



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Filosofia, Sociologia, Pedagogia e Psicologia applicata  
FISPPA**

**Corso di laurea in scienze psicologiche sociali e del lavoro**

**Elaborato finale**

**PIANTE E COGNIZIONE NUMERICA**

**PLANTS AND NUMERICAL COGNITION**

***Relatore***

Prof. Umberto Castiello

***Correlatrice***

Dott.ssa Silvia Guerra

***Laureanda***

Nicole Scaggiante

*Matricola:* 2010688

**Anno accademico 2024/2025**

## INDICE

|   |    |
|---|----|
| INTRODUZIONE .....  | 3  |
| CAPITOLO 1: IL MOVIMENTO DELLE PIANTE.....  | 4  |
| 1.1 I movimenti delle piante .....  | 4  |
| 1.2 L'intenzione del movimento delle piante.....  | 7  |
| CAPITOLO 2: DISCRIMINAZIONE NUMERICA IN UNA PROSPETTIVA<br>MULTIDIMENSIONALE.....                                 | 12 |
| 2.1 Discriminazione numerica dei neonati .....  | 12 |
| 2.2 Discriminazione numerica nel regno animale .....  | 14 |
| 2.3 Metodi di studio del processo di discriminazione numerica negli esseri umani e<br>diverse specie animali..... | 18 |
| CAPITOLO 3: DISCRIMINAZIONE NUMERICA NEL REGNO VEGETALE.....  | 20 |
| CAPITOLO 4: DISCUSSIONE E CONCLUSIONE.....  | 23 |
| BIBLIOGRAFIA.....   | 25 |

## INTRODUZIONE

Le piante rappresentano l'80% della biomassa terrestre e svolgono un ruolo importante negli ecosistemi terrestri e nella vita stessa di tutti gli organismi viventi (e.g., generando ossigeno, assorbendo CO<sub>2</sub>, l'approvvigionamento alimentare). Nonostante ciò, l'essere umano tende a sottostimare la loro importanza, definendo le piante come organismi sessili e non in grado di interagire con l'ambiente circostante. Recentemente, una nuova linea di ricerca, chiamata cognizione vegetale, ha permesso di gettare luce sulle straordinarie e ancora poco conosciute abilità delle piante. La cognizione vegetale ha lo scopo di indagare il comportamento e i processi "cognitivi" nelle piante (Castiello, 2023). Un crescente numero di ricerche ha infatti dimostrato come le piante siano organismi capaci di percepire e rispondere ai diversi elementi ambientali in modi più complessi di quanto precedentemente riconosciuto, nonostante la mancanza di un sistema nervoso centrale (SNC). Nel presente elaborato verranno descritte le varie abilità delle piante che consentono loro di adattarsi all'ambiente circostante e di aumentare le proprie possibilità di sopravvivenza. Inoltre, all'interno di questo elaborato approfondirò le abilità numeriche, ovvero sulla capacità di elaborare ed utilizzare informazioni numeriche, nelle piante con particolare attenzione ai meccanismi che sottostanno all'elaborazione delle informazioni numeriche. Al fine di permettere una buona comprensione del presente elaborato verrà inizialmente introdotto il movimento nelle piante, a partire dagli studi condotti da Charles e suo figlio Francis Darwin fino ad oggi (Capitolo 1). Il capitolo 2 sarà incentrato sulle abilità numeriche vere e proprie presentate nei neonati, alcune specie animali e piante. Per concludere nel Capitolo 3 focalizzerò l'attenzione sulle capacità numeriche presentando esempi concreti sulle piante come, per esempio, nelle piante di pisello.

# CAPITOLO 1

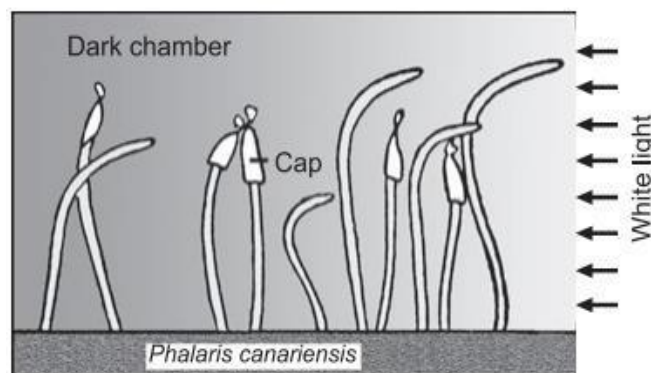
## IL MOVIMENTO NELLE PIANTE

Per secoli, le piante sono state classificate come organismi sessili e non in grado di rispondere in modo controllato e flessibile ai vari stimoli ambientali (Trewavas, 2014). Tale convinzione è stata sfatata da Charles e Francis Darwin (1880), i quali furono i primi ad interessarsi al movimento e al comportamento delle piante. I Darwin (1880) notarono, infatti, che le piante sono in continuo movimento (Castiello 2020, 2021) e individuarono due macrocategorie di movimento: movimenti tropici e movimenti nastici. Alla base di tali movimenti ci sarebbe la circumnutazione, ovvero un movimento oscillatorio di forma ellittica lungo l'asse centrale della pianta durante la fase di crescita (Stolarz et al; 2008). Inoltre, i Darwin (1880) ipotizzano che tale movimento potesse essere utilizzato dalle piante per esplorare l'ambiente circostante e ricercare gli elementi necessari al soddisfacimento di un proprio bisogno. Partendo dalle osservazioni di Darwin, recenti studi hanno dimostrato come il movimento delle piante non sia una semplice risposta automatica all'ambiente circostante, ma bensì pianificato e controllato per soddisfare i bisogni della pianta (Guerra, et al., 2019). Per esempio, le piante rampicanti sono in grado di percepire la presenza di un potenziale supporto nell'ambiente e di modificare il movimento di raggiungimento e prensione in base alle diverse caratteristiche del supporto (e.g., dimensione).

### 1.1 I movimenti delle piante

I Darwin (1880) classificarono i movimenti delle piante in due macrocategorie: i movimenti tropici e nastici. I primi sono dei movimenti determinati da stimoli esterni e avvengono in direzione dello stimolo percepito come per esempio luce (fototropismo); acqua (idrotropismo); gravità (gravitropismo) e stimoli chimici (chemiotropismo). A tal proposito, Darwin e suo figlio Francis nel 1880 condussero un esperimento con oggetto di studio il fenomeno del fototropismo. Il fototropismo è una parola composta che si origina dal greco *phós*, "luce", e *trépestai*, "muoversi". È un fenomeno relativo all'orientamento di organismi biologici, o parte di essi, rispetto a una sorgente luminosa. Può essere sia di carattere positivo che negativo a seconda della direzione della risposta. I Darwin hanno analizzato la risposta fototropica di due specie di graminacee

in italiano scagliola e avena; in latino *Phalaris canariensis* e *Avena sativa*. Durante l'esperimento gli apici degli steli delle piante vennero coperti con dei cappucci opachi (Fig. 1). I risultati hanno evidenziato che le piante che erano state coperte con dei cappucci opachi non crescevano in direzione della luce, come osservato nelle piante in condizioni di crescita normale. Tali evidenze hanno dimostrato che la luce agisce come stimolo che provoca la curvatura dello stelo delle piante (Darwin, 1880). Questo esperimento in particolare portò alla scoperta di ulteriori concetti teorici come, per esempio, la presenza di fotorecettori all'interno delle cellule vegetali (Briggs & Spudich 2005).



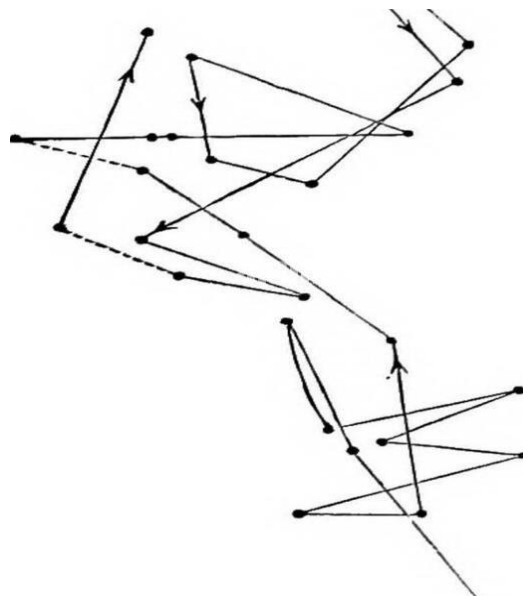
**Figura 1. Illustrazione dell'esperimento Darwin (1880).** Fototropismo in piantine di erba scura (*Phalaris canariensis*) irradiate da un lato con luce bianca continua. Alcune piantine sono state coperte con tappi di carta stagnola. Le piante non hanno presentato una risposta alla luce. I risultati hanno indicato che la punta dell'apice rappresenta la regione sensibile alla luce.

Inoltre, le piante possono determinare la direzione della loro crescita in base a vari stimoli ambientali, tra cui la gravità. Questo fenomeno è descritto come gravitropismo. Si può parlare di risposta gravitropica di tre ordini: positiva ove l'apparato radicale si dirige verso il basso; negativa ossia rivolta verso l'alto, come ad esempio, lo stelo; trasversale, dove la direzione è già implicata nel nome come, ad esempio, la crescita dei rami (Liscum, 2002). Recenti sviluppi della biologia cellulare vegetale suddividono la risposta gravitropica in quattro fasi: (i) riconoscimento del vettore gravità; (ii) conversione di un segnale biofisico in uno biochimico, attraverso la trasduzione del segnale; (iii) trasmissione agli organi di risposta del segnale; (iv) movimento dell'organo in direzione o contro gravità (Tasaka et al 1999). Tra la varietà di risposte ambientali che un essere vegetale può osservare vi è anche il fenomeno

dell'idrotropismo, ovvero il movimento dei vari organi vegetali verso una fonte d'acqua. In merito a questo argomento Darwin (1880) ipotizzò che la punta della radice fosse sensibile alle differenze di umidità e che fosse deputata alla trasmissione di tale informazione alla parte superiore adiacente la quale si piega di conseguenza verso la fonte di umidità (Darwin & Darwin, 1880).

I movimenti nastici, invece, sono movimenti la cui direzione è indipendente dalla direzione dello stimolo. Un esempio di movimento nastico è rappresentato dal movimento di chiusura delle foglie della pianta di *Mimosa pudica* ad uno stimolo tattile. Altre tipologie di movimenti nastici sono i movimenti di nictinastia, termonastia e chemonastia. Il movimento della nictinastia è descrivibile come un movimento legato al ciclo giorno-notte e dalla conseguente apertura e chiusura dell'apparato fogliare. Il movimento di termonastia è un movimento dato dalla risposta alle variazioni termiche; se una pianta con i fiori chiusi viene portata in un ambiente caldo, i fiori si aprono del tutto in pochi minuti come, ad esempio, il fiore del tulipano (REFERENZA). Infine la chemonastia che, come si evince dall'etimo, è un movimento di risposta ad una reazione chimica.

Alla base dei movimenti delle piante i Darwin identificarono un movimento universale e presente nella maggior parte delle piante, ovvero il movimento di circumnutazione (Darwin & Darwin, 1880). In particolare è un movimento che avviene durante la crescita per esplorare l'ambiente circostante. Tale movimento è presente in molte tipologie di piante nello specifico la pianta rampicante. Si possono definire come movimenti di forma elicoidale che dipendono e vengono influenzati da innumerevoli fattori come il ritmo circadiano, la quantità di luce e la temperatura. (Brown;1993).



**Figura 2. Disegno che illustra i movimenti oscillatori di circumnutazione della pianta adulta della specie *Marsilea Quadrifolia*.** Le frecce indicano le direzioni di movimento, identificato dalle linee, nel corso del tempo. Tratto dal libro “The Power of Movement in Plants” (Darwin & Darwin, 1880).

I Darwins (1880) avanzarono l’idea che il movimento di circumnutazione potesse essere utilizzato dalle piante per esplorare l’ambiente circostante e ricercare in esso gli elementi utili e necessari per soddisfare un proprio bisogno. Ad esempio, le piante rampicanti, organismi caratterizzati da uno stelo molto sottile e che necessitano di ricercare un supporto esterno a cui aggrapparsi per raggiungere facilmente la fonte di luce, potessero essere in grado di utilizzare il movimento di circumnutazione per esplorare l’ambiente e ricercare un supporto e, una volta identificato, modificare la traiettoria del loro movimento per raggiungerlo ed aggrapparsi ad esso (Darwin, 1875; Darwin & Darwin, 1880; Trewavas, 2016). In altre parole, contrariamente a quanto si pensa comunemente, i Darwins hanno avanzato l’idea che le piante non siano organismi passivi e statici, ma che siano capaci di agire in modo mirato e strategico per ottenere vantaggi nella loro crescita e nel loro sviluppo (Castiello & Guerra, 2020).

## **1.2. L’intenzione motoria nelle piante**

A partire dalle osservazioni di Darwin (1880) sul comportamento vegetale, recenti evidenze hanno dimostrato come le piante siano in grado di elaborare informazioni in modo sofisticato. Le piante, infatti, possono rilevare la presenza di organismi nocivi o concorrenti e attivare conseguenti risposte di difesa o di competizione per le risorse, inoltre possono modificare il loro comportamento in base alle informazioni acquisite (Castiello & Guerra, 2020; Cahill, 2010). Le piante sono in grado di prendere decisioni al fine di aumentare le proprie possibilità di sopravvivenza. Dener e collaboratori (2016) hanno studiato la pianta di pisello (*Pisum sativum L.*) in condizioni ambientali con diversi livelli di nutrienti nel terreno. All’interno dell’esperienza si è voluto indagare la crescita delle radici in presenza di differenti livelli di concentrazione dei nutrienti nel suolo e alla varianza di concentrazione degli stessi. Misurando la crescita delle radici delle piante di pisello, Dener e collaboratori (2016) hanno osservato che le piante adottano un comportamento di tipo adattivo. I ricercatori hanno testato piante di pisello in vasi separati che presentavano diversi livelli di nutrimenti: un vaso aveva una concentrazione di nutrienti costante mentre l’altro ha

ricevuto una concentrazione di nutrienti variabile. Gli sperimentatori hanno scoperto che quando la concentrazione di nutrienti nel primo vaso era sufficiente per le piante a soddisfare le loro esigenze metaboliche, le piante hanno sviluppato le radici in quel vaso. Tuttavia, se la concentrazione di nutrienti era insufficiente, le piante hanno sviluppato più radici nel vaso che riceveva la concentrazione di nutrienti variabile. Tali risultati hanno dimostrato che le piante non scelgono automaticamente il terreno che fornisce nutrimento ma tramite l'apparato radicale scelgono quello più utile alle loro esigenze nutrizionali e che possono passare da un comportamento incline al rischio a uno avverso al rischio in funzione della disponibilità di risorse. Tali risultati supportano la previsione RST (acronimo che sta per le parole in lingua inglese ossia risk sensitive theory). Ciò significa che la proprietà della sensibilità al rischio è stata applicata anche allo sforzo dell'allocazione di crescita delle radici nell'ottica dei livelli di varianza nella concentrazione di nutrienti. Se le radici attraversano strati del terreno con un'alternanza di nutrimento le radici tenderanno a crescere lateralmente negli strati più ricchi. Per concludere la pianta di pisello ha presentato una rilevante plasticità fenotipica che ricade su di una strategia adattiva complessa. Questi nuovi studi hanno portato pur senza conoscere ancora le regole precise dell'allocazione delle piante di pisello ad un buon inizio per indagare ancor di più il processo decisionale e la fisiologia adattiva delle piante.

Tali evidenze hanno messo in luce come le piante utilizzano le informazioni dei cambiamenti per pianificare azioni in grado di salvaguardare la pianta a lungo andare, loro stesse.

Ulteriori evidenze derivano dallo studio della parte aerea (i.e., stelo, cirri, ...) delle piante di pisello. Come accennato nel paragrafo precedente, le piante rampicanti sono caratterizzate da uno stelo sottile che non permette loro di autosostenersi. Perciò tali piante hanno necessità di ricercare nello spazio circostante un potenziale supporto (e.g., un bastone di legno) su cui appoggiarsi e crescere facilmente verso la fonte di luce, necessaria per la propria sopravvivenza. Recentemente, è stato dimostrato come il loro movimento non sia automatico, bensì pianificato e controllato in base a specifiche informazioni provenienti dall'ambiente circostante (Gianoli, 2015; Bonato et al., 2023; Ceccarini et al., 2020 a;b; Guerra et al., 2019; 2021; 2022; Wang et al., 2023a;b). Alcuni recenti studi hanno evidenziato come le piante di pisello (*Pisum Sativum* L.) sono in

grado di avvertire la presenza e/o l'assenza di un eventuale supporto nell'ambiente circostante, di dirigere il proprio movimento di raggiungimento ed aggrappo verso di esso e di modulare il loro movimento in termini di velocità e apertura dei loro cirri (i.e., foglie modificate che consentono alla pianta di ancorarsi al supporto) in base alle diverse proprietà del supporto (e.g., dimensione; Ceccarini et al., 2020 a; b; Guerra et al., 2019; 2021; 2023). Per esempio, Guerra e dei suoi collaboratori (2019) hanno dimostrato mediante l'utilizzo della analisi cinematica tridimensionale (3D) del movimento che il movimento delle piante di pisello era più rapido e l'apertura dei cirri era maggiore quando il supporto presentato era di piccole dimensioni, rispetto a supporti di grandi dimensioni. Tali risultati hanno dimostrato che le piante sono in grado di esaminare e distinguere in maniera compiuta le caratteristiche peculiari e fisiche degli elementi presenti nell'ambiente circostante e di modulare il loro comportamento, di conseguenza, per soddisfare i propri bisogni. Successivamente, Wang e collaboratori (2023) hanno studiato mediante l'analisi cinematica 3D del movimento il comportamento delle piante di pisello in un contesto ambientale in cui erano presenti due potenziali sostegni di grandezza diversa. I risultati hanno evidenziato che le piante di pisello hanno direzionato il loro movimento in direzione del sostegno di dimensioni minori. Inoltre, è livello cinematico come le piante siano in grado di ispezionare l'ambiente circostante. Tali evidenze hanno quindi dimostrato che le piante di pisello sono in grado di monitorare in modo efficiente i diversi stimoli ambientali e scegliere gli elementi maggiormente adatti alle loro esigenze. In conclusione, le presenti evidenze hanno evidenziato che le piante sono in grado di percepire i diversi elementi ambientali, di elaborarli, e, di eseguire un comportamento controllato per raggiungere un proprio obiettivo e soddisfare un proprio bisogno.

Ma tutte queste azioni come possono verificarsi senza la presenza di un organo vitale come il cervello? Guerra e i suoi collaboratori (2021), hanno testato il ruolo delle radici di pisello nel processo di codifica delle capacità intrinseche di un potenziale supporto presente nell'ambiente. Le piante di pisello sono state testate mediante l'analisi cinematica 3D del movimento in presenza di sostegni interrati di differenti grandezze o in presenza di un supporto di diversa grandezza ma sollevato da terra, ovvero non percepibile dalle radici. In particolare, è stato ipotizzato che se il sistema radicale non riveste alcun ruolo nella codifica delle dimensioni del sostegno, la cinematica dei cirri

delle piante di pisello non verrà influenzata dallo spessore dello stimolo quanto questo è sollevato da terra e non è quindi accessibile al sistema radicale. Contrariamente, se il sistema radicale ha un suo ruolo nel processo di codifica della grandezza del supporto, la cinematica dei cirri verrà modulata in base allo spessore dello stimolo. I risultati hanno dimostrato che quando il supporto era sollevato da terra, le piante non erano in grado di localizzare il supporto né di modulare la cinematica del loro movimento in base alle diverse caratteristiche del supporto. Tali evidenze hanno suggerito che le radici abbiano un ruolo cruciale nel sentire ed analizzare gli elementi ambientali (Guerra et al, 2021). Possibili meccanismi fisiologici alla base di questo processo potrebbero essere la stimolazione tattile, ovvero le radici potrebbero toccare la parte di stimolo presente nel sottosuolo oppure potrebbe dipendere dall'accumulo di essudati radicali in vicinanza del supporto, ovvero delle sostanze organiche secrete dalle radici che permettono alle piante di monitorare e percepire gli elementi presenti nel sottosuolo (Semchenko, Zobel, Heinemeyer & Hutchings, 2008). Tali evidenze sono in linea con la "root brain hypothesis" di Charles Darwin (1880). All'interno di tale teoria si è evidenziata la presenza all'interno dell'apparato radicale della cosiddetta zona di transizione; posta all'apice della radice stessa. Con ciò si dimostra che le piante sono esseri viventi e non sono organismi sessili.

In conclusione, sembrerebbe possibile affermare che anche organismi senza un cervello possiedono capacità cognitive. Con cognizione, infatti, si intende la facoltà di conoscere, come capacità di apprendere e valutare la realtà circostante (Neisser, 1987). Sebbene questo concetto sia comunemente associato agli animali, è importante evidenziare che anche le piante possiedono discrete capacità cognitive. Come descritto precedentemente le piante sono in grado di percepire i diversi stimoli ambientali, compiere decisioni e pianificare e modulare in modo funzionale un comportamento motorio utile al raggiungimento di un proprio obiettivo. Una delle caratteristiche attribuibili al campo della cognizione è il processo di discriminazione numerica. La capacità di percepire e differenziare le quantità numeriche può essere un vantaggio adattativo per le piante, consentendo loro di regolare le proprie risposte fisiologiche in base a determinati numeri di oggetti o stimoli presenti nell'ambiente. Nei capitoli successivi andremo a ripercorre le diverse evidenze di discriminazione numerica nelle

prime fasi di vita dell'essere umano, in alcune specie del mondo animale ed inseguito in alcune specie di piante.

## **CAPITOLO 2**

### **DISCRIMINAZIONE NUMERICA IN UNA PROSPETTIVA MULTIDIMENSIONALE**

Il processo di discriminazione numerica viene definito come un processo di quantificazione e discriminazione di quantità (McCrink & Wynn, 2007), ovvero alla capacità di individuare e distinguere quantità numeriche senza necessariamente avere una comprensione completa dei numeri come astrazioni matematiche. La capacità di discriminazione numerica viene definita come il più piccolo cambiamento nella numerosità percepito da un individuo e cresce all'aumentare dell'età e dell'esperienza dai primi giorni di vita fino all'età adulta (Halberda & Feigenson, 2008).

Per gli esseri umani possiamo parlare di intelligenza numerica ossia la capacità di elaborare l'informazione di tipo numerico. Lo studioso Butterworth (1999) parlò di cervello matematico. Egli, infatti, sostenne la tesi innatista del cervello matematico, le cui istruzioni sono insite nel genoma umano (Butterworth, 2005) indi per cui i bambini nascono con un sistema innato di rappresentazione della numerosità, la cui precisione aumenta durante lo sviluppo (Butterworth, 1999). Questi tipi di processi sono chiamati processi automatici ossia processi non intenzionali. Alcune abilità che possiamo ritrovare nella capacità di discriminazione possono essere: la stima, l'acuità e il *subitizing* (Kaufman et al., 1949). Con il termine *subitizing* ci riferiamo al processo di percezione visiva, per cui il bambino nota la differenza tra insiemi di numerosità diversa. Il numero massimo di elementi che il nostro cervello è in grado di farci cogliere tramite il *subitizing* è di quattro elementi (Benoit, Lehalle & Jouen, 2004). La stima è la previsione della quantità presente ed infine l'acuità numerica ossia la discriminazione tra quantità. La discriminazione è stata al centro di molte discipline, come oggetto di studio, ad esempio la psicologia, l'etologia e la biologia.

#### **2.1 Discriminazione numerica nei neonati**

Fino dagli anni 80, la ricerca si è focalizzata sullo studio dello sviluppo delle abilità numeriche in età prescolare. Noti furono gli studi di Piaget (1964). Per Piaget, in concomitanza allo sviluppo del pensiero operatorio, veniva acquisito il concetto di numerosità dal bambino in età di circa sei/sette anni (Piaget 1968). Dagli anni 80 del

900 la ricerca divenne sempre più ampia studiando più approfonditamente tale concetto. Numerose ricerche suggeriscono la presenza di una conoscenza innata del concetto di numerosità e dei meccanismi alla base delle operazioni aritmetiche (Dehaene 1997, Butterworth 1999, Girelli, Lucangeli, Butterworth 2000; Butterworth 2005). All'interno del libro pubblicato nel 1999 scritto da John Bell "*The art of intelligibile*" si può capire la differenza tra categoria e il concetto di numero: la categoria comprende le voci riguardanti i numeri, entità astratte usate per descrivere una quantità, mentre il concetto di numero è relativo alla presenza o all'uso funzionale dei numeri quindi volto alla compressione che il numero sette è più grande del numero sei (Gallister & Gelman 1992). Gli psicologi evolutivi si sono chiesti se la numerosità, essendo una caratteristica insita dell'ambiente, sia presente sin dalla nascita. Gli studiosi vollero indagare se i neonati erano in grado di distinguere tra diverse numerosità e sappiano formare una rappresentazione astratta di essa. La numerosità è una proprietà degli insiemi, che permette di discriminare ed ordinarli, consentendo di rappresentare la quantità. Infatti, possiamo pensare alla numerosità come il numero di elementi che costituiscono un insieme, quindi il riferimento esatto al numero di oggetti appartenenti all'insieme (Lucangeli, Iannitti & Vettore, 2008).

Uno degli esperimenti più noti è stato fatto da Wynn nel 1992. Ipotizzando che i bambini oltre ad una competenza astratta numerica posseggono le capacità di eseguire operazioni matematiche più complesse come addizione e sottrazione. Dunque andrebbe ben oltre quello scoperto da Starkey e collaboratori nell'anno 1990. All'interno delle sue sperimentazioni furono studiati neonati di 5 mesi mediante la tecnica del *looking-time*. Nel suo paradigma, definito "violazione dell'aspettativa" Wynn dimostra, infatti, che bambini di cinque mesi possiedono aspettative aritmetiche. In fase di svolgimento sono presentate ai lattanti bambole di Topolino su di un palco. Tramite attrezzature rotanti che non permettono più di vedere il palco correttamente, uno sperimentatore può aggiungere un'altra bambola dietro lo schermo. Successivamente lo schermo con un'azione rotante svela una o due bambole. I risultati si basano sulla coerenza aritmetica, ad esempio, una bambola più un'altra bambola comprende un totale di due bambole. Gli esiti impossibili e possibili si sono alternati in modo tale da registrare il tempo di osservazione del lattante. Sono presenti due condizioni ovvero una condizione coincide con l'operazione dell'addizione e la seconda condizione coincide con

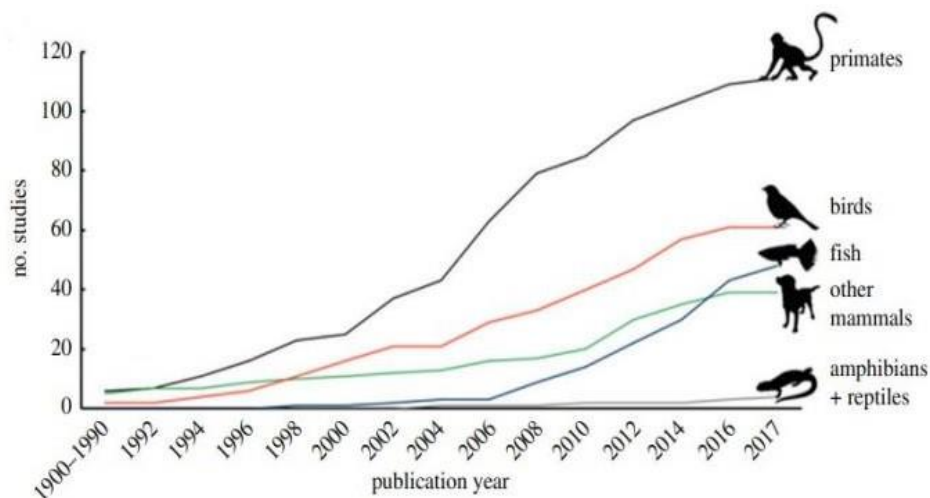
l'operazione della sottrazione. Il risultato è che Wynn afferma “Gli esseri umani possiedono innatamente la capacità di eseguire calcoli semplici ed aritmetici” (1992). Questa affermazione sopraggiunse quando verificarono i risultati e videro come i lattanti di cinque mesi fossero più propensi ad una lunga osservazione per gli eventi impossibili. Le ricerche condotte negli ultimi anni hanno portato a verificare ciò che già indagato da Wynn e a confermare i risultati dell’esperimento. Venne alla luce che i neonati hanno la capacità di rilevare la corrispondenza numerica di massimo tre elementi in varie modalità. Possono essere modalità visive, uditive e tattili. Quindi le capacità dei bambini al di sotto dell’anno di vita si limitano ai primi tre numeri. Questo tipo di risultati suggeriscono che la struttura del cervello sia predisposta da un punto filogenetico poiché dotata di una sezione a-modale astratta di percezione dei numeri. (Feron et.al 2006, Jordan & Brannon 2006, Kobayashi et.al 2005). Inoltre nel nostro cervello esistono circuiti specializzati per categorizzare il mondo in termini di numerosità, definiti da Butterworth “Modulo numerico”. Le capacità numeriche costituiscono un modulo cognitivo innato. Il modulo estrae solo un tipo di informazione dai sensi, in modo rapido ed automatico (Butterworth, 2005). Molti studi in letteratura hanno dimostrato che i neonati sono in grado di discriminare la numerosità di collezioni o sequenze visive (Antell e Keating, 1983). La capacità innata del bambino di comprendere e riferire la numerosità è definita “senso del numero” (Dehaene, 1997). Il senso del numero è basato su una rappresentazione non verbale del numero, che ci fornisce una serie di approssimate abilità numeriche (Bart, Starr & Sullivan, 2009); esso è un costrutto emergente (Dehaene, 1997).

## **2.2 Discriminazione numerica nel regno animale**

La capacità di discriminazione numerica non è una caratteristica esclusiva del genere umano. Molti studi hanno riscontrato delle precoci abilità numeriche anche all’interno del regno animale. È noto come la capacità di discriminare in termini matematici sia una prerogativa della sopravvivenza. Possiamo parlare di competenze messe in atto per aumentare le possibilità di sopravvivenza e così avere una maggiore capacità di adattamento all’ambiente nel regno animale. In molte specie animali sono state riconosciute abilità nella discriminazione. Alcuni esempi sono dati dalle specie di mammiferi acquatici (Jaakkola et al., 2005; Kilian et al., 2005, 2003), nei cani (Ward &

Smuths, 2007; West & Young, 2002), gli uccelli (Pepperberg, 2006; Roberts, 2005; Lyon, 2003; Emmerton & Delius, 1993) e le scimmie antropomorfe e da altri primati (Beran & Beran, 2004; Biro & Matsuzawa, 2001; Sulkowski & Hauser, 2001). Il primo ad aver condotto esperimenti su questo tema e ad aver dichiarato la presenza di abilità di tipo numerico anche negli animali è stato Otto Koehler, il quale ha dimostrato come un corvo di nome Jacob riuscisse a distinguere il numero cinque durante lo svolgimento di una batteria di studi diversi (Koehler, 1943).

Ulteriori studi in laboratorio hanno indagato con precisione tali capacità numeriche negli animali. Brannon e Terrace del 1988 testarono scimmie di razza Rhesus che erano state addestrate a rispondere ad alcuni stimoli di diversa numerosità. Tali stimoli venivano presentati su dei monitor ordinandoli per quantità in ordine crescente. I risultati hanno dimostrato come le scimmie fossero in grado di risolvere il compito. Questa è una delle prime evidenze dell'esistenza di un concetto di ordinalità nei primati non umani. Successivamente, Kilian e collaboratori nell'anno 2003 hanno condotto altri esperimenti addestrando un mammifero acquatico ossia un delfino (*Tursiops truncatus*). Il compito dell'animale fu quello di discriminare un insieme di oggettistica composto da cinque elementi a discapito di un altro insieme sempre di oggetti ma composto da soli due elementi. I risultati confermarono che il delfino sapeva discriminare gli oggetti in base alla loro numerosità. Entrambi gli esperimenti hanno utilizzato il rinforzo alimentare all'interno delle loro sperimentazioni. Numerosi e diversi tipi di animali sono stati utilizzati per conseguire risultati nella discriminazione numerica.



**Figura 3:** Illustrazione dei diversi animali utilizzati dagli anni 1990 in poi durante gli studi sulle abilità numeriche. Fonte: Agrillo & Bisazza, 2018.

Per esempio, Rugani e collaboratori (2016) hanno condotto un esperimento su pulcini domestici (*Gallus Gallus*), i quali dovevano rispondere agli stimoli, previo addestramento, rispetto alle proporzioni tra numeri. Le proporzioni in questione furono 4:1 e 2:1. Tali stimoli furono rappresentati tramite matrici di punti di color verde e di colore rosso. Il compito principale dei pulcini domestici è quello di saper rispondere attivamente a dei nuovi stimoli proporzionali; assimilando quelli presentati inizialmente. I pulcini domestici sono in grado di riconoscere e dunque applicare le varie proporzioni degli stimoli presentati come ad esempio 32:8, 12:3 e 44:11. Quindi hanno dimostrato forte capacità di identificazione ed utilizzo delle nuove informazioni in modo produttivo.

I pulcini, protagonisti dell'esperimento, hanno la capacità di discriminare grandezze numeriche messe in relazione tra di loro (Rugani et. al. 2007).

Un altro tipo di studio condotto sui pulcini si concentra sulla possibilità che i pulcini possono rispondere selettivamente ad una particolare proporzione numerica. I pulcini dovevano circumnavigare il pannello presentato raffigurante una proporzione target di oggetti discreti e delineati presentati a fianco con una proporzione neutra quindi non ricompensata. È stato possibile capire e concretizzare le ipotesi iniziali. I pulcini sono analogamente capaci come i bambini di sei mesi di attuare comportamenti

proporzionali. Infatti il comportamento dei pulcini è guidato dall'astrazione di informazioni numeriche (come le proporzioni; Rugani, McCrink, Hevia, & Regolin, 2016).

La cognizione numerica non simbolica presenta due distinti sistemi. Il primo è il sistema OFS (Object File System) il cui funzionamento si basa sulla memoria a breve termine. Esso è utilizzato per la rappresentazione di piccoli numeri e presenta una capacità di elaborazione di massimo 4 oggetti che vengono mantenuti e analizzati grazie alla memoria a breve termine (Trick, Pylyshyn 1994). Il secondo sistema è l'AMS (Analogue Magnitude System), che viene utilizzato per la manipolazione di una qualsiasi numerosità. In accordo con la legge di Weber, portando ad una diminuzione dell'accuratezza e ad un aumento dei tempi di risposta all'aumentare della numerosità in questione. Si è potuto notare come ci sia un'attivazione dell'AMS quando è presente un insieme complessivo generale. Al contrario quando l'attenzione è rivolta ad elementi singoli si attiva il sistema OFS (Rugani, Regolin, & Vallortigara, 2013).

Altri studi sono stati condotti su altre specie animali come i pesci. Agrillo e collaboratori (2009) hanno testato esemplari adulti di *Gambusia Holbrook* durante un compito di discriminazione tra due set di figure bidimensionali ossia rispettivamente due e tre elementi. L'animale veniva posto in un contenitore avente, come uscite, due corridoi collegati ad una vasca più grande. Tale vasca viene abbellita con della vegetazione e altri pesci della stessa specie. Al di sopra di ogni portata dei corridoi sono posti gli stimoli; una di queste vasche è associata ad una specifica numerosità. Quest'ultima se associata permetteva al soggetto di uscire e dunque andare nella vasca più grande abbellita. Molto importante è il fatto che nessuna variabile continua, durante la fase di addestramento, è stata controllata. I risultati dimostrano come gli stimoli e la grandezza della vasca non siano rilevanti. La prestazione dei soggetti diventa casuale, invece, quando gli stimoli sono pari per spazio occupato. Tutto ciò è stato approfondito in un test di controllo ove le variabili continue vengono controllate. Grazie al controllo delle variabili, fin dalle fasi dell'addestramento si è osservato come i pesci sono in grado di discriminare le quantità numerica in maniera spontanea tra piccole quantità.

## **2.3 Metodi di studio del processo di discriminazione numerica negli esseri umani e diverse specie animali**

Come si possono verificare le capacità numeriche? Nel caso dei neonati sono molto comuni due tecniche: la tecnica del *preferential looking procedure* ossia procedura dello sguardo preferenziale e la tecnica dell'abituazione. Per quanto riguarda l'idea di fondo della tecnica dello sguardo preferenziale è quella di sfruttare la tendenza naturale dei soggetti a soffermarsi più a lungo con lo sguardo quando vedono qualcosa che non si aspettano. Invece nella tecnica dell'abituazione lo stimolo ripetuto diventa via via sempre più familiare e le risposte cessano di esserci. Se lo stimolo viene sostituito da uno diverso, l'attenzione di conseguenza si riaccende. I ricercatori hanno utilizzato lo sguardo preferenziale per studiare la sensibilità dei bambini alla quantità numerica e all'elaborazione stessa (Starkey, Spelke Gelman 1990).

Parlando di tecniche utilizzate negli studi con neonati, viene maggiormente utilizzata la tecnica dello sguardo preferenziale. McCrick e Wynn nel 2007 hanno condotto un esperimento per indagare la capacità di estrazione numerica dei neonati. Nell'esperimento furono utilizzate due condizioni più precisamente nella prima una condizione congruente alle aspettative e nella seconda una condizione di carattere incongruente. Infine, è stato misurato il tempo che i neonati hanno trascorso guardando ciascuno dei diversi insiemi presentati. Grazie all'utilizzo della tecnica dello sguardo preferenziale e dunque fornendo maggiore attenzione alla quantità di tempo che il bambino rivolge allo stimolo si può giungere a determinati risultati. Ossia che i neonati siano in grado di discriminare rapporti numerici che differiscono almeno di due unità. Quando è stato presentato uno stimolo adatto con differenza di due fattori è stato rilevato un tempo di osservazione maggiore. Principalmente quando si parla di esperimenti condotti su animali le tecniche utilizzate possono essere molteplici. Come visto prima sono, ad esempio, l'addestramento oppure le condizioni libere di preferenza (Stancher 2015). Ma non solo. Altre tecniche presentate possono essere condizioni presentate con diverse associazioni di stimoli oppure tecniche di selezione della quantità come, per esempio, l'esperimento con le scimmie cappuccine (*Cebus Apolla*) negli esperimenti di Van Marle e collaboratori (2006). Alcune delle variabili dipendenti studiate maggiormente negli esperimenti sopracitati sono il tempo di osservazione nel caso dei neonati, l'accuratezza nella scelta di due stimoli numerici differenti. È molto

usata anche la reazione di sorpresa che il bambino attua oppure il cambiamento repentino d'espressione dinnanzi ad un evento numerico non atteso. La maggioranza delle variabili sono centrate sulla violazione delle aspettative. Più in generale variabili utili possono essere anche il tempo di esplorazione dunque concentrare l'attenzione per un periodo prolungato su certi oggetti.

## CAPITOLO 3

### DISCRIMINAZIONE NUMERICA NEL REGNO VEGETALE

Per quanto riguarda il mondo vegetale la “discriminazione numerica” è un argomento ad oggi poco esplorato. Evidenze di discriminazione numerica nelle piante sono state riscontrate nel comportamento delle radici durante la fase di esplorazione dell’ambiente sotterraneo e di ricerca del nutrimento necessario. Cahill e collaboratori (2010) hanno studiato il comportamento di foraggiamento delle radici di diverse specie di piante in varie condizioni ambientali come, per esempio, la presenza o meno di piante antagoniste, quindi, se è presente o meno la competizione. Gli studiosi hanno osservato che le piante sono in grado di valutare le diverse quantità di elementi presenti nell’ambiente sotterraneo, come per esempio diversi livelli di nutrienti e di allocare la loro massa radicale dove sono presenti maggiori fonti di nutrienti (Eissenstat e Caldwell, 1988; Jackson e Caldwell, 1989; Jackson Manwaring e Caldwell, 1990). La distribuzione delle risorse non è l’unico elemento che le radici tengono conto per la loro distribuzione spaziale. Come emerge dagli studi di Cahill e collaboratori (2010) sono importanti anche il biota e la quantità delle piante vicine.

Un altro esempio di abilità numerica è dato dal comportamento della *Dionaea Muscipula* L. chiamata comunemente la venere acchiappamosche. Originaria dell’America tale pianta cresce in zone con un terreno carente di sostanze nutritive ed è per questo motivo che non riesce a procurarsi il nutrimento solamente attraverso la fotosintesi. Per far fronte a questa carenza nutritiva tale organismo ha escogitato un altro modo di sopravvivere. Un altro mezzo per sostentarsi grazie alle proteine animali. Per riuscire a catturare gli insetti ha sviluppato una forma particolare di foglia; caratterizzate all’estremità dalle ciglia. La speciale forma delle foglie più la secrezione di nettare nella parte centrale riescono a far catturare piccoli insetti. All’interno della foglia ci sono dei peli neri i quali sono i responsabili dell’attivazione del meccanismo responsabile della chiusura della foglia. Perciò questa trappola si chiude molto velocemente circa in un decimo di secondo. Chiudendosi le ciglia ai lati formano una specie di gabbia naturale per l’insetto rimasto intrappolato. È stato osservato che le foglie della venere acchiappamosche in

seguito alla sollecitazione dei peli neri interni ai lobi della foglia, i quali devono essere toccati almeno due volte in una fase temporale di 20 secondi (Segundo-Ortin & Calvo, 2022). Lo studioso John Burdon Sanderson, il quale condusse esperimenti con l'utilizzo di elettrodi nella foglia, scoprì che premendo solo due dei peli presenti nella foglia della pianta questi liberavano un certo potenziale d'azione. Quindi l'insetto che va a premere questi peli induce la depolarizzazione rilevata inizialmente in entrambi i lobi. John Burdon Sanderson per la prima volta riuscì a spiegare il meccanismo sottostante all'attivazione fogliare della *Venere acchiappamosche* rendendo noto che l'attività elettrica regola lo sviluppo delle piante (Burdon-Sanderson, 1882). Questi studi a loro volta furono convalidati. La conferma delle scoperte fu ascritta allo studioso Alexander Volkov un centinaio di anni più tardi. (Volkov, Adesina, Jovanov, 2007). Una domanda sorge spontanea; come fa la pianta a ricordarsi quanti sono i peli toccati? Queste abilità si verificano poiché le piante hanno capacità di conservare esperienze passate. È un sistema analogo della memoria a breve termine con tanto di formazione e mantenimento della memoria; ossia il lasso di tempo che intercorre tra il primo e il secondo tocco. È vero che per l'attivazione del meccanismo serve un'alta concentrazione di ioni e calcio. Volkov con i suoi esperimenti con gli elettrodi applicati ai lobi della foglia ha determinato l'esatta carica elettrica che serve per azionare la trappola. La carica esatta è di 14 microcoulomb. Questa carica elettrica viene conservata per breve tempo come un aumento della concentrazione ionica prima di dissiparsi nell'arco di venti secondi. Ma se un secondo potenziale di azione raggiunge la nervatura mediana entro questo lasso di tempo, la carica totale e le concentrazioni ioni che superano la soglia richiesta e la trappola scatta. Se trascorre un intervallo di tempo troppo lungo fra i potenziali di azione, allora la pianta dimentica il primo e la trappola rimane aperta (Chamovitz 2012).

Un ulteriore esempio di discriminazione numerica nelle piante è dato da un recente studio di Guerra e collaboratori (sottomesso) nel quale è stato indagato il processo di discriminazione numerica nelle piante rampicanti di pisello mediante l'analisi cinematica tridimensionale del movimento. In particolare, le piante rampicanti di pisello sono state testate in presenza di quantità uguali (2 vs. 2; condizione di controllo) o disuguali (1 vs. 3; condizione sperimentale) di supporti nell'ambiente. I

risultati hanno mostrato che le piante sono in grado di percepire gli elementi dell'ambiente e stimarne la quantità. Infatti, nella condizione sperimentale la maggior parte delle piante si è diretta verso la quantità di maggiori elementi, mentre nella condizione di controllo le piante non hanno evidenziato una preferenza specifica. Questa prova, anche se rudimentale, ha dimostrato che le piante presentano capacità legate alla quantità che possono essere alla base delle loro strategie decisionali adattive.

## CAPITOLO 4

### DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

Ho scelto di approfondire l'argomento delle abilità numeriche nelle piante perché, oltre ad essere un argomento di mio interesse personale, è posta sempre più attenzione sullo studio delle varie capacità cognitive delle piante. Le piante sono da sempre considerate esseri perlopiù passivi e non capaci di intraprendere pattern di comportamento complessi. Recentemente è emersa una nuova linea di ricerca chiamata cognizione vegetale. La cognizione vegetale ha lo scopo di indagare il comportamento e i processi "cognitivi" nelle piante (Castiello, 2023). Nel campo della cognizione vegetale sempre più ricerche sono condotte per approfondire le capacità presenti nel mondo vegetale. Una varietà di ricerche hanno dimostrato che le piante presentano molte capacità che possono essere definite come "cognitive" come, per esempio, la capacità di discriminazione numerica ed abilità cognitive, indicando così una complessità comportamentale. Diverse sono le prove dell'esistenza della capacità numeriche nelle piante come, per esempio, nelle piante di Pisello le quali sono in grado di percepire la diversa quantità di supporti nell'ambiente e di modulare il proprio comportamento di conseguenza. Oppure studi di Cahill e collaboratori nel 2010 hanno osservato che le piante sono in grado di valutare le diverse quantità di elementi presenti nell'ambiente sotterraneo, come per esempio diversi livelli di nutrienti e di allocare la loro massa radicale dove sono presenti maggiori fonti di nutrienti (Eissenstat e Caldwell, 1988; Jackson e Caldwell, 1989; Jackson Manwaring e Caldwell, 1990). Un altro esempio di abilità numerica è dato dal comportamento della *Dionaea Muscipula* L. chiamata comunemente la venere acchiappamosche. Per riuscire a catturare gli insetti ha sviluppato una forma particolare di foglia; caratterizzate all'estremità dalle ciglia. Tale apparato fogliare è caratterizzato dalla rapida chiusura delle stesse. I peli presenti all'interno devono essere toccati almeno due volte in una fase temporale di 20 secondi (Segundo-Ortin & Calvo, 2022).

La ricerca sulla cognizione numerica delle piante è agli albori; questo significa che ci sono numerose possibilità di ricerca futura. Ad esempio approfondire la fisiologia vegetale e relativi meccanismi fisiologici. Dunque, indagare il meccanismo fisiologico alla base delle abilità di discriminazione numerica pur non possedendo un sistema

nervoso. Studiare perciò i vari segnali chimici ed elettrici della pianta stessa. Un'altra area di indagine è l'area dei comportamenti complessi, ovvero se le piante presentano abilità numeriche più complesse come l'ordinamento di quantità o il riconoscimento di pattern numerici. Eventuali nuove ricerche e relativi risultati potranno aprire la strada a nuove considerazioni in campo agricolo con la seguente ottimizzazione delle risorse e promuovere maggiore sostenibilità delle colture.

## BIBLIOGRAFIA

- Abramson, C. I., & Chicas-Mosier, A. M. (2016). Learning in plants: Lessons from *Mimosa pudica*. *Frontiers in Psychology*, 7, Article 417.
- Antell, S. E., & Keating, D. P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development*, 54(3), 695-701.
- Baillargeon, R., Spelke, E. S., & Wasserman, S. (1985). Object permanence in five-month-old infants. *Cognition*, 20(3), 191-208.
- Baluška, F., & Mancuso, S. (2009). Plant neurobiology: From stimulus perception to adaptive behavior of plants via integrated chemical and electrical signaling. *Plant Signaling & Behavior*, 4(2), 125-128.
- Baluška, F., Mancuso, S., Volkmann, D., & Barlow, P. (2009). The 'root-brain' hypothesis of Charles and Francis Darwin. *Plant Signaling & Behavior*, 4(12), 1121-1127.
- Broz, A. K., Broeckling, C. D., De-la-Peña, C., Lewis, M. R., Greene, E., Callaway, R. M., Sumner, L. W., & Vivanco, J. M. (2010). Plant neighbor identity influences plant biochemistry and physiology related to defense. *BMC Plant Biology*, 10(1), 115.
- Burdon-Sanderson, J. (1882). On the physiology of *Dionaea muscipula*: Observations on the action potentials. *Journal of Physiology*, 3(1), 1-15.
- Cahill, J. F., Jr., & McNickle, G. G. (n.d.). L'ecologia comportamentale del foraggiamento dei nutrienti da parte delle piante.
- Cahill, J. F., Jr., McNickle, G. G., Haag, J. J., Lamb, E. G., Nyanumba, S. M., & St. Clair, C. C. (2010). Plants integrate information about nutrients and neighbors. *Science*.
- Casper, B. B., & Cahill, J. F., Jr. (1996). Population-level responses to nutrient heterogeneity and density by *Abutilon theophrasti* (Malvaceae): An experimental neighborhood approach. *Journal of Ecology*, 84(2), 347-356.
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life* (1st ed.). John Murray.
- Darwin, C., & Darwin, F. (1881). *The power of movement in plants*. D. Appleton.
- Dudley, S. A. (2015). Plant cooperation. *AoB PLANTS*, 7, plv113.
- Eissenstat, D. M., & Caldwell, M. M. (1988). The role of root length and distribution in the acquisition of soil nutrients. *Oecologia*, 77(4), 548-556.

- Gagliano, M., Abramson, C. I., & Depczynski, M. (2016). The 'unseen' learning of plants. *Journal of Plant Behavior*, 4(2), 45-55.
- Georgiou, I., Becchio, C., Glover, S., & Castiello, U. (2007). Different action patterns for cooperative and competitive behavior. *Cognition*, 105(2), 500-516.
- Gianoli, E. (2015). The behavioral ecology of climbing plants. *Functional Ecology*, 29(6), 735-743.
- Guerra, S., Peressotti, A., Peressotti, F., Bulgheroni, M., Baccinelli, W., D'Amico, E., Gómez, A., Massaccesi, S., Ceccarini, F., & Castiello, U. (2020). Flexible control of movement in plants. *Journal of Experimental Botany*, 71(6), 1840-1850.
- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the discrimination of small numerical quantities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 151-165.
- Heil, M., & Bueno, J. C. S. (2007). Herbivore-induced volatiles as rapid signals in systemic plant responses. *Plant Signaling & Behavior*, 2(4), 234-237.
- Huey, R. B., Carlson, M., Crozier, L., Frazier, M., Hamilton, H., Harley, C., Hoang, A., & Kingsolver, J. G. (2002). Plants versus animals: Do they deal with stress in different ways? *Integrative and Comparative Biology*, 42(4), 664-676.
- Kutschera, U., & Briggs, W. R. (n.d.). From Charles Darwin's botanical country-house studies to modern plant biology. Department of Plant Biology, Carnegie Institution for Science, Stanford, California 94305, USA.
- Kaufman, A. S., Lord, M. W., Reese, H. W., & Volkman, J. (1949). The relation between numerical and spatial abilities. *Journal of Experimental Psychology*, 39(6), 1065-1076.
- Lee, J., Segundo-Ortín, M., & Calvo, P. (2023). Decision making in plants: A rooted perspective. *Plant Signaling, Behavior and Communication*.
- McCrink, K., & Wynn, K. (2007). The development of numerical cognition in infancy. *Developmental Science*, 10(2), 122-130.
- Rugani, R. (2017). Towards numerical cognition's origin: Insights from day-old domestic chicks.
- Rugani, R., McCrink, K., de Hevia, M. D., Vallortigara, G., & Regolin, L. (2016, July). Abstract representation of discrete quantities by newborn domestic chicks (*Gallus gallus*).
- Segundo-Ortín, M., & Calvo, P. (2015). Consciousness and cognition in plants. *Journal of Plant Behavior*, 7(2), 101-113.

- Shkolnik, D., Nuriel, R., Bonza, M. C., Costa, A., & Fromm, H. (2016). MIZ1 regulates ECA1 to generate a slow, long-distance phloem transmitted  $Ca^{2+}$  signal essential for root water tracking in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 28(7), 1805-1820.
- Spelke, E. S. (1990). Principles of object perception. *Cognitive Science*, 14(1), 29-56.
- Stolarz, M. (2009). Circumnutation as a visible plant action and reaction. *Plant Signaling & Behavior*, 4(4), 350-352.
- Tozzi, E., & Willenborg, C. J. (2017). La presenza del vicino, non l'identità, influenza l'allocazione delle radici e dei germogli nel pisello. *Journal of Plant Research*, 130(6), 863-874.
- Trewavas, A. (2003). Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany*, 92(1), 1-20.
- VanMarle, K., Aw, J., McCrink, K., & Santos, L. R. (2014). How capuchin monkeys (*Cebus apella*) quantify objects and substances. *Animal Cognition*, 17(4), 833-842.
- Wang, Q., Guerra, S., Ceccarini, F., Bonato, B., & Castiello, U. (2021). Sowing the seeds of intentionality: Motor intentions in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 16(1), 187-196.
- Wilson, J. B. (1988). Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology*, 25(1), 279-296.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749-750.