



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E AMBIENTALI
PRODUZIONE, TERRITORIO, AGROENERGIA

Corso di Agronomia

a.a. 2013-2014 secondo semestre

Prof. Marco Acutis

Informazioni generali

Docente: Marco Acutis

Prof. ord. Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

Attività di ricerca:

Sistemi colturali, modellistica, impatto ambientale dei sistemi colturali

- *uff.*: 02 50316596

- cell. 348 8401237 (da usare senza problemi nel caso di non risposta dal telefono dell'ufficio, ma non il sabato e domenica, e tra 8:30 e le 19:30)

- *email*: marco.acutis@unimi.it

- *ricevimento*: sempre su appuntamento, basta concordare data e ora per mail o telefono.



Informazioni generali

Assegnisti:

Dott.ssa Alessia Perego, Dott. Mattia Fumagalli, Dott. Mattia Sanna, Dott. Marcello Ermido Chiodini, Dott. Lodovico Alfieri.
Dott. Andrea Giussani

- *uff.:* 02 50316591 - 0250316611/2

- *email:* nome.cognome@unimi.it (^a marcello.chiodini@unimi.it)



Obiettivi formativi:

Acquisire una visione integrata degli elementi che concorrono alla gestione delle coltivazioni e al loro inserimento in sistemi colturali*. Messa a punto, gestione e valutazione di sistemi colturali in termini di produttività, di sostenibilità e di controllo dell'impatto ambientale.

* **Il sistema colturale**

Un insieme di elementi di natura agronomica (colture e tecniche), in interazione dinamica, condizionati nel loro comportamento dai fattori ambientali (pedo-clima) e dalle scelte gestionali, che determinano i risultati del processo produttivo (Toderi et al., 2002)



Competenze acquisibili:

Conoscenze delle tecniche colturali e dei loro effetti sulla produttività e sull'ambiente.

Conoscenze sulla gestione dei sistemi colturali in relazione all'ambiente pedoclimatico.

Preparazione di concimazione e conoscenza delle relative modalità pratiche di attuazione.



Esami:

- prenotazione **esclusivamente attraverso servizio SIFA**
- Svolgimento nello stesso giorno di:
 - ✓ di una prova scritta (domande a risposta aperta)
 - ✓ di una prova pratica (redazione di un piano di concimazione)
 - ✓ di una prova orale.
 - ✓ Pensiamo se fare una prova intermedia a quiz, secondo me alleggerisce
 - ✓ l'esame finale essendo un corso da 8 CFU
- Appelli: 2/3 in giugno, luglio; 2 in settembre
- Venerdì 16 maggio 2014 si svolgerà la visita esterna a una azienda agricola
- **vietato** l'uso del telefonino: PORTARE CALCOLATRICE
- richiesta la normale serietà moralmente: **non si copia, non si parla**
- se queste regole non saranno rispettate saranno presi i dovuti provvedimenti:
 - ✓ Richiamo dello studente
 - ✓ Ritiro materiale in possesso
 - ✓ Ritiro della prova ed esclusione dalla stessa per l'appello in questione



ALCUNE BASI DI ECOLOGIA



Definizione di Ecologia

Il termine fu coniato dal biologo tedesco Ernst Haeckel nel 1866 (dal greco οἶκος = casa e λογος = studio) "l'Ecologia è lo studio dell'economia della natura e delle relazioni degli animali con l'ambiente inorganico e organico, soprattutto dei rapporti favorevoli e sfavorevoli, diretti o indiretti con le piante e con gli animali; in una parola, tutta quell'intricata serie di rapporti ai quali Darwin si è riferito parlando di condizioni della lotta per l'esistenza".

Andrewartha (1961): "lo studio scientifico della distribuzione e dell'abbondanza degli organismi"

Slobodkin: "l'ecologia, in termini generali, si occupa dell'interazione tra gli organismi e il loro ambiente nel più ampio senso possibile".



Definizione di Ecologia (segue)

Krebs (1972): “Ecologia è lo studio scientifico delle interazioni che determinano la distribuzione e l'abbondanza degli organismi”.

Chapman e Reiss 1992: “studio degli organismi in relazione all'ambiente in cui vivono”

Odum, 1996: “studio del sistema terrestre per il sostentamento della vita”

key words: componente vivente, componente non vivente, interazioni

definizione didattica:

Scienza che studia le condizioni di esistenza degli organismi viventi, le interazioni tra organismi e ambiente fisico e tra organismi ed organismi



Ruolo dell'ecologia

L'ecologia ci fornisce gli elementi per la costruzione del quadro d'assieme generale

Il degrado della situazione ambientale (es: CO₂, O₃, erosione ecc.) ci obbliga a riconsiderare il ruolo della specie umana.

Tutti i fenomeni di valenza globale sono strettamente correlati

Solo nell'ambito di un quadro generale sono possibili strategie e interventi ambientali efficaci e equilibrati



I livelli di organizzazione biologica

Molecole

Cellule

Tessuti

Organi

Organismi (individui)

Di interesse per l'ecologia

Popolazioni

Comunità/Ecosistemi

Biomi

Biosfera



I livelli di organizzazione biologica

Popolazione:

- ✓ *è un gruppo di organismi appartenenti alla stessa specie,*
- ✓ *che occupano uno spazio determinato,*
- ✓ *interagiscono fra loro e sono in grado di incrociarsi liberamente (possiedono un patrimonio genetico comune),*
- ✓ *condividono uno stesso ruolo funzionale,*
- ✓ *reagiscono in modo simile allo stimolo dei fattori ambientali,*
- ✓ *sistema biologico dotato di propri meccanismi di controllo.*

Comunità:

è l'insieme degli organismi che condividono uno stesso ecosistema



I livelli di organizzazione biologica

Ecosistema

è una porzione di biosfera delimitata naturalmente, in cui organismi animali e vegetali interagiscono tra loro e con l'ambiente che li circonda (biotopo)

Biocenosi

la comunità delle specie di un ecosistema che vive in un determinato ambiente (biotopo)

Biotopo

area di limitate dimensioni (es. stagno, torbiera) di un ambiente dove vivono organismi vegetali ed animali di una stessa specie o di specie diverse



I livelli di organizzazione biologica

Habitat

rappresenta il luogo fisico in cui vive una specie all'interno dell'ecosistema

Nicchia ecologica

rappresenta il ruolo della specie all'interno dell'ecosistema

Bioma

complesso degli ecosistemi di una particolare area geografica del pianeta, definiti in base al tipo di vegetazione dominante (es tundra, savana, foresta decidua)

Biosfera

zone della Terra in cui le condizioni consentono lo sviluppo degli ecosistemi



Livelli di studio

AUTOECOLOGIA: *si occupa dell'organismo individuale; studia le interazioni tra una specie e fattori ambientali dell'habitat in cui vive;*

DEMOECOLOGIA: *studia le relazioni fra i membri di una popolazione cioè di individui appartenenti alla stessa specie;*

SINECOLOGIA: *studio delle relazioni ecologiche di una comunità, quindi le popolazioni che vivono nell'ambito di uno stesso biotopo*

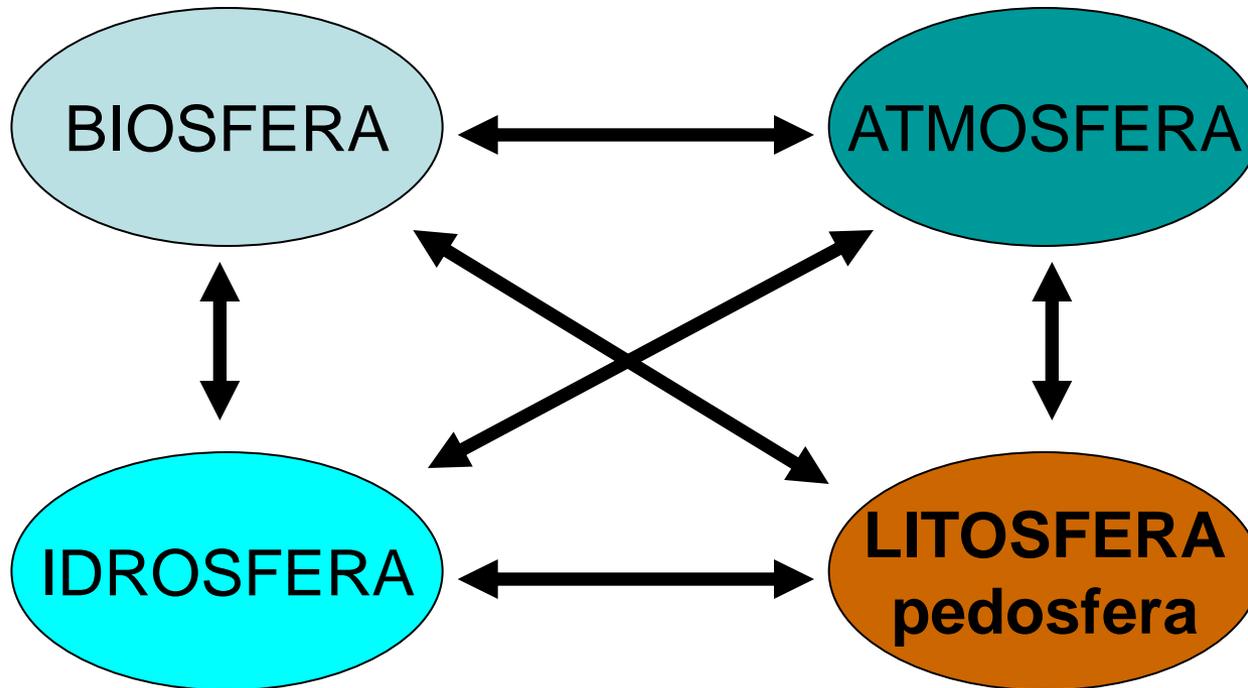


Ecosistema

Unità spazialmente individuabile che include:

- tutti gli organismi viventi
- tutte le componenti fisiche e chimiche

e considera tutte le interazioni tra essi e il livello di organizzazione autonoma.



Ecosistema

IDROSFERA: parte di crosta terrestre occupata dall'acqua. Ne fanno quindi parte gli oceani, i mari, i fiumi, i laghi, i ghiacciai e le acque sotterranee. Il 94% dell'idrosfera è costituito da acqua salata. Il restante 6% è costituito da: acqua sotterranea (circa il 4,3%), ghiaccio - sotto forma di calotte polari e ghiacciai (circa l'1,7%), laghi, fiumi e acqua dispersa nell'atmosfera (0,03%). L'acqua circola continuamente: dal suolo, dagli oceani e dai mari evapora e sale nell'atmosfera.

ATMOSFERA: è composta prevalentemente da azoto (78%) e da ossigeno (21%), con piccole percentuali di argo (0,9%), anidride carbonica e altri gas. Questo particolare miscuglio di gas costituisce l'aria. L'atmosfera costituisce un sistema dinamico molto complesso: movimenti e spostamenti sono responsabili dei diversi climi e del tempo meteorologico, delle perturbazioni e dei venti.

LITOSFERA: è l'involucro rigido della Terra. E' costituita per lo più da rocce, ha uno spessore medio di un centinaio di chilometri ed è composta dalla crosta e dalla parte superiore, solida, del mantello .

BIOSFERA Parte del pianeta Terra in cui sono presenti gli organismi viventi, ovvero in cui si trovano le condizioni fisico-chimiche che rendono possibile la vita. Comprende una parte della litosfera (la superficie terrestre e il sottosuolo fino a poche decine di metri di profondità), la idrosfera (le acque continentali, i mari e gli oceani, comprese le fosse oceaniche che si considerano il limite inferiore della biosfera) e i primi strati dell'atmosfera (fino a circa 10 km di altezza, valore che si considera il limite superiore).



Ecosistema naturale - Agrosistema

Ecosistema naturale

= 0 ≠

Agroecosistema



Ecosistema naturale e Agrosistema

Ecosistema naturale:

- ecosistemi che si sviluppano in maniera naturale, e che da soli raggiungono il loro equilibrio ecologico, definito climax.

Agroecosistema:

- ecosistemi il cui sviluppo, seppur basato sulle regole generali degli ecosistemi naturali, presentano un imprescindibile e elevato controllo antropico che risulta finalizzate alla produzione di materia che sarà allontanata, in quantità parziale o totale, dallo stesso



Ecosistema naturale - Agrosistema: Analogie

- entrambi localizzati in un biotopo (ambiente fisico) contraddistinto da un insieme di fattori ambientali di natura non biotica (suolo, clima, idrologia)
- comprendono una biocenosi articolata secondo il modello delle piramidi alimentari (più livelli trofici)
- caratterizzati da un certo grado di biodiversità.
- flusso energetico principale in ingresso: radiazione solare
- flusso di energia e materia che genera, attraverso scambi trofici, una più o meno complessa rete alimentare.



Ecosistema naturale – Agrosistema: **Analogie**

- tendono ad evolversi in una successione ecologica consente la genesi di equilibri che consentono, al loro interno, la conversione della disponibilità energetica in biomassa, in funzione alle condizioni climatiche e pedologiche.
- salvo alcune e ormai rare eccezioni, sono soggetti ad interferenze dirette o indirette da parte dell'uomo.



Ecosistema naturale – Agrosistema: Differenze

- grado d'interferenza del fattore antropico (il controllo della composizione della biocenosi, dei fattori fisici ambientali, del flusso di energia e materia)
- specializzazione e biodiversità:
 - ✓ *Ecosistema naturale*: minor grado di specializzazione e un maggior grado di biodiversità
 - ✓ *Agroecosistema*: maggior grado di specializzazione e un minor grado di biodiversità
- fattori della produzione



Biodiversità

DEFINIZIONI:

- La variabilità di ogni tipo tra organismi viventi (IUCN, 1994);
- La variabilità spaziale e temporale delle strutture e delle funzioni dei sistemi viventi (Gaston, 1996);
- Biodiversità o diversità biologica: **“La variabilità degli organismi viventi di ogni origine, compresi inter alia* gli ecosistemi terrestri, marini ed altri ecosistemi acquatici e i complessi ecologici di cui fanno parte; ciò include la diversità nell’ambito delle specie e tra le specie e la diversità degli ecosistemi”** (CBD, *Convention on Biological Diversity, art. 2*).

* tra l’altro



2010 Anno Internazionale della Biodiversità

Ad oggi sono state classificate 1.600.000 specie di esseri viventi sulla Terra. Si stima che ve ne siano più di 5.000.000 ancora da scoprire.



Biodiversità

Importanza della Biodiversità

La biodiversità rappresenta la fonte principale di beni e risorse su cui si basa il nostro vivere quotidiano.

Indica una misura della varietà di specie animali e vegetali presenti nella biosfera.

È il risultato di lunghi processi evolutivi che hanno permesso alla vita di adattarsi alle diverse condizioni presenti sulla terra e che consente nel futuro di ospitare forme di vita sulla terra.

Alcuni esempi:

- è la condizione indispensabile nel miglioramento genetico sia in campo animale sia vegetale;
- si possono ottenere produzioni vegetali (esempio la vite) con specifiche caratteristiche in condizioni molto diverse;
- le diverse caratteristiche biologiche degli alberi consentono di destinare a usi diversi secondo la tipologia di legno che si ricava.



Biodiversità

Importanza della Biodiversità

Fonti autorevoli indicano la perdita di Biodiversità come il secondo pericolo per gli ecosistemi in ordine di importanza dopo i cambiamenti climatici e prima dell'inquinamento da azoto reattivo. (Giles, 2005)



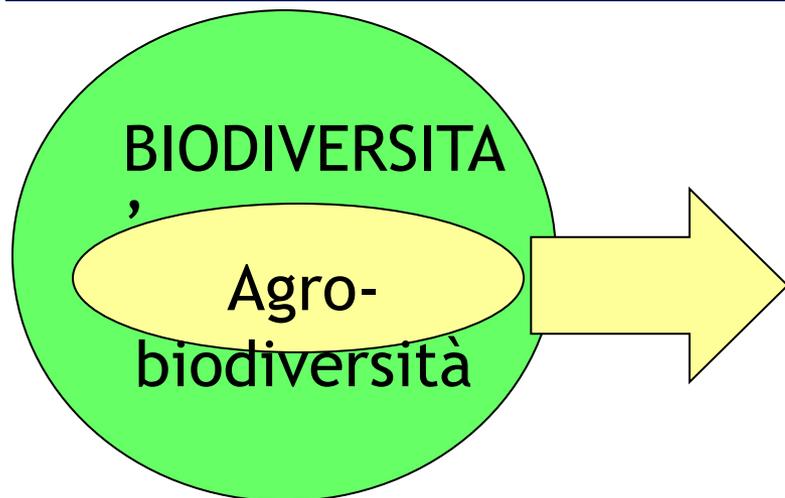
Agro-biodiversità

Secondo la FAO (1999):

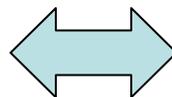
“L’agro-biodiversità comprende la varietà e variabilità di animali, piante e microrganismi che sono importanti per il cibo e l’agricoltura e che sono il risultato delle interazioni tra l’ambiente, le risorse genetiche e i sistemi di gestione e le pratiche usate dagli uomini”



Agro-biodiversità



- Diversi agroecosistemi
- Colture, specie e varietà
- Varietà e cultivar antiche
- Animali allevati
- Specie selvatiche
- Variabilità genetica di piante e animali
- M.O. nel suolo
- Agenti naturali di controllo dei patogeni



Agrosistema: caratteristiche

Gli agroecosistemi differiscono da quelli naturali per l'azione dell'uomo:

- **riduzione della complessità** biologica: solo le specie coltivate sono volute
- somministrazione di **input energetici**
- asportazione di biomassa (**output energetici**)
- **miglioramento** produttivo delle parti di pianta utili (genetica)
- **perturbazioni** (lavorazioni, irrigazione, fertilizzazioni, sistemazioni idrauliche)

Agronomia:

insieme delle tecniche che hanno lo scopo di **MIGLIORARE** la produttività primaria alterando il meno possibile l'ambiente produttivo



Agrosistema: caratteristiche

Imperativo:

lasciare alle generazioni successive un ambiente non compromesso

Obbiettivi tecnici:

- garantire il reddito agli operatori
- evitare eccessi di concimazioni
- contenere la desertificazione
- evitare erosione
- impiego razionale mezzi chimici
- evitare l'impiego errato di acque salse



Agroecosistema

Variabili guida

Clima

- radiazione
- temperatura
- precipitazioni

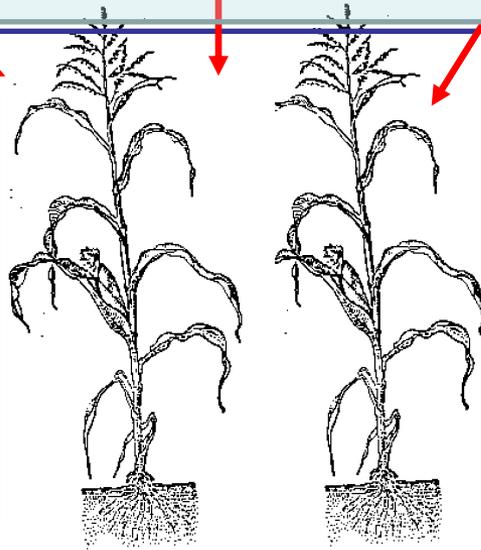
Atmosfera

- Composizione
- Inquinamento

Aspetti economici e sociali

Ambiente biologico

- infestanti
- microbiologia del suolo
- crittogame
- animali



Interventi agronomici

- Scelte organizzative
- lavorazioni
- irrigazione
- diserbo
- difesa fitosanitaria

Pianta

- genotipo
- produttività
- Adattabilità all'ambiente

Suolo

- caratteristiche fisiche e chimiche
- Acqua
- aria
- elementi chimici e loro dinamica
- temperatura

OUTPUT

- SO (prodotti e flussi economici)
- CO₂ (suolo e piante)
- NH₃ (volatilizzazione)
- CH₄ (atmosfera)
- NO₃ (lisciviazione e ruscellamento)
- NO_x (in atmosfera)
- N₂O (in atmosfera)
- Agrofarmaci (in falda e atmosfera)
- Erosione (ruscellamento)
- P (erosione e ruscellamento)
- Paesaggio fruibilità



Agrosistema – Variabili guida

variabili guida: sono quelle variabili che influenzano il sistema senza esserne influenzate (es: vari parametri meteorologici quali le precipitazioni o la radiazione solare).

Clima

- radiazione
- temperatura
- precipitazioni

Atmosfera

- Composizione
- Inquinamento

Aspetti economici e
sociali

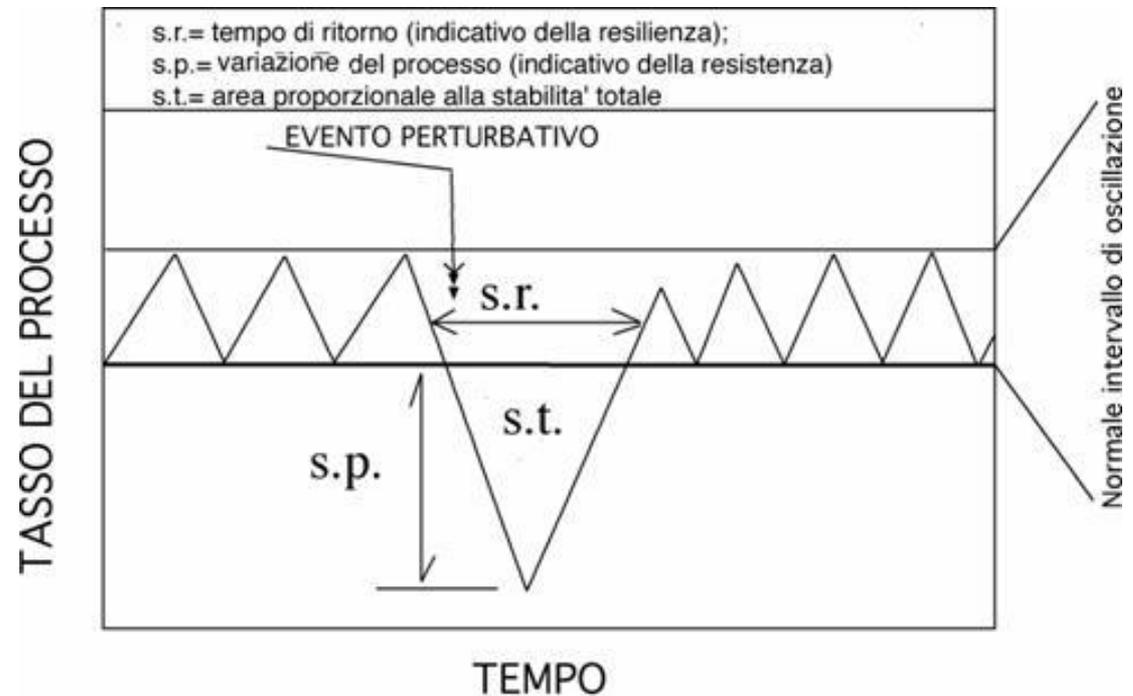


Resilienza e Resistenza

La resilienza descrive la velocità con la quale un ecosistema ritorna nella condizione precedente ad un evento che lo ha perturbato.

La resistenza descrive, invece, l'abilità del sistema di evitare spostamenti dalla propria condizione

La perdita di biodiversità fa diminuire la resilienza degli ecosistemi (omosuccessioni)

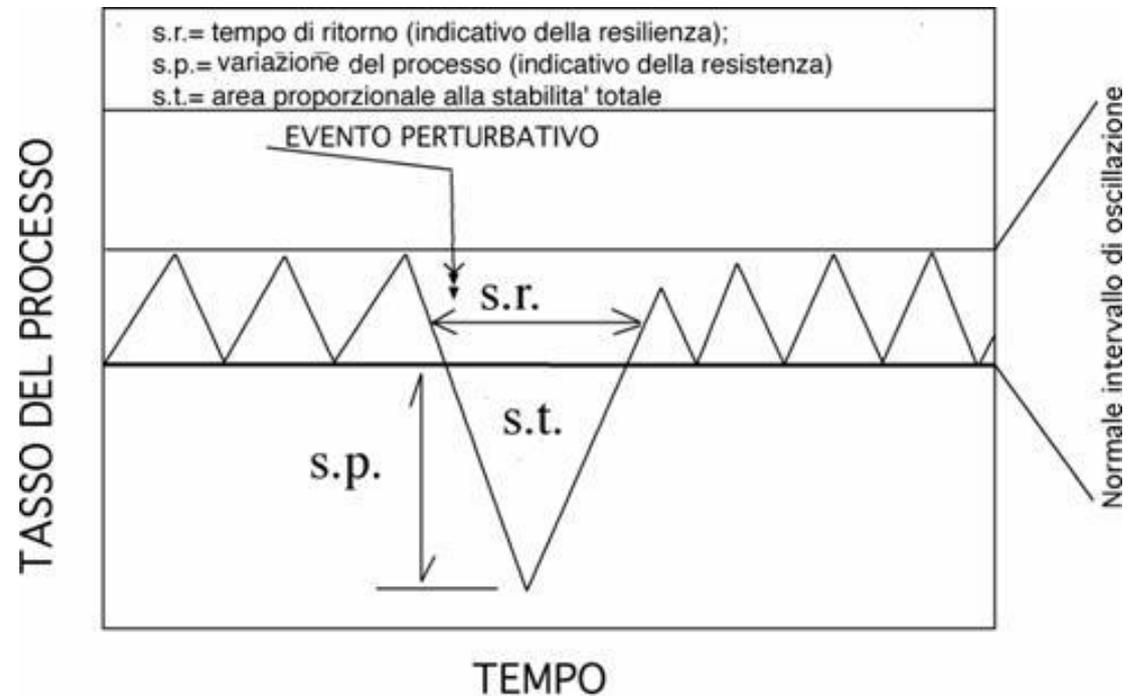


Resilienza e Resistenza

La resilienza descrive la velocità con la quale un ecosistema ritorna nella condizione precedente ad un evento che lo ha perturbato.

La resistenza descrive, invece, l'abilità del sistema di evitare spostamenti dalla propria condizione

La perdita di biodiversità fa diminuire la resilienza degli ecosistemi (omosuccessioni)



L'ATMOSFERA



Atmosfera: cos'è?

- è l'involucro di gas che riveste il pianeta in cui viviamo,
- possiede struttura complessa,
- è divisa in più strati, sfere, che in ordine di altezza sono:
 - ✓ troposfera,
 - ✓ stratosfera,
 - ✓ mesosfera,
 - ✓ termosfera,
 - ✓ ionosfera,
 - ✓ esosfera.

Tra due sfere si trova una superficie di discontinuità, avente suffisso "***pausa***".



Atmosfera: composizione

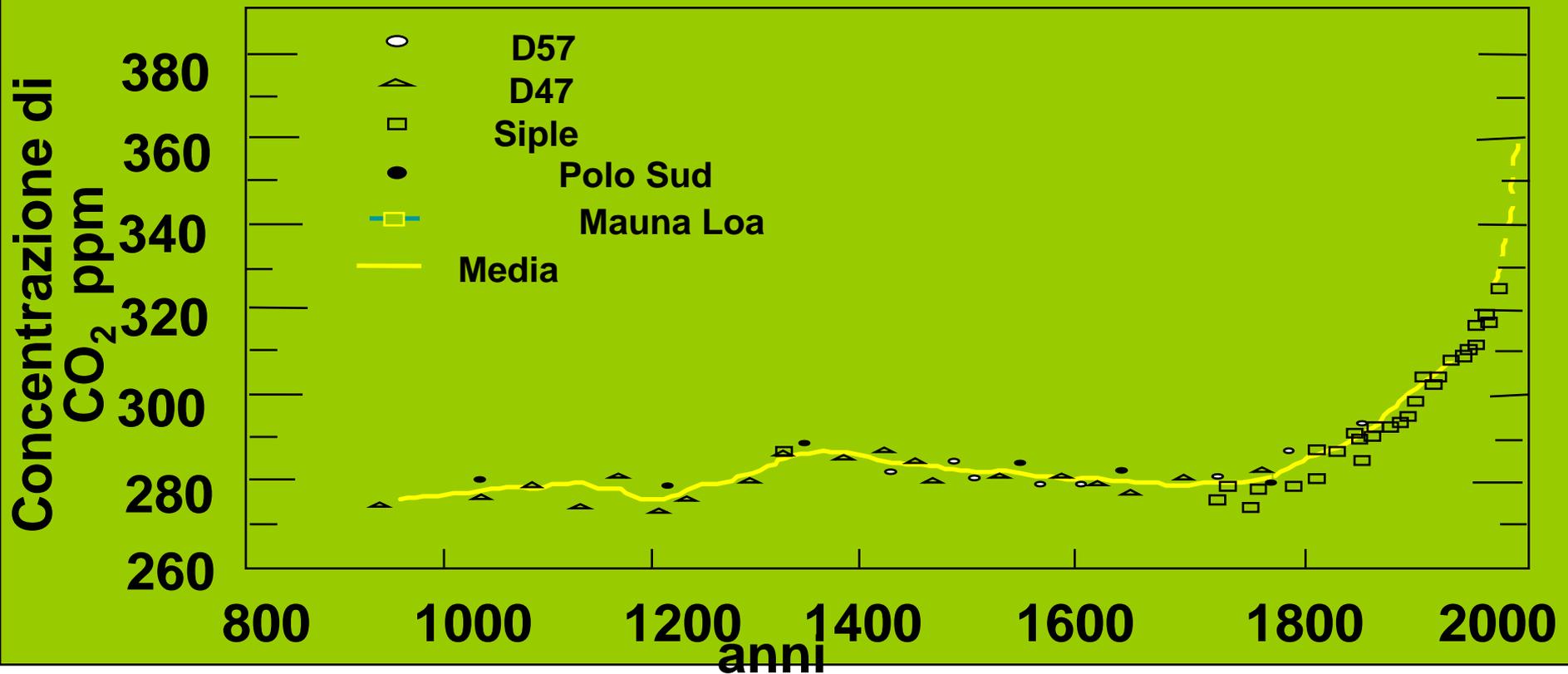
1. Per i 4/5 l'atmosfera è costituita da Azoto (78.80%) e per il restante quinto da Ossigeno (20.95%);
2. altri gas (Argon, Xenon, Neon, Kripton, Idrogeno ed Elio) sono presenti in quantità trascurabili ma più o meno costanti entro i primi 90 km di altitudine;
3. oltre a questi ultimi gas, altri sono presenti in tracce ed in concentrazioni variabili in funzione dell'altitudine, del periodo dell'anno e delle condizioni climatiche: anidride solforosa (SO_2), monossido di carbonio (CO), metano (CH_4) ma soprattutto anidride carbonica (CO_2), vapor acqueo (H_2O), ozono (O_3).



Anidride carbonica (CO₂):

1. deriva da un bilancio che vede alla voce attiva la combustione del carbonio (fuoco, combustibili fossili, respirazione degli organismi viventi) ed alla voce passiva l'organicazione da parte dei vegetali (studiato successivamente) ;
2. è presente negli strati più bassi dell'atmosfera;
3. la sua concentrazione negli strati più bassi dipende prevalentemente dall'attività degli organismi vegetali ed animali
 - a) alle nostre latitudini è maggiore d'inverno e minore d'estate (organismi che respirano a fronte di minore fotosintesi)
 - b) più alta di notte e più bassa di giorno; (di notte le piante respirano, ma non fotosintetizzano)





Andamento delle concentrazioni di CO₂ negli ultimi 1000 anni
 Nel 2001 = 360 ppm (aumento dell'1-2% all'anno)

ALLE NOSTRE LATITUDINI

500 ppm di notte, 200 ppm di giorno ÷ 400 ppm in inverno, 300 ppm in estate



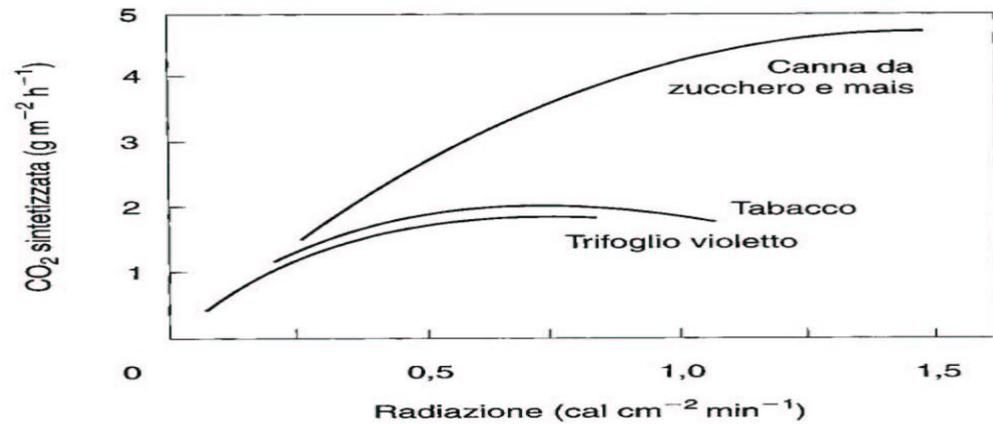


Fig. 2.4 Assorbimento della CO_2 in funzione dell'intensità di radiazione.

PIANTE C3: maggiore fotorespirazione, cloroplasti solo nel mesofillo
 PIANTE C4: minore fotorespirazione fotosintesi netta maggiore (ad alte T e Radiazioni); cloroplasti di due tipi nel mesofillo e nelle guaine
 C4 miglior conversione di C3 a alta T e Radiazione
 C3 miglior conversione di C4 a bassa T e radiazione
 (<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e24/24b.htm>)

- A = temperatura ottimale e atmosfera arricchita di CO_2
- B = bassa temperatura e atmosfera arricchita
- C = temperatura ottimale e atmosfera normale

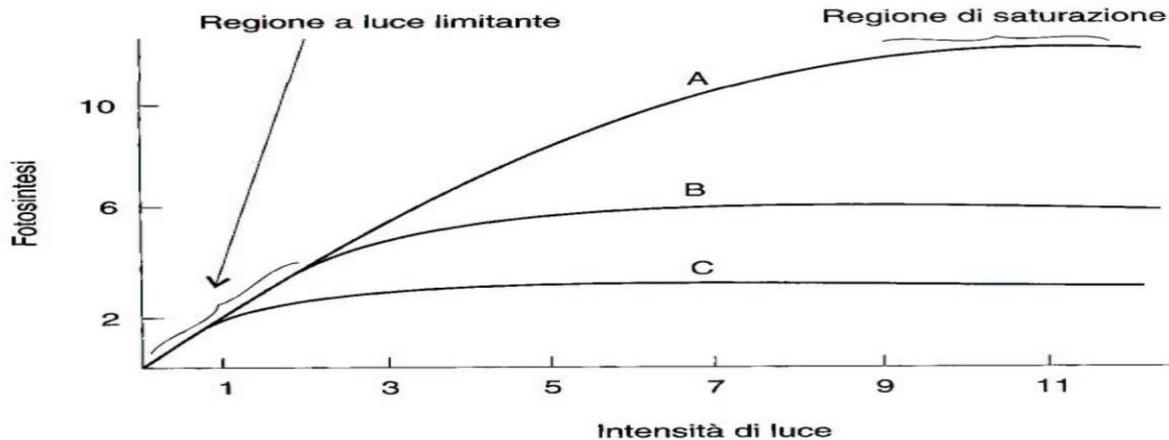
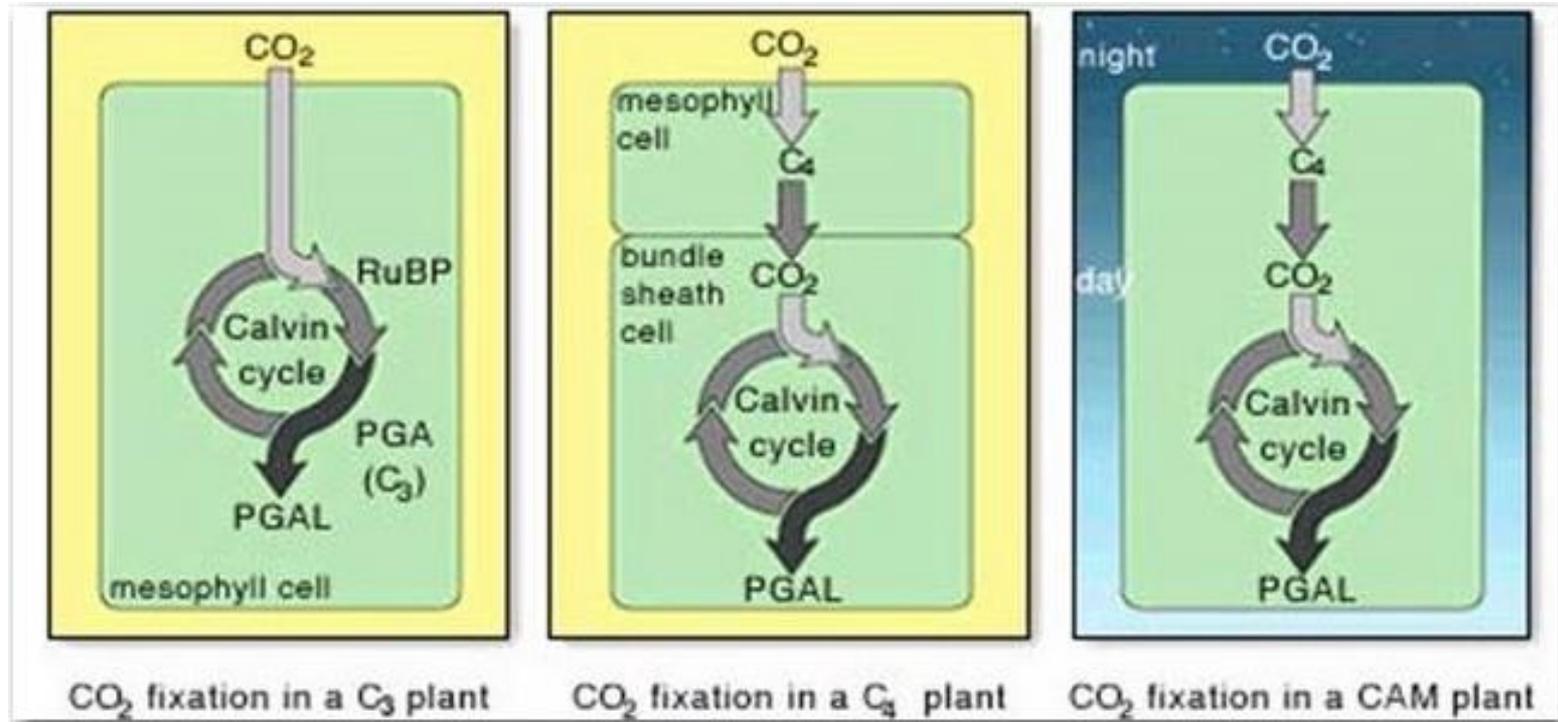


Fig. 2.5 Influenza dell'intensità di luce, della temperatura e della concentrazione di CO_2 sull'attività fotosintetica.

C3 ÷ C4 ÷ CAM



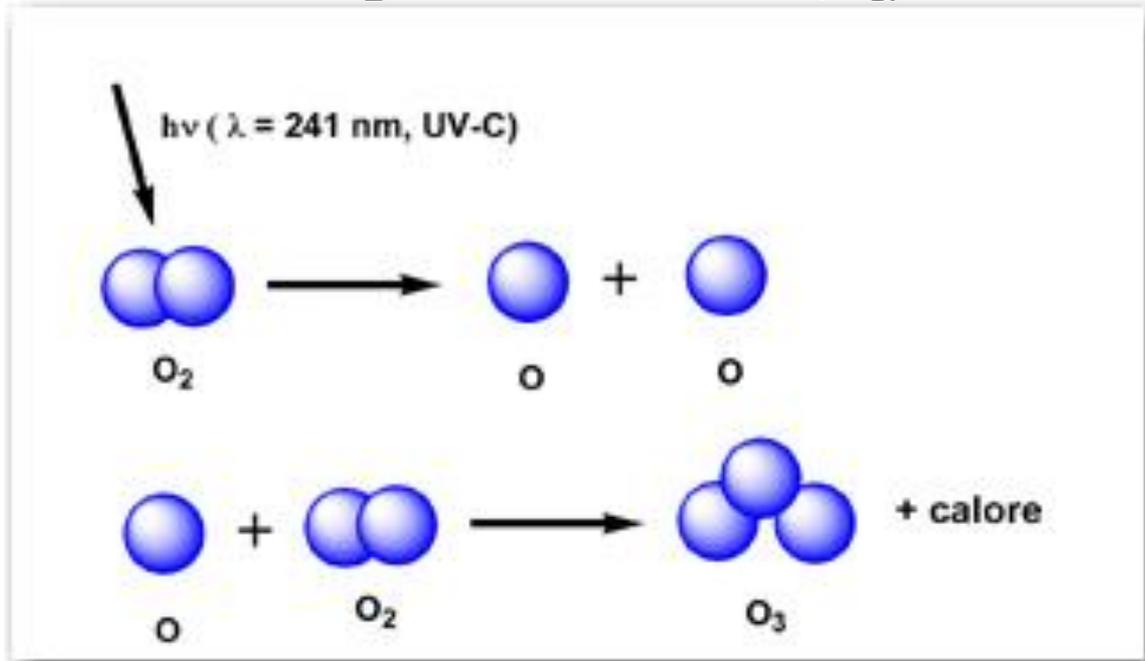
Ozono (O_3):

1. formula molecolare O_3
2. gas avente odore pungente caratteristico; il suo nome deriva dal verbo greco ὀζειν, "puzzare"
3. prevalentemente localizzato nella stratosfera ($\approx 90\%$) e in concentrazioni inferiori nella troposfera ($\approx 10\%$)
4. concentrazione in stratosfera è di circa 7 ppm e diminuisce verso la superficie della terra, dove è dannoso alla biosfera
5. gas instabile; esplosivo allo stato liquido; forte ossidante e altamente tossico
6. è fortemente irritante per le mucose ed è in grado di danneggiare materiali plastici
7. è essenziale alla vita sulla Terra per via della sua capacità di assorbire la luce ultravioletta
8. genesi e distruzione in stratosfera grazie a: luce UV con $\lambda < 320$ nm, ossigeno molecolare (O_2) e ossigeno atomico (O)



Ozono stratosferico (O_3):

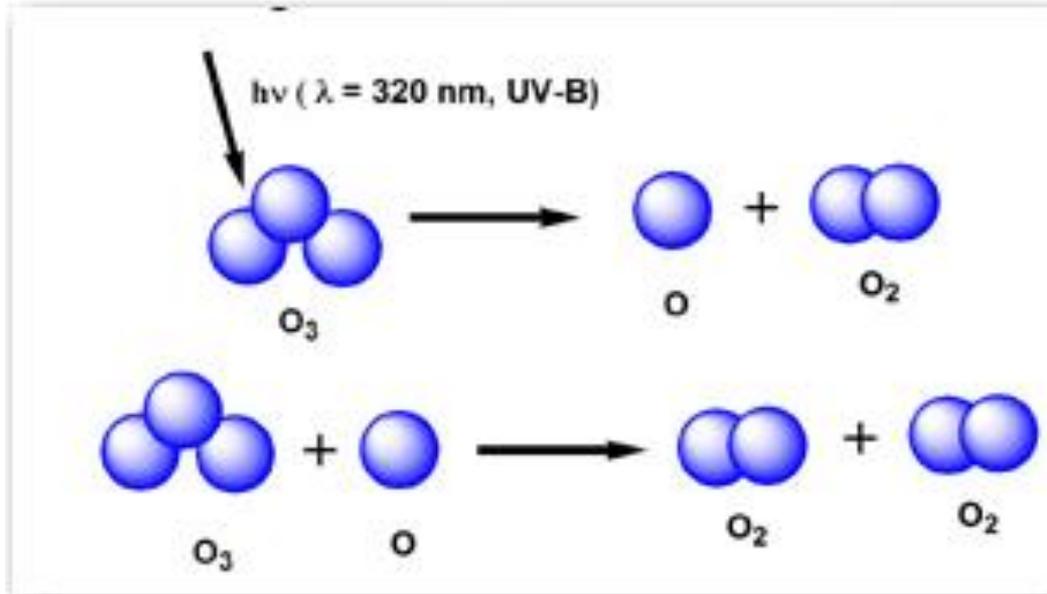
1. si genera per dissociazione di molecole di ossigeno (causata dalla radiazione UV) in atomi liberi (O) che, entrando in collisione con altre molecole di O_2 , formano l'ozono (O_3);



2. queste reazioni sono particolarmente frequenti ad altitudini comprese tra 30 e 60 km di altitudine;

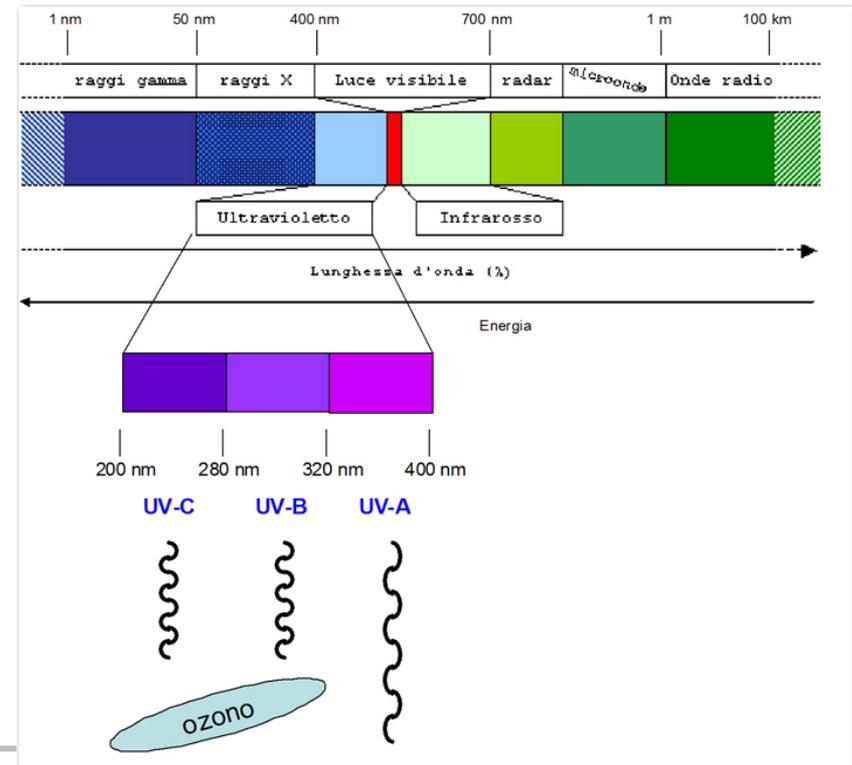
Ozono stratosferico (O_3):

3. è distrutto dalla radiazione solare in un modo analogo: scissione mediata da radiazione UV in ossigeno molecolare (O_2) e ossigeno atomico (O). L'atomo di ossigeno O reagisce poi con un'altra molecole di ozono per formare due molecole di ossigeno.

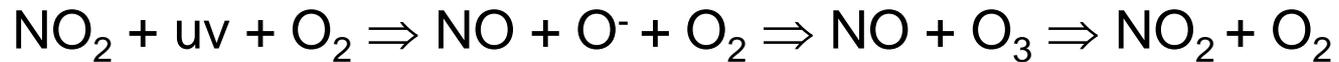


Ozono stratosferico (O₃):

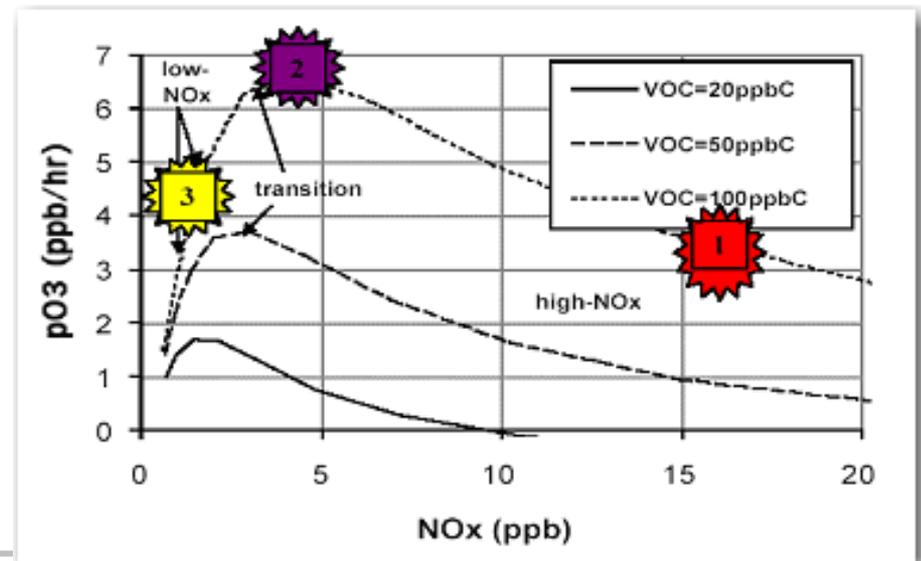
4. lo strato di ozono riveste notevole importanza dal punto di vista biologico: la molecola assorbe la radiazione UV (0.2-0.3 m), dannosa per gli organismi viventi;
5. tale assorbimento di energia determina un aumento di temperatura alla sommità dello strato di ozono;
6. e il "buco dell'ozono" ???



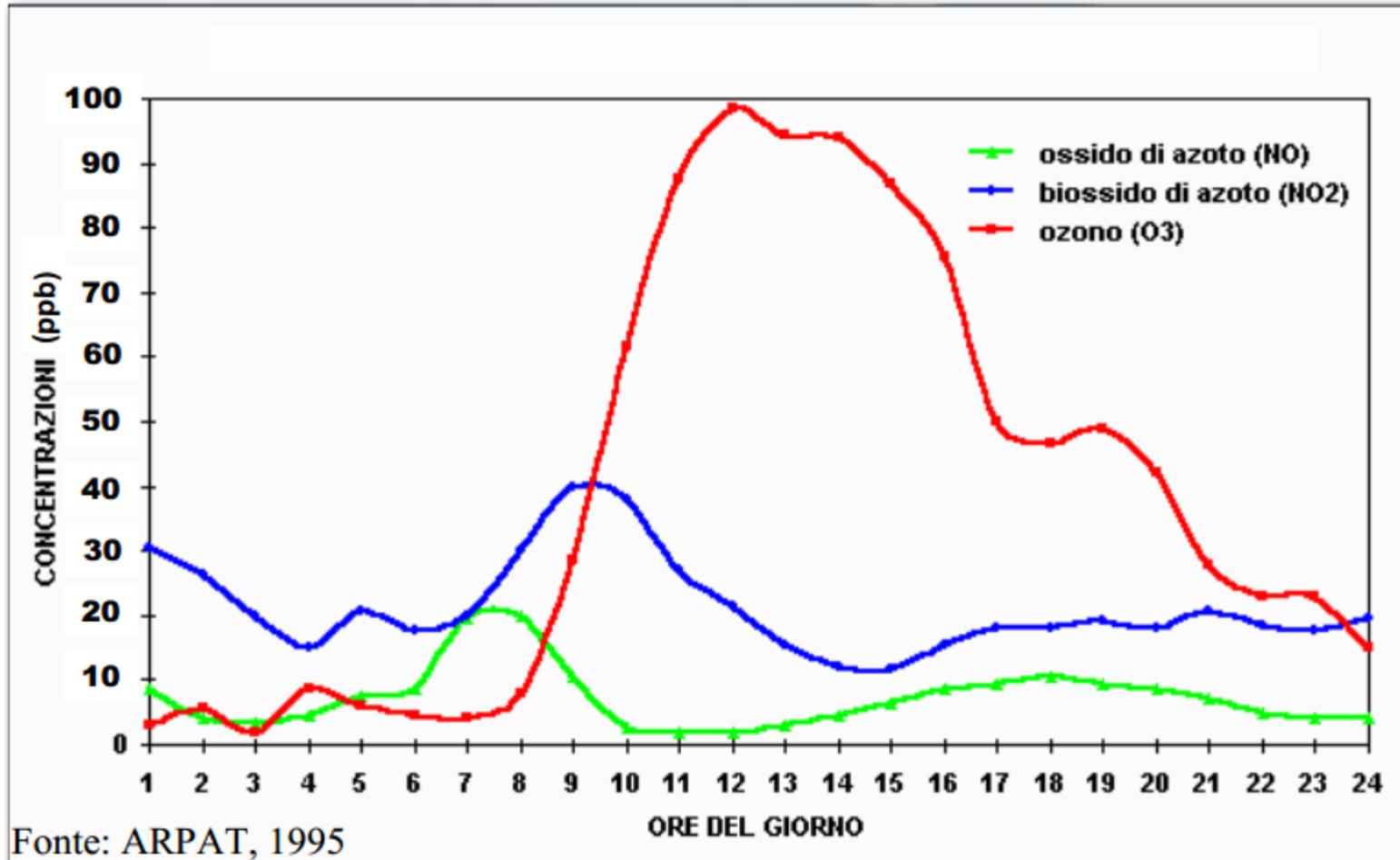
1. origine sia antropica che naturale
2. inquinante secondario: generato da reazioni fotolitiche a carico di inquinanti primari quali ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (VOCs)



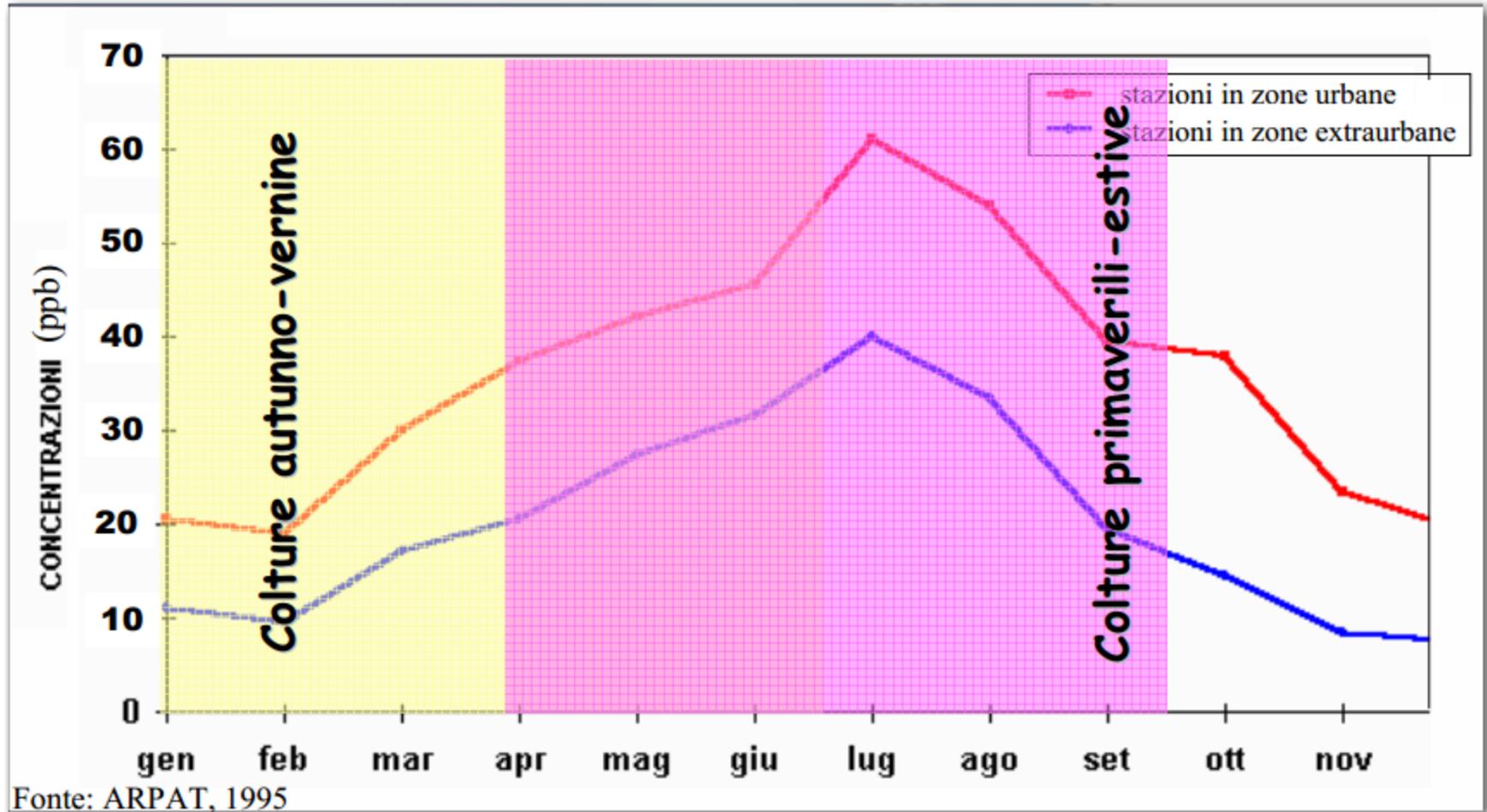
La presenza di VOCs elimina NO bloccando la 3^a reazione e determinando l'accumulo di ozono.



Ozono Troposferico: andamento giornaliero



Ozono Troposferico: andamento giornaliero



Ozono Troposferico e piante

- principale via d'ingresso dell'O₃ nelle piante: aperture stomatiche
- i danni alla vegetazione si hanno dopo la penetrazione attraverso gli stomi, per cui:

DANNO = Concentrazione x Conducibilità stomatica



Tutti i fattori che limitano gli scambi gassosi (stress idrico e salino,...) riducono anche i danni da ozono; ecco perché in sud Europa sono accettabili per le piante livelli di O₃ maggiori rispetto al nord Europa

Quali fattori ambientali influenzano principalmente la conducibilità stomatica:

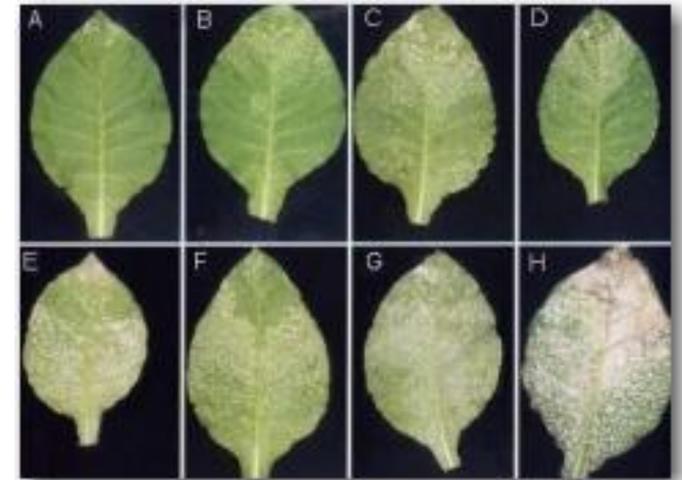
- Richiesta evapotraspirativa atmosfera
- Stato idrico sistema pianta-terreno



Ozono Troposferico: sintomatologia

Evidenze:

- comparsa necrosi, clorosi
- senescenza e abscissione fogliare



Ozono Troposferico (O₃):

La risposta delle piante è specifica (in alcuni casi varietale) perché esistono diversi meccanismi di resistenza (biochimici, morfologici, enzimatici, fisiologici)

Da alcune stime (eseguite in OTC) la perdita di produzione è del 10 - 30%

“Entro il 2006 dovrà essere attivata una normativa europea che stabilisca i livelli critici e che imponga agli Stati membri la riduzione delle emissioni dei precursori”, per ora non c'è nulla.

Sensibili	Moderatamente sensibili	Moderatamente tolleranti	Tolleranti
Frumento Soia Fagiolo Cotone Trifoglio	Patata Tabacco Pomodoro B.bietola E.medica	Riso Mais Vite Pascoli	Avena Orzo



Ozono Troposferico:



CAMPO PER LO STUDIO DEI DANNI DA OZONO ALLA VEGETAZIONE

Vapore acqueo (H₂O)

1. la concentrazione di questo gas varia fortemente nel tempo e nello spazio (tra 0.1 e 7% al suolo);
2. i 3/4 di vapore acqueo dell'atmosfera si trovano generalmente a quote superiori a 4 km;
3. si origina dall'evaporazione delle masse di acqua libera (oceani, mari, laghi etc) ma anche dai processi di respirazione e di traspirazione a carico degli esseri viventi;
4. contribuisce a provocare le precipitazioni ed agisce sullo scambio di calore tra la terra, che si raffredda per evaporazione, e l'atmosfera, che si riscalda per condensazione dello stesso. E' il primo responsabile dell'effetto serra, ma non possiamo controllarlo direttamente e incrementa l'effetto del riscaldamento.



Anidride Solforosa (SO_2) e Solforica (SO_3)

- SO_2 ed SO_3 (SO_x) sono i principali inquinanti atmosferici a base di zolfo.
- derivano dall'uso di combustibili fossili e da emissioni vulcaniche
- effetti irritante alle vie respiratorie, in sinergia con il particolato.
- SO_2 permane in atmosfera per 1-4 giorni: è principalmente ossidato ad H_2SO_4 che ricade in forma di nebbie o piogge acide
- concentrazione di fondo $\approx 0,2-0,5 \mu\text{g}/\text{mc}$; nelle aree urbane anche $\approx 50 \mu\text{g}/\text{mc}$; in grandi città industrializzate ed in via di sviluppo spesso rilevati anche livelli di $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dati dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, 1998).
- Fondamentale considerare SO_x nei modelli di *climate change*



Anidride Solforosa (SO_2) e Solforica (SO_3)

- nelle foglie: SO_2 trasformato in H_2SO_3 e solfiti, da questi per ossidazione si generano i solfati (forma in cui S viene metabolizzato nelle piante)
- quando $[\text{SO}_2]$ nell'aria elevata, nelle foglie si accumulano solfiti che causano distruzione della clorofilla, collasso cellule e necrosi dei tessuti:
 - ✓ nelle foglie, fra i margini e nervature, comparsa di aree irregolari di colore bianco, giallo o marrone, che presentano necrosi
 - ✓ negli aghi delle conifere ne diviene marrone l'apice
 - ✓ gli effetti aumentano se:
 - l'umidità relativa è elevata
 - le temperature sono alte
 - radiazione elevata
 - piante vecchie
 - presenza di O_3

