate zone fruit trees. Wiley, New York.
- Ferrari M., Marcon E., Menta A., 1996 - Fitopatologia ed entomologia agraria. Edagricole, Bologna.
- Fidanza F., 1996 - Alimentazione e nutrizione umana. Sezione terza: Alimenti. Gnocchi, Napoli.
- Filippi F., 1967 - Piccola Enciclopedia di Meccanica Agraria. Esso Standard Italiana, Roma.
- Forbes J. C., Watson R. D., 1992 - Plants in agriculture. Cambridge University Press, Cambridge.
- Formica C., 1996 - Geografia dell'agricoltura. La Nuova Italia, Roma.
- Gasparini M., 1969 - Coltivazioni Erbacee. Lezioni. CLUSF, Firenze.
- Giardini L., 1992 - Agronomia generale. Patròn, Padova. (G)

- Giulivo C., 1990 - Principi fisiologici della potatura. In "La potatura degli alberi da frutto negli anni '90", Atti del convegno, Verona, 27/4/1990: 9-38.
- Gliessman S. R., 1998 - Agroecology. Sleeping Bear Press, Chelsea, MI.
- Gorini F., 1986 - Aspetti della conservazione in atmosfera controllata e sua evoluzione. In "Centrali frutticole anni '90", Atti del Convegno, Verona 29/10/1986: 37-88.
- Gorini F., 1992 - Principi e tecniche della conservazione della frutta. In "Frutticoltura Generale" (Ed. F. Lalatta), Roma, REDA.
- Grimaldi A., 1979 - Agronomia (7a Ediz.). Edagricole, Bologna.
- Grisvard P., 1957 - La taille des arbres fruitiers. La Maison Rustique, Montpellier.
- Guet G., 1999 - Mémento d'agriculture biologique. Ed. Agridécisions, Paris.
- Harper F., 1983 - Principles of arable crop production. Granada Publ., London.
- Hartmann H.T., Kester D.E., 1990 - Propagazione delle piante. Edagricole, Bologna.
- Hartmann H. T., Flocker W. J., Kofranek A. M., 1981 - Plant science. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Harlan J. R., 1992 - Crops & man. Am. Soc. of Agr., Madison, WI.
- Janick J., 1979 - Horticultural science. Freeman, S. Francisco.
- Landi R., 1999 - Agronomia e ambiente. Edagricole, Bologna.
- Larcher W., 1995 - Physiological Plant Ecology. Springer, Berlino.
- Leopold A. C., Kriedemann P. E., 1975 - Plant growth and development. McGraw-Hill, N. Y.
- Lorenzetti F., Falcinelli M., Veronesi F., 1993 - Miglioramento genetico delle piante agrarie. Edagricole, Bologna.
- Max Planck Institut, 1998 - Produzioni agrarie e biotecnologie. Edagricole, Bologna.
- Mazzali E., 1994 - Il terreno e la nutrizione delle piante. Edagricole, Bologna.
- Noggle G. R., Fritz G. J., 1990 - Introductory plant physiology. Prentice-Hall, New Delhi.
- Pellizzi G., 1996 - Meccanica e meccanizzazione agricola. Edagricole, Bologna.
- Porceddu E., 1984 - Ecologia delle piante agrarie. Quadrifoglio, Bari.

- Pratella G., Tonini G., Folchi A., 1986 - Attualità e sviluppo della prerrefrigerazione. In "Centrali frutticole anni '90", Atti del Convegno, Verona 29/10/1986: 15-36.
- Preece E. J., Read P. E., 1993 - The biology of horticulture. John Wiley & Sons, N. Y.
- Russel E. W., 1986 - Il terreno e la pianta. Edagricole, Bologna.
- Schmid O., Strasser F., Gilomen R., Meili E., Wollesen J., 1994 - Agricoltura biologica. Edagricole, Bologna.
- Scossiroli R. E., 1984 - L'uomo e l'agricoltura. Edagricole, Bologna.
- Simmonds N. W. (ed.), 1976 - Evolution of crop plants. Longman, London.
- Stefani R., Santi A., 1997 - Fitofarmaci, fertilizzanti e mezzi tecnici per l'agricoltura biologica. Edagricole, Bologna.
- Terron P. U., 1995 - Tratado de fitotecnia general. Mundi-Prensa, Madrid.
- Tesi R., 1994 - Principi di orticoltura e ortaggi d'Italia. Edagricole, Bologna.
- Triolo L., 1988 - Agricoltura energia ambiente. Editori Riuniti, Roma.
- Valli R., 1996 - Arboricoltura generale e speciale. Edagricole, Bologna
- Vercesi B., 1995 - Diserbanti e loro impiego. Edagricole, Bologna.
- Vilain M., 1997 - La production végétale. Lavoisier, Paris.
- Westwood M. N., 1993 - Temperate zone pomology. Timber Press, Portland.
- Zocca A., 1999 - La propagazione di alberi e arbusti. Edagricole, Bologna.