



# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Filosofia, Sociologia, Pedagogia e Psicologia Applicata  
Dipartimento di Psicologia Generale

**Corso di laurea magistrale in Psicologia Sociale, del Lavoro e della Comunicazione**

Tesi di laurea magistrale

## **LA LEADERSHIP COME FENOMENO ADATTIVO: UNO SGUARDO AL REGNO VEGETALE**

Leadership as an Adaptive Phenomenon: Insights from the Plant Kingdom

*Relatrice*

**Dott.ssa Bianca Bonato**

*Laureanda:* **Eva Pittaro**

*Matricola:* **2053320**

Anno Accademico 2024/2025



## Abstract

Una delle sfide più complesse che le organizzazioni contemporanee si trovano ad affrontare riguarda la gestione delle persone e delle relazioni interpersonali, in un contesto caratterizzato da crescente complessità e rapidità di cambiamento. In questo scenario, la leadership rappresenta una leva cruciale per l'evoluzione dei gruppi e delle organizzazioni. Il presente elaborato indaga la leadership come fenomeno adattivo, adottando una prospettiva interdisciplinare che integra contributi provenienti dalla psicologia del lavoro, dall'etologia e dalla cognizione vegetale. L'obiettivo è individuare principi trasversali al mondo umano, animale e vegetale, in un'ottica evolucionistica. In particolare, vengono approfonditi tre principi adattivi comuni: la leadership sociale, basata sull'interazione e sul riconoscimento dell'altro; la leadership distribuita, che consente flessibilità e resilienza nei sistemi collettivi; e la leadership cooperativa, orientata alla stabilità dell'ecosistema di riferimento. Tali meccanismi, osservabili in natura, suggeriscono che la leadership non sia un'esclusiva prerogativa umana, bensì un principio emergente dai processi di interazione tra organismi viventi. L'analisi comparativa proposta permette dunque di introdurre il concetto di leadership vegetale, al fine di esplorare un fenomeno da sempre pensato come esclusiva umana ma che in realtà è diffuso in diverse forme comunitarie negli ecosistemi. Andando alle radici del fenomeno sociale della leadership *across taxa* possiamo comprendere meglio le sue radici e le sue motivazioni e aprire nuove strade alla comprensione in termini evolutivi delle organizzazioni sociali.

# Indice

Abstract.....	ii
Indice .....	iii
Introduzione.....	1
Capitolo 1 - La leadership: definizione e cenni storici.....	4
1.1 Definizione e cenni storici.....	4
1.2 Il ruolo adattivo della leadership .....	6
1.3 Modelli di leadership a livello umano .....	7
1.3.1 La Teoria degli stadi evolutivi.....	7
1.3.2 Teorie della leadership umana.....	10
Capitolo 2 – Modelli di leadership a livello animale.....	13
2.1 Caratteristiche della leadership animale.....	14
2.1.1 La struttura sociale.....	14
2.1.2 Il processo di riconoscimento .....	19
2.1.3 Distribuzione della leadership e processo decisionale .....	21
2.1.4 Dimensione temporale della leadership.....	26
2.1.5 Raggio di azione della leadership.....	26
2.1.6 Osservabilità della leadership.....	27
2.2 Teorie della leadership animale.....	28
Capitolo 3 – Possibili meccanismi di leadership a livello vegetale.....	30
3.1 Adattamento come intelligenza individuale .....	32
3.2 Adattamento come convivenza collettiva.....	35
3.2.1 Rilevamento dei vicini.....	36
3.2.2 Distinzione tra vicini .....	43
3.2.3 Risposte ai vicini .....	46
Capitolo 4 – Similitudini tra leadership umana, animale e vegetale .....	50
4.1 Una leadership sociale: interazioni.....	51

4.2 Una leadership distribuita: struttura .....	52
4.3 Una leadership cooperativa: ecosistema.....	54
Conclusione .....	58
Bibliografia.....	61

# Introduzione

In un'epoca segnata da crescente complessità, accelerazione tecnologica e instabilità sociale, le organizzazioni si trovano ad affrontare sfide sempre più articolate nella gestione delle persone e delle relazioni. In questo contesto, la leadership rappresenta una leva cruciale per garantire coesione, adattamento e innovazione (Dias et al., 2023).

Tuttavia, i modelli tradizionali, spesso basati su una concezione gerarchica e individualista del potere, mostrano oggi segnali di inadeguatezza di fronte alla natura dinamica dei sistemi umani e collettivi. Questo lavoro nasce dall'esigenza di esplorare la leadership in una prospettiva nuova e sistemica, superando la visione antropocentrica che l'ha finora relegata all'ambito umano. Ispirandosi alla teoria dell'evoluzione di Charles Darwin (1859) e alle sue successive riletture (Van Vugt & Smith, 2019; Pievani, 2009), questo elaborato adotta un approccio interdisciplinare che integra contributi della psicologia del lavoro, della biologia comportamentale e della cognizione vegetale (Castiello, 2021), per esplorare la leadership come fenomeno emergente dall'interazione tra organismi viventi. L'assunto di fondo è che la leadership non sia un'esclusiva prerogativa della nostra specie, ma piuttosto un principio adattivo osservabile in diversi livelli della vita collettiva, anche là dove meno ci si aspetterebbe, come nel regno vegetale. Questa esclusione del mondo vegetale dalla riflessione sulle dinamiche sociali e organizzative è riconducibile anche a un fenomeno noto come *plant blindness*, ovvero un bias cognitivo e percettivo che porta l'essere umano a sottovalutare o ignorare la presenza, la complessità e il ruolo ecologico delle piante (Wandersee & Schussler, 1999). Questo pregiudizio, radicato nella cultura occidentale e amplificato da un'educazione centrata sugli animali e sull'uomo, ha contribuito a relegare le piante a un ruolo passivo e marginale nell'immaginario collettivo. Superare

la *plant blindness* significa allora riconoscere che anche il mondo vegetale, pur privo di cervello, manifesta forme di sensibilità, comunicazione e adattamento collettivo che meritano attenzione e rispetto scientifico. In quest'ottica, esplorare la possibilità di una leadership vegetale non è soltanto un esercizio concettuale, ma anche un gesto di inclusione teorica. La leadership viene dunque intesa non come ruolo statico ma come processo fluido che emerge dal riconoscimento reciproco, dalla cooperazione e dalla capacità collettiva di rispondere alle sollecitazioni ambientali. Tale impostazione si basa su una concezione relazionale del vivente, secondo cui l'adattamento non riguarda solo l'individuo ma l'intero gruppo, e la sopravvivenza dipende dalla capacità di costruire sistemi interdipendenti e resilienti (Mancuso, 2019; Bilas et al., 2021).

Il percorso della tesi si apre con un'indagine sulla leadership umana, attraverso l'analisi delle principali teorie classiche e l'integrazione con la Teoria degli stadi evolutivi di Frederic Laloux (2016), che interpreta l'evoluzione delle organizzazioni come risposta a cambiamenti di coscienza collettiva. Si prosegue con l'esame della leadership nel mondo animale, dove le dinamiche decisionali e la distribuzione del potere all'interno dei gruppi sociali vengono esplorati attraverso studi etologici su specie diverse (Ward & Webster, 2016; Garland et al., 2018). Il nucleo centrale dell'elaborato è dedicato al mondo vegetale, con l'intento di mostrare come anche in assenza di un sistema nervoso centrale o di mobilità attiva, le piante siano capaci di riconoscere, interagire e influenzarsi reciprocamente, dimostrando forme di intelligenza e coordinazione che possono essere interpretate alla luce di un nuovo concetto: quello di leadership vegetale (Trewavas, 2003; Mancuso, 2017; Bilas et al., 2021). Nella parte finale, viene proposto un confronto tra i tre livelli analizzati – umano, animale e vegetale – per individuare alcuni principi adattivi comuni, tra cui l'importanza dell'interazione sociale, la

distribuzione della leadership e la cooperazione come soluzione per raggiungere il benessere collettivo. Questi principi, letti in chiave evolutiva, suggeriscono che la leadership non sia un attributo fisso o una qualità innata, ma piuttosto un “flusso” di influenze che si attiva quando gli organismi si mettono in relazione per affrontare l’incertezza e il cambiamento. In definitiva, questa tesi intende offrire una rilettura della leadership come fenomeno *across taxa*, fondato su processi di mutuo appoggio e interconnessione. Comprendere la leadership a partire dalle forme di vita più diverse significa anche ripensare le nostre organizzazioni in termini più ecologici, cooperativi e resilienti, riconoscendo che la sopravvivenza non dipende dalla competizione ma dalla capacità di costruire insieme ecosistemi sostenibili.

# Capitolo 1 - La leadership: definizione e cenni storici

## 1.1 Definizione e cenni storici

La leadership è un concetto che da sempre solletica le menti di numerosi studiosi. In particolar modo, nel corso del secolo scorso, ricercatori provenienti da tutto il mondo si sono dedicati all'approfondimento di tale costrutto, consapevoli del notevole impatto che una leadership efficace possa avere nell'ingaggio dei lavoratori e nella promozione del loro benessere (Dias et al., 2023). Nonostante lo studio intenso dedicato al tema, non è ancora emersa in letteratura una definizione standardizzata e condivisa del termine "leadership" (Hunt & Fedynich, 2019; Taormina, 2010; Winston & Patterson, 2006). Negli ultimi anni un gruppo di ricerca della Regent University di Londra (Winston & Patterson, 2006) ha condotto una ricerca nella quale sono stati esaminati 160 articoli contenenti una definizione di leadership o di un suo costrutto, con l'obiettivo di produrne una definizione integrata. Tuttavia, per quanto informativo, il tentativo di accorpare tutti gli elementi presenti in letteratura rischia di rendere dispersiva e poco accessibile tale definizione. L'unica certezza sembra essere il fatto che *"se venissero intervistate cento persone, ci sarebbero cento diverse risposte relativamente alla definizione di leader e alle qualità di un leader"* (Hunt & Fedynich, 2019). Alcuni suggeriscono che una persona sia leader fin dalla nascita con una predisposizione a condurre (es. *Great Man Theory* e *Trait Theory*); altri evidenziano l'importanza della situazione specifica e dell'esperienza nella formazione di un leader (es. *Situational Leadership Theory* e *Contingency Model*); altri ancora si focalizzano sulla complessa interazione tra leader, follower e intero ecosistema (es. *Transformational Leadership* e *Transactional Leadership*). Hunt & Fedynich (2019) nel loro studio riportano alcune definizioni, scovate in letteratura, della figura del leader che viene descritto come *"una*

*qualsiasi rilevante influenza esercitata su un'organizzazione*<sup>1</sup>”, oppure “*colui che esercita influenza sui suoi collaboratori per raggiungere gli obiettivi prefissati*”<sup>2</sup>”.

Dallo studio della letteratura scientifica emerge dunque che le definizioni in merito siano molteplici e, di conseguenza, altrettanto notevole sia il numero di teorie sviluppate con l'obiettivo di dipingere il fenomeno della leadership. In questo senso, pur non rientrando nello scopo di questo elaborato, è interessante evidenziare il lavoro di alcuni studiosi che hanno condotto un excursus storico-evoluzionistico sul tema della leadership, a partire dal pensiero di filosofi e studiosi quali Platone, Aristotele, Macchiavelli, Confucio, fino alla concezione odierna (Grint, 2011; Taormina, 2010; Van Vugt & Smith, 2019). Ai fini di questa ricerca, è interessante focalizzarsi su una prospettiva recente, che guarda al tema della leadership con occhi evoluzionistici e sostiene che le competenze o tratti individuali legati alla leadership possano essere il risultato dell'evoluzione della nostra specie (Couzin et al., 2005; Taormina, 2010; Hunt & Fedynich, 2019; Mancuso, 2019; Van Vugt & Smith, 2019; Van Vugt & von Rueden, 2020; Benmira & Agboola, 2021). Tale visione della leadership si fonda sulla “Teoria dell'evoluzione” di Charles Darwin (1859), presentata nel libro *l'Origine delle specie*, in cui sono riportate le numerose osservazioni documentate per decenni da Darwin nel suo viaggio attorno al mondo, a supporto della sua teoria dell'evoluzione delle specie viventi. Il cuore di tale teoria spiega come “*tutte le specie viventi sono connesse in qualche maniera le une con le altre da relazioni palesi o nascoste e che agire su una specie direttamente o semplicemente alterandone l'ambiente può avere conseguenze del tutto inaspettate*” (Mancuso, 2019). Il pensiero di Darwin sarà oggetto di discussione in questo elaborato ma, per il momento, è importante evidenziare l'impatto che tale visione

---

<sup>1</sup> Testo originale: “any relevant influence made upon an organization”.

<sup>2</sup> Testo originale: “one that exerts influence upon his subordinates to achieve stated goals”.

ha avuto sulla nostra idea di leadership come fenomeno evolutivo. In particolare, secondo Darwin, l'obiettivo della vita è la sopravvivenza della specie e, quindi, l'organismo "migliore" sarà quello più adatto a sopravvivere (Mancuso, 2019). Si può quindi dedurre che, tra i comportamenti che si sono evoluti nel corso del tempo, la leadership sia un comportamento adattivo che ha contribuito all'evoluzione delle specie viventi (Hunt & Fedynich, 2019). Secondo l'Enciclopedia Treccani, il termine "specie" viene definito come *"l'unità minima di classificazione, ovvero il raggruppamento più piccolo in cui possono essere inclusi piante, animali o qualsiasi altro essere vivente"*. Dunque, la lettura della leadership in ottica evolutiva permette di inquadrare tale fenomeno da una nuova angolazione, più ampia e distanziata, che include non solo l'essere umano ma anche il mondo animale e soprattutto quello vegetale.

## 1.2 Il ruolo adattivo della leadership

La leadership può essere considerata un fenomeno adattivo in quanto rappresenta un meccanismo evolutivo essenziale per la sopravvivenza e il successo dei gruppi, siano essi umani, animali o vegetali. In questa prospettiva, la leadership non è solo un insieme di competenze o tratti individuali, ma una funzione emergente che risponde alle esigenze dell'ambiente e del contesto sociale (Garfield et al., 2019). Dal punto di vista evolutivo, la leadership si è sviluppata per favorire il coordinamento, l'organizzazione delle risorse e la presa di decisioni in condizioni di incertezza (Couzin et al., 2005). Le sopracitate caratteristiche di coordinamento, organizzazione e presa decisionale, che si sono evolute nel corso del tempo, accomunano tutte le specie viventi. In particolare, nei gruppi umani, il leader svolge un ruolo chiave nella risoluzione dei conflitti, nella distribuzione delle risorse e nella gestione delle emergenze, contribuendo alla stabilità e alla coesione sociale (King & Cowlshaw, 2009). Similmente, nel regno animale, la

leadership si manifesta attraverso diverse modalità, come la guida nella ricerca di cibo, la difesa del territorio o la regolazione delle interazioni sociali (Couzin et al., 2005). Infine, nel mondo vegetale, la leadership potrebbe assumere una forma più decentralizzata e cooperativa. Le piante non possiedono un sistema nervoso ma dimostrano capacità di comunicazione e coordinazione che favoriscono l'adattamento collettivo (Mancuso, 2017). Inoltre, un aspetto fondamentale della leadership adattiva è la sua flessibilità. Da questa breve anticipazione delle caratteristiche principali della leadership umana, animale e vegetale, emerge infatti come, nei contesti dinamici, i leader efficaci siano quelli in grado di modificare il proprio stile e approccio in base alle circostanze (Nelson & Squires, 2017). L'adattabilità della leadership risulta quindi un fattore chiave nell'evoluzione e nella resilienza di molte strutture organizzate, indipendentemente dalla loro natura (Garfield et al., 2019).

### 1.3 Modelli di leadership a livello umano

#### 1.3.1 *La Teoria degli stadi evolutivi*

Ogni volta che l'essere umano, come specie, ha modificato il proprio modo di osservare e pensare il mondo, sono stati scoperti e si sono resi necessari nuovi tipi di organizzazione (Laloux, 2016). Questo pensiero viene magistralmente approfondito da Frederic Laloux, autore del libro "*Reinventare le organizzazioni. Come creare organizzazioni ispirate al prossimo stadio della consapevolezza umana*", pubblicato nel 2016. Precisamente, Laloux descrive queste transizioni di pensiero con il termine *stadi di coscienza* o *stadi dell'evoluzione* e li associa ad una svolta nella capacità collaborativa degli esseri umani e, dunque, a dei nuovi modelli organizzativi. Un aspetto chiave di tale pensiero è la precisazione che ciascuno stadio evolutivo non implichi necessariamente un miglioramento progressivo rispetto a quelli precedenti.

Precisamente, tali fasi evolutive rappresentano modi “più complessi” di gestire la realtà, nelle quali emergono nuovi paradigmi, o modelli, che gli individui applicano nella propria quotidianità. In questo senso, è possibile evidenziare un parallelismo con la Teoria dell’evoluzione di Darwin (1859) che dichiara che la selezione naturale fa sì che sopravviva il più adatto. Dunque, come l’evoluzione premia l’individuo in grado di adattarsi ai cambiamenti e alle richieste dell’ambiente – non l’individuo più forte e nemmeno il migliore – allo stesso modo i diversi stadi evolutivi rappresentano un adattamento progressivo alla realtà, senza essere necessariamente legati ad un giudizio morale che li identifichi come migliori o peggiori.

All’interno di questo contesto, la leadership si è evoluta in maniera significativa nel tempo, passando da visioni statiche e gerarchiche a modelli più fluidi e adattivi. Le teorie classiche della leadership hanno cercato di spiegare il fenomeno attraverso diverse prospettive, ponendo le basi per le concezioni moderne ed emergenti. Tra le principali troviamo la *Great Man Theory* (Thomas Carlyle), *Trait Theory* (Allport & Stogdill), *Behavioural Theory* (studiosi dell’Università dell’Ohio e del Michigan), *Situational Leadership Theory* (Hersey & Blanchard), *Contingency Model* (Fred Fiedler), *Transformational Leadership* (James MacGregor Burns, ampliata da Bernard Bass), *Transactional Leadership* (James MacGregor Burns, ampliata da Bernard Bass), *Servant Leadership* (Robert K. Greenleaf), *Authentic Leadership* (Bruce Avolio, William L. Gardner, Bill George). L’obiettivo dei seguenti paragrafi è quello di descrivere i diversi stadi dell’evoluzione citati da Laloux (2016), per poi provare a trovare corrispondenza con le teorie classiche della leadership, nel tentativo di creare omogeneità e identificare un *fil rouge* nel vasto mondo della leadership umana.

Il *Modello impulsivo* (Laloux, 2016) risale a circa 10.000 anni fa e dà origine alle *organizzazioni rosse*, sistemi fortemente gerarchici che si adattano alla gestione di ambienti caotici e ostili (zone di combattimento, guerre civili, prigionie ecc). In questo contesto, il potere rappresenta il collante nelle relazioni interpersonali. Il leader esercita infatti un'autorità basata sul comando, ha il compito di mantenere allineato il gruppo e ci riesce agendo sulla paura. Alcune metafore utili a comprendere tale modello sono le organizzazioni mafiose, le bande di strada e il branco di lupi.

Il *Modello conformista* (Laloux, 2016) dà origine alle *organizzazioni ambrate*, sistemi in cui la stabilità regna suprema e viene perseguita grazie a strutture rigide e burocratiche, processi rigorosi e ruoli formalizzati. In questo contesto, il leader assume un ruolo paternalistico ed esercita controllo secondo un flusso top-down, caratterizzato da una comunicazione, gestione e processo decisionale che partono dai livelli gerarchici più alti e si muovono verso il basso, cioè verso i livelli operativi o esecutivi. Alcune metafore utili a comprendere tale modello sono l'esercito, la scuola pubblica e la chiesa cattolica.

Il *Modello realizzativo* (Laloux, 2016) dà vita alle *organizzazioni arancioni*, caratterizzate da una leadership orientata ai risultati e alla competizione. L'obiettivo è la crescita economica e l'innovazione, la responsabilità e la meritocrazia sono elementi chiave per vincere la concorrenza. Il leader conduce questa struttura secondo una gestione per obiettivi, che responsabilizza l'individuo e nella quale non importa *come* vengano raggiunti gli obiettivi, l'importante è raggiungerli. Alcune metafore utili a comprendere tale modello sono le multinazionali e le scuole private. Inoltre, il modello realizzativo sembra essere in linea con il pensiero della *Transactional Leadership* (James Burns, Bernard Bass), che verrà illustrato successivamente.

Il *Modello pluralistico* (Laloux, 2016) corrisponde alla nascita delle *organizzazioni verdi*, ovvero sistemi fondati sull'empowerment dell'individuo e sulla cultura guidata dai valori. In questo contesto, il leader opera entro la classica struttura piramidale e motiva i propri collaboratori promuovendo una leadership al servizio degli altri, inclusiva e partecipativa. Tale sistema favorisce il flusso bottom-up – secondo cui le informazioni, idee e proposte partono dai livelli più operativi dell'organizzazione e risalgono verso i vertici – e valorizza l'onestà, l'egualità, la cooperazione, la comunità, il consenso. La metafora dominante delle organizzazioni verdi è la famiglia, la quale condivide delle similitudini con i principi della *Transformational Leadership* (James Burns, Bernard Bass) e della *Servant Leadership* (Robert K. Greenleaf).

Il *Modello evolutivo* (Laloux, 2016), infine, dà vita alle *organizzazioni turchesi*, caratterizzate da organizzazioni autogestite, dove la leadership è distribuita e basata su fiducia, autoregolazione e senso di scopo condiviso. In questo sistema, il controllo sulle persone e sugli eventi è ridotto, gli individui sono considerati potenziali in attesa di essere rivelati, viene valorizzata l'intuizione, si ricerca l'assenza di giudizio. Il modello evolutivo trova corrispondenza con le teorie dell'*Authentic Leadership* (Bruce Avolio, William L. Gardner, Bill George).

### 1.3.2 *Teorie della leadership umana*

Tra le teorie classiche della leadership, la prima teoria citata in letteratura è la *Great Man Theory*, sviluppata nel 1840 da Thomas Carlyle, la quale suggerisce che la leadership fosse innata e riservata a individui eccezionali, dotati di caratteristiche straordinarie (Hunt & Fedynich, 2019; Benmira & Agboola, 2021; Gutterman, 2023). Questo approccio ha influenzato la nascita tra il 1930-1940 della *Trait Theory*, nella quale Allport e Stogdill hanno cercato di identificare specifici tratti personali associati a

una leadership efficace, come carisma, intelligenza, esperienza, integrità e determinazione (Hunt & Fedynich, 2019; Benmira & Agboola, 2021; Gutterman, 2023).

Tuttavia, con l'evoluzione del pensiero organizzativo, l'attenzione si è spostata da “chi è il leader” a “come il leader si comporta”, portando così alla nascita della *Behavioural Theory*, sviluppata tra gli anni '50 e '60 del XX secolo da studiosi dell'Università dell'Ohio e del Michigan. Tale teoria sostiene che la leadership non sia innata, bensì che il leader si formi nel tempo, imparando e acquisendo comportamenti utili ad una leadership efficace (Hunt & Fedynich, 2019; Benmira & Agboola, 2021; Gutterman, 2023).

Successivamente, l'approccio situazionale e contingente ha riconosciuto che l'efficacia della leadership dipende dal contesto. La *Situational Leadership Theory* di Hersey e Blanchard (1969) suggerisce infatti che i leader debbano adattare il loro stile in base alla maturità e alle competenze dei follower. La consapevolezza che lo stile migliore dipenda dalla situazione e che quindi il leader debba adattarsi al contesto ha dato poi origine al *Contingency Model* di Fiedler (1967), che evidenzia come l'ambiente possa determinare una leadership efficace.

Negli ultimi decenni, la coscienza di vivere in un mondo caratterizzato da rapidi cambiamenti, innovazioni tecnologiche e globalizzazione (Benmira & Agboola, 2021) ha aperto la strada a nuove prospettive che hanno ampliato la comprensione della leadership, introducendo modelli basati sulla complessa interazione tra leader, follower, contesto e intero ecosistema. Il modello *Transformational Leadership*, sviluppato da James Burns e successivamente ampliato da Bernard Bass, pone l'accento sulla capacità del leader di ispirare e motivare i follower attraverso una visione condivisa (Benmira & Agboola, 2021; Gutterman, 2023), mentre la *Transactional Leadership* – teorizzata

dagli stessi autori – si basa su un sistema di ricompense e punizioni per incentivare le prestazioni (Benmira & Agboola, 2021; Gutterman, 2023). In contrasto, la *Servant Leadership* di Greenleaf (1977) ribalta la tradizionale gerarchia, enfatizzando il servizio ai follower come mezzo per favorire lo sviluppo organizzativo. Parallelamente, la *Authentic Leadership* di George (2003) valorizza l'integrità, l'autoconsapevolezza e l'aderenza ai propri valori come elementi chiave di una leadership efficace. Infine, l'*Evolutionary Leadership* – sviluppata da diversi autori in ambiti interdisciplinari (i.e., Mark Van Vugt, David Sloan Wilson, Joseph Henrich, Robert Hogan) – come precedentemente anticipato, dipinge la leadership come un comportamento adattivo degli esseri umani (Hunt & Fedynich, 2019).

In conclusione, sia l'approccio di Laloux sia le teorie classiche della leadership umana riflettono un cambiamento nel modo di concepire tale concetto: da un fenomeno gerarchico e centrato sull'individuo ci si sposta verso un processo collettivo e adattivo, capace di rispondere alle sfide complesse delle organizzazioni contemporanee. Il cambio di paradigma descritto si scosta progressivamente dalle caratteristiche e dai comportamenti del leader verso una visione sistemica, che identifica la leadership come un processo collettivo sociale (Benmira & Agboola, 2021).

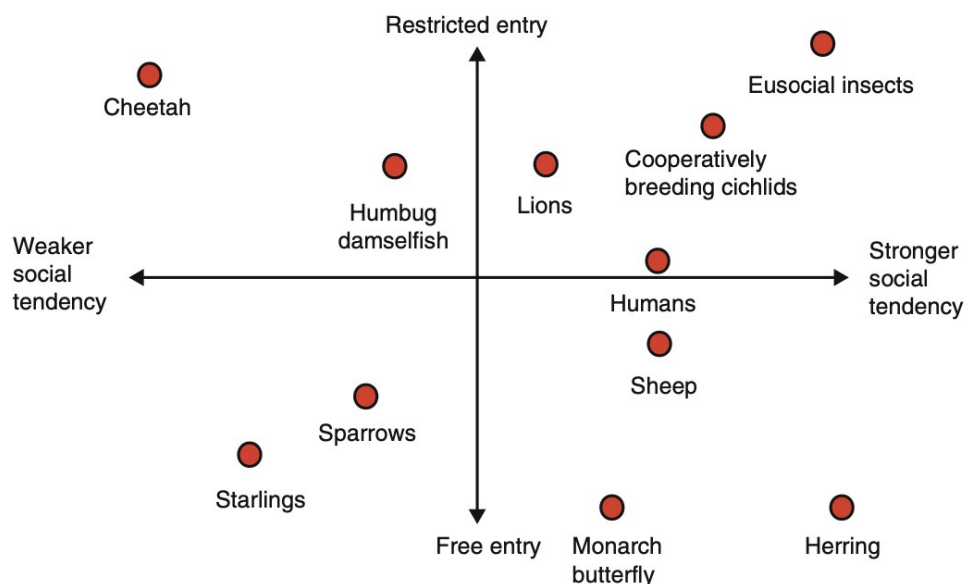
## Capitolo 2 – Modelli di leadership a livello animale

La leadership viene definita come un fenomeno pervasivo nelle specie sociali, in grado di dare origine a diversi comportamenti, dal movimento di gruppo fino a modelli comportamentali più complessi legati a dinamiche di cooperazione e conflitto (Smith et al., 2016). Nello studio della leadership animale, l'ambito di ricerca prevalente riguarda l'analisi del movimento (Couzin et al., 2005). Questo interesse è comprensibile se si considera che – fra 350 e 700 milioni di anni fa – si è verificato uno snodo fondamentale per la storia dell'evoluzione sul nostro pianeta, quando la vita ha preso due strade divergenti: da un lato le piante che, essendo autotrofe ovvero energeticamente autonome grazie alla fotosintesi, non avrebbero avuto bisogno di spostarsi alla ricerca di cibo; dall'altro lato gli animali, eterotrofi, obbligati a predare organismi viventi per sopravvivere e quindi costretti al movimento (Mancuso, 2019). Pertanto, poiché le specie sociali devono prendere continuamente decisioni per coordinare le attività di gruppo – come, ad esempio, dove e quando cercare nutrimento, riposarsi o spostarsi – nello studio del movimento animale l'interesse si è focalizzato molto sul processo di presa decisionale (Smith et al., 2016). Nella comprensione della leadership animale, ci si è quindi interrogati sulla struttura sociale, sulla distribuzione della leadership all'interno del gruppo e sulle caratteristiche del processo decisionale, oltre che su altri elementi caratterizzanti.

## 2.1 Caratteristiche della leadership animale

### 2.1.1 La struttura sociale

Gli animali rientrano tra le specie sociali per la loro capacità di formare gruppi e di vivere all'interno di comunità e, di conseguenza, il loro comportamento viene definito un "comportamento sociale" ovvero caratterizzato da un'interazione tra individui (Ward & Webster, 2016). I due ricercatori Ward e Webster (2016) hanno approfondito accuratamente il concetto di società animale e le dinamiche ad esso legate, studiando similitudini e differenze fra diverse specie animali. In particolare, sono stati individuati due parametri determinanti nella formazione dei gruppi sociali animali e delle relative strutture sociali: da un lato, la tendenza dei membri di ciascuna specie ad affiliarsi agli individui della stessa specie e, dall'altro lato, l'influenza dei flussi di entrata/uscita dai gruppi sull'organizzazione della specie stessa (Figura 1<sup>3</sup>).



<sup>3</sup> **Figura 1** Ward, A., & Webster, M. (2016). *Sociality: The behaviour of group-living animals* (Vol. 407). Berlin, Germany: Springer. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-28585-6.pdf>

**Figura 1.** Rappresentazione schematica dei parametri di socialità di diverse specie animali sulla base del loro livello di tendenza sociale e il grado di appartenenza al gruppo.

L'immagine mostra come il grado di socialità di ciascuna specie si distribuisca in un continuum che spazia da specie con *debole tendenza sociale* a specie con *forte tendenza sociale*. In natura, si osservano infatti sia specie che trascorrono la maggior parte della loro vita a contatto con i loro conspecifici, interagendo con essi e agendo in base alle necessità del gruppo (es. insetti eusociali), sia specie nelle quali le interazioni tra individui sono rare, dettate da circostanze precise o da periodi specifici della vita (es. ghepardi). È interessante notare come la socialità di alcune specie sia correlata al grado di parentela all'interno di gruppi. In particolare, gli animali con un alto grado di socialità (ad esempio le api, *Apis mellifera*, oppure le formiche, *Formicidae latreille*) spesso vivono in gruppi di simili (i.e., *kin groups*; Moffett et al., 2021; Alves et al., 2023) poiché la sopravvivenza dell'individuo dipende interamente dal gruppo e in un certo senso questa socialità può essere definita come necessaria (Ward et al., 2011; Irisson et al., 2015; Ward & Webster, 2016). Diversamente, la sopravvivenza degli individui delle specie con debole tendenza sociale dipende molto meno dalle interazioni con gli altri membri ma, ciononostante, anche i membri di queste specie ottengono spesso dei benefici dal vivere parte della loro vita con i loro conspecifici. In particolare, alcune specie di pesci hanno comportamenti sociali nella prima fase della loro vita, per poi diventare gradualmente solitari con l'invecchiamento (Ward & Webster, 2016). Ad esempio, è stato dimostrato un orientamento di gruppo nelle larve del pesce damigella (*Chromis atripectoralis*) che, nelle prime fasi di vita, nuotano e si orientano meglio quando aggregate in gruppo, rispetto agli individui isolati (Irisson et al., 2015). Inoltre, si è osservato che il livello di socialità di alcune specie di pesci può variare durante

l'arco di una giornata, sulla base delle caratteristiche dell'ambiente circostante o della presenza di minacce esterne (Ward & Webster, 2016). Ad esempio, la Gambusia orientale (*Gambusia holbrooki*) – meglio nota come pesce zanzara – adotta la “Teoria dei molti occhi” (i.e., *Many eyes theory*) come strategia di risposta a minacce esterne (Ward et al., 2011). Nello specifico, i singoli individui utilizzano le informazioni sociali messe a disposizione dagli altri pesci, così concentrando i loro sforzi di vigilanza su una porzione più piccola del loro habitat circostante e, in definitiva, prendendo decisioni più accurate. Le influenze sociali – come l'uso delle informazioni sociali, l'apprendimento sociale e la cultura animale – risultano adattive anche per molte specie migratorie (Aikens et al., 2022). Ad esempio, alcuni studiosi hanno condotto una revisione della letteratura esaminando i cambiamenti evolutivi nella distanza di migrazione di 409 specie di uccelli nidificanti del Nord America, i cui risultati evidenziano che quando la migrazione avviene su lunghe distanze vi sono notevoli benefici nell'aggregarsi in gruppi più ampi (Beauchamp, 2011) poiché si riduce il livello di incertezza del singolo (Aikens et al., 2022) e migliora la performance nella ricerca di risorse come condizioni di vento favorevoli e vegetazione nutriente (Flack et al., 2022).

Oltre che per il livello di socialità, i gruppi sociali animali si differenziano anche a seconda del grado di appartenenza al gruppo nel corso del tempo (Ward & Webster, 2016). Precisamente, il grado di appartenenza si distribuisce in un continuum tra gruppi ad *accesso limitato* e gruppi a *libero accesso*, così indicando maggiore o minore apertura ad accogliere nuovi membri della stessa specie. I gruppi ad *accesso limitato* sono solitamente, anche se non sempre, caratterizzati da individui imparentati, basti pensare alla struttura matriarcale di molti mammiferi, mentre i gruppi a *libero accesso* sono molto più fluidi e la loro composizione varia spesso, come nel caso di stormi di

uccelli e banchi di pesci (Ward & Webster, 2016). Tuttavia, è stato dimostrato che anche i gruppi più ampi e fluidi sono spesso composti da sottogruppi caratterizzati da specifici individui e, quindi, da un'appartenenza di gruppo (Pavlov & Kasumyan, 2000).

La sintesi di Ward e Webster (2016) delle caratteristiche dell'organizzazione sociale animale permette dunque di collocare ciascuna specie all'interno dei quattro quadranti del piano cartesiano sulla base del proprio livello di socialità e grado di appartenenza al gruppo. Per quanto ciascuna specie possa trovare la propria precisa collocazione, i due ricercatori suggeriscono che, se osservassimo i comportamenti sociali delle diverse specie animali con una visione d'insieme, potremmo individuare un processo comune nell'organizzazione sociale animale: il *fission-fusion system* ovvero una dinamica di separazione (o fissione) e unione (o fusione). Quest'ultima indica un processo secondo cui gli individui, o piccoli gruppi, si uniscono in un gruppo più grande per poi separarsi in sottogruppi, ciclicamente. Nonostante tale processo accomuni molte specie animali, il modo in cui questo processo di unione e separazione si verifica nei diversi gruppi dipende dalle caratteristiche di ciascuna specie. Ad esempio, i pesci e gli uccelli possono unirsi al gruppo o abbandonarlo in qualsiasi momento, mentre in altre specie come i primati il movimento tra i gruppi è molto più ridotto. Questa distinzione si può tradurre in un continuum che vede, da un lato, le società che semplicemente manifestano la dinamica fission-fusion (i.e., *fission-fusion societies*) e, dall'altro lato, quelle che vengono definite le società multilivello (i.e., *multilevel societies*). Queste ultime sono anch'esse caratterizzate dalla dinamica fission-fusion ma la composizione di ciascun sottogruppo è altamente stabile nel tempo in termini di dimensione e appartenenza di gruppo. Numerosi studi evidenziano tale dinamica in diverse specie di vertebrati, in particolare i mammiferi – ad esempio la balena (Brent et al., 2015), il

delfino (Lewis et al., 2011), l'elefante (McComb et al., 2001; Morel et al., 2025), la zebra di pianura (Fischhoff et al., 2007; Rubenstein & Hack, 2004) – ma talvolta anche in pesci (Ward et al., 2011; Georgopoulou et al., 2022) e uccelli (Aikens et al., 2022). Come anticipato, il processo di unione e separazione si manifesta diversamente sulla base delle caratteristiche della specifica specie e, di conseguenza, si creano diverse forme di leadership all'interno dei gruppi. Ad esempio, i gruppi che restano coesi per lunghi periodi di tempo possono trarre beneficio dalla presenza di individui più anziani ed esperti che fungono da depositari di conoscenze (Aikens et al., 2022). È stato infatti scoperto che le orche assassine (*Orcinus orca*), i delfini (*Tursiops truncatus*), gli elefanti africani (*Loxodonta africana*, *Loxodonta cyclotis*) e asiatici (*Elephas maximus*) hanno un ruolo cruciale nella guida del gruppo, nell'accesso alle risorse e nella risposta alle minacce esterne (McComb et al., 2001; Lewis et al., 2011; Brent et al., 2015; Morel et al., 2025). Oppure, ancora, è stato osservato che alcuni individui all'interno di uno sciame di api (*Apis mellifera*), possedendo maggiori informazioni, volano con una maggiore velocità verso il nido, così inducendo le api non informate non solo a volare verso il nido, ma anche a volare più velocemente (Schultz et al., 2008). Negli esempi sopracitati risulta dunque evidente che la maggioranza si affida alle informazioni possedute da specifiche figure di riferimento che conducono il gruppo. Diversamente, in alcune specie, gli individui devono bilanciare i segnali sociali del gruppo e le proprie informazioni personali, spesso diversificate a causa di esperienze passate differenti, al fine di ridurre i conflitti durante il processo decisionale. In questi casi, le informazioni possedute dal singolo individuo influenzano la propensione a seguire o ad abbandonare il gruppo (Merkle et al., 2015). Ad esempio, nella scelta tra diverse aree di

foraggiamento, i bisonti (*Bison bison*) seguono la maggioranza solamente in assenza di familiarità con le condizioni di foraggiamento locali (Merkle et al., 2015).

### 2.1.2 Il processo di riconoscimento

Un'altra caratteristica della leadership animale è il riconoscimento sociale, ovvero il processo che regola le interazioni tra animali e che, quindi, sta alla base della struttura sociale delle specie animali (Ward & Webster, 2016). Ward e Webster (2006) lo definiscono come “il processo di identificazione di altri animali, più o meno definito, basato sul rilevamento di segnali che emergono dagli stessi<sup>4</sup>”. In particolare, sono stati individuati due livelli di riconoscimento: da un lato, il “riconoscimento di classe” (i.e., *class-level recognition*), inteso come la capacità di classificare i segnali ricevuti all'interno di categorie, come ad esempio parente/non parente oppure conspecifico/eterospecifico; dall'altro lato, il “vero riconoscimento individuale” (i.e., *true level recognition*), tradotto nell'abilità di identificare l'unicità del soggetto e comportarsi in maniera differente di fronte ai singoli individui (Ward & Webster, 2016). Il processo di riconoscimento nel mondo animale non solo plasma le organizzazioni sociali ma è anche un mezzo utile all'evoluzione delle diverse specie. In particolare, all'interno di un gruppo *fission-fusion*, il riconoscimento dei singoli individui non rappresenta un valore aggiunto. Diversamente, nelle strutture sociali più stabili e gerarchiche, nelle quali gli individui si incontrano ripetutamente nell'arco della propria esistenza, il fatto di poter distinguere e riconoscere l'identità degli individui appartenenti alla propria specie rappresenta un plusvalore, in termini di relazioni e senso di appartenenza (Ward & Webster, 2016).

---

<sup>4</sup> Testo originale: “the process of identifying other animals, to a greater or lesser resolution, based on the detection of cues that arise from them”.

Il riconoscimento tra animali può essere di diverse tipologie e può avvenire attraverso diversi segnali, come ad esempio segnali acustici, chimici, visivi, elettrici e di altro tipo (Ward & Webster, 2016). Tra le principali tipologie di riconoscimento troviamo:

(i) *Self / Non-self recognition*: livello basico di distinzione di individui appartenenti a specie diverse, utile a preservare il proprio sistema immunitario e a favorire la sopravvivenza della specie (Ward & Webster, 2016).

(ii) *Recognition of kin*: livello di riconoscimento in cui vengono riconosciuti e favoriti i propri familiari, anche con l'obiettivo di evitare incroci fra consanguinei (Hepper, 1991).

(iii) *Familiarity*: aldilà del legame parentale, le interazioni sociali animali sono condizionate dal livello di familiarità, inteso come il riconoscimento di individui conspecifici non imparentati. In particolare, il fatto che un individuo favorisca altri membri della propria specie secondo un concetto di familiarità è stato provato in numerose specie, tra cui ad esempio mammiferi (es. elefante africano, *Loxodonta africana*; Morel et al., 2025) e uccelli (es. oca lombardella, *Anser albifrons*; Kölzsch et al., 2020).

(iv) *Individual recognition*: livello di riconoscimento e distinzione dei singoli individui nella loro unicità, anche sulla base delle precedenti interazioni. Questa tipologia di riconoscimento favorisce l'instaurarsi di alleanze, dinamiche di reciprocità, oltre che la stabilizzazione del sistema sociale (Ward & Webster, 2016). Tuttavia, il fatto che una specie animale non sia in grado di distinguere gli individui nella loro singolarità non implica un'assenza di organizzazione sociale. Ciò risulta evidente, ad esempio, nelle colonie di formiche che, pur non essendo in grado di conoscersi

individualmente, si relazionano grazie alla capacità dei singoli individui di riconoscere la categoria di appartenenza di ciascuno (i.e., regine, operaie, soldati; Moffett et al., 2021). Questa modalità relazionale sta alla base dei processi di auto-organizzazione che caratterizzano le strutture organizzative distribuite di tale specie.

### *2.1.3 Distribuzione della leadership e processo decisionale*

Secondo quanto trattato finora, possiamo constatare che la leadership negli animali può manifestarsi in vari modi, secondo diverse modalità di distribuzione e differenti processi decisionali. In particolare, per gli animali che vivono in gruppo, ciascuna decisione relativa ad un corso d'azione include una dimensione sociale e richiede quindi una conciliazione tra informazioni e/o motivazioni dell'individuo e quelle del gruppo (Ward & Webster, 2016). Rispetto agli esseri umani, i processi decisionali nel mondo animale seguono logiche più semplificate ma al tempo stesso la decisione collettiva viene individuata in maniera efficace.

La distribuzione della leadership viene ricondotta ad un continuum che spazia da una centralizzazione a una distribuzione dell'influenza decisionale (Smith et al., 2016; Garland et al., 2018). Di conseguenza, due dei principali modelli osservati sono la *leadership centralizzata*, in cui un singolo individuo prende decisioni per l'intero gruppo, e la *leadership condivisa*, in cui il processo decisionale è distribuito tra i membri del gruppo, con una partecipazione collettiva (King & Cowlshaw, 2009; King et al., 2009; Petit & Bon, 2010).

La *leadership centralizzata* è tipica di specie che presentano una struttura sociale ben definita, dove un leader dominante guida il gruppo, prendendo decisioni cruciali per la sopravvivenza del gruppo (Conradt & Roper, 2005). Questo meccanismo è stato osservato ad esempio nei branchi di lupi (es. lupo grigio, *Canis lupus*; Peterson et al.,

2002), negli elefanti (*Loxodonta africana*, *Loxodonta cyclotis*, *Elephas maximus*; McComb et al., 2001; Morel et al., 2025) e nelle orche assassine (*Orcinus orca*; Brent et al., 2015). Questo modello è associato a una distribuzione del potere molto chiara, in cui il leader è responsabile della scelta della direzione o delle azioni da intraprendere. Alcuni studiosi sostengono che la leadership centralizzata, in cui un singolo individuo avvia tutti gli spostamenti collettivi, sia relativamente scarsa in natura e attribuiscono il successo di questi individui dominanti semplicemente ad un maggior numero di tentativi di partenza (Petit & Bon, 2010).

A differenza delle organizzazioni umane, dove si osserva spesso una leadership centralizzata, negli animali è comune trovare modelli di leadership distribuita. La *leadership condivisa o distribuita* si manifesta in gruppi più fluidi o meno gerarchizzati, dove la leadership emerge in base alla situazione e alle necessità del gruppo (Petit & Bon, 2010). Questo modello interpreta il ruolo del leader come temporaneo. Questo tipo di leadership è particolarmente evidente nelle specie che devono affrontare sfide complesse e dinamiche, come gli stormi di uccelli migratori o i banchi di pesci, per i quali la direzione del gruppo può essere influenzata da più individui contemporaneamente, senza una figura di comando fissa (Conradt & Roper, 2005; Berdahl et al., 2018). Ad esempio, come accennato precedentemente, la gambusia orientale (*Gambusia holbrooki*) adotta la “Teoria dei molti occhi” come strategia di risposta ai predatori; tale strategia fa sì che i pesci si scambino informazioni entro un raggio di interazione locale così aumentando la velocità e l’accuratezza del processo decisionale collettivo e quindi della risposta all’attacco (Ward et al., 2011). Altri esempi di leadership distribuita si possono osservare nelle colonie di formiche (*Formicidae latreille*), all’interno delle quali l’assenza di controllo centralizzato permette loro di

adattarsi alle situazioni, rispondendo in maniere localizzata ai diversi problemi e preservando continuità nella produzione lavorativa anche quando alcuni individui non riescono a svolgere una particolare attività (Moffett et al., 2021). Un ulteriore caso di leadership condivisa si può osservare nel modo in cui le api (*Apis mellifera*) comunicano ai compagni la direzione e la distanza di una fonte di cibo, ovvero attraverso la nota *waggle dance* o danza dell'addome (Alves et al., 2023). In particolare, quando un'ape bottinatrice (o operaia) individua un'area di cibo, rientra all'alveare e comunica la sua scoperta alle compagne di nido eseguendo una danza. Nella fase cruciale della danza, l'ape fa vibrare il corpo e le ali mentre si muove e la direzione e la durata di questo scodinzolio indicano agli osservatori la direzione dell'area di cibo rispetto al sole e la distanza tra l'alveare e la fonte di cibo.

All'interno di queste organizzazioni distribuite, la decisione collettiva viene spesso presa attraverso un processo di consenso, come evidenziato da Conradt e Roper (2005), i quali hanno approfondito proprio il concetto di decisione consensuale nei gruppi animali. In questo modello, la distribuzione della leadership consente una maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle condizioni mutevoli dell'ambiente. Tuttavia, anche nei sistemi di leadership distribuita, alcune differenze individuali (sesso, rango, personalità, stato nutrizionale, informazioni possedute) possono generare asimmetrie nell'influenza del gruppo (Ward & Webster, 2016; Garland et al., 2018) e questa eterogeneità risulta spesso importante per le dinamiche di gruppo (Couzin et al., 2005). Emerge dunque una polarizzazione nel processo decisionale del mondo animale. In generale, però, è più probabile che i gruppi animali prendano la scelta ottimale in termini evolutivi quando si basano su un processo decisionale condiviso, piuttosto che affidandosi alla decisione del singolo individuo che potrebbe deviare il gruppo a causa

di informazioni errate (Petit & Bon, 2010). Con il termine *informazione*, ci si riferisce a un qualunque aspetto biotico o abiotico dell'ambiente, come per esempio le opportunità di approvvigionamento o il grado di minaccia di una specifica situazione, acquisito dal contatto diretto con l'ambiente oppure trasferito dagli altri individui presenti nell'ambiente (i.e., *informazione sociale*). In quest'ultimo caso, i membri del gruppo si scambiano le informazioni e le integrano attraverso lo scambio sociale, rendendo così possibile un processo decisionale condiviso ed efficace basato per l'appunto sull'informazione sociale (Ward & Webster, 2016). Si parla di *decisioni consensuali* quando i membri di un gruppo prendono una decisione in maniera unanime, pur mantenendo intatta la coesione del gruppo (Conradt & Roper, 2005). In particolare, il processo decisionale di ciascun gruppo è influenzato dalla tipologia di comunicazione che lo caratterizza (Ward & Webster, 2016). Precisamente, nei gruppi più ampi (es. stormi di uccelli, banchi di pesci, sciami di insetti sociali) le decisioni emergono da un processo di auto-organizzazione poiché il singolo individuo non può comunicare direttamente con l'intero gruppo e, di conseguenza, non può monopolizzare il processo decisionale. Ciò accade ad esempio nelle colonie di formiche (Moffett et al., 2021), in alcune specie di pesci come la Gambusia orientale (*Gambusia holbrooki*, Ward et al., 2011) e lo Spinarello (*Gasterosteus aculeatus*, Georgopoulou et al., 2022), nelle api (*Apis mellifera*, Schultz et al., 2008; Alves et al., 2023). Diversamente, all'interno di gruppi numericamente più ridotti (es. mammiferi) il singolo individuo riesce a comunicare con l'intero gruppo e potenzialmente può influenzarne in toto il processo decisionale (Conradt & Roper, 2005).

Un processo decisionale totalmente condiviso risulta utile quando si vuole ridurre il costo delle differenze nelle preferenze individuali e ottimizzare le

informazioni a disposizione (Smith et al., 2016). In generale, il costo di una decisione consensuale dipende dalle differenze individuali e, quindi, dal livello di conflitto presente tra i membri del gruppo. In particolare, se i livelli di conflitto sono minimi e i vantaggi dello stare in gruppo sono elevati, allora ci saranno pochi costi legati alla presa di decisione consensuale e quindi basse probabilità di divisione all'interno del gruppo (Ward & Webster, 2016). Diversamente, se le preferenze individuali sono notevoli, allora aumenteranno le probabilità che si generi conflitto, che la decisione consensuale produca dei costi elevati e che si verifichi una disgregazione del gruppo (Conradt & Roper, 2009). L'unione o la scissione di un gruppo dipende, quindi, anche dalle differenze individuali dei membri di tale gruppo, che si traducono in due aspetti: da un lato, l'identità dell'individuo intesa come tendenza alla dominanza oppure alla subordinazione; dall'altro lato, lo stato individuale del singolo membro – solitamente di tipo fisiologico – che impatta sulla motivazione ad influenzare la decisione del gruppo (Ward & Webster, 2016). Tale motivazione individuale può dipendere da diversi fattori, come ad esempio dalla necessità di acquisire specifiche risorse, dalle informazioni possedute, dalla personalità del singolo, dal timing necessario a prendere una decisione in autonomia rispetto a una di tipo consensuale. In particolare, il fattore temporale ha un grande impatto, poiché una decisione consensuale richiede solitamente maggiore tempo e rischia così di creare inefficienza e aumentare i costi per i membri del gruppo (Smith et al., 2016). Un esempio in cui gli individui devono bilanciare i vantaggi legati all'appartenenza al gruppo con le necessità individuali è il caso delle femmine dei mammiferi (es. zebra di pianura, *Equus burchellii*), che allattando hanno maggiori esigenze di apporto energetico e quindi deviano/avviano dinamiche di movimento con maggiore frequenza (Fischhoff et al., 2007; Hlebowicz, 2023). È dunque essenziale

individuare un trade-off, un punto di equilibrio, tra i vantaggi dello stare in gruppo – come il raggiungimento dell’obiettivo dettato dall’accuratezza della decisione condivisa – e i vantaggi dell’individualità – velocità decisionale, appagamento dei bisogni metabolici individuali (Ioannou, Singh & Couzin, 2015). In altre parole, è essenziale bilanciare la propria assertività con la volontà di appartenere a un gruppo, poiché gli individui troppo assertivi nel processo di avvio/deviazione di dinamiche di movimento collettivo potrebbero aumentare il proprio rischio di isolamento e quindi di predazione (Ward & Webster, 2016).

#### 2.1.4 Dimensione temporale della leadership

L’elemento temporale della leadership ha una sua rilevanza, poiché la figura del leader non può influenzare gli altri membri del gruppo costantemente (Garland et al., 2018). In particolare, Garland et al. (2018) evidenziano come *costanza* e *granularità* siano due elementi determinanti in questo senso. La prima quantifica il tempo in cui il leader viene considerato tale, spaziando da leader permanente (i.e., *persistent leader*) a leader transitorio (i.e., *ephemeral leader*); la seconda indica quanto un leader eserciti una leadership universale (i.e., *coarse granularity*) rispetto ad una leadership su misura, pertinente e connessa ad una specifica situazione (i.e., *fine granularity*). In generale, la dimensione temporale della leadership descritta da Garland et al. (2018) trova corrispondenza con il concetto di genericità (i.e., *generality*) citato da Smith et al. (2016).

#### 2.1.5 Raggio di azione della leadership

Un ulteriore elemento caratterizzante la leadership animale è il raggio di azione del leader. In letteratura, questo concetto viene discusso e identificato secondo diversi termini, ad esempio Garland et al. (2018) lo chiamano *reach of leadership*, mentre

Smith et al. (2016) vi si riferiscono attraverso il vocabolo *differential power*. A prescindere dalla terminologia, il raggio di azione del leader permette di quantificare la portata di influenza del leader, ovvero quanti membri del gruppo può potenzialmente influenzare, attraverso interazioni dirette o indirette (Garland et al., 2018). Questo raggio di influenza dipende in parte dalla dimensione del gruppo e dai relativi meccanismi decisionali; è quindi consigliabile distinguere il processo decisionale dei grandi gruppi – basato su una comunicazione di tipo globale – dal meccanismo decisionale dei piccoli gruppi che si fonda invece su una comunicazione locale (Ward & Webster, 2016). Dunque, il raggio di azione della leadership si identifica in un continuum tra gli estremi “portata locale” (i.e., *local reach*) e “portata globale” (i.e., *global reach*). Alcune specie possono utilizzare diverse modalità di comunicazione, sia diretta che indiretta, a seconda della specifica necessità. Ad esempio, come forma di comunicazione diretta, è comune osservare le formiche (*Formicidae latreille*) che si incrociano nel loro cammino fermarsi per qualche secondo e toccare le antenne del compagno per trasferire informazioni (ad esempio sulla loro identità, sulle attività svolte o i posti visitati); al tempo stesso, considerando che le colonie si diffondono su vasti territori, le formiche usano anche forme di comunicazione indiretta come la *stigmergia*, che consiste nel comunicare con gli altri membri del gruppo modificando l’ambiente circostante e lasciando tracce di feromoni nel terreno (Moffett et al., 2016).

### 2.1.6 Osservabilità della leadership

Infine, un’ulteriore caratteristica che va considerata nell’analisi della leadership animale, di tipo metodologico, è la sua osservabilità. In particolare, nell’analisi del comportamento animale vanno presi in considerazione due fattori: da un lato, il fatto che l’osservazione sia sempre soggetta a errori di misurazione; dall’altro lato, il fatto

che ci possano essere elementi che sfuggono all'osservazione, come variabili nascoste che però hanno un impatto su quanto osservato e registrato (Garland et al., 2018).

## 2.2 Teorie della leadership animale

L'introduzione degli elementi caratterizzanti la leadership animale evidenzia la complessità e peculiarità delle strategie adattive adottate dalle specie animali. Diversi studi hanno classificato la leadership animale in base ai meccanismi con cui gli individui influenzano le decisioni del gruppo. Tuttavia, le teorie della leadership animale non sono associate a un unico autore, ma sono concetti sviluppati nel contesto della biologia comportamentale e dell'etologia da diversi ricercatori che studiano il comportamento collettivo e i meccanismi decisionali nei gruppi animali. Una delle categorizzazioni più accettate è stata proposta da Garland e colleghi (2018) che distinguono tra i seguenti processi:

*Structural Leadership*, la leadership è determinata da una struttura gerarchica fissa. È tipica di società altamente organizzate come quelle di lupi (*Canis lupus*), elefanti (*Loxodonta africana*) e primati (King & Cowlishaw, 2009; Garland et al., 2018). In questi gruppi, un individuo dominante guida il branco, regolando i conflitti e prendendo decisioni cruciali.

*Informed Leadership*, la leadership si basa sulla conoscenza individuale e sull'esperienza. Questa tipologia di leadership prevale nei gruppi con senso di appartenenza precario e composti da individui indipendenti, i quali possiedono specifiche informazioni e sono motivati ad agire sulla base di esse. Ad esempio, nei banchi di pesci e stormi di uccelli, un individuo può percepire e rispondere ad una minaccia facendo spaventare anche gli individui circostanti o causando addirittura una manovra di deviazione nell'intero gruppo (Garland et al., 2018).

*Target-driven Leadership*, la leadership è influenzata dal bisogno di raggiungere un obiettivo specifico nel lungo termine. Si tratta, dunque, di un sottogruppo dell'*Informed leadership*, poiché il leader possiede specifiche informazioni che lo portano a guidare il gruppo verso uno specifico obiettivo.

*Emergent Leadership*, si tratta di una leadership distribuita che emerge spontaneamente dalle interazioni sociali presenti nel contesto, in assenza di strutture sociali o informazioni determinanti. Questa forma di leadership è stata osservata nei fenomeni migratori delle renne *caribou*, dove le rotte dei movimenti migratori vengono influenzate da diversi fattori, come ad esempio femmine gravide con imminenti necessità nutrizionali (Torney et al., 2018). Alcuni individui possono fungere quindi da “leader temporanei” orientando il movimento collettivo senza necessariamente detenere uno status dominante (Couzin et al., 2005; Garland et al., 2018).

In conclusione, la comprensione della leadership animale offre spunti interessanti anche per l'analisi della leadership umana, evidenziando come modelli più collaborativi e distribuiti possano essere altrettanto efficaci, oltre a quelli gerarchici più tradizionali. Inoltre, questi concetti trovano riscontro anche nelle forme di leadership vegetale che verranno analizzate di seguito, dove osserveremo come il coordinamento avvenga in modo decentralizzato attraverso meccanismi di comunicazione chimica e interazioni mutualistiche.

## Capitolo 3 – Possibili meccanismi di leadership

### a livello vegetale

Apparentemente, il concetto di leadership nel mondo vegetale sembra insensato e, dunque, nemmeno paragonabile alla leadership osservata negli esseri umani e negli animali. Se però consideriamo quanto affermato nel primo capitolo di questo elaborato – ovvero il fatto che la leadership sia un comportamento adattivo che ha contribuito all’evoluzione delle specie viventi – allora possiamo provare ad immaginare l’esistenza del concetto di *leadership vegetale*, anche se non è ancora comparsa questa terminologia in letteratura. L’origine del ragionamento che ci condurrà a poter parlare di leadership vegetale risiede dunque nel concetto di evoluzione delle specie viventi. Come precedentemente anticipato, Mancuso (2019) spiega come il mondo vegetale e quello animale provengano da un unico ramo evuzionistico, nel quale – fra 350 e 700 milioni di anni fa – si è verificato uno snodo fondamentale per la storia dell’evoluzione sul nostro pianeta, quando la vita ha preso due strade divergenti: da un lato le piante e dall’altro lato gli animali. Seppur ai nostri occhi questi due mondi appaiano molto differenti, se ci fermassimo ad osservarli con sguardo critico ed esterno potremmo intravedere qualche somiglianza. Di conseguenza, il concetto che non sia il più forte a sopravvivere bensì il più adatto è un principio che governa entrambi i mondi. Tuttavia, chi sia il più adatto non è dato saperlo (Mancuso, 2019). Mancuso (2019) spiega magistralmente come, non conoscendo e potendo prevedere il futuro, non possiamo sapere a priori quali siano i requisiti necessari a adattarsi e sopravvivere nel contesto futuro. In questa prospettiva si inserisce anche la riflessione di Pievani (2009) sul ruolo della contingenza nei processi evolutivi: l’evoluzione non segue un piano prestabilito,

ma è profondamente influenzata da eventi storici imprevedibili, svolte casuali e condizioni ambientali mutevoli. Di conseguenza, le traiettorie evolutive non sono deterministiche, bensì frutto di una complessa interazione tra caso e necessità, il che rende impossibile stabilire in anticipo quali caratteristiche risulteranno vincenti nel contesto futuro. Questo conferma quanto l'adattabilità non sia una qualità assoluta, ma relativa a un futuro incerto e intrinsecamente instabile. In altri termini, essere adatti non è un'etichetta permanente. È una condizione temporanea, legata a un ambiente e a un momento storico preciso. Di conseguenza, a livello di comunità – sia essa vegetale o animale, la strategia più efficace potrebbe essere quella ove vige il benessere collettivo invece che del singolo. La specie si preserva quando i suoi componenti si aiutano reciprocamente così che, a prescindere dalla condizione futura, ci sarà sempre l'individuo più adatto a sopravvivere in quel dato contesto e dunque la specie sopravviverà. Potremmo quindi affermare che l'adattamento in sé non debba assumere un'accezione individualista bensì abbia natura collettivista. Un passaggio cruciale sta dunque nel dare valore all'adattamento non del singolo ma del gruppo sociale.

Interpretando e vivendo la vita come gruppo, si introducono i concetti di interazione, relazione, scambio, influenza, che ci permettono di far entrare in scena la leadership.

Nel primo capitolo di questo elaborato, il leader è stato presentato come “*una qualsiasi rilevante influenza esercitata su un'organizzazione*” (Hunt & Fedynich, 2019). Questa definizione ci permette di analizzare il concetto di influenza, che rappresenta un aspetto cruciale all'interno di questa tesi. Secondo l'Enciclopedia Treccani, il termine “influenza” deriva dal latino medievale *influentia*, derivato di *influēre* che si traduce in “scorrere dentro” o “fluire”. Il termine influenza racchiude nel suo significato un concetto di movimento, di fluidità, di cambiamento. L'influenza è un processo che

connette, consciamente o inconsciamente, per il quale è necessario che vi siano due o più individui in relazione tra di loro. Questa lettura ci permette di distaccarci dal concetto di *leadership come ruolo* e addentrarci nel mondo della *leadership come processo*. Il focus si sposta dal leader – individuo che riveste un ruolo che lo autorizza ad esercitare un’influenza su altri individui – al processo di leadership – che proprio *fluendo e scorrendo* non appartiene a nessuno ma può essere agita da chiunque. Questo elaborato tratta la leadership come processo evolutivo all’interno di una comunità, composta da individui in relazione che si influenzano reciprocamente, sia in maniera positiva che negativa. All’interno di ciascun ecosistema, la leadership non dipende da chi la esercita bensì emerge dallo scambio e dalle interazioni fra i membri, essendo essa stessa influenzata dalla composizione del gruppo, dall’ambiente circostante, dalla specifica situazione ed essendo quindi distribuita tra gli individui. È proprio questa idea di leadership che ci permette di introdurre il concetto di *leadership vegetale*, perché se pensiamo la leadership come ruolo assegnato ad un individuo allora è vero che non esistono leader nel mondo vegetale ma se parliamo di leadership come processo, allora la leadership vegetale non solo esiste ma è uno dei processi comuni a tutte le specie viventi e quindi, in fondo, l’antenato delle più note leadership animale e umana.

### 3. 1 Adattamento come intelligenza individuale

Alcuni studiosi affermano che è ragionevole associare il concetto di intelligenza a tutti gli esseri viventi in grado di adattarsi ad un ambiente in continuo cambiamento (Trewavas, 2005; dos Santos et al., 2024). L’idea che il concetto di intelligenza sia associato alla capacità di adattamento, unita al fatto che la leadership è un comportamento adattivo, ci permette di associare l’intelligenza delle piante all’idea di leadership vegetale.

Al giorno d'oggi, lo studio del mondo vegetale ed in particolare dell'intelligenza vegetale potrebbe avere, in un certo senso, un impatto più significativo sulla nostra società che sulle scienze botaniche in senso stretto (dos Santos et al., 2024). Nonostante ciò, l'associazione del termine *intelligenza* con il mondo vegetale sembra creare ancora scalpore, oltre che generare confusione nella fase di definizione dell'intelligenza vegetale stessa (Trewavas, 2003). Probabilmente, questo deriva dal fatto che il termine *vegetale* sia stato associato all'assenza di pensiero o alla morte cerebrale negli esseri umani (Trewavas, 2003), oppure al fatto che nella "Piramide dei viventi" elaborata da Charles de Bovelles nel *Liber de sapiente* (1509) le piante occupassero il livello inferiore (dos Santos et al., 2024) oppure, infine, per il fatto che nel corso della storia le piante siano state considerate dalla maggioranza dei meri automi, caratterizzati solamente da risposte reattive all'ambiente (Taiz et al., 2019). La realtà è però un'altra. In particolare, attraverso la *fotosintesi* e grazie all'energia solare, le piante fissano l'anidride carbonica dell'atmosfera e producono come materiale di scarto l'ossigeno; essendo le piante il motore della vita, dovrebbero essere dunque posizionate al vertice della piramide (Mancuso, 2019).

Anche se le definizioni più note e diffuse del termine intelligenza sono di natura antropocentrica (Trewavas, 2005; dos Santos et al., 2024), alcuni studi nel campo vegetale affermano che l'intelligenza non possa essere nata con *Homo sapiens* (Trewavas, 2003). Nello scorso ventennio, sono emerse infatti alcune definizioni dell'intelligenza delle piante (i.e., *plant intelligence*), descritta come "*crescita e sviluppo variabili in modo adattivo durante la vita dell'individuo*"<sup>5</sup> (Trewavas, 2003).

---

<sup>5</sup> Testo originale "adaptively variable growth and development during the lifetime of the individual"

Un'altra definizione dell'intelligenza delle piante<sup>6</sup> è stata sviluppata da Calvo et al. (2020) che hanno riadattato la definizione dell'intelligenza universale (i.e., *universal intelligence*) sviluppata da Legg e Hunter nel 2007, sostituendo il termine “*agent*” con il termine “*plant*”.

Le difficoltà incontrate nell'attribuzione dell'elemento di intelligenza al mondo vegetale possono derivare anche dal fatto che i meccanismi di intelligenza nelle piante sono completamente diversi da quelli animali (Calvo et al., 2020). In primis, piante e animali sono organismi molto diversi in termini di organizzazione e funzionamento (Mancuso, 2019). In particolare, Mancuso (2019) spiega come le piante non possano ricorrere alla principale soluzione adottata dagli animali di fronte alle difficoltà, ovvero il movimento. La soluzione sta nel distribuire sull'intero corpo le funzioni che gli animali concentrano in organi specializzati, così da poter vedere, sentire, respirare e ragionare con tutto il corpo. Questa struttura distribuita, rispetto a quella centralizzata degli esseri umani e degli animali, permette libertà e robustezza allo stesso tempo. Tuttavia, il fatto che le piante non possiedano un cervello che presiede alle funzioni dei vari organi specializzati rende più complessa l'associazione di caratteristiche ritenute tipicamente animali, come l'intelligenza, al mondo vegetale. Di conseguenza, se l'intelligenza nel mondo animale è associata al comportamento del movimento (Trewavas, 2003), ci si interroga su quale comportamento potrebbe rappresentare l'intelligenza vegetale. La risposta è già presente in letteratura e si rifà al concetto di plasticità fenotipica, ovvero alla proprietà di un genotipo di produrre differenti fenotipi quando esso viene esposto ad ambienti diversi (Calvo et al., 2021). Si ritiene infatti che

---

<sup>6</sup> Definizione di Calvo et al. (2020): (1). Intelligence is a property that an individual plant has as it interacts with its environment. (2). Intelligence is related to the plants ability to succeed or profit with respect to some goal or objective. (3). Intelligence depends on how able the plant is to adapt to different objectives and environments.

nelle piante l'intelligenza risiede nei *meristemi*, ovvero tessuti vegetali le cui cellule mantengono la capacità di dividersi per mitosi dando così origine a nuove cellule e contribuendo alla plasticità della pianta (Baluška et al., 2009). Semplificando, la plasticità è la capacità di un organismo di cambiare in risposta a dei segnali ambientali ed è un chiaro esempio di intelligenza vegetale (Trewavas, 2003).

In realtà, per quanto le piante siano organismi sessili, ovvero radicati al terreno e impossibilitati a spostarsi nel corso della loro vita dal luogo di nascita, esse si muovono moltissimo, soltanto che lo fanno su tempi più dilatati rispetto agli animali (Mancuso, 2019). Per questo motivo, al fine di comprendere a pieno il comportamento delle piante, sarebbe fondamentale studiarle all'interno dell'ambiente naturale in cui sono immerse, così da poter osservare la loro naturale e lenta crescita, entro un arco temporale fisiologico di sviluppo (Trewavas, 2003; Abalo-Rodriguez & Calvo, 2024).

### 3.2 Adattamento come convivenza collettiva

L'idea di una leadership vegetale diffusa emerge dall'interazione tra le piante e il loro ambiente, basandosi su segnali chimici, fisici e bioelettrici (Gagliano et al., 2012). La letteratura scientifica sta progressivamente dimostrando come le piante siano in grado di rilevare, rispondere e interagire con i propri vicini (Bilas et al., 2021). In particolare, Bilas e colleghi (2021) hanno approfondito questi concetti attraverso lo studio della biologia sociale delle piante. Essi affermano che l'evoluzione delle capacità ricettive e interattive delle piante derivi anche dalla loro natura sessile, che non gli consente di decidere con quali individui aggregarsi o, al contrario, quali sarebbe preferibile evitare. Diversamente dagli animali, quindi, non potendo decidere l'identità dei propri vicini, le piante sono costrette ad interagire con loro attraverso scambi spesso impercettibili e lenti all'occhio umano ma altrettanto sorprendenti. Dunque, sebbene sia diffuso

attribuire a patogeni e predatori il ruolo di principali fattori di stress nel mondo vegetale, la principale minaccia per ogni singola pianta è rappresentata dalle piante vicine e dal loro accesso a risorse di sopravvivenza comuni (Bilas et al., 2021). Le piante infatti, essendo organismi sessili, devono affrontare quotidianamente sfide legate alla competizione per le risorse – luce, acqua, nutrienti – e alla sopravvivenza in ambienti mutevoli (Mancuso, 2019). Per farlo, hanno sviluppato meccanismi di rilevamento e risposta che consentono loro di interagire con il contesto circostante, regolando la propria crescita e le proprie strategie di adattamento in funzione della presenza di altri individui (Mancuso, 2022).

### *3.2.1 Rilevamento dei vicini*

Uno degli aspetti chiave per l'introduzione del concetto di leadership vegetale è la capacità delle piante di percepire la presenza e l'attività dei loro vicini attraverso vari segnali ambientali, che guidano le loro risposte comportamentali. Tradizionalmente, si è ipotizzato che le piante potessero rilevare la presenza dei propri vicini solamente in modo passivo, percependo una variazione nella disponibilità di risorse. Al giorno d'oggi, invece, la letteratura evidenzia la presenza di diversi meccanismi di rilevamento attivo dei propri vicini (Bilas et al., 2021). Particolare attenzione è stata dedicata allo studio dell'apparato radicale delle piante, che si ritiene essere alla base di molti comportamenti vegetali. È stato infatti dimostrato che le radici sono in grado di individuare e assimilare nutrienti dal terreno, percepire la presenza delle piante circostanti e – più in generale – captare numerosi segnali e guidare la crescita del proprio sistema radicale di conseguenza (Gruntman & Novoplansky, 2004; Karban & Shiojiri, 2009; Baluška et al., 2009; Biedrzycki & Bais, 2010; Bilas et al., 2021; Bonato et al., 2024). Principalmente, tra i meccanismi di rilevamento attivo dei propri vicini

troviamo “segnali”, ovvero informazioni, che le piante non possono evitare di mettere a disposizione delle altre piante. Di seguito saranno elencati alcuni di questi segnali.

### *Luce*

Il rilevamento della luce è fondamentale per la crescita delle piante e avviene principalmente attraverso i fitocromi e i criptocromi, che percepiscono la qualità (i.e., rapporto rosso/rosso lontano) e l'intensità della luce (Ballaré & Pierik, 2017). Questa capacità di assorbire, riflettere e disperdere la radiazione solare consente alle piante di individuare la presenza di vicini e, nel caso di rilevazione di competitor, di modificare la loro architettura di crescita per orientare la pianta verso zone più favorevoli (Crepy & Casal, 2015). Questo è possibile grazie alla struttura decentralizzata delle piante, che consente loro di avviare un processo di crescita o sviluppo in regioni specifiche del loro corpo (Witzany, 2007). In particolare, i cambiamenti nella crescita delle piante – provocati da modifiche dell'ambiente luminoso per la presenza di vegetazione circostante – vengono ricondotti al concetto di *shade avoidance responses* (i.e., risposte di evitamento dell'ombra; Casal & Fankhauser, 2023). La funzione di questo meccanismo è quella di aumentare l'accesso alla luce solare, così riducendo il rischio di ombra futura. Casal & Fankhauser (2023) riportano quattro strategie (non mutualmente esclusive) che le piante utilizzano per raggiungere questo obiettivo: (a) superare le piante vicine, elevando il fogliame al di sopra dell'ombra della vegetazione; (b) spostare la posizione del fogliame sul piano orizzontale lontano dall'ombra delle piante vicine; (c) ridurre la proporzione di fogliame posta alla base ombreggiata della chioma; e (d) modificare la fenologia per aggirare il periodo di ombra profonda (es. attraverso i processi di fioritura accelerata o germinazione ritardata). Tuttavia, nonostante sia stato dimostrato che la qualità della luce venga utilizzata come un segnale di rilevamento di

altre piante – di cui si riconosce la tipologia – non è ancora chiaro se e come questo possa permettere di codificare informazioni specifiche rispetto all'identità dei vicini (Bilas et al., 2021).

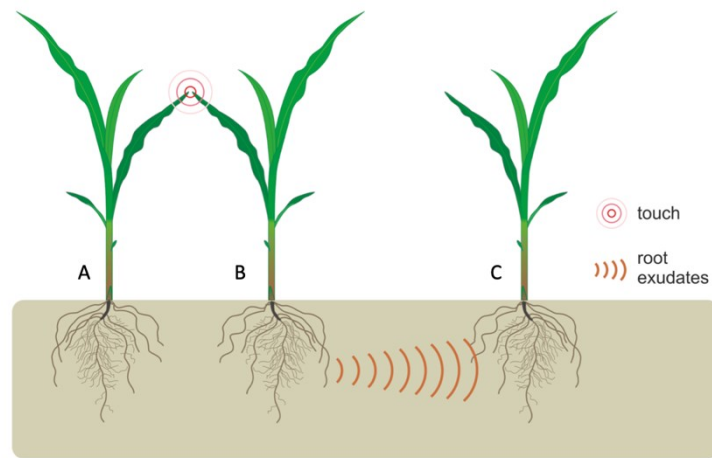
### *Contatto fisico*

Le piante sono naturalmente esposte a forze meccaniche da una serie di fattori (es. oggetti fisici, vento, insetti; Bilas et al., 2021). In particolare, esse percepiscono il contatto meccanico con altre strutture attraverso i meccanorecettori e l'efficacia di tale stimolazione dipende dalla lunghezza e dalla ripetitività del segnale piuttosto che dalla forza applicata. In termini di rilevamento dei propri vicini, è interessante notare come il contatto generato da una pianta possa essere chiaramente distinto da quello prodotto da altri stimoli meccanici (Markovic et al., 2016). Un esempio di risposta al contatto si osserva nella capacità delle radici di deviare la propria traiettoria di crescita per evitare ostacoli oppure nella produzione di strutture più resistenti (Braam & Chehab, 2017; Bilas et al., 2021). In particolare, Elhakeem e colleghi (2018) hanno indagato come stimoli meccanici che si verificano vicino al suolo, come ad esempio il tocco tra foglie di piante vicine, possano influenzare la comunicazione tra piante a livello radicale. Osservando la Figura 2<sup>7</sup> si può osservare quanto dimostrato dallo studio. Analizzando le piante di mais (*Zea mays L.*), i ricercatori hanno osservato che una pianta appena germinata (i.e., pianta C) era in grado di percepire segnali chimici rilasciati da una pianta vicina (i.e., pianta B) che era entrata precedentemente in contatto con un'altra pianta confinante (i.e., pianta A); di conseguenza, la pianta appena germinata evitava la crescita nella direzione della pianta che aveva precedentemente subito stimoli

---

<sup>7</sup> **Figura 2** Elhakeem, A., Markovic, D., Broberg, A., Anten, N. P., & Ninkovic, V. (2018). Aboveground mechanical stimuli affect belowground plant-plant communication. *PLoS One*, 13(5), e0195646.

meccanici, poiché interpretava i segnali chimici ricevuti da essa come indicatori di stress o competizione.



**Figura 2.** Rappresentazione grafica delle interazioni tra piante vicine al suolo tramite tocco leggero e del loro effetto sulla comunicazione sotterranea.

Una risposta adattiva delle piante agli stimoli meccanici è la *thigmo-morfogenesi*.

Secondo questo principio, quando una pianta percepisce un tocco o una sollecitazione meccanica, attiva una serie di risposte fisiologiche e molecolari come, ad esempio, la riduzione dell'allungamento del fusto, l'aumento dello spessore del fusto per migliorare la stabilità strutturale, o il ritardo nella fioritura così da permettere alla pianta di indirizzare le risorse alla fortificazione prima della riproduzione. Queste risposte aiutano la pianta a resistere meglio a condizioni ambientali avverse, come venti forti o il contatto con animali (Braam & Chehab, 2017).

#### *Segnali chimici (VOCs ed essudati)*

Tra i segnali utili al rilevamento dei propri vicini vi sono i composti organici volatili che le piante rilasciano nell'ambiente per avvisare della presenza di erbivori o stress ambientali (Šimpraga, Takabayashi & Holopainen, 2016). Tali molecole chimiche sono dunque utilizzate come segnali, sostanze messaggere, al fine di garantire processi di coordinamento e organizzazione nella comunità vegetale (Witzany, 2007). Solitamente,

questi composti organici vengono distinti tra VOCs (i.e., *Volatile Organic Compounds*) ed essudati. I primi sono molecole che vengono liberate nella fase gassosa, sia sopra che sottoterra; i secondi sono sostanze chimiche secrete nel terreno dalle radici delle piante (Bilas et al., 2021). Una volta che i composti organici vengono rilasciati da una pianta, la direzione e la dinamica di espansione sono determinate dalla temperatura, dal trasporto convettivo e dal vento per la segnalazione in superficie o dall'acqua per la segnalazione nel sottosuolo (Baldwin, 2006).

Sono state identificate più di 1000 diverse tipologie di VOCs– tra le più note troviamo isoprene, metanolo, etilene, terpene, alcoli – e questo ci fa pensare ad una emissione anche combinata delle diverse tipologie, proprio per comunicare lo stato fisiologico e la specie di ciascuna pianta in maniera precisa (Karban et al., 2006). Questa complessità potrebbe essere proprio la caratteristica che permette una distinzione tra vicini. Ad esempio, le piante di Fagiolo di Lima (*Phaseolus lunatus*) sono in grado di distinguere i propri vicini poiché comunicano con dialetti specifici alla loro popolazione; è stato infatti dimostrato che le piante esposte ai composti volatili di vicini danneggiati sperimentalmente hanno subito minori danni alle foglie rispetto ad altre piante esposte a piante non danneggiate, ma solo quando le piante vicine appartenevano alla stessa popolazione (Moreira et al., 2016). Ciò significa che solamente le piante in grado di riconoscere i segnali inviati dai propri simili attraverso un “dialetto” comune sono riuscite a difendersi. Tuttavia, in generale, non è chiaro se queste informazioni siano dirette alla stessa pianta emittente o alle piante vicine e, inoltre, non sono ancora noti tutti i meccanismi secondo cui questo possa accadere (Bilas et al., 2021). Ad oggi, questo tipo di comunicazione chimica è stata principalmente associata all’attivazione di risposte difensive, anche in individui che non sono ancora stati attaccati (Heil &

Karban, 2010; Bilas et al., 2021). In particolare, un aspetto interessante delle relazioni tra piante si osserva quando le piante attaccate da insetti rilasciano i *sinomoni* – ovvero sostanze chimiche che fungono da mezzo di difesa indiretta, attraendo i nemici naturali dell’insetto che ha attaccato la pianta – come avviso di pericolo e inducono le piante circostanti a produrre le stesse sostanze così da anticipare un potenziale futuro attacco (Guarino, 2009).

Relativamente agli essudati, è stato dimostrato che il terreno è colmo di molecole organiche ed è proprio questa produzione organica che spiega la capacità delle radici di evitare ostacoli fisici senza toccarli fisicamente (Falik et al., 2005). Ad esempio, Falik e colleghi (2012) hanno esplorato come le piante possano percepire e rispondere ai segnali di stress trasmessi attraverso le radici dai loro vicini. In particolare, hanno dimostrato che le piante di pisello (*Pisum sativum L.*) non stressate che condividevano il volume di radicazione con piante stressate hanno mostrato una rapida chiusura degli stomi, simile a quella delle piante direttamente stressate. Inoltre, tali piante non direttamente stressate, dopo aver percepito i segnali di stress dei vicini, hanno a loro volta trasmesso questi segnali ad altre piante non stressate a loro collegate. In questo studio, la trasmissione dei segnali di stress è avvenuta solo tra piante che condividevano il volume di radicazione, indicando quindi che la comunicazione è avvenuta attraverso le radici e non tramite segnali aerei. In particolare, le radici delle varie piante crescevano nello stesso spazio fisico pur essendo fisicamente separate da barriere porose che impedivano il contatto diretto, ma consentivano il passaggio di acqua, nutrienti e segnali chimici disciolti. Tale studio dimostra come le piante siano capaci di una comunicazione sofisticata attraverso le radici, che permette loro di anticipare e prepararsi a condizioni ambientali avverse percepite e segnalate dai loro

vicini. Gli essudati delle radici sembrano essere fattori cruciali per i meccanismi di auto-riconoscimento (i.e., *self/non-self recognition*) e distinzione parentale (i.e., *kin/non-kin recognition*) delle piante, che verranno trattati nella sezione seguente.

#### *Segnali elettrici e acustici*

È stato ipotizzato che le piante utilizzino segnali elettrici e acustici per rilevare i propri vicini e rispondere di conseguenza (Bilgen & Akan, 2024). In particolare, si ritiene che la comunicazione elettrica avvenga attraverso il suolo, mentre quella acustica attraverso canali aerei (Bilgen & Akan, 2024). Tuttavia, gli studi in materia sembrano essere ancora controversi e l'evidenza scientifica ad oggi è ancora scarsa (Bilas et al., 2021).

#### *Intermediari fungini*

Le associazioni simbiotiche tra le radici delle piante e i funghi sono molto comuni in natura e rappresentano un meccanismo di rilevazione dei propri vicini. In tale relazione simbiotica, da un lato, i funghi micorrizici estendono il sistema radicale delle piante, migliorando il loro accesso a nutrienti – come fosforo e azoto – e all'acqua; dall'altro lato, le piante forniscono ai funghi i carboidrati – come il glucosio – che vengono prodotti attraverso la fotosintesi (Bilgen & Akan, 2024). Dunque, grazie a questa simbiosi, i funghi micorrizici migliorano significativamente la crescita e la salute delle piante facilitando l'assorbimento di nutrienti essenziali spesso scarsi nel suolo, così aumentando la resistenza delle piante a vari stress abiotici, come siccità e salinità (Bilgen & Akan, 2024). In particolare, le piante si interconnettono attraverso funghi micorrizici così da formare una *rete micorrizica comune* tra diversi individui, siano essi conspecifici e/o eterospecifici (i.e., *common mycorrhizal network*, CMN; Simard & Durall, 2004; Selosse et al., 2006; Simard et al., 2012). Oltre a facilitare il trasferimento di nutrienti, le CMN consentono alle piante di comunicare segnali di stress correlati ad

attacchi di patogeni. Inoltre, ad oggi, si ipotizza che queste CMN siano uno dei mezzi più efficienti di trasmissione di segnali elettrici tra piante nel sottosuolo. Ad esempio, alcuni studiosi hanno dimostrato che le piante di pomodoro (*Lycopersicon esculentum*) possono comunicare tra loro attraverso segnali elettrici trasmessi attraverso il suolo e, anche se non testato direttamente, ipotizzano che tale meccanismo si verifichi attraverso reti micorriziche (Volkov & Shtessel, 2018). In particolare, è stato osservato che quando le radici delle piante di pomodoro sono collegate tramite il terreno, il suolo agisce da conduttore e fa sì che i segnali elettrici viaggino da una pianta all'altra.

### 3.2.2 *Distinzione tra vicini*

Una volta rilevata la presenza di altri organismi, le piante devono distinguere tra le diverse tipologie di vicini per poter rispondere in maniera adeguata. In particolare, la letteratura in questa area di ricerca può essere racchiusa in due domande: le piante riescono a distinguere il sé da ciò che è altro da sé, ovvero una pianta vicina (i.e., *self/non-self recognition*)? E inoltre, tra chi è altro da sé, le piante riescono a distinguere chi appartiene alla stessa famiglia oppure no? (i.e., *kin/non-kin recognition*; Dudley & File, 2007)? Ad oggi, si ritiene che la comunicazione tra piante sia caratterizzata proprio da queste due caratteristiche fondamentali, ovvero il fatto che le piante sono in grado di distinguere tra sé e non sé e di riconoscere i parenti dagli estranei (Bonato et al., 2021).

#### *Self/Non-Self Recognition*

Molti studiosi hanno dimostrato la capacità delle piante di filtrare i segnali citati nella sezione precedente, distinguendo quelli generati dal proprio corpo da quelli emessi dagli altri, così da evitare di avviare meccanismi competitivi contro sé stessi. In particolare, l'auto-discriminazione nelle piante è stata osservata storicamente attraverso due meccanismi. Da un lato, diversi studi hanno approfondito il concetto di auto-

incompatibilità nei fiori e hanno dimostrato che le piante evitano l'autofecondazione sulla base di differenze specifiche del genotipo (i.e., riconoscimento allogenico; Kao & McCubbin, 1996; Nasrallah, 2002), per prevenire un potenziale indebolimento della specie (Bonato et al., 2021). Dall'altro lato, il meccanismo di distinzione tra sé e non sé è stato osservata nella capacità delle piante di distinguere le proprie radici da quelle di altri individui (Chen et al., 2012), con il fine di ridurre la competizione interna e regolare la propria crescita (Gruntman & Novoplansky, 2004; Karban & Shiojiri, 2009). Recentemente, un nuovo processo di auto-discriminazione è stato osservato attraverso lo studio dei viticci della vite perenne (*Cayratia japonica*; Fukano & Yamawo, 2015). In particolare, Fukano e Yamawo (2015) hanno osservato che i viticci si avvolgevano con maggiore probabilità attorno a vicini non collegati – e quindi a piante distinte da sé – piuttosto che attorno a sé stesse o a vicini collegati tramite radici. Dunque, il fatto che i viticci si avvolgessero con maggiore probabilità attorno a piante fisiologicamente separate da sé suggerisce che la risposta di avvolgimento è mediata dal coordinamento fisiologico tra il viticcio e l'ambiente (i.e., la pianta toccata). Lo stesso meccanismo di auto-discriminazione è stato osservato in altre piante come la zucca amara (*Momordica charantia*) e il fiore della passione azzurro (*Passiflora caerulea*), per i quali è stata riportata una maggiore probabilità di avvolgersi attorno ai piccioli di individui della stessa coltivazione o di coltivazioni diverse, rispetto ai propri piccioli (Sato et al., 2018).

#### *Kin/Non-Kin Recognition*

Il riconoscimento di sé/non sé è una forma di riconoscimento distinta, in quanto implica solo due possibili stati: sé o non sé. Al contrario, il riconoscimento di parentela implica il riconoscimento del grado di parentela genetica e prevede molti possibili stati (Chen et al., 2012). Negli ultimi anni, è stata posta particolare attenzione allo studio dei

meccanismi che potrebbero permettere alle piante di distinguere i vicini imparentati (i.e., *kin*) dagli altri vicini (i.e., *non-kin*). Questa abilità si pensa possa risiedere nell'apparato radicale delle piante (Callaway & Mahall, 2007). Alcuni studi hanno dimostrato che le piante possono riconoscere i loro parenti genetici e cooperare con essi riducendo la crescita delle proprie radici per lasciare loro spazio vitale (Gruntman & Novoplansky, 2004; Karban & Shiojiri, 2009; Biedrzycki & Bais, 2010; Bilas et al., 2021). Ad esempio, la rucola di mare (*Cakile edentula*) riduce l'espansione delle proprie radici quando cresce accanto a conspecifici imparentati (i.e., piante sorelle della stessa pianta madre), ma intensifica la competizione quando non sono presenti legami di parentela con i vicini (i.e., piante con madri diverse; Dudley & File, 2007). In maniera simile, *Ambrosia dumosa* riconosce le proprie radici e limita la sovrapposizione con esse, mentre intensifica la competizione verso le radici estranee (Karbon & Shiojiri, 2009). Oppure, ancora, nelle piante di riso, il sistema radicale di piante della stessa varietà rimane separato e non entra mai in contatto, a differenza di quanto accade tra piante di varietà differenti (Fang et al., 2013). Anche in questo caso, la letteratura scientifica non identifica i meccanismi alla base del riconoscimento parentale; tuttavia, l'esistenza di questo processo e delle dinamiche di cooperazione tra piante sembra essere dimostrabile grazie agli importanti effetti che tali processi hanno in termini evolutivi (Hamilton, 1964b). Altri esempi riguardano la campanella ederacea (*Ipomoea hederacea*; Biernaskie, 2011) e la balsamina pallida (*Impatiens pallida*; Murphy & Dudley, 2009) che producono rispettivamente più radici e più foglie quando crescono con piante non imparentate rispetto che con piante geneticamente affini.

Le piante sono in grado di distinguere anche tra specie diverse e, di conseguenza, modificare il loro comportamento verso due direzioni: da un lato

l'approccio competitivo e, dall'altro lato, la possibilità di simbiosi (Novoplansky, 2009). Le *micorrize*, per esempio, regolano il trasferimento di nutrienti tra specie diverse in base alla loro identità e alle esigenze reciproche (Simard & Durall, 2004; Selosse et al., 2006; Simard et al., 2012).

### 3.2.3 Risposte ai vicini

A seconda del tipo di individuo rilevato nelle vicinanze, le piante attuano diverse strategie di interazione, che spaziano dalla competizione alla cooperazione.

#### *Competizione*

La competizione vegetale può verificarsi in diversi modi come, ad esempio, a livello radicale (i.e., *root system*) o nella parte aerea (i.e., *shoot system*). Quando le piante individuano la presenza di vicini in competizione per le risorse (i.e., luce, acqua, nutrienti) possono adottare – grazie a meccanismi di percezione evoluti – diverse strategie di adattamento che massimizzano l'appropriazione di tali risorse (Novoplansky, 2009). Novoplansky (2009) ha per l'appunto sintetizzato le strategie che le piante adottano per rispondere alla presenza di vicini in tre categorie principali: (a) l'*evitamento*, quando esse modificano la direzione di crescita per ridurre la competizione diretta, ad esempio orientando foglie o radici lontano dai vicini; (b) il *confronto*, quando investono risorse in una crescita aggressiva, come l'allungamento degli steli, per superare i concorrenti e accedere meglio alla luce; (c) la *tolleranza*, se adattano la loro fisiologia per sopportare condizioni competitive, ad esempio aumentando l'efficienza fotosintetica in ambienti ombreggiati. Queste strategie non sono mutuamente esclusive e possono essere adottate simultaneamente o sequenzialmente, a seconda delle condizioni ambientali e delle caratteristiche della pianta. Un esempio di strategia di *confronto*, ovvero in cui la presenza di vicini in competizione per risorse fa

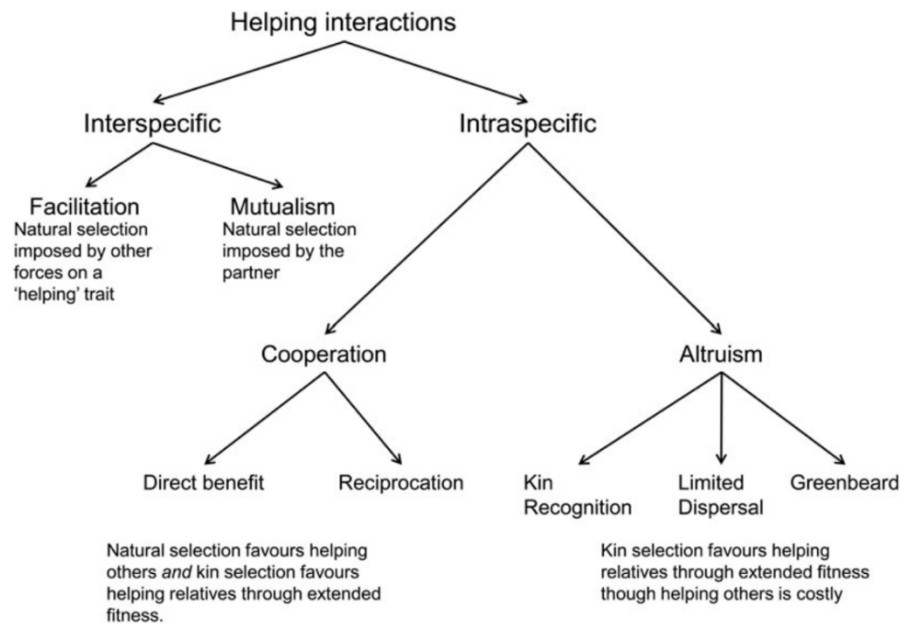
sì che alcune piante adottino strategie di crescita aggressive (Craine & Dybzinski, 2013), è stato osservato nella proliferazione straordinaria del sistema radicale e della germinazione di piante di soia (*Glycine max*) in presenza di altre piante vicine con cui condividevano spazio e nutrienti (Gersani et al., 2001). Oppure, come accennato precedentemente, molte specie rispondono alla riduzione della luce incrementando la crescita in altezza (i.e., *shade avoidance response*) per sovrastare i concorrenti (Pierik et al., 2013). Un meccanismo di *evitamento*, invece, si può osservare nelle piante di mais (*Zea mays*) che modificano l'orientamento delle loro foglie in risposta a segnali luminosi per ridurre l'ombreggiamento reciproco tra piante, così migliorando l'efficienza nella cattura della luce e potenzialmente aumentando la resa delle piante circostanti (Maddonni et al., 2002).

### *Cooperazione*

Tra le strategie di interazione tra piante troviamo anche risposte sociali cooperative e altruistiche, nelle quali le piante regolano e/o riducono la propria crescita radicale e germinazione in presenza di altre piante (Bilas et al., 2021). Nella letteratura scientifica, è emerso nel corso del tempo un dibattito rispetto al tema della cooperazione e la terminologia ad esso legata. In questo senso, risulta particolarmente esaustivo il modello concettuale sviluppato da Lehmann e Keller (2006), illustrato in Figura 3<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> **Figura 3** Dudley, S. A. (2015). Plant cooperation. *AoB Plants*, 7:plv113.



**Figura 3.** Rappresentazione schematica del consenso raggiunto sulla terminologia dei diversi meccanismi di aiuto, con aspettative su come la selezione naturale e la selezione parentale agiscano su questi tipi di aiuto.

Lehmann e Keller (2006) utilizzano "aiuto" (i.e., *helping*) come il termine più inclusivo per descrivere qualsiasi interazione inter- o intra-specie in cui un partner aumenta il successo evolutivo (i.e., *fitness*) di un altro partner, ovvero fornisce un "beneficio". Quando un individuo aiuta un altro membro della stessa specie, viene utilizzato il termine "altruismo" (i.e., *altruism*) nel caso in cui il gesto di aiuto sia costoso per chi aiuta, e "cooperazione" (i.e., *cooperation*) quando aiutare beneficia direttamente chi aiuta (Lehmann & Keller, 2006). Per quanto riguarda invece l'aiuto tra specie diverse, il termine "mutualismo" (i.e., *mutualism*) viene utilizzato per indicare un aiuto tra specie a diversi livelli trofici – ovvero che occupano posizioni diverse all'interno della catena alimentare – in cui entrambe le specie ne traggono beneficio, e il termine "facilitazione" (i.e., *facilitation*) per indicare un aiuto tra specie allo stesso livello trofico, in cui almeno una delle specie ne trae beneficio (Lehmann & Keller, 2006). In generale, queste interazioni cooperative e altruistiche rappresentano un fenomeno che accade soprattutto

– anche se non esclusivamente – tra individui geneticamente affini e favorisce la sopravvivenza del gruppo (Dudley, 2015). Diversi esempi di altruismo sono stati infatti citati precedentemente nella sezione dedicata al riconoscimento di piante parenti e all’attuazione del meccanismo di selezione di parentela (i.e., *kin selection*; File et al., 2012), secondo cui le piante possono riconoscere i parenti stretti e ridurre la competizione con essi. In generale, una pianta può cooperare con le piante vicine attuando due strategie: da un lato, mantenendo la neutralità e quindi seguendo la filosofia del “vivi e lascia vivere”; in alternativa, potrebbe scegliere di ridurre attivamente la propria crescita per evitare dinamiche competitive (Bilas et al., 2021). Un esempio di questa seconda modalità si può osservare nel trasferimento di nutrienti tra alberi connessi attraverso reti micorriziche, così da supportare gli individui più deboli in condizioni di stress (Simard et al., 2012).

Dunque, analizzando le dinamiche di riconoscimento, distinzione e risposta ai vicini risulta evidente che le piante interagiscono tra di loro in maniera attiva e secondo dinamiche complesse tanto quanto quelle osservate negli altri organismi viventi (Bilas et al., 2021). Abbiamo infatti osservato come esse possano rilevare la presenza dei propri vicini, comunicare con essi e regolare di conseguenza il proprio sviluppo. Risulta chiaro, dunque, come la leadership nel mondo vegetale non si manifesti attraverso un'entità dominante ma piuttosto emerga come un fenomeno collettivo e distribuito, basato sulla percezione dell’ambiente e sulle risposte adattive di ciascuna pianta (Mancuso, 2019). Questa riflessione basata sul concetto di leadership vegetale potrebbe offrire spunti interessanti per la comprensione di forme di leadership alternative anche nel contesto delle organizzazioni umane, enfatizzando l'importanza della cooperazione, della flessibilità e della comunicazione non gerarchica (Pievani, 2011).

## Capitolo 4 – Similitudini tra leadership umana, animale e vegetale

L'analisi comparativa della leadership nei tre mondi - umano, animale e vegetale – evidenzia alcune sorprendenti somiglianze. Per comprendere l'origine di questi parallelismi, è necessario soffermarsi e ragionare sulla sfida comune a tutti gli organismi viventi: utilizzare i diversi organi sensoriali e i relativi sistemi di traduzione dei segnali per percepire l'ambiente circostante e assicurare una risposta comportamentale adattiva, al fine di sopravvivere (Gagliano, 2015). In letteratura, è ormai assodato che le piante, come gli animali, hanno un *senso del luogo* inteso come la capacità di ricevere, organizzare e interpretare i segnali dell'ambiente così da essere consapevoli dell'ambiente che li circonda (Gagliano, 2015). Queste percezioni plasmano poi le decisioni, su cui si basano le azioni che gli organismi viventi scelgono di intraprendere. Il comportamento adattivo di ciascun essere vivente deriva quindi, in primis, dalla sua capacità di percepire il contesto circostante. A questo punto della nostra analisi, non è importante trovare una corrispondenza tra le strutture percettive vegetali e quelli animali, bensì focalizzarsi sul fatto che ci possano essere dei principi adattivi comuni ai due mondi. Come afferma Hiernaux (2021), ciò che accomuna le attività cognitive di piante e animali sono i principi adattivi e i loro effetti, piuttosto che i mezzi o le strutture comuni. Ai fini di questo elaborato, sarebbe dunque illogico, oltre che dispendioso, analizzare tutti gli organi e i meccanismi psicofisiologici animali con il fine di trovare una corrispondenza con la struttura e i meccanismi vegetali.

Diversamente, di seguito verranno proposti tre principi che si ritiene possano essere il *fil rouge* comune nell'evoluzione della leadership vegetale e di quella animale.

## 4.1 Una leadership sociale: interazioni

Sia la leadership vegetale che quella animale si basano sul principio di riconoscimento sociale (Ward & Webster, 2016; Bilas et al., 2021). In particolare, affinché vi sia leadership è necessario che vi siano due o più individui in relazione tra di loro, che interagiscono e si scambiano informazioni. Queste interazioni non sono casuali. Esse sono influenzate da numerosi fattori individuali e ambientali e si basano quindi sulla capacità di percepire e identificare l'altro, così da rispondere in maniera cosciente e adattiva. Il riconoscimento sociale che regola le interazioni vegetali e animali permette agli individui di entrambe le specie di distinguere tra individui appartenenti a specie diverse, tra individui appartenenti o meno al proprio nucleo familiare, oltre che riconoscere ciascun individuo nella propria unicità (Ward & Webster, 2016; Hiernaux, 2021; Bilas et al., 2021). Questa capacità di riconoscere l'altro e di adattare il proprio comportamento sociale in base all'identità e alla prossimità genetica dell'interlocutore si collega direttamente ai concetti di *kin selection* e *inclusive fitness* teorizzati da William D. Hamilton (1964a, 1964b). Secondo tali principi, un individuo può massimizzare il proprio successo evolutivo non solo attraverso la riproduzione diretta, ma anche aiutando i propri consanguinei a sopravvivere e a riprodursi, poiché condivide con essi una parte significativa del proprio patrimonio genetico. Perché ciò sia possibile, è tuttavia fondamentale che l'individuo sia in grado di riconoscere i propri simili genetici, distinguendoli dagli estranei, e modulare i propri comportamenti in modo cooperativo o competitivo di conseguenza. Come trattato nel capitolo precedente, questo tipo di discriminazione sociale è stato osservato nel regno vegetale, dimostrando come le piante siano in grado di distinguere tra individui imparentati e no, adottando comportamenti più cooperativi in presenza dei propri simili genetici (Dudley & File, 2007; Falik et al.,

2012). Tali risposte suggeriscono che il riconoscimento sociale nelle piante non solo esiste, ma può essere letto in chiave evolutiva come un adattamento per massimizzare il fitness inclusivo. Inoltre, a supporto di ciò, l'analisi delle reti sociali tra piante vascolari (Jeong, 2024) ha evidenziato come le piante, sebbene sprovviste di mobilità e di un sistema nervoso centrale, sviluppino relazioni strutturate e funzionali con le altre specie vegetali che coabitano lo stesso ecosistema. In particolare, tali interazioni vegetali sono organizzate in sistemi complessi di co-occorrenza e supporto reciproco, con alcune specie che fungono da nodi centrali per la coesione dell'intero sistema, confermando come la cooperazione non sia un'esclusiva del regno animale, ma una strategia condivisa che favorisce la sopravvivenza collettiva.

Dunque, questo primo principio comune all'evoluzione della leadership vegetale e di quella animale intende valorizzare il fatto che nel regno vegetale esistono forme di interazione sociale evolutivamente significative, che possono fungere da base per dinamiche di influenza e leadership diffusa all'interno delle comunità ecologiche.

#### 4.2 Una leadership distribuita: struttura

Essendo il riconoscimento sociale il processo che regola le interazioni tra individui, esso pone le basi della struttura sociale delle specie animali e vegetali. Seppur esistano diverse organizzazioni sociali sia a livello vegetale che animale, potremmo affermare che esse siano accomunate da un principio evolutivo di distribuzione. In particolare, per leadership distribuita intendiamo una leadership che emerge in base alla situazione e alle necessità del gruppo (Petit & Bon, 2010) e, come trattato precedentemente, tale meccanismo è stato individuato sia a livello animale che a livello vegetale (Ward & Webster, 2016; Bilas et al., 2021). Il valore di una leadership distribuita sta nel fatto che essa permette, allo stesso tempo, libertà e robustezza organizzativa e quindi maggiori

probabilità di sopravvivenza in termini evolutivi. Un esempio particolarmente eloquente proviene dagli stormi di uccelli migratori o dai banchi di pesci, che manifestano una leadership fluida e che si modifica a seconda delle condizioni, senza bisogno di un unico leader stabile (Couzin et al., 2005; Conradt & Roper, 2005; Berdahl et al., 2018). Nel mondo vegetale, la leadership distribuita si manifesta ad esempio nelle reti micorriziche – simbiosi tra funghi e apparati radicali – che costituiscono una vera e propria “rete sociale” sotterranea (Bilgen & Akan, 2024). In queste reti, alcune piante fungono temporaneamente da nodi centrali, ridistribuendo nutrienti o trasmettendo segnali di allerta, ad esempio in caso di siccità o attacco da parte di patogeni (Mancuso, 2019). Anche in questo caso, tali scambi non avvengono in modo gerarchico, ma secondo logiche situazionali, legate alle condizioni locali e allo stato delle piante coinvolte. Dunque, il meccanismo della leadership distribuita trova una solida spiegazione nella teoria evolutiva contemporanea. Infatti, come sottolinea Pievani (2009), l’evoluzione non procede in modo lineare o finalizzato, ma è segnata da contingenze storiche, pluralità di strategie e una forte dipendenza dal contesto. In questa prospettiva, la leadership distribuita rappresenta un adattamento plastico, non imposto da un disegno centrale, ma emergente da processi locali e relazionali. Particolarmente rilevante è il principio dell’*unità nella diversità*, trattato da Pievani (2009), secondo cui tutte le specie derivano da un’origine comune, ma si sono differenziate nel tempo grazie a processi di adattamento che hanno promosso la coesistenza di forme differenti, senza eliminare le varianti. Dunque, la diversità interna ai sistemi viventi – sia a livello genetico che comportamentale – non è un’anomalia da eliminare, bensì diventa una risorsa fondamentale che consente flessibilità e resilienza. Proprio perché non possiamo prevedere le condizioni future, come afferma Mancuso (2019), è vantaggioso per una

specie disporre di una struttura sociale che favorisca l'autonomia locale e l'adattamento collettivo, piuttosto che un controllo centralizzato. La leadership distribuita riflette esattamente questo: più che identificare un unico "leader ideale", i gruppi animali e vegetali dispongono di molteplici potenziali leader, ciascuno con caratteristiche e competenze differenti, che possono emergere in base alle esigenze della situazione. Tale diversità interna al gruppo garantisce un margine di adattamento molto più ampio rispetto ai modelli rigidi e centralizzati.

Secondo questo secondo principio, dunque, la varietà non viene soppressa, ma valorizzata e funzionalizzata: è proprio questa capacità di integrare unicità individuali in un sistema collettivo dinamico che consente alle organizzazioni naturali di rispondere in modo efficace a sfide complesse e in continua trasformazione. In questo genere di ecosistema, l'organizzazione sociale riflette l'equilibrio tra collaborazione, autonomia e interdipendenza evolutiva.

#### 4.3 Una leadership cooperativa: ecosistema

Nel mondo vegetale e in quello animale, quando due o più individui interagiscono e instaurano una relazione sulla base di un riconoscimento reciproco (i.e., leadership sociale), si creano progressivamente delle organizzazioni sociali. Queste organizzazioni sono spesso caratterizzate da un principio di distribuzione (i.e., leadership distribuita) che regola le interazioni sociali tra gli individui e, al tempo stesso, fa sì che ciascun individuo possa trovare un punto di equilibrio tra i vantaggi dello stare in gruppo e i vantaggi dell'individualità. Grazie alla leadership distribuita, sia animali che piante riescono ad affrontare le sfide legate alla competizione per le risorse (Ward & Webster, 2016; Mancuso, 2019). Tuttavia, nel lungo termine, i principi di leadership sociale e di leadership distribuita non sono sufficienti a garantire la sopravvivenza in ambienti

mutevoli e, pertanto, entra in gioco il concetto di leadership cooperativa. Sia nel mondo vegetale che in quello animale, è stato dimostrato che gli individui ottengono considerevoli benefici dal vivere all'interno di gruppi di conspecifici, poiché possono instaurare con essi alleanze di lungo periodo e, di conseguenza, preservare la stabilità dell'ecosistema (Ward & Webster, 2016; Mancuso, 2019). Alcuni studi suggeriscono infatti che le piante adottino strategie decisionali basate sulla cooperazione e sulla condivisione delle risorse, favorendo la sopravvivenza dell'intera comunità piuttosto che quella del singolo individuo (Gagliano, 2015; Mancuso, 2019). Questo tipo di comportamento, apparentemente paradossale, richiama il concetto evolutivo di altruismo come sfida teorica affrontata già da Darwin. Nella sua opera *L'origine dell'uomo* (1871), Darwin osservava che certi comportamenti altruistici – come il prendersi cura degli altri membri del gruppo a scapito di sé – sembravano contraddire la selezione naturale basata sulla competizione individuale. Tuttavia, lo stesso Darwin ipotizzò che tali comportamenti potessero essere selezionati proprio perché favorivano la sopravvivenza del gruppo nel suo complesso. Da queste intuizioni si è sviluppata, in seguito, la teoria della selezione di gruppo e della cooperazione evolutiva, secondo cui la cooperazione non è una deviazione dalla logica evolutiva, ma una sua espressione raffinata in contesti ecologici complessi. Nel mondo vegetale, questa logica cooperativa si riflette nei meccanismi di mutualismo e simbiosi – come le associazioni micorriziche o la facilitazione tra piante consociate – che migliorano le condizioni dell'intero ecosistema e rafforzano la sua resilienza. Ad esempio, nelle foreste temperate, alberi di specie diverse condividono risorse come zuccheri, azoto e fosforo attraverso reti micorriziche sotterranee, così riducendo lo stress ambientale per gli individui più deboli (Simard et al., 1997; Mancuso, 2019). Questa cooperazione, apparentemente non

finalizzata al vantaggio individuale, consente invece al sistema nel suo complesso di resistere meglio a siccità, malattie e cambiamenti climatici. Anche nel regno animale si osservano forme di cooperazione complesse che superano la pura competizione. Nei suricati (*Suricata suricatta*), ad esempio, alcuni individui rinunciano temporaneamente alla riproduzione per assumere ruoli di sentinella o di cura della prole altrui, migliorando la sopravvivenza dell'intero gruppo (Clutton-Brock et al., 1999). Nei branchi di elefanti, le femmine adulte più esperte guidano il gruppo non attraverso dominanza ma grazie alla loro memoria ecologica – ad esempio nella localizzazione di fonti d'acqua durante le migrazioni – svolgendo un ruolo cruciale nella sopravvivenza collettiva (McComb et al., 2001).

Questo terzo principio valorizza dunque una leadership cooperativa, dove il benessere dell'ecosistema sociale viene favorito da comportamenti non gerarchici, ma fondati sulla competenza, sull'esperienza e sulla solidarietà intra-specifica.

In conclusione, i tre principi adattivi sono stati presentati con l'intento di creare un parallelismo tra la leadership vegetale e quella animale. La leadership sociale, che si basa sul riconoscimento e sull'interazione tra individui, è il primo passo per comprendere come il concetto di leadership possa andare oltre la mera figura di un leader autoritario e radicarsi in un processo dinamico e relazionale. Il riconoscimento sociale come base della leadership sottolinea l'importanza delle relazioni autentiche e del riconoscimento reciproco tra membri di un gruppo, elementi fondamentali per costruire fiducia e coesione. La leadership distribuita, poi, suggerisce un approccio più fluido e situazionale alla gestione dei gruppi, riflettendo una strategia che favorisce l'adattabilità piuttosto che l'autorità centralizzata. Tale principio evidenzia come la capacità di adattarsi alle diverse situazioni, valorizzando le competenze specifiche di

molteplici individui, possa rendere un'organizzazione più flessibile, resiliente e capace di rispondere efficacemente a contesti complessi e mutevoli, superando i limiti dei modelli gerarchici rigidi. Infine, la leadership cooperativa sottolinea l'importanza di lavorare insieme per affrontare le sfide comuni, principio fondamentale sia per la sopravvivenza delle piante che degli animali. Tale principio richiama la necessità di promuovere un ecosistema organizzativo fondato sulla collaborazione, sulla condivisione delle risorse e sul benessere collettivo, in cui la competenza e l'esperienza siano riconosciute e messe al servizio della comunità, anziché basarsi esclusivamente sul potere formale o su logiche di dominanza. Questi tre principi adattivi evidenziano dunque come una leadership efficace dipenda non solo dalle caratteristiche e abilità individuali ma anche dalla capacità di riconoscere l'altro e interagire con esso, con l'obiettivo di favorire un ambiente di fiducia e cooperazione. Sono questi parallelismi tra mondo vegetale e animale che ci permettono di affermare che la leadership non sia un fenomeno esclusivamente umano ma un principio evolutivo che si manifesta in forme diverse (Darwin, 1859; Taormina, 2010). Pertanto, discostandosi da una visione di una leadership antropocentrica, questo elaborato evidenzia come le organizzazioni umane possano trarre vantaggio dall'adozione di modelli di leadership più inclusivi, dinamici e cooperativi, ispirati alla natura, che mettano al centro l'interdipendenza e la valorizzazione della diversità per favorire non solo la performance ma anche la sostenibilità sociale ed evolutiva nel lungo termine. Si tratta di una leadership concepita come processo che trascende le specie e abbraccia i principi evolutivi comuni di adattamento e cooperazione.

## Conclusione

Nel corso di questo elaborato, la leadership è stata analizzata come fenomeno adattivo, emergente dall'interazione tra organismi viventi e modellato dalla necessità di affrontare contesti mutevoli e complessi. Attraverso un percorso comparativo tra i regni umano, animale e vegetale, si è cercato di superare la tradizionale concezione antropocentrica della leadership, mettendo in luce la ricchezza di strategie collettive che si manifestano anche in contesti non umani. In particolare, lo studio ha evidenziato tre principi adattivi comuni a diversi livelli della vita collettiva: la leadership sociale, intesa come capacità di creare connessioni e riconoscere l'altro all'interno di una rete relazionale (Ward & Webster, 2016); la leadership distribuita, che consente ai sistemi collettivi di agire in modo flessibile e resiliente (Garland et al., 2018); e la leadership cooperativa, che promuove la sopravvivenza e il benessere del gruppo anziché la supremazia del singolo (Pievani, 2009; Mancuso, 2019). Questi principi, se letti in chiave evolutiva, restituiscono un'immagine della leadership come processo emergente, più che come attributo individuale. Particolarmente rilevante è stata l'esplorazione del mondo vegetale, dove – nonostante l'assenza di un sistema nervoso o di gerarchie formali – le piante dimostrano comportamenti complessi basati su comunicazione, memoria e adattamento reciproco (Trewavas, 2003; Bilas et al., 2021). Il concetto di *leadership vegetale*, proposto in questa tesi, rappresenta una sfida teorica e al tempo stesso un invito a ripensare il modo in cui interpretiamo i fenomeni organizzativi: non come espressione di comando ma come risultato di interazioni distribuite e relazioni sistemiche. Dunque, riconoscere che il mondo vegetale può offrire spunti per ripensare la leadership significa anche superare quella *plant blindness* che ha storicamente portato a ignorare l'intelligenza e il ruolo attivo delle piante negli ecosistemi (Wandersee &

Schussler, 1999). In questa direzione, questo elaborato si propone come un atto di rinnovamento della prospettiva scientifica. In definitiva, la leadership – così come appare nella prospettiva *across taxa* – non è una proprietà da esercitare sugli altri ma un flusso di influenza reciproca che si attiva all'interno di un sistema vivente.

In un mondo in cui le sfide ecologiche, sociali ed economiche sono sempre più interconnesse, ripensare la leadership in chiave cooperativa e sistemica può offrire un contributo significativo anche per le organizzazioni umane. Come suggerisce Van Vugt e Smith (2019), comprendere le origini evolutive della leadership ci aiuta non solo a spiegare il passato ma anche a progettare in modo più consapevole il futuro. Pertanto, le intuizioni emerse dall'osservazione della leadership vegetale e animale possono ispirare pratiche organizzative più coerenti con i contesti fluidi e complessi in cui operano le imprese contemporanee. Innanzitutto, la logica della leadership distribuita – osservata sia nel regno vegetale che nei gruppi animali – può incoraggiare le organizzazioni a promuovere modelli di governance orizzontale, nei quali la responsabilità è condivisa e le decisioni emergono anche dal basso, valorizzando l'intelligenza collettiva (Laloux, 2016). In secondo luogo, l'idea di riconoscimento e interazione costante tra individui – centrale tanto nelle società animali quanto tra le piante – richiama la necessità, per le organizzazioni umane, di investire in ambienti relazionali fondati su fiducia, ascolto e reciprocità. Tali condizioni favoriscono non solo il benessere individuale ma anche l'efficienza adattiva del sistema aziendale. Infine, il principio della cooperazione ecosistemica, che guida le dinamiche vegetali e che favorisce la stabilità dell'intero habitat, suggerisce un passaggio cruciale per le organizzazioni: superare la logica della competizione interna e dell'efficienza isolata per abbracciare una visione sistemica, dove il successo si misura in termini di sostenibilità collettiva, resilienza organizzativa e

impatto sociale positivo. In conclusione, applicare questi principi significa ripensare la leadership non più come una qualità di pochi ma come una funzione diffusa che si attiva ovunque vi siano relazioni significative. Una simile prospettiva richiede coraggio culturale e apertura metodologica. Soprattutto, implica la volontà di imparare – anche – dal mondo silenzioso e apparentemente immobile delle piante.

## Bibliografía

Abalo-Rodríguez, I., & Calvo, P. (2024). Do plants behave? Contributions of behaviour analysis to plant neurobiology.

Aikens, E. O., Bontekoe, I. D., Blumenstiel, L., Schlicksupp, A., & Flack, A. (2022). Viewing animal migration through a social lens. *Trends in Ecology & Evolution*, 37(11), 985-996.

Alves, D. A., George, E. A., Kaur, R., Brockmann, A., Hrncir, M., & Grüter, C. (2023). Diverse communication strategies in bees as a window into adaptations to an unpredictable world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(24), e2219031120.

Baldwin, I. T., Halitschke, R., Paschold, A., Von Dahl, C. C., & Preston, C. A. (2006). Volatile signaling in plant-plant interactions: "talking trees" in the genomics era. *Science*, 311(5762), 812-815.

Ballaré, C. L., & Pierik, R. (2017). The shade-avoidance syndrome: multiple signals and ecological consequences. *Plant, Cell & Environment*, 40(11), 2530-2543.

Baluška F, Mancuso S, Volkmann D, Barlow PW (2009). The 'root-brain' hypothesis of Charles and Francis Darwin: revival after more than 125 years. *Plant Signal Behav* 4:1121–1127.

Beauchamp, G. (2011). Long-distance migrating species of birds travel in larger groups. *Biology Letters*, 7(5), 692-694.

Benmira, S., & Agboola, M. (2021). Evolution of leadership theory. *BMJ Leader*, leader-2020.

Berdahl, A., Torney, C. J., Ioannou, C. C., Faria, J. J., & Couzin, I. D. (2018). Collective animal navigation and the emergence of migratory routes. *Current Biology*, 28(6), R287-R296.

- Biedrzycki, M. L., & Bais, H. P. (2010). Kin recognition: another biological function for root secretions. *Plant signaling & behavior*, 5(4), 401-402.
- Biedrzycki, M. L., & Bais, H. P. (2010). Kin recognition in plants: a mysterious behaviour unsolved. *Journal of Experimental Botany*, 61(15), 4123-4128.
- Biernaskie, J. M. (2011). Evidence for competition and cooperation among climbing plants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1714), 1989-1996.
- Bilas, R. D., Bretman, A., & Bennett, T. (2021). Friends, neighbours and enemies: an overview of the communal and social biology of plants. *LIFE*, 102-138.
- Bilgen, F. E., & Akan, O. B. (2024, October). Mycorrhizal fungi and plant symbiosis for energy harvesting in the internet of plants. In *Proceedings of the 11th Annual ACM International Conference on Nanoscale Computing and Communication* (pp. 35-40).
- Bonato, B., Castiello, U., Guerra, S., & Wang, Q. (2024). Motor cognition in plants: from thought to real experiments. *Theoretical and experimental plant physiology*, 36(3), 423-437.
- Bonato, B., Peressotti, F., Guerra, S., Wang, Q., & Castiello, U. (2021). Cracking the code: a comparative approach to plant communication. *Communicative & Integrative Biology*, 14(1), 176-185.
- Braam, J., & Chehab, E. W. (2017). Thigmomorphogenesis. *Current Biology*, 27(17), R863-R864.
- Brent, L. J., Franks, D. W., Foster, E. A., Balcomb, K. C., Cant, M. A., & Croft, D. P. (2015). Ecological knowledge, leadership, and the evolution of menopause in killer whales. *Current biology*, 25(6), 746-750.
- Callaway, R. M., & Mahall, B. E. (2007). Family roots. *Nature*, 448(7150), 145-146.
- Calvo, P., Gagliano, M., Souza, G. M., & Trewavas, A. (2020). Plants are intelligent, here's how. *Annals of Botany*, 125(1), 11-28.

Casal, J. J., & Fankhauser, C. (2023). Shade avoidance in the context of climate change. *Plant Physiology*, 191(3), 1475-1491.

Castiello, U. (2021). (Re) claiming plants in comparative psychology. *Journal of Comparative Psychology*, 135(1), 127.

Chen, B. J., During, H. J., & Anten, N. P. (2012). Detect thy neighbor: identity recognition at the root level in plants. *Plant Science*, 195, 157-167.

Clutton-Brock, T. H., O'riain, M. J., Brotherton, P. N., Gaynor, D., Kansky, R., Griffin, A. S., & Manser, M. (1999). Selfish sentinels in cooperative mammals. *science*, 284(5420), 1640-1644.

Conradt L, Roper TJ (2005) Consensus decision making in animals. *Trends Ecol Evol* 20:449–456

Conradt, L., & Roper, T. J. (2009). Conflicts of interest and the evolution of decision sharing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1518), 807-819.

Couzin, I. D., Krause, J., Franks, N. R., & Levin, S. A. (2005). Effective leadership and decision-making in animal groups on the move. *Nature*, 433(7025), 513-516.

Craine, J. M., & Dybzinski, R. (2013). Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light. *Functional Ecology*, 27(4), 833-840.

Crepy, M. A., & Casal, J. J. (2015). Photoreceptor-mediated kin recognition in plants. *New Phytologist*, 205(1), 329-338.

Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray.

Darwin, C. (1871). *The descent of man, and selection in relation to sex* (1st ed.). John Murray.

- Dias, M., Vieira, P., Pereira, L., Quintão, H., & Lafraia, J. (2023). Leadership theories: A systematic review based on bibliometric and content analysis methods. *GPH-International Journal of Business Management*, 6(05), 01-16.
- Dos Santos, L. S., Dos Santos, V. H. S., & Scarano, F. R. (2024). Plant intelligence: history and current trends. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 1-11.
- Dudley, S. A. (2015). Plant cooperation. *AoB Plants*, 7:plv113.
- Dudley, S. A., & File, A. L. (2007). Kin recognition in an annual plant. *Biology Letters*, 3(4), 435-438.
- Elhakeem, A., Markovic, D., Broberg, A., Anten, N. P., & Ninkovic, V. (2018). Aboveground mechanical stimuli affect belowground plant-plant communication. *PLoS One*, 13(5), e0195646.
- Falik, O., Mordoch, Y., Ben-Natan, D., Vanunu, M., Goldstein, O., & Novoplansky, A. (2012). Plant responsiveness to root–root communication of stress cues. *Annals of botany*, 110(2), 271-280.
- Falik, O., Reides, P., Gersani, M., & Novoplansky, A. (2005). Root navigation by self-inhibition. *Plant, Cell & Environment* 28, 562-569.
- Fang, S., Clark, R. T., Zheng, Y., Iyer-Pascuzzi, A. S., Weitz, J. S., Kochian, L. V., Edelsbrunner, H., Liao, H., & Benfey, P. N. (2013). Genotypic recognition and spatial responses by rice roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 2670-2675.
- Fiedler, F. E. (1967). *A theory of leadership effectiveness*. McGraw-Hill.
- File, A. L., Murphy, G. P., & Dudley, S. A. (2012). Fitness consequences of plants growing with siblings: reconciling kin selection, niche partitioning and competitive ability. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1727), 209-218.
- Fischhoff, I. R., Sundaresan, S. R., Cordingley, J., Larkin, H. M., Sellier, M. J., & Rubenstein, D. I. (2007). Social relationships and reproductive state influence

leadership roles in movements of plains zebra, *Equus burchellii*. *Animal Behaviour*, 73(5), 825-831.

Flack, A., Aikens, E. O., Kölzsch, A., Nourani, E., Snell, K. R., Fiedler, W., Linek, N., Bauer, H., Thorup, K., Partecke, J., Wikelski, M., & Williams, H. J. (2022). New frontiers in bird migration research. *Current Biology*, 32(20), R1187-R1199.

Fukano, Y., & Yamawo, A. (2015). Self-discrimination in the tendrils of the vine *Cayratia japonica* is mediated by physiological connection. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1814), 20151379.

Gagliano, M. (2015). In a green frame of mind: Perspectives on the behavioural ecology and cognitive nature of plants. *AoB Plants*, 7, plu075.

Gagliano, M., Renton, M., Duvdevani, N., Timmins, M., & Mancuso, S. (2012). Out of sight but not out of mind: Alternative means of communication in plants. *PloS One*, 7(5), e37382.

Gagliano, M. (2015). In a green frame of mind: perspectives on the behavioural ecology and cognitive nature of plants. *AoB Plants*, 7, plu075.

Garfield, Z. H., von Rueden, C., & Hagen, E. H. (2019). The evolutionary anthropology of political leadership. *The Leadership Quarterly*, 30(1), 59-80.

Garland, J., Berdahl, A. M., Sun, J., & Bollt, E. M. (2018). Anatomy of leadership in collective behaviour. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 28(7).

George, B. (2003). *Authentic leadership: Rediscovering the secrets to creating lasting value*. Jossey-Bass.

Georgopoulou, D. G., King, A. J., Brown, R. M., & Fürtbauer, I. (2022). Emergence and repeatability of leadership and coordinated motion in fish shoals. *Behavioral Ecology*, 33(1), 47-54.

Gersani M, Brown JS, O'Brien EE, Maina GM, Abramsky Z (2001). Result of root competition. *Journal of Ecology* 89, 660-669

- Greenleaf, R. K. (1977). *Servant leadership: A journey into the nature of legitimate power and greatness*. Paulist Press.
- Grint, K. (2011). A history of leadership. *Handbook of Leadership*, 1-14.
- Gruntman, M., & Novoplansky, A. (2004). Physiologically mediated self/non-self discrimination in roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(11), 3863-3867.
- Guarino (2009). I sinomoni - ecco le armi chimiche delle piante.
- Gutterman, A. S. (2023). History and evolution of leadership studies. Available at SSRN 4552091.
- Hamilton, W. D. (1964a). The genetical evolution of social behaviour. I. *Journal of theoretical biology*, 7(1), 1-16.
- Hamilton, W. D. (1964b). The genetical evolution of social behaviour. II. *Journal of Theoretical Biology* 7, 17-52.
- Heil, M., & Karban, R. (2010). Explaining evolution of plant communication by airborne signals. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(3), 137-144.
- Hepper, P. G. (1991). Recognizing kin: ontogeny and classification. *Kin recognition*, 422, 259-288.
- Hersey, P., & Blanchard, K. H. (1969). *Management of organizational behavior: Utilizing human resources*. Prentice Hall.
- Hiernaux, Q. (2021). Differentiating behaviour, cognition, and consciousness in plants. *Journal of Consciousness Studies*, 28(1-2), 106-135.
- Hunt, T., & Fedynich, L. (2019). Leadership: Past, present, and future: An evolution of an idea. *Journal of Arts and Humanities*, 8(2), 22-26.

- Ioannou, C. C., Singh, M., & Couzin, I. D. (2015). Potential leaders trade off goal-oriented and socially oriented behavior in mobile animal groups. *The American Naturalist*, 186(2), 284-293.
- Irison, J. O., Paris, C. B., Leis, J. M., & Yerman, M. N. (2015). With a little help from my friends: group orientation by larvae of a coral reef fish. *PloS one*, 10(12), e0144060.
- Jeong, J. (2024). Analysis of plant social network of vascular plants. *Environment, Development and Sustainability*, 1-20.
- Kao, T. H., & McCubbin, A. G. (1996). How flowering plants discriminate between self and non-self pollen to prevent inbreeding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(22), 12059-12065.
- Karban, R., Shiojiri, K., Huntzinger, M., & McCall, A. C. (2006). Damage-induced resistance in sagebrush: volatiles are key to intra-and interplant communication. *Ecology* 87, 922-930.
- Karban, R., & Shiojiri, K. (2009). Self-recognition affects plant communication and defense. *Ecology Letters*, 12(6), 502-506.
- King, A. J., & Cowlshaw, G. (2009). Leaders, followers, and group decision-making. *Communicative & Integrative Biology*, 2(2), 147-150.
- King, A. J., Johnson, D. D., & Van Vugt, M. (2009). The origins and evolution of leadership. *Current Biology*, 19(19), R911-R916.
- Kölzsch, A., Flack, A., Müskens, G. J., Kruckenberg, H., Glazov, P., & Wikelski, M. (2020). Goose parents lead migration V. *Journal of Avian Biology*, 51(3).
- Laloux, F. (2016). Reinventare le organizzazioni. Come creare organizzazioni ispirate al prossimo stadio della consapevolezza umana. goWare & Guerini Next.
- Lehmann, L., & Keller, L. (2006). The evolution of cooperation and altruism—a general framework and a classification of models. *Journal of evolutionary biology*, 19(5), 1365-1376.

- Lewis, J. S., Wartzok, D., & Heithaus, M. R. (2011). Highly dynamic fission–fusion species can exhibit leadership when traveling. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65, 1061-1069.
- Maddonni, G. A., Otegui, M. E., Andrieu, B., Chelle, M., & Casal, J. J. (2002). Maize leaves turn away from neighbors. *Plant physiology*, 130(3), 1181-1189.
- Mancuso, S. (2017). *Plant revolution—Le piante hanno già scritto il nostro futuro*. Giunti.
- Mancuso, S. (2019). *La nazione delle piante*. Gius. Laterza & Figli Spa.
- Mancuso, S. (2022). *La tribù degli alberi*. Einaudi Editore.
- Markovic, D., Nikolic, N., Glinwood, R., Seisenbaeva, G., & Ninkovic, V. (2016). Plant responses to brief touching: a mechanism for early neighbour detection?. *PloS ONE* 11, e0165742
- McComb, K., Moss, C., Durant, S. M., Baker, L., & Sayialel, S. (2001). Matriarchs as repositories of social knowledge in African elephants. *Science*, 292(5516), 491-494.
- Merkle, J. A., Sigaud, M., & Fortin, D. (2015). To follow or not? How animals in fusion–fission societies handle conflicting information during group decision-making. *Ecology letters*, 18(8), 799-806.
- Moffett, M. W., Garnier, S., Eisenhardt, K. M., Furr, N. R., Warglien, M., Sartoris, C., Ocasio, W., Knudsen, T., Bach, L. A. & Offenberg, J. (2021). Ant colonies: building complex organizations with minuscule brains and no leaders. *Journal of Organization Design*, 10, 55-74.
- Morel, M., Guldemon, R., de la Garza, M. A., & Bakker, J. (2025). Memory-Based Navigation in Elephants: Implications for Survival Strategies and Conservation. *Veterinary Sciences*, 12(4), 312.

- Moreira, X., Petry, W. K., Hernández-Cumplido, J., Morelon, S., & Benrey, B. (2016). Plant defence responses to volatile alert signals are population-specific. *Oikos*, 125(7), 950-956.
- Murphy, G. P., & Dudley, S. A. (2009). Kin recognition: competition and cooperation in *Impatiens* (Balsaminaceae). *American journal of botany*, 96(11), 1990-1996.
- Nasrallah, J. B. (2002). Recognition and rejection of self in plant reproduction. *Science*, 296(5566), 305-308.
- Nelson, T., & Squires, V. (2017). Addressing complex challenges through adaptive leadership: A promising approach to collaborative problem solving. *Journal of Leadership Education*, 16(4), 111-123.
- Novoplansky, A. (2009). Picking battles wisely: plant behaviour under competition. *Plant, cell & environment*, 32(6), 726-741.
- Pavlov, D. S., & Kasumyan, A. O. (2000). Patterns and mechanisms of schooling behavior in fish: a review. *Journal of Ichthyology*, 40(2), S163.
- Peterson, R. O., Jacobs, A. K., Drummer, T. D., Mech, L. D., & Smith, D. W. (2002). Leadership behavior in relation to dominance and reproductive status in gray wolves, *Canis lupus*. *Canadian Journal of Zoology*, 80(8), 1405-1412.
- Petit, O., & Bon, R. (2010). Decision-making processes: The case of collective movements. *Behavioural Processes*, 84(3), 635-647.
- Pievani, T. (2009). The world after Charles R. Darwin: Continuity, unity in diversity, contingency. *Rendiconti Lincei*, 20, 355-361.
- Pievani, T. (2011). Born to cooperate? Altruism as exaptation and the evolution of human sociality. In *Origins of altruism and cooperation* (pp. 41-61). New York, NY: Springer.
- Pierik, R., Ballaré, C. L., & Dicke, M. (2013). Ecology of plant volatiles: Taking a plant community perspective. *Plant, Cell & Environment*, 37(8), 1845-1853.

Rubenstein, D. I., & Hack, M. A. C. E. (2004). Natural and sexual selection and the evolution of multi-level societies: insights from zebras with comparisons to primates. In *Sexual selection in primates: New and comparative perspectives*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 266-279.

Sapolsky, R. M. (2005). The influence of social hierarchy on primate health. *Science*, 308(5722), 648-652.

Sato, M., Ohsaki, H., Fukano, Y., & Yamawo, A. (2018). Self-discrimination in vine tendrils of different plant families. *Plant signaling & behavior*, 13(4), e1451710.

Schultz, K. M., Passino, K. M., & Seeley, T. D. (2008). The mechanism of flight guidance in honeybee swarms: subtle guides or streaker bees?. *Journal of Experimental Biology*, 211(20), 3287-3295.

Selosse, M. A., Richard, F., He, X., & Simard, S. W. (2006). Mycorrhizal networks: Des liaisons dangereuses? *Trends in Ecology & Evolution*, 21(11), 621-628.

Simard, S. W., Perry, D. A., Jones, M. D., Myrold, D. D., Durall, D. M., & Molina, R. (1997). Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature*, 388(6642), 579-582.

Simard, S. W., et al. (2012). Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. *Fungal Biology Reviews*, 26(1), 39-60.

Simard, S. W., & Durall, D. M. (2004). Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1140-1165.

Smith, J. E., et al. (2016). Leadership in mammalian societies. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(1), 54-66.

Šimpraga, M., Takabayashi, J., & Holopainen, J. K. (2016). Language of plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 58(4), 343-349.

- Taiz, L., Alkon, D., Draguhn, A., Murphy, A., Blatt, M., Hawes, C., Thiel, G., & Robinson, D. G. (2019). Plants neither possess nor require consciousness. *Trends in plant science*, 24(8), 677-687.
- Taormina, R. J. (2010). The art of leadership: An evolutionary perspective. *International Journal of Arts Management*, 41-55.
- Tibbetts, E. A., & Dale, J. (2007). Individual recognition: it is good to be different. *Trends in ecology & evolution*, 22(10), 529-537.
- Torney, C. J., et al. (2018). Inferring the rules of social interaction in migrating caribou. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 373(1746), 20170385.
- Trewavas, A. (2003). Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany*, 92(1), 1-20.
- Trewavas, A. (2005). Green plants as intelligent organisms. *Trends in plant science*, 10(9), 413-419.
- Van Vugt, M., & Smith, J. E. (2019). A dual model of leadership and hierarchy. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(11), 952-967.
- Van Vugt, M., & von Rueden, C. R. (2020). From genes to minds to cultures. *The Leadership Quarterly*, 31(2), 101404.
- Volkov, A. G., & Shtessel, Y. B. (2018). Electrical signal propagation within and between tomato plants. *Bioelectrochemistry*, 124, 195-205
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 82-86.
- Ward, A. J., Herbert-Read, J. E., Sumpter, D. J., & Krause, J. (2011). Fast and accurate decisions through collective vigilance in fish shoals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(6), 2312-2315.
- Ward, A., & Webster, M. (2016). *Sociality: The behaviour of group-living animals* (Vol. 407). Berlin, Germany: Springer.

Winston, B. E., & Patterson, K. (2006). An integrative definition of leadership. *International Journal of Leadership Studies*, 1(2), 6-66.

Witzany, G. (2007). Bio-communication of Plants. *Nature Precedings*, 1-1.