

# Comprendere la modellizzazione a scuola sperimentando la crescita della pianta con la serra idroponica.

## - Progetto Maker@Scuola -

*Compendio di approfondimento  
(tempo di lettura 20 minuti circa)*

Realizzato da: gruppo serre Idroponiche a scuola (Sacco, Guasti, Bassani, Messina, Chiarantini)

### Sommario

#### **Paragrafo #1: Introduzione alla metodologia didattica utilizzata**

- Parte 1.1: Perché la serra idroponica in un esperimento di scienze?
- Parte 1.2: La possibile scelta della specie: Arabetta comune
- Parte 1.3: Descrizione del materiale del compendio

#### **Paragrafo #2: Variabili per il monitoraggio di una serra idroponica in ambiente scolastico**

- Parte 2.1: Variabili ambientali
- Parte 2.2: Variabili relative alla pianta
- Parte 2.3: Un dispositivo di raccolta automatica: il dSerra

#### **Paragrafo #3: Modelli per la rappresentazione delle variabili**

- Parte 3.1: Crescita vegetativa correlata al tempo
- Parte 3.2: Crescita vegetativa correlata al nutriente
- Parte 3.3: Crescita vegetativa correlata con l'intensità di illuminazione
- Parte 3.4: Crescita vegetativa correlata al fotoperiodo
- Parte 3.5: Fioritura correlata al fotoperiodo
- Parte 3.6: Fioritura correlata all'illuminazione

#### **Paragrafo #4: Note Varie**

# 1- Introduzione alla metodologia didattica applicata

## 1.1 - Perché la serra idroponica in un esperimento di scienze?

- Il progetto serre idroponiche a scuola prevede l'osservazione da parte degli studenti della crescita di una pianta in una serra idroponica. L'osservazione dovrà essere scientifica! Ovvero dovrà consistere nella raccolta dei dati relativi all'esperimento;
- contemporaneamente gli studenti dovranno tentare una modellizzazione dei fenomeni osservati (germinazione, crescita, fioritura, salute).

Il confronto tra l'osservazione, il trattamento dei dati raccolti (incluso la raccolta stessa!) e la gestione del modello porterà lo studente ad una migliore comprensione del fenomeno osservato (\*), ma anche all'acquisizione di due traguardi fondamentali:

- comprendere l'importanza della modellizzazione;
- avere una migliore comprensione del metodo di indagine scientifico.

In generale la crescita di un sistema pianta è di per sé un fenomeno complesso e si presta o a modellizzazioni estremamente semplici, o estremamente complicate. La serra idroponica in questo senso è una scelta strategica, in quanto ambiente chiuso, controllato e di facile (e poco costosa) realizzazione!

Questo permette di affrontare il problema della complessità del rapporto tra pianta e ambiente, e contemporaneamente adattarlo alle esigenze del contesto scolastico in applicazione (fondi, spazi, competenze).

*[\*] Questa metodologia pedagogica si ispira al Bifocal Modelling, vedi [1-2]*

## 1.2 - La possibile scelta della specie: l'Arabetta comune



dalla semina).

La scelta della particolare specie da coltivare influenza notevolmente l'esperimento di crescita: banalmente al mondo esistono piante letteralmente di ogni tipo, con crescita, reazione all'ambiente o dimensioni molto diverse tra loro. Ricercando uno standard per uniformare tutti gli esperimenti condotti a scuola non si poteva non considerare Arabetta comune (l'*Arabidopsis Thaliana*, vedi foto a lato).

Figura 1 Piante di Arabetta di 6 settimane.

Immagine tratta da [5]

Per chi non la conosce, l'Arabetta è una piccola pianta rustica molto comune in tutto il territorio, con delle caratteristiche chiave:

- l'Arabetta è la pianta modello per la comunità scientifica, studiata approfonditamente e con molta letteratura a disposizione (ad esempio si veda [4-6]);
- è una pianta detta "rustica" (immeritatamente chiamata anche infestante), ovvero cresce in molteplici condizioni ambientali;
- possiede un ciclo di vita particolarmente breve (in condizioni ottimali la conclusione del suo ciclo vitale avviene in 8/10 settimane

Sebbene non sia commestibile e dunque si perda l'aspetto pedagogico che favorisce abitudini alimentari sane (vedi [3]), i vantaggi precedentemente elencati sono notevoli:

- essendo una specie molto studiata, la sua coltivazione offre la possibilità a studenti ed insegnanti di confrontare i loro esperimenti con dati provenienti da pubblicazioni sull'argomento (o anche solo stimolarli a farlo);
- la sua robustezza ne permette la coltivazione con successo in (quasi!) tutti gli ambienti tipici indoor di una scuola;
- l'utilizzo da parte di più scuole di una specie standard favorirà in futuro la condivisione di informazioni e dati compatibili tra di loro;
- infine, la sua caratteristica più importante è il ciclo di vita particolarmente breve, che permette l'osservazione dell'intero ciclo di vita della pianta potenzialmente all'interno di un solo trimestre scolastico (\*).

Da notare, però, che l'uso della specie Arabetta non è la chiave dell'esperimento: fondamentale è la crescita della pianta all'interno della serra idroponica, dove poter raccogliere dati scientifici quantitativi in un sistema controllato, per poi rappresentare e modellizzare la realtà osservata. Quindi ogni pianta che può crescere in un sistema idroponico è adatta alla sperimentazione, fermo restando il consiglio di utilizzare piante dal ciclo di vita breve.

*(\*) Per una trattazione più completa sulle indicazioni di crescita di Arabetta comune in serra idroponica e le possibili rese al variare delle condizioni si veda il file "Memorandum di crescita idroponica Arabidopsis" [7], prodotto sulla base della letteratura individuata da INDIRE.*

### 1.3 - Descrizione del materiale del compendio

- Nel secondo paragrafo di questo compendio analizzeremo le variabili consigliate per monitorare una crescita in un sistema idroponico in un ambiente scolastico, e come misurarle.
- Nel terzo paragrafo vedremo i modelli che sono stati individuati per comprendere le interazioni tra le variabili misurate e come crearli (\*).
- Il quarto ed ultimo paragrafo è una raccolta di note che spaziano sui temi elencati.

Per alcuni argomenti sono proposti degli specifici box di approfondimento, evidenziati in oro, pensati per le sperimentazioni nella scuola secondaria di secondo grado. La loro lettura non è necessaria per la comprensione del compendio nel suo insieme, ma restano spunti validi per ogni ordine e grado.

Alla fine di ogni modello descritto nel terzo paragrafo sono presenti altri box di approfondimento, sempre evidenziati in oro, che contengono applicazioni pratiche, utilizzando come specie vegetale l'Arabetta sopra citata insieme ad un set specifico di sensori gestiti da un microcomputer, il dSerra, un dispositivo di raccolta dati automatico creato da INDIRE (vedi paragrafo 2.3).

*(\*) Nei paragrafi che seguono, le parole **evidenziate in giallo** descrivono una variabile, mentre le frasi che descrivono una possibile modellizzazione hanno i caratteri **evidenziati in rosso**.*

## 2- Variabili per il monitoraggio di una serra idroponica in ambiente scolastico

“Cosa devo osservare per capire il fenomeno naturale che sto indagando?” La scelta delle variabili da misurare è la risposta operativa (e scientifica!) a questa domanda di ricerca! Nel nostro caso essa si declina nella domanda: “Cosa devo osservare per capire come cresce una pianta in un sistema idroponico?”

In un contesto scolastico bisogna tenere in conto anche altri fattori più pratici e magari limitanti, poiché l’atto di misurare è legato intrinsecamente allo strumento di misura che si vuole (o si può!) utilizzare! Ovvero bisogna considerare:

- quali tecnologie sono disponibili nella scuola;
- qual è l’età degli studenti;
- qual è il budget a disposizione della scuola.

Quindi ecco una lista di possibili variabili da misurare, insieme a come misurarle, che nasce dall’analisi della letteratura sull’argomento ma vuole rispondere alle esigenze scolastiche appena elencate.

Immaginiamo adesso che la crescita di una pianta sia influenzata dall’ambiente e che risponda di conseguenza. Assunto questo primo grande modello, le variabili da osservare si suddividono naturalmente in due grandi gruppi:

- le variabili ambientali, riportanti informazioni su ciò che influenza la crescita;
- le variabili relative alla pianta, riportanti informazioni su come essa reagisce.

### 2.1 - Variabili ambientali (e come misurarle)

Le variabili ambientali più importanti, per il monitoraggio di una crescita in serra idroponica, che emergono dalle precedenti considerazioni sono:

- Variabili legate al tipo di **illuminazione**, ovvero **intensità luminosa** (quanta luce), **fotoperiodo** (ciclo giorno-notte) e **spettro di emissione** (i colori che la compongono).
- **Temperatura dell’aria.**
- **Umidità dell’aria.**
- **Temperatura dell’acqua.**
- Variabili legate alla **soluzione nutritiva**, ovvero la sua **concentrazione**, valutabile attraverso la conducibilità (EC, *Electrical Conductivity*) della soluzione o totale dei solidi in essa disciolti (TDS, *Total Dissolved Solids*), il **suo valore di PH** e la sua **composizione** (micro- e macro- nutrienti).

Ovviamente vi sono tantissime altre variabili con impatto sulla crescita che possono essere monitorate, come la pressione atmosferica o composizione dell’aria. Sono però o difficili da misurare (come la composizione dell’aria) o da controllare (come pressione atmosferica), e per l’applicazione didattica le considereremo costanti e identiche per ogni esperimento.

Vediamo in dettaglio dei consigli di misura per ognuno dei punti dell’elenco.

## Box 1 – Altre variabili ambientali

Il controllo e la misura durante la crescita della composizione dell'aria, in particolare della quantità di ossigeno molecolare o anidride carbonica, i principali gas emessi o assorbiti nei processi vitali delle piante, è sicuramente un possibile ed interessante sviluppo futuro!

**ILLUMINAZIONE:** in un sistema idroponico ci sono due possibilità per l'illuminazione: la luce solare o la luce artificiale prodotta da lampade. La misura dello **spettro di emissione** è difficile senza appositi strumenti in entrambi i casi, ed esula dagli scopi dell'esperimento di crescita. Per la misura dell'**intensità** luminosa vediamo i due casi separati:

- Luce solare: non disponendo di strumenti appositi è possibile una sola stima qualitativa dell'intensità, ad esempio poca luce (serra posizionata in un armadio) o tanta luce (serra posizionata sotto una finestra esposta a sud).
- Luce artificiale: l'intensità può essere stimata quantitativamente attraverso il semplice conto del numero di lampade (spesso led) usate per la serra in questione, molto semplice nel caso di strisce led.

L'ultima variabile legata all'illuminazione di una pianta è il **fotoperiodo**, ovvero il rapporto tra ore di illuminazione e ore di buio. Questo aspetto, sebbene sia semplice da comprendere, potrebbe essere di difficile gestione se affidato a una operazione manuale, poiché bisognerebbe che qualcuno si occupasse di spengere e accendere i led con cadenza regolare. Diventa però di facilissima gestione con una presa a timer, economica e facilmente reperibile. Nel caso di luce solare il fotoperiodo non è regolabile e ovviamente dipende dalla stagione!

## Box -2 Misure di intensità luminosa e spettro

**Spettro:** Come detto nel testo la misura dello spettro senza appositi (e costosi) strumenti detti spettrometri è complessa. Volendolo tenere in considerazione si può considerare sempre costante e uguale a quello solare se la pianta riceve luce diretta, oppure affidarsi ai dati del costruttore se si usano lampade, che lo fornirà all'interno della scheda tecnica della lampada.

**Intensità:** Se la scuola può reperire o possiede un multimetro digitale una stima quantitativa può essere la misura indiretta della potenza assorbita in Watt [ $W$ ] al variare del numero di lampade in uso (che dovranno essere dello stesso tipo), misurando la corrente in Ampere [ $I$ ] con multimetro digitale e moltiplicandola per la tensione nominale in Volt [ $V$ ] dell'alimentatore delle luci:

$$W = V \cdot I$$

Se si dispone di fondi può essere acquistato dalla classe uno strumento commerciale, detto Luxmetro (o fotometro, o esposimetro, costo intorno ai 50 euro), il quale usualmente misura l'intensità di illuminazione in Lux (vedi [7] per dettagli e approfondimenti sulle unità di misura dell'intensità luminosa).

**TEMPERATURA E UMIDITA':** Per la **temperatura dell'acqua e dell'aria** i termometri commerciali casalinghi sono sufficienti, come gli igrometri per **l'umidità**: l'impatto sulla crescita di una pianta è ben osservabile con le sensibilità ed i range degli strumenti commerciali facilmente reperibili.

**SOLUZIONE NUTRITIVA:** la gestione delle variabili legate alla soluzione nutritiva può essere un po' complicata nel caso della composizione o del PH:

- la misura diretta della **composizione della soluzione** (ovvero il rapporto N-P-K, azoto, fosforo e potassio) si può eseguire solo attraverso strumenti molto costosi. Bisogna dunque affidarsi al fornitore del nutriente,

considerando valida e costante per tutti gli esperimenti la composizione da lui dichiarata sull'etichetta del prodotto.

- **La misura del PH** può essere eseguita attraverso le cartine tornasole, ma la loro precisione non è tale da permettere modellizzazioni successive. Tale parametro può essere aggiustato solo con ausilio di sostanze chimiche nocive e dannose. Quindi, considerando il contesto scolastico, il PH può essere solo tenuto sotto controllo.

La **concentrazione** può essere valutata accuratamente misurando la conducibilità elettrica (EC) o il totale dei solidi sciolti (TDS), ma è necessario un sensore apposito il cui uso può richiedere una formazione specifica. Una misura molto semplice ed efficace della concentrazione, invece, è il volume (in ml) di nutriente aggiunto per litro di acqua distillata (le soluzioni commerciali sono usualmente fornite in forma liquida), utilizzando pipette dosatrici facilmente reperibili in commercio.

NOTA: l'uso di acqua distillata è fondamentale per essere sicuri della composizione in uso e per permettere ripetibilità e confronto di esperimenti.

## 2.2 - Variabili relative alla pianta

Queste variabili saranno le indicatrici della qualità della crescita. Innanzitutto diciamo che una stima qualitativa dello stato della pianta è sempre utile e possibile, verificando il colore delle foglie, la turgidità, eventuali increspature o decolorazioni. Invece le misure quantitative più facilmente eseguibili sono legate alle sue dimensioni, al suo peso e al suo stadio di crescita.

**DIMENSIONI:** cosa misurare per valutare le dimensioni dipende dalla specie in uso (per capirsi, se la pianta cresce a rosetta, a spiga, a cespuglio, etc.). La misura è semplice, basta avere anche un semplice righello millimetrato o un metro da sarta. Si può misurare **il diametro**, utilizzando un righello o predisponendo circonferenze di vario diametro disegnate sui supporti galleggianti della serra e centrate sulla posizione del seme (se possibile). Oppure si può misurare **l'altezza della pianta**, o la **lunghezza delle radici**, sempre con l'uso di metri o righelli. Quest'ultima operazione si esegue estraendo fuori dall'acqua supporto dove la pianta cresce e misurando le radici allungate per gravità. Un'altra semplice stima quantitativa delle dimensioni della pianta legate alla sua crescita è il **semplice conto del numero di foglie**.

**PESO:** Il **peso** della pianta può essere misurato con la precisione necessaria solo con bilance sensibili almeno al decimo di grammo. Per effettuare misure nei primi dieci giorni di vita vegetativa, le ridotte dimensioni delle piantine appena germinate necessitano di bilance con precisione al centesimo di grammo, ancora però facilmente reperibili a basso costo nei negozi di articoli casalinghi. La misura del peso può essere di tutta la pianta, **della sola parte aerea**, **della sola parte radicale o delle infiorescenze**. La misura più semplice è della pianta fresca, di solito sacrificandola. Un consiglio per non doverle sacrificare può essere, ad esempio, la misura della tara costituita dal supporto spugnoso nel quale cresce.

**STADI DI CRESCITA:** Infine, si possono misurare **i vari intervalli temporali tra gli stadi di crescita della pianta**, che costituiscono un buon parametro ai fini di una successiva semplice modellizzazione. Gli stadi sono i seguenti:

- Stratificazione dei semi (ovvero preparazione dei semi alla germinazione, vedi [7])
- Germinazione
- Crescita vegetativa
- Fioritura
- Formazione dei semi

I tempi sono talmente lunghi da poter essere misurati in giorni, per i quali basta un semplice calendario o diario su cui annotare le varie fasi.

NOTA: Per eseguire un esperimento di crescita non è assolutamente necessario raggiungere tutti gli stadi crescita!  
Ma lo vedremo meglio nel prossimo paragrafo

### Box 3 – Altre variabili relative alla pianta

Nel caso l'esperimento arrivi a conclusione, ovvero si arrivi alle fasi finali del ciclo della pianta, altre misure possibili sono il conto del **numero di fiori** per pianta e del **numero di semi** prodotti per pianta, operazione fattibile o meno a seconda del tipo di specie in uso. La misura dei semi, ad esempio può essere delicata vista la ridotta dimensione dei semi di alcune piante, come nel caso della già citata Arabetta (\*), oppure più semplicemente la pianta scelta ha un ciclo di vita molto lungo e non si riesce a raggiungere la fioritura.

*(\*) Per la procedura di raccolta dettagliata dei suoi semi si rimanda ancora al file "Memorandum di crescita idroponica Arabidopsis" [7]*

### 2.3 - Un dispositivo di raccolta automatica: il dSerra

Questo dispositivo si basa sul microcomputer Raspberry PI ed è stato sviluppato internamente ad INDIRE, sia nella parte software che hardware. Possiede i sensori per la misura delle seguenti variabili:

- Umidità dell'aria
- Temperatura dell'aria
- Temperatura dell'acqua
- TDS dell'acqua
- Intensità della luce

Il dispositivo raccoglie una misura contemporanea di tutte queste variabili ogni ora, raccogliendole in files Excel facilmente accessibili e manipolabili. Il monitoraggio delle variabili ambientali è quindi automatizzato, in particolare per quelle che devono essere controllate e mantenute inalterate, per quanto possibile. Inoltre possiede una fotocamera che acquisisce foto ogni ora, montabili facilmente per ottenere un video in timelapse della crescita, in grado di visualizzare tutto il ciclo di crescita in pochi minuti.

## 3- Modelli per la rappresentazione delle variabili

L'idea alla base delle modellizzazioni che saranno proposte è confrontare una variabile relativa alla pianta con variabile ambientale. Questo permetterà di valutare come queste due variabili sono collegate, e trarre quindi informazioni su come la pianta cresce e su come l'ambiente impatta sulla sua crescita. Il fine sarà ottenere grafici in 2D, che per la loro relativa semplicità sono la migliore rappresentazione dei modelli matematici a due variabili.

In pratica, per ogni esperimento prima di iniziare bisognerà fare le seguenti riflessioni:

- scegliere quale variabile ambientale variare (nutriente, luce, tempo) e pensare in pratica a come variarla;
- assicurarsi che le rimanenti variabili ambientali rimangano costanti;
- Scegliere almeno (\*) una variabile relative alla pianta e decidere come misurarla correttamente.

Dopo la raccolta dei dati, seguirà la loro analisi:

- rappresentazione in un grafico;
- modellizzazione, ovvero l'atto di tentare di comprendere la relazione tra le due variabili rappresentate.

Quest'ultimo punto può essere affrontato in vari modi dipendenti dall'età degli studenti, quindi dal loro livello, e può essere un disegno, una funzione, un discorso a parole (nel testo verranno suggeriti alcuni esempi).

Vediamo adesso una selezione di possibilità estratte dall'analisi della letteratura, insieme ad alcune indicazioni pratiche.

*(\*) Una volta assicurati che UNA sola variabile ambientale viene variata, se i tempi scolastici lo permettono è possibile fare misure di più di una variabile relativa alla pianta, per vedere come la variabile ambientale impatta su ognuna di esse.*

### 3.1 – Crescita vegetativa correlata al tempo

Questa prima e semplice misurazione e modellizzazione consiste nel misurare ad intervalli temporali regolari le variabili indicatrici della crescita (**numero di foglie, altezza della pianta, diametro della pianta, peso della pianta**), mantenendo tutte le variabili ambientali bloccate e costanti. Questo è l'esperimento consigliato per chi comincia a sperimentare la crescita in serra idroponica!

**MODELLO:** Indicativamente la crescita sarà zero nella fase iniziale fino alla germinazione, costante e lineare durante la formazione delle prime foglie, esponenziale fino alla fioritura e quasi nulla durante fioritura e formazione dei semi.

### Box 4 – La stratificazione dei semi

Per migliorare un esperimento di questo tipo si può procedere alla stratificazione di semi, ovvero mantenerli in un ambiente umido e freddo (circa 4°) prima di seminare. Questo sincronizzerà la loro germinazione (vedi [7] per dettagli sulla fase di stratificazione). In pratica i semi vanno posizionati sui loro supporti di crescita, inzuppati e sigillati perché non perdano umidità, e tenuti 3-4 giorni in frigorifero.

**MODELLO:** durante la stratificazione il seme non germina per il freddo e il buio, ma assorbe acqua e perde la dormienza, divenendo pronto a germinare.



IDEA: La verifica di questo effetto può essere un esperimento da eseguire: seminare semi stratificati e non stratificati e misurare al variare dei giorni la percentuale di germinazione.

### Box 5 – Uso con Arabetta e dSerra

Per alunni della scuola secondaria, specialmente di secondo grado, ci sono possibili equazioni che tengono di conto di una crescita di questo tipo, perfettamente aderente alla specie di Arabetta comune. Ad esempio il peso (quindi biomassa) in funzione del tempo (Delden 2020) rappresentato come semplice fase esponenziale o come esponenziale con calo della crescita:

sola crescita esponenziale

$$W(t) = W_0 e^{(RGR \cdot t)}$$

crescita esponenziale calo della crescita (figura sotto)

$$W(t) = W_0 e^{(RGR_{slope} \cdot t^2 + RGR_0 \cdot t)}$$

dove  $W(t)$  è la biomassa totale,  $W_0$  la biomassa quando si comincia a misurare,  $RGR$  è il tasso di crescita,  $RGR_{slope}$  è la riduzione del tasso di crescita,  $RGR_0$  il tasso di crescita iniziale prima della riduzione.

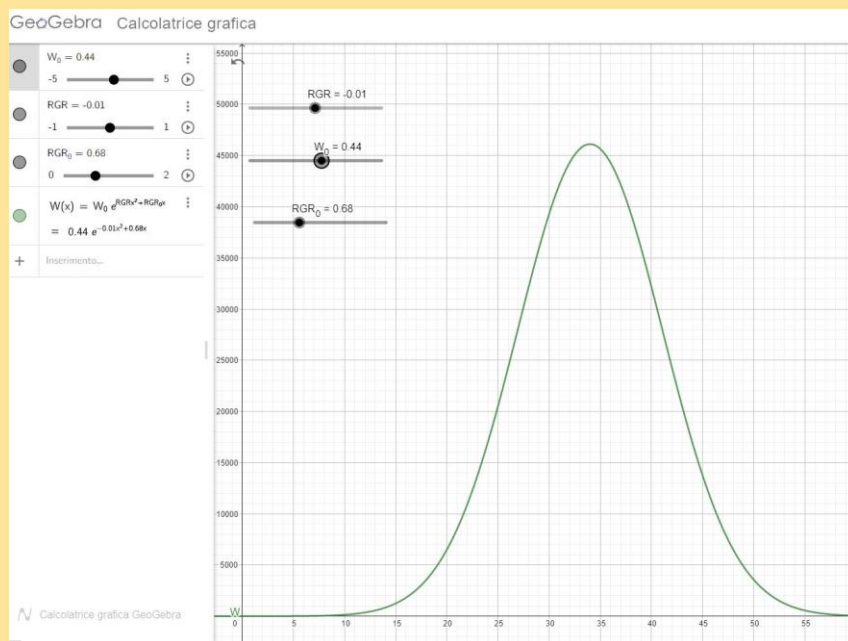


Figura 2: Modellizzazione dell'equazione di crescita di Delden 2020 con la calcolatrice grafica Geogebra

Utilizzando il timelapse del dSerra è poi possibile individuare i momenti di germinazione, della formazione di rosetta (dopo le prime quattro foglie della germinazione questa pianta si apre creando una rosetta in fase vegetativa) e di fioritura. L'idea è impostare il rendering del video con un Frame Per Second (FPS) sottomultiplo di 24, rendendo facile identificare i giorni in cui avvengono gli eventi mostrati dal video. (Esempio: con un FPS di 12, ogni giorno equivale a 2 secondi, con un FPS di 6 ogni giorno sono 4 secondi, etc., potendo quindi scegliere la precisione desiderata).

Indicativamente, in buone condizioni di illuminazione (150-200  $\mu\text{Mol}/\text{sm}^2$ , vedi sempre il “memorandum” per questa unità di misura di luce [7]), temperatura (22°), umidità (50%-60%) e nutriente si ottengono piante di 0.8-0.9 grammi dopo 35 giorni e di 3-5 grammi dopo 50 giorni dalla semina.

### 3.2 – Crescita vegetativa correlata al nutriente

In questo tipo di esperimento l'unica variabile ambientale che andrà variata è **la concentrazione di nutriente**. La crescita si valuta ancora una volta misurando una delle sue variabili indicatrici (relative alla pianta). Bisogna fissare anche la variabile tempo, ovvero decidere un preciso momento (o più di uno) in cui effettuare la misura su tutta la piantagione (dopo 2-3-4-5 settimane, etc.).

Dato che la concentrazione di nutriente è la stessa per una singola serra, per questo esperimento bisognerà optare per una delle seguenti:

- avere più serre in parallelo in classe con diverse concentrazioni di nutriente;
- ripetere l'esperimento più volte con varie concentrazioni di nutriente;
- condividere l'esperimento con più classi, concordando le diverse concentrazioni di nutriente per ogni serra.

Queste indicazioni valgono anche per le prossime idee di misura e modellizzazione

**MODELLO: L'andamento previsto rispecchia una curva a campana:**

- senza nutriente le piante non cresceranno,
- al crescere del nutriente la biomassa prodotta crescerà esponenzialmente fino ad un massimo,
- al crescere ancora del nutriente la biomassa prodotta sarà sempre meno per effetti di tossicità calando con un esponenziale più lento, fino ad un valore letale che ucciderà tutte le piante.

### Box 6 – Uso con Arabetta e dSerra

Un'equazione che rappresenta la crescita, stimata tramite la misura del peso  $W$ , a seconda della concentrazione di nutriente, stimata attraverso la conducibilità della soluzione  $EC$  può essere la seguente [6]:

$$W(EC) = a \cdot (1 - e^{-b \cdot EC}) \cdot (EC \cdot EC_{max})$$

dove  $EC_{max}$  è il valore di conducibilità letale per la crescita,  $a$  e  $b$  sono solo parametri (vedi figura 3). La misura di  $EC$  non è semplice senza sensore appropriato, può però essere calcolata misurando i TDS. Utilizzando il dSerra si ha a disposizione un sensore per la misura del TDS, misurato in parti per milione (ppm). L'equazione per la conversione tra TDS e  $EC$ , usando le unità di misura della figura 3, è la seguente:

$$EC \left( \frac{dS}{m} \right) = 1.56 \cdot \frac{TDS(ppm)}{1000}$$

Per i dettagli su questa unità di misura e per ulteriori considerazioni si veda sempre il “Memorandum” [7]

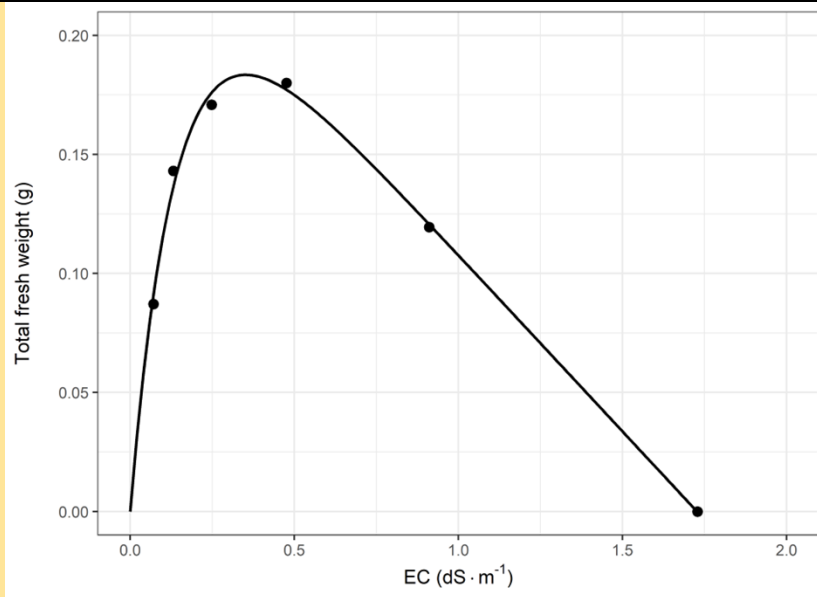


Figura 3: Massa totale dopo 4 settimane dalla semina al variare della concentrazione di nutriente utilizzando piante di Arabidopsis. La soluzione nutritiva usata è detta di Somerville and Ogren. Figura estratta da [6].

### 3.3 – Crescita vegetativa correlata con l'intensità di illuminazione

Anche in questo caso l'idea applicativa è la stessa: la variabile ambientale da variare è **l'intensità di illuminazione**, mentre si bloccando e si controllando tutte le altre. Optando, ad esempio, per **il peso** come variabile relativa alla pianta, bisognerà scegliere anche un momento nel quale pesare tutte le piante, avendo a disposizione più serre con varie illuminazioni. In questo caso dalla letteratura non emerge un andamento preciso, però vi sono molte indicazioni:

**MODELLO:** Una sotto-illuminazione permette la germinazione, ma impedisce la crescita se totalmente assente e la inibisce se poca. Un effetto sulla pianta di una sotto-illuminazione è la clorosi, ovvero fenomeni di ingiallimento della foglia per mancanza di clorofilla. Una buona illuminazione permette una crescita vigorosa con un andamento probabilmente esponenziale e raggiunge un massimo per un limite di illuminazione, oltre il quale la pianta non avrà ulteriore crescita e le foglie cominceranno a colorarsi di viola (sovrilluminazione).

#### Box – 7 Una misura alternativa

Una variante un po' più complessa è la misura del **rapporto tra parte aerea e radici**: una bassa illuminazione stimola la produzione di radici anziché della parte aerea, ed il rapporto quindi cresce al crescere dell'illuminazione.

Una verifica di questo effetto è un'idea per un possibile esperimento.

## Box – 8 Uso con Arabetta e dSerra



Figura 4 Parte aerea e radicale di Arabetta.  
Foto tratta da [5]

L'Arabetta rispetta le condizioni precedentemente elencate, dove il limite di illuminazione indicativamente è un po' più della luce solare piena. Il dSerra possiede un sensore che, anche se non restituisce un valore corrispondente ad un'unità di misura standard dell'intensità luminosa, permette di darne una stima qualitativa.

### 3.4 – Crescita vegetativa correlata al fotoperiodo

Idealmente siamo ancora nella stessa situazione delle precedenti: la variabile ambientale da variare è **il fotoperiodo**, controllando tutte le altre e misurando la crescita vegetativa nelle varie condizioni. In questa direzione non emergono indicazioni chiare dalla letteratura. Quindi una misura del rapporto tra quantità di crescita e ore di illuminazione quotidiana potrebbe essere molto interessante da quantificare (lineare, quadratico, cubico, esponenziale), insieme ovviamente all'interpretazione del perché.

### 3.5 – Fioritura correlata al fotoperiodo

Per valutare l'effetto del fotoperiodo sul momento di fioritura bisogna essere sicuri di riuscire ad arrivare a questa fase di crescita. Questo dipende dal tempo a disposizione della scuola per la sperimentazione in confronto con la durata del ciclo vitale della specie scelta, che può essere relativamente lungo (mesi, anni). Ancora una volta tutte le variabili ambientali devono essere bloccate tranne **il fotoperiodo**, il quale influenza notevolmente l'inizio del processo di fioritura.

**MODELLO: il modello è semplice, un fotoperiodo basso simula l'inverno, uno alto l'estate. A seconda della specie, un fotoperiodo alto o basso può indurre o inibire la fioritura.**

Sistemando serre con fotoperiodi diversi e con le restanti condizioni ambientali uguali, la misura può consistere nel misurare il tempo di inizio della fioritura, se inizia, al variare del fotoperiodo, oppure nello scegliere un momento temporale preciso, ad esempio quando tutte le piante di una serra fioriscono e misurare la percentuale di fioritura delle altre in quel preciso momento.

## Box – 8 Uso con Arabetta e dSerra

**USO CON ARABETTA E DSERRA:** Nel caso dell'Arabetta, che fiorisce nei mesi estivi, il punto critico è un fotoperiodo a 12 ore: sopra 12 la fioritura è indotta, sotto è inibita. In condizioni ottimali di crescita le piante fioriscono in circa 30 giorni con fotoperiodo di 16 ore e dopo 58 giorni con fotoperiodo di 8 ore. Il fotoperiodo è facilmente regolabile utilizzando il dSerra, essendo tra le sue funzioni base.

### 3.6 – Fioritura correlata all'illuminazione

Questo caso è molto simile nelle sue considerazioni al precedente, dove la variabile da variare è **l'intensità di illuminazione**.

**MODELLO:** una bassa illuminazione rallenta tutte le funzioni della pianta, compreso il momento nel quale essa arriva a fioritura. Però ciò che influenza maggiormente la fioritura è il fotoperiodo: ci si aspetta quindi che la dipendenza del momento di fioritura dall'intensità di illuminazione sia molto più marcato per fotoperiodi corti.

Il momento della fioritura può essere individuato con i metodi descritti nel caso della fioritura collegata al fotoperiodo. Si consiglia la scelta di un fotoperiodo corto (8 ore di luce, ad esempio) per rendere più evidente la dipendenza della fioritura dall'illuminazione.

### Box – 9 Uso con Arabetta e dSerra

Il dserra gestisce il fotoperiodo e il sensore di intensità luminosa, agevolando quindi gestione e misurazioni. L'Arabetta segue il modello sopra descritto (vedi la figura sotto estratta da Tocquin 2003).

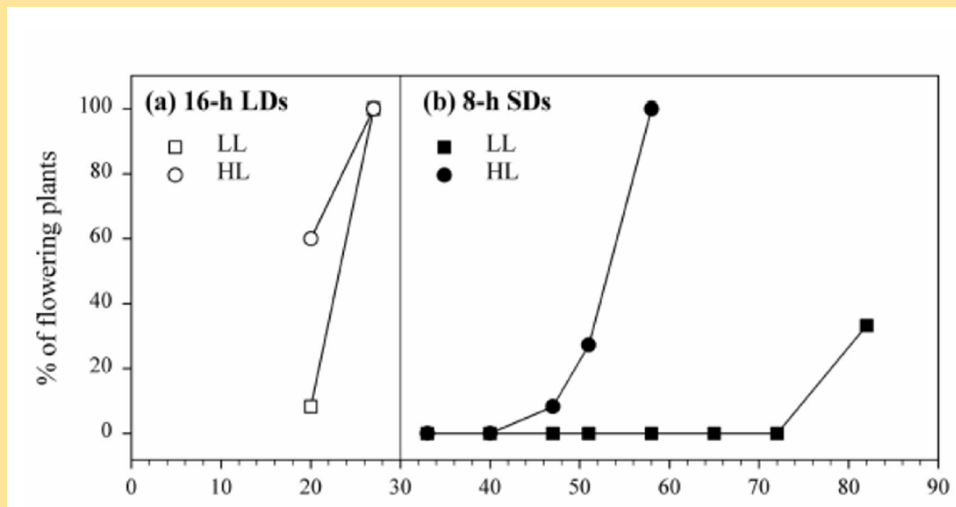


Figura 5: Effetto del fotoperiodo e del flusso di fotoni (intensità luminosa) sulla fioritura di piante di Arabidopsis. Nel grafico sono rappresentate la percentuale di piante fiorite al variare dei giorni, cresciute in ambiente nei casi di fotoperiodo 8 e 16 ore (8-h SDs (b) o 16-h LDs (a)).

## 4- Note varie

### A - Reperire i semi di Arabidopsis

I ricercatori di INDIRE si stanno adoperando per creare una banca di semi di Arabidopsis, sempre disponibile per le scuole. In particolare è in coltivazione la sua variante genetica Col-0, la stessa cui genoma è stato completamente sequenziato. Questo è possibile perché la pianta è auto-impollinante, capace in autonomia di proseguire la linea genetica.

Per verificare l'eventuale disponibilità di semi basta scrivere al referente del progetto, l'Ing. Lorenzo Guasti ([L.guasti.tecnologo@indire.it](mailto:L.guasti.tecnologo@indire.it)) o direttamente al Dr. Michele Sacco ([m.sacco@indire.it](mailto:m.sacco@indire.it)), che segue direttamente la coltivazione.

Nel mondo esistono vari centri di stoccaggio e distribuzione dei semi di Arabidopsis, per scopo didattico e di ricerca. In particolare in Francia, a Versailles, L'Arabidopsis Stock Center del IJPB (Institut Jean-Pierre Bourgin) dell'INRAE (Institut national de la recherche agronomique) fornisce la suddetta variante genetica Col-0 senza spese, ma unicamente per scopi educativi.

Per avere informazioni sulla possibile spedizione direttamente a scuola scrivere alla mail: [ijpb-publiclines@inra.fr](mailto:ijpb-publiclines@inra.fr). Per effettuare un ordine bisogna iscriversi al portale <http://publiclines.versailles.inrae.fr/>, indicando come "Tipo di Istituzione" l'affermazione "soli fini educativi".

**NOTA:** La possibilità per una scuola di crescere e raccogliere i propri semi è aperta, ed è una interessante prospettiva didattica.

## Riferimenti bibliografici

- [1] - T. Fuhrmann, S. Salehi, P. Blikstein, "Meta-modelling knowledge: Comparing model construction and model interaction in bifocal modelling", in Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children, ACM, 2013, pp. 483- 486.
- [2] - T. Fuhrmann, B. Schneider, P. Blikstein, "Should students design or interact with models? Using the Bifocal Modelling Framework to investigate model construction in high school science", International Journal of Science Education, 40(8), 2018, pp. 867-893.
- [3] - L. Guasti, G. Bei, "Survey on the use of hydroponic greenhouses in the classroom. Effects on students' eating habits", Journal of Behavior and Feeding, n. 2(2), 2022, pp. 28-32.
- [4] - Arteca, R.N. and Arteca, J.M., A novel method for growing Arabidopsis thaliana plants hydroponically. Physiologia Plantarum, 108: 188-193 (2000). <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.108002188.x>
- [5] - Tocquin P, Corbesier L, Havelange A, Pieltain A, Kurtem E, Bernier G, Périlleux C. A novel high efficiency, low maintenance, hydroponic system for synchronous growth and flowering of Arabidopsis thaliana. BMC Plant Biol, 3,2. (2003) <https://doi.org/10.1186/1471-2229-3-2>

[6] - van Delden SH, Nazarideljou MJ, Marcelis LFM. Nutrient solutions for Arabidopsis thaliana: a study on nutrient solution composition in hydroponics systems. Plant Methods. 16:72 2020. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00606-4>

[7] - Memorandum di crescita idroponica Arabidopsis (Per richiedere il memorandum scrivere a [m.sacco@indire.it](mailto:m.sacco@indire.it))