



Dipartimento di Agraria

- Corso di Laurea *Scienze e Tecnologie Alimentari* (L26) -
- Corso integrato *Agronomia e colture erbacee e arboree industriali* -
- Modulo *Agronomia e colture erbacee industriali* -

Carmelo Santonoceto

IL CLIMA

CLIMA

Clima: è definito come l'insieme dei fenomeni meteorici di una regione, ossia il loro decorso caratteristico nell'avvicendamento stagionale, in una visuale di lungo periodo (30 anni, come minimo).

Gli *elementi* principali che caratterizzano il clima sono: radiazione solare, temperatura, vento, precipitazioni, umidità dell'aria, evaporazione.

Il clima è influenzato dai *fattori climatici*: latitudine, altitudine, esposizione, distanza dal mare o da grandi bacini acquei, correnti marine, venti dominanti.

RADIAZIONE SOLARE

L'energia radiante che il sole emette e che la terra riceve è energia sotto forma di onde elettromagnetiche la cui lunghezza d'onda (indicata con la lettera λ) è compresa tra 230 e 4000 nm, con un massimo di emissione intorno a 500 nm. L'insieme di queste radiazioni prende il nome di *spettro solare*. A sua volta, lo spettro solare viene suddiviso in *bande*.



La banda di lunghezze d'onda tra 230 e 400 nm comprende la radiazione invisibile *ultravioletta (UV)*; il suo apporto energetico è molto scarso sulla superficie terrestre (meno del 2% della radiazione totale) essendo in gran parte intercettata nell'alta atmosfera; le funzioni della radiazione *UV* sulla fisiologia delle piante sono poco note e non molto importanti. Quasi la metà dell'energia che raggiunge il terreno è sotto

forma di radiazione di lunghezza d'onda compresa tra 400 e 760 nm che corrisponde alla *banda del visibile o luce*. È questa la banda di lunghezze d'onda che è assorbita dal pigmento clorofilliano e impiegata nella reazione fotosintetica. Per quest'ultimo motivo viene indicata come *PAR (photosynthetically active radiation o radiazione fotosinteticamente attiva)*

La rimanente metà dell'energia solare che giunge al suolo è sotto forma di radiazione con lunghezza d'onda compresa tra 760 e 4000 nm, invisibile, nota col nome di *banda dell'infrarosso corto (IR)*. I raggi infrarossi hanno azione termica: questa energia calorifica serve a riscaldare l'aria e il terreno e in gran parte a far evaporare l'acqua. È alla radiazione *IR* che è legato lo stato termico, ossia la temperatura della superficie terrestre, nonché i grandi movimenti d'aria e di vapor d'acqua.

Quantità di energia radiante

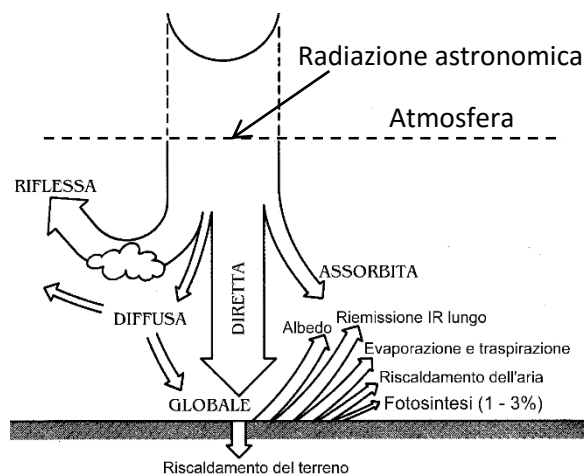
La quantità di energia solare ricevuta da una certa regione terrestre varia grandemente con l'intensità e con la durata della radiazione incidente. La forma sferica della terra e l'inclinazione del suo asse di rotazione fanno sì che la quantità di energia solare ricevuta non sia uguale da regione a regione e da stagione a stagione. L'intensità della radiazione è massima quando colpisce la superficie perpendicolarmente, mentre si riduce quando colpisce la superficie obliquamente.

Conseguenza di ciò è la minor intensità di radiazione ricevuta dalle regioni polari, colpite obliquamente dai raggi solari, rispetto alle regioni equatoriali investite da essi perpendicolarmente.

La quantità di energia radiante che perviene sulla superficie terrestre non è tutta quella che giunge all'esterno dell'atmosfera, ma alquanto minore: l'atmosfera infatti assorbe o riflette una parte della radiazione solare; mentre all'esterno dell'atmosfera giungono, in media, $84 \text{ KJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ (radiazione astronomica), a livello del mare nelle migliori condizioni atmosferiche non arrivano che $58 \text{ KJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$, ma in media molto meno.

L'atmosfera, infatti, filtra raggi solari provocando fenomeni di riflessione diffusa e assorbimento dovuti alle nubi, ai gas e al pulviscolo atmosferico.

La *radiazione diffusa o indiretta* rappresenta quella quota di radiazione



Bilancio dell'energia solare sulla terra

che, cambiando angolo di incidenza ad opera dei gas atmosferici, arriva comunque al suolo perché verso esso indirizzata. Mentre una parte di essa (retrodiffusa) si perde verso lo spazio.

La *radiazione incidente o diretta* attraversa invece l'atmosfera senza alterazioni, arrivando direttamente sulla superficie terrestre.

La *radiazione globale* è data dalla somma della radiazione incidente e di quella quota di radiazione diffusa che arriva al suolo.

L'*albedo* è la quota di radiazione che, giunta sulla superficie terrestre, viene di nuovo riflessa verso lo spazio dal suolo, dall'acqua, dalla vegetazione, dalla neve, ecc.

La sorte dell'energia radiante del sole che perviene alla superficie terrestre è la seguente: una parte, come detto, (*albedo*) viene riflessa nuovamente nell'atmosfera; nelle piante è assorbita dai pigmenti clorofilliani e utilizzata nella fotosintesi; l'energia termica sotto forma di raggi infrarossi è assorbita in parte dall'acqua presente nei tessuti vegetali, che viene traspirata; in parte raggiunge il terreno riscaldandolo e facendone evaporare l'acqua.

La superficie terrestre riscaldata dai raggi solari è a sua volta un corpo che reirradia energia calorifica verso lo spazio sotto forma di raggi infrarossi: infatti dopo il tramonto del sole e durante tutta la notte, quando è cessato ogni apporto esterno di energia, la superficie terrestre dissipa nell'atmosfera una buona parte del calore che aveva immagazzinato durante il giorno (quando gli apporti superavano le perdite). È da segnalare che i raggi infrarossi riemessi dalla superficie terrestre non sono uguali ai raggi *IR* della radiazione solare. La radiazione *IR* terrestre ha una lunghezza d'onda il cui massimo di emissione è di 10.000 nm con bande comprese tra 5.000 e 60.000 nm (per questo motivo viene definito *infrarosso lungo*).

Eccesso e difetto di radiazioni

La più elevata efficienza fotosintetica nelle specie originarie di ambienti temperati è, in generale, ottenuta con luce di bassa intensità (10.000-20.000 lux, pari a 6,5-12,5 KJ m⁻² min⁻¹). Queste specie vengono definite **C3** poiché il primo composto organico della fotosintesi è la gliceraldeide 3-fosfato (G3P), a tre atomi di carbonio, derivante dal ciclo di Calvin. Nelle ore più luminose delle giornate estive di sole l'intensità luminosa può anche raggiungere 110.000 lux (pari a 59 KJ m⁻² min⁻¹).

Con questo eccesso di luce, inevitabilmente accompagnato da un eccesso di calore, si verificano alcuni fenomeni negativi:

- a una certa intensità di radiazione si verifica un arresto dell'aumento della fotosintesi (saturazione luminosa) in quanto le reazioni biochimiche secondarie non riescono a procedere di pari passo col processo fotosintetico primario che viene a essere rallentato;
- un flusso di radiazioni intenso dà luogo a fenomeni di fotoinibizione a seguito della produzione di particolari sostanze, i chinoni, che, assorbendo luce ultravioletta, danneggerebbero i tessuti fotosintetici;
- l'eccesso di temperatura che accompagna l'eccesso di luce favorisce i fenomeni catabolici di respirazione e soprattutto di fotorespirazione. La fotorespirazione aumenta moltissimo con la temperatura: passando questa da 20-25 °C a 30-35 °C, la normale respirazione raddoppia, mentre la fotorespirazione aumenta di ben otto volte.

Quasi mai la radiazione, per lo meno la luce, è un fattore limitante per difetto. Difetti d'illuminazione possono verificarsi, ad esempio nel caso di piantagioni troppo fitte, con conseguenze talora vantaggiose talora sfavorevoli.

Le conseguenze di un eccesso di fittezza possono essere:

- ingiallimento e caduta prematura delle foglie inferiori;
- eziolatura: imbiancamento dei tessuti utile per certi ortaggi (sedani, cardi, finocchi) si provoca coprendo gli organi con il terreno (rincalzatura) o con la copertura con film plastici scuri;

- mancata ramificazione: è utile nel caso di colture da taglio (fibra ottenuta dallo stelo), come il lino, la canapa, la juta, ecc.;
- steli esili, allungati, poco lignificati: utili per le piante foraggere che divengono più tenere e più appetite dal bestiame; deleteri per i cereali in cui provocano allettamento;
- fertilità scarsa o nulla: nelle colture da granella.

Interventi per migliorare l'intercettazione della luce

L'efficienza fotosintetica è molto bassa. Solo una minima parte dell'energia luminosa ricevuta dalla pianta viene trasformata in energia chimica. Al fine di incrementare questa efficienza, che secondo un calcolo teorico di Loomis si potrebbe raggiungere un valore del 12-13%, a parità di tutti gli altri fattori della produzione (acqua, CO₂, elementi nutritivi, ecc.) occorre migliorare l'intercettazione della luce attraverso alcuni interventi:

- *Utilizzazione di specie e varietà ad elevata efficienza fotosintetica.* Sono delle specie caratterizzate da un limite di saturazione luminosa molto alto (50.000-60.000 lux): ciò significa che in esse i fenomeni di fotorespirazione non esistono o sono molto limitati. Trattasi di specie di origine tropicale o sub-tropicale (mais, sorgo, canna da zucchero, ecc.) nelle quali il processo fotosintetico avviene secondo uno schema diverso da quello di Calvin ma si svolge secondo lo schema di Hatch e Slack o degli acidi dicarbossilici a 4 atomi di carbonio: per questo motivo vengono definite specie **C4**. Le piante di queste specie danno luogo ad assimilazione netta molto elevata anche nei giorni di fortissima radiazione globale ma solo con disponibilità idrica. È evidente l'interesse delle specie C4 quali colture a ciclo primaverile-estivo.

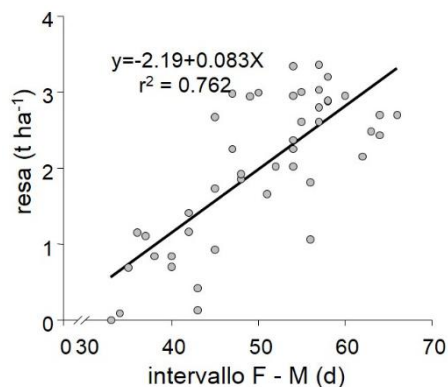
- *Aumentando la quantità di clorofilla per unità di superficie fogliare.* Si può ottenere questo, oltre che col miglioramento genetico, assicurando una nutrizione minerale equilibrata specialmente per quanto riguarda l'azoto.

- *Favorendo la migrazione dei prodotti della fotosintesi dalle parti verdi verso gli organi di accumulo e di riserva (radici, tuberi, semi, frutti, ecc.).* Ciò allo scopo di evitare che i prodotti della reazione, restando dove questa si svolge, ne rallentino la velocità. Questo risultato può essere ottenuto facendo in modo che non difettino i "depositi" dei prodotti della fotosintesi, rappresentati da semi, frutti, tuberi, ecc.

- *Ottenere un apparato fotosintetico ben sviluppato nel momento in cui le condizioni sono le più favorevoli per la fotosintesi, attraverso:*

- semine, sia autunnali che primaverili, eseguite nel momento più appropriato;
- utilizzando semente certificata, caratterizzata da semi integri e vigorosi in grado di garantire un rapido accrescimento delle plantule;
- seminando in modo uniforme con seminatrici appropriate in terreni ben preparati, in modo da ridurre al massimo le fallanze;
- combattendo le erbe infestanti;

- *prolungando al massimo il periodo di produzione dell'organo utilizzato.* Ad esempio, nel caso del mais il periodo utile ai fini della produzione di granella è quello che va dalla fecondazione, al riempimento delle cariossidi, fino alla maturazione fisiologica; si è calcolato che ogni giorno in più di questo periodo può aumentare di 150-250 kg ha⁻¹ la resa di granella;
- orientando i filari in direzione nord sud, in modo da ridurre l'ombreggiamento tra le piante;
- *adottando varietà con appropriata architettura fogliare.* Le foglie superiori delle piante, normalmente ricevono il massimo d'illuminazione, risultando iperilluminate, mentre quelle inferiori



Relazione tra durata dell'intervallo Fioritura-Maturazione e resa in granella in varietà diverse di colza

risultano ombreggiate dalle superiori. È di grandissima importanza, ai fini dell'attività fotosintetica, che la disposizione dell'apparato assimilatore sia tale da garantire una penetrazione uniforme della luce all'interno dello stesso. Per ottenere questo risultato, oggi si dispone, grazie al lavoro di miglioramento genetico, di varietà e ibridi dotati di foglie a portamento eretto. Grazie a questa struttura, la luce si distribuisce su una superficie assimilatoria molto più estesa in profondità entro la vegetazione. Genotipi di mais, riso, orzo e frumento caratterizzati da foglie tendenzialmente erette si sono dimostrati più produttivi dei corrispondenti tipi normali.



Piante di mais con foglie a portamento normale ed eretto.

FOTOPERIODO E FOTOPERIODISMO

Il **fotoperiodo** è la durata del periodo di illuminazione giornaliera.

Salvo che agli equinozi e all'equatore (momenti e luoghi in cui il giorno e la notte sono di 12 ore ciascuno) la lunghezza del giorno muta secondo un regolare ciclo stagionale, con variazioni della durata relativa del giorno e della notte dipendenti dalla latitudine:

a 15° lat.	13 - 11 h
a 30° lat.	14 - 10 h
a 45° lat.	15 - 9 h
a 60° lat.	18 - 6 h

Il fotoperiodo influisce sulla fisiologia delle piante attraverso un meccanismo definito **fotoperiodismo** che determina soprattutto l'induzione a fiore delle piante.

Molte piante, infatti, non fioriscono se non sono esposte a una precisa serie di cicli giornalieri di durata di luce e di buio: il fotoperiodismo, pertanto, è la risposta delle piante alla lunghezza del giorno. In altri termini, alcune specie fioriscono quando la lunghezza del giorno supera una certa soglia, definita soglia critica: queste specie vengono definite *longidiurne*. Altre specie, di contro, fioriscono quando la durata della luce scende oltre una certa soglia: queste ultime vengono definite *specie brevidiurne*. Altre ancora fioriscono indipendentemente dalle ore di luce e vengono definite *specie neutrodiurne*.

La soglia critica varia con le specie, ma generalmente è compresa tra 12 e 14 ore, sia per le piante a giorno breve sia per quelle a giorno lungo.

Il fotoperiodismo è un meccanismo di sicurezza delle specie generatosi a seguito di selezione naturale nel corso della loro evoluzione. Grazie ad esso, infatti, le piante avviano la fase più delicata del loro ciclo, cioè la fioritura, nella stagione più propizia. Questa, ad esempio, alle latitudini medie, coincide con la primavera. Le specie originarie di questi ambienti, come frumento, fava, barbabietola, cipolla, spinacio, carota, trifoglio pratense, astro della Cina, ecc., sono longidiurne.

Al gruppo delle brevidiurne appartengono, generalmente, le specie di origine tropicale e subtropicale: soia, tabacco, mais, sorgo, patata, canapa, cotone, peperone, batata, dolico, ananas, crisantemo, ecc.

Spesso le piante neutrodiurne sono il risultato dell'adattamento di una specie fotoperiodica ad un nuovo ambiente. Nell'ambito di molte specie si sono selezionati, spontaneamente o per opera del miglioramento genetico, genotipi la cui risposta al fotoperiodo si è alterata per adattarsi alla latitudine in cui sono stati spostati e alla stagione dell'anno in cui si coltivano.

Un esempio è offerto da mais, soia, tabacco, fagiolo, ecc., specie tipicamente brevidiurne che oggi vengono coltivate fin nel Centro-Europa riuscendo a fruttificare normalmente in piena estate, cioè in condizioni di giorno lungo. Ciò perché, nei secoli, col diffondersi nel mondo della loro coltivazione, si sono selezionati, nell'ambito dell'ampia variabilità genetica esistente, tipi più adatti ai nuovi ambienti, e precisamente genotipi adatti ai lunghi fotoperiodi, ossia fotoindifferenti, mentre i genotipi non adattati, incapaci di fiorire sono stati eliminati.

Molto spesso, l'uomo sfrutta a proprio vantaggio, soprattutto nella floricoltura in serra, il meccanismo del fotoperiodismo, favorendo la fioritura di specie longidiurne, come l'astro della Cina, anche in inverno (giorno corto), semplicemente allungando la durata della luce con delle semplici lampade. Ovvero, permettendo a specie brevidiurne, come il crisantemo, di fiorire anche in estate (giorno lungo), semplicemente accorciando la durata del giorno oscurando le serre.

TEMPERATURA

I vegetali, a differenza di certi animali, non riscaldano i loro tessuti con la respirazione se non in misura trascurabile. Non fa quindi meraviglia che l'effetto della temperatura sugli organismi vegetali sia straordinariamente evidente.

La *temperatura* è la grandezza fisica che esprime la condizione termica di un corpo, cioè la sua capacità di scambiare calore con un altro corpo o con l'ambiente. Si esprime normalmente in *gradi Centigradi* (simbolo °C) secondo la scala proposta da Anders Celsius. Non va confusa con il calore, che è una forma di energia che si trasmette dai corpi più caldi a quelli meno caldi in tre maniere: *irraggiamento*, *convezione* e *conduzione*.

Irraggiamento: è una modalità di trasmissione dell'energia sotto forma di onde elettromagnetiche. Il suolo riceve il calore grazie alla banda dell'infrarosso corto proveniente dal sole e si riscalda; contemporaneamente reirradia parte del calore assorbito sotto forma di raggi infrarossi a onda lunga.

Conduzione. La maggiore attività di vibrazione degli atomi della superficie del terreno che si è riscaldato per irraggiamento è trasmessa, per ripetuta collisione delle molecole, all'aria immediatamente soprastante e agli strati del terreno sottostanti, che si riscaldano.

Convezione. Gli strati atmosferici più bassi, riscaldati per radiazione o conduzione si dilatano diminuendo la loro densità e sono sostituiti, attraverso movimenti circolari di correnti gassose, da masse di gas più fredde e più dense.

Sotto il profilo agronomico è importante conoscere sia le variazioni termiche dell'atmosfera sia quelle del terreno perché da queste ultime dipendono le attività della microflora e le condizioni per la germinazione dei semi e per lo sviluppo e il funzionamento delle radici.

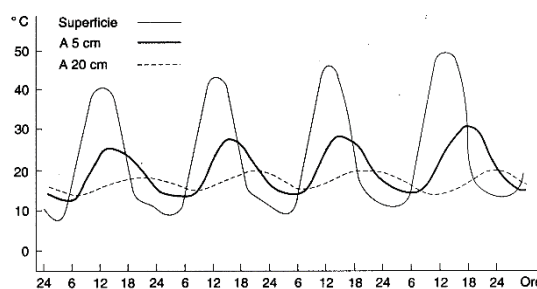
La maggior parte dell'energia calorifica sulla superficie terrestre deriva dalla radiazione solare: la posizione del sole, insieme con la forma della terra e coi suoi movimenti intorno al sole e intorno al proprio asse, danno luogo alle grandi variazioni giornaliere e stagionali di temperatura che sono a tutti familiari.

Poco dopo che il sole si è levato sopra l'orizzonte la superficie terrestre comincia a ricevere più calore di quanto non ne reirradi verso lo spazio, cosicché la temperatura cresce progressivamente. Dopo alcune ore si raggiunge un equilibrio e la terra riemette la stessa quantità di energia ricevuta. Dopo il tramonto la superficie terrestre riscaldata si continua a cedere il suo calore e, poiché non riceve più energia dal sole, la sua temperatura durante la notte declina rapidamente con il minimo che si raggiunge al momento della levata del sole.

Per descrivere le variazioni termiche giornaliere occorre conoscere la *temperatura media*, ottenuta ricavando la media tra temperatura massima e minima, e l'*escursione termica*, ottenuta ricavando la differenza tra temperatura massima e minima.

Nel terreno sottostante allo strato superficiale, le variazioni di temperatura che avvengono alla superficie si verificano tanto più ritardate e più smorzate quanto maggiore è la profondità. Le minime e massime

giornaliere sono raggiunte con un ritardo che, a 15 cm di profondità, è di circa 4 ore. Analogamente le variazioni stagionali sono ritardate di settimane o di mesi rispetto alla superficie del suolo. Questo fa sì che la temperatura del terreno in primavera permane tanto bassa da non consentire la germinazione dei semi anche quando la temperatura dell'aria è già tanto alta che permetterebbe la crescita della pianta; altra conseguenza importante di questo



Variazioni diurne della temperatura a livello del suolo e a differenti profondità

fenomeno è lo sfasamento tra la ripresa vegetativa primaverile di certe colture, controllata dalla temperatura dell'aria, e la ripresa delle attività microbiologiche del terreno (ad esempio, la nitrificazione) che, dipendendo dalla temperatura del suolo, ritardano: ciò fa sì che, se non si intervenisse opportunamente con concimazioni minerali, le colture soffrirebbero di deficienze nutritive.

Fattori che influenzano la temperatura del suolo

- *Colore del terreno.* Nei terreni di colore chiaro, l'albedo, ossia la quota di radiazione riflessa, è così alta che il terreno resta piuttosto fresco; viceversa: un terreno scuro assorbendo più radiazione si riscalda prima e in maggior misura; non sono rare differenze di parecchi gradi tra superfici adiacenti chiare o scure.

- *Copertura vegetale.* Ha un effetto marcato sulla temperatura del terreno: ombreggiandolo abbassa la temperatura massima della sua superficie; nello stesso tempo riduce le riemissioni. Pertanto i terreni coperti da vegetazioni presentano minori oscillazioni termiche rispetto al terreno nudo.

- *Contenuto di umidità.* Più bagnato è il terreno, più lenti sono i cambiamenti della sua temperatura: questo per due motivi: a) perché il calore specifico dell'acqua è circa 5 volte maggiore del calore specifico dei minerali costituenti il terreno stesso; b) perché su un terreno bagnato fino alla superficie la radiazione calorifica solare è utilizzata in gran parte per evaporare acqua anziché per innalzarne il grado termico. Pertanto se si vuole che il terreno si riscaldi rapidamente ogni cura dovrà essere messa nell'assicurare lo smaltimento rapido dell'acqua in eccesso.

- *Inclinazione ed esposizione.* Più vicini alla perpendicolare sono i raggi incidenti su una superficie, più alta è l'intensità di radiazione ricevuta dalla superficie stessa. Nel nostro emisfero i terreni inclinati esposti a sud (mezzogiorno) ricevono una maggiore intensità di radiazione sia rispetto ai terreni pianeggianti sia rispetto a tutte le altre esposizioni. Fatta uguale a 100 la quantità di calore ricevuta da una superficie piana, una superficie inclinata di 30° riceverebbe a media latitudine le seguenti quantità di calore a seconda dell'esposizione: a Sud, 129; a Est, 92; a Ovest, 90; a Nord, 50.

La temperatura e le piante

Dalla temperatura dipendono pressoché tutti i processi chimici, fisici e chimico-fisici che sono alla base delle reazioni biologiche che hanno luogo nelle piante: viscosità dei liquidi, solubilità dei soluti, permeabilità cellulare, velocità di reazione, stabilità dei sistemi enzimatici, ecc. Per questi motivi la temperatura determina direttamente l'intensità con cui si svolgono le varie funzioni vegetali (germinazione, assorbimento radicale, fotosintesi, respirazione, traslocazione degli elaborati, ecc.) e microbiche (umificazione, ammonizzazione, nitrificazione, ecc.). Per tutte queste funzioni, così come per ogni fase del ciclo biologico della pianta esistono delle temperature ottimali.

Le *temperature ottimali* sono quelle in corrispondenza delle quali la funzione vitale si svolge con la massima velocità. Le *temperature cardinali*, *minime* e *massime*, sono quelle al di sotto e al di sopra delle quali ogni funzione vitale della pianta si arresta. Le *temperature critiche*, anch'esse *minime* e *massime*, sono le temperature al di sotto e al di sopra delle quali si verificano danni irreparabili alle funzioni o agli organi delle piante.

Le temperature ottimali, cardinali e critiche non sono indici fissi, ma variano a seconda di differenti fattori.

- *In funzione della specie.* In questo caso le specie vegetali vengono suddivise in due grandi gruppi: macroterme e microterme. Le prime sono molto esigenti in fatto di temperatura. Ad esempio, la temperatura cardinale minima per la germinazione del melone, sorgo, cotone, ecc.

è compreso tra 14 e 16°C, mentre nel caso del frumento, dell'orzo, della fava, ecc. oscilla tra - 2 e 2 °C.

- *secondo le funzioni vitali.* Nella stessa pianta le diverse funzioni fisiologiche hanno quasi sempre limiti termici diversi. Ad esempio la temperatura ottimale per la funzione respiratoria è generalmente più alta che per la funzione clorofilliana, il cui ottimo a sua volta è superiore a quello della traslocazione degli elaborati.

- *In funzione della fase di sviluppo.* In generale le varie fasi che si succedono durante il ciclo vitale della pianta, dalla germinazione, alla fioritura e fino alla maturazione, mostrano esigenze termiche crescenti: Riesler per il frumento ha trovato i seguenti cardinali termici minimi: 0°-5°C per la germinazione, 10°-12°C per la levata, 17°C per la fioritura, 19° per la maturazione.

Termoperiodismo

In molte specie vegetali è stato constatato che la migliore produzione, anche sotto il profilo qualitativo, non si ha con temperature costanti, ma ritmicamente fluttuanti tra il giorno e la notte (*termoperiodismo*). Questo conferma quanto affermato in precedenza che in queste specie esistono temperature ottimali differenti in rapporto alla funzione vitale che stanno svolgendo.

La giustificazione biologica del termoperiodismo risiede nella diversità delle temperature ottimali per la fotosintesi (di giorno) e per la traslocazione dei fotosintati (di notte). Il fenomeno è sfruttato praticamente nella coltura del pomodoro in serra, la cui fruttificazione è abbondante quando la temperatura diurna è di 26,5 °C e quella notturna di circa 17 °C.

Specie	Temperatura ottimale (°C)	
	Notte	Giorno
Pomodoro	15-18	22-26
Cetriolo	18-20	24-28
Melone	18-21	24-30
Fagiolo	16-18	24-28
Peperone	13-16	22-28
Melanzana	15-18	22-26
Lattuga	10-15	15-20
Fragola	10-13	18-22
Garofano	10-12	18-21
Rosa	14-16	20-25
Gerbera	13-15	20-24
Crisantemo	13-16	20-25
Tulipano	12-18	22-25
Iris	8-15	15-20

Vernalizzazione

Per vernalizzazione s'intende il fenomeno fisiologico dalla induzione florigena esercitato sulle piante biennali dalle basse temperature. Certe piante, infatti, rimangono allo stato vegetativo senza salire a fiore finché non hanno ricevuto una stimolazione provocata da basse temperature. Piante di questo tipo sono dette criofile. Esempi di piante criofile sono: frumento, orzo, segale, colza, carota, barbabietola, melo, ecc.

La vernalizzazione se abbinata, come quasi sempre accade, con il fotoperiodismo costituisce un doppio meccanismo di sopravvivenza alla cattiva stagione: se infatti in certi casi il solo meccanismo fotoperiodico poteva indurre in errore le piante facendo loro scambiare l'autunno per primavera, con la vernalizzazione questo "errore" non può più verificarsi, perché le piante saranno indotte a fiorire solo all'inizio della buona stagione, dopo aver superato l'inverno allo stadio vegetativo.

L'induzione florigena da parte delle basse temperature può verificarsi in qualsiasi momento della fase vegetativa della pianta, anche molto presto, ad esempio sui semi all'inizio della germinazione.

Le piante vernalizzate da basse temperature possono tornare all'originaria condizione di stato vegetativo se esposte ad alte temperature. Questo meccanismo è definito devernalizzazione e trova pratica applicazione nell'ingrossamento dei bulbi di cipolla: piccoli bulbi di cipolla, raccolti in estate-autunno vengono conservati fino a primavera in frigoriferi a temperature di circa 0 °C per prevenire la germogliazione, e così facendo risultano vernalizzati. A primavera, quando le condizioni sono favorevoli per il trapianto dei bulbetti affinché s'ingrossino, per evitare che salgano a fiore come farebbero essendo stati vernalizzati, vengono esposti, prima del trapianto, a 27°C per tre settimane. Le piante in tal modo devernalizzate non fioriscono, ma danno luogo all'ingrossamento del bulbo.

Somme termiche

Per alcune piante coltivate il tempo richiesto per raggiungere la maturazione, o qualsiasi altro stadio di sviluppo, è funzione del calore accumulato. Questo ha portato a definire le unità termiche o somme termiche: la loro espressione più semplice è quella che ricorre ai “gradi-giorno” che consiste nel sommare le temperature medie giornaliere a cui sottrarre le temperature cardinali minime, cioè quelle al di sotto delle quali l'accrescimento si arresta: pertanto per calcolare correttamente le somme termiche, per ogni coltura bisogna conoscere la temperatura minima per la crescita

(es.: 10 °C per il mais, 4 °C per il pisello), sottrarre questa alla temperatura media giornaliera e sommare, giorno per giorno, le temperature così corrette.

Questo sistema viene utilizzato per classificare le varietà di pisello da industria, il mais zuccherino e altre specie nelle quali è importante che la raccolta sia fatta al momento giusto, per evitare deprezzamento del prodotto.

Temperature critiche

Temperature critiche massime

Come già detto le temperature critiche, massime e minime, sono quelle al di sopra e al di sotto delle quali si verificano nella pianta danni irreparabili.

Temperature eccessive comportano disidratazione delle piante; squilibrio tra fotosintesi e respirazione, che implica il prevalere dei fenomeni catabolici su quelli anabolici con conseguente demolizione degli elaborati; coagulazione del protoplasma e morte delle cellule; ustioni dei vari organi (colletto, frutti, foglie, ecc.).

Temperature critiche minime

Con temperature inferiori ad una certa soglia critica si hanno danni gravi e irreparabili:

a) a meno di 0 °C si può verificare congelamento dell'acqua contenuta nei tessuti con formazione di aghi di ghiaccio che lacerano le membrane e, nel caso di congelamento rapido si assiste alla coagulazione del protoplasma;

b) precipitazione delle proteine citoplasmatiche a temperature di appena 0° in piante dei climi caldi;

c) paralisi della funzione assorbente delle radici delle piante, le quali perciò possono andare incontro all'appassimento (aridità fisiologica);

d) raffreddamento: certe piante di origine tropicale (riso, cotone, fagiolo, caffè, ecc.) soffrono fino a morire di temperature di 1 o 5°C sopra zero; altre (sorgo, mais, tabacco, pomodoro, cucurbitacee, ecc.) soffrono, ma sopravvivono e riprendono, sia pure a stento, a vegetare.

Gelate

Col termine di gelate indichiamo gli abbassamenti della temperatura sotto lo zero. L'effetto delle gelate può essere diversissimo a seconda di diversi fattori:

- *specie e varietà*. manifestano resistenze diverse agli abbassamenti termici

- *stadio di sviluppo*: fruttiferi in riposo, frumento in accostamento o erba medica in rosetta resistono a molti gradi sotto zero, mentre quando sono in piena attività vegetativa, sono danneggiati anche da temperature di pochissimo sotto zero.

Quanto detto spiega come le gelate più dannose siano non tanto quelle si verificano nel pieno dell'inverno, perché giungono o a raccolta avvenuta o a semina non ancora eseguita oppure quando le colture sono in fase di riposo vegetativo. Le conseguenze più gravi, invece, sono causate dalle *gelate precoci autunnali* o *tardive primaverili* che trovano le colture ancora in attività vegetativa. Queste gelate, dette anche *brinate*, durano poche ore verificandosi nelle ultime ore della notte, ma sono estremamente deleterie.

La brinata è la conseguenza del raffreddamento dell'atmosfera a livello delle colture. Questo raffreddamento ha luogo in due maniere: per convezione e per irraggiamento.

La gelata per convezione si verifica nei fondovalle quando le masse di aria raffreddatesi nelle pendici alte, essendo più dense, scivolano lungo la pendice e si accumulano nel fondo della valle.

La gelata per irraggiamento è conseguenza della perdita di calore che il suolo subisce nelle ultime ore della notte, quando l'irraggiamento di calore da parte del terreno ha raggiunto la massima entità. Le condizioni essenziali affinché si verifichi questo tipo di gelata sono fondamentalmente due: cielo sereno e assenza di vento, condizioni che favoriscono la dispersione della radiazione infrarossa del terreno nell'alta atmosfera. Fenomeni di turbolenza, infatti, determinerebbero rimescolamento dell'aria alta più calda con l'aria bassa più fredda evitando il verificarsi del fenomeno.

I mezzi diretti di lotta contro le brinate possono essere divisi in tre categorie: *mezzi schermanti*, *mezzi dinamici* e *mezzi termici*. I primi due sono efficaci solo con le brinate per irraggiamento, il terzo funziona con entrambi i tipi di gelata.

I mezzi schermanti operano creando uno strato "opaco" attraverso la generazione di fumi, impedendo in tal modo la dispersione dei raggi infrarossi emessi dal terreno nell'atmosfera.

I mezzi sono diversi:

- a) *combustione* di materiali aziendali, per esempio paglia umida;
- b) *candelotti fumogeni*: candele che, una volta accese, bruciano lentamente producendo grandi quantità di fumo;
- c) *generatori di fumi chimici*: sono dei *turbo-miscelatori* i quali mescolano e proiettano nell'atmosfera una miscela di anidride solforosa e ammoniacca che combinandosi insieme danno luogo alla formazione di micro-cristalli.

Mezzi dinamici: su questo principio è basato il sistema di lotta condotta con l'impiego di grossi ventilatori, posti su un traliccio alto da 9 a 11 metri, in grado di aspirare l'aria degli strati superiori, più calda, e spingerla in basso a livello delle colture.

Mezzi termici: sono basati sulla produzione di calore.

- a) Riscaldamento diretto dell'aria attraverso bruciatori alimentati con combustibili poco costosi: petrolio, nafta, oli pesanti. L'efficacia di questi dispositivi è scarsa in quanto gran parte del calore si disperde nell'alta atmosfera.
- b) Irrigazione antibrina. È il sistema che funziona meglio di qualsiasi altro con qualunque tipo di gelata. Con esso si sfrutta il calore di solidificazione dell'acqua (calore latente di solidificazione). L'acqua, infatti, passando dallo stato liquido a quello solido cede 334 KJ per chilogrammo. Si tratta, pertanto, di far cadere *ininterrottamente*, per tutta la durata della gelata, una pioggia sottile sulle piante attraverso il sistema di irrigazione a pioggia. In tal modo tutti gli organi della pianta (rami, foglie, gemme, frutticini, fiori) vengono avvolti da un sottile strato ghiaccio all'interno del quale, la temperatura si mantiene intorno a 0 °C. Se la pioggia venisse interrotta, la temperatura scenderebbe fino ad adeguarsi a quella esterna e le piante subirebbero seri danni.

UMIDITÀ RELATIVA DELL'ARIA

L'aria contiene del vapore acqueo che varia in quantità a seconda della temperatura.

L'*umidità relativa* (HR) si calcola in base alla formula:

$$HR = \frac{\text{Umidità assoluta (HA)}}{\text{Umidità di saturazione (HS)}} \times 100$$

L'*umidità assoluta* (HA) è la quantità espressa in grammi di vapore acqueo contenuta effettivamente in un metro cubo di aria ad una determinata temperatura.

L'*umidità di saturazione* (HS) è la quantità massima in grammi di vapore acqueo che un metro cubo di aria può contenere a quella determinata temperatura, ossia la quantità di vapore d'acqua che ci sarebbe se l'atmosfera fosse satura.

L'*umidità relativa*, pertanto, esprime in termini percentuali quanto lontana dalla saturazione sia l'aria.

In generale l'umidità assoluta è più bassa di quella di saturazione; al limite può essere uguale, ma mai superiore.

Riportiamo una semplice tabella:

Temperatura (°C)	Umidità di saturazione (g m ⁻³)
-15	1,40
-10	2,16
-5	3,26
0	4,85
5	6,81
10	9,42
15	12,80
20	17,30
25	23,00
30	30,40

Supponiamo che in un certo momento la temperatura dell'aria sia di 25 °C e contenga una quantità di umidità pari a 20 grammi di vapore acqueo per metro cubo. L'umidità di saturazione a 25 °C è di 23,0 g m⁻³, quindi l'umidità relativa sarà:

$$HR = \frac{20,0 \text{ g m}^{-3}}{23,0 \text{ g m}^{-3}} \times 100 = 87\%$$

Se noi riscaldassimo l'aria ad una temperatura di 30 °C, l'umidità di saturazione corrisponderebbe a 30,4 g m⁻³, l'umidità relativa scenderebbe al 66%.

Quando l'umidità assoluta corrisponde a quella di saturazione, l'umidità relativa sarà pari al 100%.

Se, invece, raffreddassimo la suddetta aria a 15 °C, la quantità di vapore d'acqua in eccesso rispetto al tetto massimo, rappresentato dall'umidità di saturazione, condenserebbe. Passerebbe cioè dallo stato aeriforme a quello liquido (20 g m⁻³ - 12,8 g m⁻³ = 7,2 g m⁻³ di vapore che condensa).

Per tutti questi motivi, generalmente, la variazione giornaliera dell'umidità relativa procede in senso inverso alla temperatura: è minima nelle ore più calde della giornata, è massima in quelle più fredde.

L'umidità relativa ha un grande significato come regolatore delle perdite d'acqua per evaporazione dal terreno e per traspirazione, dalle piante. L'eccesso di umidità relativa comporta ritardo nella maturazione dei semi, suscettibilità delle piante ad attacchi di patogeni, ostacolo all'impollinazione.

PIOGGIA

Rappresenta il principale rifornimento d'acqua per il terreno e per le piante, quindi è un fattore determinante del clima e delle rese.

Al fine di valutare la pioggia sotto il profilo agronomico occorre prendere in considerazione quattro variabili fondamentali: *quantità, frequenza, distribuzione e intensità*.

- La **quantità** rappresenta l'ammontare di pioggia caduta in un determinato intervallo di tempo (un giorno, una decade, un mese, un anno). Si misura in millimetri, che esprimono lo spessore che raggiungerebbe l'acqua caduta se si depositasse su una superficie piana, impermeabile ed in assenza di evaporazione. Un millimetro di pioggia corrisponde a 1 litro d'acqua al metro quadro o a 10 metri cubi d'acqua ad ettaro.

Tuttavia, l'informazione fornita da questo parametro ha un peso relativo nei confronti dell'agricoltura se non completato con le altre variabili.

- La **frequenza** indica dal numero complessivo di giorni di pioggia in un anno. L'attività agricola è favorita laddove le piogge, a parità di tutte le altre condizioni, sono più frequenti. Ad esempio, in un anno a Parigi cade meno pioggia che a Reggio Calabria (574 mm contro 596 mm anno⁻¹) ma la frequenza è diversissima: più di 200 giorni all'anno a Parigi, 72 giorni a Reggio Calabria. La minore frequenza di Reggio Calabria sta ad indicare che, in media, ciascun evento piovoso è caratterizzato da precipitazioni eccessive e che lunghi periodi dell'anno sono privi di pioggia. Tutto questo viene meglio definito dal successivo parametro.

-La **distribuzione** delle piogge, cioè la quantità di pioggia che cade nei diversi periodi dell'anno, è un elemento di fondamentale importanza per poter correttamente apprezzare il valore agronomico delle precipitazioni.

Evidentemente le piogge che cadono nei periodi di maggiori esigenze idriche delle colture hanno un valore superiore di quelle che cadono durante il periodo in cui minori sono dette esigenze. Tornando all'esempio tra Parigi e Reggio Calabria, le vistose differenze climatiche tra

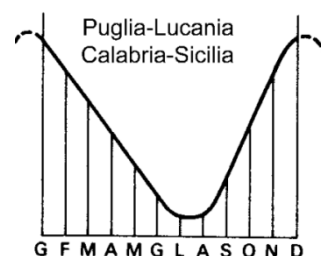
Località \ Stagione	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Parigi	111	137	171	155
Reggio Calabria	252	114	33	197

le due città sono in buona parte dovute al fatto che nell'una le piogge sono ben distribuite durante l'anno o addirittura sono maggiormente concentrate nel periodo estivo, nell'altra,

invece, esse cadono quasi esclusivamente nel periodo autunno-invernale.

La figura riportata pone in rilievo quanto irregolarmente siano distribuite le piogge nelle nostre zone del meridione. L'inconveniente è, poi, aggravato dalle temperature primaverili-estive del mezzogiorno, nella media alquanto elevate. È questa la caratteristica del clima "mediterraneo": il massimo delle temperature coincide col minimo di precipitazioni e viceversa. Si devono così lamentare sia gli inconvenienti della deficienza idrica, in estate, che quelli dell'eccesso di acqua, in inverno.

- L'**intensità** di pioggia si misura in mm di pioggia caduta per unità di tempo (mm h⁻¹). Essa si riflette sulla sua utilizzazione da parte del terreno. Infatti, quando la pioggia è eccessivamente intensa, e supera la velocità d'infiltrazione dell'acqua nel terreno, ne derivano fenomeni di



ristagno idrico, in pianura, e di ruscellamento, in terreni declivi. Quest'ultimo fenomeno scatena il deprecabile meccanismo dell'erosione idrica del suolo.

IL VENTO

Il vento si origina per gli squilibri di pressione tra diversi punti dell'atmosfera terrestre: l'aria calda di un luogo, poco densa, tende a sollevarsi e quella più fredda circostante, richiamata dalla depressione formatasi, tende a prenderne il posto.

Molto importante è la conoscenza della direzione di provenienza e della velocità del vento. Per convenzione, la direzione del vento coincide con la direzione di provenienza e, su questa base, i venti vengono classificati secondo la rosa dei venti o in gradi dove: Nord = 0°; Est = 90°; Sud = 180°; Ovest = 270°, con tutte le situazioni intermedie. La velocità del vento viene espressa in $m\ s^{-1}$, $km\ h^{-1}$, in $km\ d^{-1}$.

Il vento e le piante

Venti leggeri sono favorevoli per l'attività delle piante in quanto determinano:

- *Aumento della ET.* Quando l'aria è in movimento il processo evapotraspirativo viene fortemente accentuato in quanto, all'interno della massa vegetale, vengono rimossi gli strati d'aria saturi di umidità che altrimenti ostacolerebbero tale processo.

- *Aumento del ricambio della CO₂.* Con lo stesso meccanismo ora descritto il vento favorisce il ricambio della CO₂ all'interno della copertura vegetale, il che è evidentemente vantaggioso per la fotosintesi.

- *Aumento dell'impollinazione di tipo anemofilo.*

Venti che soffiano con frequenza e intensità elevate spesso ostacolano l'attività dei vegetali e, non di rado, provocano seri danni alle piante.

Alterazioni morfologiche. Piante che si accrescono sotto l'influenza di venti non raggiungono mai un grado di idratazione tale da far espandere le loro cellule fino alla dimensione normale: pertanto gli organi e l'intera pianta risultano di dimensioni ridotte.

Allettamento. Fenomeno dannoso causato dal vento su piante erbacee (cereali, mais, sorgo, girasole, colza, ecc.), consistente nel coricamento degli steli per piegatura o per allentamento delle radici.

Stroncamento, sradicamento, caduta dei frutti. Importante negli alberi (fruttiferi, forestali, ornamentali) e anche in certe piante erbacee.

Trasporto di sali. Venti provenienti dal mare e che trasportano particelle di cloruro di sodio sono molto frequenti in Italia e provocano gravi danni alla vegetazione data la forte tossicità di questo sale.

Abrasione. Quando il vento trasporta particelle di ghiaccio o di sabbia esercita una potente azione abrasiva: cortecce e gemme possono venire lesionate gravemente.

Venti caldi e secchi possono devitalizzare foglie e germogli giovani, disseccare il polline, ecc.; lo scirocco è il responsabile dello striminzimento delle cariossidi dei cereali (stretta da caldo dei cereali).

Difesa dal vento

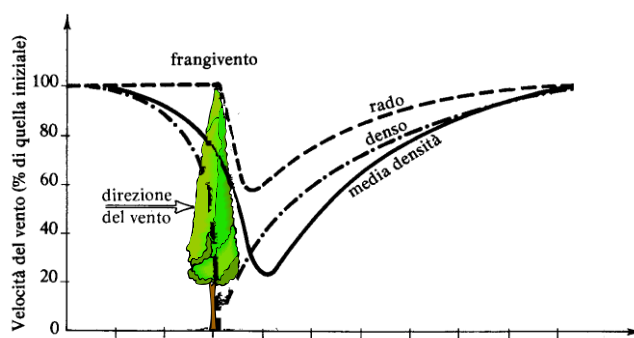
Nelle aree soggette a venti frequenti o venti dominanti, per la difesa delle colture si fa ricorso ai frangivento. I frangivento sono delle barriere che vengono impiantate in direzione ortogonale ai venti dominanti. Essi possono essere distinti in frangivento morti e vivi.

I primi vengono realizzati con i materiali più vari: muretti di pietra, cannicciate, ecc. Oggi si fa largo ricorso alle reti frangivento costituite da una rete a maglia fitta in polietilene.

I frangivento vivi sono realizzati con specie erbacee, arbustive o, più frequentemente, arboree. Nella zona da proteggere si crea una serie di barriere parallele di essenze frangivento che agiscono sia smorzando l'energia del vento che deviandolo. Quando il vento arriva contro la barriera, una parte di esso lo attraversa frenando la sua velocità, mentre la rimanente parte viene deviata in alto scavalcando l'ostacolo.

La riduzione della velocità del vento è di circa 15-20 volte l'altezza del frangivento: oltre questa distanza il vento riprende la sua velocità iniziale. Quindi, un frangivento alto 10 m protegge una fascia di 150-200 m.

L'efficacia del frangivento varia con la sua densità. Esso infatti non deve essere eccessivamente fitto ma presentare un 30-40% di apertura nella massa. In tal modo si osserva un'equilibrata ripartizione tra parte del vento che scavalca il frangivento e parte del vento che lo attraversa. Se il frangivento è invece molto denso, tutto il vento lo scavalca e vengono a crearsi fenomeni di turbolenza per cui si dà luogo a una diminuzione dell'ampiezza della fascia protetta.



Caratteristiche dei frangivento vivi.

Una essenza frangivento per assolvere al meglio le sue funzioni dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- a) Essere sempreverde, in modo da esercitare la sua protezione anche nei mesi invernali quando esistono sul terreno molte importanti colture come i cereali;
- b) Essere a rapida crescita, rustico, adattabile, resistente alla salsedine, per lo meno nelle zone in cui il vento da cui ci si vuol difendere spirava dal mare;
- c) Avere apparato radicale non molto espanso per non esercitare competizione eccessiva con le colture, e nello stesso tempo, robusto in misura tale da essere resistente allo sradicamento.

Vantaggi e svantaggi dei frangivento

Gli svantaggi sono:

- creazione di tare, ossia sottrazione di superficie alle colture;
- ombreggiamento delle colture, specie se i filari sono orientati E-O;
- competizione radicale, più o meno forte a seconda delle esigenze della specie per l'acqua e per gli elementi nutritivi;

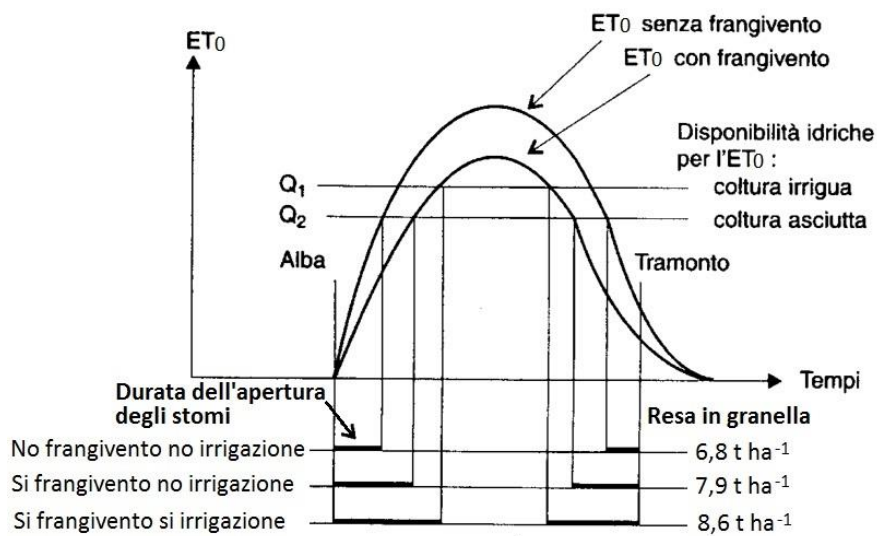
I vantaggi sono:

- riduzione o eliminazione dell'allettamento delle colture erbacee, del trasporto di sabbia e, soprattutto, sale;

- forte riduzione della evapotraspirazione; infatti si sono constatati incrementi di produzione di sostanza secca dovuti all'aumentata attività fotosintetica per l'aumentato numero di ore della giornata in cui gli stomi rimangono aperti. Ciò porta ad una migliore utilizzazione dell'acqua presente nel terreno e ad una diminuzione dei consumi idrici.

Questi effetti benefici sull'assimilazione vegetale si verificano anche nelle zone in cui i venti ordinari non vengono ritenuti dannosi. L'esperienza dimostra, infatti, che l'adozione dei frangivento comporta incrementi di produzioni del 10-15% rispetto alla normale coltura non protetta. Questo aumento di resa compensa ampiamente la superficie di terreno sottratta dalle barriere frangivento.

Quindi si è constatato che l'impiego dei frangivento è positivo anche nelle zone dove il vento non era stato mai considerato un fattore climatico limitante; per cui è consigliabile di estenderne l'uso il più possibile.



Influenza dei frangivento e dell'irrigazione su ET₀, durata dell'apertura stomatica e resa di una coltura di mais in Toscana (Landi).