

# LA FENOLOGIA

## DEFINIZIONE E ASPETTI GENERALI

La fenologia è la disciplina che studia i fenomeni biologici periodici che si manifestano con evidenti mutamenti dell'aspetto degli organismi viventi, descrive le loro fasi, le correla tra di loro e con i fattori dell'ambiente. In altre parole, essa si occupa di descrivere come, quando e perchè un individuo cambia nel corso del suo ciclo vitale.

Le osservazioni fenologiche possono essere eseguite su piante (siano esse spontanee che coltivate) e animali. Nel campo della fenologia vegetale, l'interesse della disciplina è finalizzato a determinare le diverse fasi dello sviluppo della pianta in toto o dei suoi organi fondamentali, intendendo con sviluppo il continuo mutare della forma e delle funzioni della pianta, che si realizza attraverso la produzione di nuove cellule, strutture e attività. Esso quindi non riguarda solo l'accumulo di sostanza secca (crescita), ma anche la differenziazione di organi, il loro accrescimento differenziale, la loro maturazione, l'attivazione di funzioni biologiche e così via.

**CRESCITA:** aumento di peso di un organo o dell'intero organismo.

**SVILUPPO:** mutamento della forma e delle funzioni di un individuo che si realizza attraverso: la produzione di nuove cellule, nuovi tessuti e comparsa e scomparsa di organi, importanti modificazioni nelle funzioni e nell'aspetto dell'organismo durante il ciclo vitale.

E' compito della fenologia definire quali sono i fenomeni da registrare, fornire scale di riferimento univoche e tecniche di osservazione riproducibili e, possibilmente, non distruttive, provvedere a chiavi interpretative e previsionali.

L'orizzonte temporale della fenologia è il ciclo biologico o vitale della pianta (da seme a seme), anche se in certi casi l'attenzione può essere rivolta ad una sua parte, come per le piante arboree e perennanti. Esso non sempre coincide con quello che per le specie agrarie è il ciclo colturale (periodo dalla semina alla raccolta). Infatti, quest'ultimo può variare in funzione del tipo di prodotto che viene utilizzato dall'uomo (pianta intera, frutto, organo vegetativo di riserva ecc.), delle tecniche colturali (trapianto, forzatura...), della diversa destinazione del prodotto (consumo fresco, produzione di alimenti per il bestiame, trasformazione industriale...), delle esigenze del mercato (produzioni primaticce o tardive) e così via.

## FENOLOGIA AGRARIA: PERCHE' STUDIARLA?

- Influenza la pratica colturale, la scelta e il risultato degli interventi
- Permette di prevedere l'impatto di eventi meteorologici sulla coltura e di definire strategie di coltivazione opportune
- Contribuisce allo studio dei cambiamenti climatici. Gli stadi di sviluppo delle colture sono strettamente influenzati da alcuni fattori climatici → piante come indici dei cambiamenti climatici
- Valuta il rischio ambientale tramite l'applicazione di modelli previsionali di resa

## OSSERVAZIONI FENOLOGICHE

Osservazioni fenologica classica:

- Individuazione della comparsa di fasi ben precise del ciclo biologico: fenofasi
- Fenofasi riconoscibili alla vista o al tatto senza distruzione della pianta, a prescindere dalla scala adottata
- Individuazione di un numero contenuto di piante e osservazione del loro sviluppo fino a fine ciclo

Osservazioni microfenologiche:

- Osservazioni su apice meristemato (individuazione della fase vegetativa e di quella riproduttiva)
- Campioni distruttivi e osservazione in laboratorio con il microscopio binoculare

### INDIVIDUAZIONE FASI FENOLOGICHE

Dal punto di vista fisiologico: il processo di sviluppo è continuo, con passaggi graduali e sfumati senza soluzione di continuità.

Nella pratica agricola l'individuazione di una classificazione che suddivida il ciclo colturale in fasi riconoscibili. Queste fasi sono più o meno omogenee e numerose a seconda della coltura e della sua importanza nell'ambito produttivo

## METODI DI STUDIO

Le osservazioni fenologiche consistono essenzialmente nell'individuare la comparsa di fasi ben precise del ciclo biologico (fenofasi), riconoscibili a vista o al tatto, generalmente senza operare interventi distruttivi sulla pianta. Ciò prevede di individuare una pianta (fenoide) o un gruppo di piante da seguire per tutto il ciclo biologico. E' infatti scorretto eseguire osservazioni su individui diversi nel corso del tempo, perché esiste sempre una variabilità di comportamento che può inficiare la validità delle informazioni acquisite.

La metodologia di rilevamento deve soddisfare i seguenti obiettivi: rappresentare un evento fenologico nei suoi tratti essenziali, garantire precisione, obiettività e confrontabilità dei dati, tenere nella giusta considerazione la variabilità fenologica tra le piante, consentire di sottoporre i dati a elaborazioni statistiche, realizzare un rilievo rappresentativo.

In pratica, è necessario mettere in atto gli accorgimenti che servono per omogeneizzare rilievi effettuati da operatori diversi e limitare la soggettività dell'osservazione. A tal fine, vengono predisposte ed utilizzate schede di rilevazione, accompagnate da note metodologiche per l'esecuzione dei rilievi.

Allo scopo di facilitare l'individuazione delle fenofasi ci si avvale di chiavi o scale fenologiche di riferimento, la cui completezza e complessità varia spesso in funzione degli obiettivi delle osservazioni e della specie oggetto di studio.

Per standardizzare le informazioni si può fare uso della scala BBCH (1997), che prevede di suddividere l'intero ciclo biologico in dieci stadi principali di sviluppo, codificati con i numeri interi da 0 a 9. All'interno degli stadi principali possono essere individuati stadi secondari, per esprimere il grado di avanzamento della fase principale, anch'essi indicati con numeri da 0 a 9. Dalla combinazione dei numeri di sviluppo principali e secondari risulta un codice composto da due cifre.

I primi cinque stadi principali [0: germinazione/germogliamento/sviluppo gemme; 1: sviluppo foglie (fusto principale); 2: formazione germogli laterali/accestimento; 3: allungamento fusto principale/crescita rosetta/sviluppo germoglio principale; 4: sviluppo parti vegetative che andranno raccolte/sviluppo organi vegetativi di propagazione/botticella (fusto principale)] fanno riferimento alle fasi vegetative, i successivi [6: fioritura (fusto principale); 7: Emergenza infiorescenze (fusto principale); 8: Sviluppo frutti; 9: Maturazione frutti e semi; 9: Senescenza, inizio dormienza] a quelle riproduttive. I criteri per l'individuazione degli stadi secondari più significativi e i relativi codici numerici sono riportati nella tabella sotto riportata.

I vantaggi dell'applicazione di una scala numerica sono:

- Sintetica: con uno o pochi numeri si esprimono stati che altrimenti richiederebbero descrizione letterale più complessa
- Oggettiva: trasforma un giudizio qualitativo in dato numerico
- Facile archiviazione: i numeri possono essere facilmente ed efficacemente organizzati in tabelle, fogli di lavoro
- Facile da condividere: la codifica numerica rende più facilmente condivisibile il database, superando anche barriere linguistiche
- Elaborabile statisticamente per confronti e applicazioni previsionali.

Fasi e codici numerici della scala fenologica BBCH

FASE	COD
Semina; dormienza invernale o periodo di riposo (P V)	00
Inizio imbibizione semi; inizio rigonfiamento gemme (P V)	01
Imbibizione semi completata; gemme rigonfie (P V)	02
Emergenza radichette; formazione radici da organi perennanti (P V)	03
Allungamento radice formazione peli radicali o radici laterali	06
Fuoriuscita coleoptile dalla cariosside (G); ipocotile o germoglio rompono parete del seme (D M); apertura gemme (P V)	07
Accrescimento cotiledoni (D) o germoglio (P V)	08
Emergenza: coleoptile (G, D, M) o germoglio/foglia (D,V) emerge attraverso la superficie del terreno; gemma con punta verde (P)	09
Prima foglia vera che emerge dal coleoptile (G); cotiledoni completamente dischiusi (D); prime foglie separate (P)	10
Prima foglia vera, paio di foglie o verticillo dischiuso; prime foglie dischiusi (P)	11
Due foglie vere, 2 paia di foglie o due verticilli dischiusi	12
Gli stadi continuano fino a...	1...
9 o più foglie vere, coppie di foglie o verticilli	19
Primo germoglio laterale visibile; primo culmo di accestimento visibile (G)	21
Due germogli laterali visibili, due culmi di accestimento visibili (G)	22
Tre germogli laterali visibili, tre culmi di accestimento visibili (G)	23
Stadi continuano a...	2...
9 o più germogli o culmi di accestimento (G)	29
Fusto al 10% della lunghezza finale o rosetta al 10% del diametro finale; un nodo distinguibile	31
Fusto al 20% della lunghezza finale o rosetta al 20% del diametro finale; un nodo distinguibile	32
Fusto al 30% della lunghezza finale o rosetta al 10% del diametro finale; un nodo distinguibile	33
Stadi continuano a...	3...
Raggiungimento della lunghezza massima del fusto, del diametro massimo della rosetta o 9 o più nodi distinguibili	39
Inizio sviluppo delle parti destinate a raccolta o degli organi di propagazione vegetativa	40

Estensione guaina della foglia bandiera	41
Parti vegetative destinate a raccolta o a propagazione al 30% delle dimensioni finali; guaina della foglia a bandiera appena visibilmente gonfia (media botticella)	43
Parti vegetative destinate a raccolta o a propagazione al 50% delle dimensioni finali; guaina della foglia a bandiera gonfia (botticella piena)	45
Parti vegetative destinate a raccolta o a propagazione al 70% delle dimensioni finali; guaina della foglia a bandiera aperta	47
Parti vegetative destinate a raccolta o a propagazione alle dimensioni finali; prime reste visibili	49
Infiorescenza o gemme fiorali visibili; inizio spigatura (G)	51
Primi fiori visibili; metà spigatura (G)	55
Primi petali dei fiori visibili (nelle specie con petali); emergenza completa infiorescenze (G)	59
Primi fiori aperti (sporadici)	60
Inizio fioritura (10% dei fiori aperti)	61
20% fiori aperti	62
50% fiori aperti (piena fioritura)	65
Termine fioritura (maggior parte dei petali disseccati o caduti)	67
Fine fioritura (allegazione visibile)	69
Frutti al 10% delle dimensioni finali o 10% dei frutti alle dimensioni finali; cariossidi in maturazione acquosa (G)	71
Frutti al 30% delle dimensioni finali o 30% dei frutti alle dimensioni finali; inizio maturazione latte (G)	73
Frutti al 50% delle dimensioni finali o 50% dei frutti alle dimensioni finali; metà maturazione latte (G)	75
Frutti al 70% delle dimensioni finali o 70% dei frutti alle dimensioni finali; fine maturazione latte (G)	77
Quasi tutti i frutti alle dimensioni finali	79
Inizio maturazione o colorazione dei frutti	81
Maturazione avanzata o avanzata colorazione frutti; maturazione cerosa (G)	85
Frutti iniziano ad ammorbidire	87
Piena maturazione (colore finale; inizio abscissione)	89
Sviluppo fusto completato, chioma ancora verde (P)	91
Inizio caduta foglie	93
50% foglie cadute	95
Fine caduta foglie; parte epigea morta o dormiente. Pianta in riposo (P)	97
Prodotto raccolto	99

## RILIEVI DI FENOLOGIA VEGETALE

Fenologia vegetale: ciclo biologico di una pianta (da seme a seme).

Agro-fenologia:

- ciclo colturale (dalla semina alla raccolta), non sempre corrispondente al ciclo biologico. Esso varia con
- tipo di prodotto che viene utilizzato
- tecniche colturali
- destinazione del prodotto
- esigenze dettate dal mercato

Il sito in cui si realizzano le osservazioni fenologiche viene definito stazione fenologica. In certi casi si procede all'allestimento di veri e propri giardini fenologici, in cui si procede alla coltivazione e all'analisi di un elevato

numero di specie, in altri i controlli vengono effettuati in campo aperto. A loro volta, i siti possono essere inseriti in una rete fenologica, nella quale le stesse specie vengono monitorate secondo tecniche di osservazione codificate e standardizzate e si procede alla condivisione delle informazioni acquisite. Le reti fenologiche possono riguardare piante coltivate, spontanee o entrambi i gruppi.

La frequenza dei rilevamenti varia con gli obiettivi dello studio, i criteri adottati, il contesto in cui si opera. Di norma, per motivi pratici, si eseguono rilievi a cadenza fissa, settimanale o decadica, ma, di volta in volta sarebbe opportuno definire la frequenza ottimale relativa ad un programma specifico di rilievi. Questa andrebbe stabilita sulla base della velocità di avvicendamento delle fenofasi delle piante in esame, in modo tale da cogliere il passaggio da una fase alla successiva.

Fra i fenoidi esiste variabilità di comportamento fenologico; essa però non è l'unico fattore di disturbo nelle analisi fenologiche, in quanto si riscontra anche variabilità fra popolazioni, a scala superiore, e fra organi dello stesso individuo, a livello gerarchico inferiore.

La variabilità entro l'individuo può creare dubbi e diversità di interpretazione nei rilevatori, problemi che si presentano con maggior frequenza nello studio delle piante arboree, nelle quali si riscontrano anche difficoltà legate alla taglia degli alberi. Le variazioni fenologiche all'interno dell'albero dipendono dalla posizione degli organi, per cui le osservazioni potrebbero essere eseguite su singoli organi o parti di pianta, piuttosto che sulla pianta intera.

La variabilità fra individui richiede di individuare il numero minimo di individui da monitorare in una certa stazione affinché l'osservazione sia rappresentativa. È opportuno non scendere sotto i cinque fenoidi per le piante legnose e i venti esemplari per quelle erbacee. Poiché però la grande maggioranza delle piante agrarie presenta un buon grado di omogeneità genetica all'interno della cultivar, è possibile, in molti casi, ridurre le dimensioni del campione.

Se gli individui da osservare sono molto numerosi, seminati fitti, al punto che è molto difficile osservarli separatamente, si possono adottare criteri di rilevamento particolari, quali ad esempio, valutazioni percentuali riferite alla copertura o conteggi oltre ad un limite numerico minimo e fino ad un limite numerico massimo.

## CICLO BIOLOGICO E FASI DI SVILUPPO

Ciclo biologico:

- Annuali (es. frumento, mais)
- Biennali (es. barbabietola)
- Plurienni (es. arboree)

Fasi di sviluppo:

- Vegetative
- Riproduttive
- Sotto fasi

Dinamica di sviluppo:

- Scalare (determinato)
- A fasi sovrapposte (indeterminato)

## VARIABILITA' FENOLOGICA

A diverse scale:

- Popolazione
- Individui
- Organi o parti della stessa pianta

## N° MINIMO DI INDIVIDUI DA OSSERVARE

Dipende dalla variabilità fenologica della specie e dalla precisione dei dati che si vuole conseguire.

In generale almeno:

- 5 fenoidi per le piante legnose
- 20 fenoidi per quelle erbacee spontanee
- anche meno di 20 fenoidi per piante erbacee coltivate (più omogenee geneticamente)

## FENOLOGIA E FATTORI AMBIENTALI

I fattori ambientali esercitano una notevole influenza sui processi di sviluppo: temperatura, disponibilità idrica e fotoperiodo sono quelli di maggiore interesse.

La temperatura regola la velocità di trasferimento dell'energia e quella delle reazioni biochimiche, che può raddoppiare o triplicare per un incremento termico di 10°C.

L'acqua, oltre a essere un costituente fondamentale dei tessuti vegetali, è elemento critico per l'attività metabolica, reagente nelle reazioni biologiche, substrato per la fotosintesi. Quando lo stato idrico della pianta è favorevole, si sviluppa il turgore cellulare e la pressione che ne risulta ha conseguenze positive sull'assorbimento nutrizionale e sui processi di crescita. Al tempo stesso, anche i processi biochimici sono sensibili all'idratazione dei tessuti e quando il contenuto idrico si riduce sotto il 20-25% dell'idratazione massima iniziano già a manifestarsi i primi disturbi metabolici per molti enzimi.

Si definisce periodo critico l'intervallo del ciclo biologico durante il quale la pianta presenta la massima sensibilità verso un determinato fattore ambientale, al punto che le oscillazioni di quest'ultimo si ripercuotono in misura ben evidente sulla crescita e sulla produzione, determinando la massima perdita di resa in rapporto a quel fattore. Così, ad esempio, il periodo critico per l'acqua è la fase del ciclo colturale in cui una carenza di acqua comporta danni produttivi assai superiori a quelli che si sarebbero avuti se lo stesso fenomeno si fosse manifestato in un'altra fase. I principali periodi critici si verificano nei confronti della temperatura e dell'acqua. La massima sensibilità alla temperatura si manifesta in corrispondenza di funzioni delicate, come germogliamento, fioritura e allegagione, quella all'acqua si verifica in fasi diverse a seconda delle piante. Ad esempio, per piante erbacee a fioritura contemporanea il periodo critico corrisponde all'incirca con l'emissione degli organi riproduttivi, per le arboree esso corrisponde alla fase di massimo accrescimento dei frutti, per colture destinate a fornire un prodotto diverso da frutti o semi esso può manifestarsi nel momento di crescita più intensa.

Il fotoperiodo, ovvero la durata astronomica del dì, influenza l'induzione alla fioritura di molte specie vegetali. A tal proposito, vengono definite brevidiurne le specie che sono indotte a fiorire quando il fotoperiodo non supera le 12 ore e longidiurne quelle che richiedono almeno 14 ore giornaliere di luce. Sono invece

neurodiurne o indifferenti le piante che svolgono le funzioni riproduttive indipendentemente dalla durata del dì.

Da questi brevi richiami emerge chiaramente quanto sia importante tenere in attenta considerazione le condizioni ambientali quando ci si accosta allo studio fenologico delle piante e quanto sia importante individuare relazioni quantitative fra sviluppo e parametri ambientali.

## PREVISIONI FENOLOGICHE

E' percezione comune il fatto che nelle annate fredde le piante ritardano la fioritura, così come in quelle calde la anticipano. Sul concetto intuitivo che ne deriva, ovvero che la velocità di sviluppo aumenta, entro certi limiti, con la temperatura, si sono basati i primi modelli previsionali delle fasi fenologiche. Sin dall'inizio del secolo scorso, infatti, era stata formulata l'ipotesi secondo cui una pianta sarebbe in grado di superare una certa fase del ciclo di sviluppo solo dopo aver accumulato una precisa quantità di calore che viene espressa, in prima approssimazione, dalla somma termica.

Sotto l'aspetto applicativo, la somma termica rappresenta il contatore che meglio si adatta a riassumere l'effetto dei fattori ambientali sulla velocità di sviluppo delle piante. La fortuna di questo semplice modello risiede nella sua semplicità, nella facilità di reperimento dei dati di ingresso e nelle possibilità di calcolare regressioni con i valori della scala BBCH. Per contro si tratta di un approccio empirico e semplicistico di una realtà più complessa. Secondo il concetto di somma termica, la velocità di sviluppo è correlata alla temperatura secondo una funzione lineare.

L'utilizzo della somma termica ha notevoli ricadute nella fenologia vegetale. Infatti, se si dispone di serie di osservazioni fenologiche eseguite con criteri ben definiti in località e periodi diversi e, per le stesse realtà, sono acquisiti anche i valori di temperatura, è possibile ricavare la somma termica necessaria ad una data specie per svolgere le diverse fenofasi, e, in ultima analisi, per portare a compimento l'intero ciclo biologico. Tutto questo serve per mettere a punto modelli di sviluppo delle colture, che, a loro volta, sono un passaggio obbligato per realizzare ed utilizzare modelli più complessi per la previsione delle rese, la gestione delle operazioni colturali, il supporto alle decisioni.

## APPLICAZIONI DELLA FENOLOGIA

Sono molteplici e riguardano:

- la possibilità di effettuare operazioni di coltivazione ed interventi di difesa mirati, in base alla fenofase della coltura in questione. Riconoscere e prevedere se la pianta si trova in una fase critica per acqua o nutrienti è un'operazione fondamentale per apportare tempestivamente il fattore limitante. Ancora, l'intervento di irrigazione antibrina su un frutteto andrà attivato a temperature diverse a seconda dello stadio di sviluppo delle gemme; i trattamenti antiparassitari devono essere eseguiti tenendo in considerazione anche il fatto che la coltura, in alcune fasi del ciclo, può essere sensibile al trattamento, e quindi subire danno e gli esempi potrebbero continuare numerosissimi.

L'esecuzione d'interventi mirati, che rappresenta comunque un elemento importante per ottimizzare i processi di produzione agraria, è un passo obbligato per gli agricoltori che aderiscono ai disciplinari di produzione, al fine di conseguire la certificazione dei prodotti. Alcuni esempi di utilizzo dell'informazione fenologica sono: la definizione di intervalli per le varie colture in cui non è consentito applicare l'azoto (per la barbabietola non si deve apportare l'elemento dopo l'ottava foglia); l'utilizzo di certe fenofasi come segnali di allarme per la suscettibilità a insetti e malattie delle piante, o per stabilire che un certo rischio è stato superato (in genere, la fioritura è considerata la fase più a rischio per le infezioni fungine); la variazione della

soglia d'intervento nel corso delle fenofasi (nel melo, prima della fase di frutto-noce basta rilevare la presenza dell'afide grigio per giustificare l'intervento antiparassitario, data la elevata dannosità del parassita in questo stadio di sviluppo del frutto; successivamente la soglia si innalza e il trattamento verrà eseguito solo con una presenza massiccia dell'afide); l'individuazione di finestre di applicazione di trattamenti (figura );

- la valutazione dei danni dovuti ad avversità naturali quali grandine, gelo, siccità, vento, la cui entità dipende, a parità d'intensità dell'evento negativo, dalla fenofase della coltura. Tutto questo assume particolare rilevanza nelle analisi ispettive per la stima dei danni da avversità, per le quali è importante risalire alla fenofase in cui la pianta si trovava al momento del sinistro, per distinguere il danno da avversità da altri di diversa natura;

- la diagnosi ambientale finalizzata alla gestione del territorio o della pratica agricola mediante osservazioni sulle piante, che funzionano da indicatori ambientali. E' uno dei settori più stimolanti delle applicazioni fenologiche, che si basa sulla capacità degli organismi vegetali di fornire una risposta sintetica alle variazioni dei molteplici fattori ambientali e alle loro interazioni. Conoscendo l'epoca di comparsa delle fenofasi di una certa pianta nel territorio è possibile tracciare una carta delle isofane (linea che congiunge i punti in cui la fase è stata raggiunta lo stesso giorno) e, tramite questa, caratterizzare molto bene le complesse condizioni ambientali e climatiche della zona. Le mappe fenologiche così prodotte possono servire a enti e soggetti diversi per effettuare interventi immediati e programmare azioni future a breve e medio termine. Utilizzare le piante come sensori biologici comporta vantaggi concreti perché si tratta di "strumentazione" a basso costo, che non richiede manutenzione né spese di installazione, perché si trova già diffusa naturalmente nel territorio. Un esempio è riportato nelle figure, relativo all'analisi e previsione della fioritura del cipresso in Italia. Il polline del cipresso è allergenico, per cui prevedere la sua diffusione può aiutare a mettere in atto misure di prevenzione e controllo della patologia;

- il monitoraggio territoriale tramite telerilevamento. Il monitoraggio a distanza fornisce informazioni sinottiche dello stato del territorio in un dato momento e rende possibile la diffusione di informazioni in tempo utile e l'eventuale realizzazione di interventi operativi. Il rapporto fra fenologia e telerilevamento per il monitoraggio di aree a copertura vegetale è assai stretto, in quanto i dati fenologici sono essenziali per interpretare correttamente le immagini telerilevate. Essi inoltre vanno attentamente considerati nella programmazione delle campagne di telerilevamento e nella scelta delle immagini da esaminare. Quest'ultimo aspetto è di rilevanza non secondaria, dati i costi di acquisto e interpretazione delle stesse;

- le relazioni fra mappe fenologiche e meteorologiche al fine di individuare connessioni fra fenofasi di una specie e valori delle variabili climatiche. La combinazione di questi due tipi di analisi territoriale rappresenta un passo fondamentale per la valutazione del rischio ambientale e l'applicazione di modelli previsionali di resa. Si tratta di strumenti evoluti, dei quali la moderna agricoltura necessita per far fronte alle esigenze di conoscere, in tempo quasi reale, l'ammontare delle produzioni agricole, la relativa distribuzione sul territorio, l'instaurarsi di fattori di limitazione quali stress ambientali e biologici, la valutazione dell'efficienza d'uso delle risorse. Queste informazioni vanno ad alimentare statistiche di dettaglio che possono essere utilizzate quale supporto attendibile per le scelte decisionali, sia in campo agricolo che ambientale;

- l'impiego delle relazioni fra fattori meteorologici e fenofasi, per guidare la programmazione di operazioni colturali e la raccolta. A titolo di esempio, si riporta una possibilità di applicare l'informazione fenologica per migliorare l'efficacia dei trattamenti erbicidi al frumento, conseguibile grazie al controllo e alla previsione degli stadi fenologici della coltura. In questo senso, prevedere, sulla base di somme termiche, la comparsa di una certa fase può servire per programmare l'intervento e scegliere il prodotto più adatto. In particolare, per il diserbo con avenicidi la tempestività del trattamento è decisiva per garantire la selettività nei confronti della coltura. Così, dato che per questi prodotti il periodo ottimale va, grosso modo, dalla terza foglia all'inizio della levata, conoscendo la quantità di gradi utili corrispondenti a queste fenofasi e la quantità di gradi utili accumulati fino ad un dato momento, sarà possibile stimare se il frumento sta attraversando una fase di

resistenza e, eventualmente, che intervallo di tempo si abbia ancora a disposizione per distribuire l'erbicida. E' opportuno tuttavia non attribuire alla previsione fenologica un valore assoluto, utilizzarla quale campanello d'allarme per eseguire in modo più mirato i sopralluoghi in campagna e per organizzare le operazioni. La previsione fenologica è inoltre alla base della possibilità di effettuare interventi colturali sito-specifici;

- il contributo allo studio dei cambiamenti climatici. Nelle ultime decadi sono state osservate variazioni nella fenologia di piante, uccelli, insetti e anfibi in conseguenza dei cambiamenti climatici, con mutazioni delle stagioni di crescita, delle zone di coltivazione, della tempistica di comparsa delle malattie e così via. Non da ultimo, anche la salute umana è influenzata dal cambiamento climatico, per effetto della modifica della stagione di emissione dei pollini e per la dinamica di distribuzione degli agenti patogeni. Lo studio della fenologia delle piante, considerate come indicatori ambientali, può quindi fornire ricadute utili anche a settori extra agricoli.

### PREVISIONI FENOLOGICHE

Presupposto teorico: una pianta sarebbe in grado di superare una certa fase del ciclo di sviluppo solo dopo aver accumulato una precisa quantità di calore (Réaumur).

Y Somma dei gradi utili di temperatura (GDD = Growing Degree Days) percepiti giornalmente dalla pianta  
 $GDD = T_{med} - T_b$

- $T_{med}$  = temperatura media giornaliera
- $T_b$  = zero di vegetazione o temperatura di base

$$\sum_1^n T = \sum_1^n GDD$$

### LIMITI DEI GDD

- Non si tiene conto della risposta fotosintetica ai valori di temperatura troppo elevati
- Si trascura che le fasi iniziali di sviluppo (specialmente colture erbacee) dipendono di più dalla temperatura del terreno che da quella dell'aria
- Non si considerano le escursioni termiche
- Non si considera che anche disponibilità di N e acqua modificano la lunghezza del ciclo

Nonostante i limiti il sistema dei GDD è attendibile ed è impiegato per classificare gli ibridi di alcune colture (es. mais).

## SOMMA TERMICA

Contatore che meglio si adatta a riassumere l'effetto dei fattori ambientali sulla velocità di sviluppo delle piante.

- Vantaggi: semplicità, facilità di reperimento dei dati di ingresso e nelle notevoli potenzialità applicative
- Svantaggi: approccio empirico, eccessiva semplificazione della realtà

Evoluzioni:

- formule più o meno complesse per il calcolo dei GDD con correzioni sulla base di altre variabili meteorologiche
- utilizzazione di valori orari di temperatura
- formule che forniscono interpretazioni non lineari e modelli di maggior dettaglio.