



UNIVERSITÀ DELLA  
VALLE D'AOSTA  
UNIVERSITÉ DE LA  
VALLÉE D'AOSTE

**UNIVERSITÀ DELLA VALLE D'AOSTA**

**UNIVERSITÉ DE LA VALLÉE D'AOSTE**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE UMANE E SOCIALI**

**CORSO DI LAUREA IN SCIENZE DELLA FORMAZIONE**

**PRIMARIA**

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

**TESI DI LAUREA**

**Talking in the Wood Wide Web: bambini alla scoperta del  
biolinguaggio dell'ecosistema bosco**

**Docente Relatore:** Prof. Martin Dodman

**Studente:** Greta Contardo

17 AO5 160

*Al mio nonno Bruno,*

## **INDICE**

**INTRODUZIONE**.....p. 5

### **PARTE I: L'ECOLOGIA DELLE INTERAZIONI E LE RELAZIONI**

**CAPITOLO 1: LE COMPLESSE RADICI DELL'ECOLOGIA**.....p. 8

1.1 I livelli di studio dell'ecologia .....p. 10

1.1.1 L'organismo.....p. 11

1.1.2 La popolazione.....p. 12

1.1.3 La comunità.....p. 14

**CAPITOLO 2: LE INTERAZIONI BIOLOGICHE TRA SPECIE**.....p. 20

2.1 Le interazioni interspecifiche e intraspecifiche.....p. 20

2.2 La competizione..... p. 22

2.3 La predazione..... p. 24

2.4 La simbiosi..... p. 29

2.4.1 Il mutualismo..... p. 29

2.4.2 Il parassitismo.....p. 33

2.4.3 Il commensalismo.....p. 36

2.5 La nicchia ecologica.....p. 37

**CAPITOLO 3: ELEMENTI IN RELAZIONE NEGLI ECOSISTEMI**..... p. 39

3.1 Definizione di ecosistema .....p. 39

3.2 Comunicazione tra elementi biotici e abiotici in un ecosistema.....p. 40

3.3 Funzionamento ed energetica degli ecosistemi.....p. 42

3.4 Ecosistemi terrestri, il bosco.....p. 46

**II PARTE: LA BIOCOMUNICAZIONE NEI LINGUAGGI DELLA WOOD  
WIDE WEB**

**CAPITOLO 4: LA BIOCOMUNICAZIONE E I SUOI LIVELLI CHIAVE...p. 51**

- 4.1 La biocomunicazione tra gli esseri viventi e gli esseri umani.....p. 55
- 4.2 Le caratteristiche del linguaggio umano.....p. 57
- 4.3 Lo sviluppo del linguaggio nel bambino.....p. 59
- 4.4 La Wood wide web delle piante: un mondo invisibile di dialoghi da raccontare.....p. 61
- 4.5 Le interazioni interregno pianta -fungo.....p. 63

**CAPITOLO 5: UN PERCORSO NELLA WOOD WIDE WEB DAL VISIBILE  
ALL'INVISIBILE.....p. 68**

- 5.1 Il Brainstorming e la realizzazione dell'albero maestro.....p. 68
- 5.2 Il Gioco: la rete ecologica delle piante.....p. 71
- 5.3 L'esplorazione sul campo: costruiamo la nostra Wood Wide Web.....p. 73
- 5.4 I dialoghi del nostro ecosistema bosco.....p. 83
- 5.5 Idee in azione: riflessioni finali sull'esperienza.....p. 90

**BIBLIOGRAFIA.....p. 96**

**RINGRAZIAMENTI.....p. 99**

## INTRODUZIONE

Le motivazioni che mi hanno spinto a svolgere un progetto di tesi sulla biocomunicazione e la sua manifestazione nella Wood Wide Web sono molteplici. Innanzitutto, la curiosità per la natura, la sua esplorazione, il bosco e la montagna hanno sempre fatto parte del mio quotidiano grazie al contesto di vita in cui sono cresciuta. In particolare, passavo sempre la stagione estiva nella valle di Gressoney con i nonni e con i miei genitori, che mi hanno fatto conoscere la montagna con passeggiate e trekking. Inoltre, con i miei amici giocavamo sempre nel bosco accanto all'albergo di mia nonna. Quando ci incontravamo, il bosco diventava un luogo magico, dove prendevano vita rami e alberi per costruire capanne per "farci da mangiare e per giocare a dormire" e dove ogni cosa diventava un rifugio quando giocavamo a nascondino. Sicuramente, questi vissuti della mia infanzia hanno sviluppato in me una certa sensibilità e curiosità nei confronti dell'ambiente, in particolare quello montano. Ancora oggi amo fare lunghe passeggiate e soprattutto fotografare i sentieri nel bosco quando in piena estate esplodono in colori magnifici.

In secondo luogo, la disciplina che mi ha permesso di approfondire, di far maturare e di dare significato e senso a questa mia inclinazione è stato il corso di Ecologia durante i miei studi di Scienze della Formazione primaria. Il corso è risultato molto interessante sia dal punto di vista delle conoscenze ma soprattutto dal punto di vista didattico. Nello specifico, è stato un corso arricchente in quanto mi ha dato una nuova e innovativa prospettiva con la quale approcciarsi alla didattica e all'insegnamento delle scienze. Ho sempre ritenuto la disciplina "scienze" una materia interessante in quanto caratterizzata da concretezza e sperimentazioni sul campo a differenza delle discipline letterarie. Basti pensare alla realizzazione del vasetto con la pianta di fagiolo, oppure agli esperimenti per studiare i diversi stati della materia realizzati alla scuola primaria. Pertanto, scienze, nella mia visione, è sempre stata una materia molto pratica, ma con il passare degli anni questa sua concretezza si è affievolita e ho iniziato ad apprezzarla di meno.

La mia idea di "scienze" è tornata a rifiorire durante i miei studi universitari, in cui, attraverso la prospettiva ecologica, quella dimensione di concretezza, di praticità, di percezione con i sensi, è maturata grazie a una "didattica dell'invisibile", un insegnamento della didattica delle scienze che fosse attivo e concreto ma allo stesso tempo che andasse oltre ciò che era percepibile. Una didattica che non si focalizza solo sullo studio della fotosintesi clorofilliana

di una pianta, dell'impollinazione di un singolo fiore ma che consideri l'insieme: una comunità di piante, una comunità di fiori, una comunità di animali.

È proprio questo l'aspetto che mi ha colpito dell'ecologia e che la differenzia dall'insegnamento classico delle "scienze": l'interdipendenza, la rete di relazioni e di interazioni che, anche se non sono visibili, caratterizzano tutto ciò che è in natura e che ci circonda. Questo aspetto di interazione che definisce l'ecologia ha generato in me curiosità in quanto ha fatto maturare le mie preconoscenze e le ha arricchite di nuove idee e prospettive con cui affrontare questa disciplina. Pertanto, ho deciso di intraprendere un'indagine sulla biocomunicazione e sulla fitta rete della Wood Wide Web: la manifestazione più nascosta ma anche evidente di dimostrare l'esistenza di queste connessioni sotterranee.

Il progetto di tesi è strutturato in due parti. La prima parte si apre con un approfondimento della complessità dell'ecologia e dei suoi livelli di studio. Le radici e i capisaldi di questa disciplina risultano fondamentali per concentrare successivamente il focus sugli ecosistemi e sull'indagine delle complesse interazioni che lo caratterizzano. Nella seconda parte, l'indagine approfondisce il significato della biocomunicazione sia dal punto di vista teorico/scientifico con la sua manifestazione nella Wood Wide Web, sia da quello della biocomunicazione come veicolo di apprendimento linguistico per i bambini attraverso la realizzazione di un'esperienza sul campo alla ricerca della Wood Wide Web.

La biocomunicazione si presenta come un approccio stimolante e innovativo che solo in questi ultimi anni sta iniziando a insediare le sue radici anche nelle scuole e nei libri di letteratura per l'infanzia. Con questa tesi spero di poter (bio) comunicare qualcosa di nuovo e di far maturare nei miei ragazzi nuove prospettive, altri modi più approfonditi e personali di apprezzare, osservare e rispettare l'ambiente che ci circonda.

**PARTE I: L'ECOLOGIA DELLE  
INTERAZIONI E LE RELAZIONI**

## CAPITOLO 1: LE COMPLESSE RADICI DELL'ECOLOGIA

Il termine ecologia si riferisce alla scienza che studia le interazioni e le relazioni tra gli organismi viventi e il loro ambiente fisico. Esso deriva dalle parole greche *οἶκος*, *oikos*, e *λόγος*, *logos*. La parola *oikos* esprime molteplici significati come "casa", "famiglia", "ambiente", "luogo in cui vivere". Originariamente *oikos* significava anche "vita", in quanto la stessa vita, intesa come organismo vivente, non poteva vivere senza un luogo in cui poterlo fare. In questo modo, i concetti di vita e di famiglia sono strettamente collegati al luogo fisico in cui si vive. *Oikos* indicava l'unità di base della società greca, con il capo, la famiglia e gli schiavi. Allo stesso tempo indicava le case greche e, per estensione, l'idea della comunità. La parola *logos*, invece, originariamente significava "parola", da cui deriva "discorso" e, per estensione, "studio" e anche "scienza". Inoltre, *oikos*, insieme a *nomos* ("legge") forma la base del termine economia, la gestione della casa (Smith & Smith, 2013).

Nel 1866 lo zoologo Ernst Haeckel ha coniato il termine ecologia, *oekologie*, definendola come "il corpo delle conoscenze che riguardano l'economia della natura – l'indagine del complesso delle relazioni di un animale con il suo contesto sia inorganico che organico; comprende soprattutto le sue relazioni positive e negative con gli animali e le piante con cui viene direttamente o indirettamente a contatto" (Smith & Smith, 2013 p.2). L'ecologia definita da Haeckel ha antecedenti concettuali nella teoria dell'evoluzione per selezione naturale di Darwin, il quale può essere considerato un grande esponente dell'ecologia. Egli lavorò per anni sulle annotazioni e le collezioni raccolte durante il viaggio sulla Beagle dove confrontò somiglianze e dissimilarità tra organismi all'interno di un continente e tra continenti diversi, e attribuì le differenze alle barriere geografiche. Darwin, inoltre notò come gruppi vegetali e animali, distinti tra loro sebbene con alcune ovvie attinenze, si succedessero tra loro nel tempo.

Pertanto, già a partire dalle considerazioni di Darwin e Haeckel, si può comprendere come la radice da cui scaturisce tutto il pensiero ecologico durante la seconda metà del XIX secolo siano le relazioni. Comunque, fino alla prima metà del 1900 il focus dell'ecologia non era ancora ben definito e contava un numero relativamente piccolo di scienziati che condividevano concetti e metodi. Fu solo a partire dagli anni '60 con l'esplosione delle problematiche ambientali che l'ecologia diventò una disciplina "auto-cosciente" (Allee et al. 1949) capace di spiegare e analizzare sia le emergenze ambientali – tra cui i cambiamenti climatici globali che iniziavano ad avere delle ripercussioni sulla popolazione umana e tutti



gli altri esseri viventi – che il modo in cui i meccanismi ecologici abbiano influenzato l'intero pianeta e siano stati influenzati dalle attività dell'uomo.

L'impronta permanente dell'uomo sulla struttura e sul funzionamento del nostro pianeta che ha portato a delle modifiche in un tempo relativamente breve delle strutture planetarie viene sempre più spesso definita *antropocene*. “L'antropocene è un termine cronologico informale (non ancora codificato ufficialmente) della scala temporale geologica che segna l'epoca dalla quale sono evidenti la presenza e le conseguenze delle attività umane sugli ecosistemi del pianeta” (Pusceddu, Sarà, Viaroli, 2020, p.10). La data a cui Stoermer, colui che coniò il termine “antropocene”, fa risalire questo fenomeno è la seconda metà del 1700, anni in cui la rivoluzione industriale iniziò a far emergere le prime osservazioni sul cambiamento della composizione dell'atmosfera, influenzando di conseguenza l'intera biosfera.

L'impatto umano sul Pianeta ha contribuito a far emergere l'ecologia come scienza sempre più autonoma e con un'importanza trasversale. “Oggi l'ecologia è una disciplina scientifica matura che indaga processi planetari in continuo divenire” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.8). L'ecologia è pertanto “la scienza qualitativa che studia le complesse interazioni e relazioni tra gli esseri viventi e l'ambiente nel quale vivono” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.6). In particolare, l'ecologia studia come gli organismi viventi e non viventi interagiscono tra di loro e con l'ambiente nel quale vivono. A partire da queste definizioni, due termini emergono come elementi centrali della disciplina ecologica. In primo luogo, l'attenzione si focalizza sul termine “ambiente”, il quale comprende non solo le condizioni fisiche, ma anche le componenti biologiche o viventi che formano il contesto che circonda un organismo. In secondo luogo, ci si focalizza sulle duplici “relazioni” alla base dell'ecologia: l'ambiente altera la vita degli esseri viventi e non viventi e allo stesso tempo questi ultimi influenzano l'ambiente. “L'ecologia ambisce a comprendere da un lato le ragioni (biologiche, evolutive ed ambientali) per le quali una specie o un insieme di specie vivono in un determinato ambiente e, viceversa, a comprendere come gli organismi modificano l'ambiente nel quale vivono per renderlo adatto alle proprie esigenze” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.6).

## 1.1 I Livelli di studio dell'ecologia

L'ecologia si occupa dello studio dei sistemi viventi su più livelli che si delineano dallo studio del singolo organismo vivente sino alla biosfera. Ciascun livello determina il successivo e ne amplia sempre di più l'orizzonte di studio. Il primo livello delineato è quello dell'organismo come individuo che è immerso nell'ambiente che lo circonda grazie al quale sopravvive e si riproduce. Ogni organismo appartiene a una specie e a una popolazione, il secondo livello. Una specie è un gruppo di organismi viventi con caratteristiche simili che si riproducono sessualmente per dare a origine a un "cucciolo" della stessa specie. Una popolazione è "un gruppo di individui della stessa specie che occupa una determinata area" (Smith & Smith, 2013, p.4). Le popolazioni di piante e animali in un ecosistema vivono in costante interazione tra di loro: possono essere fonte vitale l'una per l'altra, oppure essere in competizione tra di loro per alcune risorse limitate.

"L'insieme di tutte le popolazioni di specie diverse che vivono e interagiscono in un ambiente fisico ci porta a definire il terzo livello di studio dell'ecologia, la comunità" (Smith & Smith, 2013, p.5). L'insieme delle comunità di organismi viventi che vivono insieme e in combinazione con il loro ambiente fisico definisce il quarto livello, quello degli ecosistemi. Infine, il quinto livello di organizzazione dei sistemi ecologici è la biosfera, "il sottile strato che ricopre il pianeta Terra in cui sono presenti tutte le forme viventi" (Smith & Smith, 2013, p.5). Gli ecosistemi terrestri e acquatici della biosfera sono in continua relazione, attraverso varie interazioni-scambi di materia ed energia con le altre componenti del sistema Terra: atmosfera, idrosfera e litosfera. L'ecologia è pertanto lo studio della complessa rete di interazioni tra gli organismi e il loro ambiente a tutti i livelli di organizzazione, dall'individuo alla biosfera. Nei capitoli successivi si andranno a delineare nel dettaglio le caratteristiche dei singoli livelli di studio dell'ecologia.

### 1.1.1 L'organismo

L'organismo individuale è l'unità basilare in ecologia. Ogni organismo rileva in continuazione le principali caratteristiche dell'ambiente fisico, mette in atto risposte per sopravvivere, determina la dinamicità della popolazione a seconda della natalità e mortalità e interagisce con diverse specie nel contesto della comunità. Il fine di ogni organismo è la riproduzione, ovvero la trasmissione di informazioni genetiche alle successive generazioni determinando le caratteristiche dei futuri individui che formeranno le popolazioni, le comunità, gli ecosistemi. Tutti gli organismi presentano tre funzioni basilari che rappresentano a seconda dell'adattamento richiesto dall'ambiente: l'assimilazione, la riproduzione e la capacità di rispondere agli stimoli esterni. “Gli organismi acquisiscono energia e materia dall'ambiente esterno tramite il processo di assimilazione. L'energia è il condizionamento più importante per la sopravvivenza in quanto permette lo svolgimento dei processi vitali essenziali (sintesi, crescita, riproduzione, mantenimento)” (Smith & Smith, 2013, p. 15).

La fonte di energia principale è il Sole, l'elemento abiotico che interagisce con ognuno degli elementi biotici presenti nella biosfera. Un esempio è quello del dialogo che si instaura tra una pianta (elemento biotico) e la luce solare (elemento abiotico). Gli organismi che ottengono energia dalla luce solare sono detti autotrofi o produttori primari. Gli organismi che ricavano energia dal consumo dei tessuti vegetali e animali sono detti eterotrofi o produttori secondari. Per mantenere la continuità della vita, parte delle risorse assimilate devono essere destinate alla riproduzione per la nascita di nuovi individui. Infine, gli organismi devono essere in grado di rispondere agli stimoli esterni derivanti sia dal contesto abiotico (per esempio, il calore, l'umidità) che biotico (per esempio, la capacità di conoscere potenziali occasioni per l'accoppiamento).

### 1.1.2 La popolazione

In quanto individui, focalizziamo spesso la nostra percezione del mondo su altri individui. Una rondine, un albero, una persona, un fiore sono tutti percepiti come individui ma raramente vengono considerati come parti di un'unità più ampia, ovvero di una popolazione (Smith & Smith, 2013). Il termine popolazione in ecologia si riferisce all'insieme degli organismi di una specie che vive e occupa una determinata area. "I membri di una popolazione usano le stesse risorse, sono soggetti alle stesse limitazioni ambientali e interagiscono tra di loro" (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.195). Risulta fondamentale sottolineare che le popolazioni non sono statiche, piuttosto esse sono dinamiche e nel tempo variano e si differenziano in termini di numero, di sesso, di struttura per età, di fecondità, di mortalità e di distribuzione. Pertanto, la dinamicità caratterizzante la popolazione avrà delle ricadute sulle interazioni che quest'ultima instaurerà con l'ambiente in cui vive. A seconda della struttura, delle specie degli individui caratterizzanti la popolazione e dell'influenza dei fattori ambientali, una popolazione troverà o meno il luogo adatto dove potersi "distribuire", dove poter usufruire delle risorse dell'ambiente, riprodursi ed entrare in competizione con altre specie.

La scienza che si occupa di spiegare la struttura e tutti i fenomeni sopra elencati di una popolazione è chiamata demografia. "La demografia è lo studio quantitativo, mediante strumenti statistici, dei fenomeni concernenti la popolazione considerata; sia nei caratteri che presenta in un determinato momento, sia nelle variazioni che intervengono nel tempo in conseguenza delle nascite e delle morti" (Ferrari, 2019, para. 1).

Le caratteristiche fondamentali che permettono di descrivere la struttura di una popolazione sono la distribuzione, la dimensione e la densità.

"La distribuzione di una popolazione descrive la sua localizzazione nello spazio, l'area in cui essa è presente, il confine spaziale all'interno del quale risiedono tutti gli individui della popolazione. Pertanto, la distribuzione di una popolazione è basata sulla presenza e assenza di individui in un territorio" (Smith & Smith, 2013, p.179) ed è influenzata dalle condizioni ambientali che possono essere favorevoli o svantaggiose per la sua espansione. L'acero rosso, per esempio, è un albero che si estende dall'area sudorientale del Canada (luogo freddo con temperature minime che toccano i -40°), sino alla costa della Florida. All'interno di tali limiti l'acero cresce su diversi tipi di suolo, in differenti condizioni di umidità e di altitudine, dalle paludi, alle catene montuose. Grazie all'elevato grado di tolleranza e di adattamento dell'acero rosso nei confronti della temperatura e di altri fattori ambientali, esso colonizza un ampio

range geografico della popolazione. Nonostante ciò, vi sono delle barriere geografiche, come le catene montuose o l'assenza di habitat favorevoli per aree molto estese e di interazioni tra specie, come la competizione e la predazione, che possono ridurre la distribuzione di una popolazione. (Smith & Smith, 2013). In aggiunta, risulta rilevante constatare che “gli individui di una popolazione non sono ugualmente distribuiti nel loro areale geografico, ma occupano solo quelle aree in cui le loro necessità sono soddisfatte” (Smith & Smith, 2013, p.180). Le zone in cui le condizioni legate a temperatura, umidità, stagionalità e ad altri fattori ambientali sono favorevoli e ricadono *nell'intervallo di tolleranza* di una popolazione permettono a quest'ultima di colonizzare un sito. “Gli individui di una popolazione possono essere distribuiti casualmente, se la posizione di ciascun individuo è indipendente da quella degli altri, uniformemente quando sono distanziati più o meno regolarmente.” (Smith & Smith, 2013, p.182) Di solito quest'ultima condizione si verifica quando vi è stata qualche interazione negativa tra gli individui come la competizione. Ad esempio, quando popolazioni di animali difendono un'area per il loro uso esclusivo entrano in competizione con le altre specie per cercare di mantenere una distanza minima tra i membri della popolazione. La distribuzione spaziale più comune è quella in cui gli individui si presentano in gruppi. I gruppi si formano grazie a un habitat favorevole e ricco di risorse che permette la loro distribuzione. Un esempio di popolazione che si muove in gruppo sono gli uccelli. Essi sono un caso di gruppo sociale che, come i banchi di pesci, si insedia in un sito in gruppo (Smith & Smith, 2013)

La distribuzione di una popolazione influisce su un altro importante fattore strutturale che la caratterizza: la dimensione.

La dimensione di una popolazione definisce il numero oppure l'abbondanza di individui che la compongono. “L'abbondanza ha due componenti: la densità di popolazione e l'area in cui la popolazione è distribuita” (Smith & Smith, 2013, p.182) (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020). La densità di una popolazione rappresenta il numero di individui per unità di area. “La densità dipende dalla qualità dell'habitat per le specie di riferimento e da quanto l'habitat sia aperto a immigrazione ed emigrazione. Le misure della densità locale forniscono informazioni preziose sulle interazioni tra gli individui e l'ambiente in cui vivono. Laddove le risorse sono più abbondanti la densità sarà più elevata” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p. 196).

La distribuzione della popolazione ha delle ricadute sulla densità di quest'ultima. Infatti, se gli individui sono distribuiti casualmente, uniformemente o a gruppi la densità varierà a seconda della distribuzione. Pertanto, misurare le dimensioni di una popolazione è

generalmente complicato. “Gli ecologi producono stime campionarie delle dimensioni di una popolazione, contando gli individui entro area o volume ben definiti e delimitati” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.197). Un metodo operativo che viene utilizzato per il campionamento della vegetazione in ambienti terrestri è la costruzione di una griglia costituita da quadrati che hanno lato uguale e di dimensione congrua con quella delle piante da campionare che permette di suddividere in aree uguali lo spazio. “L’artificio consiste nel contare gli individui in un numero di quadrati sufficientemente piccolo da limitare lo sforzo di campionamento, ma sufficientemente grande da poter rappresentare l’ambiente oggetto di studio” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.197).

### **1.1.3 La comunità**

“La comunità è il livello di studio dell’ecologia più elevato e complesso di organizzazione dei sistemi viventi” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.281). La comunità è costituita da popolazioni di specie diverse che occupano una determinata area e interagiscono tra di loro (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020) (Smith & Smith, 2013). Ogni comunità è caratterizzata da una sua struttura biologica e da una sua composizione specifica che si riflette in caratteristiche fisiche che la determinano e la definiscono. Dal punto di vista biologico, “le principali caratteristiche strutturali di una comunità includono il numero di specie presenti e l’abbondanza relativa di ciascuna di esse” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020 p.284). “Il numero di specie che costituisce una comunità è noto come ricchezza di specie. Tuttavia, non tutte le specie che compongono una comunità sono abbondanti” (Smith & Smith, 2013, p.372). È possibile verificare questo fenomeno misurando l’abbondanza relativa delle specie. Si contano tutti gli individui di ciascuna specie in un certo numero di aree campione all’interno di una comunità e, successivamente, si determina la percentuale con la quale ciascuna specie contribuisce al numero totale complessivo di individui di tutte le specie (Smith & Smith, 2013). Mettendo in atto questo procedimento possiamo verificare l’abbondanza di specie che caratterizza una comunità.

Inoltre, gli ecologi che si occupano dello studio della struttura biologica di una comunità, spesso concentrano la propria attenzione sulle “relazioni trofiche delle specie componenti, o sulle modalità con cui le specie interagiscono nel processo di acquisizione delle risorse necessarie per il metabolismo, la crescita e la riproduzione” (Smith & Smith, 2013, p. 376). Per l’ottenimento di tali risorse le specie interagiscono tra di loro attraverso interazioni interspecifiche o intraspecifiche. Tali interazioni, ovvero, predazione, parassitismo,

competizione e mutualismo, che verranno approfondite in seguito, sono fondamentali per l'acquisizione di energia e nutrienti utili per la crescita, la sopravvivenza e la riproduzione delle differenti specie. “Una rappresentazione schematica delle relazioni trofiche nell'ambito di una comunità è la catena trofica. Si tratta di un diagramma descrittivo in cui una serie di frecce, ciascuna rivolta da una specie verso l'altra, rappresenta il flusso di energia in forma di cibo dalle prede ai predatori. Per esempio, le cavallette si cibano di erba, i passerini mangiano le cavallette e i falchi di palude predano i passerini. La relazione può essere così scritta: erba → cavalletta → passero → falco. Tali reti trofiche sono altamente intrecciate e non lineari con connessioni che rappresentano un'ampia varietà di interazioni tra specie.” (Smith & Smith, 2013, p.376-377). Possiamo nuovamente notare come in ciascun livello di studio dell'ecologia ritornino costantemente i concetti di interazione e relazione tra gli esseri viventi, e di come queste interazioni e le relazioni che esse consolidano siano al centro della sopravvivenza dei singoli organismi, delle popolazioni e delle comunità.

Le comunità non si identificano unicamente con la loro struttura biologica, ma presentano anche delle caratteristiche fisiche. “La struttura fisica della comunità riflette l'effetto sia di fattori abiotici, come la profondità e la velocità di corrente negli ambienti acquatici, sia di fattori biotici, come la disposizione spaziale degli organismi” (Smith & Smith, 2013, p.379). Per esempio, in una foresta la dimensione e l'altezza delle differenti specie di alberi e la loro distribuzione spaziale definiscono gli attributi fisici di una comunità.

Se prendiamo in considerazione le comunità terrestri, possiamo notare come forma e struttura siano definite principalmente dalla vegetazione. Le piante infatti possono essere alte o basse, erbacee o legnose, sempreverdi o decidue. Queste caratteristiche descrivono “forme di crescita” dominanti delle piante che permettono di classificare e denominare le comunità terrestri rifacendosi alla struttura morfologica della vegetazione: foreste, boschi radi, praterie ecc. (Smith & Smith, 2013).

A differenza delle comunità terrestri, la struttura fisica delle comunità acquatiche viene più spesso definita dalle caratteristiche dell'ambiente abiotico, come la profondità dell'acqua o la salinità. La salinità è l'elemento abiotico per eccellenza che permette agli ecologi di suddividere gli ecosistemi acquatici in ecosistemi di acqua dolce o ecosistemi di acque salate (marine) (Smith & Smith, 2013).

Inoltre, ciascuna comunità nella sua composizione presenta una struttura verticale che è differente per la comunità terrestre e la comunità acquatica. Nella comunità terrestre la struttura verticale viene determinata dalle forme di crescita delle piante (dalle più alte alle più

basse) e viene influenzata dal gradiente verticale della luce. Un ecosistema forestale ben sviluppato presenta diversi strati di vegetazione (la volta delle chiome, il sottobosco, lo strato degli arbusti, lo strato erbaceo basale e il tappeto forestale) determinati dall'inclinazione dell'energia solare che garantisce il nutrimento e lo sviluppo delle piante più alte. Le folte chiome degli alberi allo stesso tempo permettono la crescita della vegetazione del sottobosco rendendo il terreno umido, fertile e favorevole per il loro insediamento (Paci, 2011). Similmente, nella comunità acquatica la struttura verticale è “definita in buona parte dalle modalità di penetrazione della luce attraverso la colonna d'acqua e attraverso profili caratteristici di temperatura e ossigeno” (Smith & Smith, 2013, p.379). Ciascuno strato verticale della comunità acquatica è colonizzato da organismi caratteristici e le specie che lo occupano possono cambiare durante il giorno o le stagioni. “Questi cambiamenti riflettono variazioni giornaliere e stagionali dell'ambiente fisico, di umidità, temperatura, luce e concentrazione dell'ossigeno nell'acqua” (Smith & Smith, 2013, p. 380). Infine, sono rilevanti le risorse essenziali per il nutrimento delle comunità. Esse non sono sempre disponibili e pertanto influiscono sulla sopravvivenza delle comunità presenti.

La struttura biologica e fisica della comunità terrestre non è statica, bensì cambia spostandosi attraverso il paesaggio. Se immaginiamo di passeggiare dalla cima di una montagna, di attraversare un vasto bosco e di raggiungere il fondovalle, possiamo notare sottili o più pronunciate differenze nella struttura fisica della comunità durante il percorso: il sottobosco, l'altezza della vegetazione e soprattutto la sua composizione specifica che varia a seconda delle altimetrie che abbiamo percorso. “Questi mutamenti nelle strutture fisiche e biologiche delle comunità nello spostarsi attraverso un paesaggio sono noti come zonazione” (Smith & Smith, 2013, p.381). La zonazione è il “termine con cui si indica la ripartizione spaziale ben definita dell'ambiente fisico che determina il cambiamento di struttura e composizione di una comunità” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p. 286). La zonazione prevede che le piante siano intimamente legate all'ambiente in cui si trovano e siano condizionate da una serie di fattori ecologici che giustificano la loro presenza ad una determinata altitudine piuttosto che ad un'altra. Tali fattori sono gli elementi biotici e abiotici ai quali le specie devono adattarsi per sopravvivere in un determinato ambiente. La tabella sottostante (Figura 1) riporta i principali fattori biotici e abiotici che influiscono sulla struttura e composizione di una comunità (Pignatti e Fanelli, 2001).



Fattori abiotici		Fattori biotici
Fisici	Chimici	
Luce	Comp. Chim. Acqua	Competizione interspecifica
Calore	Comp. Chim. Suolo	Competizione intraspecifica
Pioggia, Umidità	Comp. Chim. Aria	Simbiosi
Granulometria suolo		Microbiologia suolo
Vento		Disturbo antropico
(Altitudine)		
(Esposizione)		
(Inclinazione)		

Figura 1: Fattori biotici e abiotici. Fonte: Pignatti S. Fanelli G. et al., (2001) Le piante come indicatori ambientali – Manuale tecnico-scientifico, (ANPA)

Ad esempio, “in base all’adattamento alle diverse intensità luminose si distinguono piante sciafile, (l’ortensia) che si presentano in ambienti ombrosi quali sottobosco e piante eliofile, che hanno il loro optimum in pieno sole (il castagno)” (Pignatti e Fanelli, 2001, p.3).

“Le specie devono adattarsi a tali fattori (biotici e abiotici) per sopravvivere in un determinato ambiente. Tali meccanismi includono la capacità di ciascuna specie non solo di adattarsi alle caratteristiche fisico-chimiche dell’ambiente, ma anche alle loro variazioni temporali” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.287). Pertanto, vi sono ulteriori fattori a cui bisogna prestare maggiore attenzione in termini di controllo, essendo che la composizione di una comunità può variare nel tempo in base al cambiamento delle caratteristiche del territorio che la ospita. Tali fattori sono: “la disponibilità delle risorse (che alimenta le risposte di competizione), la struttura dell’ambiente e la presenza di specie chiave (*keystone species*)” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.289).

In primo luogo, alla base dei meccanismi di compensazione che le specie adottano per contrastare gli effetti negativi della competizione vi è la disponibilità delle risorse, nonché dell’energia. Ad esempio, la luce solare negli ambienti marini favorirà alcune specie in determinati periodi dell’anno a determinate profondità a causa delle variazioni di intensità dell’energia solare che sono più o meno intense nelle diverse stagioni (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020).

In secondo luogo, la struttura spaziale dell’ambiente è un fattore fondamentale in grado di modulare la struttura e la composizione di una comunità. “L’aumento della disponibilità di habitat differenti, determina un aumento del numero di specie” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.291) e pertanto vi sarà una maggiore eterogeneità. Habitat distinti e di grandi dimensioni possono sostenere popolazioni di specie diverse differenziandosi così per composizione e abbondanza di specie.

Un ultimo fattore in grado di controllare struttura e composizione delle comunità è la presenza delle *keystone species*. “Una specie chiave svolge un ruolo funzionale sproporzionato

rispetto alla sua abbondanza” (Paine, 1995). In altri termini una specie chiave è una specie meno numerosa o abbondante rispetto a quelle caratterizzanti una comunità. Tuttavia, essa può ricoprire un ruolo cruciale nel funzionamento della comunità: “le specie chiave influenzano la comunità in maniera unica e rilevante, se vengono rimosse si originano variazioni nella struttura che spesso comportano una perdita significativa di diversità. Il loro ruolo nella comunità può essere quello di creare o modificare l’habitat o di influenzare le interazioni tra le altre specie” (Smith & Smith, 2013, p.376). Un esempio sono gli elefanti africani dell’Africa Meridionale. Per nutrirsi utilizzano una modalità di alimentazione distruttiva e spesso sradicano alberi e arbusti, favorendo la crescita delle piante erbacee. Questo cambiamento nella composizione delle piante è svantaggioso per l’elefante ma allo stesso tempo numerose specie di erbivori ne beneficiano. (Smith & Smith 2013).

La struttura e la composizione di una comunità possono variare non solo muovendosi nello spazio (zonazione) bensì anche nel tempo. La dimensione temporale non prevede l’immaginarsi in movimento come nell’esempio dell’escursione in montagna. Al contrario ci si immagina fermi in una posizione osservando il territorio circostante man mano che il tempo passa. Ad esempio, quando in seguito a un forte disturbo (disboscamento, incendio ecc.) un bosco scompare, il suolo si ricoprirà inizialmente di piante erbacee, poi di arbusti a crescita veloce che successivamente saranno progressivamente sostituite con piante legnose perenni (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020). “Il cambiamento temporale nella struttura della comunità in un determinato punto del paesaggio è definito successione” (Smith & Smith, 2013, p.411). Come la zonazione il processo della successione è comune a tutte le tipologie ambientali, sia terrestri che acquatiche. Tali successioni possono essere suddivise in successioni primarie e secondarie.

“La successione primaria ha luogo in un sito mai occupato in precedenza da una comunità, come gli scogli, le dune, il materiale morenico” (Smith & Smith, 2013, p.415-416). Un esempio di successione primaria che riguarda una delle problematiche più impattanti e recenti sulla catena delle Alpi è il suolo alluviale che emerge a causa dello scioglimento dei ghiacciai. “Quando un ghiacciaio si ritira il paesaggio dell’area da poco esposta viene colonizzato da diverse specie, tra cui ontano e pioppo. Queste specie precoci possono essere sostituite da specie arboree successive tardive come l’abete rosso. La foresta che ne deriva assomiglia alle comunità forestali del paesaggio circostante” (Smith & Smith, 2013, p.417). In Valle d’Aosta un esempio calzante di successione primaria è il ghiacciaio della Brenva che si estende dalle pendici del Monte Bianco, abbracciando parte della Val Veny. La morena formatasi a causa

dello scioglimento del ghiacciaio si sta arricchendo di pini e larici che si uniscono man mano con la comunità di pini silvestri che affiancano il torrente Veny.

Al contrario della successione primaria la successione secondaria “avviene dopo un evento di disturbo, su siti che erano già stati occupati in precedenza. Si definisce disturbo qualsiasi evento o processo che determina la rimozione (sia parziale sia completa) della comunità/vegetazione esistente”. (Smith & Smith, 2013, p.416). La parte della comunità che sopravvive al disturbo influenzerà le dinamiche successionali in corso. Un esempio di successione secondaria avviene nell’abbandono di un suolo agricolo nel quale germina una vegetazione varia a partire dalla sanguinella comune sino ai pini che ombreggiano le piante perenni che hanno occupato lo spazio, sfruttando efficacemente l’umidità del suolo.

## **CAPITOLO 2: LE INTERAZIONI BIOLOGICHE TRA SPECIE**

I concetti di organismo, popolazione e comunità affrontati nel capitolo precedente chiarificano che al centro degli studi di ciascun livello dell'ecologia vi sono le relazioni. Le specie non si possono considerare come isolate, ma interagiscono in vari modi con l'obiettivo di procurarsi le risorse elementari indispensabili per la crescita e la riproduzione. Le interazioni biologiche che si instaurano si presentano sempre più complesse per ciascun livello e prevedono un'interazione dell'individuo con l'ambiente, con individui della stessa specie o con specie differenti. Allo stesso modo l'ambiente può avere delle ripercussioni (positive o negative) sugli organismi, le popolazioni e le comunità che abitano una determinata area. Pertanto, risulta fondamentale addentrarsi maggiormente nell'analisi e nella scoperta di tali interazioni che permettono di comprendere in che modo specie differenti e non interagiscano tra di loro e di come questo dialogo permetta loro di vivere in uno stesso ecosistema nonostante la differenza di specie e la competizione per le risorse necessarie alla sopravvivenza e alla riproduzione.

### **2.1 Le interazioni interspecifiche e intraspecifiche**

Oltre alle relazioni tra organismi e ambiente, vi è un'ampia gamma di interazioni tra specie. Tali interazioni biologiche possono verificarsi tra individui della stessa specie (interazioni intraspecifiche) oppure tra individui di specie differenti (interazioni interspecifiche).

Le interazioni intraspecifiche prendono in esame la competizione tra individui della medesima specie. L'oggetto di tale competizione possono essere diverse risorse come: lo spazio, il cibo, la luce, il partner riproduttivo o molti altri fattori. Questa competizione può facilmente instaurarsi quando un essere vivente trova un substrato o un ambiente estremamente idoneo al suo sviluppo. [...] Con competizione interspecifica si intende la riduzione della fecondità, della sopravvivenza oppure dell'accrescimento di una popolazione causato dalla presenza di altre specie interferenti. È una competizione tra individui appartenenti a specie diverse e che presentano caratteristiche riproduttive e di sfruttamento delle risorse tra loro differenti (Ferrari, 2019, para. 1).

Due specie che interagiscono tra di loro sono in relazione con numerose altre specie. Tali interazioni possono propagarsi e avere effetti sull'intera comunità di cui fanno parte (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020). In particolare, "l'interazione tra specie non agirà allo stesso modo su tutti gli individui delle rispettive popolazioni" (Smith & Smith, 2013, p.284). Infatti,

le interazioni tra specie implicano un insieme di processi comportamentali e fisiologici che sono influenzati da caratteristiche fenotipiche (fisiologiche, morfologiche e comportamentali) ovvero “l’insieme delle caratteristiche morfologiche e funzionali di un organismo determinate dall’interazione tra la sua costituzione genetica e l’ambiente” (Enciclopedia Treccani, 2022). Tali caratteristiche variano per ciascun individuo all’interno di una popolazione e determineranno differenze nella natura e nel grado delle interazioni in atto. (Smith & Smith, 2013)

Le interazioni tra specie si possono classificare in base ai loro effetti reciproci. Per classificare i possibili modi con cui due specie interagiscono tra di loro si può utilizzare una descrizione qualitativa. L’effetto positivo di una specie su un’altra si indica con il simbolo +, l’effetto negativo con – e l’assenza di effetto con 0. La tabella sottostante (Figura 2) indica le tipologie di relazione che si possono stabilire tra individui di due specie:

		SPECIE 1		
		RELAZIONE VANTAGGIOSA (+)	RELAZIONE SVANTAGGIOSA (-)	RELAZIONE NEUTRA (0)
SPECIE 2	+	Mutualismo (+ +)	Competizione (- -)	Commensalismo (+ 0)
	-	Predazione (+ -)	Predazione (+ -)	
	0	Commensalismo (+ 0)	Parassitismo (- -)	

**Figura 2** Possibili effetti combinati delle interazioni interspecifiche

Quando la relazione è svantaggiosa per entrambe le specie (- -), l’interazione si definisce competizione. Quando la relazione è vantaggiosa per una specie e svantaggiosa per la seconda (+ -) si ha la predazione. Con la simbiosi si indica l’interazione interspecifica tra due specie a lungo termine. In particolare, essa è “una relazione mutualistica nella quale una specie, simbionte, alberga nei tessuti o nell’organismo di una specie ospite” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.243). La simbiosi dà luogo a tre tipologie di interazioni che avranno diverse ricadute: positive, negative o neutre, sulle specie in relazione:

- Il commensalismo: avviene quando una specie è favorevolmente influenzata da un’altra, e quest’ultima non è né danneggiata né favorita (+ 0)

- Il parassitismo: avviene quando due specie hanno una relazione simbiotica che favorisce solo il parassita e non l'ospite (+ -)
- Il mutualismo: avviene quando le due specie sono mutualmente avvantaggiate e nessuna viene danneggiata (+ +)

## 2.2 La competizione

Come illustrato nella figura 2, “la competizione interspecifica è una relazione in cui le popolazioni di due o più specie sono influenzate negativamente ( - - )” (Smith & Smith, 2013, p. 295). La competizione avviene quando gli individui sfruttano una risorsa comune che è presente in piccole quantità rispetto al numero di quanti la utilizzano. Fino a quando le risorse sono sufficienti alla sopravvivenza, alla crescita e alla riproduzione degli individui la competizione non avviene. Quando le risorse invece sono insufficienti per soddisfare i bisogni degli individui, il modo in cui esse verranno condivise tra gli organismi avrà delle ricadute sul benessere della popolazione.

La competizione può essere intraspecifica o interspecifica con la differenza che in quella interspecifica gli individui appartengono a specie diverse. (Smith & Smith, 2013). In presenza di risorse limitate, una popolazione può rispondere attraverso la competizione diretta/per sfruttamento e la competizione indiretta/ per interferenza.

La competizione per sfruttamento avviene quando gli organismi che vivono nella medesima area sfruttano le stesse risorse che si presentano in quantità limitata (Smith & Smith, 2013). Pertanto, una specie, consumando una risorsa limitata, ne riduce la sua disponibilità per un'altra specie. Di conseguenza, la riduzione nella disponibilità della risorsa da parte del “predatore” si traduce con una minore sopravvivenza, riproduzione o crescita della specie “preda”. Un esempio di competizione per sfruttamento avviene quando un albero della foresta, nutrendosi dell'acqua dalle radici, ne riduce la quantità disponibile per le altre piante. Nella competizione indiretta o per interferenza “organismi che vivono nella medesima area interagiscono gli uni contro gli altri senza che le risorse entrino direttamente in gioco” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.246). Un esempio di competizione per interferenza a livello di ecosistema terrestre avviene quando due animali, come le antilopi africane, si scontrano per la supremazia del territorio combattendo. La competizione indiretta in un ecosistema marino può avvenire invece quando due tipologie di coralli cercano di occupare un medesimo substrato attraverso l'emissione di sostanze tossiche in grado di eliminare o limitare biologicamente il competitore (Figura 3).



Figura 3: Due specie di coralli tropicali che si scontrano per occupare il substrato sottostante (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020) foto di M.Ponti.

L'esito della competizione sarà negativo per entrambe le specie ma non sempre sarà bilanciato. La competizione potrà avere esito simmetrico quando l'interazione colpisce allo stesso modo entrambi i competitori; mentre sarà asimmetrica quando l'interazione colpisce in maniera più rilevante uno dei due competitori. "Nell'evenienza di una competizione simmetrica, l'esito negativo per entrambe le specie porterà alla coesistenza se le risorse limitanti saranno efficacemente ripartite, ovvero entrambe avranno la medesima probabilità e capacità di utilizzarne una quantità sufficiente per la sopravvivenza" (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020 p.247). Se invece avviene una competizione asimmetrica dove una specie utilizza in maniera più efficiente le risorse rispetto all'altra, la sopravvivenza della specie meno efficiente (più debole) diminuisce significativamente (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020). Pertanto, risulta importante tener presente che l'efficienza nell'utilizzo delle risorse è relativa anche all'affinità che i due competitori hanno con la risorsa. Tale affinità può dipendere dalla localizzazione nello spazio della risorsa, rispetto al luogo in cui si trovano i competitori. La risorsa può trovarsi nella stessa area dei competitori e quindi essere direttamente controllata oppure essere più lontana e "utilizzata dal consumatore tramite meccanismi di immissione indipendenti dal consumatore stesso" (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.248).

Un altro fattore che può avvantaggiare o svantaggiare maggiormente una specie sono le condizioni ambientali che, variando nel tempo, variano anche il vantaggio competitivo. (Smith & Smith, 2013). Ad esempio, le basse temperature possono favorire un competitore; se le temperature aumentano nel tempo, il vantaggio può spostarsi a un'altra specie.

### 2.3 La predazione

La predazione è definita generalmente come “il consumo di un intero organismo vivente o di una parte di esso da parte di un altro organismo” (Smith & Smith, 2013, p.317). Nello specifico, la predazione è l'interazione biologica nella quale una specie, definita preda, è risorsa alimentare per un'altra specie, il predatore. La predazione è il processo fondamentale che determina il funzionamento della rete trofica e garantisce il continuo trasferimento di materia ed energia nell'ecosistema. (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020).

La predazione prevede una classificazione semplice/generale e una classificazione funzionale dei predatori. La classificazione più semplice dei predatori è relativa alla categoria degli eterotrofi, ovvero organismi le cui fonti di cibo sono costituite da tessuti vegetali o animali. I predatori che compongono questa classificazione sono i carnivori (consumano tessuto animale), gli erbivori (consumano tessuto vegetale) e gli onnivori (consumano sia tessuti animali che vegetali). Tuttavia, la predazione è più di un semplice trasferimento di energia: “è un'interazione diretta e spesso complessa tra due o più specie: quella che mangia e quella che viene mangiata.” (Smith & Smith, 2013, p. 318). Essendo causa di mortalità, il predatore ha il potenziale di ridurre o regolare la crescita della popolazione preda. A sua volta la preda, fungendo da risorsa per il predatore può regolare la popolazione del predatore. Per questo motivo, si prevede un altro tipo di classificazione che è basata sulle interazioni specifiche e le dinamiche che si instaurano tra prede e predatori. (Smith & Smith, 2013).

La classificazione funzionale distingue i predatori veri, dai brucatori, dai parassiti. I predatori veri (ad esempio gli squali, i serpenti, i ragni e i grandi felini terrestri) hanno la caratteristica peculiare di “catturare, uccidere e mangiare in tutto o in parte la loro preda” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020), p. 266). Essi, consumando organismi di diverse prede, le uccidono immediatamente dopo la loro cattura. Un comportamento opposto viene adottato dai predatori di vegetali, gli erbivori (brucatori). La maggior parte dei brucatori consuma solo una parte della singola pianta di cui si nutre. Essi arrecano danni alle piante, ma solitamente non arrivano a provocarne la morte. Possono essere considerati predatori simili anche i parassiti. “I parassiti si cibano utilizzando parte dell'organismo preda (ospite) mentre esso è ancora vivo e, anche se sono dannosi, solitamente non risultano letali nel breve termine” (Smith & Smith, 2013, p. 318). Tuttavia, i parassiti mantengono un'associazione più stretta con l'organismo ospite in quanto sono parte integrante del ciclo vitale della preda.



Le specie animali e vegetali hanno evoluto delle strategie specifiche di difesa e di attacco che adottano diversamente in base all'obiettivo perseguito: difesa dal predatore o cattura della preda per nutrimento, sopravvivenza o riproduzione.

“Per evitare l'avvistamento, la selezione e la cattura da parte dei predatori, le specie animali hanno evoluto un'ampia gamma di caratteristiche, che vengono definite difese antipredatorie” (Smith & Smith, 2013, p.332). Le difese antipredatorie degli animali sono differenti e possono riguardare il colore del tessuto che ricopre l'animale, il mimetismo, l'adozione di determinati comportamenti o la secrezione di sostanze tossiche. Le difese antipredatorie possono essere divise in due grandi categorie: le difese costitutive e le difese indotte. “Le difese costitutive o permanenti sono caratteristiche fisse dell'organismo, come la somiglianza a un oggetto o la colorazione di avvertimento” (Smith & Smith, 2013, p.337). Nelle difese costitutive rientra il mimetismo e la colorazione criptica. “Le difese indotte invece sono causate o stimulate dalla presenza o azione dei predatori” (Smith & Smith, 2013, p.337). Le difese comportamentali sono un esempio di difese costitutive così come quelle chimiche che inducono risposte di fuga da parte dei predatori. In seguito, verranno illustrate nel dettaglio le tipologie di difese messe in atto dalle diverse specie.

In primo luogo, vi sono le difese chimiche, le quali sono diffuse tra numerosi gruppi di animali. Questi ultimi rilasciano segnali chimici, in grado di dare “un segnale di allarme che induce reazioni di fuga tra i membri della stessa specie o di altre specie affini” (Smith & Smith, 2013, p.333). Tali segnali possono essere dati dalla secrezione di sostanze odorose repellenti che allontanano i predatori. Ad esempio, la cimice quando viene disturbata rilascia una secrezione volatile da due ghiandole localizzate sul dorso.

In secondo luogo, un altro sistema di difesa evoluto dalle prede è la colorazione criptica. La colorazione criptica prevede l'esibizione di vistose macchie colorate da parte di animali che vengono disturbati dai predatori. La colorazione improvvisa che viene esposta dall'animale può disorientare il predatore e allo stesso tempo fungere da segnale di allarme per gli animali della sua stessa specie. (Smith & Smith, 2013). Un esempio lo si ritrova in una specie di cervo caratterizzante il Nord America. Esso, in situazioni di pericolo mette in mostra la sua coda bianca, per distrarre e fuggire dai predatori. La colorazione appariscente posseduta da alcune specie animale può fungere anche da segnale di allontanamento per i potenziali predatori. Le striature bianche e nere della puzzola, l'arancione luminoso della farfalla sono segnali di pericolo per i predatori che sono invitati a prendere le distanze dalle loro prede (Smith & Smith, 2013).

Successivamente, un'altra tipologia di difesa antipredatoria è il mimetismo. Il mimetismo è “un fenomeno adattivo per cui un organismo animale o vegetale richiama l'aspetto o emette segnali (visivi, acustici, olfattivi) tipici di un altro organismo, così da confondere un terzo (predatore) per lo più a scopo difensivo e offensivo” (Enciclopedia Treccani, 2022). Il mimetismo non si limita all'assunzione della colorazione che riflette l'ambiente circostante, ma vi possono essere mimetismi acustici come nel caso del serpente a sonagli. Esso fa vibrare rapidamente la coda sulle foglie per produrre un suono simile ai sonagli e far allontanare i propri predatori. Un altro tipo di mimetismo è il mimetismo *mulleriano*, dal nome dello zoologo tedesco Fritz Muller. “Nel mimetismo mulleriano diverse specie velenose mostrano colorazioni simili; questa strategia ha successo perché il predatore deve fare esperienza con una sola specie per imparare a evitare anche tutte le altre con aspetto simile” (Smith & Smith, 2013, p. 335). Ad esempio, le strisce gialle e nere delle vespe, e la colorazione dei bruchi delle farfalle condividono gli stessi colori ma non sono specie imparentate tra loro. Questa condivisione cromatica però avverte i predatori che l'organismo non è commestibile e li allontana. Altri animali, come vongole, ricci, porcospini, tartarughe, utilizzano un'armatura protettiva a scopo di difesa che scoraggia i predatori.

Infine, vi sono animali che utilizzano difese comportamentali. “Esse comprendono un'ampia gamma di comportamenti finalizzati a evitare il rilevamento, a scappare e ad avvertire altri della presenza dei predatori” (Smith & Smith, 2013, p. 335). Un esempio calzante riguarda alcune specie di animali che emettono un grido acuto di allarme quando avvistano un predatore. Il riconoscimento di un grido di allarme non appartiene solo a determinate specie bensì viene riconosciuto da vari tipi di animali presenti nei dintorni che solitamente sono potenziali prede. In aggiunta, un'altra tipologia di difesa comportamentale è l'esibizione tipica degli uccelli. Essi, mettendosi in mostra, distraggono il predatore tenendolo lontano dal nido. Le difese presentate ci rammentano la presenza sempre più costante di una comunicazione biologica e di una conoscenza reciproca che caratterizza prede e predatori. La preda comunica e allo stesso tempo si protegge dal predatore mettendo in atto meccanismi di difesa che lo allontanano. Pertanto, in natura vi è un'interazione continua che con il tempo crea relazioni e comunicazioni tra i diversi organismi che abitano un determinato ecosistema.

Come le prede hanno evoluto vari modi per sfuggire ai predatori così questi ultimi hanno messo in atto tecniche di caccia sempre più efficaci. I metodi utilizzati dai predatori per cacciare sono di tre tipologie: l'agguato, l'attacco e la ricerca (Smith & Smith, 2013). La tattica dell'agguato prevede l'appostamento del predatore in attesa dell'arrivo della preda. È una

tecnica tipicamente utilizzata dalle rane e da altri tipi di insetti e ha il vantaggio di richiedere un'energia minima. A differenza dell'agguato, l'attacco è un'aggressione rapida che non prevede attese nel tempo di cattura. Infine, la caccia per ricerca, tipica dei falchi e dei lupi, “richiede un tempo minimo per l'individuazione della preda, poiché di solito il predatore ne conosce l'ubicazione, ma il tempo di cattura è in genere lungo” (Smith & Smith, 2013, p.337). I predatori possono usare colorazioni criptiche come le prede per confondersi nell'ambiente e ingannare gli avversari assumendo le loro sembianze.

Queste tecniche di caccia appena illustrate vengono utilizzate principalmente dai predatori animali che si cibano di altri animali. Pertanto, risulta interessante domandarsi quali siano le caratteristiche della predazione erbivora. Innanzitutto, è importante rammentare che “l'erbivoria è una forma di predazione nella quale animali predano organismi autotrofi” come piante e alghe (Smith & Smith, 2013, p.338). Di conseguenza, l'erbivoria è un tipo particolare di predazione in quanto gli erbivori generalmente non uccidono gli individui che mangiano. Poiché la risorsa fondamentale di energia alimentare per tutti gli eterotrofi è il carbonio presente nelle piante, le interazioni tra l'autotrofo e l'erbivoro rappresentano una componente chiave in tutte le comunità (Smith & Smith, 2013). Il cibo procurato dagli erbivori tramite la rimozione di tessuti vegetali pregiudica la sopravvivenza di una pianta (soprattutto le piante giovani) anche se non viene completamente eliminata. La perdita delle foglie riduce il vigore della pianta. Pertanto, essa si troverà in svantaggio competitivo rispetto alla vegetazione circostante fiorente e robusta. (Smith & Smith, 2013). I brucatori, sia vertebrati che invertebrati, solitamente si nutrono di piante con tessuti e germogli più giovani, sottraendo alla pianta grandi quantità di energia. In particolare, “essi si cibano prevalentemente dagli apici di accrescimento delle piante legnose, teneri ed energetici, arrivando spesso ad uccidere la pianta o a modificarne la sua composizione” (Smith & Smith, 2013, p.339). Altri erbivori invece, quali gli afidi, succhiano i liquidi della pianta, non consumando direttamente i tessuti. Dopo essere state “attaccate” dai brucatori le piante rispondono alla defogliazione con un'ondata di ricrescita grazie al processo della fotosintesi che richiede del tempo. Nel frattempo, la pianta utilizza le riserve immagazzinate per mantenere vivi i tessuti fino alla rigenerazione del fogliame. Questi ultimi, possono risultare più vulnerabili agli attacchi di insetti e alle basse temperature che li indeboliscono. (Smith & Smith, 2013)

Da questo excursus, è possibile notare come la predazione erbivora abbia delle ricadute importanti sugli autotrofi. Pertanto, risulta utile domandarsi come la vegetazione possa

difendersi dalla predazione erbivora. Le piante, non potendo muoversi a differenza degli erbivori e dei predatori per sfuggire alla predazione, devono trovare degli adattamenti che scorraggino l'erbivoro a selezionarle. Per dissuadere gli erbivori le piante adottano sia difese strutturali che difese in termini di nutrienti. Le difese strutturali come le spine e gli aghi riducono la quantità di tessuto rimosso dagli erbivori e ne scoraggiano il consumo (Smith & Smith, 2013). Allo stesso tempo, le piante offrono sostanze nutritive alle loro prede che non sempre hanno la qualità nutrizionale che un predatore erbivoro cerca. I cibi con un basso tasso di qualità sono duri e indigeribili, mentre quelli di qualità maggiore sono giovani e verdi. In breve, “per gli erbivori il fattore limitante l'alimentazione è la qualità più che la quantità del nutrimento. A causa del complesso processo necessario per digerire la cellulosa della pianta e convertire il tessuto vegetale in tessuto animale, è necessario un alimento di elevata qualità. Se il contenuto nutrizionale delle piante non è sufficiente, l'animale può morire di fame con lo stomaco pieno” (Smith & Smith, 2013, p.340). La maggior parte dei tessuti di una pianta è di bassa qualità, ricca di sostanze chimiche che impediscono agli erbivori la digestione; pertanto, essi avranno maggiore rischio di mortalità o di insuccesso riproduttivo. Alcune difese messe in atto dalle piante sono attive, ovvero indotte dall'aggressione dell'erbivoro. È il caso delle conifere che, se vengono attaccate da un fungo patogeno, rilasciano grandi quantità di resina che fluisce sugli aggressori eliminandoli.

Sino a questo punto si è trattato di erbivoria e carnivoria in modo separato uniti solo dal tema comune della predazione. In realtà questi due fenomeni sono legati anche da un'altra importante relazione: le piante sono consumate dagli erbivori, a loro volta gli erbivori sono preda dei carnivori. “Pertanto, non si può conoscere veramente un sistema erbivoro-carnivoro senza aver compreso le piante e i loro erbivori, ma neppure è possibile comprendere le relazioni pianta-erbivoro ignorando quelle carnivoro-erbivoro” (Smith & Smith, 2013, p.341). Si può concludere che piante, erbivori e carnivori sono strettamente legati tra di loro.

## 2.4 La simbiosi

La simbiosi dal greco *sym* “insieme” e *bios* “vita” è un’interazione interspecifica protratta dove due o più specie vivono insieme in un’intima convivenza (Cunningham & Cunningham, 2007) (Smith & Smith, 2013). Il risultato dell’associazione tra le specie può essere positivo, negativo o neutrale. Pertanto, la simbiosi include “un’ampia gamma di interazioni, in cui il destino degli individui di una specie dipende dalla loro associazione con individui di un’altra specie” (Smith & Smith, 2013, p. 347). Le relazioni simbiotiche prevedono un certo grado di coadattamento, di coevoluzione e di modellamento da parte dei partner e dei loro caratteri strutturali e comportamentali (Cunningham & Cunningham, 2007). In alcuni casi di simbiosi entrambe le specie coinvolte traggono beneficio, come nel caso del mutualismo; in altre invece una specie trae beneficio a spese dell’altra come nel caso del parassitismo. Nel caso del commensalismo invece una specie è favorevolmente influenzata da un’altra, ma quest’ultima rimane neutrale, ovvero non è né danneggiata né favorita.

### 2.4.1 Il mutualismo

Il mutualismo è una forma di interazione vantaggiosa tra membri di due specie che arreca beneficio ad entrambe le parti coinvolte. (Smith & Smith, 2013) (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020). I benefici ricevuti possono includere un’ampia varietà di processi: la fornitura di risorse essenziali, quali nutrienti o protezione del partner da fattori biotici o abiotici, la difesa da predatori, parassiti ed erbivori e il trasporto del partner o dei suoi gameti a una terza specie come nel caso dell’impollinazione.

In primo luogo, i mutualismi sono coinvolti nel trasferimento di nutrienti. Se si focalizza nuovamente l’attenzione sugli erbivori, si può affermare che il loro sistema digestivo è colonizzato da organismi mutualistici funzionali alla digestione del materiale vegetale, nonché alla cellulosa dei tessuti vegetali (Smith & Smith, 2013). Un altro esempio di relazione simbiotica che riguarda la nutrizione delle piante è l’interazione tra le radici di piante e i funghi. I funghi conferiscono alle piante i nutrienti necessari alla crescita dal suolo e in cambio ricevono carbonio fissato come fonte energetica necessario alla loro sopravvivenza. I funghi formano associazioni con oltre il 70% di tutte le specie di piante esistenti. (Smith & Smith, 2013)

In secondo luogo, altre associazioni mutualistiche riguardano la difesa dell’organismo ospite. Un caso particolare è dato da un gruppo di specie di formica che vive nelle spine rigonfie delle acacie. La pianta che le accoglie offre loro riparo e una dieta bilanciata e completa a tutti

gli stadi di sviluppo (Smith & Smith, 2013). In cambio, le formiche proteggono la pianta dagli erbivori: al minimo segnale di disturbo esse si affrettano fuori dai loro rifugi, emettendo odori repellenti e attaccando l'intruso fino a farlo allontanare” (Smith & Smith, 2013, p.363). Un altro esempio di associazione mutualistica difensiva si sviluppa nella comunità della barriera corallina tra diverse specie di pesci. In particolare, i pesci pulitori ripuliscono il pesce ospite dai parassiti eliminando tessuti malati o morti nelle loro “stazioni di pulizia” (Figura 4). Nel ripulire il pesce ospite, i gamberetti pulitori ottengono i loro nutrienti e allo stesso tempo procurano un vantaggio all'ospite rimuovendo materiale nocivo (Smith & Smith, 2013) (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020).



**Figura 4: Una cernia tropicale si fa ripulire dai pesci pulitori (Pusceddu Sarà e Viaroli 2020)**

Un caso rappresentativo di difesa e protezione in associazione mutualistica in ecosistema marino, riguarda il bio linguaggio che si instaura tra anemoni e paguri. “Gli anemoni, si fanno trasportare da paguri o granchi: in questo modo le anemoni proteggono i paguri da potenziali predatori e, al contempo, traggono vantaggio dai resti alimentari rilasciati dai paguri e dal loro movimento che permette agli anemoni di occupare areali altrimenti per loro inaccessibili” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.241).

In aggiunta, il trasporto risulta fattore principale di una fondamentale associazione mutualistica: l'impollinazione. “L'impollinazione rappresenta un chiaro esempio di scambio mutualistico tra trasporto dei gameti e nutrizione” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.240). L'impollinazione prevede un trasferimento di polline da una pianta a un'altra della stessa specie. In particolare, l'impollinatore trae cibo e nutrienti (sottoforma di nettare) dal fiore e, al contempo, favorisce il trasporto dei gameti della pianta a distanze considerevoli. Nel caso in cui le piante vivano in grandi comunità omogenee e non distaccate le une dalle altre, l'impollinazione più efficace messa in atto è quella aerea: le piante rilasciano il loro polline

nel vento in modo che questo venga accolto nello stigma della pianta della stessa specie. “Tuttavia, la dispersione a opera del vento può essere inaffidabile quando gli individui della stessa specie sono sparpagliati o distribuiti a chiazze in un campo o una foresta” (Smith & Smith, 2013, p.363) (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020). Pertanto, per evitare la dispersione del polline nell’aria, alcune piante attirano animali mediante colori e odori, li spolverizzano di polline e li ripagano con fonti di cibo come il nettare e il polline proteico. Un tipico esempio di “impollinazione evoluta” è specifico delle orchidee. Le orchidee, la cui specie non è distribuita in modo omogeneo nell’habitat, hanno evoluto meccanismi precisi per il trasferimento e la ricezione del polline, in modo che esso non vada perso quando l’insetto visita fiori di altre specie. In particolare, i fiori delle orchidee hanno una forma che esercita sugli insetti specializzati una sorta di richiamo sessuale. “L’insetto si nutre del nettare dell’orchidea e quest’ultima rilascia il polline sull’insetto. La quantità di nettare prodotto dal singolo fiore è tuttavia molto ridotta così da spingere l’insetto a visitare più fiori e quindi ad aumentare la probabilità di impollinazione.” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p. 242)

Un'altra caratteristica fondamentale dei mutualismi è che questi ultimi variano in base al grado di dipendenza tra le specie coinvolte nell’interazione. Da un lato, vi sono i mutualismi obbligati che avvengono quando “l’interazione mutualistica ha portato ad un’evoluzione del simbionte che non può più vivere se non nel suo ospite e viceversa” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p. 243). Dall’altro vi è il mutualismo facoltativo che avviene quando l’interazione è in atto ma il simbionte può esistere anche in assenza del proprio ospite e viceversa.

Il grado di dipendenza tra le specie non è l’unico fattore che influenza la manifestazione dell’associazione mutualistica, bensì anche la durata del rapporto di associazione varia a seconda dell’interazione mutualistica considerata: alcuni mutualisti sono simbiotici altri sono non-simbionti liberi (Smith & Smith, 2013).

“Nel mutualismo simbiotico, gli individui coesistono e la loro relazione è spesso obbligata: almeno un membro della coppia è totalmente dipendente dall’altro” (Smith & Smith, 2013, p. 358). I licheni sono un esempio calzante di associazione simbiotica in cui la fusione dei due mutualisti è tale da rendere difficile la distinzione tra i due individui (Figura 5). I licheni sono composti da un fungo e da un’alga, combinati da un corpo spugnoso detto tallo. L’alga fornisce il cibo necessario a entrambi mentre il fungo protegge l’alga dalle radiazioni solari eccessive. Esso produce sostanze che accelerano la fotosintesi dell’alga e assorbe e trattiene

acqua e nutrienti per entrambe gli organismi. In natura esistono almeno 25000 specie di licheni ciascuna composta da una combinazione unica di fungo e alga.



Figura 5: Licheni, la simbiosi invade il mondo, marzo 2020, wixsite

Viceversa, “nel mutualismo non simbiotico i due organismi non coesistono fisicamente, pur dipendendo l’uno dall’altro per qualche funzione essenziale” (Smith & Smith, 2013, p. 359). Tali mutualismi sono perlopiù facoltativi. Un classico esempio è l’impollinazione nelle piante da fiore con la dispersione dei semi in cui l’interazione generalmente non è ristretta a due specie, ma riguarda piuttosto un’ampia gamma di piante, impollinatori e dispersori di semi. In conclusione, il mutualismo rientra tra i meccanismi di interazione biologica definiti di facilitazione. Tale facilitazione è data dal beneficio che ne trae almeno una delle due specie dalla presenza dell’altra.



### 2.4.2 Il parassitismo

Il parassitismo è una relazione simbiotica tra organismi di specie differenti in cui ne trae vantaggio solo il parassita e non l'ospite. Anche il parassitismo comprende un'ampia gamma di interazioni come il mutualismo. “Il parassita trae beneficio dall'associazione stretta e prolungata con l'altra specie, l'ospite il quale è danneggiato” (Smith & Smith, 2013, p.348). Il parassita sfrutta l'organismo ospite per ricavarne nutrimento, habitat e possibilità di dispersione. I parassiti solitamente non uccidono gli ospiti come avviene tra prede e predatori ma li deperiscono ricavando sostentamento dai loro tessuti. In genere, i parassiti sono più piccoli dei loro ospiti e si riproducono molto velocemente (Smith & Smith, 2013).

Inizialmente, l'attenzione si focalizzerà sui parassiti e sulle diverse modalità di trasmissione tra organismi ospiti. Successivamente, il focus si sposterà sul ruolo dell'ospite del parassita e su come quest'ultimo reagisca all'attacco dei parassiti per difendersi e sopravvivere.

“Il termine parassita include una varietà di organismi, virus, batteri, protisti, funghi, piante e una serie di invertebrati” (Smith & Smith, 2013, p. 348). Essi, generalmente, provocano un'infezione che determina una malattia. I parassiti si classificano in base alle loro dimensioni in microparassiti e macroparassiti. I microparassiti, nei quali rientrano virus e batteri, presentano piccole dimensioni ma si sviluppano e si moltiplicano rapidamente all'interno dell'ospite. I microparassiti sono spesso associati al termine *malattia*. L'infezione, in genere, è di breve durata rispetto alla lunghezza di vita dell'ospite. La malattia si trasmette da ospite in ospite a meno che non vi siano specie che fungano da portatori. I macroparassiti (pulci, zecche, funghi) sono più grandi, hanno un tempo di generazione lungo e spesso non completano l'intero ciclo vitale all'interno di un solo organismo ospite. Le specie che albergano solo alcuni stadi dello sviluppo del parassita sono dette ospiti intermedi.

“Il processo di trasmissione da un ospite all'altro può avvenire in modi diretti o indiretti e può comportare che i parassiti si adattino a pressoché tutte le fasi del comportamento alimentare, sociale e di accoppiamento della specie ospite” (Smith & Smith, 2013, p.350).

La trasmissione diretta si verifica quando un parassita si trasferisce da un ospite ad un altro senza coinvolgere un vettore/organismo intermedio. Generalmente, i microparassiti sono trasmessi direttamente: virus e influenze sono esempio di trasmissione per contatto diretto. Vi sono anche parassiti esterni che impattano sulla vita di uccelli e mammiferi come le zecche i pidocchi e le pulci. Molti di questi parassiti depositano direttamente le uova sull'ospite. (Smith & Smith, 2013)

Differentemente, la trasmissione indiretta si verifica quando alcuni parassiti vengono trasmessi tra ospiti tramite un organismo intermedio. Fungono da esempio i parassiti della malaria che infettano un'ampia varietà di vertebrati, uomo compreso. I parassiti che causano la malaria nell'uomo sono immessi nel sistema sanguigno in seguito alla puntura di una specie particolare di zanzara femmina che provoca questa malattia mortale per l'uomo. "L'incremento demografico, i cambiamenti climatici, l'immigrazione e la globalizzazione hanno favorito il diffondersi di parassiti esotici, sconosciuti o dimenticati" (Smith & Smith, 2013, p. 353) che non hanno mai fatto parte dell'ecologia italiana. Con il tropicalizzarsi del clima mediterraneo la malaria è una minaccia sempre più frequente in Italia.

Risulta necessario chiarificare che senza ospiti i parassiti non esisterebbero; pertanto, è rilevante sottolineare come gli ospiti rappresentino l'habitat dei parassiti. Tale habitat rende possibile la sopravvivenza e la riproduzione dei parassiti attraverso il trasferimento da un ospite ad un altro. "La gamma dei diversi parassiti esistenti è in grado di sfruttare qualsiasi habitat possibile sopra o all'interno dei loro ospiti" (Smith & Smith, 2013, p. 349). Gli ectoparassiti vivono sulla pelle dell'ospite (sulle piume, sui peli ecc.), gli endoparassiti invece vivono all'interno dell'ospite (nel sistema sanguigno, nel fegato, nello stomaco ecc.) in qualsiasi suo organo. I parassiti delle piante vivono su radici o germogli altri invece penetrano nelle radici o nella corteccia per stabilirsi nei tessuti legnosi.

Gli ospiti attuano dei meccanismi di difesa cercando di minimizzare l'impatto dei parassiti. Vi sono diverse risposte difensive che si possono suddividere in tre categorie. I primi meccanismi difensivi messi in atto sono comportamentali, volti a evitare l'infezione. Basti pensare a come uccelli e mammiferi spesso sfreghino loro stessi contro tronchi o massi per liberarsi dai parassiti, oppure a come i cervi trovino dei luoghi ombreggiati per sfuggire alle mosche che possono infettarli con qualche malattia.

La seconda linea di difesa adottata è la risposta infiammatoria da parte dell'ospite. Nel caso in cui insorga un'infezione l'ospite è stimolato a secernere istamine (segnali di allarme chimico). Tali segnali richiamano i globuli bianchi ad aggredire direttamente l'infezione. Ad esempio "le piante rispondono all'invasione di funghi e batteri formando croste in frutti e radici, che impediscano il contatto del fungo con i tessuti sani" (Smith & Smith, 2013, p. 353).

La terza linea di difesa è la risposta immunitaria: quando un corpo estraneo inizia a circolare nell'ospite, i globuli bianchi iniziano a produrre anticorpi relativi agli antigeni presenti nel parassita contribuendo a neutralizzare i loro effetti. Tale linea di difesa è presente anche nel

corpo umano: nel momento in cui un virus/un batterio attacca il nostro corpo, il nostro fisico emette dei segnali (come febbre, malessere, stanchezza). Tali segnali provengono dalla risposta immunitaria che il nostro corpo sta mettendo in atto di fronte all'attacco da parte di un corpo estraneo. Pertanto, i nostri globuli bianchi iniziano a produrre gli anticorpi necessari a neutralizzare l'effetto del parassita /batterio. L'aspetto rilevante è che il sistema immunitario è estremamente specifico ed è dotato di memoria: può "ricordarsi" degli antigeni per cui ha creato una risposta immunitaria nel passato reagendo così più prontamente e neutralizzando nell'immediato l'effetto nel caso di esposizioni successive.

Le linee difensive presentate sono di vitale importanza per gli ospiti, in quanto le infezioni parassitarie possono ridurre sia la crescita, sia la riproduzione degli ospiti con conseguente aumento della mortalità. Pertanto, "affinché parassita e ospite possano coesistere, l'ospite deve resistere all'aggressione, eliminando i parassiti o perlomeno minimizzandone gli effetti" (Smith & Smith, 2013, p. 355). Nonostante le conseguenze importanti che l'infezione può causare all'ospite, al parassita non conviene ucciderlo completamente in quanto la morte dell'ospite comporterebbe anche la morte del parassita.

Gli ospiti hanno evoluto varie difese per ridurre l'impatto negativo del parassita. Se si arriva a una neutralizzazione degli impatti negativi la relazione è definita commensalismo.

### 2.4.3 Il commensalismo

La parola commensalismo deriva dalla parola latina *commensalis*, che significa “condividere un tavolo”. “Il commensalismo è un tipo di simbiosi in cui uno dei due partner trae beneficio mentre l'altro non trae un notevole beneficio né è danneggiato” (Cunningham & Cunningham, 2007, p. 187). “In particolare, una specie commensale beneficia di un'altra specie ottenendo locomozione, riparo, cibo o sostegno dalla specie ospite, che (per la maggior parte) non beneficia né è danneggiata” (Lazzaro U. 2021). La differenza principale che distingue il commensalismo dal parassitismo e dalla predazione è che nessuna delle parti implicate subisce un danno. Un esempio di commensalismo si rivela soprattutto nelle piante quando sugli alberi si verifica la crescita di muschi sulle parti alte dei tronchi (Figura 6). I muschi crescono a quelle altezze per procurarsi l'accesso alla luce, vitale per il loro nutrimento e la loro sopravvivenza. L'albero ospite generalmente non subisce molti danni dal muschio trovatosi in simbiosi con il suo tronco.



Figura 6: Commensalismo, Orchidea epifita (2019) Foto da VanderweesHome&Garden

Esistono tre tipologie di commensalismo: l'inquilinismo, la foresi, e la metabiosi.

L'inquilinismo si verifica quando un organismo fissa la sua dimora su un altro organismo in modo permanente. Un esempio è la pianta di acero che spesso è ospite di licheni, felci e muschi per lunghi periodi di tempo. La pianta non subisce alcun danno ma allo stesso tempo diventa casa per altri organismi. La seconda tipologia di commensalismo è la foresi. Nelle foresi le specie ospiti traggono vantaggio in termini di protezione o locomozione. Un esempio calzante è quello della remora e dello squalo. La remora ottiene il cibo che sfugge dalla bocca dello squalo quando attacca una preda; lo squalo da parte sua non trae beneficio dalla relazione. La terza tipologia di commensalismo è la metabiosi. La metabiosi si verifica quando un organismo riutilizza una parte di un altro organismo dopo la sua morte. Un

esempio ne sono i granchi eremiti o i paguri che usano le conchiglie che una volta ospitavano altri animali per proteggersi (Figura 7).

In tutte le tipologie di simbiosi presentate ciò che risulta rilevante sottolineare è l'interazione e la comunicazione costante che si instaura tra le diverse specie. Questo aspetto permette di constatare come le specie interagiscano nonostante la diversità che le caratterizza, di come vi sia questa costante biocomunicazione tra di loro e con l'habitat in cui vivono che permette loro di difendersi, di entrare in competizione, di beneficiare delle risorse altrui per sopravvivere e riprodursi.



Figura 7: Metabiosi, granchio eremita con conchiglia (2022), slide Unife

## 2.5 La nicchia ecologica

Le interazioni tra specie analizzate influenzano una delle caratteristiche fondamentali di un organismo vivente, ovvero la sua nicchia ecologica. La nicchia ecologica è quell'insieme di condizioni fisiche, chimiche e ambientali grazie alle quali una specie può “persistere” (sopravvivere e riprodursi) e alla varietà di risorse essenziali che essa utilizza (Smith & Smith, 2013). Con il termine “condizioni fisiche e chimiche” si intendono anche tutti quei fattori biotici e abiotici che interagiscono con un determinato organismo di una determinata popolazione (Pusceddu, Sarà, Viaroli, 2020). La definizione più moderna di nicchia ecologica è da attribuire a Hutchinson (1957) che la definì come “l'insieme di condizioni entro le quali ogni popolazione o specie vive o si riproduce” (Pusceddu, Sarà, Viaroli, 2020, p.90). Essa rappresenta altresì “una porzione di spazio all'interno della quale l'ambiente permette a un individuo o a una specie di riprodursi” (Cunningham & Cunningham, 2007, p. 180). La nicchia ecologica è propria di ciascuna specie e spesso quando entra in interazione con comunità di cui fanno parte specie diverse può essere modificata. Essa può essere fondamentale o realizzata. La nicchia fondamentale è una nicchia ecologica in assenza di

interazioni con altre specie, mentre quella realizzata è la porzione di nicchia fondamentale che una specie utilizza nel momento in cui interagisce con altre specie. Pertanto, le interazioni tra specie fanno sì che le popolazioni non sempre riescano a usufruire di quelle condizioni che gli garantirebbero la migliore crescita, il miglior rendimento e la miglior sopravvivenza, proprio a causa delle interazioni che instaurano in natura. “Ciò implica che organismi di due specie differenti che vivono nello stesso habitat possono sperimentare “ambienti” differenti” (Pusceddu, Sarà, Viaroli, 2020, p.89) Ad esempio gli individui di due specie di lucertola diverse che vivono nello stesso habitat possono sperimentare livelli di calore diversi: la lucertola notturna incontrerà predatori e sarà esposta ad una luce differente rispetto alla lucertola diurna. La nicchia fondamentale difficilmente viene sfruttata dalla specie in quanto le sue attività sono limitate da competitori, predatori o dalle caratteristiche peculiari di un certo habitat. Pertanto, ne deriva che la specie “realizza” solo una parte delle sue potenzialità e mostra in natura solo la sua nicchia realizzata.

## CAPITOLO 3 – ELEMENTI IN RELAZIONE NEGLI ECOSISTEMI

La ricerca ecologica si fonda sulle interazioni e le relazioni che gli organismi, le popolazioni e le comunità ecologiche instaurano a livello intraspecifico, interspecifico e con il loro ambiente. “L’ecologia però ha da sempre avuto necessità di definire un’unità che, sia spazialmente sia funzionalmente, permetta di porre un limite strutturale di indagine” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.22). Pertanto, tra gli anni Trenta e gli anni Quaranta del Novecento si è arrivati a coniare il termine di “ecosistema” (*oikos* + *synístánai*: *syn* “insieme” + *hístánai* “porre” = “in relazione”, “elementi interdipendenti”).

### 3.1 Definizione di ecosistema

Uno dei primi tentavi significativi di identificazione di un’unità strutturale e funzionale spazialmente definita dentro la quale gli organismi sono in relazione tra loro e con l’ambiente circostante è presente nella definizione di Tansley (1935) dell’ecosistema come “una porzione di biosfera delimitata naturalmente includente un insieme di organismi che interagiscono tra loro e con l’ambiente che li circonda” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.22). Il concetto di ecosistema proposto da Tansley nella prima metà del XX secolo si è evoluto nella più moderna definizione di Odum per la quale l’ecosistema è “ l’unità che include gli organismi che vivono insieme in una certa area (comparto biotico), interagenti con l’ambiente fisico (comparto abiotico) in modo tale che un flusso di energia porti ad una ben definita struttura biotica e ad una ciclizzazione dei materiali fra viventi e non viventi all’interno del sistema stesso, sostenuta da una cospicua dispersione di calore” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.22). La definizione di Odum presenta molti elementi che rimandano alle radici dell’ecologia e ai suoi differenti livelli di studio. Nello specifico ritornano i concetti di comunità, di fattori biotici e abiotici e soprattutto di interazioni. Ad esempio “gli organismi che vivono insieme in una certa area” rappresentano la comunità. Si rammenta che la comunità è l’insieme delle popolazioni di specie diverse che vivono insieme e in interazione in un’area specifica. All’interno di un ecosistema la comunità è il principale componente biotico (vivente). Diversamente, la componente abiotica degli ecosistemi “comprende l’insieme dei fattori abiotici che lo compongono” (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020, p.23) quali le sostanze inorganiche come acqua, CO<sub>2</sub>, ossigeno, azoto ecc. Da questa analisi ne risulta che i concetti di comunità e di ecosistema sono strettamente legati tra loro. La differenza principale è che l’ecosistema include oltre che allo studio delle interazioni tra gli individui anche l’interazione degli individui con l’ambiente e l’insieme dei fattori abiotici che lo caratterizzano, mentre lo

studio delle comunità è maggiormente incentrato sulle interazioni tra gli individui della stessa specie o tra specie differenti. In altre parole, “il concetto di ecosistema si basa sull’idea che la componente biologica e quella fisica dell’ambiente interagiscono tra loro formando un unico sistema interattivo” (Smith & Smith, 2013 p. 461) che permetta il raggiungimento di un equilibrio all’interno dell’ecosistema stesso. *Eco* fa riferimento all’ambiente, *sistema*, denota che si tratta di un insieme di componenti in relazione tra loro che costituiscono un’unità. Le due componenti interagenti sono quella vivente, biotica e quella non vivente abiotica (fisica e chimica). Oltre alle componenti biotiche e abiotiche un ecosistema presenta una struttura e un funzionamento ben specifico caratterizzato da un continuo flusso di energia che gli permette la vita, la crescita, la riproduzione e soprattutto il riciclo della materia tra viventi e non viventi. L’energia che rende possibile il corretto funzionamento dell’ecosistema è quella solare (Smith & Smith 2013). Infine, un ecosistema può essere di grandi dimensioni come la Foresta dell’Amazzonia nel sud America oppure meno esteso come un lago glaciale di montagna. Gli ecosistemi possono essere classificati in termini di biomi: biomi terrestri (foreste, boschi, steppe, ecc.) e biomi marini (ecosistemi oceanici e di acqua dolce). Gli ecosistemi marini sono i più estesi e coprono il 75% di tutta la superficie terrestre. In questa tesi mi concentrerò sugli ecosistemi terrestri delle foreste e dei boschi.

### **3.2 La comunicazione tra elementi biotici e abiotici in un ecosistema**

Dunque, ciò che caratterizza un ecosistema è la costante relazione e interazione che vi è tra i fattori biotici e abiotici. “La componente abiotica consiste in diverse matrici: l’aria, l’acqua, i sedimenti, il materiale organico morto. Quest’ultimo è la fonte energetica per i decompositori ed è la materia prima per il riciclo dei nutrienti nell’ecosistema” (Smith & Smith 2013, p. 462). La componente biotica degli ecosistemi sono le comunità che lo abitano, ovvero gli organismi viventi. Le componenti biotica e abiotica sono in costante comunicazione tra loro e non si presentano come due elementi separati all’interno di un ecosistema. Gli esseri viventi consumano e usufruiscono degli elementi abiotici, ovvero delle risorse che l’ambiente gli offre. Di conseguenza, l’ambiente si modifica, si adatta, si rigenera a seconda delle azioni e della richiesta di risorse da parte della comunità ospitata e pertanto, influenza gli organismi viventi nella loro riproduzione e nella loro sopravvivenza. Questo processo è ciclico e attraverso il biolinguaggio (lo scambio di informazioni) costante tra elementi biotici e abiotici l’ecosistema ricerca costantemente un equilibrio in cui tutti gli elementi possano interagire tra loro per la migliore sopravvivenza possibile. È importante



sottolineare come l'interazione e l'azione del singolo organismo sull'ambiente circostante possa avere delle ricadute su tutta la comunità. Un esempio di comunicazione e interazione tra fattori biotici e abiotici si verifica nei meccanismi di scambio che vi sono tra la pianta e il suolo che la ospita. "Plant –soil feedback (PSF) occurs when plants alter soil properties that influence the performance of seedlings, with consequent effects on plant populations and communities" (Bennett J. & Klironomos J. 2018, p. 3). Nella loro crescita le piante si modificano e sono influenzate dal suolo nel quale maturano. Durante questo processo esse possono incontrare ostacoli oppure elementi/fattori favorevoli alla loro crescita. Vi sono alcuni elementi sia biotici che abiotici, in interazione tra di loro, che causano questi cambiamenti e che mettono in evidenza come vi sia un feedback costante tra la pianta, il suolo nel quale si sviluppa e il *feedback* che può avere sulla comunità circostante. Gli erbivori sono esempio di *feedback*/interazione negativo/a tra la pianta e il suolo abitato da quest'ultima. Essi, quando mangiano le foglie di una pianta molto giovane possono danneggiarne il suo sviluppo e quindi non permetterne l'evoluzione della specie. Le piante però, come accennato nei capitoli precedenti, spesso posseggono delle tecniche difensive (come l'espletazione di odori, o la presenza di spine). Pertanto, il problema delineato in precedenza si verifica nei primi giorni di crescita dove le piante non sono sufficientemente sviluppate per mettere in atto le loro difese contro i predatori. Un altro fattore abiotico che può influenzare negativamente lo scambio di nutrienti tra la pianta e il terreno dove quest'ultima prolifera è il clima. Spesso, quando il clima è secco e asciutto le piante si ricavano più difficilmente i nutrienti.

Differentemente, elementi biotici che garantiscono e sostengono una crescita positiva delle piante sono i funghi e in particolare le interazioni mutualistiche. Come analizzato in precedenza il mutualismo è un'interazione positiva e avviene quando le due specie sono mutualmente avvantaggiate (nessuna delle due specie in interazione viene danneggiata) "fungi provide greater access to phosphorus than nitrogen and provide adequate protection from pathogens" (Bennett J. & Klironomos J. 2018, p. 5). Interagendo con la pianta e il suolo, i funghi trasferiscono le sostanze nutritive necessarie al suo sviluppo e crescita quali fosforo, idrogeno e carbonio.

### 3.3 Funzionamento ed energetica degli ecosistemi

Dal punto di vista strutturale abbiamo già delineato come gli ecosistemi siano composti da una componente biotica e una componente abiotica in costante interazione tra di loro (Figura 8). Da un punto di vista funzionale un ecosistema è caratterizzato, come ci ricorda la definizione di Odum, da continui cicli e scambi di materia e di energia. Gli ecosistemi, infatti, non sono statici bensì sono sistemi dinamici che dipendono dai continui scambi tra materia ed energia.

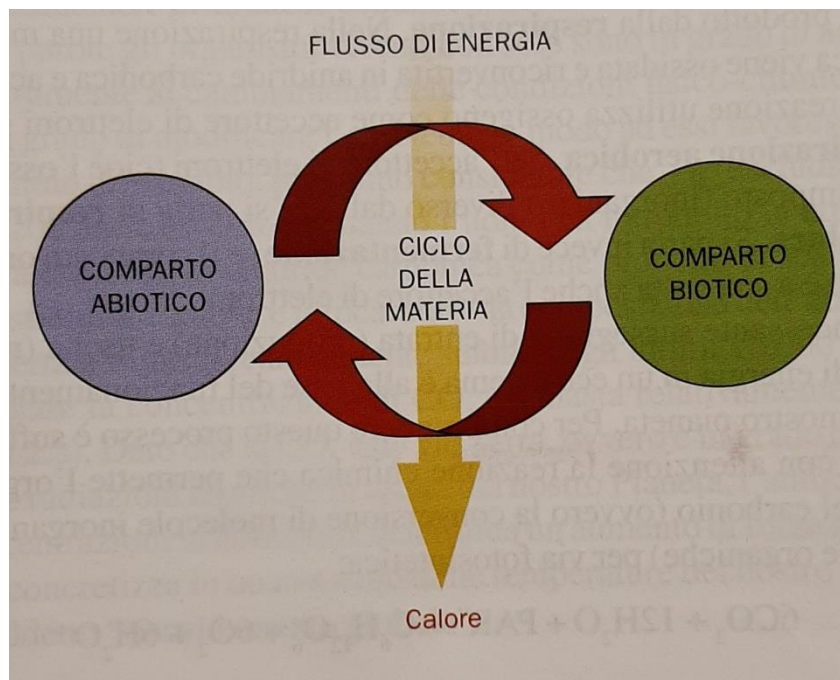


Figura 8 - Rappresentazione schematica di un ecosistema, con indicazione di componenti e funzioni fondamentali secondo la definizione di Odum (1953)

La materia in un ecosistema rappresenta tutto ciò che ha una massa e un volume, mentre l'energia è la capacità di produrre lavoro. La materia negli ecosistemi viene riciclata: “the same atoms are used over and over again, assembled into different chemical forms and incorporated into the bodies of different organisms” (Khan Academy, 2023). Ad esempio, le piante richiedono l'anidride carbonica dall'atmosfera e altri nutrienti dal terreno per costruire le loro cellule e sopravvivere. Quando un animale, come una volpe o un coniglio, mangia le foglie di queste piante, si nutre con i nutrienti offerti dalle piante. Questi "nuovi nutrienti/molecole" fluiscono, circolano nelle cellule animali e modificano i suoi atomi e le sue molecole in nuove forme. Grazie a questo riciclo, gli atomi del nostro corpo hanno probabilmente una lunga storia. Potrebbero far parte di una pianta o di un animale e

continuano a modificarsi a seconda delle interazioni che abbiamo nella nostra vita. Come tutti gli altri organismi viventi, il nostro corpo pertanto è un vero e proprio ecosistema.

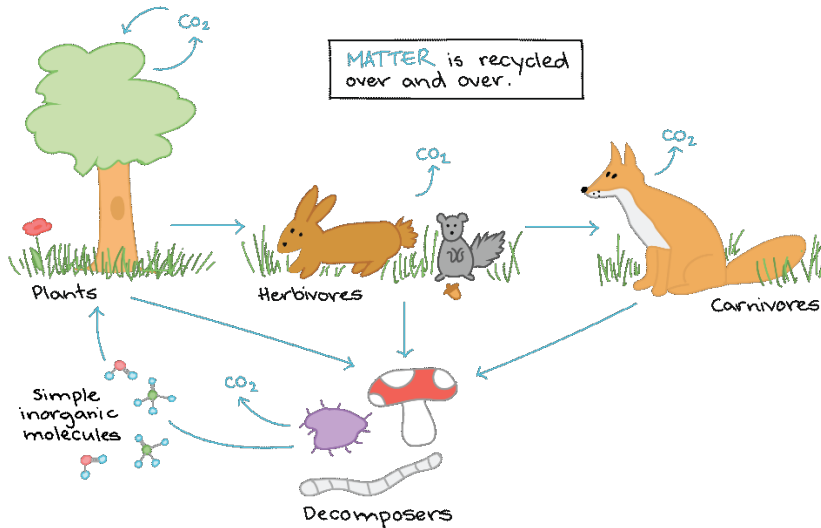


Figura 9 - Il continuo riciclo della materia in un ecosistema. Image credit: based on similar image by J. A. Nilsson<sup>2</sup> – Khan Academy

Il riciclo dei nutrienti e della materia è una caratteristica essenziale di tutti gli ecosistemi. (Figura 9). I nutrienti vengono assunti dalle piante e, con il loro invecchiamento, essi ritornano al suolo sotto forma di sostanze organiche morte dove vengono decomposti e in gran parte riciclati dall'ecosistema. È il caso degli ecosistemi terrestri in cui l'azoto, presente nel suolo, "viene assorbito dalle radici e utilizzato per produrre proteine" (Smith & Smith 2013, p. 488).

"Con la senescenza dei tessuti vegetali, i nutrienti ritornano al suolo sotto forma di sostanza organica morta. Tuttavia, attraverso un processo di riciclo dei nutrienti all'interno della pianta, essa recupera nutrienti dai tessuti senescenti, per accumularli e riutilizzarli per la produzione di nuovi tessuti" (Smith & Smith 2013, p. 488). Il ciclo si chiude e i nutrienti sono nuovamente disponibili per l'assorbimento da parte delle piante e l'incorporazione nei tessuti. Come è possibile notare, il processo chiave nel riciclo dei nutrienti è la decomposizione. Se nella fotosintesi vi è un'incorporazione di energia solare, nella decomposizione vi è un rilascio dell'energia fissata durante la fotosintesi, di anidride carbonica e di acqua e infine la trasformazione di composti organici in nutrienti inorganici. (Smith & Smith 2013).

I principali organismi coinvolti nel processo di decomposizione sono i batteri che si adoperano sui tessuti animali e i funghi che agiscono principalmente sui tessuti vegetali estendendo le loro ife nelle strutture organiche per estrarne nutrienti. La decomposizione è favorita dallo sminuzzamento delle foglie, di ramoscelli e altro materiale organico morto (Figura 10).

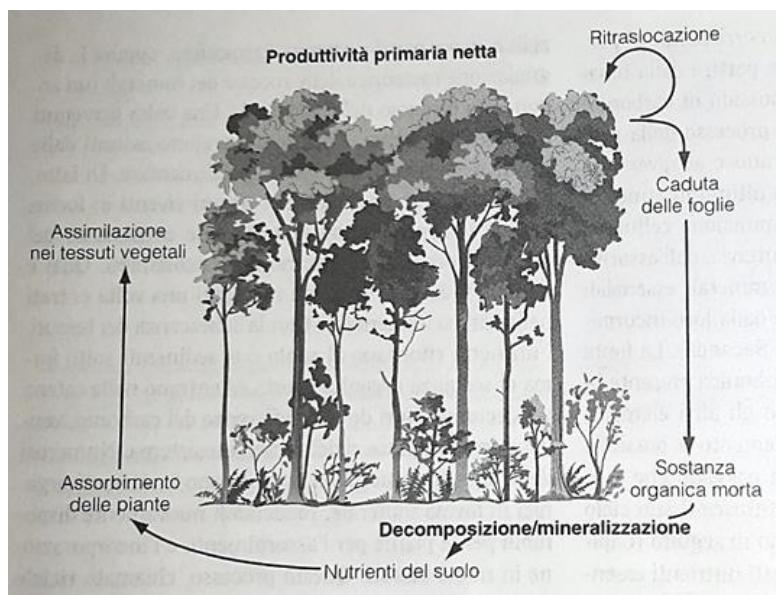


Figura 10- Schema generale del ciclo dei nutrienti in un ecosistema terrestre. Smith & Smith (2013).

A differenza della materia, l'energia all'interno di un ecosistema non può essere riciclata e riutilizzata. "L'accumulo e il rilascio di energia sono governati dalle due leggi della termodinamica" (Smith & Smith 2013, p. 464). Il primo principio delinea che l'energia non può essere distrutta né creata. Essa può assumere diverse forme e agire diversamente sulla materia ma non si verificano guadagni o perdite rispetto all'energia totale o iniziale. Questa viene semplicemente trasformata o trasferita come afferma il secondo principio della termodinamica "quando l'energia viene trasferita o trasformata, una parte di essa assume una forma che non può più essere riutilizzata" (Smith & Smith 2013, p. 464). Ciò significa che ogni ecosistema ha bisogno di un apporto costante di energia per funzionare e di un continuo riciclo di nutrienti chimici. Nello specifico, il flusso di energia attraverso un ecosistema terrestre "inizia con l'assorbimento delle radiazioni solari da parte degli organismi autotrofi" (p.464), le piante, attraverso il processo di fotosintesi che comporta l'incorporazione di energia solare. Successivamente, la luce solare si espande all'interno dell'ecosistema e cambia forma a seconda del fabbisogno richiesto dagli elementi biotici e abiotici che abitano l'ecosistema (nutrimento, decomposizione, produzione di rifiuti, ecc.). Ogni volta in cui

L'energia cambia forma, una parte di essa viene convertita in calore. Il calore è energia ma non può essere utilizzato come fonte di energia dagli esseri viventi. Pertanto, l'energia può essere solo trasferita ma non riutilizzata come nel caso della materia (Smith & Smith 2013) (Pusceddu, Sarà & Viaroli, 2020).

Un ultimo aspetto che riguarda il funzionamento degli ecosistemi è la ricerca costante di un equilibrio interno che permetta la sopravvivenza della comunità che lo abita. L'equilibrio rappresenta lo stato stazionario di un ecosistema in cui la sua composizione e la sua identità rimangono costanti nel tempo. Gli ecosistemi sono sempre alla ricerca di un loro equilibrio in relazione agli organismi viventi e all'ambiente. Talvolta questo equilibrio si rompe a causa di alcuni eventi dirompenti che influenzano la sua struttura. Esistono due tipi diversi di perturbazioni:

- Le calamità naturali: disturbi causati da processi naturali come incendi, terremoti, vulcani che alterano l'equilibrio di un ecosistema. Ad esempio, a seguito di un grande incendio in una foresta gli organismi viventi (come gli animali) avrebbero difficoltà a procurarsi il cibo e bisogna attendere molto tempo affinché l'ambiente possa ritornare al suo stato originario e rigenerarsi.
- Calamità antropiche: disturbi causati dalle azioni dell'attività umana sull'ambiente. Un esempio dell'impatto negativo dell'uomo sul mantenimento dell'equilibrio all'interno di un ecosistema è la deforestazione. Le cause principali legate alla deforestazione sono l'agricoltura e la costruzione di infrastrutture (urbanizzazione). La conseguenza e l'impatto più noto di queste azioni antropiche sull'ambiente è la minaccia alla biodiversità. La biodiversità riunisce le diverse specie e forme di vita e le loro dinamiche di evoluzione nell'ecosistema: distruggendo la foresta, l'uomo distrugge anche l'equilibrio naturale dell'ecosistema. Ad esempio, la chioma degli alberi fornisce ombra e temperature più basse e confortevoli agli animali e alla piccola vegetazione che non possono sopravvivere con il calore della luce solare diretta. Inoltre, gli alberi nutrono gli animali con le loro foglie o i loro frutti per sopravvivere, ma con la deforestazione l'ecosistema tende a morire.

### 3.4 Gli ecosistemi terrestri, il bosco.

Gli ecosistemi possono essere classificati in termini di biomi. Un bioma è definito come “un tipo di ambiente terrestre caratterizzato da una particolare vegetazione e un particolare clima” (Treccani, 2022). In altre parole, un bioma è un’area più o meno estesa composta da elementi con delle caratteristiche comuni: il clima, la distribuzione degli organismi animali e la vegetazione. Gli ecosistemi terrestri presentano diverse tipologie di biomi in base alle categorie predominanti di vegetazione: foresta tropicale, foresta di conifere, tundra, deserto, prateria temperata, ecc. Caratteristica degli ecosistemi delle foreste sono ad esempio la densa copertura di alberi ad alto fusto. “Queste ampie categorie riflettono il contributo relativo alle tre forme di vita generali delle piante: alberi, arbusti e piante erbacee” (Smith & Smith, 2013, p.541). Queste tre forme abbondanti di vita vegetale sono una delle principali categorie per cui si classificano i biomi. Inoltre, per classificare gli ecosistemi terrestri si utilizza un'altra caratteristica fondamentale: la forma fogliare. Le foglie possono essere suddivise in due grandi categorie: decidue o sempreverdi. Le foglie decidue sopravvivono una sola stagione. Esse solitamente cadono al termine della stagione di crescita e ricrescono all’inizio della stagione successiva. Nelle foreste temperate decidue la fine della stagione di crescita è riconoscibile dall’ingiallimento delle foglie in autunno poco prima della stagione invernale. Gli alberi riiniziano a crescere in primavera quando le giornate sono più lunghe e la temperatura più calda (Smith & Smith, 2013). Nelle foreste decidue mature, costituite da piante con età diverse, vi sono 4 livelli verticali:

- Le chiome: lo strato superiore costituito dalle specie dominanti di alberi
- Gli alberi più bassi
- Lo strato dei cespugli
- Lo strato del terreno in cui sono presenti erba, felci e muschi.

Risulta importante sottolineare che tali livelli non sono delimitati l’uno dall’altro da dei confini netti e costanti ma vi è un flusso continuo di biolinguaggio e dunque scambio di informazioni tra le diverse stratificazioni che permette il raggiungimento di un equilibrio all’interno dell’ecosistema. Ad esempio, nel livello dei cespugli può capitare di trovare degli alberi dominanti. Questo fenomeno accade nel momento in cui il cespuglio e la chioma hanno un fabbisogno comune per cui la crescita di un autotrofo dipenda dall’altro. Questo linguaggio ecologico che si instaura tra i due organismi o tra più comunità di autotrofi può nascere da diverse cause o necessità: protezione dai raggi solari, scambio di sostanze nutritive utili alla crescita, alla sopravvivenza o alla riparazione dei tessuti, riproduzione della specie

ecc. Inoltre, tali livelli sono influenzati dalla presenza di animali che abitano il suolo e il sottosuolo. La presenza di animali erbivori che si nutrono delle risorse offerte dall'ambiente modifica il ciclo vitale e di rigenerazione e crescita delle piante, come nel caso degli abeti rossi e dei pini i cui semi e coni vengono utilizzati dallo scoiattolo rosso come sostanza nutritiva. In aggiunta, tra gli animali possono nascere competizioni per contendersi il materiale vegetale brucabile come avviene tra l'alce rossa e la lepre americana nella foresta boreale. Esse si contendono la vegetazione acquatica necessaria a entrambe per la sopravvivenza e il nutrimento. Pertanto, il biolinguaggio che si instaura all'interno di un ecosistema non avviene solo tra gli organismi autotrofi ma anche tra gli eterotrofi. Vi è una costante comunicazione tra gli elementi biotici e abiotici che abitano un ecosistema.

Diversamente dalle foglie decidue, le foglie sempreverdi hanno una longevità maggiore, come le latifoglie in cui la fotosintesi e la crescita continuano tutto l'anno (Smith & Smith 2013). Dominate da aghifoglie sempreverdi sono le foreste di conifere che si estendono in Europa centrale e anche sulle Alpi. Esse si trovano principalmente nell'ambiente montano di alta quota dove le basse temperature limitano la stagione di crescita a pochi mesi l'anno. Pertanto, la struttura di queste foreste riflette le condizioni climatiche a cui esse sono sottoposte. Le alte temperature invernali sempre più incidenti negli ultimi anni stanno influenzando notevolmente il ciclo vitale delle conifere che crescono anche durante le stagioni più fredde. Questo dimostra come gli elementi abiotici (come il clima) abbiano delle ricadute importanti sul funzionamento degli elementi biotici che abitano l'ecosistema: questi ultimi devono riadattare la loro struttura e il loro funzionamento in base ai cambiamenti causati sia dall'ambiente stesso sia dall'evoluzione delle specie che lo abitano in cui oltre agli animali è incluso anche l'uomo. La foresta di conifere maggiormente estesa è la taiga o foresta boreale che copre circa l'11 % della superficie terrestre e si estende in Nord America occupando la maggior parte dell'Alaska e del Canada. La taiga è costituita principalmente da tre zone vegetazionali: l'ecotono che si dirada su spazi aperti ed è formato da abeti rossi, muschi e licheni; il bosco aperto costituito da licheni e abete nero e la vera e propria foresta boreale con boschi continui di pini e abeti interrotti da betulle e pioppi in aree disturbate (Smith & Smith 2013).

A tal proposito, la regione Valle d'Aosta presenta una grande varietà di ambienti che ospitano una vegetazione differente di foglie sempreverdi e decidue. Infatti, essa si presenta come uno dei punti focali della biodiversità nel territorio italiano. "Con un totale generale di circa 2000 specie, si può affermare che la Valle d'Aosta presenta una densità floristica molto elevata e

questo è logico, dato il grande sviluppo della vallata nel senso altitudinale e la diversità dei substrati geologici” (Bovio M., 2014, p. 16). La vegetazione arborea, con alberi di latifoglie, si espande nella zona collinare per poi evolvere gradatamente con l’altitudine in betulle e aceri montani sino alle popolazioni di aghifoglie a 2000 metri di quota (pini e abeti). Tra le conifere, si trovano anche il pino montano e silvestre, l’abete bianco e quello rosso (Figura 11). Più alto di tutti è il larice, che, in autunno, assume una caratteristica colorazione giallo oro. (Valle d’Aosta, sito ufficiale del turismo in Valle d’Aosta, 2022).

L’albero maggiormente diffuso nel territorio valdostano è il pino silvestre “terza conifera della regione per diffusione, che caratterizza i boschi montani dei settori più continentali del territorio” (Bovio, 2014, p.30). Per quel che riguarda i boschi di latifoglie, i più diffusi sono i castagneti presenti soprattutto nella bassa valle. Tutte queste comunità vegetali sono peculiari della Valle d’Aosta e nelle valli vicine come la Valsesia. Nonostante la vasta comunità di alberi, i boschi valdostani ricoprono solo il 27% della superficie regionale in quanto buona parte del territorio è composto da un ambiente prevalentemente roccioso anche a bassa quota. Infatti, in Valle d’Aosta sono diffusi gli ambienti estremi caratterizzati dalla presenza di rupi e detriti. Nelle rocce che presentano un alto tasso di silicio e calcare la flora alpina esplose in tutta la sua ricchezza (Bovio, 2014). Esempio lampante sono le stelle alpine che crescono insediate tra le rocce (Figura 12).

Questo aspetto ci fa nuovamente riflettere su come un elemento abiotico come la roccia, (che può sembrare statica e quasi “inutile” a un ecosistema e alla natura) in realtà sia risorsa, “radice” di vita, protezione, nutrimento e luogo di insediamento di elementi biotici.

Infine, i biomi non sono puntualmente definiti bensì “i confini tra i biomi sono spesso indistinti e sovrapposti tra di loro” (Smith & Smith, 2013, p.241). Oltre al clima e alla presenza di esseri viventi animali e vegetali, i confini di un bioma sono determinati da altri fattori quali: il tipo di suolo, il grado di esposizione a eventi di disturbo come il fuoco ecc. Pertanto, spesso vi è un’interazione reciproca in cui un bioma si presenta a stretto contatto con un altro per ricavarne risorse o per garantire al bioma ospite un buon funzionamento.





Figura 11- Il pino silvestre caratterizza i boschi montani dei settori più continentali e secchi della Valle d'Aosta (Foto M.Broglio)



Figura 12: Stelle Alpine insediate tra le rocce. Fonte: Flickr.com, Tottoli A. 2008

## **II PARTE – LA BIOCOMUNICAZIONE NEI LINGUAGGI DELLA WOOD WIDE WEB**

## **CAPITOLO 4 LA BIOCOMUNICAZIONE E I SUOI LIVELLI CHIAVE**

La biocomunicazione si presenta oggi come un concetto attuale, trasversale e innovativo che sta influenzando sempre di più gli studi ecologici. In particolare, il concetto della biocomunicazione ha avuto delle ricadute importanti sul principale oggetto e soggetto di studio dell'ecologia: quello delle interazioni e delle relazioni che si instaurano tra organismi viventi (elementi biotici) e organismi non viventi (elementi abiotici). Quando si è pensato alla comunicazione, per molti secoli il focus degli studiosi è stato prevalentemente lo studio della comunicazione a livello umano, su come l'uomo interagisse con altri suoi simili, su come egli potesse instaurare una comunicazione basata su segni e simboli. Diversamente, tutto ciò che apparteneva alla sfera vivente, legata a elementi sia biotici che abiotici, si pensava funzionasse attraverso leggi meccanicistiche determinate da programmi genetici (Gordon & Seckbach, 2017). Tale visione meccanicistica non solo influenzò le discipline scientifiche come le scienze naturali e l'ecologia ma ebbe delle ripercussioni anche nella branca pedagogica durante il XX secolo. In particolare, tra il 1913 e il 1930, studiosi come Skinner e Pavlov hanno cercato di dare spiegazioni meccaniche al funzionamento del comportamento umano, nonché al ruolo della comunicazione a esso connesso, partendo dall'analisi dei comportamenti degli animali. La comunicazione però è molto complessa e non può essere ridotta a dei meccanismi come quelli a lungo ritenuti alla base della fisica e della chimica.

Nella comunicazione si costruisce attraverso dei segni, ovvero le complesse corrispondenze fra significanti e significati. La scienza della biocomunicazione ha contribuito all'allontanamento di una visione deterministica sia dal punto di vista delle interazioni e degli scambi comunicativi umani sia per quanto riguarda l'ambiente naturale e le interazioni tra elementi biotici e abiotici. Tale scienza è progredita con l'avanzare della tecnologia e del sapere. Prima è stata applicata al linguaggio umano, successivamente alle interazioni tra animali, piante, molecole sino allo studio delle cellule e dei batteri (Gordon & Seckbach, 2017). Oggi si ritiene che la "biocommunication exists in almost all organisms from bacteria to man" (Gordon & Seckbach, 2017, p. 10).

La biocomunicazione è in primo luogo un'interazione sociale tra organismi viventi che condividono la vita sulla Terra e le specifiche condizioni ambientali in cui vivono. "The concept of biocommunication has different meanings and includes different disciplines, such as linguistics, cognitive science and also astrobiology" (Gordon & Seckbach, 2016, p.9). Questa branca dell'ecologia si occupa soprattutto dell'analisi degli scambi di informazioni tra

specie a livello interspecifico e intraspecifico. La biocomunicazione significa infatti “interaction through a special language that is used between different species” (Gordon & Seckbach, 2017, p.38). “Every organism uses signs of coordination cooperation and organization between members of the same related or not related organisms” (Gordon & Seckbach, 2016, p.10).

Il processo biocomunicativo dipende dalla cooperazione e dalla coordinazione tra i diversi elementi sia biotici che abiotici che partecipano a tale interazione. “Biocommunication can be defined as the sign-mediated interactions of groups of living agents that share a repertoire of signs (a kind of natural language), that are combined (according to syntactic rules) in varying contexts (accorded to pragmatic rules) with transport contents (according to semantic rules)” (Witzany, 2012, p. 5). Questa definizione chiarifica che all’interno di un’interazione che prevede un processo di “linguaggiare” (uno scambio di informazioni tramite il linguaggio) gli organismi viventi condividono il contesto all’interno del quale si ritrovano e soprattutto un repertorio di segni e codici specifici (modi di creare significanti) che permette loro di entrare in contatto a seconda dei contesti di applicazione. Un segno è qualcosa che sta per qualcos’altro e il segnale è l’unità più semplice del segno. Ogni segno, pertanto, include diversi segnali. Tali segni possono essere differenti a seconda degli organismi viventi che entrano in contatto tra di loro. Le piante, ad esempio, hanno sviluppato segnali chimici che mettono in comunicazione i loro organi e controllano la loro funzionalità (Bonfante, 2021). Un esempio calzante riguarda il colore sgargiante dei fiori che agisce come segnale nell’attrarre a sé gli impollinatori. Un altro segno è la voce che gli uccellini emettono quando entrano in competizione.

Gli studi di Witzany sulla biocomunicazione delineano quattro livelli chiave che si estendono a tutte le specie e che sono essenziali affinché possa avvenire un’interazione: “the sensing of abiotic circumstances, the transorganismic communication process, the interorganismic communication, and the intraorganismic communication” (Gordon & Seckbach, 2016, p. 40). Cogliere attraverso gli stimoli sensoriali le caratteristiche dell’ambiente circostante quali luce, temperatura, umidità, ecc. risulta fondamentale in quanto fornisce agli organismi che vogliono insediarsi in una determinata area degli indizi sulle opportunità alimentari, riproduttive, abitative e di crescita che il territorio gli offre. Tali informazioni vengono immagazzinate nella memoria degli organismi in modo che essi possano adattarsi meglio nel caso in cui incontrassero circostanze di vita simili. In caso di condizioni ambientali favorevoli, gli organismi si insediano all’interno di un determinato territorio. Pertanto, essi inizieranno a

“linguaggiare” sia per entrare in contatto con gli elementi abiotici che con gli elementi biotici che abitano una determinata area. Tale comunicazione avviene in quanto l’organismo necessita di risorse per il suo sviluppo, la sua riproduzione e la sua crescita che da solo non si può procurare. La comunicazione che si instaurerà tra gli organismi non sarà unidirezionale ma interspecifica e intraspecifica. L’organismo, pertanto, necessiterà di comunicare con organismi di altre specie oppure della sua stessa specie per procurarsi risorse alimentari e nutritive necessarie al suo fabbisogno, alla sua regolazione interna, alla sua riproduzione e sopravvivenza.

A tal proposito, Bonfante ci ricorda che “una pianta non è un’isola” (Bonfante, 2021) ma che le piante formano delle comunità. Quando si afferma che le piante crescono da sole spesso siamo vittime del nostro modo di vedere superficiale senza pensare alla rete di interazioni che queste ultime instaurano con elementi biotici e abiotici della stessa specie o di una specie differente. Tale biocomunicazione permette alla pianta la regolazione dei suoi processi interni utili alla sua sopravvivenza e riproduzione. Questa osservazione è valida anche se pensiamo all’essere umano. Infatti, come scriveva il poeta John Donne “Nessun uomo è un’isola completo in sé stesso; ogni uomo è un pezzo del continente, una parte del tutto” (Donne, 1624). Questo significa che l’essere umano da solo non può sopravvivere ma ha bisogno di acqua, luce, aria, cibo che sono elementi abiotici fondamentali per poter vivere. Inoltre, ognuno ha bisogno di creare relazioni “intraspecifiche” con persone diverse da sé, per potersi riprodurre e garantire un futuro generazionale.

Infine, a livello globale, risulta necessario sottolineare la differenza che vi è tra la comunicazione umana e quella del mondo vegetale e animale. Negli esseri umani la parola (un insieme di onde sonore che formano i fonemi che sono la base fisica del linguaggio umano) è il mezzo di comunicazione per eccellenza. Oltre all’uso della parola, gli umani manifestano pensieri, sentimenti e parole attraverso il linguaggio del corpo, un insieme di posture, gesti, espressioni facciali e contatti oculari, nonché contatti fisici. Queste forme di comunicazione sensoriale costituiscono un tipo di comunicazione condivisa con alcuni altri membri della specie animale. Per esempio, gli esseri umani hanno la capacità di comunicare con alcuni animali domestici e allo stesso tempo di ricevere risposte da loro nonostante la diversità che contraddistingue le loro specie. (Gordon & Seckbach, 2017). Ciò che veramente caratterizza la comunicazione umana e la differenzia dalle piante secondo Negrotti è la “knowledge-based communication”, un tipo di comunicazione che include il complesso di relazioni tra stati mentali e i significati che noi diamo a questi stati mentali. “Humans express

their mental states in knowledge-based communication and the result is an artificial object whose destiny is largely independent of the intentions of the speaker” (Gordon & Seckbach, 2017, p. 102). In particolare, l’essere umano cerca di riprodurre il proprio stato mentale nella mente di qualcun altro attraverso le parole affinché l’interlocutore lo comprenda. Nonostante ciò, il ricevente non percepirà mai il messaggio nel modo esatto di chi l’ha prodotto ma tutto viene interpretato. Un aspetto importante da considerare secondo Negrotti è “il livello di osservazione” del parlante e del ricevente. Se l’ascoltatore cambia il livello di osservazione e attenzione con cui tenta di comprendere il messaggio, non sarà in grado di percepire davvero cosa il parlante voglia trasmettergli. (Gordon & Seckbach, 2017). Questo processo mentale molto complesso non si verifica nelle piante, in cui vi è un’interazione costruita sulla base chimica del loro linguaggio che approfondirò nel capitolo a loro dedicato. In questa tesi l’obiettivo è quello di andare a verificare in modo specifico le diverse tipologie di comunicazione – intraspecifica e interspecifica – tra funghi e piante e di come questo linguaggio possa essere una componente importante per i bambini in un processo di apprendimento ecologico.

Prima di addentrarsi nella specificità del biolinguaggio tra piante e funghi e di considerare come la comprensione dell’esistenza e del funzionamento di questo linguaggio possa sostenere e beneficiare lo sviluppo linguistico dei bambini, vorrei prima delineare le caratteristiche della comunicazione in quanto tale negli esseri viventi per poi focalizzare l’attenzione sull’evoluzione del linguaggio umano e come esso si differenzia per diversi aspetti che sono ritenuti unici all’essere umano, e in particolare alle sue caratteristiche cognitive e al suo modo di interpretare la realtà. Tale passaggio risulta importante in quanto, grazie a una comprensione generale dell’evoluzione del linguaggio umano (un linguaggio che deve essere appreso e allenato e che non risulta geneticamente programmato oltre a una predisposizione evolutiva alla sua acquisizione) e, in particolare, dello sviluppo del linguaggio nel bambino, possiamo meglio comprendere come il concetto della biocomunicazione possa sostenere i processi di apprendimento dei bambini, potenziando le sue capacità lessicali e narrative. Essendo un’interazione sociale tra esseri viventi e non viventi, lo studio della biocomunicazione può infatti essere introdotto in ambito scolastico a sostegno delle interazioni sociali tra i bambini. I dialoghi nascosti tra le piante e altre specie sono esempio di scambi comunicativi particolari dove i bambini possono immaginare, descrivere e costruire tali dialoghi attraverso fonemi, parole e frasi. La redazione e la realizzazione orale di questi dialoghi possono permettere ai bambini di allenare le loro capacità di espressione e narrazione

nonché di scambio comunicativo con i compagni, migliorando le loro capacità di ascolto e arricchendo il loro lessico.

#### **4.1 La biocomunicazione: dagli esseri viventi agli esseri umani**

Tutti gli esseri viventi comunicano con altri individui della loro stessa specie oppure di specie differenti. Lo scambio comunicativo avviene nel momento in cui l'organismo vivente trova un partner con cui entrare in interazione. Gli obiettivi primari di ogni essere vivente sono quelli di sopravvivere e di riprodursi e entrambi questi processi sono possibili solo attraverso l'interazione basata sulla biocomunicazione. La comunicazione è “quella fitta rete di scambi di informazioni e di relazioni sociali che coinvolgono ogni essere vivente nella vita quotidiana” (D'Amico e Devescovi, 2004, p.11). Essa si realizza all'interno di un gruppo e costituisce la base dell'interazione e delle relazioni interpersonali, prevedendo la condivisione di significati, di sistemi di segnalazione e l'accordo sulle regole sottese a ogni scambio. La capacità di comunicare è innata e tutti gli esseri viventi, compresi gli esseri umani, la possiedono istintivamente e la realizzano in modi diversi prefissati dal patrimonio genetico della specie a cui appartengono.

Negli esseri umani, ciò che caratterizza gli atti comunicativi è il mettere in relazione il piano dell'espressione, come un gesto, uno sguardo oppure una parola, e il piano del contenuto, come un'idea, un'emozione oppure un'informazione. Secondo Pierce tali piani possono essere legati da relazioni di diversa natura. In primo luogo, il piano espressivo e il piano del contenuto entrano in relazione attraverso i simboli. La relazione che lega questi due piani è arbitraria e convenzionale, ovvero è frutto di un accordo sociale all'interno di un gruppo. Un simbolo è “quanto evoca o rappresenta, per convenzione o per naturale associazione di idee, un concetto astratto, una condizione, una situazione, una realtà più vasta” (Internazionale, Il nuovo De Mauro, 2023). In breve, un simbolo è un segno, un elemento capace di evocare un significato potenzialmente infinito nella sua articolazione.

In secondo luogo, vi sono le icone. Le icone sono dei segni che presentano delle caratteristiche che rimandano direttamente all'oggetto di riferimento. La loro comprensione richiede il riconoscimento di una somiglianza. “Nelle icone l'espressione rimanda direttamente all'oggetto di riferimento in virtù della loro stretta somiglianza e talora perfetta identità di immagine” (D'Amico e Devescovi, 2004, p.12). Un esempio di icona è il segnale stradale con il simbolo di attraversamento dei binari.

Infine, vi sono gli indici. Gli indici sono “segni che si riferiscono ad un oggetto in virtù di un rapporto fisico diretto con esso ed essi sono realmente determinati da quell’oggetto” (Mele, 2005). Esempi di indici sono le espressioni facciali che rimandano a determinati stati emotivi che stiamo vivendo oppure i sintomi fisici. Negli indici esiste una relazione di contiguità spaziale e temporale tra espressione e contenuto. I simboli, le icone e gli indici fanno parte del sistema più generale dei segni.

La comunicazione non si esprime solo attraverso segni esterni prodotti e scambiati fra persone, ma il processo comunicativo esiste anche all’interno del nostro corpo. “Our cells have modes of communication which are gradually coming to light” (Dessalles, 2007, p.5). In questo processo di comunicazione intra-organismica le nostre cellule comunicano tra di loro attraverso sistemi di riconoscimento e segnali che, per esempio, ci difendono da agenti esterni e potenzialmente patogeni che loro identificano direttamente. In questo modo, gli anticorpi, nel momento in cui l’organismo viene attaccato da un virus o da un batterio da cui eravamo già stati colpiti in precedenza, attivano i loro recettori, i quali, riconoscendo l’elemento patogeno, lo distruggono, così evitando conseguenze all’organismo. Questo particolare sistema di trasmissione di informazioni costituisce un vero e proprio sistema di comunicazione basato sul biolinguaggio, paragonabile alla Wood Wide Web (comunicazione inter-organismica), che si potrebbe definire un Cell Wide Web (comunicazione intra-organismica). In entrambi i casi ciò che risulta rilevante è la fitta rete interna ricca di interazioni che, grazie a un linguaggio specifico caratterizzato da segnali, permette uno scambio di informazioni continuo utile alla difesa dell’organismo e degli organismi. Il linguaggio non è solo una caratteristica estrinseca ma nel nostro corpo vi è un continuo scambio di informazioni che ne permette l’equilibrio interno.



## 4.2. Le caratteristiche del linguaggio umano

Vi sono diverse ipotesi per quanto riguarda le origini del linguaggio umano. Alcuni studiosi ritengono che possa essere considerato un'estensione più complessa e rielaborata del linguaggio animale, mentre altri affermano che si tratti di qualcosa di totalmente nuovo, "something quite unknown in the world of animals" (Dessalles, 2007, p.3). Tale dibattito si può riassumere in due posizioni opposte. Da un lato, si pone una visione che enfatizza la discontinuità nei sistemi comunicativi umani e animali, e, dall'altra, una visione che sottolinea le somiglianze e una continuità tra i due linguaggi. A questo proposito, sono stati condotti diversi studi con l'obiettivo di comprendere quanto il linguaggio umano abbia caratteristiche specificamente umane oppure appartenga anche ad altri animali (D'Amico e Devescovi, 2004). Gli studi hanno coinvolto diverse specie di primati osservati sia nel loro habitat naturale sia in condizioni di cattività. In particolare, gli studi sui macachi giapponesi hanno permesso di aggiungere moltissime conoscenze utili alla comprensione dello sviluppo del linguaggio animale nelle sue varie manifestazioni. Tali ricerche dimostrano che i primati usano tratti temporali per distinguere vari tipi di richiamo, in modo da distinguere richiami di soggetti adulti da richiami di cuccioli isolati. Pertanto, questa specie possiede, come quella umana, "un meccanismo specializzato che identifica le vocalizzazioni sulla base di caratteristiche temporali" (D'Amico e Devescovi, 2004, p. 20). Le vocalizzazioni dei primati indicano referenti specifici: il territorio, la presenza di un pericolo, la localizzazione di cibo, l'identità di determinati predatori. Tali segnali emessi dalle scimmie permettono ai primati di adottare comportamenti specifici volti alla loro difesa o protezione del territorio (D'Amico e Devescovi, 2004; Dessalles, 2007). "When individual monkeys hear a recording of the cry indicating a predator, the reaction they have varies with the warning: if it concerns an eagle they take cover, if it is a leopard warning they take to the trees" (Dessalles, 2007, p.6).

Un ulteriore modo per indagare la relazione tra il linguaggio animale in generale e il linguaggio umano nello specifico è verificare se per alcune specie sia possibile apprendere una lingua umana. Sono stati condotti diversi esperimenti che prevedevano un'istruzione al linguaggio agli scimpanzé, ma fallirono o non raggiunsero i risultati immaginati, ovvero di insegnare ai primati a comunicare come gli umani. Di conseguenza, la maggior parte dei linguisti sottolinea che l'essere umano è l'unico animale a possedere una forma di lingua articolata come nel linguaggio umano. A questo proposito, Tomasello (1998) e altri studiosi sostengono "che ciò che impedisce alle scimmie di apprendere o inventare una lingua non è attribuibile alla mancanza di intelligenza, quanto piuttosto alla mancanza di specifiche abilità

sociocognitive di apprendimento attraverso l'interazione con gli altri" (D'Amico e Devescovi, 2004, p. 25). In altre parole, ciò che manca alle scimmie è la capacità di interpretare e di attribuire agli altri stati mentali interni, ovvero la capacità di "leggere" la mente degli altri e interpretarne i significati, "disposizione sociale che contribuisce in modo determinante allo sviluppo del linguaggio" (p.25).

Dunque, partendo dal presupposto che "our system of communication is unique among living things" (Dessalles, 2007, p.21), si possono individuare diversi aspetti per cui il linguaggio umano si differenzia dal linguaggio animale. In primo luogo, la comunicazione umana è aperta, ovvero basata su un lessico sul quale tutti possono intervenire e inventare nuove parole. Tale linguaggio deve essere appreso ed allenato al fine di poter comunicare con gli altri. La comunicazione animale è geneticamente programmata, non si evolve con segni arbitrari differenti e potenzialmente infinitamente differenziabili ma piuttosto si basa su sistemi chiusi, e non ha bisogno di essere appresa. In secondo luogo, il linguaggio umano è caratterizzato da un sistema combinatorio di segni caratterizzato da fonemi e da frasi. Una concatenazione di fonemi genera parole, e un insieme di parole genera frasi di senso compiuto. Le parole che utilizziamo non hanno un numero definito ma sono infinite, essendo la comunicazione umana basata su un sistema aperto. "Very few of the millions of sentences we speak in our lifetime are identical with one another" (Dessalles, 2007, p.23). I segni utilizzati sono arbitrari per ogni lingua, e ogni esempio di linguaggio umano è appreso con modalità e segni differenti che lo caratterizzano.

I segni che emergono in maniera più evidente e caratterizzante nel linguaggio umano sono i simboli. "I simboli linguistici sono convenzioni sociali attraverso le quali un individuo cerca di condividere con un suo simile un altro stato mentale verso qualcosa del mondo esterno o interno" (D'Amico e Devescovi, 2004, p.26). Questa dimensione mentale fornisce ai simboli linguistici una potenza comunicativa che non è verificabile in altre specie, le quali, non avendo la capacità di leggere gli stati mentali, utilizzano segnali mirati sui comportamenti o sugli stati motivazionali altrui. Inoltre, i segni della lingua umana sono influenzati e cambiano significati nel tempo anche a causa della variabilità costante del contesto che li ospita. "When the world is taken to be as it is represented by a language, the result is a culture, a society constituted by patterns of behaviour, rituals, institutions, laws, etc." (Rohr, 2014, p.443). La variabilità dei segni linguistici e dell'evolversi del contesto fa sì che si crei una cultura linguistica altrettanto variabile e condivisa all'interno di una società, in modo che tutti possano comunicare attraverso dei segni socialmente costruiti. Di conseguenza, la

comunicazione umana, rispetto a quella animale, è grammaticale, nel senso che “gli umani usano i loro simboli combinandoli insieme per mezzo di regole condivise che consentono di costruire messaggi diversi” (D’Amico e Devescovi, 2004, p.26). Questo processo avviene attraverso un’interpretazione costante della realtà, in quanto “the words and rules of an entire language are only meaningful due to thousands of years of unbroken language-based interpretation of reality” (Rohr, 2014, p.443). Il linguaggio evolve in quanto l’essere umano cerca e trova continuamente nuove interpretazioni per spiegare la realtà che lo circonda.

### **4.3. Lo sviluppo del linguaggio nel bambino**

I bambini nascono predisposti al linguaggio attraverso un lungo processo evolutivo. La comparsa del linguaggio umano nel bambino avviene insieme all’acquisizione di una serie di abilità implicate nell’uso della comunicazione. I bambini imparano a interagire con le persone che si prendono cura di loro attraverso segnali che possono attivare o modificare il comportamento dell’adulto, e si sintonizzano sui suoni del linguaggio umano, iniziando a emettere suoni sempre più vicini al sistema linguistico o ai sistemi linguistici che lo circondano. Già nelle prime ore di vita cercano di comunicare, in particolare attraverso processi di imitazione facciale come la protrusione della lingua e delle labbra (D’Amico e Devescovi, 2004).

L’apprendimento dei segnali linguistici da parte del bambino comincia quando il sistema uditivo è funzionante, già negli ultimi tre mesi di gravidanza circa. Appena nati, i neonati sono in grado di discriminare diversi suoni e tendono a dimostrare una preferenza per la voce femminile materna (De Caspar et al., 1986). Inoltre, sono in grado di differenziare parole e frasi prodotte in lingue diverse. Secondo Vygotskij (2007), nei primi mesi di vita, il *babbling* e la lallazione del bambino sono già la manifestazione di un pensiero prelinguistico che verrà gradualmente correlato al linguaggio umano. Intorno ai 10 mesi i bambini si sintonizzano sul repertorio di fonemi dei sistemi linguistici a cui si abituano e iniziano a riprodurre sistematicamente la lallazione reduplicata, cioè la “produzione di sillabe costituite dalla ripetizione della stessa consonante/vocale” (na-na da-da) (D’Amico e Devescovi, 2004, p.46). In questo periodo, imparano a controllare l’emissione di suoni, ascoltano i suoni che producono, li modificano e li riproducono per il piacere di poterli riascoltare. Inoltre, appaiono i primi gesti comunicativi intenzionali, come l’indicare un oggetto con l’indice o tutta la mano, mostrare l’oggetto in mano all’interlocutore e richiedere l’oggetto all’adulto. Gradualmente i bambini acquisiscono e imparano a usare in modo sempre più flessibile

nuove parole, arricchendo il loro bagaglio lessicale, sperimentando elaborazioni morfologiche e costruendo sintassi elementari.

Secondo Vygotskij (2007), a partire dai due anni di età vi è una fusione tra lo sviluppo del pensiero e il linguaggio umano. Contemporaneamente si sviluppa la capacità di utilizzare il linguaggio per lo sviluppo dei processi intra-mentali e inter-mentali. L'interazione sociale è il fattore essenziale per l'evoluzione di questi processi linguistici e cognitivi. Alcuni studiosi (Bruner, 1987 e Tomasello, 2003) sostengono che "l'acquisizione delle parole avviene attraverso un processo di apprendimento sociale e che è il comportamento dei genitori nell'interazione con il bambino a focalizzare la sua attenzione sulle relazioni tra suoni e significati" (D'Amico e Devescovi, 2004 p. 58).

L'arricchimento del lessico e lo sviluppo delle capacità cognitive del bambino sono fattori dei primi enunciati, delle prime frasi e gradualmente dei primi dialoghi e racconti, sia reali che immaginari. L'enunciato si definisce "una sequenza di parole che, indipendentemente dal fatto che contenga una struttura grammaticale, sia preceduta o seguita da silenzio e da un turno conversazionale" (D'Amico e Devescovi, 2004 p. 65-66). L'enunciato ha una precisa intenzione comunicativa come richieste o ordini, per esempio "Voglio quello!". I bambini comunicano attraverso enunciati che, nelle prime frasi dell'acquisizione linguistica sono monorematici (formati da una sola parola). Successivamente, verso la fine del secondo anno di vita, diventano enunciati complessi, costituiti dalla combinazione di due o più parole. Le parole spesso vengono accompagnate da gesti in particolare il gesto dell'indicare.

Il predicato verbale inizia a comparire negli enunciati infantili denominati nucleari, ovvero composti da un predicato con almeno un elemento nominale, per esempio, "Io metto chiavi". Le prime forme di ampliamento del nucleo sono costituite da aggettivi che forniscono informazioni aggiuntive, per poi estendersi a articoli, pronomi, subordinate verso la fine del terzo anno di vita, con la costruzione della frase, intesa come "una sequenza di parole dotata di significato compiuto" (D'Amico e Devescovi, 2004, p. 65).

I processi di costruzione della frase sono indicatori di sviluppo con i quali i bambini iniziano a raccontare. Diventano sempre più interessati a prendere parte alle discussioni in famiglia, portando il loro contributo. Dialoghi, racconti, storie e narrazioni di vario genere entrano a far parte sempre di più della loro esperienza quotidiana e soprattutto iniziano a voler conoscere il mondo più da vicino, domandandosi spesso "perché?". Lo sviluppo del linguaggio è anche influenzato dai contesti più o meno stimolanti in cui i bambini crescono e in cui trovano occasioni di apprendimento. Ad esempio, l'arricchimento del vocabolario e

le capacità narrative, di ascolto e di comprensione del bambino si sviluppano se sin da piccolo entra in contatto con il piacere della lettura. La lettura è fondamentale per lo sviluppo delle capacità cognitive e comunicative del bambino e il piacere di leggere è uno stato emotivo-affettivo complesso quando una narrazione coinvolge e affascina e il lettore tende ad estraniarsi e ad immergersi in una realtà altra e lontana, detta *flow experience*. La lettura risulta efficace se è dinamica e dialogica, in cui i bambini hanno un ruolo attivo e partecipano alla costruzione di significati (Blezza Picherle, 2015). Allo stesso tempo, narrazione e immaginazione si alimentano a vicenda, un processo che sta alla base di questa tesi e il suo obiettivo di fare costruire dai bambini i dialoghi della Wood Wide Web.

#### **4.4 La Wood Wide Web delle piante del bosco: un mondo invisibile di dialoghi da raccontare.**

Le piante, esattamente come l'uomo, hanno da sempre influenzato le condizioni geologiche e climatiche del Pianeta Terra grazie a un mondo invisibile, "quello che si realizza attraverso la rete di interazioni che stabiliscono con milioni e milioni di microorganismi" (Bonfante, 2021). Esse non comunicano solo con le loro simili all'interno di una comunità, bensì anche con invisibili comunità microbiche. Tali comunità, spesso affollate di specie diverse, sono regolate da leggi per convivere e strategie per competere. Le piante, pertanto, come annunciato in precedenza non crescono da sole, non sono isole ma sono in costante interazione con gli altri organismi viventi e i non viventi. Quando si passeggia in un bosco, l'insieme di alberi che lo caratterizzano sono molto di più di ciò che vediamo. "Sottoterra c'è un altro mondo, un mondo di infinite vie biologiche, che connettono gli alberi e permettono loro di comunicare e fanno sì che il bosco possa comportarsi come un unico organismo" (Simard, 2016). Uno degli obiettivi principali degli studi sulla biocomunicazione è quello di superare la *plant blindness*. Pertanto, bisogna cercare di andare oltre al visibile, al superficiale e promuovere sempre di più un'educazione ecologica consapevole di un mondo invisibile di microorganismi che si trova sotto ai nostri piedi.

Le piante comunicano tra loro e con altri organismi attraverso un sistema complesso di interazioni. La rete di connessioni che regola la comunicazione delle piante va da grandi reti (scala macroscopica) a reti molto più fini (scala microscopica). La pianta comunica grazie a delle molecole chimiche che diventano segnali. Tutti gli organismi attivano delle vie metaboliche (primarie) per ottenere l'energia necessaria per crescere, dividersi, riprodursi. La via metabolica primaria per eccellenza nelle piante è la respirazione, accompagnata dalla

fotosintesi che sintetizza gli zuccheri. Dai metaboliti primari (zuccheri) si originano i metaboliti secondari che hanno funzioni diverse. I metaboliti secondari sono molecole che poi vengono percepite da altri organismi e contribuiscono alla costruzione di ulteriori reti relazionali (Bonfante, 2021). In primo luogo, la pianta ricerca una costante comunicazione con i suoi organi: la pianta, essendo immobile, capta i segnali ambientali che dall'atmosfera raggiungono le radici e viceversa i segnali catturati nel suolo dalle radici devono arrivare alle foglie. Basti pensare a una quercia che deve trasmettere i suoi segnali dalla profondità delle radici sino alle foglie più alte. Questo processo è possibile grazie ai fitormoni: delle piccole molecole che con i loro recettori agiscono come primi mediatori delle comunicazioni interne delle piante. Tale comunicazione mediata dai fitormoni avviene a distanza e non attraverso un contatto epidermico. I fitormoni regolano i processi di crescita delle piante, interpretano i segnali esterni (luce, acqua, gravità, temperatura), e coordinano azioni che coinvolgono organi diversi. Questi ormoni inoltre sono responsabili della costruzione di reti: interconnessioni con altri organismi che la pianta mette in atto solo dopo aver instaurato una comunicazione efficace con i suoi organi (Bonfante, 2021). In secondo luogo, la pianta “linguaggia” con altri organismi quali funghi e comunità microbiche invisibili all'occhio umano (Bonfante, 2021). “Comunica con i suoi vicini, condivide cibo e scorte” (Defrenne e Simard, 2019).

Tale comunicazione si instaura per diverse necessità/fabbisogni di entrambe gli organismi che stanno interagendo. Essa può avvenire per uno scambio di sostanze nutritive quali carbonio, azoto, fosforo e acqua, oppure può manifestarsi attraverso segnali di difesa dei composti emessi dagli ormoni.

Questa dimensione biocomunicativa nel mondo vegetale rappresentata come una rete di interazioni è paragonabile al World Wide Web delle comunità umane in cui si vive in costante interazione e connessione soprattutto al giorno d'oggi grazie alle nuove e performanti tecnologie. Simard definisce la fitta rete di interazioni tra le piante come la Wood Wide Web. Tale acronimo WWW “rappresenta proprio uno dei canali di comunicazione tra le piante e può idealmente collegare tra loro tutti gli individui vegetali di un intero bosco” (Anaclerio, 2021). Tali relazioni sono molteplici. Possono essere relazioni simbiotiche che portano beneficio a entrambe gli elementi in relazione, oppure possono essere relazioni pericolose come nel caso delle piante a contatto con i batteri. Nello specifico, la Wood Wide Web è un'espressione usata dagli scienziati per indicare la fitta rete di interazioni

sotterranee tra funghi e piante, note come micorrize che verranno analizzate nel capitolo successivo.

#### **4.5 Le interazioni interregno pianta-fungo**

I funghi sono l'aggregazione di microscopiche cellule allungate a forma di tubo (ife) che nel loro complesso formano il micelio. Le relazioni tra piante e funghi ci fanno capire la storia evolutiva delle piante, ci aiutano a vedere come molti ecosistemi vegetali dipendano dalle interazioni sotterranee, ma anche come queste simbiosi possano aiutare ad attuare un'agricoltura più sostenibile. I funghi sono considerati come un regno dei viventi a sé. Non sono organismi fotosintetici ma hanno bisogno di usare fonti di carbonio ridotto per il loro metabolismo che ricavano dalle piante. Essi hanno però una grande capacità di interagire con i verdi della terra. Da un lato, vi sono funghi che trovano fonti di carbonio nella pianta necessarie al loro metabolismo (funghi simbiotici). Dall'altro vi sono specie di funghi patogeni che invece danneggiano la pianta (Bonfante, 2021).

L'interazione tra la pianta e i funghi patogeni non è una comunicazione a distanza come nel caso del funzionamento dei fitormoni ma è un'interazione fisica, di contatto, che a sua volta permette un'interazione chimica. Il fungo entra in contatto con la pianta attraverso l'epidermide delle foglie o delle radici, a scopo prevalentemente nutrizionale (Figura 13). Infatti, il fungo, non svolgendo la fotosintesi, va a caccia di carbonio ridotto necessario alla sua sopravvivenza. L'epidermide è il tessuto vegetale di interfaccia tra il corpo della pianta e l'ambiente. Una volta superata tale barriera il fungo può entrare in profondità nella pianta. In un certo senso è come se il fungo dovesse sedurre la pianta. A sua volta la pianta nonostante sia immobile, non produca anticorpi e non abbia alcun sistema nervoso, adotta delle tecniche di difesa ben precise. Essa riconosce l'attacco del nemico grazie a dei recettori sulla superficie della cellula e di conseguenza mette in atto diverse tecniche di difesa. Le difese meccaniche fanno parte delle strutture esterne alla pianta come aculei e spine. Le difese chimiche prevedono la creazione di composti chimici prodotti dalla cellula e rilasciati sulla superficie dell'epidermide della pianta (resine, cere).

Questa relazione di contatto tra fungo e pianta avviene ad esempio quando sulle piante morte appaiono funghi a "mensola". Esse indicano che la pianta non è in salute e che le ife del fungo si sono già diffuse all'interno dell'albero danneggiando la cellulosa. Questi funghi "mensola" degradano completamente la pianta ma sono anche considerati gli spazzini del nostro ecosistema in quanto degradano i composti della parete cellulare della pianta

(Bonfante, 2021). Senza la presenza di questi funghi saremmo sepolti dai resti delle piante morte.

La seconda tipologia di relazione che si instaura tra pianta e fungo è una relazione simbiotica. “La simbiosi è una specialità particolarmente marcata nei funghi che in questo modo riescono a interagire con i batteri, protisti, animali e piante” (Bonfante, 2021, p.79). La sopravvivenza degli organismi viventi infatti dipende molto dalla loro capacità di interagire con gli altri. La simbiosi permette agli organismi di evolvere e sopravvivere in ambienti anche sottoposti a stress e garantisce un buon successo ecologico (Bonfante, 2021)

Nei capitoli precedenti abbiamo definito la simbiosi come “un’interazione interspecifica protratta dove due o più specie vivono insieme in un’intima convivenza” (Cunningham & Cunningham, 2007; Smith & Smith, 2013). Il risultato dell’associazione tra le specie può essere positivo, negativo o neutrale. In alcuni casi di simbiosi entrambe le specie coinvolte traggono beneficio, come nel caso del mutualismo. In altre invece una specie trae beneficio a spese dell’altra come nel caso del parassitismo. Nel caso del commensalismo una specie è favorevolmente influenzata da un’altra, ma quest’ultima rimane neutrale, ovvero non è né danneggiata né favorita. In questa parte ci concentreremo sulle interazioni mutualistiche tra pianta e fungo. Ovvero in quella “forma di interazione vantaggiosa tra membri di due specie che arreca beneficio ad entrambe le parti coinvolte” (Smith & Smith, 2013). Il primo esempio di simbiosi mutualistica si verifica con i licheni.

Il lichene è formato da un’associazione tra fungo e alga (Figura 14). Tale associazione porta a una metamorfosi dei due partner che originano la struttura fogliosa, crostosa e ramificata che si definisce tallo. Il fungo grazie alle sue ife forma un particolare tessuto che limita la faccia superiore e quella inferiore mentre l’alga si dispone tra i due strati fungini o in mezzo alle ife. L’alga è responsabile della fotosintesi e permette ai funghi di sopravvivere anche in ambienti ostili. L’associazione lichenica è quindi fortissima da un punto di vista ecologico perché è autosufficiente. Fissa il carbonio, fissa l’azoto mentre i partner fungini danno protezione ed elementi minerali. Per questo i licheni si trovano là dove non c’è altra forma di vita perché si autogestiscono. Inoltre, vivono in qualsiasi condizione perché possono sopravvivere anche in mancanza di acqua. Il punto di debolezza che caratterizza i licheni sono gli inquinanti atmosferici. Infatti, essi tendendo a scomparire nelle aree urbane (Bonfante P., 2021).





Figura 13: Parrino N. Coreografiche Mensole



Figura 14: Lichene su roccia

Le simbiosi micorriziche sono il secondo esempio di simbiosi mutualistica. La parola *myko-rhiza* significa letteralmente *fungo-radice* (Simard, 2016). “Le micorrize rappresentano l’esempio più importante di simbiosi, ovvero di rapporto di reciproco vantaggio tra due organismi: da una parte, la pianta *dona* al fungo parte degli zuccheri prodotti con la fotosintesi; in cambio, il fungo, che nel suolo ha una struttura estremamente filamentosa (un filamento fungino è detto *ifa*), penetra ed esplora il terreno captando quei sali minerali e composti azotati di cui la pianta ha bisogno, consegnandoli direttamente alle radici” (Anaclerio, 2021). “Micorriza descrive una simbiosi mutualistica sotterranea che risulta dall’associazione tra funghi (simbionti) del suolo e le radici di molte piante” (Bonfante, 2021, p.99). Pertanto, a differenza della simbiosi lichenica, tale simbiosi è ipogea ovvero sotterranea (non è visibile all’occhio umano).

Questi funghi micorrize hanno numerose ramificazioni dette ife che formano il micelio. Il micelio si espande molto di più rispetto al sistema delle radici mettendo in comunicazione le radici di diversi alberi. Queste connessioni formano reti di micorrize (Figure 15 e 16). Attraverso queste reti i funghi possono far circolare risorse quali carbonio, fosforo, acqua e nutrienti e inviare dei segnali agli altri alberi. Gli alberi più anziani hanno connessioni micorriziche più ampie. Un esempio di comunicazione micorrizica è il trasporto degli zuccheri da un albero più anziano a uno più giovane. Il viaggio dello zucchero inizia attraverso la sua produzione grazie alla fotosintesi sulle foglie degli alberi. Lo zucchero, che è fonte essenziale di vita per la pianta, si propaga sotto forma di linfa lungo tutto il tronco sino alle radici. Quando gli zuccheri entrano nel fungo si propagano attraverso le ife. Il fungo assorbe parte dello zucchero, ma la restante parte si propaga ed entra nelle radici di un albero vicino. Ad esempio, un albero che cresce all'ombra di una grande chioma ha meno possibilità di fotosintetizzare gli zuccheri e quindi riceve aiuto dalle reti micorriziche.

Questi funghi simbiotici fanno circolare tra gli alberi una grande quantità di informazioni. Attraverso la rete ife-radici avviene infatti la redistribuzione e il controllo del ciclo dei nutrienti tra le piante, nonché lo scambio di ormoni e di composti chimici (Anaclerio, 2021). Inoltre, grazie alle micorrize, gli alberi sanno se le sostanze vengono o no da un membro della loro specie o da un parente stretto, comunicano e si inviano segnali anche di fronte a eventi negativi quali gli attacchi di insetti attraverso uno scambio di ormoni. In questo modo le micorrize producono degli enzimi protettivi e anticipano le minacce.

La salute di una foresta pertanto dipende da queste comunicazioni intricate che hanno come effetto il benessere dell'ecosistema boschivo. Essendo tutto interconnesso ciò che colpisce in modo positivo o negativo una specie può colpire anche le altre (Simard e Defrenne, 2019). Questo tipo di simbiosi dimostra come esista veramente una Wood Wide Web, una rete sotterranea che si occupa della salute di tutto l'ecosistema. “Le micorrize coinvolgono un numero esplosivo di specie vegetali, più di 300.000 specie vegetali sulle 390.000 identificate ad oggi” (Bonfante, 2021 p.102).

Le piante fanno tutto questo attaccate al terreno senza parlare, o muoversi. Il segreto del loro successo sta sotto ciò che ai nostri occhi risulta invisibile ma c'è ed è presente ovunque. Quello che noi possiamo vedere a occhio nudo è il risultato della simbiosi: il corpo fruttifero del fungo. Quello della Wood Wide Web è senz'altro uno degli ambiti più affascinanti della moderna ricerca forestale e la sua comprensione potrebbe aiutarci a tutelare meglio l'ecosistema boschivo e a proporre un nuovo tipo di didattica in ambito ecologico. Una

didattica che non si fermi al visibile ma che sondi anche l'invisibile attraverso esperienze concrete e la costruzione di dialoghi e racconti.



Figura 15: Defrenne C. e Simard S. Micorrize e micelio – The secret language of trees, 2019



Figura 16: Defrenne C. e Simard S. Reti micorriziche che comunicano con altri alberi -The secret language of trees, 2019

## **CAPITOLO 5 – UN PERCORSO NELLA WOOD WIDE WEB DAL VISIBILE ALL’INVISIBILE**

Il contesto all’interno del quale ho realizzato il progetto è in una piccola scuola di montagna nel comune di Valtournenche, Breuil-Cervinia a 2050 metri di altitudine. In particolare, il percorso proposto è stato rivolto a una classe terza della scuola primaria composta da dieci alunni. Il progetto è trasversale e abbraccia più discipline. In particolare, il focus è sulle discipline ecologiche e scientifiche ma si estende anche a quelle letterarie come italiano, arte, tecnologia e educazione civica. Il progetto si è svolto sia negli spazi interni della scuola (aula, laboratorio di pittura, atrio) sia all’esterno attraverso un’esplorazione diretta del bosco accompagnata dalla realizzazione di attività che vogliono essere esemplificative, costruttive e il più possibile vicine alla realtà e all’immaginazione dei bambini. Lo sviluppo del progetto si basa sulla metodologia della ricerca-azione con quattro fasi che comprendono cicli di pianificazione, azione, osservazione e riflessione (Dodman, 2000).

### **5.1 Il brainstorming e la realizzazione dell’albero maestro**

La prima fase del percorso ha iniziato con un brainstorming collettivo funzionale a stimolare i prerequisiti e le preconcoscenze dei bambini attraverso una domanda specifica: “Che cosa vediamo quando osserviamo una pianta in un bosco?”. Per ogni risposta data il bambino ha disegnato su un grande cartellone bianco la parte della descrizione raccontata. Ad esempio, se un bambino ha risposto “Vedo il tronco”, ha poi disegnato il tronco sul cartellone e così via con gli altri alunni. Accanto, alla parte disegnata dall’alunno, ho incollato un post-it con la risposta scritta. Al termine si è formato un grande albero maestro composto dalle risposte di tutti.

Durante questa prima fase di verifica dei prerequisiti e mobilitazione delle preconcoscenze, i bambini hanno da subito mostrato interesse e i loro interventi sono risultati ricchi di contenuti che acquisivano sempre di più una dimensione di profondità e specificità. Viste le molteplici risposte (sia in forma individuale che corale) e l’entusiasmo incalzante dei bambini, diversamente da quanto avevo previsto nella pianificazione, ho scritto i riscontri sulla lavagna e solo successivamente ho riportato il tutto sul cartellone. Di seguito le risposte dei bambini alla domanda “Che cosa vediamo quando osserviamo una pianta in un bosco?": “foglie, fiori, radici, terra, rami, tronco, chioma, pigne, neve, resina, funghi, tane, alveari, formiche, corteccia, scoiattoli, linfa, muschio, cespugli”. Ho cercato di valorizzare ogni risposta dei

bambini aiutandoli a contestualizzare a quale tipo di pianta stessero pensando, in quale stagione, in quale luogo (montagna, mare, città). I bambini hanno deciso di legare questi elementi alle piante che vedono in estate quando camminano in montagna. A partire dalle loro considerazioni, ho proposto una riflessione: “Tutti questi elementi sono visibili o invisibili? Li potete vedere con i vostri occhi?”. Alla domanda P. risponde “La linfa no perché è tipo un liquido che gira dentro la pianta e noi non la possiamo vedere” e S. aggiunge: “si possiamo vedere quasi tutto ma le radici poi si nascondono sotto la terra”. A partire da queste risposte ho proposto una prima riflessione considerando che se osserviamo una pianta noi vediamo solo ciò che è esterno ma all’interno in realtà c’è un “mondo nascosto” che è vivo anche se non lo vediamo e arriva fino alle radici più profonde. Pertanto, ho chiesto ai bambini: “Per crescere, per nutrirsi, per far sì che le sue foglie crescano, secondo voi la pianta è veramente ferma come ce la immaginiamo?”. S. risponde: “o magari crescono le radici e l’albero diventa più alto”.

A questo punto ho invitato i bambini a realizzare su un grande cartellone il loro albero maestro che hanno costruito grazie alle loro risposte e ai loro interventi (Figura 17). A ogni bambino è stata affidata una o più parti da disegnare. Successivamente, hanno colorato il loro elaborato con matite e pennarelli. La difficoltà maggiore che inizialmente ho riscontrato è stata quella di gestire i turni di disegno essendo che tutti allo stesso momento volevano prendere parte all’attività. Pertanto, ho proposto ai bambini di dividersi in tre gruppi da tre in cui ognuno si sarebbe occupato di una parte: il prato e le radici, la parte centrale del tronco con tutti i diversi elementi da inserire e infine il capo dell’albero con i rami le foglie ecc.. I bambini sono stati molto entusiasti del lavoro svolto ma sono rimasti con un dubbio finale: “Come possiamo realizzare la terra senza coprire le radici?”. Dopo vari tentativi di risposta e aver escluso pennarelli, matite e tempere, abbiamo deciso che la terra l’avremmo realizzata con dei semini o con della polvere di caffè per dare un tocco di sensorialità al nostro albero. Accanto all’albero maestro, abbiamo scritto una legenda per fare memoria di tutti gli elementi che erano emersi durante la discussione.



Figura 17: L'Albero Maestro

In questa prima fase i bambini hanno appreso che la pianta non è un elemento naturale statico. Essa presenta elementi visibili e che possiamo percepire attraverso i sensi ed elementi invisibili che stanno in profondità ma che esistono. Inoltre, i bambini hanno cercato di concettualizzare e schematizzare tutti gli elementi trovati, di rielaborarli e di riprodurli attraverso il disegno, hanno trovato strategie per collaborare, per condividere il lavoro da svolgere e organizzare lo spazio. Durante lo svolgimento di questa prima parte ho cercato sempre di gestire in modo efficace il dibattito dei bambini andando a valorizzare ogni risposta e cercando di trovare dei nessi. Inoltre, ho modificato la mia programmazione in corso d'opera dividendo in piccoli sottogruppi i bambini (a partire dalla parte che preferivano realizzare sull'albero) per una migliore organizzazione.

## 5.2 Il gioco: la rete ecologica delle piante

Attraverso la strategia del *circle time* e usufruendo della rappresentazione grafica del grande albero maestro, ho ripreso insieme ai bambini l'esperienza e le riflessioni della scorsa lezione soprattutto sottolineando che la pianta non è totalmente immobile ma dentro di lei c'è un mondo nascosto che noi non vediamo. Osservando l'albero maestro realizzato mi sono focalizzata sul come i bambini abbiano disegnato le radici. Esse, infatti, si presentano molto intrecciate, di colori e dimensioni diverse e soprattutto sono molteplici. A partire da queste considerazioni, propongo il gioco della "rete ecologica".

Nel gioco ho tenuto in mano il capo del gomitolo, pronunciato la frase "Una pianta per vivere ha bisogno di..." e aggiunto una parola di mia scelta come cura, sole, acqua, terra, pioggia, vento, ecc. La parola è stata scritta su un pezzo di scotch di carta e incollata sul petto. Successivamente, tenendo il capo del gomitolo, ho lanciato la matassa a un bambino che a sua volta ha ripetuto la frase e aggiunto un elemento che viene scritto sullo scotch e incollato sul petto. A sua volta il bambino ha tenuto una parte di filo e lanciato il gomitolo a un compagno e così via. Dopo un po' si è formata una vera e propria ragnatela costruita dal contributo di tutti in cui ogni elemento rimanda a un bisogno della pianta.

I bambini hanno partecipato con interesse e sono emersi degli elementi interessanti:

- D.: "Una pianta per vivere ha bisogno di acqua".
- P.: "Una pianta per vivere ha bisogno di zucchero". Successivamente ho chiesto: "A cosa gli serve lo zucchero? P. "Per crescere più veloce".
- C.: "Una pianta per vivere ha bisogno di sali minerali".
- S.: "Una pianta per vivere ha bisogno di cibo".
- T.: "Una pianta per vivere ha bisogno di terra".
- F.: "Una pianta per vivere ha bisogno delle radici".
- A. "Una pianta per vivere ha bisogno di ...". (A. ha avuto bisogno di incoraggiamento e supporto dai compagni, è un bambino che va spesso in agitazione quando deve parlare in pubblico). A. "... è che mi sto confondendo con tutte le cose che hanno detto". Alla fine, gli è stato suggerito da una compagna "ossigeno".
- S. "Una pianta per vivere ha bisogno di sole".
- G. "Una pianta per vivere ha bisogno delle foglie perché gli da aria".

Dopo la risposta di ogni bambino si è formata una rete molto fitta di intrecci in cui ognuno di noi rappresentava un elemento di vita per la pianta e pertanto abbiamo affermato che siamo in equilibrio perché il filo è ben teso. A un certo punto ho lasciato il filo e ho chiesto

“Visto che ognuno di noi è un elemento che serve alla pianta per vivere, cosa succede se una parte di questo filo cade o non c’è?”. Le risposte sono state: “un pezzo se né andato”, “si è rotta la vita”, “vuol dire che una parte della vita muore, se ne va via”. Ho rielaborato le risposte e fatto notare che se una parte del filo cade o viene lasciata tutta la rete automaticamente non è più in equilibrio ma manca di qualcosa. La discussione successiva ha messo in evidenza che la pianta senza ogni nostro “ingrediente” non può sopravvivere; quindi, deve procurarsi questi elementi facendosi aiutare da altre piante attraverso le radici. “Come quelle che abbiamo disegnato!” esclama un alunno. Tali radici sono l’intreccio di fili che abbiamo realizzato. S. durante la discussione, con espressione dubbiosa, ha affermato che “le radici di una pianta vanno in circolazione con altre radici” e Giada aggiunge “quindi sono tutte collegate” (Figura 18).

A questo punto, cambiando quello che inizialmente avevo pianificato, ho deciso di riproporre il gioco ma ogni bambino ha scelto di darsi un nome in codice legato alla caratteristica della propria pianta: “pianta-sole”, “pianta-terra”, “pianta-zucchero” ecc. Dopo aver formato la rete dell’intreccio di radici in cui i bambini, anziché lanciare il filo chiamando il compagno per nome, lo chiamavano con il suo “codice”, abbiamo lasciato i capi in contemporanea: abbiamo notato che senza quegli elementi non avremmo potuto vivere e che ogni bambino-pianta aveva bisogno dei propri vicini e delle radici altrui. Pertanto, ogni bambino, osservando gli intrecci che iniziavano dal capo del suo filo, ha fatto i nomi dei compagni a cui era legato: S. ha bisogno di P. e A., P. ha bisogno di G., e così via. Un bambino ha collegato il tema delle relazioni tra le piante proponendo un esempio nell’ambito dell’amicizia a scuola. Egli ha affermato che “a scuola non si può andare senza amici”.

Attraverso il gioco proposto i bambini hanno esplorato e si sono avvicinati a due aspetti fondamentali del concetto di biocomunicazione. Hanno appreso che la pianta instaura delle relazioni con gli elementi biotici e abiotici necessari alla sua sopravvivenza. Inoltre, hanno sperimentato che in un ecosistema bosco le piante non sono sole ma comunicano tra di loro attraverso una fitta “rete ecologica” di radici che permette un continuo scambio di informazioni. Durante questa seconda fase, ho cercato di avvicinarmi sempre di più al concetto di biocomunicazione. Il filo rosso è risultato uno strumento molto efficace perché metteva in evidenza i diversi intrecci che man mano si costruivano grazie al contributo dei bambini. Essi non hanno esitato dal ripetere più volte che questi intrecci assomigliavano alle radici del loro albero, le quali erano “incasinate”.





Figura 18: Gioco della rete ecologica

### 5.3. L'esplorazione sul campo: costruiamo la nostra wood wide web

La fase successiva è stata quella di ricostruire e di immaginare quegli intrecci tra radici realizzati nell'atrio della scuola in un ecosistema bosco. Per realizzare questa attività ho utilizzato diversi materiali: una corda lunga 40 metri c.a., dei taccuini, materiale di cancelleria, dei nastri rossi e un registratore.

La peculiarità del contesto in cui ho svolto la mia sperimentazione mi ha permesso di accompagnare i bambini nel bosco accanto alla scuola. In particolare, siamo stati presso "l'area attrezzata Breuil": un'area pique-nique libera per turisti e bambini adiacente ad un bosco da cui si diramano diverse passeggiate, tra cui il percorso della "Gran Balconata del Cervino" (Figure 19 e 20). Questa zona è spesso frequentata dai bambini in quanto con le insegnanti ci si reca più volte a giocare sia nella stagione invernale che nella stagione estiva. Nelle uscite precedenti, ho colto l'occasione per osservare ed esplorare il bosco circostante in modo da individuare una zona adatta per la sperimentazione. Durante l'esplorazione era già presente parecchia neve vista la quota del paese (2050 metri circa) e l'inizio della stagione invernale. Ho proposto ai bambini due tipi di esplorazioni con differenti richieste.

Durante la prima esplorazione, più generica, i bambini dovevano tenere a mente questa domanda guida: "Quali elementi in più ho visto/notato durante l'esplorazione del bosco e delle piante rispetto a quelli trovati in classe? Tutti gli elementi nuovi trovati dai bambini dovevano essere segnati su un piccolo taccuino fornito dall'insegnante. I bambini erano liberi di muoversi all'interno della zona di bosco individuata e potevano sia esplorare ciò che osservavano sul sentiero innevato sia uscire dai confini e "immergersi" nella neve (Figure 21

e 22). Tutti erano attrezzati con moon boot e abbigliamento invernale. Alcuni bambini, non si sono fermati all'osservazione ma hanno "scavato" accanto agli alberi per vedere se trovavano qualcosa di nuovo.



Figura 19: Area pique nique Breuil



Figura 20: Bosco adiacente l'area pique nique



Figura 21: Osservazione delle piante



Figura 22: Osservazione delle piante

Di seguito, riporto alcuni appunti presi dai bambini sui loro taccuini (Figura 23):

CORTECCIA NERA  
 MARRONE LUCIDA  
 NERBAGIALLA  
 PACCHE

SAMOE L  
 GLI ALBERI  
 POSSONO  
 CRESLERE  
 SULLE PIETRE  
 (IMPRONTE)  
 (LICHENE) (MUSCHIO)  
 \*(UCCELLI STRANI NERI)  
 (I RAMI SI  
 INTERSECANO)

NEVE RAMI PIGNE  
 LICHENE BACHE\*  
 SEMBRANO FRAGOLE\*  
 GIADA

ALBERI  
 IL LICHENE  
 È UNA SPECIE  
 DI FUNGO.  
 INOLTRE  
 IL LICHENE È  
 UN PIATTO PRE  
 LIBATO PER I  
 CORVI

Figura 23: Appunti sui taccuini dei bambini

Come si può notare, alcuni elementi sono stati riscritti in quanto già esplorati durante la prima fase, ma sono state aggiunte delle caratteristiche in più quali: “corteccia nera/marrone, erba gialla, i rami si intersecano”. I nuovi elementi che sono emersi sono stati: le bacche, le impronte nella neve, uccelli strani neri. Durante questa esplorazione abbiamo anche trovato “degli strani puntini verdi sulle piante” e sulle pietre non coperte dalla neve. Ho colto tale occasione per spiegare loro cosa fossero e abbiamo imparato un nuovo termine “licheni”. D. ha anche aggiunto che “il lichene è un piatto prelibato per i corvi (Figura 24). Inoltre, S. ha notato che “Gli alberi possono crescere sulle pietre”. Questa è stata un’osservazione

interessante in quanto sia S. che D. hanno preso nota di un legame tra elementi biotici e abiotici.



Figura 24: Lichene su roccia

Durante la seconda esplorazione, ho chiesto ai bambini se le piante intorno a loro sono sole oppure hanno dei vicini. I bambini hanno risposto in coro che sono insieme e sono una vicina all'altra. Pertanto, ho fatto un rimando al gioco svolto nella fase precedente in cui ogni bambino accanto all'altro dava il proprio contributo a mantenere la rete ecologica e, se qualcuno avesse lasciato il filo, tutto si sarebbe sciolto. Dopo questa ripresa, ho invitato i bambini a creare una Wood Wide Web come una rete ecologica (immaginaria sotterranea) tra le diverse piante precedentemente osservate. La prima rete di interazioni è stata costruita in una parte piana del bosco (fuori dal sentiero). Ho fornito loro una corda e dei nastri rossi e chiesto loro come vogliono procedere. P. ha risposto che “possiamo fare come in classe che ci lanciamo la corda come il gomitolo”, mentre qualcuno si presenta preoccupato perché non sa come legare la corda all'albero, qualcuno non riesce a comprendere l'utilizzo dei nastri rossi. Visti i numerosi dubbi, ho chiesto loro di osservare il colore della corda e quello del panorama. S. ha risposto “la corda è bianca e la neve è bianca” e G. ha continuato “allora i nastri rossi servono a far vedere meglio la corda”. A questo punto i bambini hanno iniziato a creare la rete ecologica (Figura 25). Qualcuno ha tenuto la corda, altri hanno mostrato diversi tipi di nodi e proposto di fare “più giri intorno a un albero”, qualcuno si è occupato di mettere i nastri rossi per segnalare il passaggio della corda. I bambini, dopo diverse discussioni, hanno scelto un albero maestro che desse vita a tutti gli altri. Hanno deciso di fare un nodo solo a questo abete così “stava ferma la corda” e di “girare intorno agli altri alberi”. Poi hanno legato circa 5- 6 piante. Inizialmente, il procedimento è stato complesso in quanto la corda,

molto lunga, era difficile da gestire tutti insieme. Spesso veniva calpestata e si creavano dei nodi. Inoltre, si sprofondava nella neve e l'equilibrio era precario. Ho lasciato che i bambini se la cavassero da soli, e, dopo aver snodato la corda più volte, sono riusciti a creare la loro prima rete ecologica. Successivamente, prima di creare una seconda rete, ho mostrato loro come doveva venire usata la corda: due bimbi che tengono la matassa e gli altri la tirano in base a quanta ne serve come per il gomitolo di lana. Ho proposto loro di fare a turno: per ogni albero in cui si voleva creare un legame avrebbero collaborato quattro bambini e poi si faceva cambio.







Figura 25: Intrecci intorno ai tronchi

Abbiamo costruito la seconda rete di interazioni in una parte più fitta di bosco. In particolare, vi erano molti più rami e arbusti intricati che rendevano il passaggio della corda più complesso. In questa occasione, hanno saputo usare meglio la corda ma i passaggi impervi ci hanno permesso di legare solo tre alberi e un grande ramo caduto a terra (Figura 26 e 27).



Figura 26: Squarci della Wood Wide Web



**Figura 27: Intrecci impervi nella Wood Wide Web**

Al termine della costruzione delle due Wood Wide Web ho scattato qualche foto e ho fatto un'intervista finale (breve valutazione formativa) ai bambini (Figura 28) immedesimandomi in una giornalista e chiedendo loro “Che cosa hai imparato da questa esperienza? Da questi intrecci tra le diverse piante?”

P.: “Che le piante non sono mai sole e che vivono insieme e non si nutrono da sole ma si nutrono insieme dall'albero maestro, l'albero che ha più cose del mondo”.

S.: “Che gli alberi hanno tutte le radici attaccate anche se non sembra, perché io non sapevamo che avevano tutte le radici attaccate”.

D.: “Che le piante vivono collettivamente che una chiede aiuto all'altra e che sono collaborative”.

S. (dopo un po' di esitazioni e timidezza): “Che le piante sono insieme ad un albero, l'albero maestro che gli dà zuccheri acqua Sali minerali.”

G.: “Che le piante si comunicano per avere delle cose per vivere”.

N. non ha voluto rispondere e si è nascosto. È un bambino molto timido. Pertanto, gli ho proposto che, se avesse voluto, avrebbe potuto scriverlo sul suo taccuino e darmelo nelle lezioni successive.





**Figura 28: I bambini della classe terza del Breuil**

Credo che questa parte di esplorazione sul campo sia stata fondamentale per la realizzazione dell'intero progetto. In primo luogo, i bambini hanno potuto osservare le piante da vicino, approfondire la loro osservazione e ampliare il loro sguardo in un contesto a loro molto familiare e frequentato quasi quotidianamente. Ne è scaturita una riflessione su elementi che nei contesti abituali del nostro vivere quotidiano solitamente non notiamo o non approfondiamo gli aspetti che lo caratterizzano. Spesso l'abitudine, il vedere ogni giorno le stesse cose, le stesse persone, gli stessi luoghi mette in moto dei comportamenti e dei modi di vedere la realtà che diventano abituali e che non stimolano più la nostra curiosità e la

ricerca di qualcosa di nuovo. Diversamente, quando incontriamo nuovi contesti, come potrebbe avvenire per un bambino di città che non ha mai visto la neve, siamo maggiormente attratti in quanto vogliamo scoprire da dove viene, come è fatta, a cosa serve, ecc. Pertanto, uno degli obiettivi trasversali dell'intero progetto è proprio quello di stimolare costantemente la curiosità dei bambini, di fargli maturare una nuova prospettiva e un nuovo modo di osservare il bosco e il mondo attraverso uno sguardo più incisivo, che vada oltre il "vedere" di tutti i giorni e che promuova uno scenario personale e diverso per ciascuno di noi arricchito delle nostre competenze e dai mille modi di vedere il mondo. In breve, volevo andare oltre quella proposta formale, statica e nozionistica di ecosistema troppo spesso tipica della scuola, per promuoverne una forma dinamica, in movimento che veda al centro i bambini alla scoperta dell'ecosistema stesso.

In secondo luogo, i bambini hanno potuto immedesimarsi nella rete di interazioni tra gli alberi attraverso la costruzione della loro Wood Wide Web. Nonostante le interazioni siano state create in superficie, per ovvi motivi, dalle risposte all'intervista è possibile notare che i bambini hanno appreso il concetto di biocomunicazione come un'interazione che non avviene solo in superficie ma che appartiene principalmente a un mondo sotterraneo. Tutti, nonostante abbiano ascoltato le interviste dei compagni, hanno usato parole differenti per raccontare cosa avessero appreso da questa esperienza: "le piante vivono insieme", "hanno tutte le radici attaccate anche se non sembra", "vivono collettivamente e sono collaborative", "si comunicano per avere delle cose per vivere". Queste parole rimandano tutte al concetto di interazione, di scambio di informazioni, di relazioni, di vita, di comunicazione e sono potenti indicatori sia del lavoro svolto dai bambini sia della loro capacità di rielaborare le informazioni in forma orale. Inoltre, hanno messo a frutto le loro competenze civiche e anche di tecnologia, in quanto hanno imparato a manipolare un nuovo materiale come la corda, hanno trovato nuovi significati a oggetti che venivano solitamente usati per attività artistiche (i nastri rossi), hanno approfondito e messo a frutto le loro capacità collaborative e di suddivisione dei lavori in cui ciascuno aveva un ruolo. Ognuno ha condiviso con gli altri le proprie competenze e ha contribuito alla creazione della rete ecologica.

Durante la realizzazione di questa fase del progetto, ho modificato la mia pianificazione. Inizialmente, avrei utilizzato il filo di lana, ma mi sono resa conto che si sarebbe spezzato più facilmente e soprattutto non sarebbe risultato facilmente manipolabile con i guanti nella neve. Pertanto, ho deciso di prendere una corda, ma avendola trovata solo di colore bianco e rosso ho tagliato dei nastri di panno rosso in modo da avere delle bandierine di

segnalazione per rendere più visibile il passaggio della corda tra gli alberi. Inoltre, avevo previsto un'unica realizzazione della rete ecologica ma, vista la peculiarità del luogo, ho deciso di fargliela provare in due posti differenti: un luogo più semplice, in una zona piana, e un luogo più “impervio” (ma non pericoloso) con arbusti e rami che disturbavano l'avvicinamento agli alberi a cui i bambini erano interessati. Ho fatto questa scelta per far comprendere ancora meglio ai bambini come il bosco non sia uniforme ma come possa cambiare a seconda delle specie che vi abitano e alla conformazione del territorio. Infine, nella mia pianificazione, non avevo previsto questo “gioco-intervista” finale della giornata ma avrei chiesto ai bambini di manifestare le loro riflessioni in classe. Diversamente, ho deciso di raccogliere le loro impressioni “a caldo” sia per far rielaborare ai ragazzi l'esperienza vissuta sia per svolgere una valutazione formativa. Durante l'esperienza ho incontrato anche alcune difficoltà. Ad esempio, inizialmente, i bambini volevano giocare con la neve prestando poca attenzione a ciò che stavo dicendo. Dal momento in cui gli ho regalato il “taccuino di esploratore” l'attenzione è stata maggiormente focalizzata sul compito e si sono sentiti coinvolti nell'esperienza. Inoltre, non avevo tenuto conto delle difficoltà che avrebbero potuto riscontrare nell'utilizzo della corda. Durante la prima costruzione della rete si erano formati diversi nodi dati dal calpestare continuo della corda e dai bambini che volevano averne possesso. Ho deciso di lasciarli in autonomia e di vedere come uscivano dalla situazione. Con non poca difficoltà e qualche litigio sono riusciti a sciogliere gli intrecci. Solo successivamente, prima della seconda rete, ho spiegato loro l'utilizzo più semplice e manipolabile della corda.

#### **5.4 I dialoghi del nostro ecosistema bosco**

In questa fase finale del percorso i bambini sono stati invitati a realizzare il loro ecosistema bosco a partire da tutte le esperienze vissute in particolare focalizzandosi sulle relazioni e sul fitto sistema di intrecci che il bosco instaura con gli elementi biotici e abiotici che lo abitano. L'esecuzione di quest'ultima parte è stata divisa in due fasi differenti.

Nella prima fase i bambini sono stati invitati a disegnare su un foglio A3 gli elementi biotici e abiotici di un ecosistema bosco, focalizzandosi sia su ciò che hanno imparato durante l'esperienza in classe e l'uscita all'aperto sia utilizzando la loro fantasia. Gli alberi, le pietre, i cespugli, il sole, gli animali, ecc. potevano essere personificati e personalizzati con dettagli e storie costruite dai bambini. Dopo averli disegnati e decorati al meglio, gli alunni hanno ritagliato le diverse parti dell'ecosistema e le hanno incollate su un grande cartellone. Parecchi

bambini hanno voluto posizionare i loro ritagli secondo criteri precisi. In particolare, molti alunni hanno realizzato e personificato gli alberi utilizzando come criterio guida la famiglia. Ad esempio, N. ha disegnato “papà albero, mamma albero e il figlio cespuglio”. S. si è collegato all’idea di N. e ha disegnato i cugini della famiglia di N. Ho trovato originale e molto coerente con il percorso svolto l’idea scaturita dai bambini di trovare dei nessi tra l’unione familiare e i legami degli alberi soprattutto in termini ecologici dove i concetti di individuo, specie, popolazione, comunità rimandano tutti al focus fondamentale dell’ecologia, ovvero le interazioni e le relazioni. Tali interazioni possono avvenire tra componenti delle stesse famiglie oppure tra individui di famiglie diverse. Sul cartellone, pertanto, abbiamo posizionato i diversi disegni cercando di applicare il criterio per cui le diverse famiglie di alberi si trovassero insieme nello stesso luogo affinché si aiutassero a crescere e a vivere. Tali famiglie però si trovavano intervallate da funghi, rocce, cespugli, farfalle, fiori che non necessariamente appartenevano alla loro specie ma che egualmente erano generatori di vita, di trasporto per i nutrienti, di riparo dalle calamità e dagli animali (Figura 29).



**Figura 29: Le nostre famiglie nell'ecosistema**

Nella seconda fase, i bambini sono stati invitati a creare dei dialoghi tra le diverse famiglie con cui hanno creato il loro ecosistema bosco. I bambini potevano scegliere se lavorare a coppie oppure da soli, in quanto qualcuno aveva già una “storia familiare” in mente. Si sono create tre coppie mentre gli altri quattro bambini hanno lavorato individualmente. La costruzione del dialogo non è stata semplice soprattutto per i bambini con DSA che hanno avuto qualche difficoltà nella redazione del testo. Tutti hanno cercato di centrare il dialogo sui bisogni della pianta e da quali elementi intorno a lei potesse trarli. I bambini hanno fatto

riferimento al gioco della rete di interazioni realizzato nelle frasi precedenti. Per la redazione dei dialoghi ho proceduto con le seguenti modalità.

Innanzitutto, i bambini hanno scelto la famiglia sulla quale creare un dialogo e hanno avuto la possibilità di osservare tutti gli elementi da loro disegnati sul grande cartellone che potessero essere loro utili. Dopodiché hanno ripreso i loro taccuini di esploratori e hanno realizzato una bozza del dialogo: qualcuno ha scritto il dialogo per intero, qualcuno invece ha appuntato delle idee ma tutti hanno dato dei nomi ai loro personaggi. Alcuni hanno fatto dei giochi di parole come “il papà lo chiamo AL, la mamma la chiamo BE e il piccolo lo chiamo RO”, altri hanno ripreso il nome di personaggi dei cartoni animati come “il fungo Toad” di Super Mario, altri hanno usato delle sigle identificative come “H725”. In entrambe i casi, dopo aver finito le bozze, li ho invitati ad eseguire il dialogo oralmente e a leggermi ciò che avevano scritto.

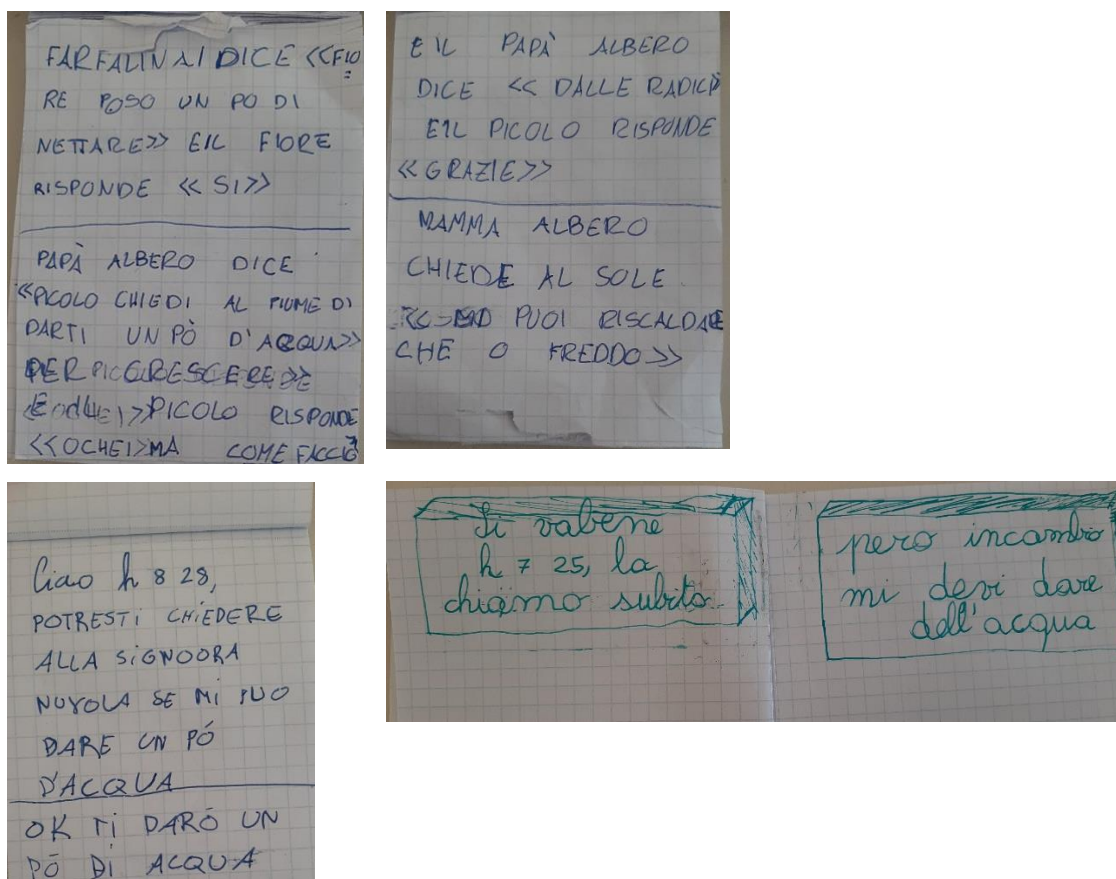


Figura 30: Appunti sui dialoghi

Nel frattempo, ho preso degli appunti e ho riportato i loro dialoghi in bella coppia affinché anche loro potessero acquisire maggiore consapevolezza dei contenuti redatti (Figura 30). Per i bambini con DSA in particolare, mi sono concentrata maggiormente sulla parte orale facendogli esporre le loro idee, stimolandoli a trovare nuove risposte. Una volta redatti, ho riletto insieme a ciascun gruppo o individuo per vedere se tutto funzionasse o se volessero aggiungere altri elementi. Alcuni si sono concentrati principalmente sui dialoghi tra gli alberi e gli elementi biotici, tralasciando gli altri abitanti del bosco come rocce, sole, acqua. Quando avevano terminato il racconto, ho domandato loro come “il fungo, la roccia, il fiore” ecc. che avevano tralasciato potessero inserirsi nella storia. A quel punto, tutti sono riusciti a trovare un legame, anche una piccola frase che ha reso anche questi elementi protagonisti. Una volta terminate e rilette le bozze, i bambini hanno riscritto il testo sulle vignette dei fumetti e successivamente le abbiamo incollate accanto a ogni personaggio. Per evitare una sovrapposizione dei testi, abbiamo numerato ogni vignetta in modo da poterla leggere in modo ordinato. Inoltre, per ogni dialogo tra una o più famiglie ho utilizzato dei colori differenti in modo che si potessero differenziare le diverse sequenze e scenette. Tali colori sono stati anche utilizzati per realizzare la fitta rete di radici che unisce tutte le diverse famiglie. In principio ciascun gruppo ha disegnato le radici della propria famiglia, dopodiché le abbiamo unite insieme perché abbiamo appreso che in un ecosistema è tutto in interconnessione e vi è una forte biocomunicazione (Figure 31 e 32).



Figura 31: Ecosistema in biocomunicazione

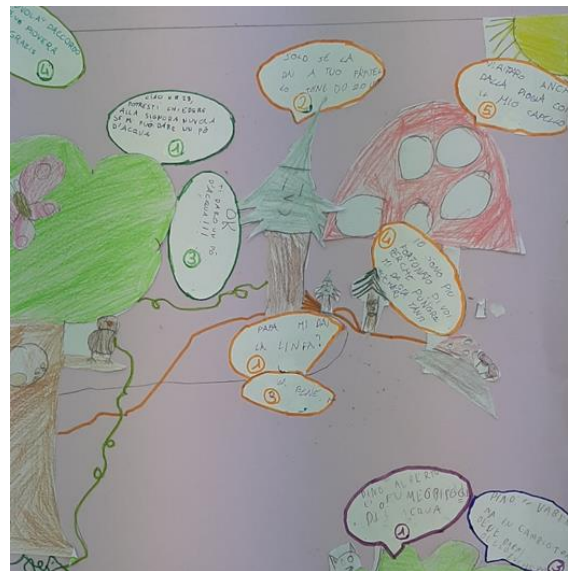
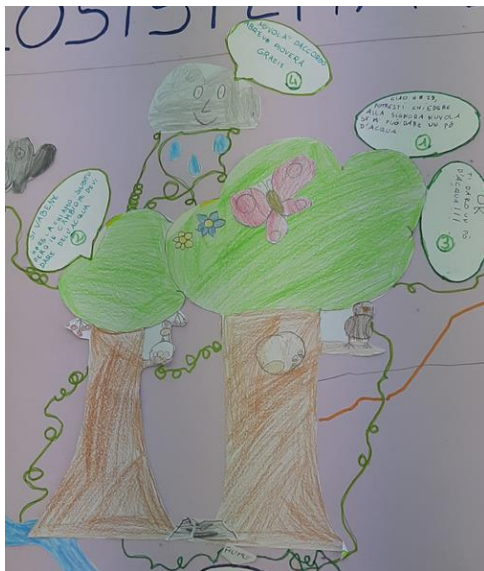


Figura 32: Dettagli sui dialoghi

Di seguito riporto i dialoghi completi realizzati dai bambini:

### **Dialogo 1:**

Al: “Amici! Ho tanta sete e fame! Qualcuno mi può prestare qualcosa?”.

Be: “Io ti posso dare la linfa!”.

Ro: “Io ti posso dare il succo dolce delle mie radici!”.

Farfi: “No! Quello serve a me per fare il nettare!”.

Cespiderman: “Prendere quello delle mie more e lamponi”.

Fongi Fongi: “State tranquilli, se avete bisogno chiedo al fiume con le mie lunghe radici di darvi dell’acqua!”.

Alberi gemelli: “Non preoccuparti ci pensiamo noi che siamo più alti Fra!”

### **Dialogo 2**

#### Scena 1

Farfallina: “Fiore posso un po' di nettare?”.

Fiore: “Sì”.

#### Scena 2

Papà Albero: “Piccolo, chiedi al fiume di darti un po' di acqua per crescere”.

Piccolo albero: “Ok, ma come faccio?”.

Papà Albero: “Dalle radici”.

Piccolo Albero: “Grazie!”.

#### Scena 3

Mamma Albero: “Sole mi puoi riscaldare che ho freddo?”.

Sole: “Okay ma devi dire a gufetto di spostarsi perché lo posso bruciare”.

Mamma Albero: “Ok glielo dico”. “Gufetto ti puoi spostare perché il sole mi deve riscaldare?”.

Gufetto: “Ok”.

### **Dialogo 3:**

Greco: “Papà, mi dai della linfa?”.

Papà: “Solo se la dai a tuo fratello te ne do 20 litri”.

Greco: “Va bene”

Spino: “Io sono più fortunato di voi perché Fungros mi da già tanti zuccheri”.



Fungros: “E vi riparo anche dalla pioggia con il mio cappello!”.

#### **Dialogo 4:**

H725: “Ciao H828 potresti chiedere alla signora nuvola se mi può dare un po' di acqua?”.

H828: “Sì va bene H725, la chiamo subito però in cambio mi devi dare dell'acqua anche a me”.

H725 “Ok ti darò un po' di acqua”.

Nuvola: “D'accordo, a breve pioverà!”.

#### **Dialogo 5:**

Pino Alberto: “Ehi Fiume! Ho bisogno di acqua!”.

Fiume: “Ok! Però dalla anche al mio amico Toad!”.

Pino Alberto: “Va bene! Ma in cambio Toad deve darmi dello zucchero perché il pomeriggio farà tanto freddo e ho bisogno di energie”.

Toad: “Ok, grazie, vedo quanto zucchero posso darti”.

Dalla lettura dei dialoghi emerge come i bambini abbiano individuato come principali fonti di scambio e di vita tra gli alberi tutti gli elementi biotici e abiotici che avevano trovato nel gioco della rete ecologica e nella realizzazione dell'albero maestro: il sole, l'acqua, il muschio, le rocce, lo zucchero, i funghi, gli alberi vicini ecc. Tutti i bambini si sono concentrati sui bisogni delle piante, sulla loro necessità di “chiedere aiuto” a un loro simile della stessa famiglia (specie) oppure di una famiglia diversa per poter sopravvivere, per poter essere al riparo, per poter avere l'energia necessaria alla crescita. La costruzione dei dialoghi non è stata semplice. Qualcuno ha necessitato del mio supporto, soprattutto per i diversi turni di parola tra le piante che spesso non risultavano chiari, mentre qualcuno aveva chiara la situazione che voleva creare ma scrivendola si perdeva nelle scene e l'alternarsi delle battute. Pertanto, come ho sottolineato in precedenza, ho valorizzato l'esposizione orale del dialogo e nel frattempo annotavo le diverse scene così da poterle scrivere nelle vignette. Una delle difficoltà maggiormente riscontrate è stata quella di far interagire tutti gli elementi della famiglia: dagli alberi, ai funghi, ai cespugli che sono meno “animati” nella realtà dei bambini rispetto agli alberi e agli animali che nei cartoni animati sono spesso umanizzati.

### **5.5 Idee in azione: riflessioni finali sull'esperienza**

Per me i risultati ottenuti da questa esperienza sono stati molto interessanti e incoraggianti. In particolare, l'ultima attività di valutazione formativa mi ha permesso di mettere in luce e in dialogo gli apprendimenti dei bambini e di applicare, attraverso un incontro tra fantasia e realtà, ciò che avevano imparato. In questo percorso, le mie idee, la mia pianificazione, le mie conoscenze si sono tradotte in azioni atte a crescere la mia consapevolezza e la mia nascente professionalità come docente. Pertanto, attraverso l'esperienza la mia azione sul campo è diventata oggetto stesso di una mia ricerca in quanto, dopo ogni fase del lavoro svolto, ho continuamente messo in discussione la mia prassi e la mia precedente pianificazione cercando di elaborare nuovi contenuti. Ad esempio, nel momento in cui ho osservato che alcuni bambini erano in difficoltà nella redazione dei dialoghi scritti, ho cercato di valorizzare i loro contenuti e di prevedere una forma di esposizione orale in modo che l'interazione fosse più spontanea ed emergessero con chiarezza le loro idee. Questa scelta ha previsto una modifica della mia pianificazione in cui ho aggiunto un tassello in più, ovvero la trascrizione, svolta da me, dei dialoghi esposti oralmente.

L'esperienza di questo progetto mi ha permesso di cogliere in prima persona come lo sviluppo di una maggiore consapevolezza professionale, mettere costantemente in discussione il proprio operato e rendere la propria azione oggetto di ricerca, dove il ricercatore e il suo operato all'interno del contesto sono l'oggetto stesso della ricerca, siano caratteristiche fondamentali della ricerca-azione (Dodman, 2000). Nella ricerca-azione ci si focalizza sul mettere le idee in azione, all'interno delle situazioni uniche e specifiche problematizzate dall'insegnante. Tali situazioni non sono necessariamente generalizzabili ma riguardano un contesto di azione specifico. Questo non significa che la ricerca non sia condivisibile e accessibile a tutti, ma semplicemente è una ricerca in prima persona "che poggia, dunque, sul riconoscimento della natura essenzialmente personale dell'insegnamento [...] Chi conduce la ricerca azione partecipa a pieno titolo ai processi che sono l'oggetto stesso della ricerca" (Dodman, 2000, p.64). La mia tesi mi ha dato una prima occasione per sperimentare personalmente un contesto in cui l'esperienza svolta è stata unica nel suo genere, pianificata secondo criteri che derivano non solo dalle teorie elaborate da ricercatori sulla complessità dei temi affrontati quali gli ecosistemi e la biocomunicazione, ma anche dalle mie, pur limitate in questa fase della mia carriera, conoscenze ed esperienze. "Una caratteristica della ricerca-azione è il tentativo da parte dell'insegnante di liberarsi del ruolo di chi mette in pratica la teoria elaborata da ricercatori esperti. [...] La pratica, invece di essere

soltanto l'applicazione della teoria, diventa qualcosa che si fonda sulle proprie conoscenze ed esperienze, che promuove una riflessione sui processi di apprendimento e sugli individui che partecipano a tali processi" (Dodman, 2000, p.62-63).

La sfida della tesi è stata soprattutto come coniugare una solida base teorica riguardo agli ecosistemi e alla biocomunicazione con un'analogia base di prassi didattica consapevole e ben preparata. Allo stesso tempo, ci sono stati ugualmente dei fattori esterni riguardanti le mie conoscenze, le mie modalità di organizzazione del lavoro e di progettazione che hanno influito particolarmente sulle azioni. Ad esempio, durante lo svolgimento del progetto è stata rilevante la mia conoscenza adeguatamente approfondita del contesto nel quale stavo operando: sia per quanto riguarda i bambini sia per l'ambiente ospitante.

In primo luogo, ho pensato a una pianificazione che fosse il più possibile "adatta" ai bambini per cui ho progettato la mia ricerca, che valorizzasse le loro competenze, le loro modalità di esprimersi, di confrontare idee e di mettersi in gioco. I bambini della classe terza, nella quotidianità scolastica, sono una classe molto unita e attiva ma allo stesso tempo molto disomogenea a livello di apprendimento. Pertanto, il mio focus non è stato incentrato sulle loro difficoltà di apprendimento nelle scienze o nelle discipline, ma piuttosto sulle loro inclinazioni positive, trasversali in tutto il loro percorso di apprendimento. Le competenze che ho riscontrato sono molteplici: la loro capacità di collaborare e di lavorare insieme sia nelle occasioni di apprendimento in classe, sia fuori dal contesto scolastico, le loro buone capacità creative e manipolative nella costruzione di artefatti e la loro intrigata fantasia e immaginazione che spesso manifestano anche durante le lezioni quotidiane a scuola. Tutte queste inclinazioni positive sono state ben visibili e osservabili nelle diverse esperienze che ho proposto ai bambini.

In primo luogo, lo spirito di collaborazione si è manifestato in modo positivo nel gioco della rete ecologica, nella costruzione della Wood Wide Web nel bosco, e nella realizzazione dell'albero maestro in cui ogni bambino presentava la propria "idea di albero". Per questa specifica attività, la collaborazione e lo scambio di idee iniziali durante il brainstorming è stata fondamentale affinché i bambini potessero rinforzare e ampliare le loro idee e creare un albero maestro che fosse di tutti e non frutto di un'unica rappresentazione. In aggiunta, la cooperazione è stata fondamentale anche nella redazione dei dialoghi in cui ogni bambino dava il proprio contributo nello scambio di domande e risposte.

In secondo luogo, le capacità creative e manipolative sono state fondamentali per la costruzione dell'albero maestro, che ha necessitato di una buona organizzazione spaziale, di

abilità grafico-pittoriche e della ricerca di prospettiva e proporzione. Inoltre, tali abilità sono state valorizzate anche nella creazione dell'ecosistema bosco in cui ogni bambino ha disegnato e messo a disposizione le proprie capacità grafiche utilizzando l'immaginazione e la fantasia. Ad esempio, come sottolineato in precedenza, i bambini hanno raggruppato gli alberi in famiglie, li hanno personalizzati, dando loro dei nomi di fantasia quali "AL", "BE" e "RO" oppure "Cespiderman" dato dall'associazione tra cespuglio e *Spiderman*, il supereroe dei cartoni animati. La fantasia è emersa anche nei dialoghi con farfalle, alberi, radici e funghi parlanti che comunicavano a vicenda. Inoltre, essa è risultata presente anche durante le brevi interviste e gli interventi in classe: "Le radici di una pianta vanno in circolazione con altre radici" oppure "Una pianta per vivere ha bisogno delle foglie perché gli da aria". Sono entrambe risposte che non presentano una correttezza lessicale dei termini, ma hanno un significato più che comprensibile che rappresenta molto chiaramente il pensiero del bambino. Dal punto di vista degli interventi orali degli alunni, è importante sottolineare come le interviste realizzate dopo la creazione della Wood Wide Web nel bosco, le discussioni in classe e le note dei bambini sui taccuini siano stati una raccolta dati fondamentale per verificare l'andamento del lavoro svolto. Pertanto, i loro interventi "a caldo" con "botte e risposte" frequenti mi hanno permesso innanzitutto di esplorare una varietà di punti di vista e di migliorare e modificare la mia pianificazione che si è da subito presentata flessibile e si è arricchita *step by step* grazie ai contributi dei ragazzi. Avere una pianificazione flessibile è caratteristica della ricerca-azione e anche della programmazione didattica e curricolare consapevole, in quanto l'insegnante, mettendosi in discussione, si interroga costantemente anche sui suoi piani e sulle sue azioni.

Per di più, è stata fondamentale la mia conoscenza del contesto all'interno del quale ho proposto il mio progetto. La particolarità della zona di montagna in cui si trova la scuola mi ha permesso di uscire dalla classe e di poter apprezzare e sfruttare il luogo circostante come sede di esplorazione ove il bosco è diventato principale luogo di apprendimento. Un ecosistema senza confini e barriere, in cui i bambini hanno potuto sperimentare la propria autonomia, hanno potuto conoscere e osservare da vicino le piante ampliando ancora di più lo sguardo verso la ricerca di nuove prospettive. Il bosco è sempre stato elemento di curiosità e mistero per i bambini soprattutto nei racconti delle fiabe in cui "è il luogo ove i bambini entrano spaventati, tristi, si perdono e ne escono poi contenti e arricchiti" (Antonietti & Bertolino, 2017, p. 54). Il bosco è per sua natura uno spazio di relazioni che non si manifestano solo nella Wood Wide Web, ma anche tra i bambini e gli insegnanti "è lo spazio

di esplorazione, è l'ambiente che si offre per la scoperta, è il luogo delle attività – che con le sue peculiarità “condiziona” il muoversi, il creare ed il giocare -, ma al contempo svolge un ruolo educativo, come strumento per ogni attività e verso cui le attività sono anche tese” (Antonietti & Bertolino, 2017 p. 54). Esplorazione, curiosità, scoperta, creazione, movimento gioco, educazione sono tutti elementi che rientrano appieno nel progetto didattico che ho potuto realizzare. I bambini, insieme alle mie azioni, sono stati soggetto e oggetto attivo della ricerca e il bosco è stato fondamentale affinché gli alunni potessero essere esploratori e ricercatori curiosi, aperti verso nuove prospettive. Il bosco, essendo un luogo destrutturato e ricco di insidie ha condizionato il muoversi dei bambini soprattutto per la presenza della neve in cui spesso essi sprofondavano o cadevano ma tutto “ha fatto parte del gioco” e dell'esperienza.

Per concludere, come ricercatrice in azione, al fine di migliorare le mie osservazioni, la mia pianificazione e le esperienze proposte mi sono affidata a cinque domande che hanno accompagnato ogni incontro con i bambini e che mi hanno permesso di riflettere e di rendere più concreto e significativo il mio obiettivo: rendere consapevoli i bambini dell'esistenza di una Wood Wide Web, di un mondo invisibile che comunica, che interagisce e linguaggio attraverso uno scambio di nutrienti e risorse garanti la sopravvivenza, lo sviluppo e la vita di un ecosistema. Le cinque domande che mi hanno accompagnato in questo percorso di ricerca-azione sono state: “Che cosa hanno realmente fatto gli studenti? Che cosa hanno imparato? Che cosa ho fatto io? Che cosa ho imparato io? Che cosa ho intenzione di fare adesso?” (Merrit, 1980). Come è possibile notare, queste domande trovano tutte risposta nelle azioni, nelle esperienze che i bambini ed io abbiamo vissuto e messo costantemente in discussione. “L'unico modo di rispondere a queste domande è di tradurle in azione e di osservare e riflettere sulle conseguenze” (Dodman, 2000, p.70). La prima domanda riguarda proprio la sfera del “fare”, del manipolare, dell'azione. Nell'esperienza proposta i bambini hanno sicuramente “fatto” tante cose: hanno disegnato, hanno manipolato oggetti (la corda), hanno costruito interazioni, hanno scritto, hanno dialogato, hanno incollato, hanno ritagliato, hanno usato i cinque sensi come il tatto per toccare le cortecce, o l'udito per ascoltare nuovi suoni ecc. Queste azioni hanno permesso loro di sviluppare nuove abilità e costruire nuove conoscenze e pertanto di arricchire le proprie competenze. Hanno appreso che sotto i nostri piedi esiste un mondo invisibile che dà nutrimento e vita a ciò che è visibile, hanno appreso che in un ecosistema gli elementi biotici e abiotici come una roccia o il sole sono in relazione

e comunicano tra di loro. Inoltre, hanno fortificato la loro capacità a collaborare, a condividere, ad ascoltare il punto di vista dell'altro.

Diversamente, le domande successive si riferiscono all'operato dell'insegnante e alla ricerca-azione che ha messo in atto. Durante questo percorso ho pianificato nei dettagli ciò che volevo che i miei bambini apprendessero avendo uno sguardo di cura, attenzione e valorizzazione delle loro competenze e cercando di lavorare sui micro e macro-obiettivi che mi prefissavo in ogni incontro. Durante il percorso mi è sembrato di riscontrare un miglioramento nella mia capacità di rielaborare e valorizzare le risposte di ciascun bambino. Con valorizzazione della risposta non intendo una semplice conferma di ciò che ha detto l'alunno ad esempio "sì, hai fatto un buon intervento" ma piuttosto una risposta che aggiungesse qualcosa in più e generasse altre curiosità o domande ai partecipanti alla discussione. La ricerca-azione, infatti, si fonda proprio su questa caratteristica per cui le risposte provocano continuamente altre domande o curiosità. Questo aspetto si è verificato nel brainstorming nel momento in cui ho cercato di incalzare una discussione guidata. Questa discussione è stata arricchita dagli interventi dei bambini che hanno ampliato lo spettro di domande e curiosità emerse in modo naturale dallo scambio comunicativo: il significato della linfa, gli elementi visibili e invisibili, ecc. Tale aspetto è anche emerso nelle interviste dopo l'esperienza all'aperto o ancora a partire dalla lettura dei loro appunti sui taccuini, in cui ho colto l'occasione per chiedere loro ulteriori chiarimenti.

Infine, la domanda che accompagna ogni buon progetto di ricerca-azione è "Che cosa ho intenzione di fare adesso?". Un quesito che ti invita a continuare, a metterti in discussione e a capire come far procedere il tuo percorso. Questa domanda è quella che mi ha accompagnato di più durante l'esperienza in quanto, al termine di ogni lezione, mi domandavo come avrei potuto migliorare sia la lezione precedente, in un'ottica di un eventuale riproposta del progetto, sia l'incontro successivo andando a modificare la pianificazione con diversi dettagli. "La pianificazione e l'azione successiva dipendono dall'interpretazione dei dati precedentemente raccolti" (Dodman, 2000, p.70). Inoltre, è una domanda che accompagna anche l'ultima fase del progetto: "come posso continuare? Quali nuove idee, azioni, possono scaturire da questa esperienza?". La ricerca-azione, infatti, è un ciclo che non si chiude mai ma apre sempre a nuove domande e percorsi che possono essere affrontati. Nel caso specifico della mia tesi, attraverso la realizzazione del "nostro ecosistema bosco" (Figura 33), i bambini hanno potuto abbracciare diverse discipline trasversali alle scienze, che possono risultare oggetto di future ricerche azioni andando a toccare temi

differenti come la sostenibilità e l'importanza della salvaguardia dell'ambiente, il bosco come ambiente di gioco e apprendimento, i processi cognitivi messi in atto dai bambini nella narrazione e nella costruzione di dialoghi, l'impatto ambientale dell'uomo sugli ecosistemi, la ricerca del tema della biocomunicazione negli albi illustrati. Questi sono solo alcuni dei temi che possono essere sviluppati a partire dalla mia ricerca di tesi. Spero che questo progetto possa generare un po' di curiosità anche negli adulti che sono costantemente connessi alla World Wide Web ma che non immaginano che vi sia una Wood Wide Web che, anche lei, è in costante comunicazione (anche con loro, se diventano capaci di comprenderlo) in un mondo invisibile.



Figura 33 Il nostro ecosistema bosco

## BIBLIOGRAFIA

- Anaclerio N. (2021) *Wood Wide Web Anche le piante sono "social"*  
<https://www.biopills.net/wood-wide-web/>
- Antonietti M. Bertolino F. et al., (a cura di) (2022) *Educazione e Natura Fondamenti, prospettive, possibilità*, Franco Angeli
- Antonietti M. e Bertolino F. (a cura di) (2017) *A tutta natura! Nuovi contesti formatrici all'aria aperta per l'infanzia di oggi*, Edizioni Junior
- Apollonio T. (2008) *LEONTOPODIUM ALPINUM (Stella alpina. Edelweiß. Étoile des Alpes. Planika. Edelweiss). Asteraceae*  
[https://www.flickr.com/photos/apollonio\\_tottoli/2462597406/in/set-72157621977754665](https://www.flickr.com/photos/apollonio_tottoli/2462597406/in/set-72157621977754665)
- Bennett J. & Kilronomos (2018), Mechanisms of plant –soil feedback: interactions among biotic and abiotic drivers – *New Phytologist*  
<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.15603>
- Blezza Picherle S. (2013), *Formare lettori, promuovere la lettura: riflessioni e itinerari narrativi tra territorio e scuola*, Franco Angeli
- Bonfante P. (2021) *Una pianta non è un'isola. Alla scoperta di un mondo invisibile*, Il Mulino
- Bovio M. (2014), *Flora vascolare della Valle d'Aosta Repertorio commentato e stato delle conoscenze*, Testolin Editore.
- Cunningham, W. P.; Cunningham, M. A. ; Woodworth Saigo, B. (2007) *Fondamenti di ecologia*, ediz.italiana a cura di Basset A. e Rossi L., McGraw-Hill
- D'Amico S. e Devescovi A. (2003), *Comunicazione e linguaggio nei bambini* – Carocci editore
- De Casper AJ, Spence MJ. (1986) Prenatal Maternal Speech Influences Newborn's Perception of Speech Sounds. *Infant Behaviour Development*, 9: 133-50.
- Defrenne, C. e Simard, S. (2019). The secret language of trees.  
[https://www.ted.com/talks/camille\\_defrenne\\_and\\_suzanne\\_simard\\_the\\_secret\\_language\\_of\\_trees?language=it](https://www.ted.com/talks/camille_defrenne_and_suzanne_simard_the_secret_language_of_trees?language=it)
- Dessalles J.L. (2007) *Why we talk, The Evolutionary Origins of Language* – Oxford University Press.
- Dodman, M. (2000) Prassi riflessiva e ricerca-azione nell'insegnamento linguistico, in Cavagnoli S. & Schwegkofler A. (eds.) *Linguaggi specialistici e la loro didattica* Bolzano: Accademia Europea
- Enciclopedia Treccani (2022), *Fenotipo* <https://www.treccani.it/enciclopedia/fenotipo>



- Enciclopedia Treccani (2022), *Mimetismo* <https://www.treccani.it/vocabolario/mimetismo/>
- Ferrari A. (2019), *Competizione intraspecifica* <https://www.biopills.net/competizione-intraspecifica/>
- Ferrari D. (2019) *Demografia, ecologia della popolazione* <https://www.biopills.net/demografia-ecologia-della-popolazione/>
- Frabboni F. e Pinto Minerva F. (2014) *La scuola dell'infanzia* Laterza, pp.114-118
- Gordon, R. & Seckback, J. (eds.) (2017) *Biocommunication. Sign-Mediated Interactions between Cells and Organisms*. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/q0013>
- Internazionale, Il nuovo De Mauro (2023), *Simbolo*  
<https://dizionario.internazionale.it/parola/simbolo#:~:text=carattere%20o%20insieme%20di%20caratteri,%2C%20un'operazione%20e%20sim.>
- Khan Academy (2023). *What is an ecosystem?*  
<https://www.khanacademy.org/science/biology/ecology/intro-to-ecosystems/a/what-is-an-ecosystem>
- Lazzaro U. (2021), *Il commensalismo: un'interazione interspecifica, tutte le peculiarità.*  
<https://www.microbiologiaitalia.it/didattica/il-commensalismo-un-interazione-interspecifica-tutte-le-peculiarita/>
- Ligorio M.B. e Cacciamani S. (2013), *Psicologia dell'educazione*, Carocci editore
- Mele E. (2005) *I simboli, indagine su cosa c'è sotto* <https://www.tesionline.it/tesi/brano/la-tripartizione-segnica/7491#:~:text=Gli%20indici%20sono%20segni%20che,sintomi%20fisici%20e%20i%20segni%20naturali>.
- Paci M. (2011) *Ecologia forestale, Elementi di conoscenza dei sistemi forestali applicati alla selvicoltura*, Edagricole Calderini
- Parrino N. (2022) *Coreografiche* Mensole,  
<https://enciclopedia.funghiitaliani.it/termine.php?show=1235>
- Lichene su roccia (2022) <https://www.sardegnaforeste.it/fungo/licheni-2-organismi-1>
- Pignatti S. Fanelli G. et al. (2001), *Le piante come indicatori ambientali – Manuale tecnico-scientifico*, ANPA.
- Pusceddu A. Sarà G. et al. (2020) *Ecologia*, De Agostini Scuola, UTET
- Rohr, D.A. (2014) *Theory of Life as Information-Based Interpretation of Selecting Environments. Biosemiotics* 7 pp.429–446. <https://doi.org/10.1007/s12304-014-9201-4>

Simard, S. (2016) *How trees talk to each other*.  
[https://www.ted.com/talks/suzanne\\_simard\\_how\\_trees\\_talk\\_to\\_each\\_other?language=it](https://www.ted.com/talks/suzanne_simard_how_trees_talk_to_each_other?language=it)

Smith T. e Smith R.L. (2013) *Elementi di ecologia*, Pearson

Valle d'Aosta, sito ufficiale del turismo in Valle d'Aosta , visitato in data 05/01/2022  
<https://www.lovevda.it/it/natura/flora-e-fauna-della-valle-d-aosta#:~:text=Una%20ricchezza%20frutto%20di%20biodiversit%C3%A0,boschi%20di%20roverella%20e%20castagno.>

Vygotskij, L. (2007) *Linguaggio e Pensiero*. Giunti

Witzany G. (2012) *Biocommunication of fungi*, Springer

Zhenyi S. (2019), *Language Evolution in Biolinguistics from a Multi-Factor Perspective*, Open Access Library Journal

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la mia famiglia per avermi sostenuto nel mio percorso di studi. In particolare, ringrazio il mio papà e la mia mamma che hanno sempre creduto in me e mi hanno spronato nel continuare a studiare e a formarmi come donna e come insegnante.

Ringrazio il mio fidanzato Samuele che dal primo anno di Scienze della Formazione Primaria ha affrontato con me questo percorso di formazione e di vita stando al mio fianco e accompagnandomi con sostegno e amore.

Ringrazio mio nonno Bruno che, con i suoi incoraggiamenti e con la sua estrema fiducia, mi ha trasmesso il suo spirito friulano coraggioso e combattivo che mi ha consentito di affrontare questo percorso a testa alta. Allo stesso modo ringrazio la nonna Rosanna per aver colmato le mie paure e le mie insicurezze con dei gustosi pranzi e cene.

Ringrazio i nonni Anselmo e Raffaella che, seppur lontani mi hanno sempre sostenuto in questo percorso.

Ringrazio il mio cuginetto Gilles che è stato fonte di ispirazione per molti miei progetti di tirocinio grazie alle sue esperienze scolastiche

Ringrazio il professor Dodman che mi ha supportato in questo percorso di tesi con i suoi saggi consigli e la sua professionalità ed eleganza che lo contraddistingue.

Ringrazio la Dott.ssa Timpano per aver creduto nelle mie capacità e ambizioni, e per aver sempre dato tutta la sua disponibilità e professionalità al servizio di noi studenti.

Ringrazio le mie colleghe della scuola primaria che mi hanno supportato in questi mesi di lavoro e mi hanno permesso di realizzare la mia esperienza di tesi. Allo stesso modo ringrazio i bambini della classe terza del Breuil per aver collaborato con impegno e interesse al mio, e loro progetto.

Ringrazio le mie compagne di corso dalle quali ho ricevuto sostegno e aiuto in questi cinque anni

Ringrazio i miei amici Alice, Joelle, Katrin, Deca e Sara che hanno creduto in me e con i quali ho vissuto momenti di festa, gioia e spensieratezza.