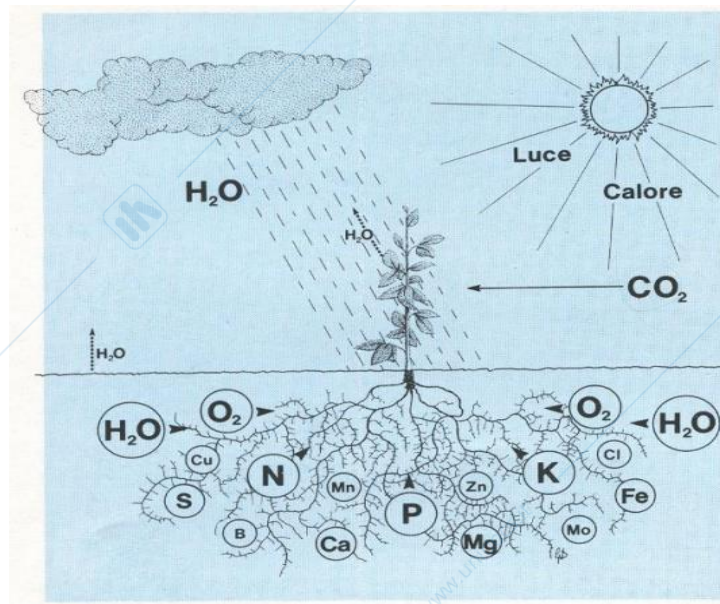


L'atmosfera



L'atmosfera agisce dal punto di vista energetico (radiazioni solari, meteo...)

Agrometeorologia: studia i parametri meteorologici dell'atmosfera

I parametri agrometeorologici:

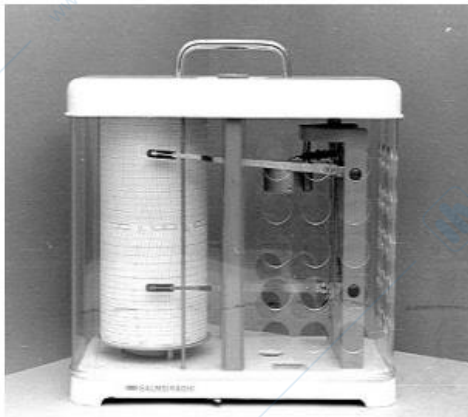
- La conoscenza delle condizioni agrometeorologiche di una data area richiede la misura dei parametri dell'atmosfera, con una determinata frequenza spazio-temporale. I principali parametri sono: Radiazione solare, Pressione atmosferica, Temperatura dell'aria e del terreno, Umidità dell'aria e del terreno, Bagnatura fogliare, Precipitazioni, Nuvolosità, Evaporazione, Vento.
- Questi parametri possono variare nel tempo in modo continuo, come la temperatura e l'umidità, o in modo discreto, come la pioggia. Pertanto, si esprimono sull'intervallo di un periodo (giorno, decade, mese), con il valore massimo, medio e minimo (es. temperatura massima, temperatura minima) o mediante la sommatoria (es. precipitazione giornaliera totale, numero di ore di bagnatura fogliare, radiazione solare).
- Una particolare attenzione deve essere posta alla definizione fisica della grandezza e alle leggi che ne regolano la distribuzione nello spazio e nel tempo.
- Altri aspetti importanti da considerare sono gli effetti biologici e fisici sugli elementi dei sistemi agricoli.
- Infine, è necessario conoscere i metodi di stima e gli strumenti che possono essere utilizzati per la loro misura.

LE STAZIONI AGROMETEOROLOGICHE

Capannina (meccanica, non automatica, desueta)

Gli strumenti meccanici registratori sono indicati dal suffisso *grafo* e sono costituiti da un sensore e da un tamburo azionato da un meccanismo ad orologeria sul quale è posta una carta diagrammata, avente in ascissa il tempo e in ordinata il valore del parametro misurato. La scala di questi strumenti può essere giornaliera, settimanale, etc





Termografo (temperatura e umidità):

più bassa è la temperatura, più alta è l'umidità e viceversa



Gli **strumenti registratori elettronici** affiancano ai sensori un sistema di registrazione dei dati (data logger) su scheda magnetica o su dischetto floppy, con la possibilità di scaricare direttamente i dati su un PC o di trasmetterli tramite un modem (telefonico o radio) ad un centro di raccolta dati.



Foto sx: data logger

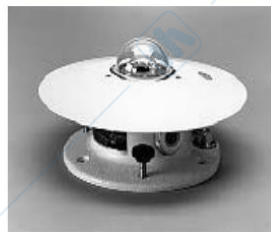


Foto dx: vento (sopra) e radiazione solare (sotto)

Criteri di collocazione

- La zona deve essere pianeggiante e libera da ostacoli ed ostruzioni
- La superficie deve essere coperta con la vegetazione naturale della zona, la quale deve essere frequentemente tagliata in modo da mantenerla uniformemente bassa.

- Ostruzioni come alberi, siepi o edifici devono essere sufficientemente lontani dagli strumenti, circa otto-dieci volte la loro altezza. È necessario prestare particolare attenzione agli ombreggiamenti prodotti dalle ostruzioni anche se brevi periodi di ombreggiamento, all'alba ed al tramonto sono inevitabili.
- Accessibilità: aree soggette ad azezioni d'aria, o ad inondazioni o prossime a paludi, stagni, soprattutto se temporanei, devono essere evitati. Questo in modo da agevolare le operazioni di manutenzione e controllo degli strumenti
- Per evitare le intrusioni di animali è possibile recintare la zona
- L'area deve esser rappresentativa, presentando le naturali condizioni agronomiche o selvicolturali della area da monitorare, ed al tempo stesso le principali caratteristiche geografiche e topografiche.

RILEVAMENTO A DISTANZA (TELERILEVAMENTO O REMOTE SENSING)

- **Risoluzione temporale:** tempo di ricorrenza delle informazioni disponibili su uno stesso punto (cioè ogni quanto tempo il satellite passa su un dato punto)
- **Risoluzione radiometrica:** indica l'**intervallo dello spettro elettromagnetico** nel quale viene effettuata la misura ed il numero di bande in cui esso è suddivisa. Le bande più comuni sono quelle del visibile e dell'infrarosso termico, ma le ultime generazioni di satelliti operano anche nella banda delle microonde. Questo permette di effettuare misure anche al di sotto delle nubi, che in certe aree del pianeta rappresentano un ostacolo per l'osservazione della superficie terrestre
- **Risoluzione spaziale:** misura effettuata (in m² o km²), espressa come dimensione del **pixel**, che rappresenta i punti elementari nei quali si può scomporre l'immagine

I droni

Componenti

- MATERIALI
- MOTORE
- SISTEMA DI RADIOCOMANDO
- SENSORI DI NAVIGAZIONE
- AUTOPILOTA

Caratteristiche

- AUTONOMIA ENERGETICA
- RAGGIO OPERATIVO
- QUOTA MASSIMA RAGGIUNGIBILE
- CAPACITA' DI CARICO
- PESO
- VELOCITÀ

I satelliti

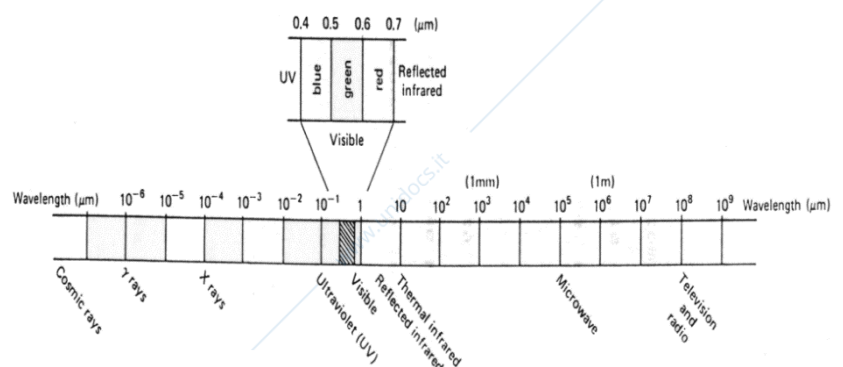
- La ricerca spaziale, che permise negli anni 60 le prime missioni di esplorazione dello spazio, ha consentito la realizzazione di sensori e di satelliti, che rappresentano uno strumento di grande efficacia per l'osservazione della terra
- In questo settore si possono distinguere due categorie di satelliti: i **satelliti meteorologici** ed i **satelliti per l'osservazione delle caratteristiche della superficie terrestre**

LE VARIABILI

La radiazione – definizione

È la radiazione misurata a terra su un piano orizzontale, che giunge direttamente dal sole o che viene diffusa per effetto delle nuvole o di altri componenti dell'atmosfera;

La radiazione è costituita da un insieme di onde elettromagnetiche che permettono il trasferimento di energia. La radiazione solare rappresenta infatti la fonte di energia del sistema terrestre, che le piante sono in grado di trasformare in energia chimica mediante il processo di fotosintesi;



La radiazione è caratterizzata da una **lunghezza d'onda** e da una **frequenza** che sono fra loro inversamente proporzionali.

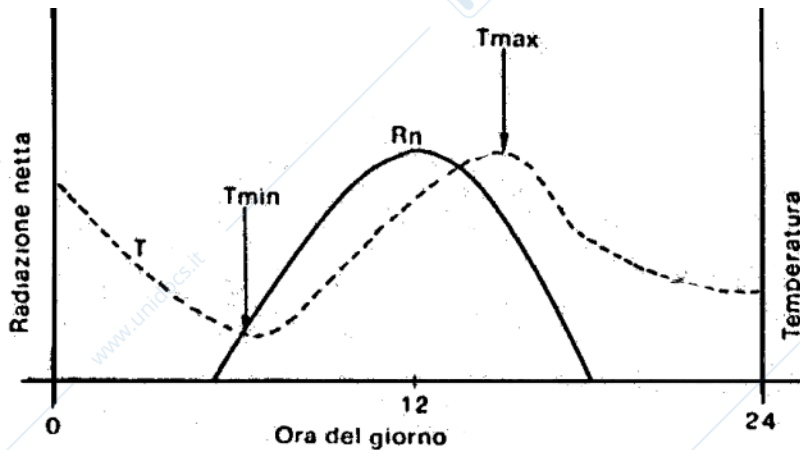
Più è bassa la frequenza, maggiore è la lunghezza d'onda e meno pericolosa è la radiazione.

Più è alta la frequenza, minore è la lunghezza d'onda e più pericolosa è la radiazione.

La radiazione - variabilità

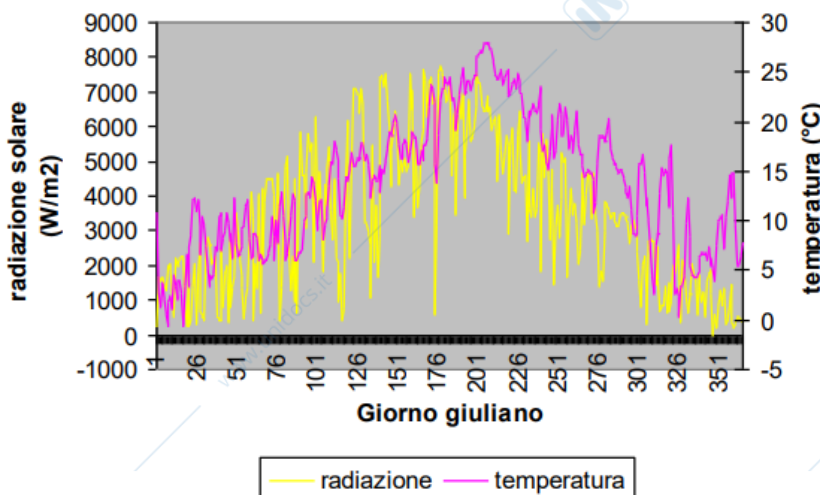
- Nei riepiloghi giornalieri e in quelli mensili si indica il valore totale del periodo considerato. Questi dati sono utilizzati per fini diversi, come ad esempio il calcolo dell'evaporazione, la stima della produzione, la progettazione bioclimatica, il dimensionamento dei pannelli solari etc.
- La radiazione solare, durante il giorno, varia in relazione all'altezza del sole sull'orizzonte, raggiungendo il suo massimo a mezzogiorno. La quantità totale giornaliera dipende dalla lunghezza del giorno.
- Durante l'anno la radiazione varia in funzione della posizione reciproca sole - terra, presentando nell'emisfero Nord un massimo al solstizio d'estate (21 giugno) ed un minimo al solstizio d'inverno (21 dicembre).

Variazioni diurne della radiazione



La radiazione ha un **andamento simmetrico**, con minimo all'alba ed al tramonto e massimo a mezzogiorno

Variazione stagionale della radiazione



Il massimo della radiazione si osserva attorno al 21 giugno, mentre il minimo il 21 dicembre

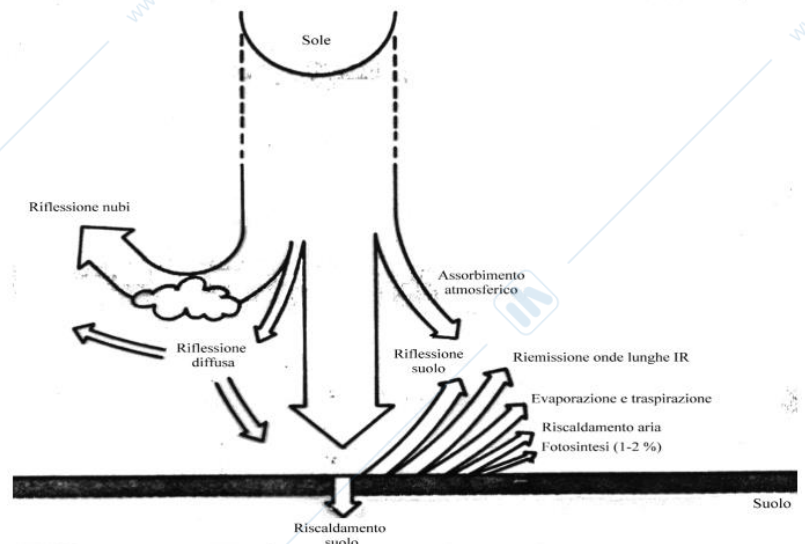
Bilancio radiativo energetico

Bilancio radiazione:

Radiazione netta = radiazione solare –
riflessione suolo (albedo) + onde lunghe
atmosferiche – onde lunghe terrestri

Bilancio energia:

Radiazione netta = riscaldamento del suolo +
riscaldamento aria + evaporazione e
traspirazione



LE MISURE

I valori di radiazione solare si esprimono in:

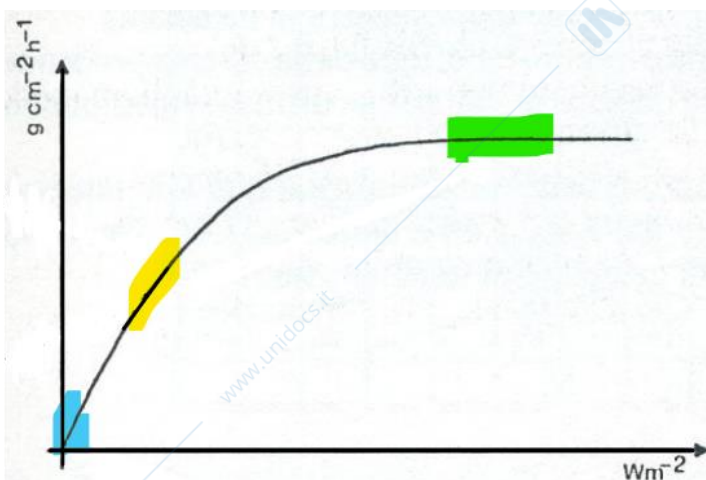
- cal cm⁻² min⁻¹
- Watt m⁻²
- J m⁻² min⁻¹ (oppure J m⁻² h⁻¹)
- MJ m⁻² d⁻¹

Gli strumenti sono chiamati radiometri o solarimetri o piranometri e permettono di misurare le diverse componenti della radiazione sulla base di opportuni filtri e schermature.

RADIAZIONE FOTOSINTETICAMENTE ATTIVA

- Viene generalmente chiamata **luce** e rappresenta quella parte della radiazione solare con lunghezza d'onda compresa tra 400 nm e 700 nm che ha come caratteristica principale quella di essere attiva nel processo fotosintetico fornendo l'energia necessaria.
- L'energia luminosa viene assorbita dai pigmenti clorofilliani e trasformata in energia chimica nel processo fotosintetico.
- Il fatto che nel periodo primaverile-estivo venga spesso superato il **livello di saturazione** fa sì che l'efficienza fotosintetica, intesa come rapporto tra l'energia contenuta nella s.o. e quella luminoso incidente, sia quindi relativamente bassa.

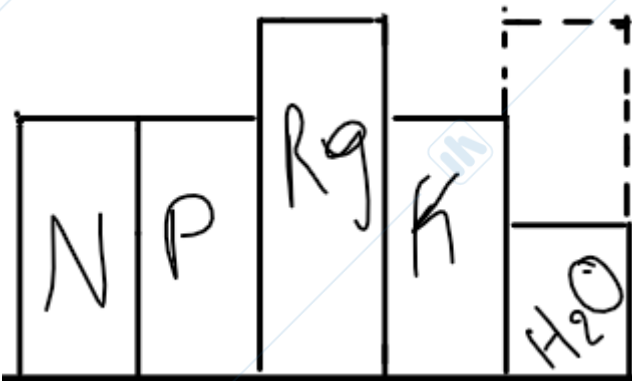
Risposta fotosintetica in rapporto all'intensità della luce



Le piante hanno:

- Un intervallo in cui la fotosintesi aumenta con l'aumentare dell'intensità luminosa
- Un massimo oltre il quale la fotosintesi non aumenta (livello di saturazione luminosa)
- una soglia minima di illuminazione al di sotto della quale la fotosintesi non avviene

Legge dei minimi: regola la produzione in funzione dei macroelementi del terreno.



Valutare la produzione in base all'elemento minore;

In questo caso: irrigare di più per aggiungere altri elementi.

FOTOPERIODISMO

La radiazione, oltre alla fondamentale azione sull'accrescimento attraverso la sintesi clorofilliana, esplica parecchie altre azioni sulla vita delle piante **attraverso la loro risposta all'alternarsi giornaliero di periodi di illuminazione a periodi di buio.**

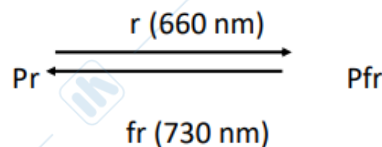
Fotoperiodismo è detto la risposta delle piante all'alternarsi giornaliero di periodi di illuminazione a periodi di buio, mentre il **fotoperiodo** è il periodo di illuminazione

I fenomeni biologici legati alla risposta fotoperiodica sono diversi:

- Dormienza invernale gemme
- Caduta delle foglie
- Formazione di bulbi e tuberi
- Determinazione dei sessi nelle piante dioiche
- Fioritura delle piante

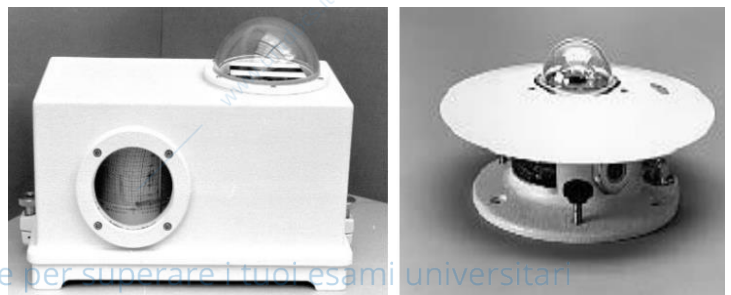
Fitocromo

Il fitocromo è un pigmento che esiste in due forme reversibili aventi due massimi di assorbimento: uno per la radiazione rosso chiara di 660 nm (forma Pr), uno per la radiazione rosso scura (infrarossa) di 730 nm (forma Pfr); la direzione della reazione è determinata dalla radiazione assorbita secondo lo schema seguente:



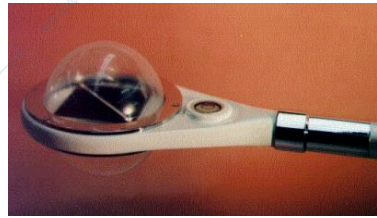
Durante il giorno la radiazione rosso chiara (660 nm) presente nella luce, più energetica, prevale su quella rosso scura e porta alla formazione di fitocromo (Pfr); al buio, in assenza di radiazione rosso chiara, la radiazione infrarossa di 730 nm provoca il passaggio del fitocromo Pfr in fitocromo Pr. La forma fisiologicamente attiva è il fitocromo Pfr: ossia è la quantità di questo a determinare la fioritura o la non fioritura delle piante. Le piante a giorno corto non fioriscono se il fitocromo Pfr non è sceso sotto una certa soglia.

Radiometri globali (un sensore orientato verso l'alto)



Meccanico (sx)

Elettronico (dx)



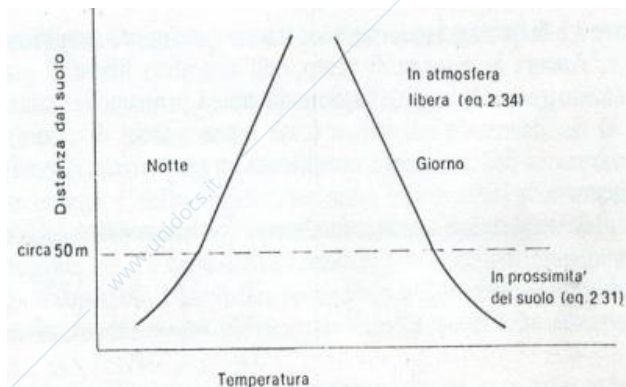
Radiometri netti (due sensori, orientati verso l'alto e verso il basso)

Orizzontali al terreno

Temperatura dell'aria

- La temperatura dell'aria dipende dal bilancio energetico e dalle caratteristiche termiche delle masse d'aria in transito. Nel corso del giorno, la temperatura dell'aria raggiunge il suo minimo poco prima dell'alba, e il massimo dopo il mezzogiorno (alle ore 13 in inverno e fra le ore 14 e le 15 in estate). La differenza tra questi due valori rappresenta l'escursione termica giornaliera.
- Il valore minimo nel corso dell'anno si ha in gennaio febbraio, mentre il massimo dopo il solstizio d'estate (luglio).
- I valori di temperatura vengono considerati per varie applicazioni, quali il calcolo delle dinamiche di sviluppo degli organismi, la stima della evapotraspirazione, la previsione degli attacchi dei fitofagi. Altre importanti relazioni con le colture riguardano il termoperiodismo, la vernalizzazione, la dormienza.
- Infine, da considerare le temperature critiche, soprattutto nei riguardi degli estremi termici minimi (gelate) e massimi persistenti (ondate di calore).

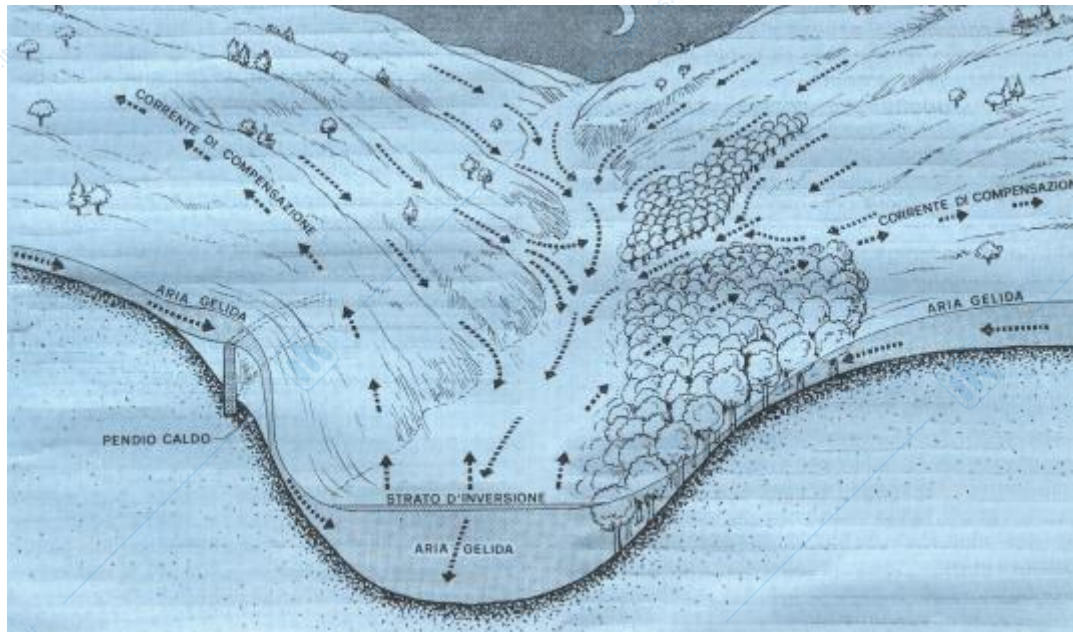
Variazioni con l'altitudine della temperatura



La temperatura decresce di circa 0.6°C ogni 100 m di quota;

Nella notte si osserva però un gradiente inverso a causa dell'irraggiamento terrestre, del flusso verso il basso dell'aria fredda e di condizioni di stabilità atmosferica che può essere molto pericoloso originando gelate.

Inversione termica



Temperature ottimali, cardinali e critiche

Il rapporto fra temperatura e pianta viene generalmente analizzato considerando i seguenti valori soglia

- Le temperature ottimali sono quelle alle quali la funzione vitale si svolge con la massima velocità.
- Le temperature cardinali massime e minime sono quelle al di sopra ed al di sotto delle quali una funzione si arresta per riprendere quando le condizioni termiche miglioreranno.
- Le temperature critiche massime e minime sono quelle al di sopra ed al di sotto delle quali si verificano danni irreparabili alle funzioni ed agli organi delle piante.

Tipologie di gelate

- Per **avvezione**. Sono causate dall'arrivo di una massa di aria fredda. Interessano vaste superfici ed hanno una configurazione sinottica. Si verificano generalmente in inverno e non arrecano gravi danni poiché le piante sono in riposo, a meno che non si raggiungano valori estremi (durante l'inverno le piante presentano un minor contenuto d'acqua e ha i liquidi più concentrati e un punto di congelamento più basso, sono più disidratate).
- Per **irraggiamento**. La superficie terrestre emette radiazione infrarossa e si raffredda. La temperatura al suolo scende quindi al di sotto delle soglie critiche. Questa gelata è associata in genere ad inversione termica ed è favorita da: giornate calde e serene, notti lunghe e serene, assenza di vento, bassa umidità del terreno. Determina danni consistenti quando si verifica nel periodo primaverile (gelate tardive) o autunnale (gelate precoci).

Difesa attiva – mezzi dinamici

Si tratta di ventilatori che evitano lo stratificarsi di aria fredda vicino al suolo rimescolando gli strati di aria. Sono quindi applicabili solo nel caso di gelate per irraggiamento di limitate entità. Si applicano sui fruttiferi o sugli agrumeti delle regioni meridionali. Il ventilatore ruotante è alto circa 10 m con una pala di 2 m e copre una superficie di circa 3-5 ha.

Irrigazione antibrina sovrachioma: Rappresenta indubbiamente uno dei metodi più efficaci sia per le gelate per avvezione sia per irraggiamento. Sfrutta la cessione di calore che si verifica quando l'acqua passa dallo stato liquido a quello solido. È necessario che l'irrigazione sia mantenuta fino a che la temperatura non ritorna sopra gli 0 °C, altrimenti si hanno ugualmente danni da gelo.

Irrigazione antibrina sottochioma: Vantaggi-riduzione dei costi, completa automatizzazione, risparmio idrico, riduzione dei problemi di ristagno idrico nelle zone di pianura.

SOMMATORIE TERMICHE

Il tempo richiesto per completare le diverse fasi di sviluppo è funzione del calore totale ricevuto dalle piante. Tale relazione viene generalmente espressa in termini di somme termiche, cioè della somma delle temperature medie giornaliere comprese all'interno di un range di sviluppo.

Esistono metodi più o meno complessi per calcolare l'accumulo giornaliero delle unità termiche, a seconda che vengano eliminate le temperature cardinali minime, quelle massime od entrambe.

Con T_m =temperatura media e T_s =temperatura soglia, la formula più comune è:

$$\Sigma (T_m - T_s)$$

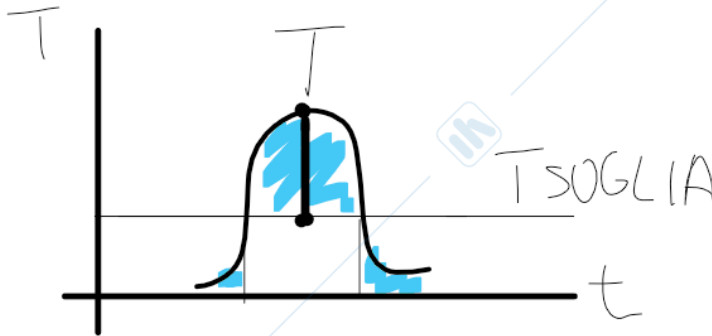
Esempi

Valori soglia in °C per il calcolo delle somme termiche

- Mais 10
- Soia 10
- Sorgo 8
- Pisello 4
- Cece 4
- Grano 0-5
- Riso 0-10

Somme termiche di sviluppo in °C

- Rapa 700-900
- Patata precoce 900-1000
- Carota 1200-1500
- Lino 1500-1700
- Grano primaverile 1700-1900
- Pomodoro 1800-2000
- Cetriolo 1900-2200
- Granturco 2000-2300
- Barbabietola 2200-2400
- Cotone 2700-3000
- Uva 2800-3200
- Cotone 3200-3600
- Agrumi 4000-4500
- Datteri 4500-5000



t	T_m	$T_s = 10^\circ\text{C}$
1	9	0
2	10	0
3	12	2
4	11	3
5	9	3
6	12	5
7	13	8
8	14	12

In 8 giorni ho accumulato 12 °C

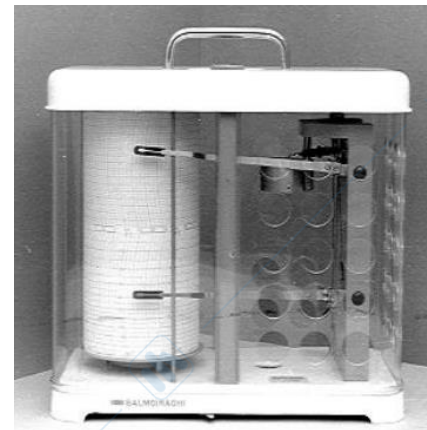
La misura

- La temperatura dell'aria deve essere misurata all'ombra. Si esprime in gradi Celsius (°C) o Fahrenheit (°F) o in gradi Kelvin (°K).
- I valori che vengono indicati nei riepiloghi giornalieri sono il minimo, il massimo e quello medio. Nei riepiloghi mensili sono riportati i valori medi dei valori minimi, massimi e medi, ma anche i valori del massimo assoluto e del minimo assoluto raggiunti.
- Le relazioni con lo sviluppo degli organismi biologici sono di solito espresse in termini di somma termica, cioè della somma delle temperature al di sopra di una certa soglia (di solito 10 °C).

*differenza valore max e minimo = escursione termica

Il termoigrografo

- Strumento che registra la temperatura e l'umidità relativa
- Il sensore termometrico è costituito da una lamina bimetallica che garantisce una precisione di misura del 5 %.
- La deformazione viene trasmessa a una penna riempita di un inchiostro speciale, che aderisce alla carta diagrammata
- Il movimento a orologeria può essere trasformato da settimanale a giornaliero e viceversa



Sensori con segnale elettrico

Termocoppia

- Il sensore è costituito da due fili di materiale opportuno, saldati insieme a formare un "giunto sensibile"
- Lungo i fili si crea una tensione elettrica (dell'ordine dei mV) che varia in modo proporzionale con la temperatura

Termistori

- Il sensore è costituito da materiale semiconduttore
- Il valore di resistenza (Ω) varia con la temperatura
- La loro risposta non è lineare, quindi necessita di una rete di linearizzazione
- Molto usato per sistemi di acquisizione automatica

Temperatura del terreno

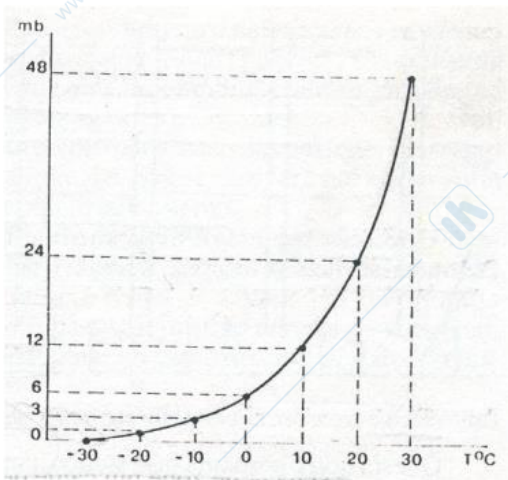
- Il valore a cui si fa riferimento è quello della temperatura del terreno misurata generalmente a 2 cm ed a 10 cm di profondità. Si esprime con le stesse unità della temperatura dell'aria.
- Varia durante il giorno e durante l'anno con lo stesso andamento della temperatura dell'aria, ma leggermente sfasato rispetto a questo nel tempo a causa di una bassa conducibilità termica.
- I valori che si raggiungono dipendono dal bilancio energetico e da alcuni aspetti fisici, quali il colore, la copertura vegetale, lo stato di umidità.
- Le temperature minime e massime del terreno seguono temporalmente quelle dell'aria. Con l'aumentare della profondità si riduce l'escursione termica. I valori riportati nei riepiloghi giornalieri o mensili sono calcolati nello stesso modo di quelli della temperatura dell'aria.

Umidità dell'aria

- È costituita da acqua allo stato di vapore presente nella miscela gassosa che costituisce l'aria stessa. Si esprime come umidità assoluta (g cm^{-3}) o come umidità relativa (%); molto spesso viene anche rappresentata in termini di deficit di saturazione (g cm^{-3}) o di temperatura del punto di rugiada ($^{\circ}\text{C}$).
- Poiché la pressione totale di una miscela di gas è la somma delle pressioni parziali dei singoli componenti, il vapore acqueo dà il suo contributo alla pressione atmosferica. Di conseguenza il contenuto di umidità dell'atmosfera può essere anche espresso in termini di tensione di vapore (Pa).
- L'umidità relativa è il rapporto, ad una data temperatura, fra il contenuto reale in vapor d'acqua dell'aria e quello che ci sarebbe se questa fosse satura. Questa definizione dipende dal fatto che un volume d'aria ad una data temperatura può contenere un valore massimo di vapore acqueo, oltre il quale si verifica la condensazione. In sostanza il valore percentuale esprime quanto siamo distanti dalla condizione di saturazione.

- Tale condizione di riferisce alla umidità di saturazione, oltre la quale il vapore acqueo in eccesso di condensa in acqua. L'umidità di saturazione dipende dalla temperatura secondo una funzione di tipo esponenziale:

$$e_s = 610.78 \cdot \exp\left[\frac{17.269 \cdot T}{T + 237.30}\right]$$



Rapporto fra tensione di vapore saturo e temperatura

L'umidità relativa varia durante il giorno con un massimo in corrispondenza della temperatura minima ed un minimo in corrispondenza del valore massimo della temperatura dell'aria. Durante l'anno i valori più elevati si registrano nei mesi invernali.

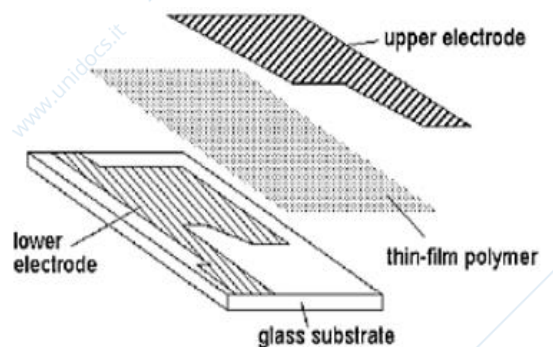
- Al contrario, per l'umidità assoluta i valori massimi si hanno durante le ore ed i giorni più caldi a causa dei più alti tassi di evapotraspirazione.
- L'umidità assume un ruolo molto importante nell'assicurare la circolazione dell'acqua nell'atmosfera, come elemento del bilancio energetico (calore latente), nel regolare la evapotraspirazione ed infine in molti processi fitosanitari a carico di patogeni.

La misura

- I valori indicati nei riepiloghi giornalieri sono il massimo, il minimo e il valore medio percentuale. I valori impiegati nei riepiloghi mensili sono la media delle massime, la media delle minime e la media delle medie.
- Per la misura dell'umidità dell'aria vengono utilizzati gli igrometri o gli psicrometri.

Igrometro capacitivo

- La parte sensibile del sensore è una lamina polimerica molto fine inclusa fra due elettrodi
- Il valore di capacità elettrica (picofarad) varia con il tasso di umidità ambiente
- Un circuito elettrico provvede a trasformare il segnale in una tensione continua



Precipitazioni

- Le precipitazioni possono essere classificate in relazione allo stato fisico dell'acqua ed alle dimensioni delle singole particelle in: rugiada, brina, pioviggine, pioggia, neve, nevischio, grandine e nebbia.
- Le precipitazioni sono la conseguenza della presenza di nubi, che a loro volta dipendono dalla circolazione generale dell'atmosfera e dall'interazione delle masse d'aria con la superficie della terra e con quella del mare. La loro distribuzione durante l'anno è funzione della zona climatica e varia grandemente da una regione all'altra. Anche la variazione tra un anno e l'altro, per uno stesso periodo (variabilità interannuale), può essere assai marcata.
- Oltre al valore cumulato di pioggia, per un ogni singolo evento, si può anche misurare l'intensità, che viene espressa in mm h⁻¹. Nei riepiloghi giornalieri si riporta il solo valore totale, mentre nei riepiloghi mensili, oltre al valore totale, si riporta anche il numero di giorni nei quali si è verificata la pioggia.

- Importante considerare anche la frequenza, la durata ed i tempi di ritorno che permettono di quantificare la probabilità che un certo evento si ripeta nel tempo in una data località.

Classificazione delle precipitazioni	Rugiada	Gocce di acqua che si depositano sulle superfici del terreno e la vegetazione	0,1-1 mm/notte
	Brina	Cristalli di ghiaccio che si formano sulle superfici nello stesso modo della rugiada ma a temperature inferiori a 0°C	0,1-1 mm/notte
	PiovigGINE	Gocce di acqua di diametro inferiore a 0,5 mm	0,2-0,5 mm/h
	Pioggia	Gocce di diametro maggiore di 0,5 mm	Leggera < 2 mm/h Pesante > 7 mm/h
	Neve	Cristalli di ghiaccio con struttura varia	
	Nevischio	Granuli opachi con diametro inferiore al mm	
	Grandine	Chicchi di ghiaccio di diametro compreso tra i 5 e i 50 mm	
	Nebbia	Gocce di acqua in sospensione nell'atmosfera che modificano la visibilità a meno di 1 km	

Caratteristiche delle piogge: la quantità

- Si esprime in millimetri di acqua caduta nell'intervallo di tempo pari alla durata dell'evento.
- In media cadono su tutta la terra 1.000 mm di acqua, ma vi sono zone dove si raggiungono i 12.000 mm ed altre dove non piove mai.
- In Italia varia da 2.500-3.000 mm nelle Alpi orientali e nelle Apuane, a meno di 500 mm nel Tavoliere pugliese, nelle coste sud-occidentali della Sicilia ed in provincia di Cagliari.
- La quantità consente solo una stima grossolana delle potenzialità agricole di una area, in quanto altri parametri influiscono sulla sua capacità di soddisfare le esigenze evapotraspirative della coltura.

Caratteristiche delle piogge: l'intensità

- È espressa in quantità nell'unità di tempo (mm h^{-1}).
- Ha grande importanza in idrologia per la previsione delle piene e nel campo della conservazione del suolo in quanto il fenomeno del ruscellamento in collina o del ristagno in pianura si verificano quando l'intensità è superiore alla velocità di infiltrazione nel terreno.
- Le piogge intense hanno quindi una efficacia molto limitata e possono provocare gravi danni alla conservazione del suolo ed anche alle colture (asfissia radicale, etc.)
- Dall'intensità dipende l'erosività, cioè la capacità di una pioggia di provocare erosione.
- La maggiore efficacia si ha con piogge di leggera intensità, attorno ai 2 mm h^{-1}

Caratteristiche delle piogge: la durata

- Rappresenta l'intervallo di tempo durante il quale si verifica l'evento.
- È in relazione inversamente proporzionale alla intensità:

$$i = 14.3 / \sqrt{d}$$

Caratteristiche delle piogge: la frequenza

- Rappresenta l'intervallo di tempo medio dopo il quale si può pensare di avere nuovamente un evento di una certa quantità od intensità. Questa grandezza viene generalmente indicata come tempo di ricorrenza.
- La frequenza indica anche il numero di eventi in un certo intervallo di tempo (decade, mese, anno), indipendentemente dalla sua durata od intensità.
- Il numero di giorni piovosi è un'informazione assai utile per l'effettuazione delle operazioni colturali e può servire per il dimensionamento del parco macchine.
- Generalmente l'attività agricola è favorita quando le piogge sono più frequenti e meglio distribuite durante l'arco dell'anno.

Località	Latitudine	Inverno (D-G-F)	Primavera (M-A-M)	Estate (G-L-A)	Autunno (S-O-N)	Totale annuo	Tipo di clima
Mosca (URSS)	56° N	91	116	196	131	534	Temperato contin.
Parigi (Francia)	49° N	111	137	171	155	574	Temperato
Milano (Italia)	45° N	193	253	236	321	1003	Temperato
Roma (Italia)	42° N	223	184	82	290	779	Mediterraneo
Palermo (Italia)	38° N	287	175	33	250	745	Mediterraneo
Tripoli (Libia)	33° N	208	40	2	112	362	Mediterraneo
Agades (Nigeria)	16° N	0	8	124	13	145	Desertico
Bamako (Mali)	12° N	12	79	701	295	1075	Di savana
Douala (Camerun)	4° N	172	717	2019	1316	4314	Equatoriale
Baidoa (Somalia)	3° N	21	292	38	234	585	Equator. (bimodale)

Distribuzione stagionale delle precipitazioni

La pioggia utile

La determinazione della pioggia utile presenta numerose difficoltà legate al fatto che l'efficacia dell'evento piovoso varia in funzione:

- della quantità di acqua precipitata
- della sua intensità
- delle caratteristiche del terreno

Rappresenta la quantità di acqua che il terreno è in grado di assorbire a seguito di un evento piovoso.

La misura

- La pioggia viene misurata in millimetri, che esprimono lo spessore che raggiungerebbe l'acqua caduta se si depositasse su di una superficie piana, impermeabile e senza evaporazione.
- Si ottiene quindi una misura unidimensionale, non riferita a nessuna unità di superficie.
- Da ricordare che:

1 mm di pioggia corrisponde a 1 l m^{-2} ed a $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

Pluviometro

- Il contenitore può avere dimensioni variabili
- Il sistema di raccolta è simile a quello del pluviografo
- Il sensore è un piccolo interruttore magnetico che a ogni movimento delle vaschette invia un impulso al sistema di acquisizione



La grandine

- La grandine è considerata una idrometeora estremamente dannosa. Apporta infatti pochissima acqua al terreno, provocando al contempo ingenti danni a seguito dell'impatto del chicco con la vegetazione.
- È particolarmente frequente nei mesi primaverili estivi, quando può compromettere completamente la produzione.
- È il risultato della condensazione di acqua negli elevati strati dell'atmosfera con temperature di molti gradi sotto lo zero, attorno a nuclei di condensazione generalmente costituiti da pulviscolo atmosferico. Ogni granulo può permettere la formazione di un chicco di grandine che sotto l'azione della forza di gravità cade al suolo.
- Un elevato numero di nuclei permette la formazione di molti chicchi di piccole dimensioni che non determinano danni alla vegetazione

Reti antigrandine usate in frutticoltura



Evapotraspirazione

- L'evaporazione consiste nel passaggio dell'acqua dallo stato liquido allo stato di vapore. In natura l'entità di tale fenomeno dipende dalle condizioni fisiche dell'ambiente (radiazione, temperatura, umidità, vento) e dalla disponibilità d'acqua, che può essere a "pelo libero" (mari, laghi, fiumi ecc.) o trattenuta in mezzo poroso (terreno e superfici varie).
- La traspirazione consiste nel passaggio dell'acqua contenuta negli organismi (piante ed animali) dallo stato liquido allo stato di vapore. Tale processo è regolato sia dalle condizioni dell'atmosfera sia da una serie di meccanismi biologici (apertura-chiusura di stomi, pori cutanei, etc.) che tendono a mantenere gli organismi nelle condizioni migliori di idratazione.
- L'evapotraspirazione (ET) è l'effetto cumulato dell'evaporazione dalla superficie bagnata, terreno e foglie, e della traspirazione d'acqua dalle piante presenti su tale terreno.
- Sia l'evaporazione che la traspirazione sono funzione della quantità d'energia che arriva alla superficie (radiazione solare), delle condizioni dell'atmosfera (temperatura, umidità dell'aria, vento) e della disponibilità d'acqua. L'ET segue l'andamento della radiazione solare e della temperatura, sia nel corso del giorno che durante l'arco dell'anno.
- L'evapotraspirazione è una componente essenziale del bilancio idrico e viene utilizzata in combinazione con le precipitazioni per la programmazione dell'irrigazione delle colture agrarie. A livello di bacino l'ET è impiegata per calcolare la perdita d'acqua, per stimare le portate dei corsi d'acqua, per la progettazione dei bacini artificiali. Nei modelli di produzione delle colture agrarie è impiegata come elemento di base per il calcolo dei rendimenti.
- Quando ci si riferisce ad una superficie coperta da una coltura od in genere da vegetazione sarebbe estremamente difficile distinguere le due componenti ed il fenomeno viene considerato nel suo insieme. Si utilizza quindi il calcolo della **ET_o**.

Evapotraspirazione di riferimento

L'evapotraspirazione di riferimento (ET_o) rappresenta la quantità d'acqua dispersa nell'atmosfera da una superficie di riferimento (prato di Festuca arundinacea), quando l'acqua non costituisce un fattore limitante. Ne consegue che le sole variabili guida sono quelle atmosferiche.

Per la stima della ET_o possono essere applicate numerose formule a partire dai dati meteorologici di comune reperibilità. Tali formule possono avere sia carattere empirico, che essere basate sul processo fisico della evapotraspirazione.

Metodo	T	UR	VV	ER	Rg	E _{pan}	Meteo
Hargreaves	*				+		
Banley-Cridle	*	+	+	+			+
Evaporimento		+	+			*	*
Penman-Monteith	*	*	*	*	*		+

Legenda: * = sono necessari dati misurati; + = è sufficiente una stima dei dati misurati. T = temperatura dell'aria (°C); UR = umidità relativa (%); VV = velocità del vento (m s⁻¹); ER = eliofanìa relativa (numero di ore di Sole brillante rispetto alle ore di luce); Rg = radiazione globale (W m⁻²); E_{pan} = quantità di acqua evaporata dall'evaporimetro di classe A (mm d⁻¹); Meteo = stima delle condizioni climatiche del luogo.

Per adattare i valori della ET_o alla coltura di interesse, si applicano i coefficienti colturali (Kc) che variano in funzione della fase fenologica e della specie coltivata, e che permettono il calcolo della evapotraspirazione di riferimento della coltura (ETc)

$$ETc = ET_o \times Kc$$

L'obiettivo dell'irrigazione è quindi quello di apportare acqua affinché i valori di ETc soddisfino i fabbisogni evapotraspirativi, evitando così alla coltura di incorrere in periodi di stress idrico: **rendere uguali i valori di ETc e ETR (evapotraspirazione reale)**

Valori di Kc

- **Stadio iniziale:** comprende la geminazione, l'emergenza ed il primo sviluppo fogliare, con il terreno quasi del tutto scoperto di vegetazione (0.3).

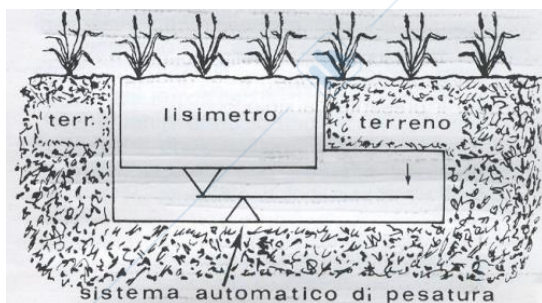
- **Stadio di copertura:** il rapido sviluppo fogliare porta al ricoprimento quasi completo del terreno (fra 0.3 ed 1).
- **Stadio di pieno sviluppo:** la copertura vegetale è al suo massimo (>1).
- **Stadio di maturazione:** inizia con la formazione dei semi e dei frutti e con la senescenza del fogliame e progredisce fino alla maturazione piena (fra 1 e 0.3- 0.5).

Valori di ETo

	Mesi invernali	Mesi estivi	Totale anno		
	mm al mese	mm al giorno	mm al mese	mm al giorno	
Regione temperata	0	0	120	4	500-700
Regione mediterranea	20	0,7	150-170	5-6	1000-1200
Deserti tropicali	150	5	200-350	7-12	2500-3000
Regione semiarida	50-240	5-8	150-180	5-6	2000-2500
Regione equatoriale umida	100	3	120-130	4-4,5	1200-1400

La misura

- Evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione si misurano su base oraria (mm h^{-1}) o su base giornaliera (mm d^{-1}).
- Oltre alla stima della Etc con il metodo precedente descritto, è possibile misurare l'ETR con il lisimetro. Questo viene fatto solo per scopi di ricerca, vista la complessità dello strumento.



Vento

- Il vento è prodotto dallo spostamento di una massa d'aria. Tale spostamento è determinato, sia alla scala della circolazione generale dell'atmosfera sia a scala locale, da differenze di pressione dell'atmosfera, che componendosi con il moto terrestre e con l'attrito delle superfici danno luogo al vento.
- Il vento è una componente importante dei fenomeni meteorologici e la sua distribuzione nel corso dell'anno segue degli schemi relativamente ripetitivi, che rappresentano la circolazione generale dell'atmosfera.
- Nei riepiloghi giornalieri, il vento è indicato mediante il valore medio della velocità (m s^{-1}) o come vento sfilato (km), corrispondente alla distanza che avrebbe percorso nel giorno una massa d'aria avente uguale velocità.
- Importante anche la conoscenza della direzione di provenienza, che può essere espressa in termini di frequenza, considerando ad esempio una misura ogni tre ore (8 misure il giorno). In questo caso la misura viene espressa in gradi in base al quadrante di provenienza (N, NE, SO).

Rapporti con le colture

- I principali effetti sulle colture sono: aumento della evapotraspirazione, aumento del ricambio della CO_2 , impollinazione e disseminazione, alterazioni morfologiche, allettamento, stroncamento e sradicamento, trasporto di sali, abrasione. Importante anche il ruolo nella erosione eolica.
- Per la difesa dal vento si utilizzano i frangivento che hanno lo scopo di proteggere interi appezzamenti o comprensori intercettando le masse d'aria e deviandole verso l'alto

La misura

- Il vento è descritto da due componenti: l'**intensità**, che si misura in metri al **secondo** o in **nodi** (1 nodo=0.514 m s⁻¹) e la **direzione**, che si esprime in **gradi** ed indica la direzione di provenienza, posto il nord geografico uguale a zero e il sud pari a 180°. Per indicare la direzione del vento si usa quella di provenienza delle masse d'aria.
- L'intensità del vento si misura con l'anemometro e la direzione con il gonioanemometro (anemoscopio o banderuola)

Rappresentazione polare del vento

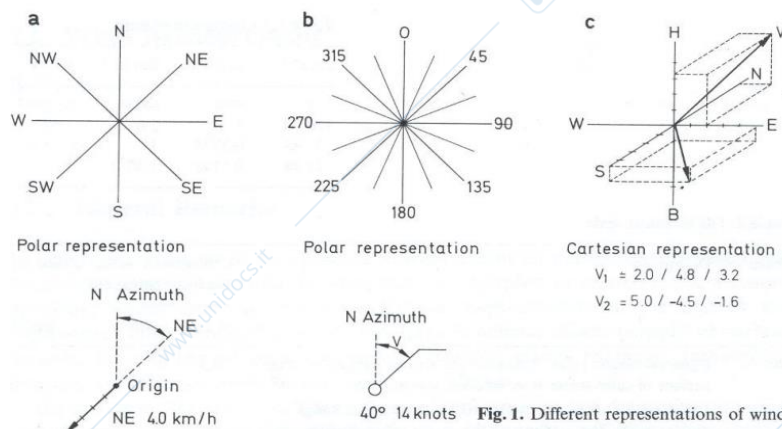


Fig. 1. Different representations of wind

Force	Definition	Conversion scale (mean of the force category)		
		m s ⁻¹	km h ⁻¹	knots
0	Calm or almost calm. Smoke rises almost vertically. The surface of calm water is as smooth as a mirror	0.5	1	1
1	Light air. Its direction is shown by the smoke. Flags are almost still. The surface of the water shows occasional ripples	1.0	3	2
2	Light breeze. It is felt on the face and moves the leaves on the trees. Flags are half-flying. The surface of the water shows many ripples (wavelets)	2.6	9	5
3	Gentle breeze. It constantly shakes leaves and small twigs. Flags are three-fourths flying. The surface of the water shows small waves	4.6	17	9
4	Moderate breeze. Dust and light debris billow. Small branches and bare twigs are shaken. Flags are fully extended. On the water, the waves rise and, on large lakes, show occasional whitecaps	6.7	24	13
5	Fresh breeze. Bushes, leaves, and large bare branches begin to oscillate. Flags snap. The waves form white caps in places, more noticeably on large lakes than on small ones	9.3	33	18
6	Strong breeze. Large branches oscillate. Telephone wires ring. The wind blows around buildings and obstacles. The waves often foam and form some spindrift when breaking; on small lakes, the white-crested waves are more rare	12.4	45	24
7	Moderate gale. The trees bend. Walking into the wind is difficult. On large lakes, the waves break into foam and in places the crests form spindrifts in lines parallel to the wind	15.5	56	30
8	Fresh gale. Small branches and twigs break. Walking is difficult. The spindrifts become more numerous and denser; they are less pronounced on small lakes	19.0	68	37
9	Strong gale. Large bare branches break. Buildings are damaged (tiles and chimney tops are torn away). The lakes are striated with spindrift; visibility on the water is slightly reduced in places	22.4	81	44
10	Whole gale. Whole trees are broken or uprooted. Serious damage to buildings. The surface of large lakes whitens as a result of widespread spindrift; visibility is reduced	26.8	96	52
11	Storm. Much destruction. This intensity is very rare inland	30.9	111	60
12	Hurricane. General devastation	>33.0	>115	>63

Scala di Beaufort

La velocità del vento - anemometro

- Si basa sulla rotazione di coppe o eliche che raggiungono l'equilibrio cinetico con l'aria circostante
- Può essere costruito in alluminio o in plastica
- Possono essere a coppe o a mulinello

La direzione del vento - Gonioanemometro o Anemoscopio

- È costituito da un sensore che viene orientato nella direzione in cui si muove la massa d'aria e da un sistema di trasduzione
- Il sensore è costituito da una banderuola, di varia foggia, ad asse di rotazione verticale

Misure protettive

- Aumentare la scabrezza delle superfici creando zollosità e solchi
- Assicurare la copertura del terreno con opportune rotazioni colturali e/o lasciando i residui in superficie
- Dare ai campi larghezza e orientamento dettati dal regime dominante
- Creare barriere frangivento o comunque interrompere la continuità dei campi con filari e strisce protettive

I frangivento

L'efficienza dipende dalla loro densità. Devono essere abbastanza porosi (circa il 30-40 % di apertura nella massa) per avere una equilibrata ripartizione del vento che attraversa e che scavalca il frangivento stesso. Se sono troppo densi tutto il vento li scavalca, determinando oltre barriera una zona di bassa pressione che dà luogo a turbolenza riducendo la zona protetta.

È molto importante la struttura del frangivento, che deve prevedere una serie di file di dimensioni progressivamente crescenti nella parte sopravvento ed una o due fasce di altezza decrescente nella parte sottovento. Il vento deve quindi essere gradualmente accompagnato a superare l'ostacolo.

Per ottenere questo è necessario integrare arbusti ed alberi, ed utilizzare forme diverse di allevamento (ceduo ed alto fusto).

Caratteristiche e specie dei frangivento

- Essere sempreverde, in modo da esercitare la sua protezione anche nei mesi invernali
- Essere a rapida crescita, rustico, adattabile, resistente alla salsedine
- Avere apparato radicale robusto ma non molto espanso, per ridurre la competizione con le colture e resistere allo sradicamento operato dal vento.

Nei climi litoranei si fa largo ricorso ad eucalipto e cipresso. Si può ricorrere ad arbusti come canna comune, tuia, etc.

Nelle fasce tropicali sono utilizzate l'eucalipto, l'acacia.

Nelle zone settentrionali si utilizzano cedro, olmo, pioppo, ontano, platano che sono però caducifoglie.

Nelle zone del sud è possibile utilizzare, per limitate estensioni, siepi di fico d'india, ginepro, ligustro, tamerici.

Vantaggi e svantaggi dei frangivento

Vantaggi:

- Riduzione od eliminazione dei danni prodotti dal vento
- Riduzione della ETP, con minori situazioni di stress idrico per le colture. Riduzione quindi dei consumi idrici. Tali effetti benefici sul microclima si hanno anche in zone dove la velocità del vento non è così particolarmente elevata da provocare danni

Svantaggi:

- Sottrazione di superficie alle colture
- Ombreggiamenti
- Competizione radicale per acqua ed elementi minerali
- Maggiore pericolo di brinate