



UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE, DELLA VITA E DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE
Corso di Laurea Magistrale in Ecologia e Conservazione della Natura

RELAZIONI TROFICHE TRA FUNGHI IPOGEI E COLLEMBOLI: scelta alimentare, effetti sulla sopravvivenza e riproduzione di *Folsomia candida*

Relatore
Prof.ssa CRISTINA MENTA

Correlatore
Cav. Dott. CARMINE SINISCALCO

Laureanda
SARA REMELLI
Matr. N° 271155

ANNO ACCADEMICO 2016-2017

INDICE

| | | | |
|--|-----------|-------------------------------------|------------|
| PREFAZIONE | 5 | | |
| Parte Uno | | Parte Tre | |
| INTRODUZIONE | 7 | RISULTATI E DISCUSSIONE | 63 |
| 1. SUOLO E RETI TROFICHE | 9 | 7. CONFRONTI INTER-SPECIFICI | 65 |
| 2. FUNGHI: IL TARTUFO | 17 | 8. CONFRONTI INTRA-SPECIFICI | 69 |
| Fisiologia | 19 | <i>Balsamia vulgaris</i> | 70 |
| Ciclo biologico | 21 | <i>Tuber aestivum</i> | 72 |
| Il pianello | 25 | <i>Tuber borchii</i> | 75 |
| Specie indagate | 28 | <i>Tuber brumale</i> | 78 |
| 3. COLLEMBOLI: F. CANDIDA | 45 | <i>Tuber excavatum</i> | 81 |
| Biologia | 47 | <i>Tuber fulgens</i> | 84 |
| Alimentazione | 49 | <i>Tuber macrosporum</i> | 86 |
| Ecotossicologia | 51 | <i>Tuber magnatum</i> | 88 |
| Parte Due | | <i>Tuber melanosporum</i> | 90 |
| MATERIALI E METODI | 53 | <i>Tuber mesentericum</i> | 92 |
| 4. ALLEVAMENTO | 55 | <i>Tuber puberulum</i> | 94 |
| Substrato di crescita e cibo | 55 | <i>Tuber rufum</i> | 96 |
| Sincronizzazione di <i>Folsomia candida</i> | 55 | 9. DISCUSSIONE | 99 |
| 5. ALLESTIMENTO E CONDUZIONE DEL TEST | 57 | APPENDICE A | 103 |
| Fonti di cibo utilizzate nei test | 57 | APPENDICE B | 137 |
| Test di preferenza alimentare | 57 | BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA | 165 |
| Test di riproduzione e sopravvivenza | 58 | RINGRAZIAMENTI | 175 |
| 6. ANALISI STATISTICA | 61 | | |

PREFAZIONE

Il suolo è considerato una risorsa naturale fondamentale in quanto provvede l'uomo di "beni ecosistemici" e di tutta una serie di servizi che assicurano la sostenibilità dell'ecosistema (come il ciclo dei nutrienti, la decomposizione della sostanza organica, ecc.) (EEA, 2016). Tutte queste funzioni sono il risultato di processi biologici messi in atto da una grande varietà di organismi che vivono nel suolo (Jeffery et al., 2010, Orgiazzi et al., 2016).

In questo contesto, i funghi sono tra i principali agenti dei cicli biogeochimici e provvedono alla degradazione della sostanza organica. In alcuni casi, essi dipendono per la dispersione e diffusione delle spore fungine dalla fauna edafica, per la quale rappresentano una significativa risorsa di cibo e rifugio. Inoltre, possono alterare la composizione biochimica del terreno, operando cambiamenti nelle comunità di microartropodi ed influenzandone le scelte alimentari ed il successo riproduttivo, come è il caso del pianello generato da alcune specie appartenenti al genere *Tuber* (Menta et al., 2014, García-Montero et al., 2012).

Nonostante la grande varietà di studi sugli effetti delle componenti micologiche ipogee sulla vegetazione (Perotto et al., 2014; Gryndler et al., 2014; Kadowaki et

al., 2014), le interazioni tra micorrize e fauna del suolo sono ancora poco conosciute.

La presente ricerca si inserisce all'interno di un progetto più ampio volto a valutare gli effetti delle componenti micologiche ipogee sulla fauna del suolo.

Tra la fauna edafica, l'ordine dei Collembola riveste un ruolo importante non solo perché partecipa alla funzionalità del suolo, ma anche perché dimostra sensibilità al degrado e può essere utilizzato come bioindicatore. In particolare, *Folsomia candida* (Willem, 1905) è spesso utilizzata come modello di artropode in molti studi ecotossicologici di laboratorio (ISO 11267:1999) e, a differenza di altri microartropodi, non ha mostrato, in studi precedenti (Menta e Pinto, 2016), di essere influenzata negativamente dal pianello creato da *Tuber aestivum* (Vittadini, 1831). L'obiettivo di questa tesi è quello di verificare se *F. candida* sia in grado di riconoscere alcune componenti micologiche ipogee come fonte alimentare ed eventuali preferenze nei confronti delle stesse, nonché l'effetto che tali componenti micologiche ipogee, se presenti come unica risorsa, possano avere sulla sopravvivenza e riproduzione del collembolo.

Per valutare l'eventuale preferenza ali-

mentare di *F. candida* e gli effetti sulla sua sopravvivenza e riproduzione sono state utilizzate dodici specie di funghi ipogei, undici delle quali appartenenti al Genere *Tuber* (P. Micheli ex F.H. Wigg., 1729) ed una al Genere *Balsamia* (Vittad., 1831). Tutte le componenti micologiche ipogee utilizzate sono state fornite dal “*Centro di Eccellenza*” per lo studio delle componenti di biodiversità del suolo nell’ambito del “*Progetto Speciale Funghi*” dell’ISPRA (Siniscalco C., 2015) presso il “Gruppo Micologico dell’Etruria Meridionale-AMB” (GMEM-AMB). L’Università degli Studi di Parma è una “*Unità Operativa*” del “*Progetto Speciale Funghi*”, che dal 2003 promuove e svolge studi sulle specie fungine (macromiceti e mixomiceti) e sul loro utilizzo come indicatori biologici nella valutazione della qualità ambientale, con la finalità di integrare i dati sul biomonitoraggio e le reti trofiche del suolo. Il “*Progetto Speciale Funghi*” partecipa anche al “*Tavolo Tecnico per l’istituzione della rete nazionale di monitoraggio della biodiversità e degrado dei suoli*” (Programma Re Mo; ISPRA 2012), istituito a giugno del 2012 in attuazione delle istanze della Comunità Europea (Floccia F. & Jacomini C., 2012).

PARTE UNO

INTRODUZIONE

SUOLO E RETI TROFICHE

Il suolo rappresenta il punto focale delle dinamiche regolatrici della maggior parte dei processi ecosistemici, sia in ecosistemi naturali che controllati. Non soltanto ospita gran parte della biodiversità sulla Terra, ma rappresenta anche lo scenario fisico su cui poggiano la maggior parte delle attività umane (Barrios, 2007), è un sistema multicomponente e multifunzionale che provvede ad una serie di beni ecosistemici (produzione di biomassa) per gli uomini, ma anche a molti servizi regolatori (come la decomposizione della sostanza organica del suolo, il mantenimento della struttura del suolo, il ciclo dei nutrienti, ecc.) che assicurano la sostenibilità degli ecosistemi (Breure et al., 2012; Pulleman et al., 2012; Robinson et al., 2013; Jónsson et al., 2017). Tutte queste funzioni sono garantite da una varietà di organismi che vivono nel suolo e rappresentano gli output funzionali dei processi biologici (Kibblewhite et al., 2008).

I costi del degrado ambientale, dell'esaurimento delle risorse naturali e dei servizi ecosistemici non inseriti nel mercato non vengono inseriti nei sistemi nazionali di valutazione, perché basati su beni e servizi presenti sui mercati, o peggio perché il degrado viene calcolato come un'entrata, dato che dalle perdite ambientali si riesce

quasi sempre a ricavare guadagni (per il singolo). Per risolvere questa distorsione del sistema, è necessario incorporare le minacce per il suolo in un quadro economico che riconosca il costo per l'economia del degrado causato dall'uso errato del suolo e dalle sue minacce causate dalle attività economiche (Robinson et al., 2017):

- erosione idrica ed eolica del suolo,
- perdita di sostanza organica dal suolo nelle torbiere,
- perdita di sostanza organica dal suolo minerale,
- compattamento del suolo,
- impermeabilizzazione da cemento e asfalto (*soil sealing*),
- contaminazione locale e diffusa,
- salinizzazione,
- desertificazione,
- allagamenti e frane,
- perdita di biodiversità del suolo.

Tali minacce illustrano il grado di trasversalità del bioma edafico, che si offre quindi come problema e soluzione al contempo.

Le funzioni ecosistemiche fanno riferimento all'habitat, alle proprietà biologiche o sistemiche o ai processi caratteristici degli ecosistemi. I beni ecosistemici ed i servizi rappresentano invece i benefici che le popolazioni umane traggono, di-

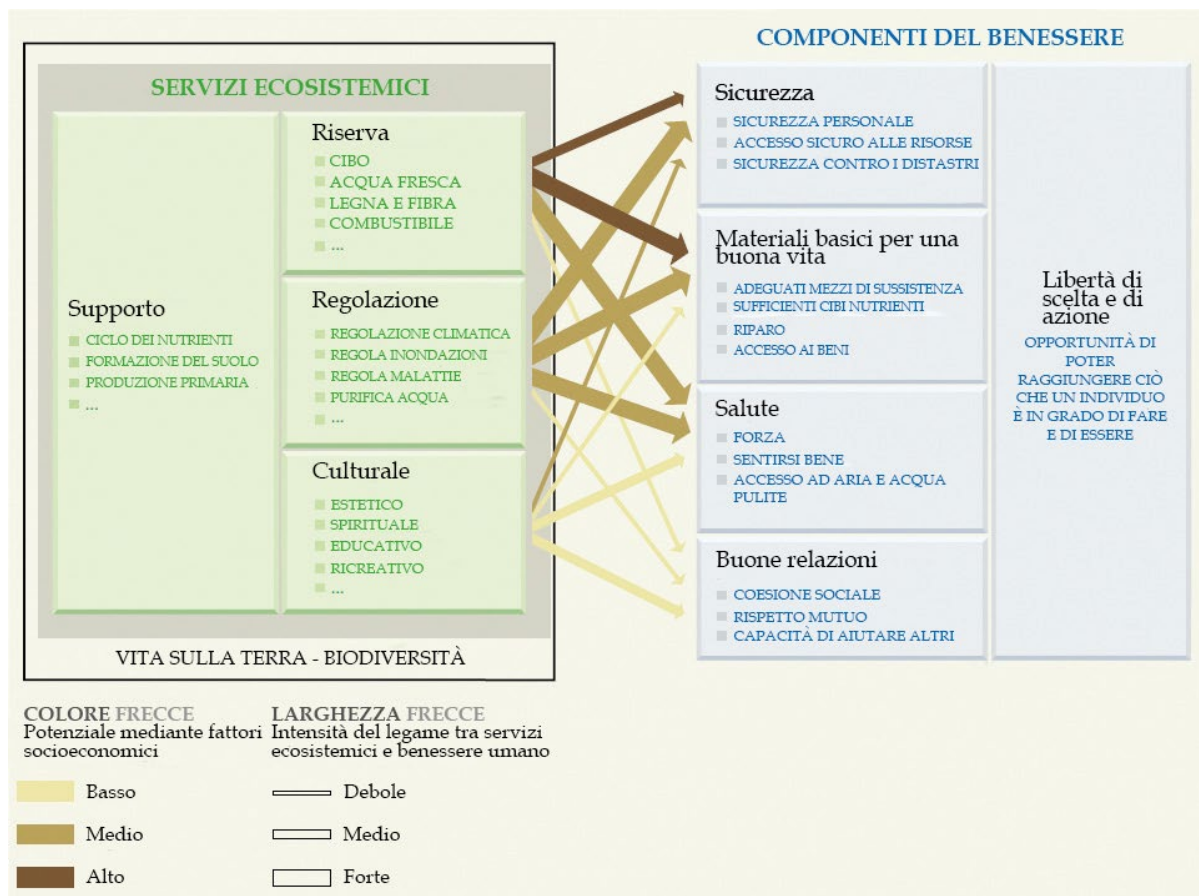


Figura 1.1 Legame tra servizi e beni ecosistemici secondo il Millennium Ecosystem Assessment (Da MEA, 2005, tradotto da Remelli S.).

rettamente o indirettamente, dalle funzioni ecosistemiche, come definito dal Millenium Ecosystem Assessment (MA, 2003; Figura 1.1), in accordo con il quale i servizi ecosistemici possono essere classificati come quelli associati con l'apporto di beni (come cibo, fibra, combustibile, acqua), quelli che supportano la vita sul pianeta (come la formazione del suolo, il ciclo dei nutrienti, il controllo alluvionale, l'impollinazione), quelli derivati dai benefici della regolazione dei processi ecosistemici (come la regolazione climatica, il controllo delle malattie, la detossificazione) e quei servizi culturali che non sono associati con benefici materiali (come servizi ricreativi, paesaggistici e culturali). In questo contesto, il suolo contribuisce a tutte e quattro le dimensioni dei servizi ecosistemici (Barrios, 2007). Il valore della

biodiversità non può essere misurato solo in termini economici in quanto in molti casi esso non è relazionata ad un'utilità a favore degli uomini. Inoltre, solo una parte dei benefici forniti dagli ecosistemi, in generale, e dalla biodiversità, in particolare, può essere riconosciuta dovuto alle attuali limitazioni sia nella comprensione delle funzioni ecosistemiche che negli strumenti economici di misurazione. I valori stimati nei casi di studio spesso prendono in considerazione solo una parte dei benefici, inoltre, non tutti non per tutte le tipologie di ecosistemi sono disponibili dati completi, ad esempio gli ecosistemi marini sono ancora poco conosciuti. Ciononostante, valutazioni in termini economici possono essere un utile approccio alla misurazione del contributo dei servizi ecosistemici alla qualità della vita

umana. Ad esempio, risultati di un'analisi preliminare dei costi della perdita di servizi ecosistemici garantiti dalle foreste suggeriscono che la conseguente perdita di biodiversità potrebbe avere impatti rilevanti in termini socio-economici.

Servizi ecosistemici e funzioni non hanno necessariamente una corrispondenza di 1:1, in alcuni casi un singolo servizio ecosistemico è il prodotto di due o più funzioni ecosistemiche ed in altri casi una singola funzione ecosistemica contribuisce a due o più servizi ecosistemici (Costanza et al., 1997).

Il suolo ospita una complessa comunità biologica dovuto alla sua estrema eterogeneità fisica e chimica anche su piccola scala, alle caratteristiche microclimatiche, e alla fenologia degli organismi che promuovono lo sviluppo e la conservazione di un gran numero di nicchie (Lavelle e Spain, 2001; Tiedje et al., 2001; Ettema e Wardle, 2002). Il biota del suolo include quindi batteri, funghi, protozoi, nematodi, acari, collemboli, anellidi (enchitreidi e lombrichi) e macroartropodi (come ragni,

miriapodi, insetti e isopodi), ma anche le radici delle piante ed i loro essudati, che attraggono una gran varietà di organismi, i quali si nutrono direttamente di queste secrezioni o dei microrganismi concentrati nelle vicinanze delle radici.

L'analisi delle reti trofiche del suolo rappresenta un utile approccio alla comprensione dei cicli dei nutrienti e dei flussi energetici tra le comunità, così come alla definizione delle relazioni tra dinamiche del suolo e stabilità degli ecosistemi agricoli (Susilo et al., 2004; Van der Putten et al., 2004; Moonen e Bárberi, 2008). La mesofauna del suolo trasforma la sostanza organica morta in pezzi più piccoli e facilita la decomposizione attuata da batteri e funghi, i quali mineralizzano i nutrienti organici in nutrienti inorganici essenziali per la crescita delle piante. La mineralizzazione prosegue con l'azione di organismi come i protozoi e i nematodi, che si nutrono di batteri e funghi, mentre ordini di carnivori superiori si nutrono di essi a loro volta (Lavelle e Spain, 2001; Figura 1.2).

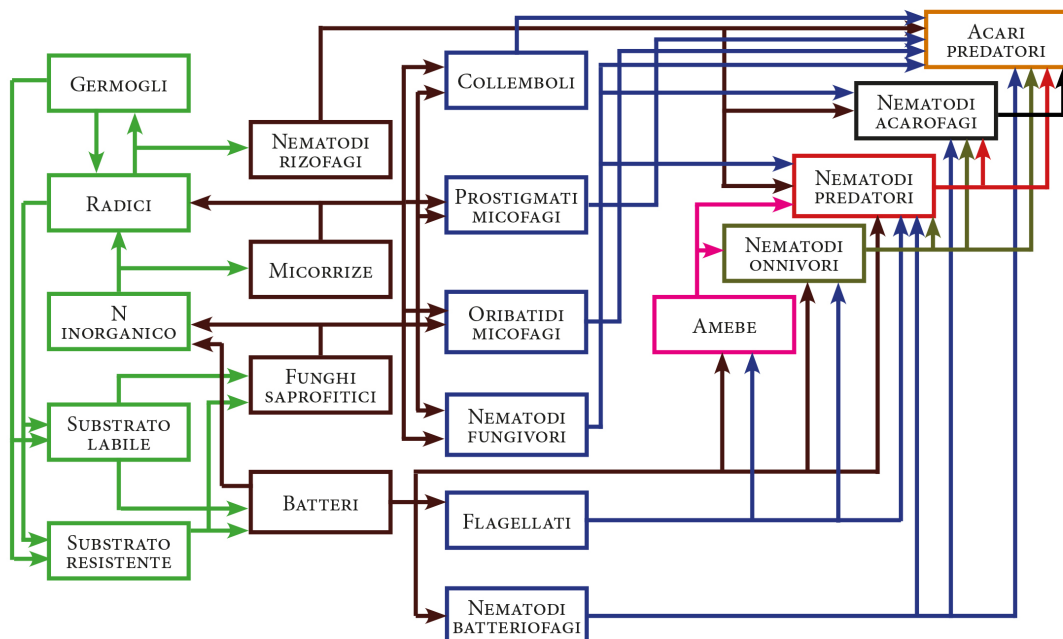


Figura 1.2 Rappresentazione grafica di un *food web* detritivoro (Da Hunt et al., 1987, ridisegnato e tradotto da Remelli S.).

De Ruyter et al. (1995) hanno mostrato che la stabilità degli ecosistemi è legata all'abbondanza relativa di diversi gruppi funzionali di organismi.

I gruppi funzionali chiave del biota del suolo e i processi ecosistemici che influenzano includono:

- Microsimbionti (es. organismi fissatori di N e micorrize);
- Decompositori (es. degradano cellulosa e lignina)
- Trituratori della lettiera (es. acari, collemboli, enchitreidi)
- Trasformatori degli elementi fondamentali (es. nitrificatori e denitrificatori)
- Ingegneri del suolo (es. lombrichi e termiti)
- Patogeni del suolo (es. larve bianche e nematodi parassiti delle piante)
- Microregolatori (es. erbivori, predatori e parassiti)

Tutti questi organismi sono parte integrante del suolo ed influenzano i processi ecosistemici contribuendo a provvedere ad una grande varietà di servizi ecosistemici (Swift et al., 2004).

La ricchezza in specie all'interno del suolo è tuttavia considerevolmente maggiore rispetto alla diversità funzionale, introducendo la nozione di ridondanza funzionale (Andren et al., 1995). Questa potrebbe svolgere il ruolo di riserva del "capitale assicurativo naturale" (Folke et al. 1996; Yachi e Loreau, 1999), entrando in azione in risposta a perturbazioni ambientali future o a invasioni di specie esotiche. Processi portati a termine da un numero maggiore di specie sono più stabili, al contrario quelli svolti da un numero esiguo sono più vulnerabili alla perdita di biodiversità (Hooper et al., 1995). Se tutte le specie contribuissero in maniera differente ai processi ecosistemici del suolo, la perdita di una specie potrebbe non esse-

re compensata funzionalmente e, dovuto alle interazioni tra le specie, potrebbe portare ad un effetto a cascata (Freckman et al., 1997). Questo dato rende importante la determinazione di gruppi funzionali, definiti da Cummins (1974) come "un gruppo di organismi che influenzano un processo in maniera simile".

DIMENSIONI CORPOREE Una prima classificazione di questi organismi è stata fatta sulla base delle dimensioni corporee (Wall et al., 2001):

1. microflora (1-100 μm , come batteri e funghi);
2. microfauna (5-120 μm , come protozoi e nematodi);
3. mesofauna (80 μm -2 mm, come collemboli e acari);
4. macrofauna (500 μm -50 mm, come lombrichi e termiti).

Tuttavia, anche se le dimensioni corporee sono piuttosto semplici da misurare e possono rappresentare un buon indicatore dei potenziali organismi che svolgono una determinata funzione nel suolo, queste non tengono conto del fatto che differenti organismi all'interno dello stesso gruppo dimensionale potrebbero esibire potenzialità fisiologiche diverse e la loro importanza nello svolgere specifiche funzioni potrebbe cambiare in relazione alla scala temporale e spaziale considerata (Briones, 2014). Studi di laboratorio (Schulz e Scheu, 1994; Filser, 2003) hanno osservato che, mentre macrofauna (lombrichi, Diplopoda, Isopoda), mesofauna (enchitreidi) e microfauna che si nutre di batteri favoriscono la decomposizione della materia organica del suolo, altri gruppi di mesofauna (collemboli e oribatidi) mostrano risultati variabili a seconda della specie considerata e delle condizioni di incubazione.

STRATEGIE RIPRODUTTIVE Anche il modo in cui gli animali si riproducono riflette le risposte delle specie alle condizioni ambientali (Moore et al., 1998) e fornisce informazioni sui processi che avvengono nel suolo (Bongers e Bongers, 1998; Brussaard, 1998). La classificazione più completa prodotta tramite questo criterio è quella di Siepel (1994), la quale descrive 12 strategie riproduttive per i microartropodi del suolo (soprattutto applicabili agli acari, ma anche ai collemboli) basate su quattro tratti:

- 1) riproduzione:
 - a) sessuale o partenogenetica;
 - b) tempi di ovideposizione:
 - i) semelpara;
 - ii) iteropara;
- 2) sviluppo;
- 3) sincronizzazione;
- 4) dispersione.

Tuttavia, questo tipo di classificazione non è disponibile per molti organismi del suolo, inoltre molte specie possono esibire più di una strategia riproduttiva, dipendendo anche da diverse condizioni ambientali e dalla disponibilità di cibo, e questo rende la relazione tra riproduzione e funzioni del suolo piuttosto limitata.

ALIMENTAZIONE E RETE TROFICA DEL SUOLO L'analisi dell'alimentazione descrive l'interazione consumatore-risorsa e rappresenta la base fondamentale dell'ecologia delle popolazioni.

Sono state proposte numerose classificazioni della fauna del suolo basate sulle abitudini alimentari, per la maggior parte delle quali si è applicata la seguente semplificazione:

1. consumatori primari (che si alimentano di piante);
2. consumatori secondari (che si alimentano di batteri e funghi);

3. consumatori terziari (predatori e onnivori).

Dal momento che uno stesso gruppo funzionale può sfruttare diversi habitat in cui alimentarsi, come risultato della loro stratificazione verticale lungo il profilo del suolo (Walter et al., 1988), e delle complesse fasi di sviluppo di molti organismi, che spesso mostrano oltre sei livelli vitali (da uovo ad adulto), ciascuno con nicchia trofica differente (Schneider et al., 2004), Faber (1991) introduce il termine "associazione alimentare" per indicare "un gruppo di organismi, non necessariamente relazionati tassonomicamente, che sfruttano e processano le risorse di più habitat in maniera omologa". Questo implica che gli organismi del suolo dovrebbero essere classificati secondo due assi, strategie alimentari e preferenze in termini di microhabitat, mostrando una comunità distribuita nel suolo in maniera stratificata. Per esempio, le tre associazioni che comprendono la fauna fungivora (nematodi, acari e alcuni collemboli ed enchitreidi) mostrano anche delle preferenze alimentari differenti tra gli strati organici freschi, frammentati e di humus che si svolgono negli orizzonti superficiali del suolo, soprattutto in ambiente forestale.

Lavelle (1996) è stato il primo a descrivere un modello gerarchico del biota del suolo combinando, da un lato, gli effetti di certe strutture biologiche sulla biodiversità degli organismi e sui processi che hanno luogo nel suolo e dall'altro lato, il loro regime alimentare. Questo modello divide il biota del suolo in quattro livelli:

- Livello 1: il microbiota. Agisce sulla sostanza organica e sul ciclo dei nutrienti, sulle radici e sui processi che avvengono a livello della rizosfera, con effetti che possono essere sia positivi che negativi.
- Livello 2: i micropredatori. Composti soprattutto dalla microfauna (come

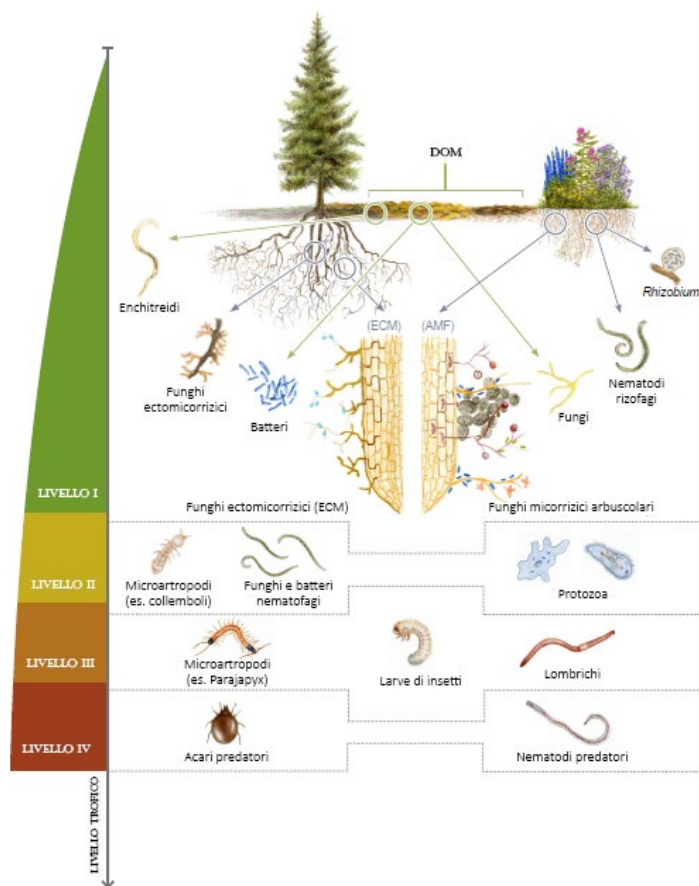


Figura 1.3 Modello di *food web* con canali della sostanza organica morta (freccie verdi) e viva (freccie blu). Organismi che interagiscono direttamente con le piante o con la lettiera, anche se non necessariamente produttori primari, sono stati posizionati al livello 1 (Da Antunes e Koyama, 2017, illustrazioni di Angeline Castilloux dell'Algoma University Fine Arts Student, tradotto da Remelli S.).

nel tempo e che influenzano le dinamiche della sostanza organica del suolo ed i processi fisici. Fra gli ingegneri ecosistemici possono annoverarsi anche le piante, vista la rilevanza del loro ruolo nei processi del suolo (attraverso gli essudati radicali e le associazioni micorriziche influenzano la qualità del terreno, la decomposizione del materiale organico, il ciclo dei nutrienti, ecc.) ed il loro contributo nel creare un habitat idoneo ad ospitare altri organismi (Brussaard, 1998; Berke, 2010).

L'importanza di comprendere gli organismi del suolo nel contesto del

nematodi e protozoi), sopravvivono tramite la predazione del microbiota e della sostanza organica in decomposizione e stimolano la mineralizzazione del materiale organico e la disponibilità di nutrienti per le piante. I loro rifiuti sono solamente organici.

- Livello 3: i trasformatori della lettiera. Includono Isopoda, Diplopoda, Chilopoda e Insecta, (soprattutto le forme giovanili e le specie più piccole) e micro-artropodi (Acari, Collembola), enchitreidi e altri detritivori, stimolano la decomposizione della lettiera e della sostanza organica, producendo escreti (*pellet*) fecali piccoli, fragili e principalmente organici o in complessi organico-minerali.

- Livello 4: gli "ingegneri ecosistemici". Comprendono organismi di grandi dimensioni (termiti, formiche e lombrichi), le cui attività di bioturbazione producono strutture che possono perdurare

loro microhabitat ha portato a includere la rizosfera (area d'influenza delle radici e relative simbiosi) e la drilosfera (area d'influenza delle diverse forme di anelidi lombricidi) fra i domini funzionali del suolo, ossia quegli habitat che ne influenzano la composizione, la struttura e il biota. Molti studi hanno mostrato come la distribuzione spaziale e temporale del biota del suolo non sia casuale e nemmeno omogenea, bensì concentrata in "hot-spots" di attività che sono particolarmente associati alla disponibilità di carbonio (Beare et al., 1995; Lavelle et al., 1997; Lavelle e Spain, 2001), come è il caso della rizosfera (Barrios, 2007).

Le micorrize penetrano nelle radici delle piante per estrarre carboidrati attraverso simbiosi mutualistica. Di conseguenza, secondo il modello di Antunes e Koyama (2017) (Figura 1.3), sono intrinsecamente legate alle piante ospite, situandosi alla

base della catena trofica, e producendo effetti diretti ed indiretti nella rete trofica (*food web*) del suolo. Al secondo livello della catena trofica si collocano gli organismi della rizosfera che si nutrono in maniera diretta della biomassa micorrizica. Antunes e Koyama (2017) riassumono questi micofagi in: nematodi (Hussey e Roncadori, 1981; Ingham et al., 1985; Hua et al., 2014), protozoi (Petz et al., 1985; Hekman et al., 1992), lombrichi (Heděnc et al., 2013), e microartropodi come i collemboli (Gange, 2000) e gli acari (Mitchell e Parkinson, 1976; Schneider et al., 2005). Essendo i fungivori i principali promotori della struttura della comunità fungina e dei processi di decomposizione (Tordoff et al., 2008; Bardgett et al., 1993; Klironomos e Kendrick, 1995; Filser, 2002), gli effetti di questa interazione dipendono dalla loro abbondanza (Finlay, 1985; Harris e Boerner, 1990; Klironomos e Ursic, 1998; Gange, 2000; Crowther et al., 2012) e possono essere positivi (Lussenhop, 1996), neutri (Larsen e Jakobsen, 1996; Wurst et al., 2004) o negativi (Warnock et al., 1982).

Comprendere la struttura comunitaria dei fungivori e le loro preferenze alimentari è importante anche per predire il *turnover* della sostanza organica del suolo.

I fungivori che si alimentano di micorrizze possono contribuire a regolare il flusso delle sostanze fotosintetiche dalla superficie al suolo attraverso le piante micorrizzate (Johnson et al., 2005). I metodi di rilevamento di suggeriscono che il C fotosintetico venga assimilato dai fungivori attraverso il consumo di funghi ectomicorrizici (Pollierer et al., 2012).

Inoltre, le preferenze alimentari dei fungivori influiscono sulla loro stessa riproduzione (Klironomos e Ursic, 1998; Staden et al., 2010; Heděnc et al., 2013).

Una delle implicazioni di maggior valore dell'interazione micorrizze-fungivori è

la dispersione. È noto come i propaguli delle micorrizze siano stati rinvenuti nel tratto digestivo e nelle feci di collemboli (Klironomos and Moutoglou, 1999), acari (Lilleskov e Bruns, 2005), lombrichi (Reddell e Spain, 1991; Gange, 1993; Zaller et al., 2011) e anche mammiferi (Mangan e Adler, 2002). I propaguli delle micorrizze, una volta attraversato il tratto digerente, vengono emessi attraverso le feci in punti del suolo dove possano inoculare altre potenziali piante ospite (Reddell e Spain, 1991; Mangan e Adler, 2002).

Streiblová et al. (2012) descrivono i composti organici volatili emessi da alcuni tartufi, come *Tuber melanosporum*, che permetterebbero loro di escludere il biota competitore creando pianelli, ossia aree caratterizzate dall'assenza di piante e di molti organismi appartenenti al biota del suolo.

Nel modello di Antunes e Koyama (2017), effetti indiretti sulla rete trofica (*food web*) includono interazioni biotiche associate alla produzione primaria netta, attraverso un incremento della nutrizione e un miglioramento della fisiologia delle piante e la facilitazione della simbiosi con altre piante associate. Gli effetti indiretti si estendono anche ai livelli III e IV del biota della rizosfera.

FUNGHI: IL TARTUFO

I funghi non sono né animali né vegetali, bensì costituiscono un regno a sé stante: il Regno dei funghi. Comprendono le seguenti divisioni: Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota e Basidiomycota. Si distinguono dai vegetali per l'assenza di clorofilla e, di conseguenza, l'impossibilità di realizzare la fotosintesi. Sono organismi eterotrofi in quanto per soddisfare le proprie necessità nutrizionali dipendono dalla materia organica pre-sintetizzata da altri organismi, siano essi vivi o morti. In funzione della fonte di materia organica che utilizzano, è possibile classificare i funghi in tre grandi gruppi:

- Saprofiti: la fonte della materia organica è morta;
- Parassiti: la fonte di materia organica è viva;
- Simbionti: si associano ad altri organismi vivi per ottenere un beneficio mutuo. A questo gruppo appartengono i licheni e le micorrize. I vantaggi legati alla simbiosi sono: per il fungo, ottenimento di nutrienti organici, per la pianta, il beneficio è fisiologico, nutrizionale e sanitario (miglior recepimento di acqua e minerali, crescita favorita, adattamento a condizioni avverse, barriera contro le malattie).

Le micorrize, come detto in precedenza, sono organismi eterotrofi, non realizzano

dunque la fotosintesi e per soddisfare le proprie esigenze nutrizionali in termini di materia organica devono ottenerla da altri esseri viventi tramite altri meccanismi, siano essi saprofiti, parassiti o simbionti.

I tartufi rientrano nella schiera delle componenti micologiche ipogee che generalmente conducono una vita di tipo simbiotico per cui hanno la necessità di associarsi alle radici più fini di certe piante superiori, come ad esempio il leccio o le querce, senza le quali sarebbe incapace di sopravvivere. Questa associazione è una forma di simbiosi detta micorrizza, termine che etimologicamente deriva dal greco *mykorrhiza*, *μύκης* - *mukès* = fungo + *ρίζα* - *rhiza* = radice. Le micorrize sono costituite sostanzialmente da una radichetta molto fine circondata e penetrata in maggiore o minore misura dal micelio del fungo. In funzione del livello al quale si produce questa fusione, le micorrize possono essere classificate in:

- Micorrize endotrofiche o endomicorrize: il micelio si trova all'interno delle cellule della radice ed è osservabile solo attraverso l'osservazione di sezioni di quest'ultima al microscopio. All'interno di questo gruppo si distinguono le endomicorrize: ericoidi, delle orchidee e arbuscolari (AM). L'80-90% dei vegetali

formano micorrize di tipo AM e sono di particolare interesse dal punto di vista agricolo.

- Micorrize ectotrofiche o ectomicorrize: sono la tipologia più diffusa in condizioni ambientali di tipo forestale e ad essa appartengono le micorrize formate dal tartufo con le specie forestali alle quali si associa. In esse il fungo forma una sorta di guaina attorno alla radichetta e penetra all'interno degli strati cellulari superficiali di quest'ultima formando un reticolo di Hartig.

- Micorrize ectoendotrofiche o ectoendomicorrize: riuniscono proprietà delle due tipologie anteriori, formano una guaina, un reticolo di Hartig e determinano l'entrata del fungo all'interno delle cellule della radice.

Le relazioni simbiotiche prevedono un mutuo beneficio per i partecipanti. Nel caso delle micorrize, il fungo ottiene prodotti organici sintetizzati (idrati di carbonio) provenienti dalla pianta superiore, vista la sua incapacità di produrli dovuta alla mancanza di clorofilla. La pianta ottiene:

- vantaggi per quanto riguarda l'assunzione di nutrienti dal momento che le micorrize incrementano la superficie di contatto tra radice e suolo tramite il suo ingrossamento e divisione radicale;

- miglior reperimento di minerali poco mobili o a bassa concentrazione che la pianta, da sola, non potrebbe acquisire e che ottiene attraverso il fungo, beneficiando il livello di assimilazione di macronutrienti come azoto, fosforo e potassio;

- competitività maggiore per ottenere acqua dal suolo;

- maggiore tolleranza a situazioni di stress come aridità o malattie;

- miglior sistema difensivo nei confronti di malattie crittogamiche, non solo grazie alle condizioni migliori a livello

nutrizionale ma anche per la protezione fornita dal mantello fungino, che agisce da barriera agli agenti parassitari. Nel caso dei tartufi, la produzione di certi antibiotici evita la competizione di altre specie vegetali;

- in alcuni casi, la micorrizzazione di piante forestali con determinate specie fungine (generalmente ectomicorrize) permette un adattamento degli stessi a suoli nei quali per le loro condizioni edafiche non potrebbero sopravvivere;

- lo sviluppo radicale accentuato fornisce alle piante una maggiore resistenza al trapianto e all'acclimatazione;

- le micorrize migliorano la struttura del suolo (Honrubia et al., 1992), che generalmente risulta possedere un miglior drenaggio e aerazione.

Le micorrize che formano le componenti micologiche ipogee sono in maggioranza di natura ectomicorrizica. Questo tipo di associazione si produce nelle radici più fini della pianta, gli apici radicali. Esternamente le ectomicorrize producono un ingrossamento delle radichette terminali, dovuto al manto fungino da cui vengono ricoperte, e provocano un'intensa divisione radicale che, in alcuni casi, forma glomeruli di micorrize.

La struttura delle ectomicorrize è formata dal rivestimento miceliare, dal reticolo di Hartig e dalle spinule.

Il rivestimento miceliare, detto anche mantello o micoclena, ricopre il micelio attorno alla radice, è di consistenza variabile a seconda della specie e presenta, superficialmente, diversi tipi di motivo in funzione della struttura formata dalle ife. Si possono distinguere due tipologie di rivestimento:

- Plectenchimatico, che forma una maglia più o meno fibrosa attorno alla radice;

- Pseudoparenchimatico, nel quale

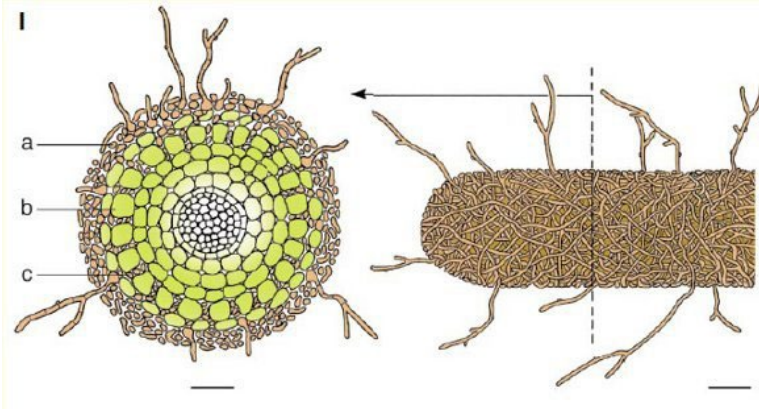


Figura 2.1 Fungo ectomicorrizico che circonda una radice. Mostrato in sezione (a sinistra) con mantello del fungo che circonda l'estremità di una radice (a), cellule della radice (b) e reticolo di Hartig (c). Rappresentazione del frammento di radice dalla quale è stata presa la sezione (a destra). Indicatore di scala = 50µm (a sinistra) e 100 µm (a destra) (Da Landeweert et al., 2001).

Pezizales, alla famiglia Tuberaceae e al genere *Tuber* Micheli ex Wiggers: Fr. 1780.

Esistono numerosissime

si forma una struttura di aspetto cellulare simile al parenchima, da cui prende il nome. In particolare le micorrize di *Tuber* Micheli ex Wiggers: Fr. 1780 possiedono un rivestimento di questo tipo.

Il reticolo di Hartig (Figura 2.1) è formato da ife provenienti dal mantello che penetrano tra le cellule radicali del cortex. A differenza delle endomicorrize, nelle ectomicorrize il fungo non penetra all'interno delle cellule ma tra i setti che le separano.

Nella parte più esterna della micoclena si trovano ife più o meno larghe, chiamate spinule, che si diramano nel suolo. La forma e le dimensioni delle spinule sono un carattere identificativo della specie fungina di appartenenza.

Nel caso di *Tuber melanosporum* Vitt., le micorrize corrispondono ad una fase del ciclo biologico nella quale il tartufo vive in associazione simbiotica con le radici di una pianta superiore, per lo più appartenente a specie a crescita lenta (in natura appartengono spesso alla famiglia delle Fagaceae).

FISIOLOGIA

I tartufi commestibili e commercializzabili appartengono alla divisione Ascomycota, alla classe Pezizomycetes, all'ordine

specie fungine tra le componenti micologiche ipogee chiamate volgarmente "falsi tartufi". Tutti questi generi e specie sono ripartiti tra varie famiglie: *Balsamiaceae* E. Fischer, *Elvellaceae* Fr., *Otideaceae* Eckblad, *Pezizaceae* Dumortier, *Terfeziaceae* E. Fischer. I corpi fruttiferi ipogei prodotti dalle specie appartenenti a queste famiglie potrebbero essere considerati erroneamente dei tartufi.

I tartufi sono il corpo fruttifero (ascocarpo) di funghi ipogei ascomiceti che vivono e si sviluppano sottoterra in simbiosi mutualistica con l'apparato radicale di alcune piante arboree, fra le quali si annoverano vari membri delle Fagaceae, Betulaceae, Pinaceae e Mirtaceae.

I tartufi si sono evoluti in linee filogenetiche di funghi ectomicorrizici, il che suggerisce che l'associazione simbiotica con le piante possa essere un importante fattore nell'evoluzione del tartufo. Dipendono fortemente dagli animali, che li consumano disperdendo così le spore attraverso le feci, di conseguenza questi funghi hanno sviluppato strutture riproduttive che emettono aromi forti attraendo in questo modo gli animali che se ne nutrono. La convergenza di questi tratti in linee filogenetiche diverse suggerisce che la transizione da fungo epigeo a fungo ipogeo sia guidata da meccanismi che promuovono

la dispersione tramite animali (Frank et al. 2009). Infatti, la dispersione tramite feci di animali può essere una strategia più efficiente che quella tramite vento o acqua, dal momento che gli animali che si nutrono di tartufi tendono a rilasciare le loro feci in prossimità di potenziali piante ospiti. I tartufi producono a questo scopo spore resistenti, che sopravvivono ed in alcuni casi beneficiano del passaggio attraverso il tratto digestivo degli animali. Inoltre, la forma ipogea funge anche da protezione nei confronti dei predatori che, attratti dal loro aroma, potrebbero nutrirsi degli ascocarpi ancora immaturi.

Un altro processo evolutivo che può aver portato alla formazione delle componenti micologiche ipogee è la prevenzione dalla dissecazione. Infatti, sebbene alcuni tartufi come *Tuber aestivum* (Vittadini, 1831) e *Tuber melanosporum* (Vittadini, 1831) possiedano una copertura esterna che li protegge sia da stress meccanici che di dissecazione, molte altre specie sono caratterizzate da delicati corpi fruttiferi. Le condizioni dell'ambiente in cui il tartufo si sviluppa sono difficili, spesso caratterizzate da aridità e freddo (tipiche delle regioni mediterranee), ed in molti casi sono zone molto ventose. La fruttificazione in superficie espone i funghi al rischio di congelamento, disseccamento o anche

ingestione. Il tartufo, caratterizzato da specie a maturazione lenta, si rifugia nel suolo, dove beneficia di una protezione maggiore (Reyna Domenech, 2007).

Il genere *Tuber* si distingue per il corpo fruttifero ipogeo, detto **ascocarpo** o sporoforo (Figura 2.2). Nella sua forma più diffusa presenta un aspetto subgloboso o tuberiforme che, a piena maturità, possiede dimensioni che variano da quelle di una nocciola a quelle di un'arancia. In alcune specie, è presente una fossetta basale più o meno pronunciata, che può presentare l'aspetto di una vera e propria cavità interna (Montecchi, 1993).

L'ascocarpo è ricoperto dal **peridio**, ovvero il rivestimento dello strato esterno, forte e resistente. La sua struttura è generalmente pseudoparenchimatica, di aspetto e superficie variabile: può essere bianco, giallo, rossastro, bruno o nero, con una superficie liscia oppure più o meno verrucosa. Le caratteristiche del corpo fruttifero variano a seconda della specie di tartufo, del tipo di pianta simbionte e dell'ambiente nel quale cresce, mentre quelle del peridio possono variare addirittura all'interno della stessa specie, per esempio il tartufo bianco cresciuto in ambienti acquitrinosi presenta un peridio con maculature esterne color ruggine, mentre se cresce negli incolti assolati con

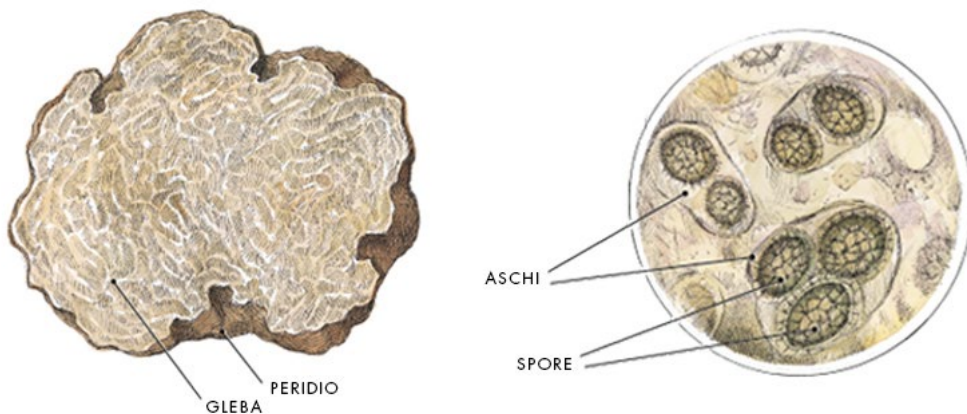


Figura 2.2 Carpofofo del genere *Tuber* (Da <http://www.tuber.it/it/glossario.php>).

folta copertura erbacea assume un colore giallastro.

All'interno del tartufo si trova la **gleba**, con un aspetto marmorizzato composto da una parte sterile, che appare sotto forma di venature chiare che facilitano la respirazione del fungo, e una parte fertile nella quale sono distribuiti gli aschi, dall'aspetto più o meno scuro. Anche il colore della gleba varia in base alle diverse specie, tuttavia dipende anche dal grado di maturazione dell'ascocarpo, costituendo in tal modo un carattere diagnostico affidabile solo nei corpi fruttiferi che hanno già raggiunto la maturità. Dipendendo dal tipo di pianta con cui il fungo vive in simbiosi e dai sali minerali presenti nel terreno, il colore della gleba può variare anche all'interno della stessa specie. Per esempio, la gleba del tartufo bianco pregiato è quasi bianca nel caso in cui questo viva in simbiosi con il salice bianco oppure con il pioppo, mentre presenta un colore nocciola scuro se vive in simbiosi con la quercia, infine è maculata di rosso se vive in simbiosi con il taglio. Al contrario la gleba del tartufo nero pregiato, in fase di piena maturità, presenta un caratteristico colore nero-violaceo.

All'interno della parte fertile della gleba si trovano gli **aschi**, strutture di forma ellisoidale o subglobosa provviste in molte specie di un peduncolo più o meno sviluppato e carenti di un sistema di apertura.

Al loro interno si formano le spore, dette **ascospore**, che sono gli organi di riproduzione sessuata del fungo. Le ascospore hanno dimensioni riconducibili al millesimo di millimetro e forma variabile a seconda della specie, generalmente ellisoidali o subglobose. Possiedono inoltre una parete robusta e, aspetti che conferiscono loro resistenza. I membri ipogei delle Pezizales tendono ad avere, all'in-

terno di una stessa famiglia o genere, lo stesso numero di nuclei nelle ascospore, ad eccezione del genere *Tuber*, dove le spore possono racchiudere da 1 a 18 nuclei, anche se la maggior parte delle specie ne possiede quattro. La loro dimensione è inversamente proporzionale al numero di spore presenti nell'asco. Le ascospore sono rivestite da un involucro resistente e ricco di melanina, in alcuni casi munito di aculei, come nel tartufo nero pregiato, ed in altri di alveoli più o meno regolari, come nel tartufo bianco pregiato. Il loro aspetto può essere traslucido oppure di diverse tonalità di bruno. La lunghezza degli aculei, la loro forma, la geometria degli alveoli e la loro disposizione più o meno regolare, nonché le dimensioni, la forma ed il colore delle spore sono caratteri diagnostici affidabili, anche se presenti solo negli esemplari maturi.

L'**habitat** ipogeo di questi funghi determina un'assenza di meccanismi di dispersione, per cui dipendono dal deterioramento del corpo fruttifero e, soprattutto, dall'ingestione da parte di animali vettori che ne disperdano le spore.

Ad attrarre questi animali è il forte **odore** emesso alla maturità, molto variabile a seconda delle specie, con aromi che possono essere da agiaceo a putrido, bituminoso, ammuffito, muschiato, ecc., da tenui a molto persistenti.

CICLO BIOLOGICO

Il ciclo biologico del tartufo non è ancora del tutto noto, in considerazione del fatto che lo sviluppo sotterraneo ostacola lo studio delle varie fasi di sviluppo. È tuttavia noto il ciclo biologico del *Tuber melanosporum*, dal quale si può desumere uno schema generale valido anche per le altre specie.

Le fasi del ciclo biologico di *T. melanosporum* (Figura 2.3) sono analoghe a quelle di qualsiasi essere vivente: nasce, cresce, si riproduce e muore. Per questa ragione i primi stadi sono vegetativi, mentre il tartufo, che è una struttura riproduttiva, si produce solo in fase tardiva. Per questa ragione si possono distinguere due tipi di processo:

1. fase vegetativa: dalla germinazione della spora fino alla fruttificazione, attraverso una fase miceliare rapida e una fase micorrizica più lenta;
2. fase riproduttiva: fruttificazione e produzione del tartufo.

1. FASE VEGETATIVA

▪ Germinazione e micelio

La fase vegetativa ha inizio quando il carpoforo raggiunge la piena maturità, ossia a partire da metà inverno fino all'inizio della primavera. Questo deve liberare le spore contenute, azione che è facilitata dal suo intenso aroma che attrae molti animali, che se ne nutrono per poi liberarle con

le deiezioni. La vera e propria dispersione avviene quando le spore escono dagli aschi, ciò avviene solitamente quando il carpoforo entra in uno stadio di marcescenza, infatti queste non possono germinare all'interno degli aschi per via di inibitori della germinazione, ragion per cui una volta liberate dagli aschi e raggiunto il suolo, l'acqua piovana le "ripulisce" dagli inibitori della germinazione. Raggiunte le condizioni di temperatura e umidità adatte la spora inizia a germinare emettendo un finissimo filamento di micelio uninucleato, geneticamente identico alla spora che l'ha prodotto, che viene detto **micelio primario**. Quest'ultimo si accresce nel terreno e, se incontra un altro micelio primario derivante da un'ascospora diversa, si fonde originando un micelio secondario in grado di contrarre la simbiosi micorrizica.

A questo punto può avere inizio la fase simbiotica, dove il micelio si espande per il suolo alla ricerca di un apice radicale appartenente ad una pianta ospite adeguata. Alcuni studi mettono in evidenza la partecipazione della radice stessa mediante la produzione di essudati che stimolano l'avvicinamento del micelio.

▪ Infezione primaria

Il filamento miceliare emesso dalla spora si espande ed esplora il suolo alla ricerca delle radici che deve trovare in tempi brevi o, contrariamente, una volta esaurita la riserva di nutrienti della spora, morirà.

Quando il filamento miceliare trova la radice di una specie arborea adatta la avvolge progressivamente con le sue ife fino a formare una ectomicorriza, processo conosciuto come infezione primaria. Le radici interessate dalle ectomicorrize sono generalmente le radici secondarie, ricche di capillizio e specializzate nell'assorbimento delle sostanze nutritive dal terreno. Il micelio si sviluppa penetrando all'interno

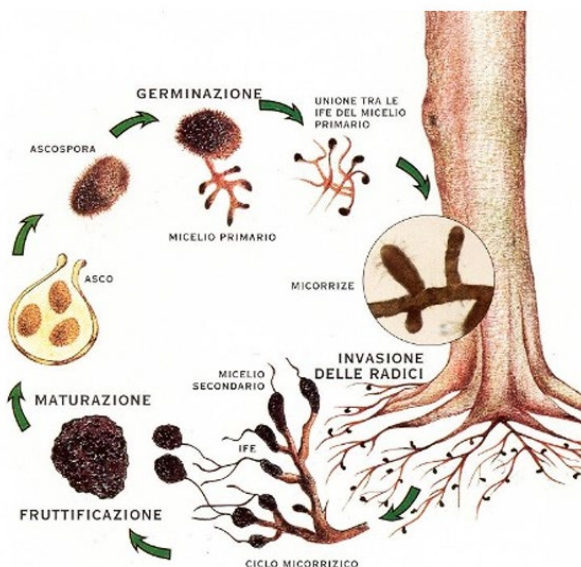


Figura 2.3 Ciclo micorrizico di *Tuber melanosporum* (Da <http://agrimont.info/c/ipm/il-concetto-di-malattia-pt-1>).

del cortex delle radici formando il reticolo di Hartig e sviluppando all'esterno una sorta di guaina di alcuni strati di cellule detta **micoclona**, dalla quale si originano nuove ife, i così detti cistidi, caratterizzati da un accrescimento definito e da una parete abbastanza spessa, che vanno ad infettare le radici più vicine. Attraverso le ife del reticolo di Hartig il tartufo trae dalla pianta tutte le sostanze organiche necessarie per la propria sopravvivenza. Dalle micorrize si sviluppano nuove ife che vanno ad infettare le radichette più vicine, tramite quella che viene chiamata infezione secondaria.

▪ **Infezione secondaria**

A partire dalle micorrize primarie, il micelio inizia a colonizzare il suolo, incontrando durante il suo sviluppo nuove radici e formando micorrize secondarie. In questo modo, al crescere della pianta, si generano nuovi apici radicali, sensibili alla colonizzazione da parte delle ife del fungo presenti nelle vicinanze.

In certe zone del sistema radicale l'infezione micorrizica provoca un'abbondante divisione radicale ed una accumulazione o "glomerulo" di micorrize abbastanza compatto. Tutto il processo di infezione si estende per il suolo ed il sistema radicale fino a raggiungere una biomassa tale che, se le condizioni sono adeguate, può dare inizio alla fruttificazione. Sotto certe condizioni di coltura, con pianta inoculata, è stato stabilito che il ciclo completo richiede tra i 5 ed i 10 anni. Durante questa fase, nella quale si verifica una chiara simbiosi, si produce anche una collaborazione con batteri che migliorano e stimolano il processo micorrizico, dal momento che aiutano l'acidificazione del mezzo favorendo lo sviluppo estensivo del micelio (Garbaye and Bowen, 1989; Mamoun et al., 1985; Mamoun and Oliver, 1990, 1992, 1993a, 1993b). Quando le radici cessano la

loro crescita a causa di un deficit idrico, passano da un colore bianco a marrone chiaro, cambiamento dovuto ad un accumulo di lignina e tannini. Quest'accumulo di lignina e tannini ricchi in nitrogeno è fondamentale, dal momento che queste sono le sostanze nutritive che favoriscono maggiormente lo sviluppo del tartufo.

2. FASE RIPRODUTTIVA E DI FRUTTIFICAZIONE

▪ **Formazione del tartufo**

La fase di fruttificazione, ossia la formazione dei corpi fruttiferi nel terreno, si realizza quando si verificano alcune condizioni:

- la pianta simbiote ha raggiunto la maturità fisiologica, questa biomassa critica è raggiunta solitamente a partire dai 5-10 anni;
- nel terreno c'è una sufficiente carica di micorrize;
- le condizioni climatico-ambientali sono favorevoli.

Una volta verificate le condizioni, le ife bloccano il loro accrescimento ed iniziano a formare il carpoforo. A partire dai mesi di aprile-maggio, parte dei filamenti miceliari iniziano a differenziarsi, aggruppandosi e compattandosi fino a formare un piccolo primordio o abbozzo del carpoforo. I primordi giovani sono costituiti da tre parti:

- una parte basale, che costituisce il "piede", il quale produce vari filamenti che ricoprono la struttura in formazione;
- una parte mediana, che rappresenta l'ascogonio, con un citoplasma denso e ricoperto da filamenti giovani;
- una parte terminale, o tricogino, avvolto attorno ad un filamento sterile.

Questi primordi di color chiaro diventano globulosi durante la crescita e si trasformano in una sorta di bozzoli contenenti un centro costituito da vene sterili e

vene fertili, la gleba, ed un peridio esterno. Sono sferici, rossicci e leggermente rugosi in superficie. Secondo Olivier et al. (1996), ai primi di giugno si possono trovare nelle tartufaie anche 10 primordi per m² che, nella maggior parte dei casi, non completeranno il loro sviluppo. Nel ciclo annuale del tartufo i primordi si producono in primavera e dovranno dunque sopportare tutta l'estate, per cui solo quelli che sopravvivranno alle temperature calde e a potenziali periodi di siccità diventeranno tartufi maturi.

FASE SAPROFITICA A questo stadio, probabilmente, ha inizio la fase saprofitica, dove il tartufo si stacca dalla pianta e inizia a vivere in maniera autonoma, assorbendo le sostanze organiche presenti nel terreno attraverso dei ciuffi di ife che partono dal peridio (Barry et al., 1994 e 1995, Giovanetti et al., 1992). Il tartufo quindi si accresce e subisce dei mutamenti: le vene sterili, all'inizio evidenti e ampie, diventano sempre più sottili all'aumentare delle ascospore che si sviluppano nel tessuto fertile, più scuro. Affinché ciò avvenga il tartufo necessita di una certa quantità di pioggia. Alla fine dell'estate cominciano a differenziarsi le spore.

▪ **Sviluppo e nutrimento dell'ascocarpo**

Durante il suo sviluppo il tartufo ha bisogno di proteggersi, in particolare dal disseccamento estivo, e nutrirsi.

Per quanto riguarda la protezione, il tartufo nero è una specie xerofita, adattata a condizioni di alte temperature e aridità, con una struttura dal peridio verrucoso e spesso, che ne permette la crescita e contemporaneamente protegge il contenuto interno contribuendo ad evitare il disseccamento tramite una chiusura ermetica che limita la perdita di acqua nei momenti critici.

La nutrizione è responsabilità di ife che

si producono nelle verruche del peridio e che rappresentano una superficie importante di scambio e assorbimento. Il tipo di sostanze assorbite dall'ascocarpo è strettamente legato alla micro, meso e macrofauna che si trova nel suolo, dal momento che molte di queste specie liberano sostanze che regolano la flora batterica dei suoli delle tartufaie: alcune specie di miriapodi e chilopodi contribuiscono a degradare la sostanza organica a molecole semplici che verranno utilizzate dal fungo (Callot, 1999), altre si nutrono delle ife del tartufo contribuendo alla crescita dello stesso, oppure nel caso di lombrichi, vermi e formiche, favoriscono la creazione di una rete di canali e gallerie che arieggiano e drenano l'intorno del tartufo.

Il ciclo di formazione del tartufo dura da 8 mesi al raggiungimento della piena maturità

▪ **Disseminazione delle spore**

Quando il tartufo raggiunge la piena maturità, generalmente in primavera, libera le spore che racchiude. L'emissione progressiva di forti odori, a seconda del grado di maturità, attrae vertebrati e invertebrati, alcuni dei quali sono legati in maniera specie-specifica al tartufo, che contribuiscono alla dispersione delle spore, dal momento che il tartufo non è in grado di farlo da solo dalla sua posizione interrata. L'odore è pertanto lo strumento di una strategia adattativa di una specie fungina che fruttifica sotto terra che, liberando sostanze volatili nel momento di piena maturità, diventa appetibile per gli aromi che rilascia (Reyna Domenech, 2007). Inoltre, il tartufo raggiunge la maturità in un periodo in cui nei boschi mediterranei il suo fortissimo odore non compete con altre fragranze.

Gli animali ingeriscono il tartufo, che attraversa tutto il tratto digestivo, e defecando rilasciano, assieme agli escrementi,

le spore, che avranno così raggiunto una distanza, rispetto al luogo di produzione, inaccessibile se il tartufo rimanesse *in situ*.

Il cinghiale, ad esempio, può trasportare piccoli frammenti di tartufo aderiti alle labbra o al pelo. Secondo Delmas (1983), il tartufo emette tra le sue sostanze volatili una simile ai feromoni sessuali del cinghiale maschio, supportando l'ipotesi dell'emissione di odori da parte del tartufo come mezzo per la dispersione delle spore, sebbene resti da verificare se le spore vengono digerite o meno e, in questo caso, se il passaggio attraverso il tratto digestivo può attivarne la germinazione.

Un consumatore di tartufo molto specializzato è *Suillia gigantea* (Meigen, 1830), la mosca della frutta, che depone nel tartufo maturo, all'interno del quale le sue larve si sviluppano e alimentano. Queste mosche potrebbero contribuire attivamente alla dispersione delle spore, dal momento che queste restano adese alla peluria degli individui adulti (Reyna Domenech, 1992).

Il trasporto interno che effettuano gli animali sembra avere la funzione di attivare

le spore del fungo. Le difficoltà incontrate nella germinazione delle spore di tartufo in test di laboratorio per ottenerne il micelio potrebbe essere dovuta a questo motivo (Reyna Domenech, 2007).

IL PIANELLO

Alcune specie di tartufo quali *T. melanosporum* e il *T. aestivum* hanno la caratteristica di determinare la scomparsa pressoché totale della vegetazione erbacea, annuale o perenne, nelle aree di terreno ove maturano i tartufi, queste aree vengono chiamate "brûlé" in Francia e "pianello" in Italia. Cominciano a svilupparsi generalmente tra il 4° e il 10° anno di impianto dell'albero micorrizzato e hanno spesso forma circolare, ma possono svilupparsi anche intorno al tronco della pianta tartuficola generando superfici ellittiche, triangolari, ecc. L'area del pianello possiede un'estensione molto variabile, che si accresce con le dimensioni dei capillari radicali della pianta ospite che portano le micorrize, con una tendenza perciò ad espandersi verso l'esterno di 10-

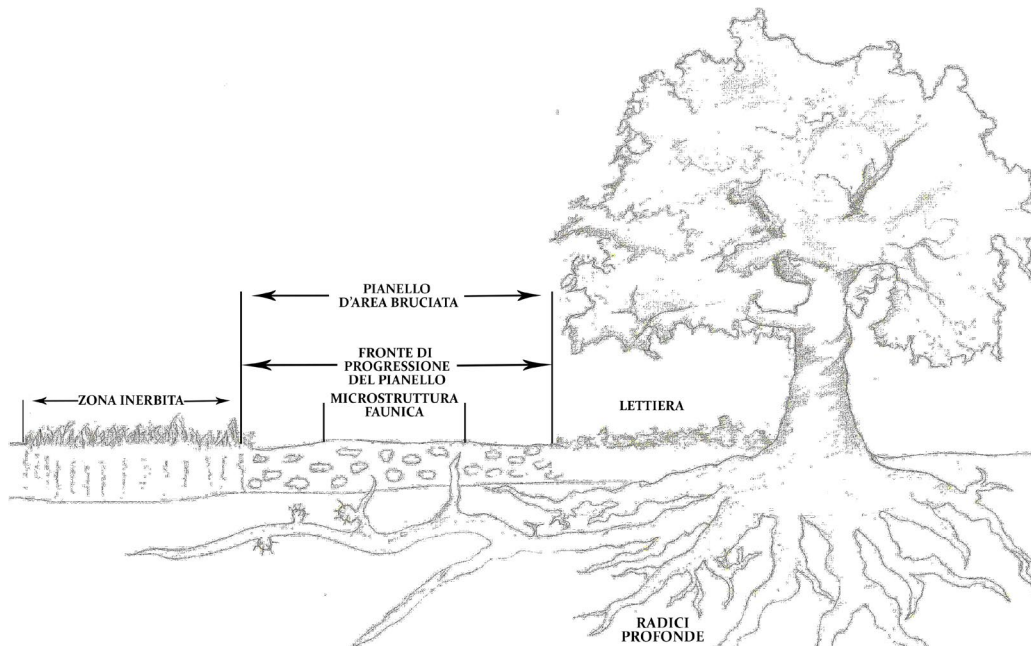


Figura 2.4 Sviluppo delle radici e delle micorrize nel pianello e nell'area circostante (Da Granetti B. et al, Umbria terra di tartufi, 2005, ridisegnato da Remelli S.).

15 cm ogni anno (Figura 2.4). La durata del pianello non è uniforme anche se, se non cambiano le condizioni ecologiche in maniera sensibile, potrebbe essere lunga come la vita dell'albero.

Lo sviluppo maggiore delle micorrize si può osservare alla periferia dell'area bruciata o all'esterno della stessa dove è presente la vegetazione erbacea. L'area bruciata si forma per la presenza delle micorrize del tartufo ed anche per l'attività di batteri ed altri funghi micorrizogeni. I tartufi compaiono prevalentemente all'interno dell'area bruciata, della quale preferiscono la parte più fresca.

Il fenomeno dell'area bruciata è stato osservato da tempo (Ciccarello, 1564; Marsili, 1714), tuttavia soltanto da pochi anni si è in grado di capirne le ragioni, radicanti nell'effetto antibiotico che esercita il micelio del tartufo espanso nel suolo, il quale impedisce la germinazione di altri vegetali, attraverso un fenomeno denominato allelopatia.

In alcuni studi di laboratorio è emersa una chiara azione fitotossica sulla germinazione dei semi di piante erbacee e sulle giovani piante originata dagli estratti acquosi di ascocarpi e di filtrati colturali di *T. melanosporum* coltivato in vitro (Montacchini et al., 1977).

In diversi casi si è dimostrato come i semi dell'orzo e del grano germinavano con una proporzione molto inferiore quando innaffiati con estratti di tartufo (Bonfante et al., 1971).

Pacioni (1991) ha evidenziato l'influenza negativa di tre aldeidi (2-metilpropanale, 2-metilbutanale e 3-metilbutanale) e due alcoli (2-metilbutanolo e 3-metilbutanolo) estratti da tartufi maturi, sulla germinazione dei semi di alcune piante coltivate e sullo sviluppo di alcuni funghi e batteri della rizosfera. Fitotossici risultano anche alcuni amminoacidi e, in generale,

alcune sostanze, sia volatili che solubili, dalle quali la terra della tartufaia risulta arricchita in modo tale da impedire o attenuare la germinazione della quasi totalità delle piante erbacee spontanee. La vegetazione caratteristica delle tartufaie naturali è quella tipica di ambienti aperti, secchi e soleggiati, in quanto nelle località con forte piovosità le sostanze fitotossiche sono dilavate ed il pianello è meno evidente.

In termini ecologici, la scomparsa delle erbe è giustificata dal fatto che esse sottraggono acqua, necessaria alle micorrize per accrescersi, inoltre ombreggiano il terreno. Una potente micorrizzazione conferisce all'albero un'efficienza superiore nella competizione per l'acqua e per questo le piante in grado di sopravvivere all'interno del pianello sono quelle più resistenti all'aridità come, ad esempio, *Sedum* sp. (L., 1753) ed *Euphorbia* sp. (L.). inoltre, se consideriamo che il tartufo possiede anche una fase saprofitica, all'eliminare le piante di cui non può colonizzare le radici apporta al suolo una quantità di materia organica in decomposizione della quale potrà alimentarsi durante la fase stessa.

T. melanosporum è un colonizzatore del pianello molto aggressivo e provvede in modo autonomo a creare la sua nicchia ecologica. La composizione di microfauna e microflora e le loro dinamiche sono molto diverse all'interno ed all'esterno del pianello e cambiano nel corso dello sviluppo di quest'ultimo. Castrignanò et al (2000) effettuarono uno studio i cui risultati confermarono che la presenza di copertura erbacea nell'area esterna al pianello e la presenza di una maggiore quantità di radici stabilizzano la struttura del suolo permettendo l'esistenza di aggregati di dimensioni maggiori rispetto a quelli dell'area interna, il cui suolo risulta essere molto più suscettibile agli effetti disagreganti degli agenti meteorici,

risultando più incoerente, poroso ed areato. Inoltre la scarsa presenza di copertura erbacea rende il pianello meno ricco in sostanza organica nonché più povero per quanto riguarda le concentrazioni di Fe e Mn. Il pH dell'area interna al pianello risulta debolmente basico, con valori compresi tra 7.5 e 8.2, e non mostra differenze rilevanti rispetto all'ambiente esterno. Queste osservazioni suggerirono che un terreno maggiormente disgregato ed areato potesse essere una caratteristica favorevole alla crescita del corpo fruttifero del tartufo. García- Montero et al. (2009) effettuarono ulteriori studi per indagare la natura delle interazioni fra corpi fruttiferi di *Tuber*, estensione della superficie del pianello e parametri fisico-chimici del suolo. I risultati indicarono che la concentrazione di carbonato attivo all'interno del pianello è significativamente maggiore e l'abbondanza di carbonati totali inferiore rispetto all'esterno del pianello. Le analisi statistiche confermarono che la dimensione dell'area del pianello è correlata con la percentuale di carbonato attivo presente, in quanto spiegava il 51% della variazione di estensione dell'area bruciata. Da questi parametri dedussero che il micelio di *T. melanosporum* potesse acidificare il suolo nelle immediate vicinanze e solubilizzare differenti frazioni di carbonato all'interno del pianello. L'acidificazione indotta, infatti, provoca lo scioglimento di carbonato di calcio e quindi un aumento del carbonato attivo. L'abbondanza di carbonato attivo provoca un aumento di ioni HCO_3^- e Ca^{2+} , e ciò porta all'insolubilizzazione di elementi quali Al, Co, Cu, Fe, Zn e Mn. La maggiore concentrazione di carbonato attivo nel suolo del pianello, ad opera delle ife fungine, provoca clorosi nelle piante, che costituisce un sintomo di deficienza alimentare. La clorosi indotta nelle piante competitive si esplica nell'effetto inibente

la crescita e la germinazione, mentre quella che influenza la pianta ospite induce un aumento del bisogno delle risorse trofiche derivate dalla simbiosi micorrizica contratta con il micelio fungino e quindi un aumento della crescita di quest'ultimo, che incrementerà la concentrazione di carbonato attivo nel suolo. Si innesca in questo modo un meccanismo di feedback vantaggioso per il micelio e l'aumento non solo delle sue dimensioni ma anche della produzione di corpi fruttiferi.

Bisogna tenere conto del fatto che l'effetto allelopatico coinvolge non solo le piante superiori, ma anche i microorganismi del suolo, i quali, anche se non eliminati totalmente, subiscono un rallentamento ed una riduzione della crescita e dello sviluppo.

Oltre agli studi sull'interazione fra pianello e flora, recentemente ci si è soffermati sugli effetti del pianello nella fauna del suolo. È questo il caso di Menta et al. (2014), che paragona la composizione delle comunità di microartropodi all'interno ed all'esterno del pianello di *T. aestivum*. In questo studio si ipotizza che alcuni gruppi di microartropodi possano essere influenzati negativamente dalla totale assenza di vegetazione all'interno del pianello, mentre altri, quali i collemboli, potrebbero riscontrare condizioni migliori all'interno, in particolare in termini di habitat e risorse trofiche. I risultati di questo studio hanno confermato l'abilità di *T. aestivum* di modificare le proprietà biochimiche del suolo. Una riduzione dei contenuti organici nel suolo ed un aumento del pH all'interno del pianello, nonché fattori quali la luminosità e la temperatura legate ad una riduzione della copertura erbacea, possono influenzare negativamente la fauna all'interno del pianello. All'interno della famiglia delle Isotomidae tuttavia, il genere *Folsomia* ha mostrato un'abbon-

danza superiore all'interno del pianello, lasciando supporre che potrebbe essere attratto dai metaboliti fungini prodotti dal micelio di *T. aestivum*.

SPECIE INDAGATE

Le specie indagate in questo studio sono dodici, undici delle quali appartenenti al Genere *Tuber* e una al Genere *Balsamia*:

1. *Balsamia vulgaris* (Vitt. 1831)
2. *Tuber aestivum* (Vitt.) forma *uncinatum* (Chantin) (Montecchi et Borelli, 1900)
3. *Tuber borchii* (Vitt., 1831)
4. *Tuber brumale* (Vitt., 1831)
5. *Tuber excavatum* (Vitt., 1831)
6. *Tuber fulgens* (Quèlet, 1880)
7. *Tuber macrosporum* (Vitt., 1831)
8. *Tuber magnatum* (Picco, 1788)
9. *Tuber melanosporum* (Vitt., 1831)
10. *Tuber mesentericum* (Vitt., 1831)
11. *Tuber puberulum* (Berkeley & Broome, 1846)
12. *Tuber rufum* (Picco: Fr. 1823 var. *rufum* Montecchi & Lazzari 1993)

BALSAMIA VULGARIS (VITT. 1831)

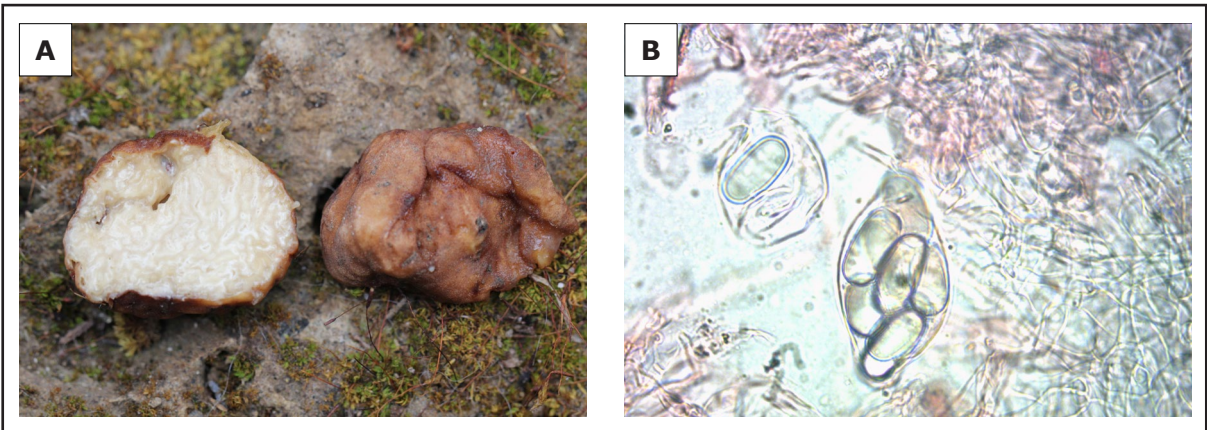


Figura 2.5 *Balsamia vulgaris*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: rotondeggiante-allungata, bitorzoluta, consistente, di dimensioni di circa 1-3 cm (Figura 2.5A). Il colore varia da nocciola giallastro negli esemplari giovani a ocra brunastro-rugginoso a completa maturazione. La superficie finemente papillata- verrucosa presenta papille tondeggianti e più scure, separabili, presenti a volte anche in occasionali cavità interne.

PERIDIO: completamente chiuso, con struttura pseudoparenchimatica costituita da elementi poligonali-tondeggianti con 10-20 (30) μm di diametro e di colore giallastro.

GLEBA: da bianco sporco a giallino pallido, con pareti tramali formanti piccole cavità labirintiformi, più scure nel mediorato.

SPORE: gli aschi sono claviformi, peduncolati, di dimensioni di 70-100 (125) \times 30-50 μm circa, con 8 spore ciascuno disordinatamente disposte, per lo più inglobati caoticamente nella trama o affacciati verso cavità e frammenti a parafisi cilindriche, molto settate, di circa 5 μm di diametro. Le spore sono lisce, ialine, cilindriche, contenenti tre guttule di cui quella centra-

le più grossa. Si trovano affastellate nell'ascio, con dimensioni di 28-30 \times 13-13,5 μm (Figura 2.5B).

HABITAT: cresce ipogeo nell'humus, in terreni argillosi, dove di solito cresce *Tuber magnatum*, e lo si trova in simbiosi con *Quercus*, *Salix*, *Populus*, *Fagus*, *Castanea*, *Corylus* ed in generale con numerose latifoglie.

ODORE: inizialmente gradevole, diventa agliaceo e penetrante raggiunta la maturità. È una specie ritenuta tossica da molti autori.

MATURAZIONE: dall'autunno fino alla primavera.

TUBER AESTIVUM (VITT.) FORMA *UNCINATUM* (CHANTIN) (MONTECCHI ET BORELLI, 1900)

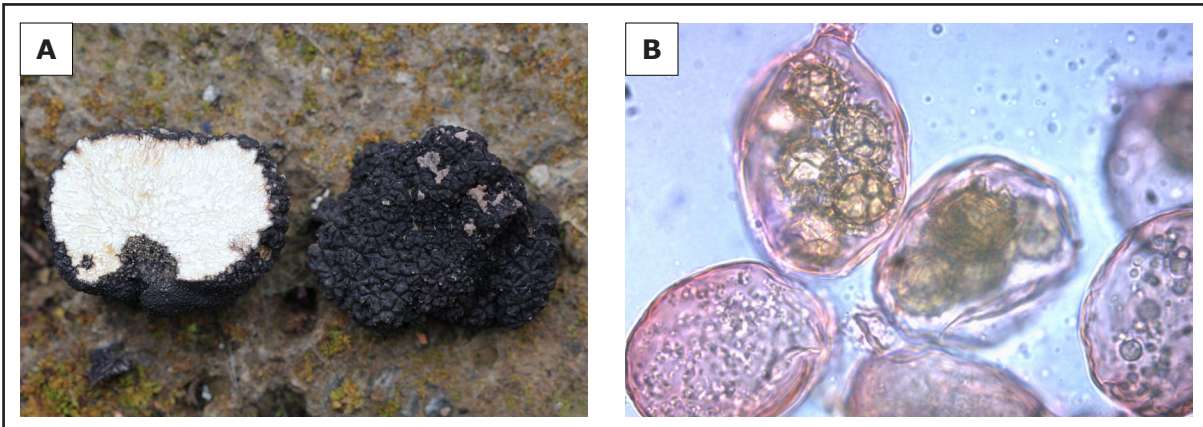


Figura 2.6 *Tuber aestivum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: l'ascoma è di forma globosa, talvolta con una piccola cavità basale, e con delle dimensioni che variano in media tra i 6-10 cm di diametro per cui il peso può variare da pochi grammi ad oltre 400 g (Figura 2.6A). Eccezionalmente può essere di dimensioni maggiori, con un colore bruno nerastro e nettamente verrucoso.

PERIDIO: è coriaceo, costituito da verruche di forma tronco-piramidale e tronco-polygonale con fessurazioni o creste sui lati di 2-5 mm di larghezza (talvolta anche 10 mm) e 2-4 mm di altezza, depresse all'apice, finemente striate trasversalmente. Il colore è bruno-nerastro brillante.

GLEBA: in individui immaturi è bianca e diventa poi tipicamente mazzata, con aspetto marmorizzato, e percorsa da venature sterili di color bianco-crema chiaro, sottili e ben marcate che si aprono all'esterno in numerosi punti del peridio e da una parte fertile che può variare dal bianco, bruno-giallastro iniziale al brunoccia, bruno-scuro della maturazione.

SPORE: gli aschi appaiono sacciformi con breve peduncolo e dimensione massima sino a 100 μm , con spore rotondeggianti o

ovali, di colore giallo-brunastro, presenti in numero variabile da 1 a 6 per asco. Le ascospore sono ellisoidali o anche subsferiche, irregolari di colore bruno carico e misurano circa μm 25-30 x 18-22 (Figura 2.6B). L'episporio ha grandi alveoli esagonali e pentagonali abbastanza regolari, larghi 9-10 μm con le pareti molto alte da 4 a 6,5 μm e talora fino a 8 μm , con valore medio 4-4,5 μm . Le pareti degli alveoli sono generalmente diritte e talora sfrangiate. All'interno degli alveoli possono essere presenti creste supplementari.

HABITAT: in media, il suolo è profondo 19 cm con uno scheletro del 20% costituito da calcare e il restante 80% di terra fine (16% sabbia, 56% limo e 28% argilla). Il pH è 7,7 di media. Dal punto di vista climatico si adatta sia al clima mediterraneo che a quello continentale, sopportando bene le basse temperature. Predilige quote medio-alte, fino a m 1100-1200. Vive bene nelle pinete e produce pianelli poco marcati e talora affatto visibili. Si ritrova in simbiosi con vari tipi di latifolia, specialmente *Quercus pubescens* (Willd., 1805), *Quercus cerris* (L.), *Quercus robur* (L.), *Ostrya carpinifolia* (Scop., 1760) e *Carpinus betulus* (L., 1753), *Corylus avellana*

TUBER AESTIVUM (VITT.) FORMA *UNCINATUM* (CHANTIN) (MONTECCHI ET BORELLI, 1900)

(L., 1753) e *Fagus sylvatica* (L., 1753). *Pinus nigra* (J.F.Arnold, 1785) è un ottimo produttore di Tartufo uncinato anche quando dà luogo a pinete chiuse.

ODORE: gradevole e alquanto intenso, ricorda l'odore del malto tostato, del lievito e dei fermenti.

MATURAZIONE: i corpi fruttiferi appaiono verso la metà di giugno. La produzione può proseguire anche fino a febbraio e talora qualche raro tartufo può essere raccolto anche in aprile-maggio.

TUBER BORCHII (VITT., 1831)

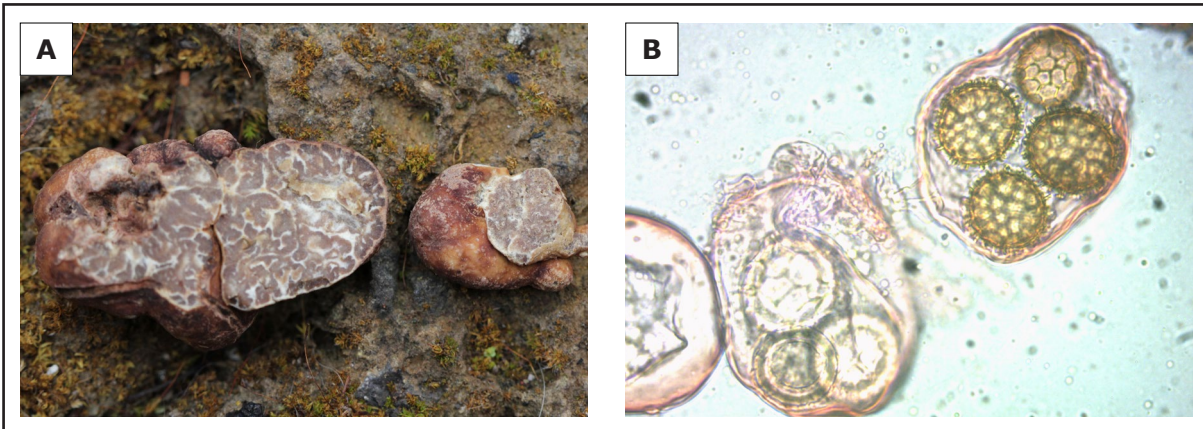


Figura 2.7 *Tuber borchii*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

Forma: tuberiforme, arrotondata e, a volte, anche appiattita e irregolare oppure lobata o gibbosa (Figura 2.7A). Misura da pochi mm a 3-4 cm di diametro fino ad un massimo di 7 cm e pesa da qualche grammo ad oltre 150 g.

Peridio: è di colore giallo pallido, grigio pallido oppure ocrea con chiazze rosso-brune e con una leggera peluria che scompare a maturazione. Nei giovani esemplari la superficie è finemente pubescente per l'abbondante presenza di ife corte, rigide, larghe 3-5 μm simili a spinule presenti nelle ectomicorrize. Nei carpofori adulti la peluria è in genere meno abbondante; il peridio appare più liscio ed ha uno spessore di μm 130 e una struttura pseudoparenchimatica a cellule poligonali-tondeggianti od oblunghe, irregolari, di circa μm 13-18 di diametro.

Gleba: quando acerba si presenta di colore bianco mentre a maturazione è bruno-rossastra, scura, morbida ed attraversata da venature sterili grossolane, ramificate e biancastre.

Spore: i suoi aschi misurano 1-5 cm di diametro (eccezionalmente anche 9-10 cm)

ed hanno forma globosa o subglobosa. La superficie degli stessi è liscia, finemente pubescente, di colore variabile dal bianco sporco all'ocra-rossastro al bruno-aranciato o bruno-violaceo. I suoi aschi sono globosi o brevemente peduncolati, misurano 73-80 x 52- 67 μm e contengono 1-4 spore di colore giallo-bruno, forma quasi ellittica o subglobosa, dimensioni variabili (24-32 x 30- 45 μm) ed ornamentazione reticolata a maglie fitte e regolari (Figura 2.7B). L'episporio è costituito da alveoli molto piccoli generalmente esagonali, od anche pentagonali, per lo più regolari nella forma, che conferiscono all'episporio un aspetto minutamente reticolato. La larghezza delle maglie varia persino nelle spore di uno stesso asco ed è indipendente dalla grandezza delle spore.

Habitat: suolo con valori medi dello scheletro di 31,7%; la restante parte è costituita mediamente da sabbia 66,3%, limo 23,2%, argilla 13,2%. Il pH varia da 7,5 a 8,0 con valori medi di 7,6. Molto vario, calcareo-argilloso, sabbioso-limoso o semplicemente sabbioso. Cresce dal livello del mare fino a circa m 1600 s.l.m. con preferenza per le esposizioni soleggiate. Vive in simbiosi con *Pinus pinea* (L., 1753),

TUBER BORCHII (VITT., 1831)

Pinus nigra, *Pinus sylvestris* (L., 1753) e *Pinus halepensis* (Mill., 1768), *Quercus pubescens*, *Quercus cerris* (L.), *Fagus sylvatica*, *Cistus incanus* (L., 1753), *Populus alba* (L., 1753) e *Populus nigra* (L., 1753).

Odore: è abbastanza forte, un po' piccante, agliaceo, gradevole in piccole quantità.

Maturazione: dai primi di dicembre ad aprile.

TUBER BRUMALE (VITT., 1831)

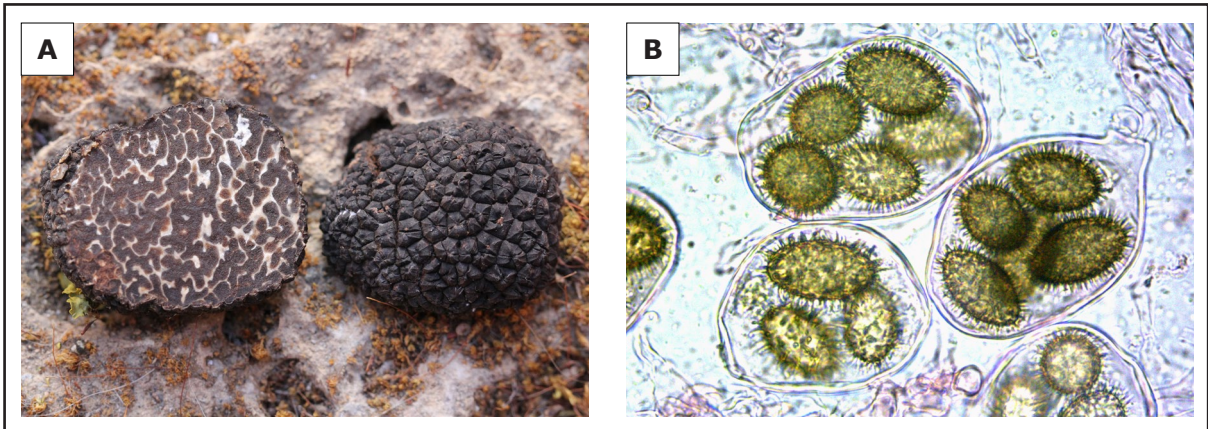


Figura 2.8 *Tuber brumale*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: globosa e leggermente irregolare di dimensioni variabili comprese tra 2 cm e 6 cm di diametro (Figura 2.8A).

PERIDIO: nero, rugoso con verruche, caratterizzato da un apice scavato ed un'altezza variabile da 1 a 3 mm. Non presenta striature e si stacca con facilità.

GLEBA: di colore compreso tra marrone scuro e grigio-nero, molte volte si presenta totalmente bianco-grigiastra a seconda del grado di maturità e dal carattere estremamente variabile della specie. Le venature, essendo più spesse, non sono abbondanti come in altre specie, quali *T. aestivum* e *T. melanosporum*. Hanno un colore bianco con margini traslucidi e odore più intenso e persistente che nel *T. aestivum*.

SPORE: ellittiche, di colore marrone chiaro e traslucide. Sono ornamentate da piccole spine di 4-5 μm di longitudine. La dimensione della spora è dell'ordine di 31 x 22 μm (Figura 2.8B). Gli aschi ellittico-globosi, di approssimativamente 100 x 70 μm , possiedono in alcuni casi un corto peduncolo.

HABITAT: si trova tipicamente in terreni profondi, soprattutto con un elevato contenuto di argilla e solitamente ricoperti di muschio. A differenza di altre specie, tollera molto bene terreni con ristagno idrico e con reazioni chimiche al limite del sub-acido. Vive in simbiosi con *Quercus* (L.), *Tilia* (Scop.), *Corylus avellana* (L., 1753) e alcune conifere, come *Pinus* (L., 1753) e *Abies* (Mill.).

ODORE: simile a *T. melanosporum* ma piuttosto acido.

MATURAZIONE: in autunno-inverno, da novembre a marzo.

TUBER EXCAVATUM (VITT., 1831)

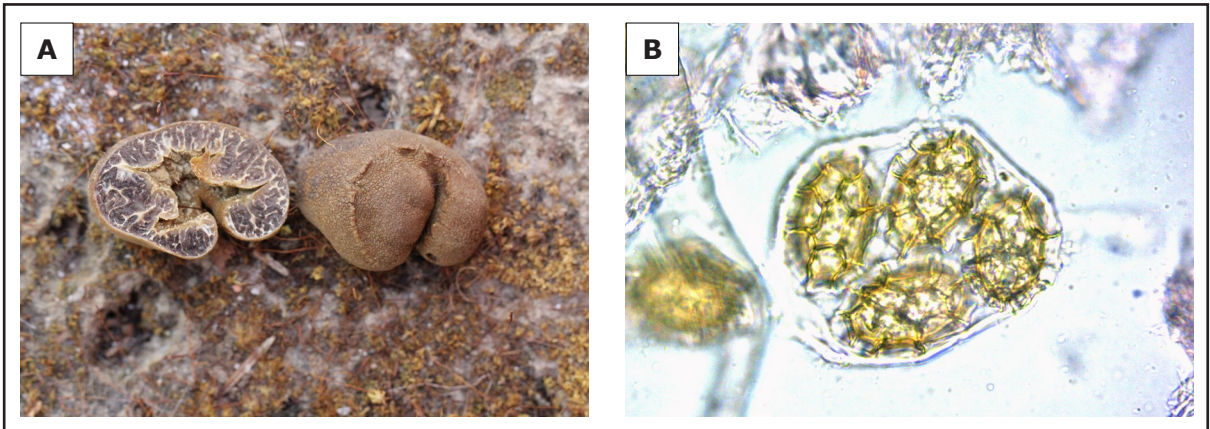


Figura 2.9 *Tuber excavatum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: subgloboso o globoso con dimensioni medie da 1 cm a 5 cm o più, non supera quasi mai la grossezza di un uovo di gallina (Figura 2.9A).

PERIDIO: liscio e di colore giallo oppure di tonalità marrone ocraceo.

GLEBA: di colore variabile dal giallo al marrone, coriacea con tendenza ad indurirsi dopo qualche giorno dalla raccolta, assumendo un aspetto legnoso e compatto. Sono presenti venature sterili bianco-giallastre, in numero esiguo, grosse, nodose e polimorfe con andamento convergente verso la cavità basale e mai in contatto con il peridio esterno.

SPORE: 2-5 spore/asco di dimensioni piuttosto elevate, con forma ellittica, di color giallo-bruno, finemente reticolate o alveolate e di dimensioni di 16-40 x 22-55 μm , in media 30 x 45 μm (Figura 2.9B).

HABITAT: specie molto diffusa in tutti i terreni calcarei vive in simbiosi con *Quercus*, *Populus* (L.), *Salix* (L.), *Betula* (L., 1753), *Cedrus* (Trew 1757) e in quasi tutta Italia escluse le isole.

ODORE: forte, con componente agliacea e penetrante.

MATURAZIONE: da autunno a inverno, anche se si sviluppa tutto l'anno.

TUBER FULGENS (QUÈLET, 1880)

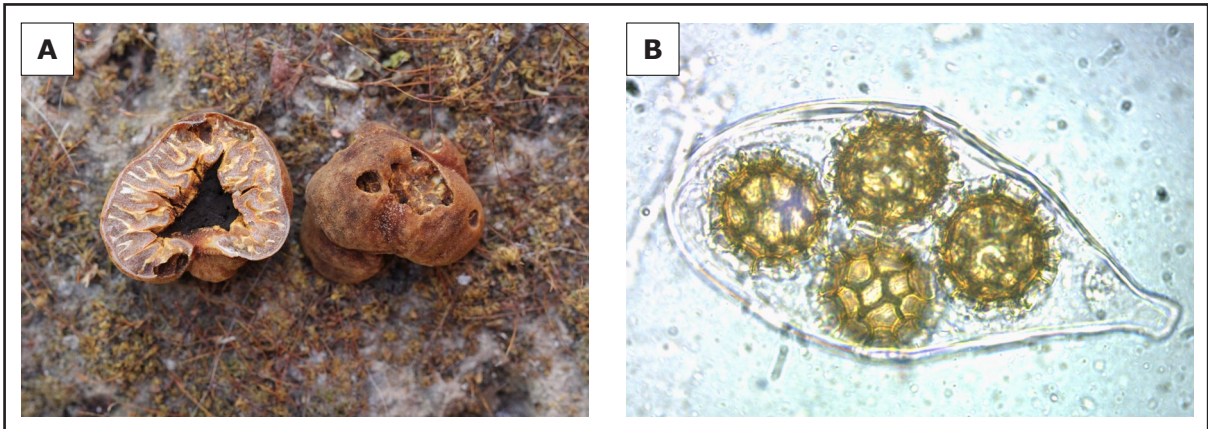


Figura 2.10 *Tuber fulgens*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: molto simile a *T. excavatum*, dal quale si differenzia per il colore rosso carminio dell'ascocarpo e le spore globo-sferiche (Figura 2.10A). Lo sporoforo si presenta globoso, subgloboso, reniforme, gibboso e pubescente di colore rossastro e con una ben evidente cavità basale. Il diametro è di 1-2 (3) cm alla base.

PERIDIO: finemente granuloso per cellule globose a parete spessa. La superficie esterna è formata da piccole papille di colori molto vivaci, che variano dall'ocra al rosso fino all'arancione. La cavità basale può assumere una colorazione solforina.

GLEBA: di odore tipicamente agliaceo è di composizione dura e compatta e i colori variano dall'ocra-brunastro al rosso-brunastro. Le vene sterili, grosse e rade, poco anastomosate, son ben evidenti e di colore biancastro sporco, confluiscono verso la base, mentre sfumano in prossimità del peridio.

SPORE: gli aschi sono globosi-subglobosi con 1-4 (5) spore di colore nocciola-giallino. Queste ultime di forma globoso-sferica misurano mediamente 31-34 x 40-48 µm (Figura 2.10B).

HABITAT: cresce a poca profondità e predilige i terreni calcarei e i boschi di latifoglie con essenze principali di *Quercus ceris*, *Quercus ilex* (L., 1753), *Corylus avellana*, *Populus alba* e *Castanea sativa* (Mill., 1768).

ODORE: tipicamente agliaceo.

MATURAZIONE: dall'estate all'inverno.

TUBER MACROSPORUM (VITT., 1831)

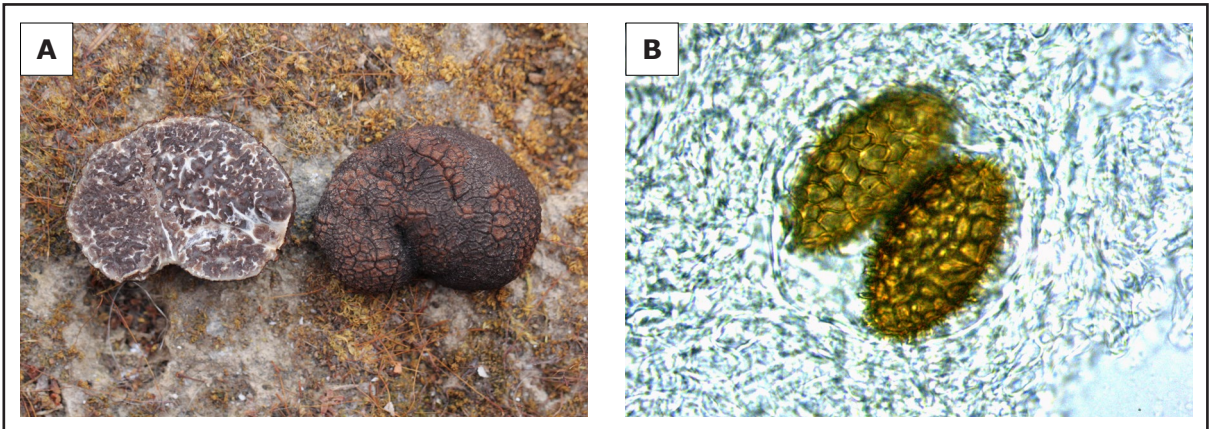


Figura 2.11 *Tuber macrosporum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: irregolare subglobosa, con una grandezza che varia tra i 2 cm e i 5 cm (Figura 2.11A).

PERIDIO: finemente verrucoso, con verruche depresse, poligonali, senza fossa alla loro base. Il colore è sui toni del marrone rossiccio-nero.

GLEBA: si presenta su tonalità bruno-porpora, con consistenza carnosa e massiccia e vene sterili ampie e abbondanti, che assumono colore brunastro quando esposte all'aria.

SPORE: gli aschi, dotati di un breve peduncolo, sono subglobosi e contengono un numero di spore che varia da 1 a 3 (4) (Figura 2.11B). Queste assumono forma ellittica e una pigmentazione rosso-bruna. Sono spesso irregolarmente reticolate o alveolate e raggiungono dimensioni di 40-80 x 30-55 μm .

HABITAT: specie non molto diffusa che vive in simbiosi con varie specie di *Quercus*, *Carpinus* (L., 1753), *Populus*, *Salix*, *Alnus* (Mill., 1754).

ODORE: con componente agliacea..

MATURAZIONE: autunnale.

TUBER MAGNATUM (PICCO, 1788)

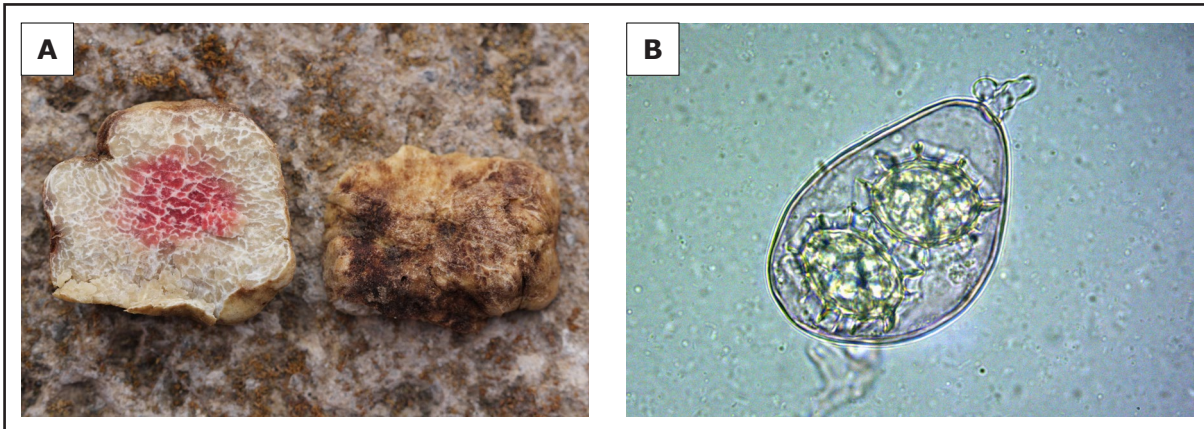


Figura 2.12 *Tuber magnatum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: l'ascocarpo è tuberiforme, leggermente lobato, con le dimensioni che variano da quelle di una nocciola a quelle di un uovo. In casi molto rari fino alle dimensioni di una mela ed oltre con un peso compreso tra i 250 e i 500 gr (Figura 1.12A).

PERIDIO: liscio, con finissime verruche visibili solo con lente d'ingrandimento. Il colore è biancastro-ocraceo, giallo pallido.

GLEBA: inizialmente biancastra, con la maturità diventa grigio-rosata e quindi scura. Il colore dipende anche dalla pianta con la quale si trova in simbiosi. È attraversata da venature fini e anastomosate. La consistenza è compatta e dura. Al tatto risulta simile al sapone.

SPORE: gli aschi sono globosi, subvoidali, e contengono da 1 a 4 spore di 35-50 x 32-42 μm . Le spore sono subglobose, reticolo-alveolate, posseggono lunghi e radi aculei e sono di colore giallo-ocra raggiunta la maturità. (Figura 1.12B).

HABITAT: specie diffusa e praticamente esclusiva dell'Italia. Vive in simbiosi con *Populus*, *Salix*, *Quercus*, *Tilia*, nei terreni marnoso-argillosi o marnoso-sabbio-

si, fino a 400-450 m s.l.m. in Piemonte e fino a 800-850 m s.l.m. in Toscana, nella Romagna, nelle Marche, nell'Umbria, in Campania, nel Molise, in Abruzzo e lungo le golene dei grandi fiumi, ove si accumulano marne-argillose o sabbiose. Sono in continuo aumento le segnalazioni di ritrovamenti in altre Regioni italiane come Lazio, Calabria, Basilicata, ecc.

ODORE: squisito, sottilmente agliaceo, si mescola con l'odore del gas metano e di alcuni formaggi.

MATURAZIONE: dal mese di Luglio (ascomi piccoli e spesso marcescenti precocemente, da cui il nome volgare di "marcia") fino all'autunno inoltrato o all'inizio dell'inverno, ad altitudini variabili dalla pianura alla media collina.

TUBER MELANOSPORUM (VITT., 1831)

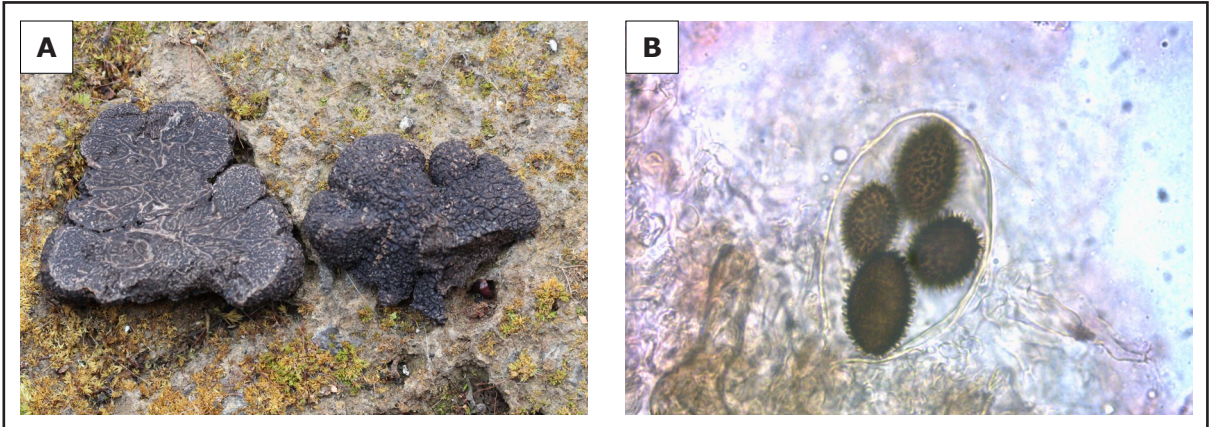


Figura 2.13 *Tuber melanosporum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: ha un ascoma di forma più o meno globosa, irregolare, e a volte lobata, con cavità basale assente (Figura 2.13A). In media misura 3-5 cm di diametro, variando le sue dimensioni da quelle da una pallina di ping-pong a quelle di una da tennis, ma in alcuni casi può raggiungere dimensioni di 8-9 cm. Il colore è bruno nerastro. Il peso può variare da qualche grammo a 40-150 g in media.

PERIDIO: molto sottile, non coriaceo, costituito da verruche poligonali larghe da 3 a 6 mm, appiattite alla sommità e finemente striate. Il colore è nero brillante, in alcuni casi con qualche tono rossiccio o marrone tra le irregolarità della superficie, soprattutto negli stadi di immaturità. La grandezza è pressoché uniforme in uno stesso carpoforo.

GLEBA: negli individui immaturi è bianca e diventa più scura in quelli maturi, che tendono al grigio più o meno tenue fino al marrone scuro e al nero violaceo, conservando un tono viola-rossastro all'interno delle tonalità nerastre che la caratterizzano. È attraversata da venature bianche, fini e nitide che, al raggiungimento della piena maturità, presentano un lieve arrossa-

mento se esposte all'aria e numerose punteggiature color ruggine. Tendono con il tempo a scomparire, acquisendo il colore della gleba stessa, inoltre sono molto ramificate e le conferiscono un aspetto marmorizzato. La parte fertile è bruno-scura con riflessi porpora a maturazione. Negli ascocarpi immaturi la gleba è soda, compatta e bianca.

SPORE: gli aschi sono ialini, globosi, sessili o con un corto peduncolo e con dimensioni di 90-140 x 80-120 μm , con un numero variabile di spore che va da 2 a 4 per asco, raramente 6. Le spore sono opache bruno-nerastre, con episporio ornamentato con aculei corti e rigidi, alti da 2 a 4 μm e a volte con apice ricurvo, ricordano i frutti delle piante del genere *Xanthium* (L. 1753). Sono ellissoidali, isopolari, abbastanza allungate, con dimensioni che oscillano tra 29-35-55 x 22-26-35 μm (Ceruti, 1960). Inizialmente ialine, poi giallognole e infine, a maturazione, diventano marroni (Figura 1.13B).

HABITAT: predilige i terreni umidi, in genere molto ricchi di scheletro con la restante parte costituita da terra fine (testitura limoso-sabbiosa). Il pH è molto

TUBER MELANOSPORUM (VITT., 1831)

uniforme e presenta un valore medio di $8,0 \pm 0,4$ (estremi 7,05 e 8,25). Vive da m 300 a circa 1200 e preferisce esposizioni di Nord-Est o di Nord-Ovest a quote basse ed esposizioni calde di Sud a quote alte. Il carpoforo si trova sotterrato ad una profondità variabile da 5 cm fino a 30-40 cm. Abbastanza comune in natura sotto vari tipi di latifoglie, soprattutto cresce in simbiosi con *Quercus pubescens* e *Quercus ilex*, ma anche con *Ostrya carpinifolia* e *Corylus avellana*.

ODORE: molto caratteristico, intenso e persistente, aromatico e gradevole.

MATURAZIONE: da metà novembre a metà marzo, raramente fino alla metà di aprile.

TUBER MESENERICUM (VITT., 1831)

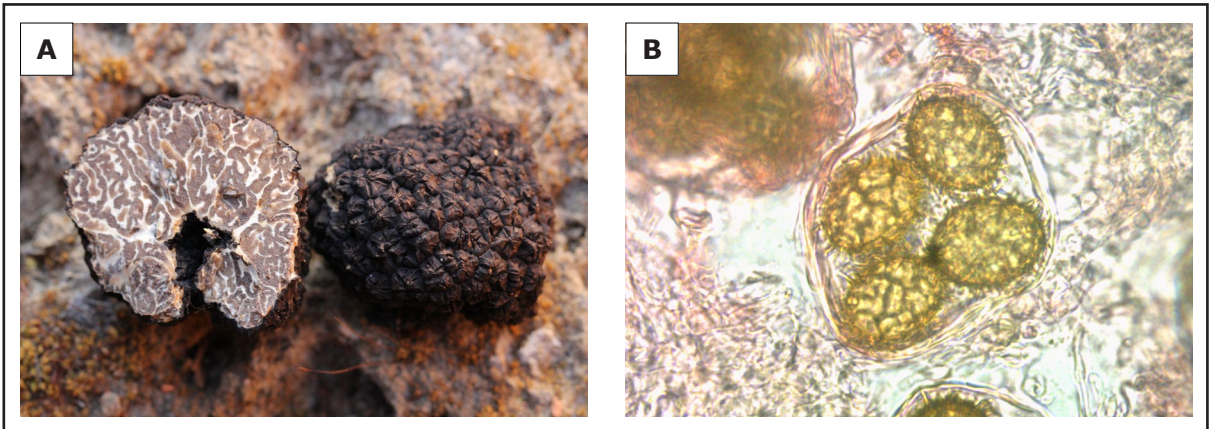


Figura 2.14 *Tuber mesentericum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: molto simile a *T. aestivum*, sferica, globosa e irregolare, caratterizzata da una ampia cavità basale, per cui in sezione il carpoforo ha aspetto reniforme, con dimensioni che variano da 2-3 cm fino, in alcuni casi, a 6 cm (Figura 2.14A). Il peso è compreso tra pochi grammi e circa 80 g. Il colore varia dal marrone scuro al nero.

PERIDIO: pseudoparenchimatico con verruche grosse e dure, poligonali, bruno-nera, di 2-4 mm di larghezza e 2-3 mm di altezza, acute oppure piane all'apice. Di forma irregolare o piramidale.

GLEBA: inizialmente soda e bianca, a completa maturazione assume un colore grigio-bruno ed è solcata da numerose venature ondulate e biancastre che spesso sporgono dalla cavità basale e si dispongono in modo radiale.

Spore: gli aschi sono globosi o subglobosi, di dimensioni che variano da 70-100 x 45-75 μm , con un numero di spore che va da 2 a 5, in alcuni casi anche 6. Le ascospore hanno dimensioni di 27-53(-57) x 23-37 μm , con forma ellittica, subglobosa ed episporio di tipo alveolato, con alveoli di media e piccola dimensione, raramente

chiusi in modo completo da pareti laterali di altezza irregolare che spesso assumono l'aspetto di creste frastagliate. Il colore è bruno, traslucido, ornamentato da un reticolo irregolare e con poli ampi (Figura 2.14B).

HABITAT: in media, il suolo è profondo oltre 30 cm, soffice o costipato, come nei riporti dei tagli di strada ove si accumula il brecciamme calcareo con pH a reazione neutra o sub-alcalina, e molto ricco di humus. Predilige i terreni soffici e ben areati. Preferibilmente si trova in alta collina e in montagna da m 800 a 1500 s.l.m.. L'ambiente più idoneo è il bosco con alta copertura vegetale quali cerrete, carpineti e faggete ove è garantito un forte ombreggiamento e un microclima umido e mite. Le piante simbionti sono *Quercus pubescens*, *Cerrus*, *Pinus nigra*, *Ostrya carpinifolia*, *Corylus avellana* e *Fagus*.

ODORE: forte, distintivo, simile al catrame e la tintura di iodio, diminuisce lasciando i tartufi all'aria.

MATURAZIONE: dall'autunno fino ai primi mesi invernali e spesso anche dopo lo scioglimento della neve in primavera.

TUBER PUBERULUM (BERKELEY & BROOME, 1846)

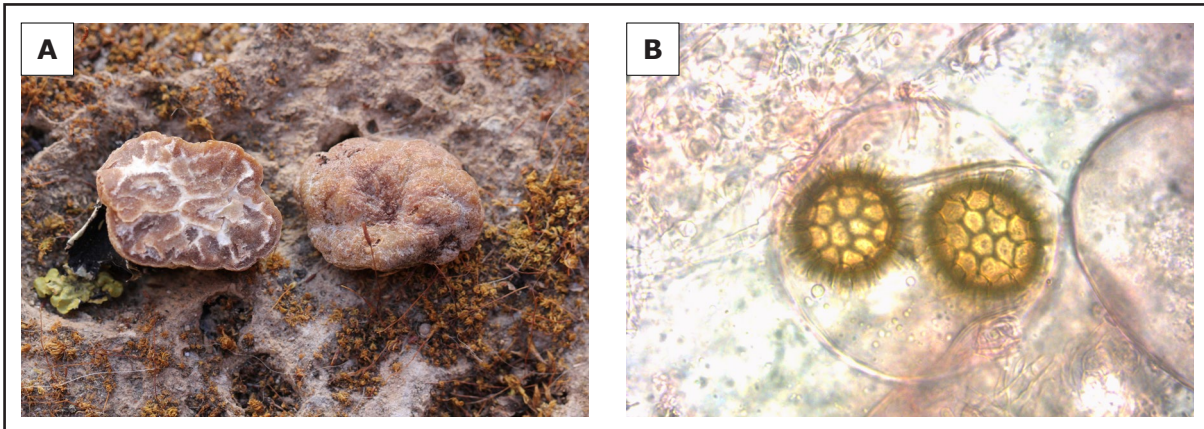


Figura 2.15 *Tuber puberulum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: l'ascoma è subgloboso oppure di forma irregolare, tuberiforme bitorzoluta o gibbosa, con dimensioni medie di 2-5 cm (Figura 2.15A). Si presenta liscio, inizialmente di colore biancastro e pubescente diventa giallo-bruno o rosso-bruno con chiazze marroni alla maturità.

PERIDIO: di struttura pseudoparenchimatrica, spesso 100-200 μm , in alcuni casi è densamente ricoperto di peli lunghi 80-115 μm rastremati gradualmente verso l'apice. Generalmente è di colore biancastro o giallo crema, ma può variare dal bruno al grigio.

GLEBA: inizialmente compatta e biancastra, diventa poi marrone o marrone-rosata, marezzata e attraversata da numerose venature bianche disposte senza ordine o anche in senso radiale, a partire da una sorta di base cotonosa.

SPORE: gli aschi sono subglobosi oppure ovali, con corto peduncolo o sessili, di dimensioni di 80- 100 x 65-80 μm , con un numero di spore che varia da 1 a 4. Le ascospore sono grandi 28-50 x 28-42 μm , con dimensioni variabili a seconda del numero di spore all'interno dell'asco (Fi-

gura 2.15B). Sono subglobose o ellissoidali, di colore giallo pallido o rosso-bruno alla maturità, sono traslucide e ornamentate da un reticolo alveolato con maglie di diverse misure, di forma poligonale più o meno regolare.

HABITAT: è una specie comune in tutta Europa, in associazione con conifere e latifoglie. Sempre associata ad alberi in aree mediterranee oppure anche continentali fino a 1200 m di altitudine, sotto *Quercus*, *Fagus*, *P. sylvestris* e *P. menziesii*.

ODORE: non distintivo.

MATURAZIONE: dalla primavera all'autunno.

***TUBER RUFUM* (PICCO: FR. 1823) VAR. *RUFUM* (MONTECCHI & LAZZARI 1993)**

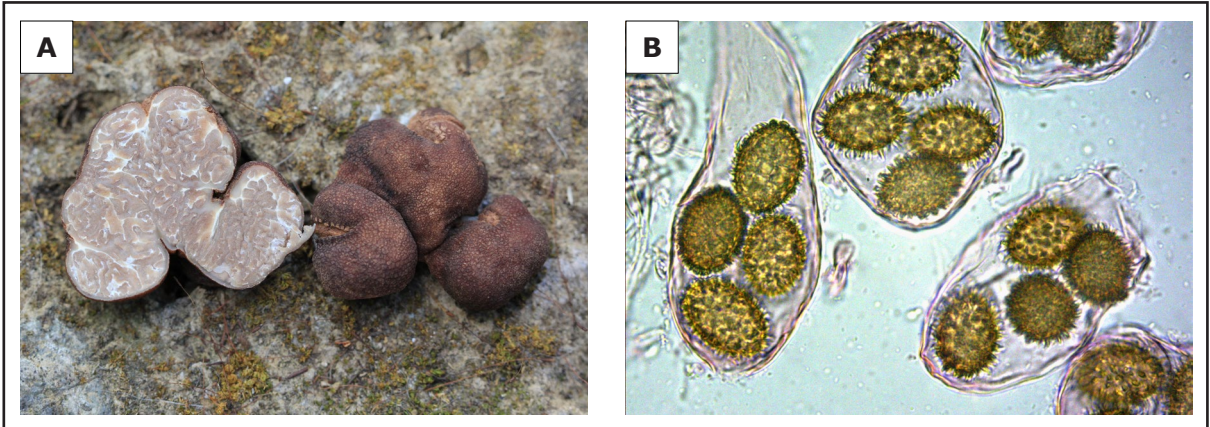


Figura 2.16 *Tuber rufum*. **A**, campione fresco. **B**, microscopia. Foto: Siniscalco C. - Archivio GMEM-AMB.

FORMA: globosa, irregolare, lobata e presenta spesso anfrattuosità (Figura 2.16A). Il carpoforo è di piccole dimensioni, che non superano generalmente i 2 o 3cm.

PERIDIO: spesso fino a 0,5 cm. duro, corneo, ricoperto da finissime verruche che si distinguono al tatto o con lente d'ingrandimento. Il suo colore varia dall'ocra chiaro al rosso ferroso.

GLEBA: grigiastra, a volte leggermente rossiccia, è attraversata da venature biancastre e chiare.

SPORE: ellittiche, traslucide, aculeate, non alveolate, di dimensioni di 17-46 x 14-28 μm , più spesso 25-30 x 18-24 μm (Figura 2.16B). Sono contenute in aschi peduncolati (con 3 o 4 (6) spore per asco).

HABITAT: vive in simbiosi con *Fagus*, *Quercus*, *Corylus*, *Pinus*, in tutta Italia e anche nelle isole. Nelle piantagioni, è una delle prime specie a svilupparsi e fruttificare in abbondanza in simbiosi con *Corylus avellana*.

ODORE: gradevole, molto debole e prodotto solo raggiunta la maturità.

MATURAZIONE: durante tutto l'anno, ma specialmente in autunno e inverno.

COLLEMBOLI: *F. CANDIDA*

I collemboli, suddivisi in circa 6500 specie, sono tra gli artropodi più abbondanti sulla Terra.

Sono un gruppo estremamente antico il cui fossile più datato risale a 400 milioni di anni fa e la cui linea monofiletica rappresenta una recente biforcazione dalla linea che conduce agli insetti superiori. La loro posizione all'interno degli artropodi non è ancora chiara, alcuni autori ritengono che i collemboli abbiano strette affinità con i crostacei e per questa ragione vi sono dissensi in merito alla loro origine, che potrebbe essere precedente o posteriore alla separazione da questi ultimi.

Grazie a questa lunga storia evolutiva i collemboli sono stati in grado di sviluppare numerosi adattamenti morfologici e fisiologici che hanno permesso loro di colonizzare luoghi molto eterogenei. Sebbene la maggior parte delle specie consumi funghi e foglie, e sia quindi rinvenuta sul suolo e nella lettiera, si sono diffuse anche in molte altre nicchie, dalle zone litorali a quelle montane, e con una particolare abbondanza sulle epifite delle foreste pluviali.

I collemboli epiedafici hanno un consumo di ossigeno maggiormente elevato rispetto alle specie euedafiche, mentre le specie emiedafiche hanno un consumo

intermedio rispetto alle precedenti (Petersen, 1980). Queste differenze sono dovute ad un'attività relativamente superiore delle specie epiedafiche, che si mantengono in continuo movimento per sfuggire ai predatori e per ricercare cibo (Petersen, 1980). Il consumo di ossigeno, inoltre, aumenta con la temperatura e questa relazione viene espressa tramite il Q10, che consiste nell'incremento nell'assunzione di ossigeno che accompagna una temperatura che ascende di 10°C. Petersen (1981) riporta una media di Q attorno all'1.9 e il 3.4 in un range di specie di 10 collemboli di climi temperati. I collemboli più giovani, tuttavia, tendono ad avere un consumo di ossigeno superiore rispetto agli adulti della stessa specie.

Per quanto riguarda l'alimentazione dei collemboli, gli esperimenti di laboratorio, nei quali sono mantenuti in condizioni ottimali, possono sovrastimare le quantità assimilate rispetto alle condizioni più rigorose presenti in natura (Petersen, 1975). Alcuni collemboli possono inoltre sopravvivere senza cibo attingendo dalle proprie riserve di lipidi e di glicogeno (Testerink, 1981; Verhoef e Li, 1983). La tolleranza all'inedia è una caratteristica delle specie che vivono nelle grotte, come ad esempio *Tomocerus problematicus*. Esperimenti volti

a dimostrare questa capacità di sopravvivenza dei collemboli possono però essere fuorvianti, infatti, se vengono svolti su un substrato a base di argilla, i collemboli possono essere in grado di assimilare batteri chemiosintetici che ne permetterebbero la sopravvivenza più a lungo.

Lo studio della dieta naturale dei collemboli è di fondamentale importanza per comprenderne l'ecologia di base, nonché la loro influenza sulle popolazioni microbiche ed il ruolo svolto nella decomposizione (Vegter, 1983). Tuttavia, si pongono una serie di problemi nel determinarne le preferenze al momento di alimentarsi, poiché sebbene si può dimostrare che una particolare specie mostra una specifica preferenza alimentare in laboratorio (Thiele e Larink, 1990), è molto più complicato dimostrare che accada lo stesso in natura (Matic e Koledin, 1985). Una soluzione a questo problema è la raccolta di alcuni collemboli per esaminarne il contenuto intestinale ed il materiale fecale (McMillan, 1975). Tuttavia il materiale ritrovato nel lumen del tratto digestivo non implica che esso venga poi utilizzato per trarne qualche beneficio nutrizionale, in quanto il collembolo potrebbe essersene nutrito accidentalmente.

Fino a non molti anni fa la conclusione principale in questo tipo di studi era stata che, nella maggior parte degli habitat molti collemboli euedafici ed emiedafici sono generalisti e sembra ingeriscano qualsiasi fungo, lichene, vegetazione in decomposizione o detrito disponibile (Al-Safadi, 1988). Tuttavia, alcuni esperimenti hanno mostrato che alcune specie mostrano preferenze ben definite per certi tipi di cibi. Mostrano ad esempio una tendenza a preferire le ife fungine (Broady, 1979; Knight and Angel, 1967) o a ingerire materiale in stato di decomposizione dal quale le difese chimiche secondarie sono

state eliminate e sui quali si trova una flora microbica ben sviluppata (Sadaka e Poinot-Balaguer, 1987). Inoltre preferiscono nutrirsi delle parti più delicate di una pianta, come le micorrize, piuttosto che delle foglie o delle radici ormai mature (Hurej et al., 1992; Ulber B., 1980). Infine, Gilmore (1970) suggerisce che alcuni collemboli si nutrano deliberatamente di nematodi patogeni delle piante e possano essere utili per il loro controllo.

I collemboli sono stati spesso utilizzati per stimare l'impatto ambientale di alcuni contaminanti, sia perché sono un ordine molto abbondante e diversificato, sia per la loro vulnerabilità alla contaminazione del suolo, caratteristiche che li rendono ottimi bioindicatori. Tuttavia, data la difficoltà insita nel tentare di riprodurre le caratteristiche di un terreno, si è indirizzata la ricerca su organismi che fossero in grado di rispondere ai contaminanti in laboratorio, in modo da poter prevedere l'impatto degli inquinanti e delle emissioni.

Per molti anni l'attenzione è stata rivolta a *Folsomia candida* (Willem, 1902), poiché poteva essere esposta ai contaminanti tramite una serie di test mirati ad esaminare parametri vitali, bioaccumulazione ed effetti sul comportamento del collembolo. Inoltre, *F. candida* poteva essere utilizzata come modello di artropode in molti altri studi di laboratorio non ecotossicologici.

Molti studi si sono focalizzati sulle interazioni fra i collemboli ed i funghi, data l'importanza di questi ultimi nei processi di decomposizione del suolo ed il fatto che i funghi sono parte integrante della dieta dei collemboli. I collemboli possono alterare la composizione delle comunità fungine e gli effetti che queste hanno sulla decomposizione della lettiera, nonché le risposte che danno ai fattori di stress. Tra i fattori che possono influenzare le scelte

alimentari dei collemboli ed il loro successo riproduttivo si trovano la composizione della comunità di funghi e l'interazione fra questi ed il substrato; quest'ultimo, se alterato, può operare cambiamenti nelle comunità di microartropodi, come ad esempio può fare il pianello generato da alcune specie di *Tuber*, inoltre può influire sull'attrazione esercitata dal fungo come risorsa alimentare.

BIOLOGIA

F. candida è una specie euedafica appartenente alla famiglia Isotomidae, molto diffusa in tutti i suoli terrestri. In Europa occupa frequentemente aree riparate, ma può essere ritrovata anche in molti habitat all'aperto. La loro densità varia estremamente dipendendo dalla stagione, dall'habitat e dall'attività antropica, con una maggiore diffusione in siti soggetti a disturbo. La loro densità varia tra 10^2 e $6.7 \times$ individui su m^2 , a seconda del suolo (Giller, 1996), e la maggior parte di essi vive nei primi 5 cm di suolo (Larink, 1997).

È difficile risalire alla sua origine biogeografica poiché è stata trasportata in tutto il mondo tramite vasi di piante e terreno.

La sua lunghezza oscilla tra 1,5 mm e 3,0 mm, raggiunti dagli esemplari adulti, ed

il suo colore può variare da bianco a giallo pallido (Figura 3.1). È riconoscibile per la presenza della **furca** (un lungo processo del quarto segmento addominale, biforcuto e ripiegato in avanti, che serve per il salto) ben sviluppata, una totale mancanza di spine anali e un addome ripartito in sei segmenti caratterizzato dalla fusione dei tre posteriori.

In corrispondenza della parte ventrale del primo segmento si trova una struttura conosciuta come **tubo ventrale o colloforo**, composto da due vescicole rovesciabili destinate allo scambio di fluidi con l'ambiente esterno, e fondamentale mezzo di esposizione per i composti chimici presenti nelle acque del suolo.

Il torace presenta tre segmenti ben definiti ad ognuno dei quali è associato un paio di zampe.

Sul terzo segmento è presente invece un **retinacolo**, costituito da una struttura biforcuta la cui funzione è bloccare la furca sotto l'addome quando questa è a riposo.

F. candida è caratterizzata da una totale mancanza di ocelli e demanda quindi la funzionalità sensoriale alle **antenne moniliformi**, che constano di quattro segmenti e presentano organi post-antennali per captare le particelle disperse in aria e gli stimoli provenienti dal suolo, percepiti grazie all'oscillazione delle antenne.

L'apparato masticatore è endognato, mascelle e mandibole si sviluppano all'inter-

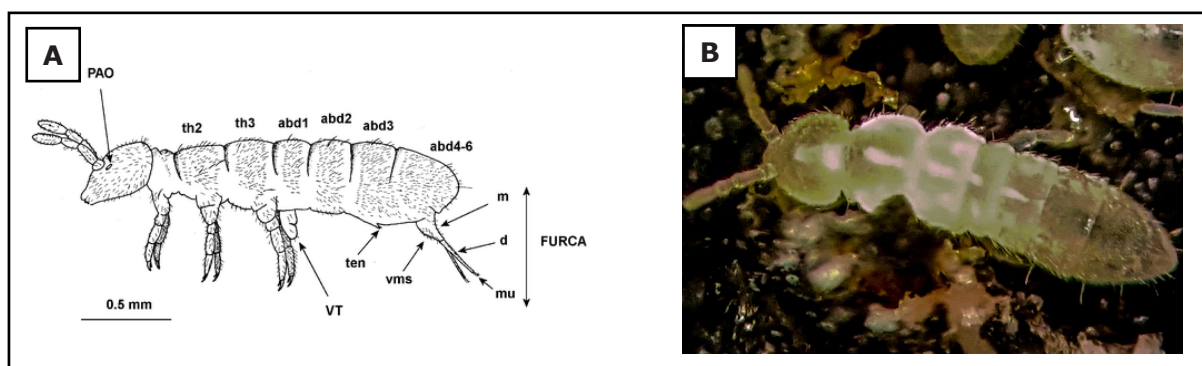


Figura 3.1 *F. candida*. **A**, (ten), retinacolo. (th-), torace. (abd-), addome; m, manubrio; PAO, organi post-antennali; VT, tubo ventrale. (Da Fountain & Hopkin, 2005). **B**, Femmina adulta. Foto: Remelli S.

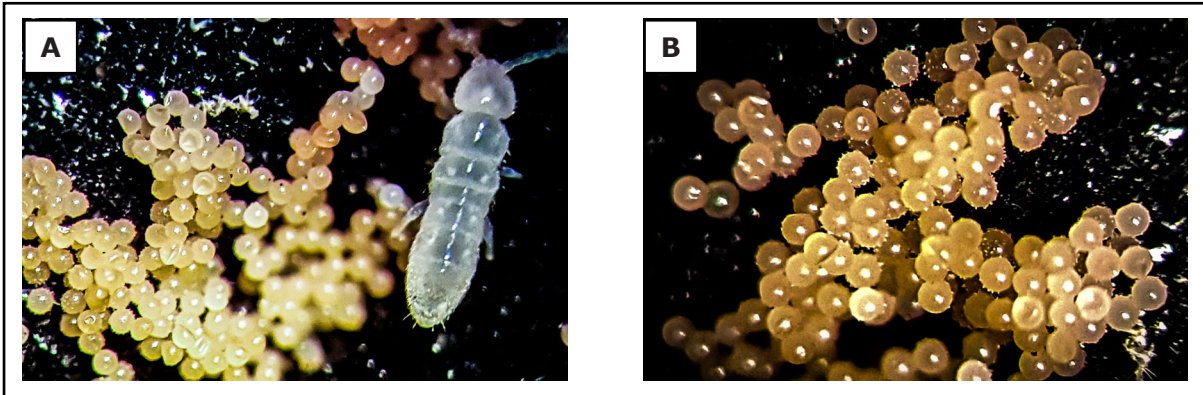


Figura 3.2 *F. candida*. A, adulta vicino alle uova. B, gruppo di uova. Foto: Remelli S.

no della cavità boccale, a differenza degli altri insetti in cui si sviluppa esteriormente.

L'apparato digerente ha la forma di un tubo cilindrico costituito da tre sezioni:

- intestino anteriore;
- mesentero, dove vengono assimilati i prodotti della digestione;
- intestino caudale, dove le feci vengono idratate prima dell'evacuazione.

La caratteristica maggiormente distintiva di *F. candida* rispetto agli altri membri del suo genere è il numero di setole presenti sul lato ventrale del manubrio della furca, che è molto più numeroso di quello delle altre specie, presentando un minimo di 16 setole.

Le popolazioni di *F. candida* sono composte unicamente da femmine partenogenetiche.

Una femmina adulta può effettuare fino a 45 mute durante la propria vita, con corti intervalli riproduttivi della durata di 1,5 giorni e periodi più lunghi nei quali non si riproduce e che durano mediamente 8,5 giorni. Durante la muta, l'epitelio dell'ultimo tratto intestinale viene eliminato con le feci, rappresentando un mezzo di detossificazione ed escrezione dei prodotti dannosi presenti nelle cellule epiteliali. Questa strategia viene probabilmente adottata per sopperire alla mancanza dei tubuli Malpighiani.

F. candida impiega, a 20°C (temperatura standard ISO), tra i 21 e i 24 giorni a raggiungere la maturità sessuale, ovvero l'età corrispondente a circa la sesta muta. Solitamente le uova sono rilasciate a gruppi in mucchi comuni (Figura 3.2) e ogni gruppo prodotto è composto dalle 30 alle 50 uova circa, le quali impiegano dai 7 ai 10 giorni per schiudersi. Le uova sono bianche, sferiche e con un diametro che oscilla tra gli 80 ed i 110 μm , e schiudono con successo ad una temperatura ottimale di 21°C e ad un pH di 6. La loro deposizione può diminuire in caso di:

- eccessiva densità della popolazione;
- produzione di feromoni;
- contaminazione del substrato.

Talvolta possono anche verificarsi casi di cannibalismo in cui gli adulti si nutrono delle uova. Vengono invece prodotte più uova in condizioni di oscurità costante.

F. candida è in grado di adattarsi bene a diversi ambienti, come i suoli aridi, questo perché possiede adattamenti fisiologici all'essiccamento ed è in grado di assorbire vapore acqueo. Non possiede una trachea per cui l'ossigeno è assunto tramite la cuticola ed in condizioni di ipossia l'organismo reagisce aumentando la frequenza delle contrazioni del cuore in modo da mantenere la differenza di pressione fra ambiente esterno, sangue e

tessuti. Nei casi in cui il terreno presenti cavità con gas intrappolati ad alti livelli di diossido di carbonio, *F. candida* ha evoluto la capacità di sopravvivere in queste condizioni per periodi sufficientemente lunghi da farla diventare la specie dominante del luogo.

Come adattamento difensivo, contiene tossine che possono essere tossiche per potenziali predatori.

Il sistema digerente di *F. candida* è essenzialmente cilindrico e composto da una parte anteriore dell'intestino, da una posteriore e da una mediana, derivante da cellule endodermiche, che produce enzimi e assorbe i prodotti della digestione.

Nel tratto tra la parte anteriore e quella mediana dell'intestino viene prodotta una membrana peritrofica che circonda il cibo durante il passaggio di quest'ultimo attraverso la parte posteriore dell'intestino, dove l'acqua viene assorbita dalle feci prima che queste vengano espulse.

I prodotti di scarto presenti nelle cellule del mesentero vengono riuniti all'interno del lumen durante la muta ed espulsi tramite le feci.

All'interno del tratto digestivo di *F. candida* sono presenti numerosi microrganismi. Sono stati riconosciuti undici tipi diversi di batteri ed un fungo filamentoso (*Acremonium charticola*). Questi batteri seguono il ciclo delle mute, aumentando il loro numero fino a raggiungere il valore massimo prima della muta successiva.

ALIMENTAZIONE

Per quanto riguarda le abitudini alimentari, i collemboli si cibano frequentemente di ife. Nel contenuto intestinale di *F. candida* è stata riscontrata la presenza di spore e ife miceliari, appartenenti in particolar modo a funghi che contraggono simbiosi micorrizica arbuscolare, sebbene

in condizioni controllate si alimenti preferenzialmente di altre fonti di cibo, come il fungo saprofitico *Alternaria alternata* (Klironomos et al., 1999.).

L'effetto del consumo del micelio da parte di organismi come i collemboli porta alla dispersione delle spore ingerite, di conseguenza la densità dei collemboli può agire come regolatore dell'efficienza della simbiosi. Numerosi studi hanno provato che gli effetti della presenza di collemboli sullo sviluppo micorrizico e la crescita delle piante dipendono dalla densità dei collemboli (Klironomos e Ursic, 1998; Gange, 2000). Per esempio, basse densità di *F. candida* favoriscono la crescita di *Geranium robertianum*, mentre alte densità la inibiscono a causa dell'eccessivo foraggiamento dei collemboli sul fungo (Harris e Boerner, 1990). Basse densità possono stimolare la crescita del fungo attraverso la rimozione di ife senescenti (Visser, 1985) e la creazione di una zona labile ad alta disponibilità di nutrienti attraverso la produzione di urine (Verhoef et al., 1988) e feci (Hanlon e Anderson, 1979). Anche il foraggiamento selettivo ad opera dei collemboli può influenzare l'abbondanza relativa delle specie fungine associate (Varga et al, 2002).

Bakonyi et al. (2002) hanno osservato che a basse densità, i collemboli stimolano la capacità di infezione delle micorrize, probabilmente mediante il trasporto di spore e ife sulla superficie della radice, aumentandone le probabilità di colonizzazione. Alte densità (1.6 individui per grammo di suolo), al contrario, riducono la colonizzazione, verosimilmente a causa di un'eccessiva riduzione delle spore (del 30% o superiore), la quale controbilanciava i vantaggi della dispersione.

McGonigle (1995) riporta che all'incirca 0.1 individui per grammo di suolo favoriscono la crescita delle piante, ma a den-

sità superiori la loro attività provoca una decrescita.

Gli effetti degli animali adulti vanno poi considerati separatamente rispetto a quelli dei giovani. A questo proposito, Bakonyi (1989) ha osservato che i giovani si nutrono preferenzialmente di batteri piuttosto che di funghi.

Kampichler et al. (2004) determinano che solo *F. candida* influenza la morfologia del micelio di *H. fasciculare*, mentre due specie di dimensioni inferiori, una delle quali è *P. minuta*, hanno effetti ininfluenti.

Tordoff et al. (2008) mostrano per la prima volta che l'identità della specie nell'interazione tra collemboli e funghi è determinante per i risultati che ne emergono. Gli impatti sembrano coinvolgere tutti e tre i livelli trofici, ed emergono effetti specie-specifici sulla decomposizione del legno, sulla crescita fungina e sulle dimensioni della popolazione di collemboli. Nello specifico, *F. candida* produce impatti drammatici ad *R. bycolor*, al contrario di *P. armata*, mentre *P. impudicus* non è influenzata in maniera evidente dal foraggiamento. In questo caso, gli effetti specie-specifici sembrano dipendere dal tasso metabolico: *F. candida* è una specie molto mobile e feconda, e presumibilmente consuma rapidamente le risorse per rispondere all'ingente richiesta metabolica. Queste differenze supportano l'ipotesi che i collemboli mostrino preferenze precise per determinate specie, inoltre la specie di appartenenza dei collemboli è determinante per l'impatto che essa provoca sul fungo. Questo suggerisce che organismi del suolo appartenenti allo stesso gruppo trofico siano funzionalmente differenti, sebbene nei modelli trofici del suolo i collemboli ed i funghi vengano accorpati all'interno di componenti funzionali uniformi.

La relazione tra fauna edafica e funghi non è unidirezionale, questi possono ave-

re effetti sui livelli trofici superiori dipendendo da:

- specie di appartenenza;
- substrato di crescita;
- stadio di vita;
- età del micelio.

I funghi di cui si nutre *F. candida* influenzano la sua crescita e fecondità ed in alcuni casi determinate **specie** di funghi si sono rivelate più nutrienti di altre (Hopkin, 1997). Molti autori hanno concluso che i funghi preferiti sono anche quelli più efficaci nel favorire la crescita e riproduzione della fauna fungivora (Pfeffer et al., 2010), ma Frouz e Nováková (2001) hanno osservato che alcuni funghi molto appetibili per la fauna edafica non favoriscono lo sviluppo del fungivoro.

Heděnc et al. (2013) hanno confermato che *F. candida* preferisce determinate specie di funghi e, a seconda della risorsa, mostra un tasso riproduttivo differente. Ma la novità di questo studio risiede nell'osservazione che la **lettiera** su cui si sviluppa il fungo potrebbe rappresentare un fattore determinante per la sua appetibilità e qualità nutrizionale, anche più importante della specie stessa.

Fitter & Sanders (1992) considerano che, per i collemboli, l'appetibilità di un fungo che forma ectomicorrize potrebbe dipendere da dove è cresciuto, se in coltura o in simbiosi con piante ospite, rilevando che vi sono differenze sia chimiche che fisiche tra un micelio cresciuto in agar e una micorrizza.

Oltre alla specie di appartenenza del fungo, alcuni studi hanno evidenziato l'importanza di tenere in considerazione il suo **stadio di vita**. Ad esempio, Sabatini e Innocenti (2000), sottoponendo a *F. candida* il micelio di quattro specie di funghi patogeni che danneggiano i cereali d'inverno, ottennero come risultato che tre specie si rivelarono un nutrimento adeguato men-

tre *Bipolaris sorokiniana* produceva effetti repellenti e i collemboli che se ne nutrivano morivano. Al contrario se veniva offerto loro il conidio di *B. sorokiniana*, questo costituiva una dieta sufficiente ad un efficiente riproduzione.

Le preferenze alimentari dei collemboli sono influenzate anche dall'**età del micelio** e, di conseguenza, dall'attività metabolica. Questo perché i composti prodotti dai miceli possono cambiare a seconda della vitalità della micorrizza, causando corrispondenti cambiamenti nelle scelte dei collemboli. Kaneda e Kaneko (2004) hanno osservato che tra le micorrize, contrariamente ai funghi saprofitici (Leonard, 1984), *F. candida* preferisce quelle a bassa vitalità. La ragione di questo fenomeno potrebbe essere che in natura le micorrize e i miceli possono essere staccati dalle radici delle piante dall'attività di foraggiamento ed i movimenti della macrofauna o dallo sradicamento degli alberi durante una tempesta. L'alimentazione da parte dei collemboli di micorrize attive potrebbe ridurre la crescita delle piante, inibendone l'introito di nutrienti. Nutrendosi invece di miceli a bassa vitalità o morti, già staccati dalla pianta, i collemboli potrebbero avere effetti positivi sulla crescita di quest'ultima, favorendo il rilascio di nutrienti dal micelio senescente o morto.

F. candida è in grado di sopravvivere e riprodursi nutrendosi di più risorse rispetto ad altri collemboli e su vari substrati (Tordoff et al., 2008). Le sue abitudini alimentari vengono utilizzate anche per il controllo dei patogeni delle piante, come nel caso del batterio *Erwinia amylovora*, dannoso per la frutta e che può essere digerito da *F. candida* diminuendone la presenza nel terreno (Hildebrand et al., 2001).

ECOTOSSICOLOGIA

L'ecotossicologia si occupa dello studio degli effetti tossici causati dagli inquinanti sugli organismi.

Specie rappresentative vengono utilizzate come strumenti di prova allo scopo di rilevare la tossicità di determinate sostanze. I lombrichi ed i collemboli sono fra gli organismi più utilizzati sia perché possiedono cicli di vita piuttosto brevi sia per la facilità con cui si possono mantenere in laboratorio. Per i test ecotossicologici con *F. candida* viene utilizzato il protocollo stabilito dall'International Standards Organization (ISO), il cui scopo è stabilire un metodo per determinare gli effetti sulla riproduzione del collembolo dell'assunzione di alcune sostanze per via dermica e alimentare in uno strato artificiale predefinito. Questo metodo non è applicabile per le sostanze volatili.

Per effettuare i test sulla tossicità la normativa ISO 11267 stabilisce di utilizzare un substrato artificiale composto da:

- 10% di torba di sfagno,
- 20% di polvere di caolino,
- 70% di sabbia industriale fine.

A questo è aggiunto tra lo 0,5% e l'1% di carbonato di calcio per portare il pH a 6, condizione ottimale alla quale *F. candida* ha mostrato di produrre più uova rispetto a condizioni più acide o più basiche. Le componenti vengono mescolate con l'aggiunta di una quantità d'acqua corrispondente al 40% o al 60% della capacità totale del contenitore, nella quale vengono disciolte le sostanze chimiche da testare, mentre le sostanze insolubili vengono disciolte in solventi organici e mescolate con il substrato.

Sebbene la ISO non stabilisca l'intervallo di tempo fra l'introduzione delle sostanze

chimiche e quella dei collemboli, poiché questo può influire sulla tossicità delle sostanze, si è considerato appropriato un tempo di 48 h.

Il numero di repliche minimo per considerare valido il test è di cinque, sebbene un numero superiore aumenti la validità statistica, inoltre sono necessarie per questo altrettante repliche di controllo.

Il test è condotto con collemboli di 10-12 giorni d'età, poiché è stato stabilito che l'età degli organismi influenza in modo considerevole il risultato del test. Per ogni replica si utilizzano 10 collemboli mantenuti ad una temperatura di 20°C per 28 giorni. Nei contenitori vengono poi aggiunti 500 ml di acqua in modo che gli esemplari vivi galleggino sulla superficie.

Affinché il test venga ritenuto valido devono essere rispettate determinate condizioni:

1. la mortalità degli adulti nei controlli non deve superare il 20%;
2. devono esserci almeno 100 esemplari giovani per ogni controllo;
3. il coefficiente di variazione della riproduzione nei controlli non deve superare il 30%.

Il principale obiettivo dei test ecotossicologici è ottenere il quoziente di rischio di determinate sostanze. Il quoziente di rischio (RQ) indica il rischio ambientale ed è ottenuto tramite la concentrazione ambientale prevista (PEC) di un composto chimico e la previsione della concentrazione dei non-effetti (PNEC) dello stesso composto, calcolato come: $RQ = PNEC / PEC$. Se $RQ > 1$, il rischio è accettabile.

La tossicità dei composti chimici su *F. candida* è comunque considerata più alta nei test ISO rispetto ai suoli naturali. Sebbene il limite di questi test possa essere che forniscono informazioni sulla tossicità delle sostanze unicamente su *F. candida*, quest'ultima è considerata uno dei

collemboli più sensibili alla maggior parte dei composti e, in generale, un ottimo bioindicatore. Questo collembolo viene attualmente sempre più utilizzato come modello per i metodi di recupero del terreno, inoltre ha dimostrato di essere molto utile per evidenziare come alcune forme di stress, come la disidratazione, possano aumentare la sensibilità a determinate sostanze chimiche.

F. candida ricopre quindi un ruolo molto importante per quanto riguarda la previsione dei rischi ambientali riguardanti le sostanze chimiche industriali e le colture geneticamente modificate.

PARTE DUE

MATERIALI E METODI

ALLEVAMENTO

SUBSTRATO DI CRESCITA E CIBO

Per l'allevamento dei collemboli sono state utilizzate piastre Petri da 400 ml di capienza, riempite con circa 0,5 cm di substrato preparato seguendo le istruzioni della ISO 11267 (1999).

Il substrato è costituito da:

- 80 g di gesso in polvere;
- 10 g di carbone attivo;
- 80 g di acqua;

e deve essere mantenuto in condizioni di permanente saturazione per impedire il disseccamento dei collemboli.

Ogni Petri è stata areata periodicamente e mantenuta a temperature di 20/22°C.

Durante l'allevamento i collemboli sono stati nutriti con un mix di cinque cereali (grano, avena, segale, farro e riso) in granuli, con una frequenza di due volte a settimana, in corrispondenza delle quali il substrato è stato inumidito con acqua.

SINCRONIZZAZIONE DI *FOLSOMIA CANDIDA*

Lo scopo della sincronizzazione è quello di selezionare collemboli aventi tutti la stessa età. In questo caso, per i nostri test di sopravvivenza e riproduzione, sono stati utilizzati collemboli aventi 10-12



Figura 4.1 Giovane di *F.candida* vicino alle uova. Foto: Remelli S.

giorni.

Affinché gli individui utilizzati abbiano tutti la stessa età è necessario, in primo luogo, spostare le uova deposte in allevamento in una piastra Petri vuota. Questa piastra, adibita unicamente alle uova, è costituita da un substrato ottenuto in maniera analoga a quello di allevamento, composto da gesso e carbone attivo per un rapporto di 8:1.

Per mantenerne sotto controllo la schiusa, la quale avviene all'incirca dieci giorni dopo la deposizione, le uova di *F. candida* vengono controllate regolarmente (Figura 4.1). Una volta avvenuta la schiusa, i collemboli, aventi tutti la stessa età, sono trasferiti in una nuova piastra contenente substrato di crescita, dove vanno mantenuti, riforniti di acqua e cibo, fino al raggiungimento dell'età desiderata.

In questo studio, raggiunti 10 giorni di vita, 10 dei collemboli presenti nella piastra di sincronizzazione venivano trasferiti nel suolo adibito all'esperimento.

ALLESTIMENTO E CONDUZIONE DEL TEST

FONTI DI CIBO UTILIZZATE NEI TEST

Per studiare l'effetto delle componenti micologiche ipogee sulle scelte alimentari e sulla riproduzione e sopravvivenza di *F. candida*, sono state utilizzate 12 specie di funghi ipogei (all'interno delle parentesi è indicato il numero di campioni usati per ognuna):

1. *Balsamia vulgaris* (3)
2. *Tuber aestivum* (7)
3. *Tuber borchii* (7)
4. *Tuber brumale* (5)
5. *Tuber excavatum* (5)
6. *Tuber fulgens* (1)
7. *Tuber macrosporum* (3)
8. *Tuber magnatum* (3)
9. *Tuber melanosporum* (2)
10. *Tuber mesentericum* (1)
11. *Tuber puberulum* (4)
12. *Tuber rufum* (2)

per un totale di 43 campioni provenienti dal "Sistema informativo della biodiversità micologica di ISPRA". Per ognuno dei quali sono riportati i dati ancillari nell'Appendice A trasmessi da Carmine Siniscalco a corredo dei campioni come da Archivio del "Centro di Eccellenza" per lo studio delle componenti di biodiversità del suolo del "Progetto Speciale Funghi" dell'ISPRA presso il Gruppo Mi-

cologico dell'Etruria Meridionale - AMB.

In entrambi i test è stato utilizzato il mix di cinque cereali (grano, avena, segale, farro e riso), usato durante l'allevamento, come alimento per il controllo.

TEST DI PREFERENZA ALIMENTARE

Durante l'esperimento, in ogni piastra utilizzata sono state introdotte due fonti di cibo differenti: da una parte il preparato di cinque cereali utilizzato anche per l'allevamento e dall'altra un campione di tartufo finemente sminuzzato; è stata dunque osservata la preferenza alimentare dopo 24, 48 e 72 ore.

Per condurre il test sono state effettuate cinque repliche per ogni campione di tartufo utilizzato, preparate con substrato analogo a quello di crescita.

Sul substrato sono stati effettuati due fori, l'uno in posizione opposta all'altro. Dentro un foro è stato inserito il preparato di cereali in granuli utilizzato anche durante l'allevamento, mentre dentro l'altro è stato posizionato il tartufo finemente sminuzzato (Figura 5.1).

Questo procedimento è stato svolto per tutte e cinque le repliche per ciascuno dei 43 campioni di tartufo utilizzati.

Dopodiché sono stati introdotti i collem-

boli all'interno di ciascuna replica. Per ogni replica sono stati utilizzati 10 organismi di circa 10 giorni d'età, per un totale di 50 organismi per ogni campione di tartufo.

Per valutare la preferenza alimentare di *F. candida* gli organismi sono stati osservati a 24, 48 e 72 ore dall'introduzione nelle capsule Petri.

Per ogni osservazione è stato registrato il numero di collemboli presenti sul tartufo e quello degli organismi sul preparato di cereali. I collemboli al centro della piastra non sono stati considerati, ritenendo che non mostrassero alcuna preferenza.

Ogni controllo è stato effettuato mantenendo le piastre chiuse per impedire agli organismi di spostarsi a causa del disturbo provocato dalla rimozione del coperchio.

Per il test di preferenza alimentare sono stati effettuati anche due confronti fra campioni appartenenti alla stessa specie, *T. aestivum*. In particolare, in un primo confronto, in una stessa piastra è stato introdotto in un foro il campione 49 e nell'altro il campione 9, per paragonare tartufi cresciuti su una stessa essenza vegetale (*Quercus ilex*), ma di età diverse (il

primo è stato raccolto nel 2015, mentre il secondo quasi un anno dopo). Nel secondo confronto, in un foro è stato introdotto il campione 49 e nell'altro il campione 38, al fine di valutare tartufi sviluppatisi su essenze vegetali differenti.

Per entrambi i confronti sono state effettuate cinque repliche ed il test è stato condotto come spiegato precedentemente.

TEST DI SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE

Per questo esperimento, al centro di ogni piastra Petri è stata introdotta una sola fonte di cibo: un campione di tartufo finemente sminuzzato oppure, per le piastre adibite al controllo, il mix di cereali utilizzato durante l'allevamento; dopo 28 giorni è stato osservato il numero di collemboli sopravvissuti, tra quelli inizialmente introdotti, e il numero di giovani nati.

Per condurre il test sono state effettuate cinque repliche per ogni campione di tartufo utilizzato, preparate con substrato analogo a quello di crescita.

Al centro di ogni piastra, è stato effettuato un foro nel substrato riempito con un campione di tartufo sminuzzato, fatta eccezione per le repliche di controllo per

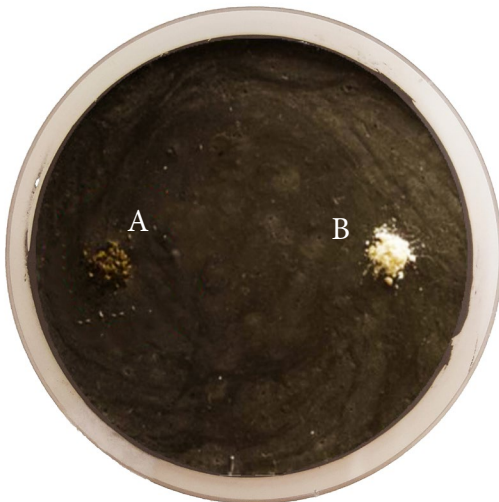


Figura 5.1 Capsula Petri per il test di preferenza alimentare (Campione 2, Replica 2, 48h) con campione di tartufo (A) e mix di cinque cereali (B). Foto: Remelli S.

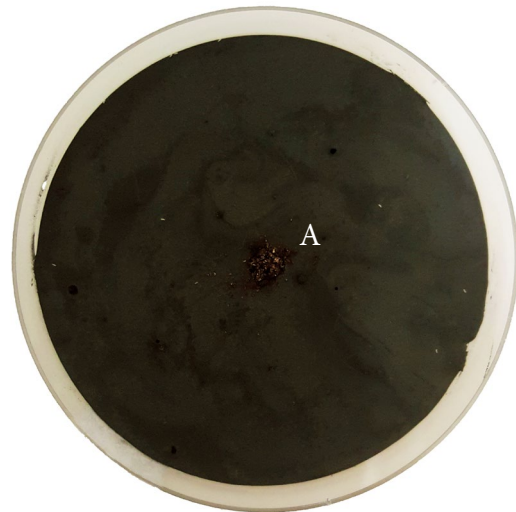


Figura 5.2 Capsula Petri per il test di riproduzione (Campione 62, Replica 4) con campione di tartufo (A). Foto: Remelli S.

le quali è stato utilizzato il mix di cinque cereali fornito durante l'allevamento (Figura 5.2).

Questo procedimento è stato svolto per tutte e cinque le repliche per ciascuno dei 43 campioni di tartufo utilizzati e per le repliche di controllo.

Dopodiché sono stati introdotti i collemboli all'interno di ciascuna replica. Per ogni replica sono stati utilizzati 10 organismi di circa 10 giorni d'età, per un totale di 50 organismi per ogni campione di tartufo.

Per valutare la sopravvivenza ed il tasso di riproduzione di *F. candida*, dopo 28 giorni sono stati contati, mediante l'utilizzo di stereomicroscopio, i collemboli sopravvissuti fra quelli inizialmente introdotti ed il numero di nuovi nati.

Per effettuare l'osservazione le piastre sono state riempite d'acqua, al fine di ridurre la mobilità dei collemboli e facilitarne il conteggio.

ANALISI STATISTICA

I dati raccolti nei test sono stati analizzati tramite il programma R versione 3.4.1 (R Core Team, 2017) ed i risultati sono stati considerati significativi per valori di $p \leq 0.05$.

TEST DI PREFERENZA ALIMENTARE Per il test di preferenza alimentare sono stati effettuati i seguenti confronti:

- andamento orario del numero di collemboli che ha effettuato una scelta alimentare e, sia in generale che per ogni specie considerata, del numero di cibanti che ha preferito il tartufo;
- fra specie e fra campioni di una stessa specie, nel numero di collemboli che hanno preferito il tartufo rispetto al totale di cibanti alle 72 h;
- all'interno di ogni campione, tra numero di collemboli sul mix di cereali e quello sul tartufo (e tra due diversi campioni di *T. aestivum*) alle 72 h.

Analizzati con test di statistica non parametrica:

- Test di Friedman (per k campioni dipendenti);
- Test di Wilcoxon (per 2 campioni dipendenti);
- Test di Kruskal-Wallis (per k campioni indipendenti);
- Test di Mann-Whitney (per 2 campioni

indipendenti).

TEST DI SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE Per il test di sopravvivenza e riproduzione sono stati effettuati confronti riguardanti la percentuale di sopravvissuti e il numero di giovani nati per collembolo inizialmente introdotto. I confronti sono stati eseguiti:

- fra specie e fra specie e controllo;
 - fra campioni di una stessa specie e fra campioni e controllo:
- Analizzati con test di statistica non parametrica:
- Test di Kruskal-Wallis (per k campioni indipendenti);
 - Test di Mann-Whitney (per 2 campioni indipendenti).

PARTE TRE

RISULTATI E DISCUSSIONE

CONFRONTI INTER-SPECIFICI

I risultati dell'analisi statistica si trovano in Appendice B:

1. Scelta alimentare:
 - andamento orario, Tabella 1;
 - confronto fra specie, Tabella 2.
2. Sopravvivenza, Tabella 5.
3. Riproduzione, Tabella 8.

SCelta ALIMENTARE Dai risultati sulla percentuale di collemboli che ha mostrato una preferenza alimentare durante la durata dell'esperimento è emerso che esiste una differenza significativa tra le prime 24h e le osservazioni successive (Figura 7.1). In particolare a 72h, un numero maggiore di collemboli ha effettuato una scelta fra le risorse alimentari disponibili. Questo trend orario rispecchia anche la percentuale di individui che, fra quelli che si sono nutriti, ha preferito il tartufo

(Figura 7.2). Si è osservata una differenza significativa sia tra 24h-48h che tra 24h-72h, con una crescita progressiva al passare delle ore.

Analizzando i dati ottenuti per ogni specie di tartufo sulla preferenza per questa risorsa rispetto al numero di cibanti (Figura 7.3), nella metà dei casi si hanno differenze rilevanti tra le osservazioni effettuate a 24h e quelle a 72h, con un numero superiore di collemboli in quest'ultima fascia oraria. Questo risultato, unitamente ad una maggiore espressione di preferenza, sono le ragioni per le quali è stato scelto di utilizzare i dati di quest'ultima osservazione per i successivi test statistici riguardanti la scelta alimentare.

Nei confronti (Figura 7.4), è emerso che tutte le specie di tartufo, fatta eccezione per *T. excavatum* e *T. fulgens*, vengono ge-

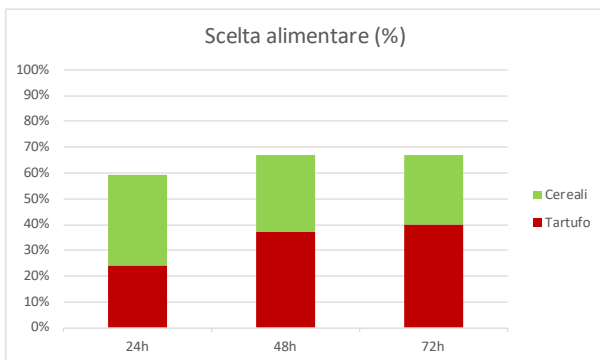


Figura 7.1 Percentuale di *F. candida* che esprime una preferenza alimentare dopo 24h, 48h e 72h.

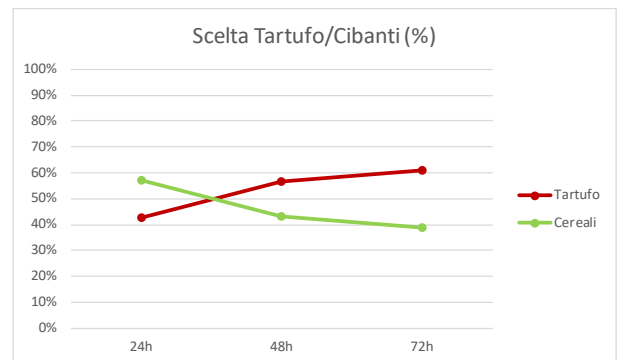


Figura 7.2 Preferenza alimentare su cibanti dopo 24h, 48h e 72h.

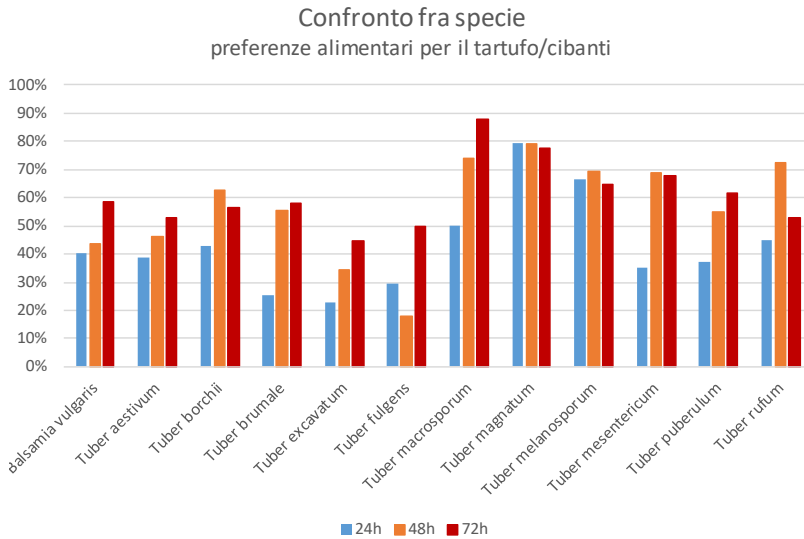


Figura 7.3 Trend orario della preferenza dei cibanti per ogni specie di tartufo considerata.

neralmente preferite al mix di cereali, utilizzato come cibo controllo. In termini di significatività, le specie per cui *F. candida* ha mostrato una preferenza sono tre: *T. macrosporum*, *T. magnatum* e *T. mesentericum*; mentre in nessun caso è stato favorito il mix di cereali.

Fra i collemboli che hanno mostrato una preferenza alimentare, il numero di individui che ha scelto il tartufo varia dipendendo dalla specie di appartenenza della risorsa alimentare ($p < 0.001$, Figura 7.5). Confrontando a coppie i dati ottenuti, è emersa una preferenza statisticamente

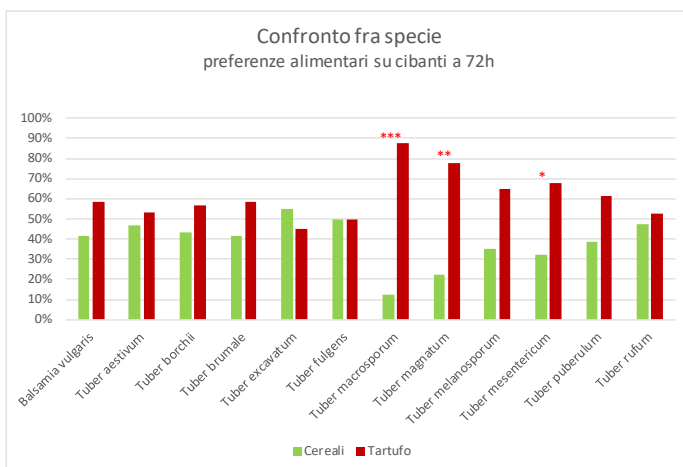


Figura 7.4 Scelta dei cibanti nel confronto fra specie di tartufo e mix di cereali alle 72h.

rilevante per *T. macrosporum* rispetto a tutte le altre specie, eccetto *T. magnatum* e *T. melanosporum*. *T. magnatum* ha ottenuto risultati simili: su undici confronti, in sei casi (*B. vulgaris*, *T. aestivum*, *T. borchii*, *T. brumale*, *T. excavatum*, *T. rufum*) la densità di *F. candida* sul tartufo, quando questo era un campione di *T. magnatum*, era significativamente maggiore. Come nel confronto con il mix

di cereali, anche rispetto alle altre specie *T. excavatum* non è risultato essere una risorsa appetibile infatti, oltre che confrontato con *T. macrosporum* e *T. magnatum*, anche con *T. borchii*, *T. mesentericum* e *T. puberulum* ha ottenuto risultati inferiori.

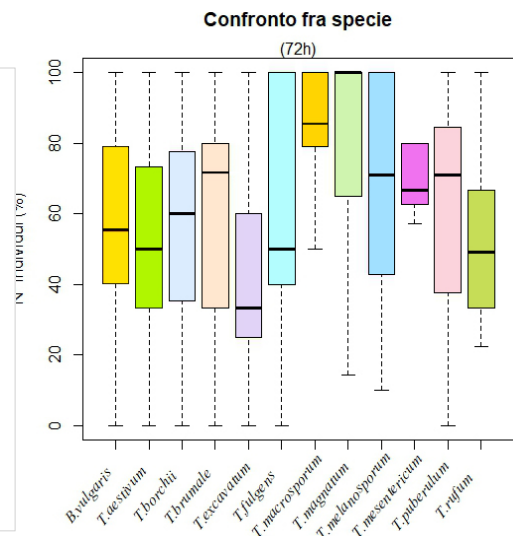


Figura 7.5 Cibanti che hanno preferito il tartufo alle 72h.

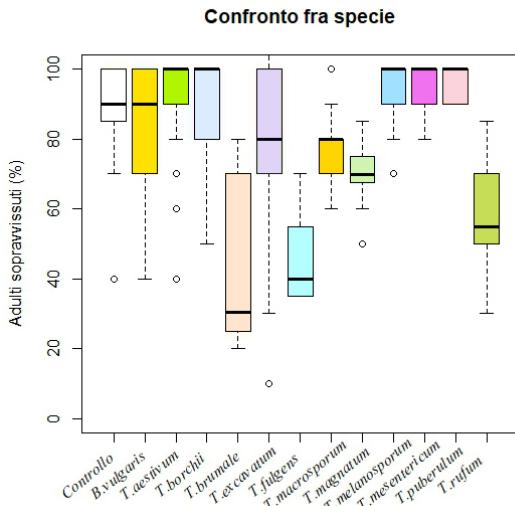


Figura 7.6 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE
 Rispetto al mix di cereali, che funge da controllo, nessuna specie ha mostrato una sopravvivenza significativamente superiore, questo risultato è coerente con la natura del controllo il quale deve avere, per definizione, un'elevata sopravvivenza (Figura 7.6). Su queste basi è necessario sottolineare che, sebbene non in maniera significativa, *T. melanosporum*, *T. mesentericum* e, più di tutti, *T. puberulum*, hanno ottenuto valori di sopravvivenza mediamente superiori al controllo. Per quanto riguarda il tasso riproduttivo, in termini di individui nati per ogni adulto sopravvissuto, solo *T. melanosporum* ha ottenuto risultati significativamente superiori al controllo ($p \leq 0.01$), mentre sono risultati inferiori i dati corrispondenti a *T. brumale*, *T. fulgens*, *T. macrosporum*, *T. magnatum* e *T. rufum* (Figura 7.7).

Sia per sopravvivenza che per riproduzione i risultati delle diverse specie di tar-tufo differiscono in maniera rilevante (Figura 7.8). In

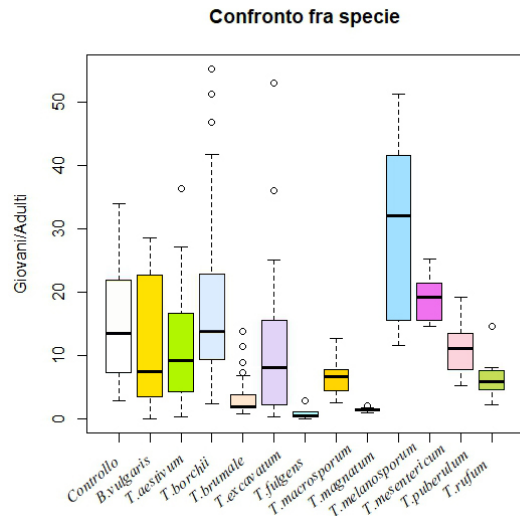


Figura 7.7 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

particolar modo *T. brumale*, *T. fulgens* e *T. rufum*, seguiti da *T. macrosporum* e *T. magnatum*, hanno mostrato tassi di mortalità superiore e, di conseguenza, anche una riproduzione inferiore rispetto alle altre specie. *T. puberulum*, nonostante una sopravvivenza mediamente oscillante tra il 90% ed il 100%, non è correlato a risultati riproduttivi più alti delle altre specie, al contrario di *T. melanosporum*, che è risultato superiore a tutte le specie eccetto *T. mesentericum* che, comunque, non differisce significativamente solo a *B. vulgaris* e *T. borchii*. *T. excavatum* e *T. aestivum*, sia per sopravvivenza che per riproduzione, si mantengono nella media.

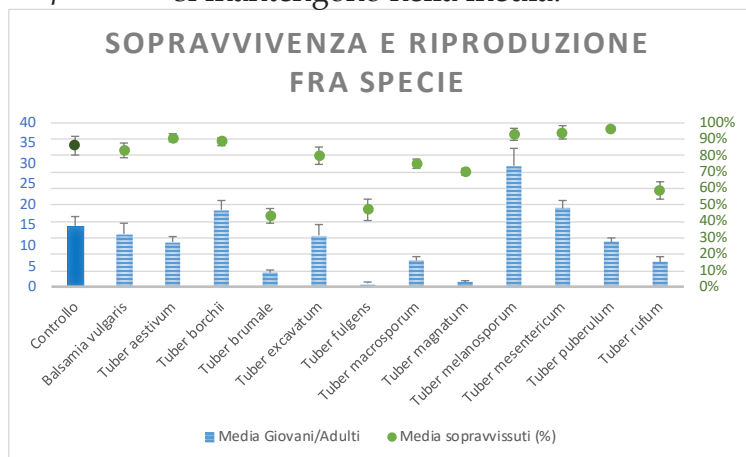


Figura 7.8 Sopravvivenza e giovani nati per sopravvissuto dopo 28 giorni.

CONFRONTI INTRA-SPECIFICI

I risultati dell'analisi statistica si trovano in Appendice B:

1. Scelta alimentare:

- confronto con il controllo, Tabella 3;
- confronto tra campioni, Tabella 4.

2. Sopravvivenza:

- confronto con il controllo, Tabella 6;
- confronto tra campioni, Tabella 7.

3. Riproduzione:

- confronto con il controllo, Tabella 9;
- confronto tra campioni, Tabella 10.

BALSAMIA VULGARIS (VITT. 1831)

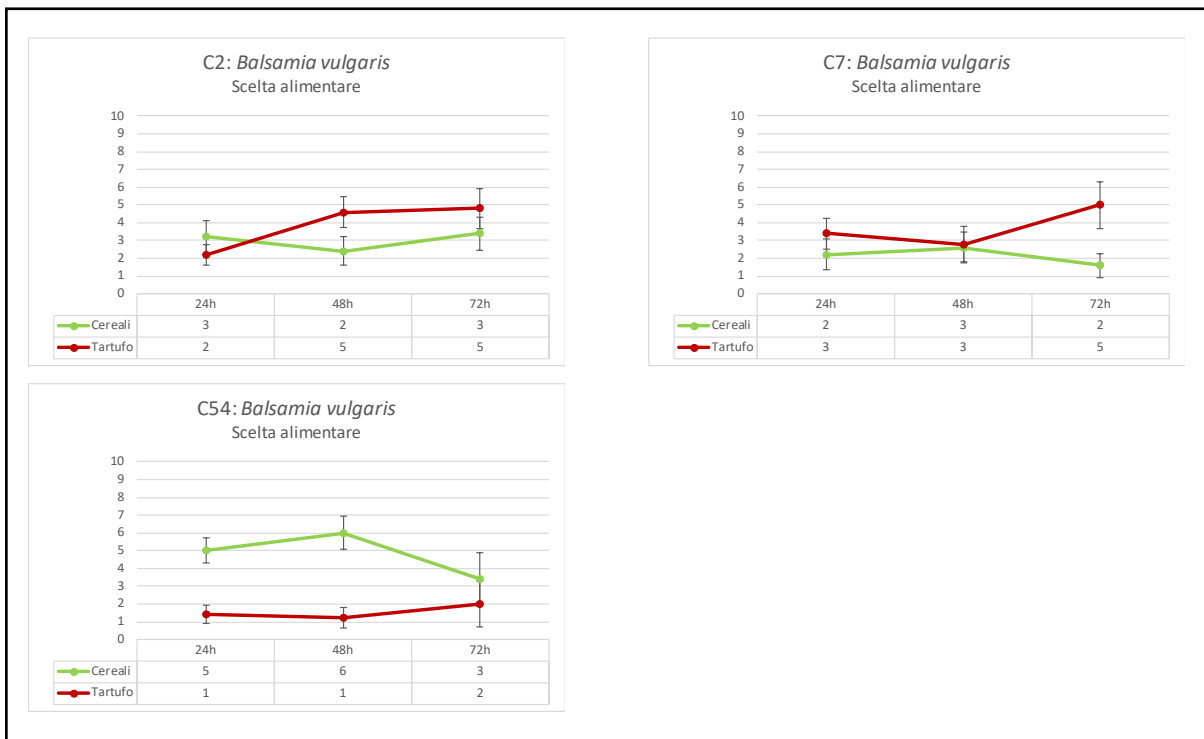


Figura 8.1 Preferenza alimentare dei campioni di *B. vulgaris* dopo 24h, 48h e 72h.

SCelta ALIMENTARE A 72h, *B. vulgaris* non è stata preferita, in maniera significativa, al cibo controllo in nessun caso (Figura 8.2). Tuttavia, è possibile osservare che il campione 2 e, soprattutto il campione 7, sono stati preferiti rispetto ai cereali sia a 48h che a 72h, mentre è stato scelto il controllo, durante tutta la durata dell'esperimento, quando l'alternativa era C54. In tutti i campioni è comunque possibile osservare un progressivo aumento nella scelta del tartufo (Figura 8.1).

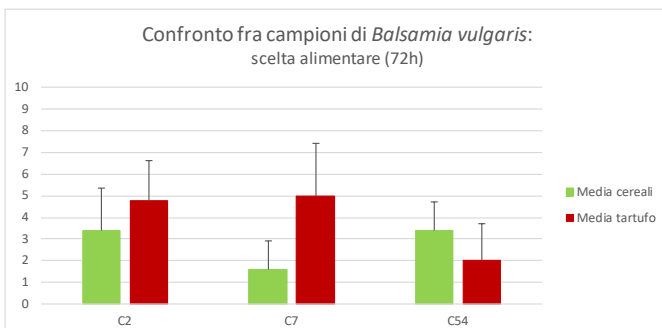


Figura 8.2 Appetibilità dei campioni di *B. vulgaris* rispetto al mix di cereali.

Per quanto riguarda i confronti fra campioni (Figura 8.3), anche in questo caso, non ci sono differenze significative nel numero di collemboli (su cibanti, a 72h) che hanno preferito il tartufo.

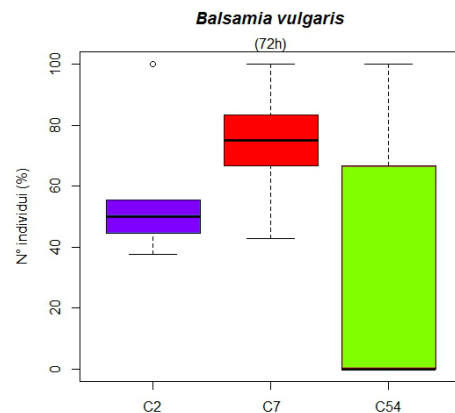


Figura 8.3 Appetibilità dei campioni di *B. vulgaris* rispetto al mix di cereali.

BALSAMIA VULGARIS (VITT. 1831)

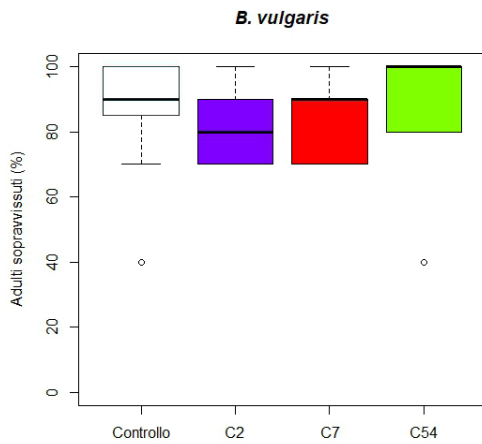


Figura 8.4 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

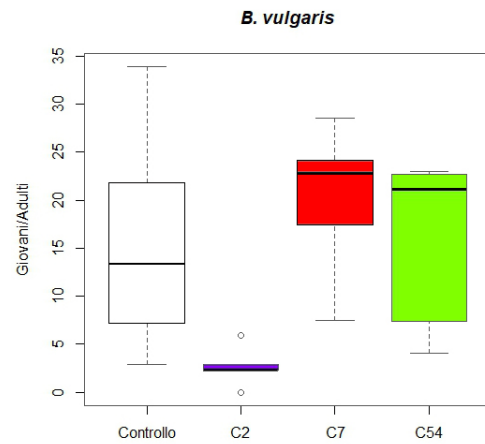


Figura 8.5 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE In termini statistici non ci sono differenze nelle percentuali di sopravvivenza né nei confronti del controllo né tra campioni confrontati fra loro (Figura 8.4). Nell'analisi dei dati riguardanti la riproduzione è emerso che *F. candida*, se alimentata con il campione 2, produce un numero di giovani significativamente inferiori rispetto a quando è nutrita con il cibo controllo, nonché con gli altri due campioni appartenenti alla stessa specie (Figura 8.5).

TUBER AESTIVUM (VITT.) FORMA UNCINATUM (CHANTIN) (MONTECCHI ET BORELLI, 1900)

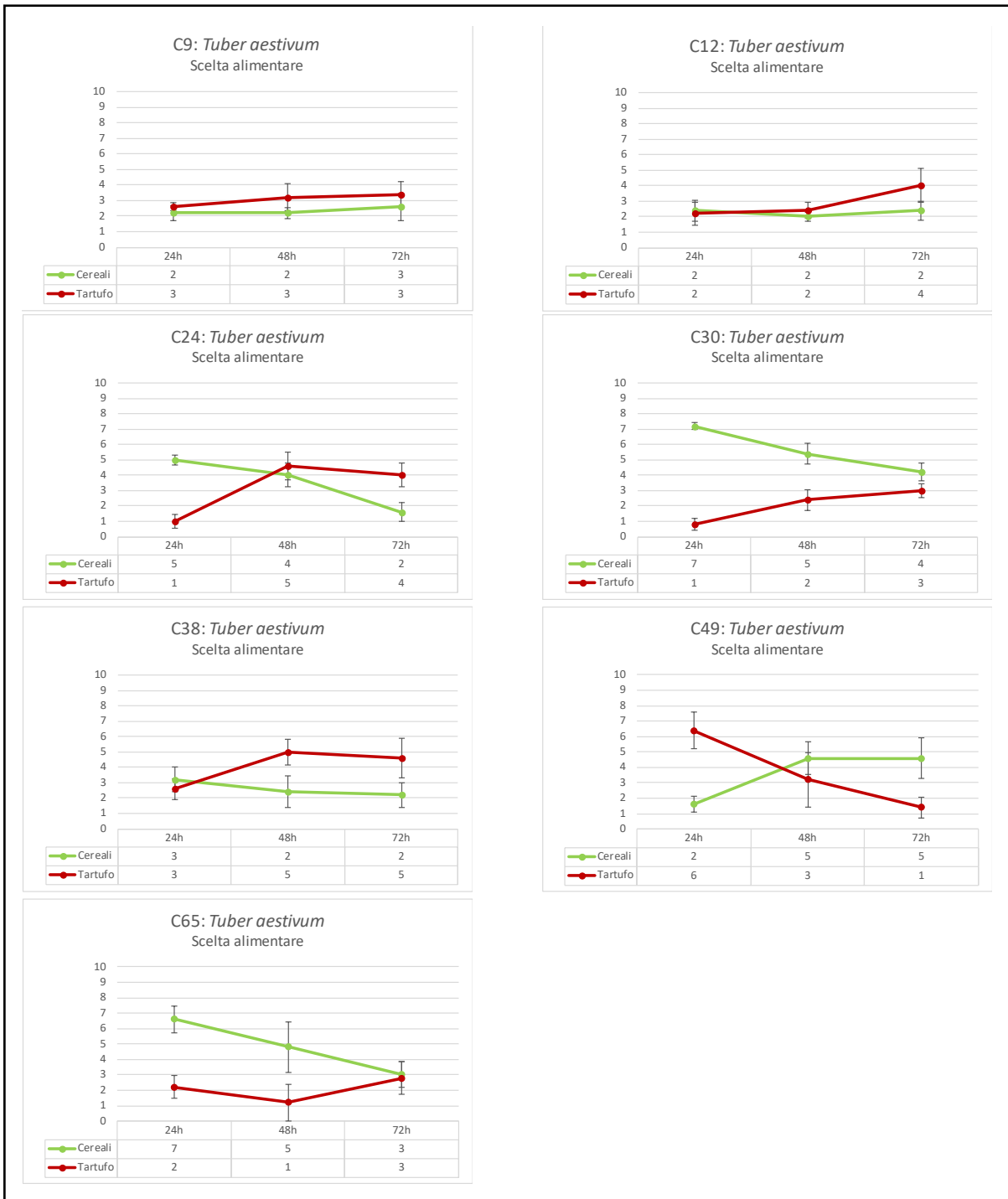


Figura 8.6 Preferenza alimentare dei campioni di *T. aestivum* dopo 24h, 48h e 72h.

SCelta ALIMENTARE Quando confrontato con il mix di cereali, a 72h è stato preferito C24 appartenente a *T. aestivum*, mentre un numero maggiore di collemboli ha scelto

il cibo controllo se l'alternativa era C49 (Figura 8.7). Quest'ultimo campione è anche l'unico nel quale la scelta per il tartufo è diminuita progressivamente dalle 24h

TUBER AESTIVUM (VITT.) FORMA UNCINATUM (CHANTIN) (MONTECCHI ET BORELLI, 1900)

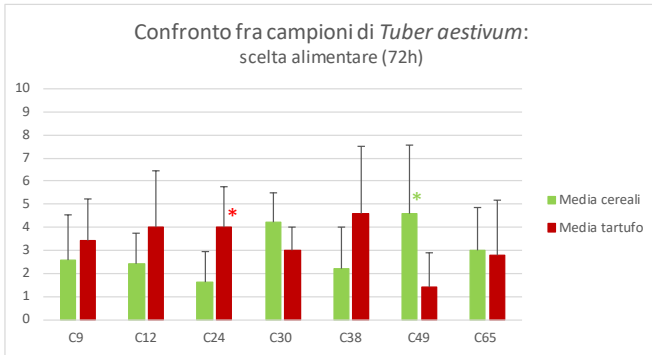


Figura 8.7 Appetibilità dei campioni di *T. aestivum* rispetto al mix di cereali.

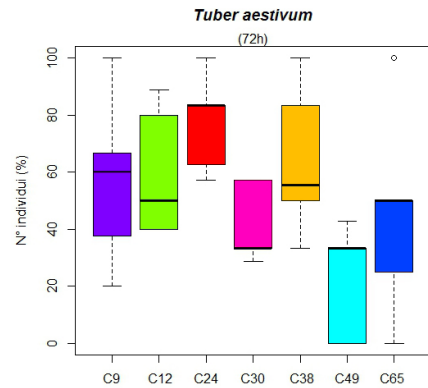


Figura 8.8 Appetibilità dei campioni di *T. aestivum* rispetto al mix di cereali.

alle 72h (Figura 8.6).

I risultati ottenuti con i diversi campioni (Fig. 8.8) differiscono significativamente ($p \leq 0.05$). In particolar modo C12, C24 e C38 sono preferiti a C49, e C24 è più appetibile anche rispetto a C30.

Nel test di confronto fra campioni cresciuti in corrispondenza di una stessa essenza vegetale (C9 VS C49, *Q. ilex*; Figura

8.9), C9 è stato significativamente preferito, mentre nel test che vedeva C49 a confronto con C38 (Figura 8.10), cresciuto su diverse essenze vegetali, la preferenza è stata rivolta a quest'ultimo.

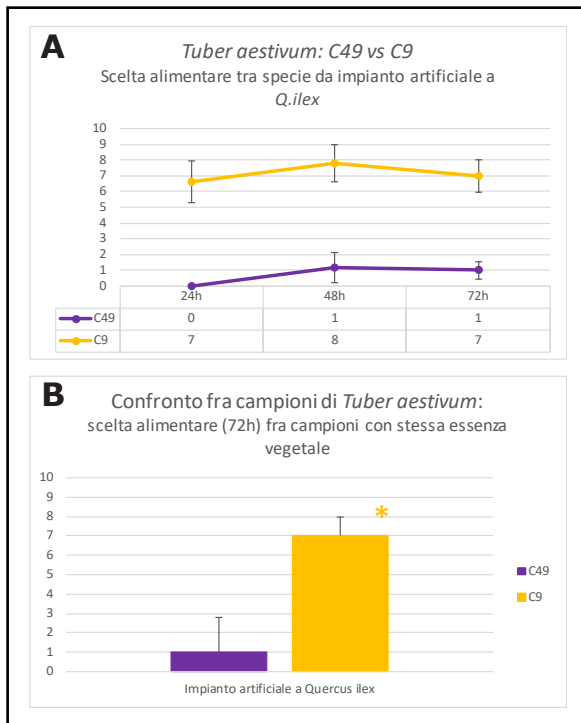


Figura 8.9 Preferenza alimentare fra campioni di *T. aestivum* cresciuti in impianto forestale a *Q. ilex*. **A**, durante tutta la durata del test. **B**, a 72h.

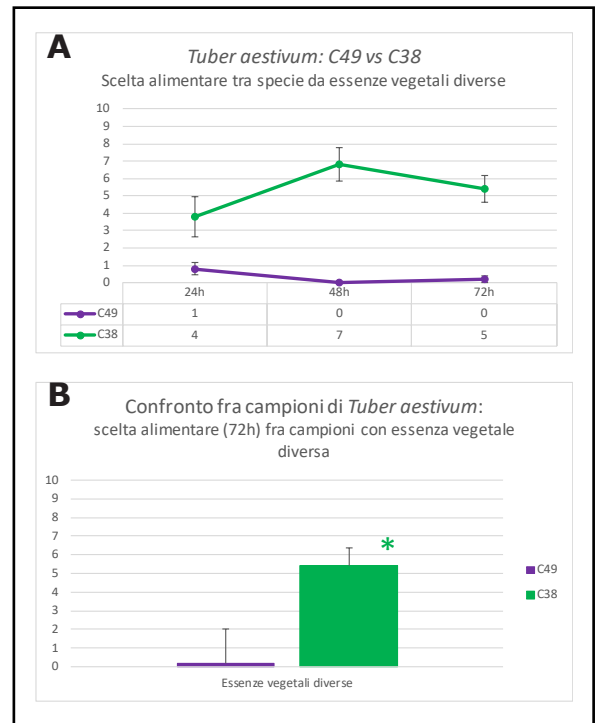


Figura 8.10 Preferenza alimentare fra campioni di *T. aestivum* cresciuti su essenze vegetali diverse. **A**, durante tutta la durata del test. **B**, a 72h.

TUBER AESTIVUM (VITT.) FORMA *UNCINATUM* (CHANTIN) (MONTECCHI ET BORELLI, 1900)

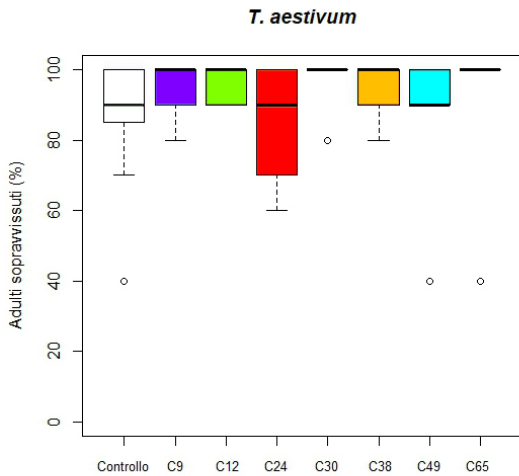


Figura 8.11 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

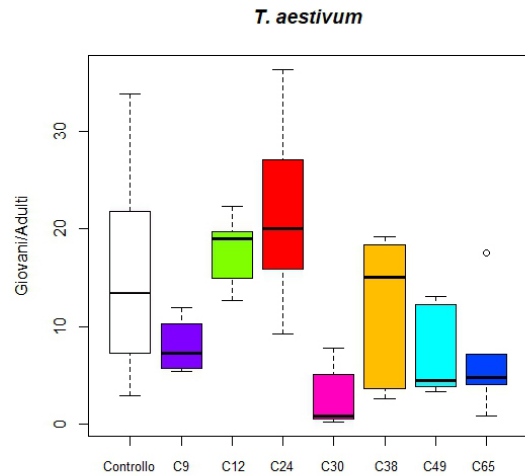


Figura 8.12 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE Nessun campione di *T. aestivum* differisce dal controllo per quanto riguarda la sopravvivenza (Figura 8.11), mentre per il tasso riproduttivo C30 ha ottenuto risultati significativamente inferiori (Figura 8.12).

Confrontati fra loro, i campioni non hanno mostrato una sopravvivenza differente in maniera rilevante, mentre variano ($p < 0.01$) molto in termini riproduttivi. C12 e C24 hanno ottenuto i risultati migliori, superando significativamente tutti gli altri campioni eccetto C38. In corrispondenza di C30 si sono osservati i valori più bassi, con tassi riproduttivi inferiori a tutti i campioni eccetto C49 e C65.

TUBER BORCHII (VITT., 1831)

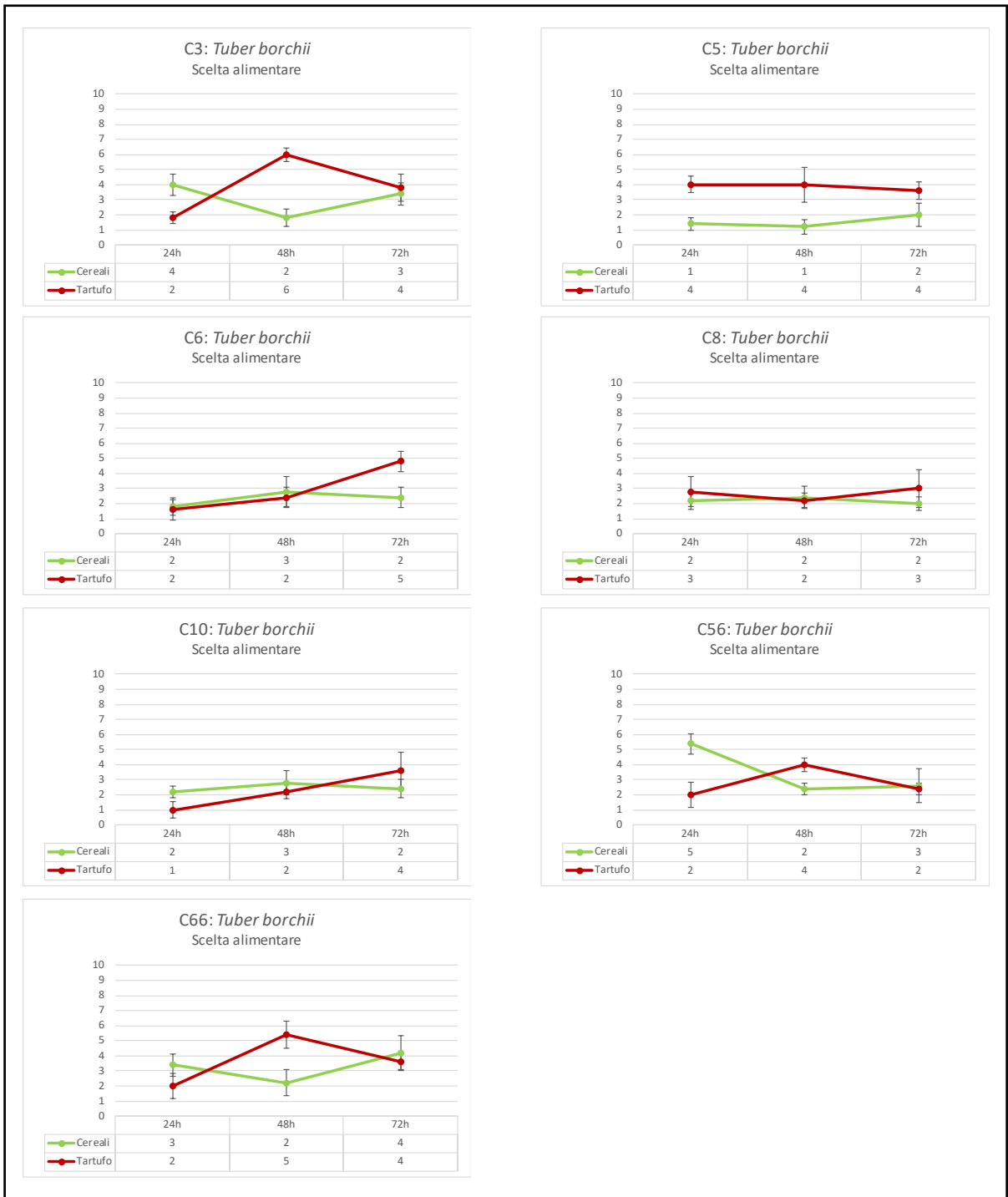


Figura 8.13 Preferenza alimentare dei campioni di *T. borchii* dopo 24h, 48h e 72h.

TUBER BORCHII (VITT., 1831)

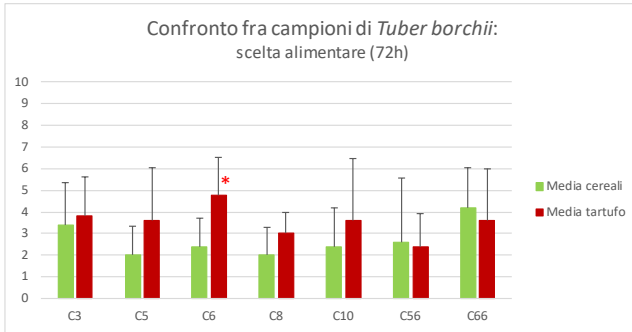


Figura 8.14 Appetibilità dei campioni di *T. borchii* rispetto al mix di cereali.

SCelta ALIMENTARE Nei confronti con il mix di cereali, alle 72h solo il campione 6 ha ottenuto una preferenza superiore (Figura 8.14), risultato di un aumento nella scelta del tartufo con il passare delle ore (Figura 8.13). Questo aumento è visibile solamente in un altro campione, il C10, che non ha però mostrato una scelta significativa per il campione di tartufo piuttosto che per il mix di cereali.

Nei confronti a 72h fra campioni (Figura 8.15) non è stata osservata alcuna differenza rilevante fra la scelta del tartufo sul numero di cibanti quando il controllo è presente con un campione di tartufo piuttosto che con un altro.

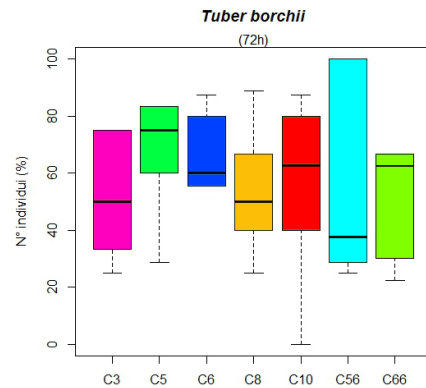


Figura 8.15 Appetibilità dei campioni di *T. borchii* rispetto al mix di cereali.

TUBER BORCHII (VITT., 1831)

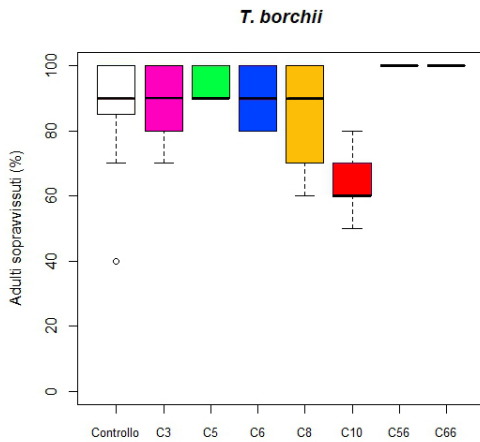


Figura 8.16 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE In termini di sopravvivenza (Fig. 24), il campione 10 ha mostrato una mortalità maggiore rispetto al controllo, mentre in corrispondenza di C56 e C66 *F. candida* ha mostrato una sopravvivenza del 100%, superando significativamente quella del controllo. Nell'analisi dei dati riguardanti la riproduzione (Fig. 24), i campioni 3 e 6 hanno ottenuto risultati migliori del controllo.

I confronti fra campioni differiscono sia per sopravvivenza che per riproduzione. Nel primo caso, C56 e C66 hanno ottenuto gli stessi risultati, ossia una sopravvivenza massima che differisce significativamente da tutti gli altri campioni della specie. Quando alimentato con C10, invece, il collembolo ha mostrato una sopravvivenza inferiore rispetto a tutti gli altri campioni eccetto C8. Per quanto concerne la riproduzione, C3 è risultato inferiore solo a C6, il quale ha ottenuto risultati superiori agli altri campioni, mentre C10 ha mostrato tassi riproduttivi inferiori a tutti eccetto C5.

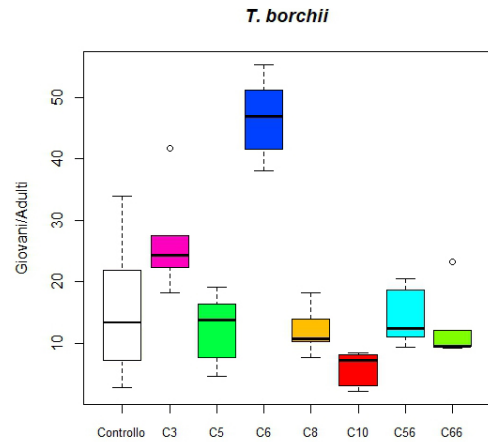


Figura 8.17 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

TUBER BRUMALE (VITT., 1831)

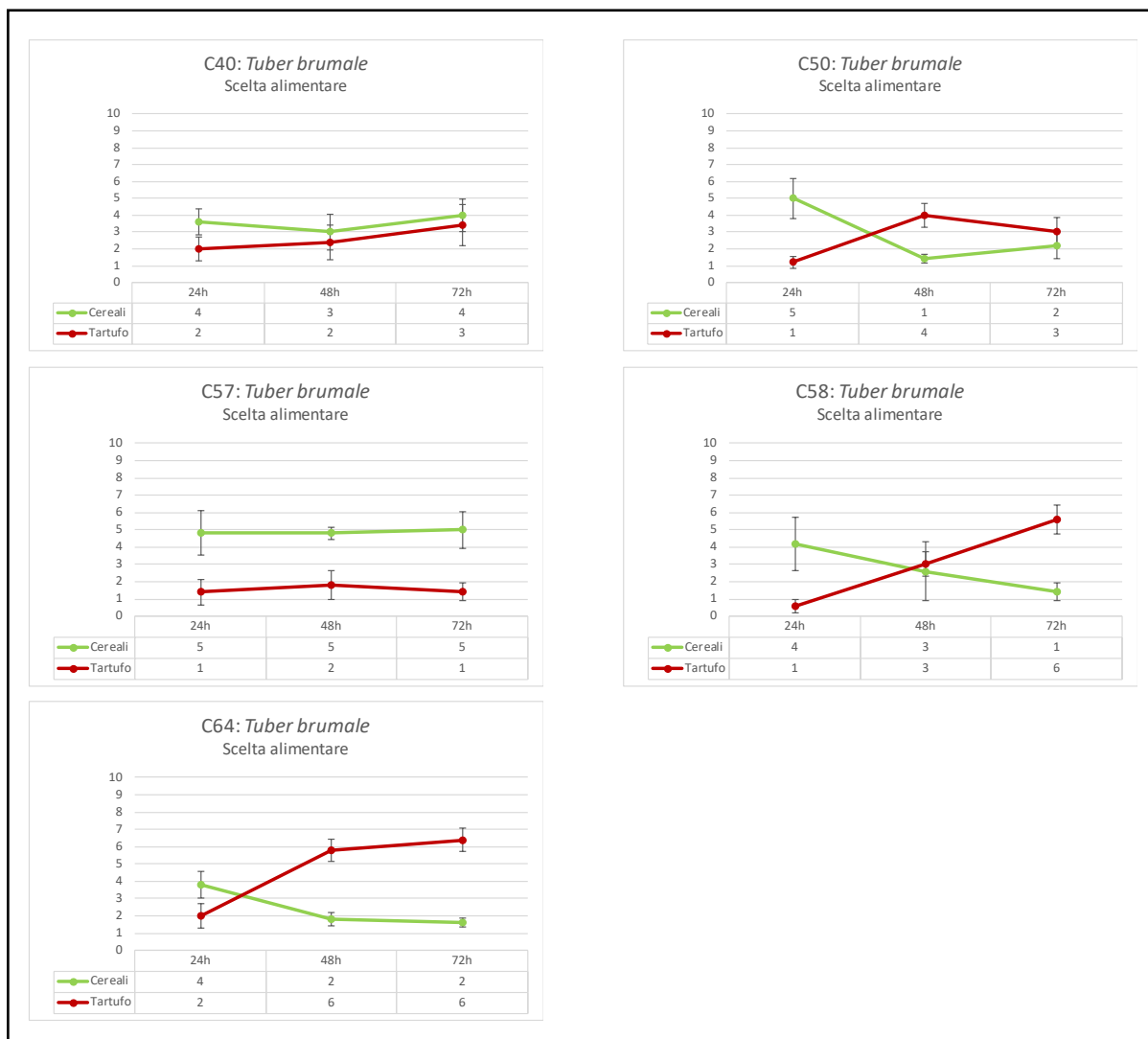


Figura 8.18 Preferenza alimentare dei campioni di *T. brumale* dopo 24h, 48h e 72h.

TUBER BRUMALE (VITT., 1831)

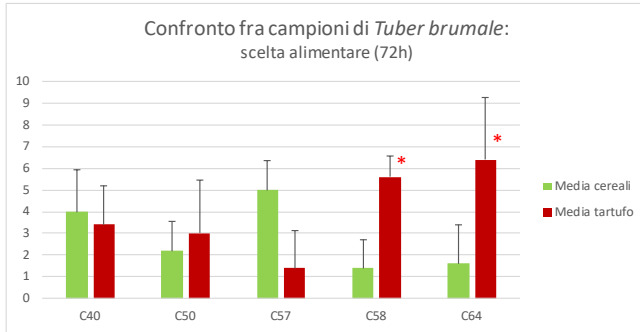


Figura 8.19 Appetibilità dei campioni di *T. brumale* rispetto al mix di cereali.

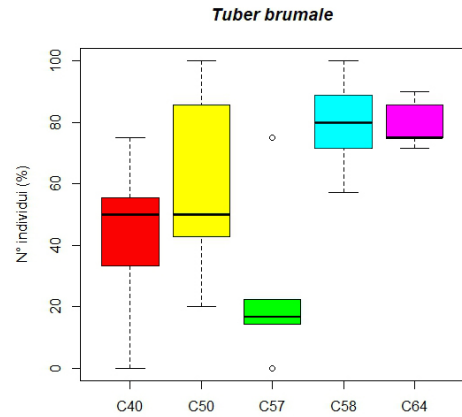


Figura 8.20 Appetibilità dei campioni di *T. brumale* rispetto al mix di cereali.

SCelta ALIMENTARE Fatta eccezione per il campione 57, la preferenza per il tartufo tende ad aumentare dalle 24h alle 72h (Figura 8.18). In questa seconda fascia oraria (Figura 8.19), il tartufo è risultato significativamente più appetibile, rispetto al mix di cereali, in corrispondenza dei campioni 58 e 64, mentre con C40 e, soprattutto, C57, sebbene sia stato preferito il cibo controllo, la differenza non è risultata rilevante per valori di $p \leq 0.05$.

Nei confronti fra campioni (Figura 8.20), risultati significativamente diversi fra loro, C58 e C64 sono stati preferiti rispetto a C40 e C57.

TUBER BRUMALE (VITT., 1831)

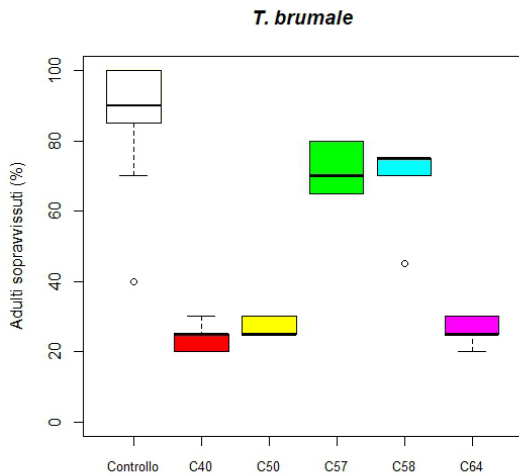


Figura 8.21 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE In termini di sopravvivenza (Figura 8.21), tutti i campioni appartenenti a *T. brumale* riportano dati di mortalità maggiori rispetto a quelli del controllo, in particolar modo C40, C50 e C64. Questi corrispondono a tassi riproduttivi significativamente inferiori a quelli relativi al mix di cereali, fatta eccezione per C50 che risulta comunque essere una risorsa che non favorisce la riproduzione (Figura 8.22).

Nel confronto fra campioni, sia sopravvivenza che riproduzione risultano diverse. Nello specifico, C57 e C58 registrano tassi di sopravvivenza superiori agli altri campioni e, al contrario, una riproduzione inferiore. In corrispondenza di C58 la riproduzione è risultata significativamente più bassa rispetto a tutti gli altri campioni eccetto C64 e C57, in corrispondenza del quale si sono osservate le cifre più basse.

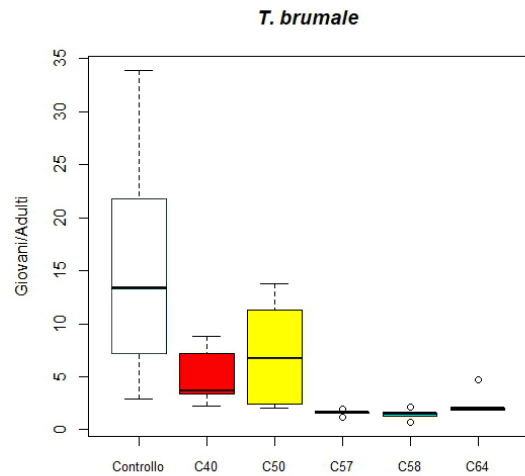


Figura 8.22 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

TUBER EXCAVATUM (VITT., 1831)

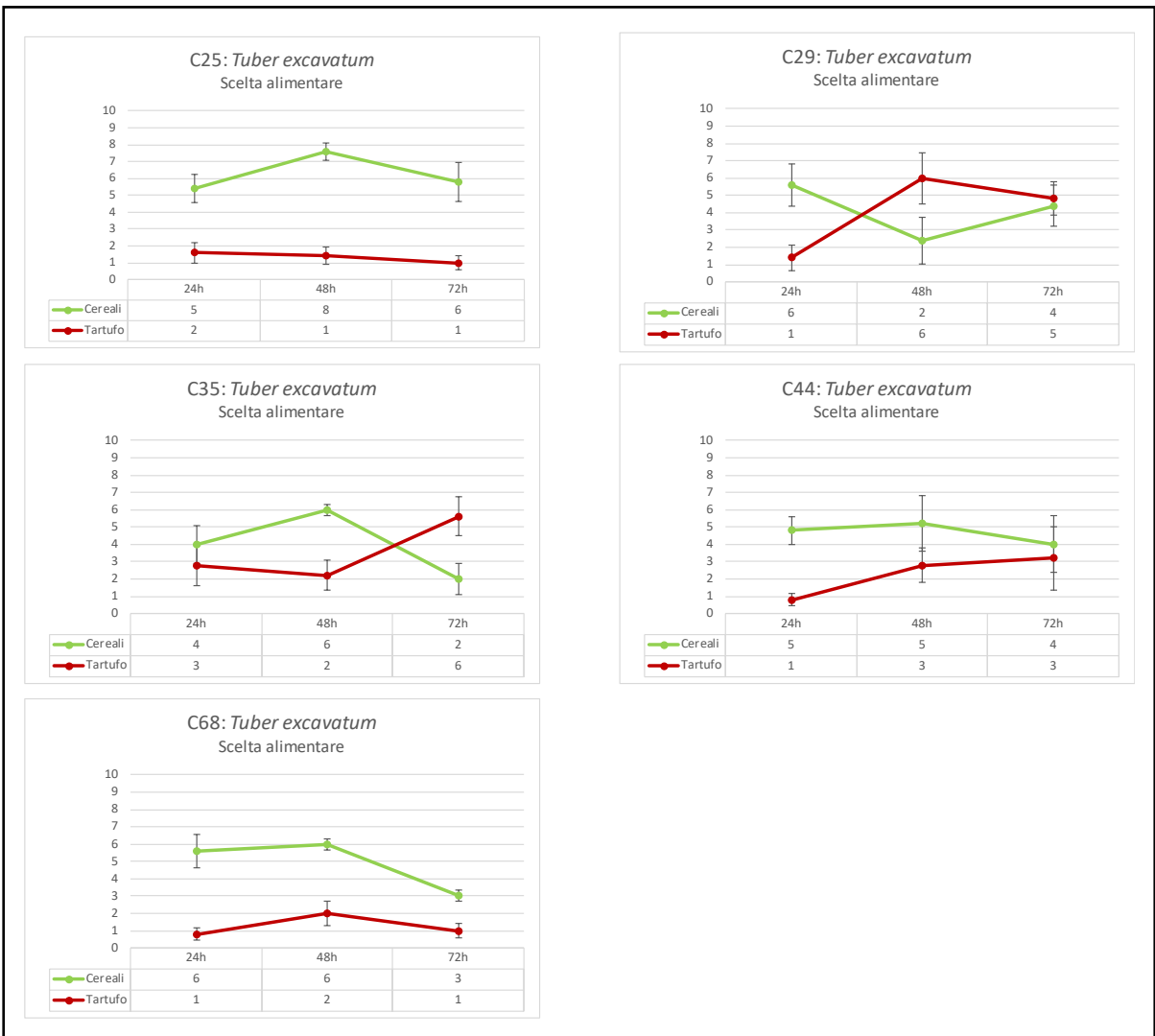


Figura 8.23 Preferenza alimentare dei campioni di *T. excavatum* dopo 24h, 48h e 72h.

TUBER EXCAVATUM (VITT., 1831)

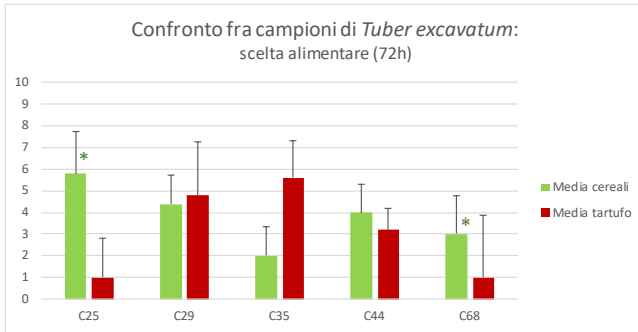


Figura 8.24 Appetibilità dei campioni di *T. excavatum* rispetto al mix di cereali.

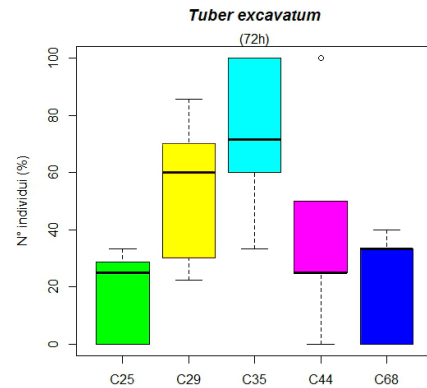


Figura 8.25 Appetibilità dei campioni di *T. excavatum* rispetto al mix di cereali.

SCelta ALIMENTARE In generale, in tre campioni su cinque il mix di cereali è sempre stato preferito a *T. excavatum* (Figura 8.23). Anche nel campione 35, dove un numero maggiore di collemboli ha scelto il tartufo, questa preferenza si è espressa solo alle 72h. Il mix di cereali è stato preferito in maniera significativa quando confrontato con C25 e C68 (Figura 8.24).

Paragonato agli altri (Figura 8.25), il campione in cui il tartufo, rapportato con il numero di cibanti, è risultato più appetibile è stato C35, che è stato preferito a C25 e C68.

TUBER EXCAVATUM (VITT., 1831)

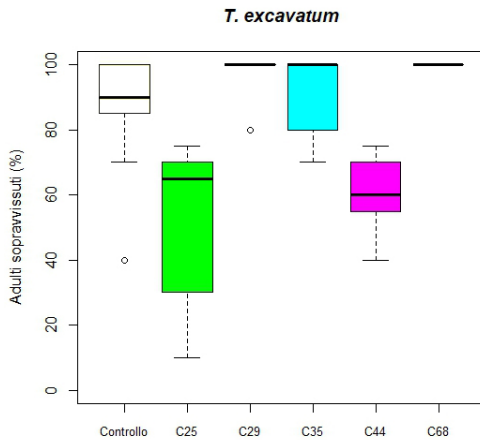


Figura 8.26 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE La sopravvivenza rilevata nei campioni di *T. excavatum* differisce molto se confrontata con quella nel controllo (Figura 8.26). Infatti, nelle capsule Petri in cui sono stati introdotti C25 e C44 la sopravvivenza di *F. candida* è risultata inferiore a quella osservata nelle capsule di controllo, mentre quella relativa a C68 risulta significativamente superiore. Per quanto riguarda la riproduzione (Figura 8.27), quella dei coltomboli nutriti esclusivamente con C25 o C44 è risultata inferiore a quella di *F. candida* quando alimentata con il mix di cereali.

Confrontando i campioni fra loro, si è osservata una sopravvivenza e riproduzione molto variabile. C25 e C44, hanno riportato una sopravvivenza significativamente inferiore agli altri tre campioni, ma la riproduzione di C44 è risultata superiore a quella di C25, campione a cui è correlato il numero inferiore di nati per adulto. La riproduzione in corrispondenza di C44 risulta comunque inferiore a quella degli altri campioni, tra i quali C68 ha riportato valori superiori anche a C35.

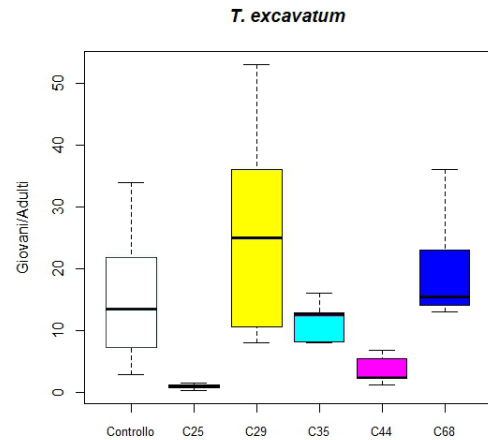


Figura 8.27 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

TUBER FULGENS (QUÈLET, 1880)

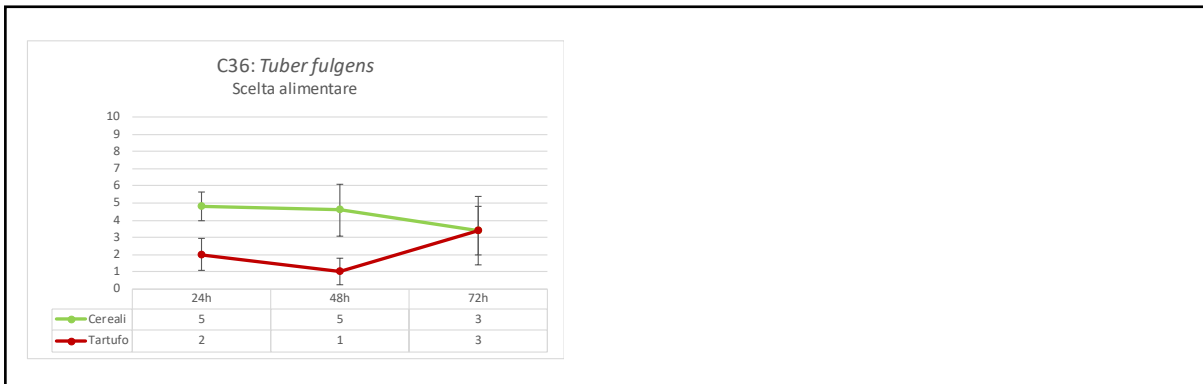


Figura 8.28 Preferenza alimentare dei campioni di *T. fulgens* dopo 24h, 48h e 72h.

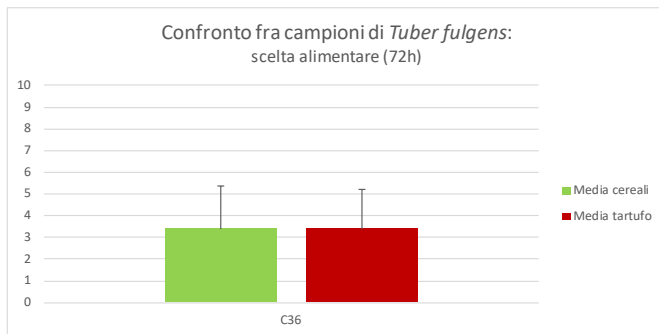


Figura 8.29 Appetibilità dei campioni di *T. fulgens* rispetto al mix di cereali.

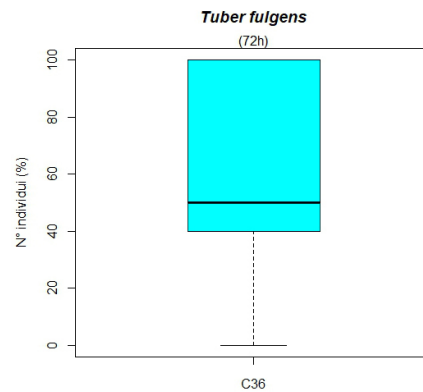


Figura 8.30 Appetibilità dei campioni di *T. fulgens* rispetto al mix di cereali.

SCelta ALIMENTARE Sebbene la preferenza nei confronti del tartufo aumenti con il passare delle ore (Figura 8.28), mentre quella per il controllo diminuisca, alle 72h (Figure 8.29 e 8.30) il numero di collemboli preferenti *T. fulgens* e quello relativo al mix di cereali corrisponde.

TUBER FULGENS (QUÈLET, 1880)

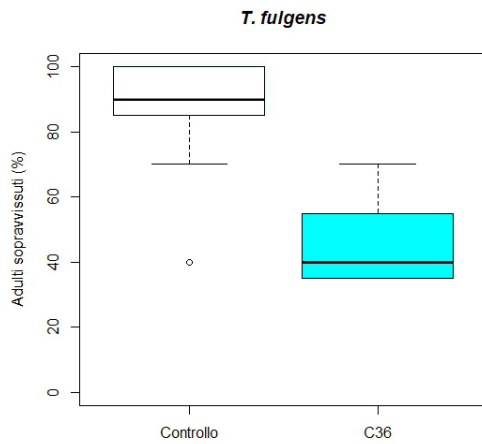


Figura 8.31 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE La sopravvivenza (Figura 8.31) e la riproduzione (Figura 8.32) in corrispondenza di *T. fulgens* risultano entrambe molto inferiori a quelle registrate con il cibo controllo.

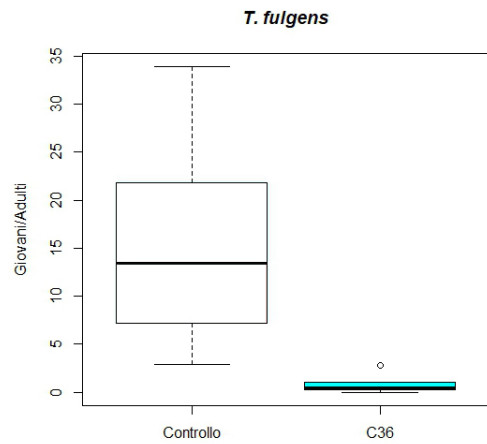


Figura 8.32 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

TUBER MACROSPORUM (VITT., 1831)

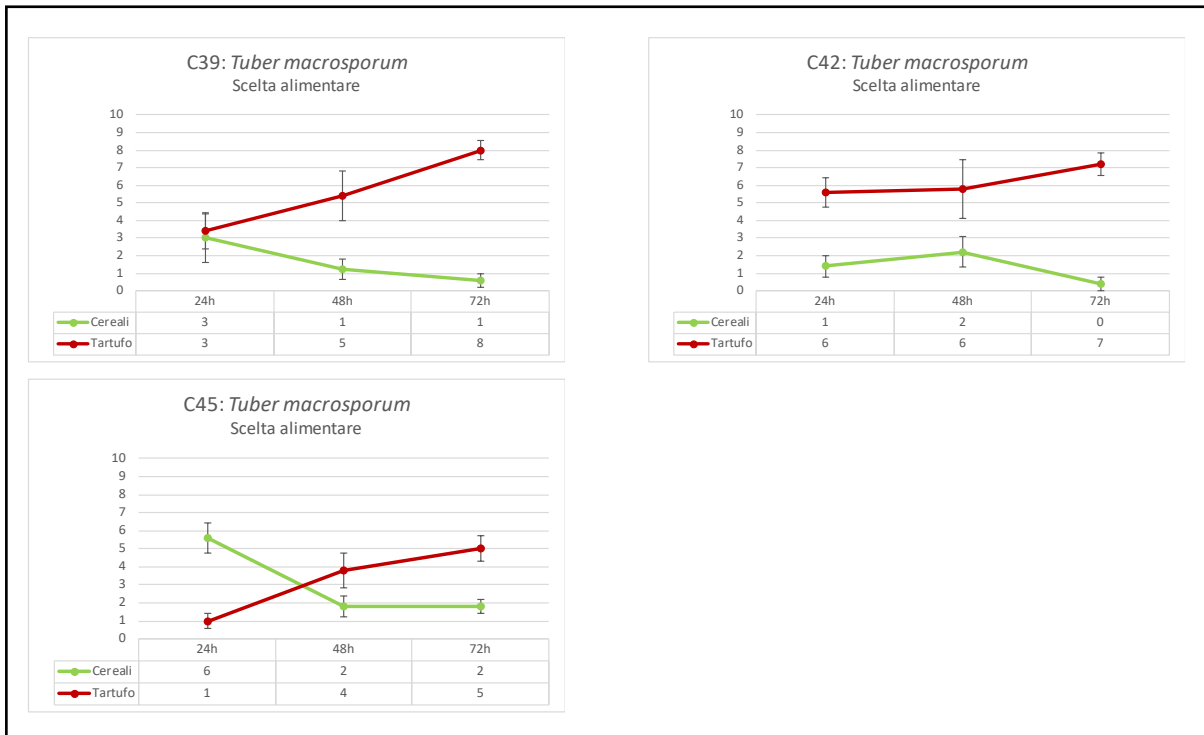


Figura 8.33 Preferenza alimentare dei campioni di *T. macrosporum* dopo 24h, 48h e 72h.

SCelta ALIMENTARE In corrispondenza di *T. macrosporum*, in tutti i campioni si è osservato un aumento orario della preferenza per il tartufo e una corrispondente diminuzione dell'appetibilità del mix di cereali (Figura 8.33). Inoltre, sia in C39 che in C42 la preferenza per il tartufo a 72h è risultata significativamente superiore a quella per il cibo controllo (Figura 8.34). In corrispondenza del campione 45, sebbene non ci sia stata una differenza statisticamente rilevante, i dati mostrano una

crescente preferenza per il tartufo ed un evidente decremento del numero di colomboli cibanti sul mix di cereali.

Nei confronti fra campioni (Figura 8.35) C45 risulta significativamente meno appetibile di C39 e C42.

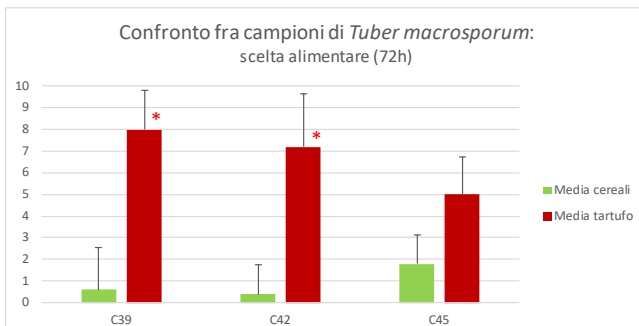


Figura 8.34 Appetibilità dei campioni di *T. macrosporum* rispetto al mix di cereali.

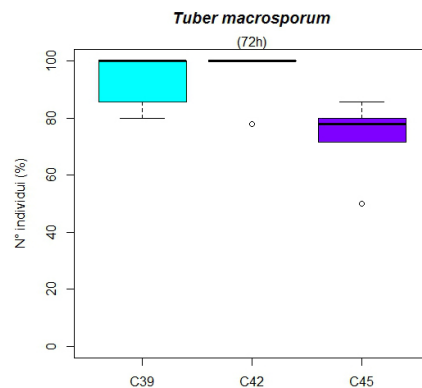


Figura 8.35 Appetibilità dei campioni di *T. macrosporum* rispetto al mix di cereali.

TUBER MACROSPORUM (VITT., 1831)

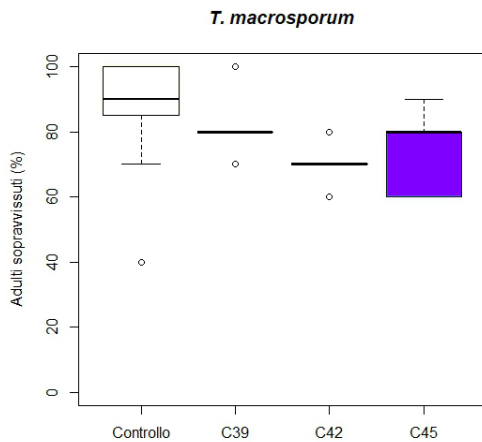


Figura 8.36 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

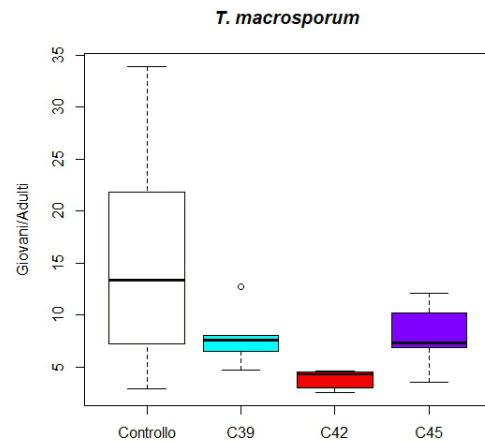


Figura 8.37 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE C42 risulta sfavorito rispetto al controllo sia in termini di sopravvivenza (Figura 8.36) che di riproduzione (Figura 8.37).

Per quanto riguarda le differenze fra campioni, queste non risultano significative nell'analisi della sopravvivenza, dove solo C42 ha registrato un numero di sopravvissuti rilevantemente inferiore a quello di C39. I tassi riproduttivi osservati variano nei confronti tra campioni in quanto sia C39 che C45 hanno ottenuto un numero di giovani per individuo significativamente superiore a quello ottenuto in corrispondenza di C42.

TUBER MAGNATUM (PICCO, 1788)

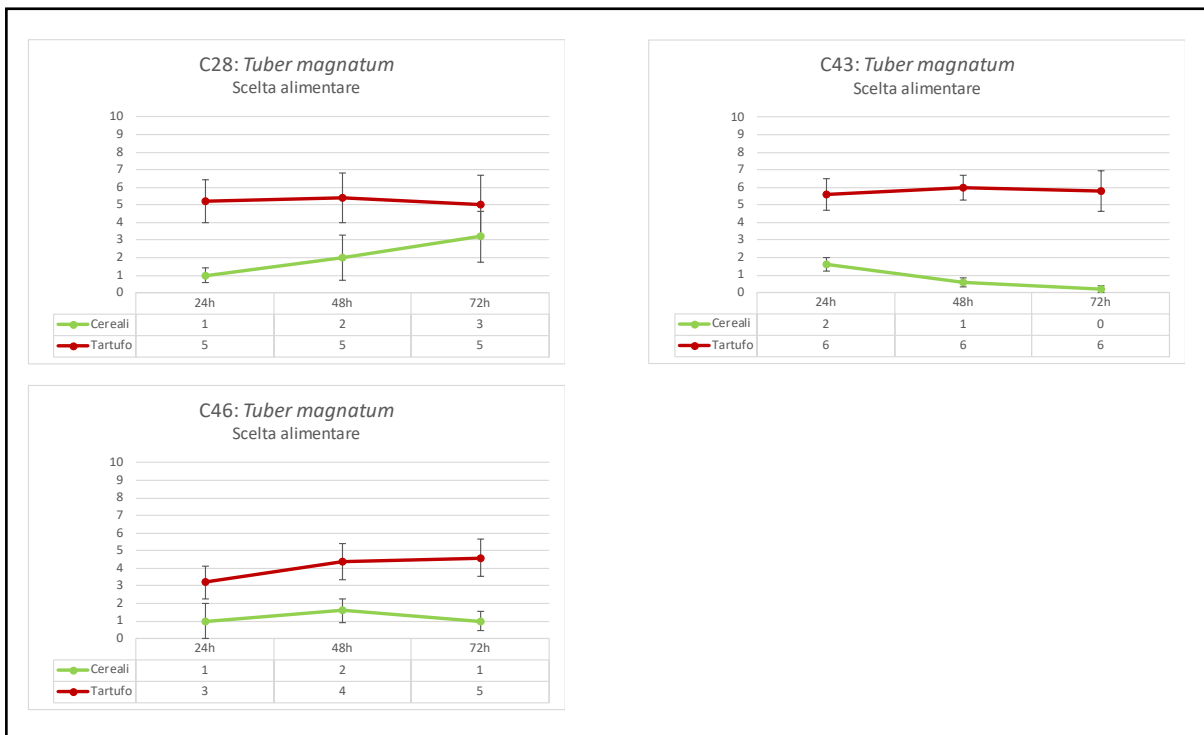


Figura 8.38 Preferenza alimentare dei campioni di *T. magnatum* dopo 24h, 48h e 72h.

SCelta ALIMENTARE In tutti i campioni appartenenti a *T. magnatum* il tartufo è risultato essere una risorsa più appetibile del mix di cereali, non solo a 72h, ma durante tutta la durata dell'esperimento (Figura 8.38). Tuttavia, l'analisi statistica delle osservazioni effettuate ha determinato una differenza significativa solo in corrispondenza del campione 43 (Figura 8.39).

Le differenze tra campioni non sono risultate significative (Figura 8.40).

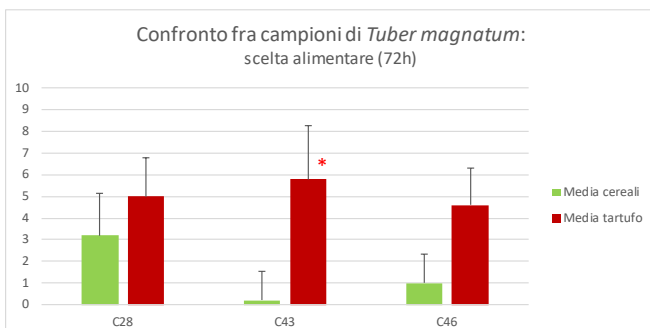


Figura 8.39 Appetibilità dei campioni di *T. magnatum* rispetto al mix di cereali.

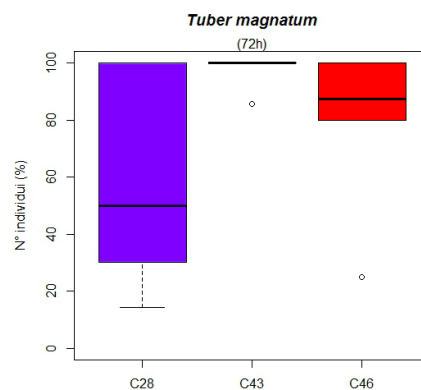


Figura 8.40 Appetibilità dei campioni di *T. magnatum* rispetto al mix di cereali.

TUBER MAGNATUM (PICCO, 1788)

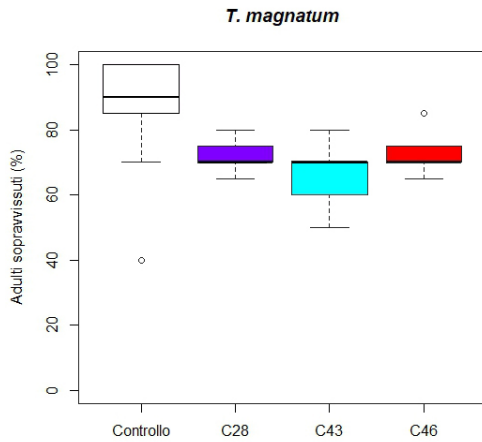


Figura 8.41 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

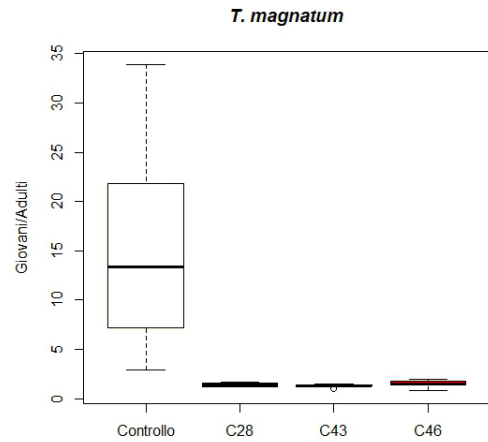


Figura 8.42 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE In tutti i campioni considerati, sia la sopravvivenza (Figura 8.41) che la riproduzione (Figura 8.42) di *F. candida* in corrispondenza di *T. magnatum* sono risultate significativamente inferiori al controllo.

I campioni, confrontati fra loro, non hanno registrato differenze rilevanti in nessuno dei due test.

TUBER MELANOSPORUM (VITT., 1831)

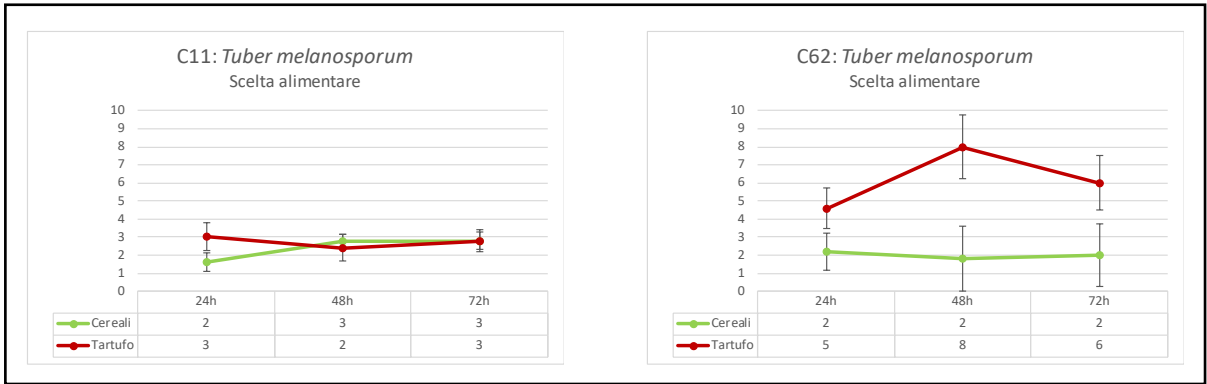


Figura 8.43 Preferenza alimentare dei campioni di *T. melanosporum* dopo 24h, 48h e 72h.

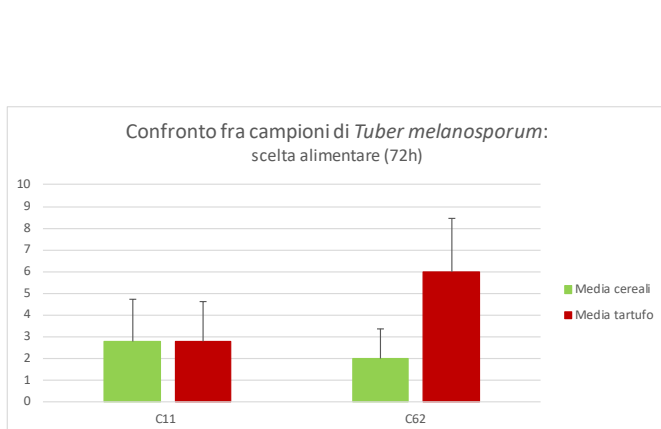


Figura 8.44 Appetibilità dei campioni di *T. melanosporum* rispetto al mix di cereali.

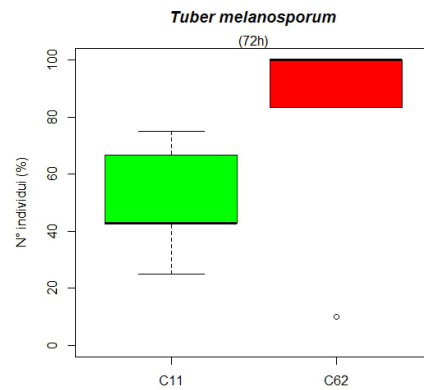


Figura 8.45 Appetibilità dei campioni di *T. melanosporum* rispetto al mix di cereali.

SCelta ALIMENTARE I dati relativi al confronto fra mix di cereali e campione 11 si equivalgono non solo a 72h, ma durante tutta la durata del test, mentre C62 viene sempre preferito ma, a 72h, non in maniera rilevante (Figure 8.43 e 8.44).

A 72h (Figura 8.45), il numero di cibanti preferenti il tartufo non è significativamente differente fra i due campioni.

TUBER MELANOSPORUM (VITT., 1831)

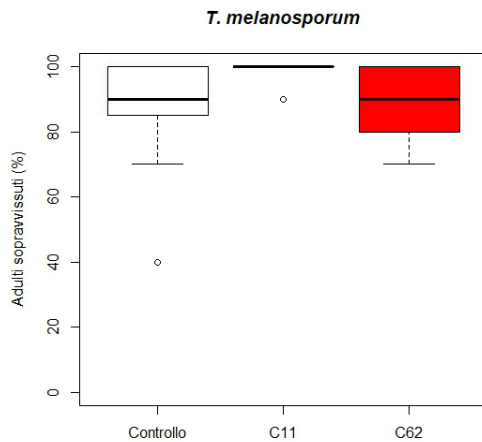


Figura 8.46 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

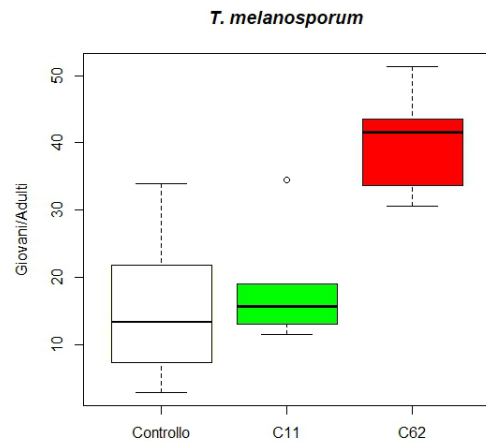


Figura 8.47 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE La sopravvivenza (Figura 8.46) in corrispondenza dei due campioni di *T. melanosporum* non differisce in maniera rilevante da quella in presenza del mix di cereali, mentre la riproduzione (Figura 8.47) dei collemboli alimentati con C62 risulta significativamente superiore.

Di conseguenza, mentre per la sopravvivenza non ci sono differenze fra i due campioni, la riproduzione di C62 è superiore a quella di *F. candida* alimentata con il campione 11.

TUBER MESENTERICUM (VITT., 1831)

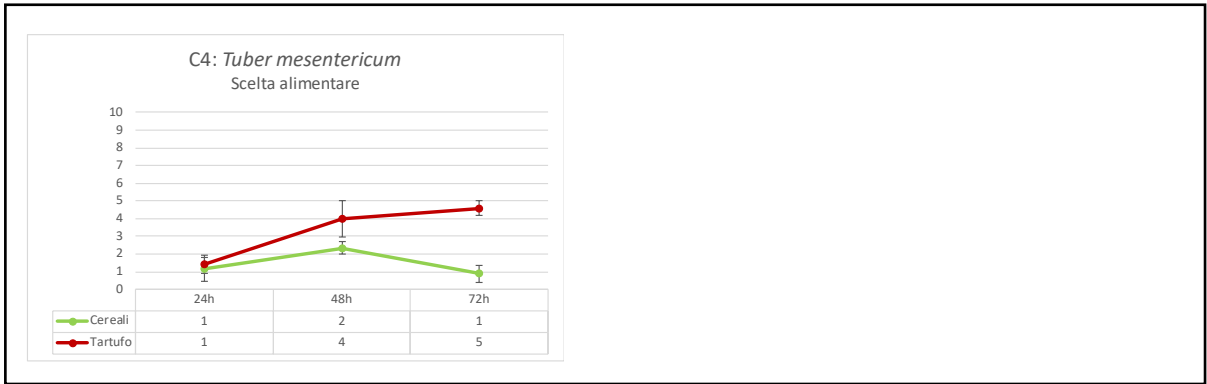


Figura 8.48 Preferenza alimentare dei campioni di *T. mesentericum* dopo 24h, 48h e 72h.

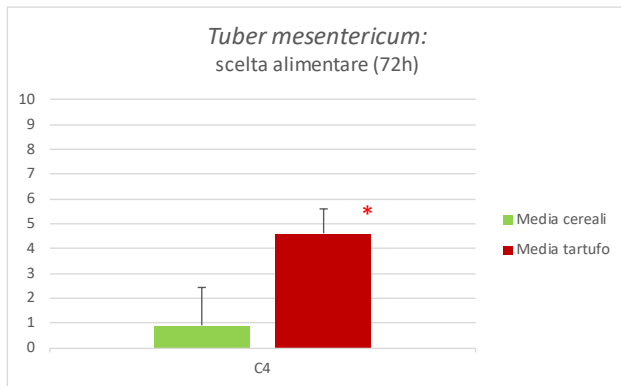


Figura 8.49 Appetibilità dei campioni di *T. mesentericum* rispetto al mix di cereali.

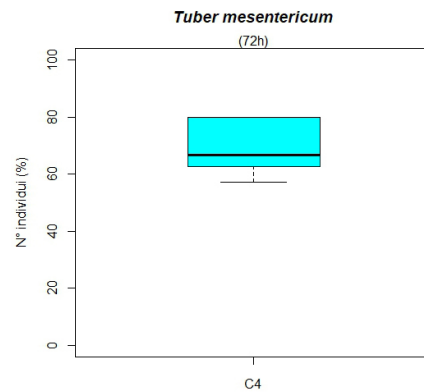


Figura 8.50 Appetibilità dei campioni di *T. mesentericum* rispetto al mix di cereali.

SCelta ALIMENTARE In corrispondenza di *T. mesentericum* si ha una preferenza per il tartufo che aumenta nel corso delle ore (Figura 8.48), assieme ad una diminuzione della stessa nei confronti del mix di cereali. A 72h (Figure 8.49 e 8.50), l'appetibilità del tartufo è significativamente superiore a quella del cibo controllo.

TUBER MESENTERICUM (VITT., 1831)

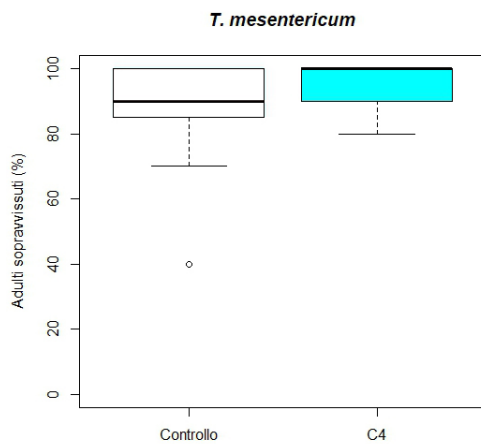


Figura 8.51 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

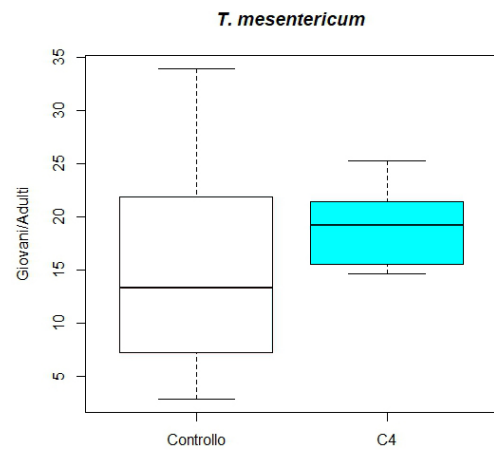


Figura 8.52 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE Per quanto riguarda sopravvivenza (Figura 8.51) e riproduzione (Figura 8.52), non sono state osservate differenze rilevanti tra controllo e campione di tartufo.

TUBER PUBERULUM (BERKELEY & BROOME, 1846)

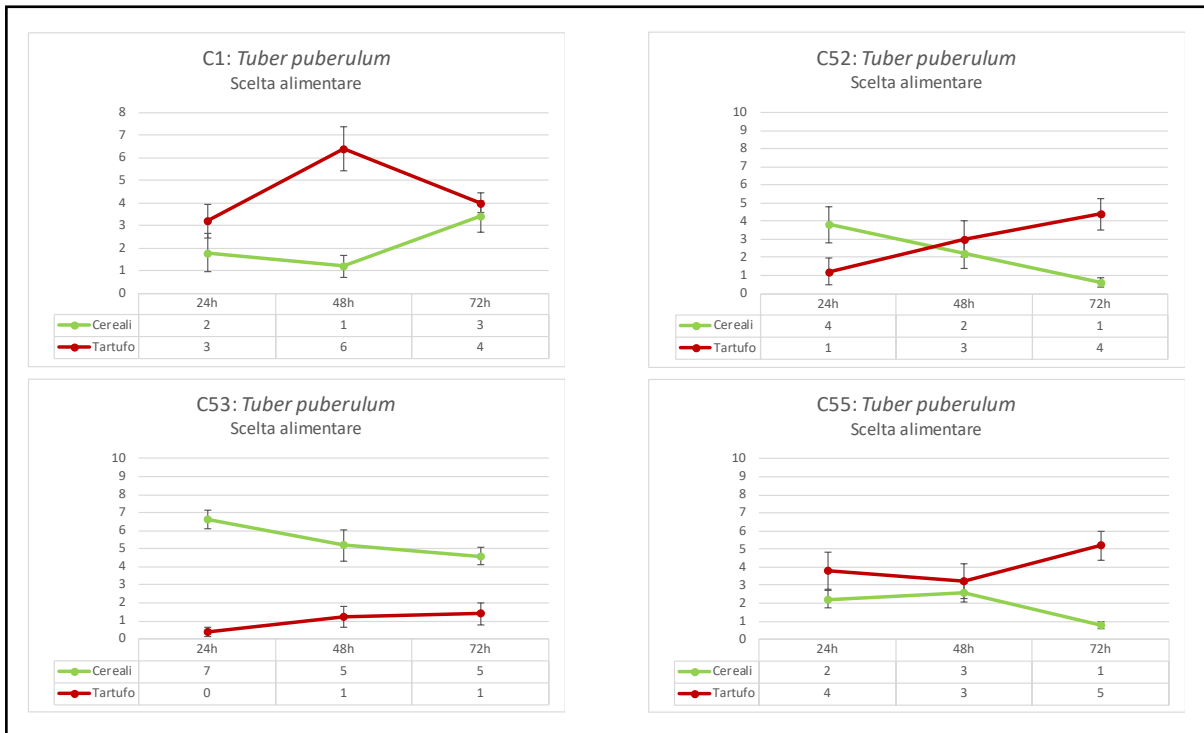


Figura 8.53 Preferenza alimentare dei campioni di *T. puberulum* dopo 24h, 48h e 72h.

SCelta ALIMENTARE Alle 72h, in tre casi su quattro il tartufo è preferito al mix di cereali, tuttavia la tendenza generale (Figura 8.53) è quella di un aumento di questa preferenza con il passare delle ore. Il campione 53, in cui è sempre stato preferito il mix di cereali a *T. puberulum*, ha evidenziato dopo 72h una differenza significativa nella scelta tra le due risorse, mentre in C52 ed in C55 il tartufo è risul-

tato la risorsa più appetibile (Figura 8.54).

Di conseguenza, nel confronto fra campioni (Figura 8.55) si sono riscontrate differenze significative nel numero di cibanti tartufo. C53 è risultato significativamente meno appetibile degli altri campioni, in quanto è l'unico campione in cui è stato preferito il cibo controllo. C1 è comunque risultato una risorsa meno appetibile di C52 e C55.

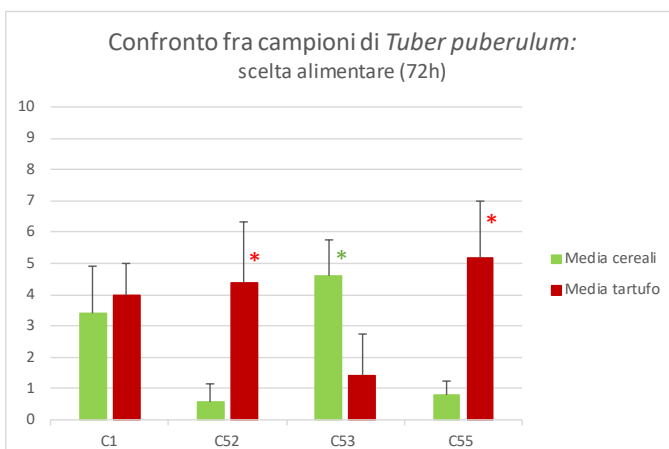


Figura 8.54 Appetibilità dei campioni di *T. puberulum* rispetto al mix di cereali.

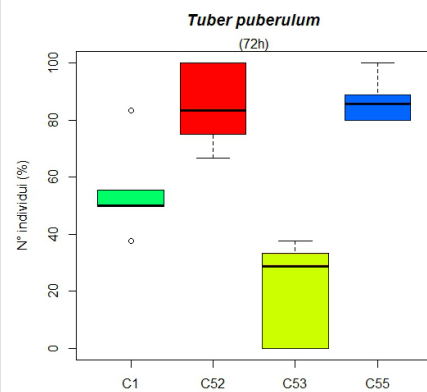


Figura 8.55 Appetibilità dei campioni di *T. puberulum* rispetto al mix di cereali.

TUBER PUBERULUM (BERKELEY & BROOME, 1846)

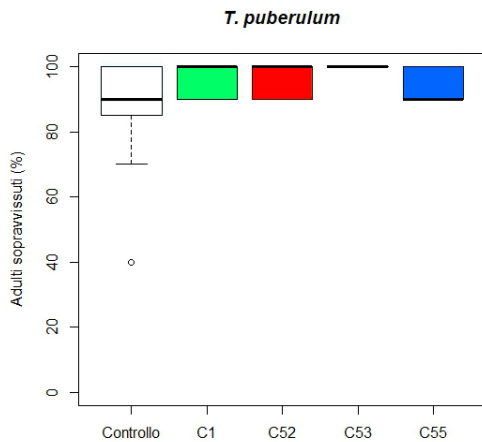


Figura 8.56 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE Solo in corrispondenza di C53 si è osservata una sopravvivenza significativamente diversa da quella riscontrata nel controllo, nel quale la mortalità media è stata maggiore (Figura 8.56). Per quanto riguarda la riproduzione (Figura 8.57), nessun campione ha ottenuto risultati diversi dal mix di cereali.

Non sono state osservate differenze fra i campioni, anche se C53 ha mostrato una sopravvivenza significativamente maggiore a quella di C55. I risultati relativi alla riproduzione sono, invece, statisticamente diversi. In particolare, in corrispondenza del campione 1 è stato registrato un tasso riproduttivo significativamente superiore a quello osservato con gli altri campioni, mentre in C52 i risultati ottenuti sono inferiori al resto.

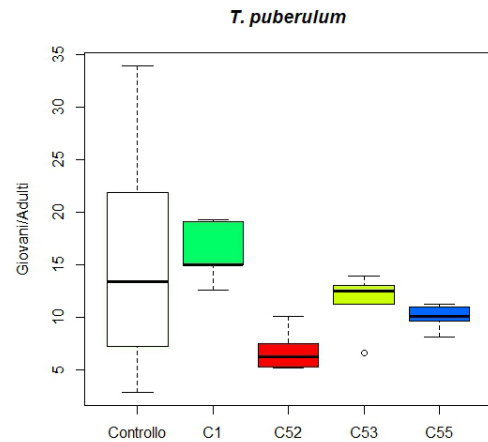


Figura 8.57 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

TUBER RUFUM (PICCO: FR. 1823) VAR. RUFUM (MONTECCHI & LAZZARI 1993)

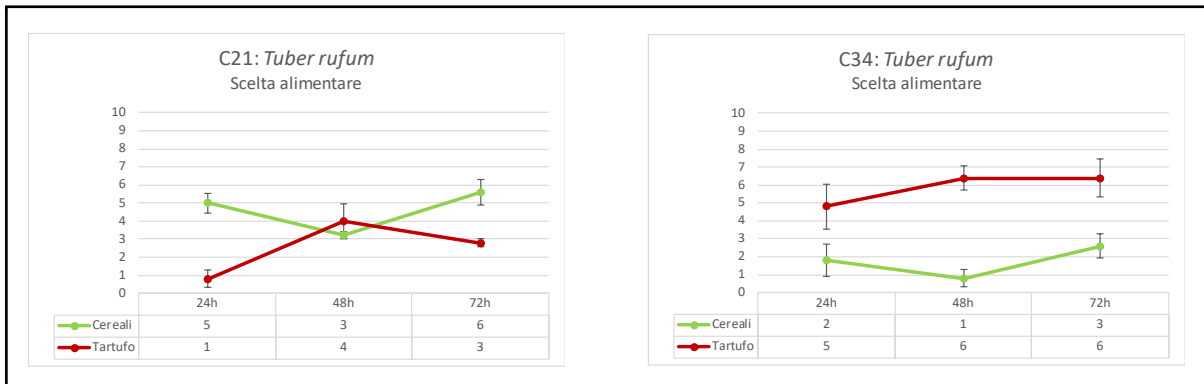


Figura 8.58 Preferenza alimentare dei campioni di *T. rufum* dopo 24h, 48h e 72h.

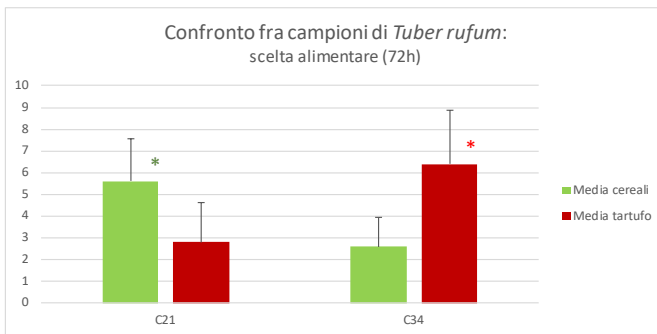


Figura 8.59 Appetibilità dei campioni di *T. rufum* rispetto al mix di cereali.

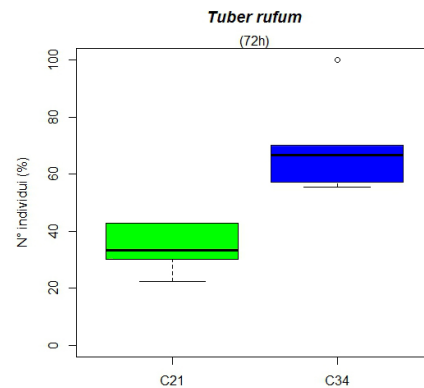


Figura 8.60 Appetibilità dei campioni di *T. rufum* rispetto al mix di cereali.

SCelta ALIMENTARE Per quanto riguarda l'appetibilità, i campioni di *T. rufum* hanno ottenuto risultati opposti (Figura 8.58). In C21 è stato preferito il tartufo solo a 48h, mentre a 72h è stata mostrata una preferenza significativa nei confronti del mix di cereali (Figura 8.59). Al contrario, in C34 i collemboli hanno preferito il tartufo durante tutta la durata dell'esperimento e, in maniera significativa, a 72h.

Di conseguenza, le differenze fra campioni (Figura 8.60) sono risultate significative, con una chiara preferenza per il campione 34.

TUBER RUFUM (PICCO: FR. 1823) VAR. *RUFUM* (MONTECCHI & LAZZARI 1993)

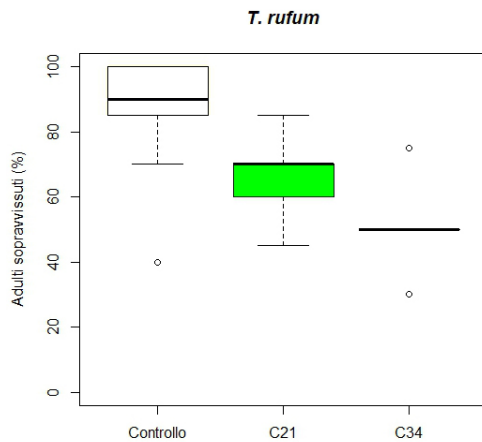


Figura 8.61 Adulti sopravvissuti dopo 28 giorni.

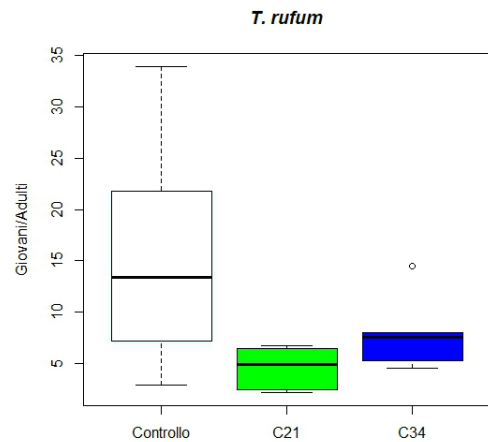


Figura 8.62 Giovani nati per adulto sopravvissuto dopo 28 giorni.

SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE Rispetto al mix di cereali, entrambi i campioni hanno mostrato una mortalità superiore (Figura 8.61), ma soltanto in corrispondenza del campione 21 si è osservata anche una riproduzione significativamente inferiore (Figura 8.62).

Tuttavia, confrontati fra loro, i due campioni non hanno evidenziato differenze rilevanti né in termini di sopravvivenza né di riproduzione.

DISCUSSIONE

Lo scopo di questo studio è stato quello di investigare, nell'ambito delle relazioni tra fauna edafica e funghi ipogei, se *F. candida* mostri preferenze alimentari nei confronti di qualche componente micologica ipogea e se la sua sopravvivenza e riproduzione venga influenzata da questo tipo di alimentazione.

I risultati riguardanti la scelta alimentare mostrano, in primo luogo, che *F. candida* necessita di alcune ore per abituarsi al passaggio da piastra di allevamento a piastra del test e, quindi, iniziare a cibarsi. Infatti, analizzando i dati ottenuti in tutte le piastre del test, la percentuale di collemboli che esprime una preferenza alimentare aumenta in maniera significativa tra le 24h e le 48h e, soprattutto, tra le 24h e le 72h. Allo stesso modo, anche il numero di collemboli che preferisce il tartufo, fra i cibanti, aumenta al trascorrere delle ore. Questo dato in particolare suggerisce che, in un primo momento, la scelta da parte dei collemboli di cibarsi con il mix di cereali potrebbe essere dovuta all'esperienza che essi hanno riguardo a questo tipo di risorsa alimentare, essendo la stessa utilizzata durante l'allevamento. Proprio questa considerazione ha portato a focalizzare l'attenzione sui dati ottenuti alle 72h. È tuttavia possibile che risulta-

ti più attendibili possano essere ottenuti effettuando osservazioni successive alle 72h.

I risultati ottenuti dalle osservazioni dopo 72h confermano la capacità di *F. candida* di discernere tra diverse risorse alimentari, mostrando diversi gradi di preferenza dipendendo dalla specie di fungo ipogeo disponibile in alternativa al mix di cereali. In generale, le componenti micologiche ipogee sembrano esercitare un'attrazione superiore rispetto al mix di cereali, fatta eccezione per *T. excavatum* e *T. fulgens*. Inoltre, i collemboli hanno mostrato una particolare predilezione per *T. macrosporum* e *T. magnatum*, seguiti da *T. mesentericum*.

Per determinare se la variabilità intra-specifica ottenuta in corrispondenza di alcune specie fosse dovuta a differenze legate all'origine dei campioni utilizzati, è stato effettuato un confronto interno a *T. aestivum* (una delle specie per le quali si sono utilizzati più campioni). Offrendo a *F. candida* la possibilità di scegliere fra campioni cresciuti su una stessa essenza vegetale, in questo caso un impianto forestale a *Q. ilex*, e fra campioni cresciuti su essenze vegetali diverse ne è emerso che in entrambi i casi essa mostra una preferenza evidente per uno dei due campio-

ni. In entrambi i casi il campione meno appetibile è risultato essere il numero 49. Nel confronto fra essenze vegetali diverse questo risultato sembra confermare l'ipotesi di Hedè nec et al. (2013) secondo cui il substrato di crescita del fungo potrebbe avere un ruolo determinante sulla sua appetibilità, ancor più della specie di appartenenza. Questa spiegazione potrebbe essere coerente con i risultati ottenuti in corrispondenza dei due campioni di *T. rufum*. In questa specie, il numero di collemboli su cibanti che ha preferito il campione 21 rispetto al mix di cereali è significativamente più basso di quello che, con la medesima alternativa, ha preferito il campione 34 e, dal momento che il campione 21 è l'unico campione, oltre a C9 e C49, cresciuto anch'esso in impianto forestale a *Q. ilex*, questa potrebbe essere una caratteristica determinante per la poca appetibilità. Al contrario, nel confronto fra campioni di *T. aestivum* cresciuti entrambi in impianto forestale a *Q. ilex*, le caratteristiche di provenienza del tartufo sono esattamente uguali, fatto salvo per la data di raccolta che, al momento del test di confronto, differiva di un anno. La diversa senescenza potrebbe essere una spiegazione alle differenze di appetibilità fra i due campioni, in questo caso a favore di quello raccolto prima.

Le diverse componenti micologiche ipogee, quando presenti come unica risorsa alimentare, possono avere effetti diversi su sopravvivenza e riproduzione di *F. candida*. Il mix di cereali viene utilizzato come controllo in quanto garantisce un'alta sopravvivenza, conseguentemente nessuna specie di tartufo ha ottenuto risultati significativamente superiori, tuttavia *T. aestivum*, *T. borchii*, *T. melanosporum*, *T. mesentericum* e *T. puberulum* hanno garantito una sopravvivenza mediamente migliore. *T. borchii* e *T. mesentericum* hanno mostra-

to anche tassi riproduttivi mediamente superiori, ma solo in corrispondenza di *T. melanosporum*. *F. candida* ha prodotto un numero significativamente maggiore di giovani. *T. brumale*, *T. fulgens*, *T. macrosporum*, *T. magnatum* e *T. rufum* hanno invece determinato una bassa sopravvivenza e riproduzione. *T. aestivum* e *T. melanosporum*, le due specie che in natura determinano la presenza del pianello, sebbene non siano significative dal punto di vista dell'appetibilità, presentano valori di sopravvivenza elevati e, mentre la prima è correlata ad una riproduzione nella media, la seconda è la specie con il tasso più elevato di giovani nati, indicandola come una risorsa di qualità per *F. candida*.

Variazioni nei risultati ottenuti fra campioni di una stessa specie potrebbero, come per l'appetibilità, dipendere dalle caratteristiche del substrato di crescita del tartufo. Nel caso della riproduzione, ad esempio, i valori ottenuti per tutti i campioni cresciuti in impianti forestali a *Q. pubescens* (campioni: 8-10, *T. borchii*; 57-64, *T. brumale*; 11, *T. melanosporum*; 52, *T. puberulum*) risultano significativamente inferiori a quelli degli altri campioni appartenenti alla stessa specie.

Confrontando i dati ottenuti per i tre test si è potuto osservare come le due specie più appetibili, *T. macrosporum* e *T. magnatum*, siano tra quelle con maggior mortalità e minor numero di giovani nati. Questi risultati contrastano con l'ipotesi di Pfeffer et al. (2010) che le risorse più appetibili siano anche quelle che garantiscono una fitness maggiore, attribuendo quindi a *F. candida* la capacità di individuare la risorsa che meglio contribuisce alla propria sopravvivenza e riproduzione. L'appetibilità di queste due specie potrebbe essere una strategia per garantire la diffusione delle proprie spore, e verrebbe controbilanciata dalla loro tossicità come risorsa

alimentare che, diminuendo la densità del fungivoro, impedirebbe un eccessivo foraggiamento. Sebbene queste due specie siano quelle in cui è più evidente una correlazione negativa, questa è presente in 12 su 16 confronti inter-specifici con differenza significativa in termini di appetibilità e sopravvivenza e/o riproduzione (Appendice B, Tabella 11). Quando i campioni sono confrontati con il mix di cereali si hanno differenze significative per appetibilità e sopravvivenza e/o riproduzione in 10 casi, in 7 di questi un'elevata appetibilità corrisponde a bassa sopravvivenza e/o riproduzione e viceversa (Appendice B, Tabella 12). Nei confronti fra campioni questo accade in 9 casi su 14 (Appendice B, Tabella 13).




APPENDICE




A




DATI AFFERENTI AI CAMPI DEL DATABASE DI CORRELAZIONE TRA SPECIE FUNGINE E HABITAT

fornito dall'Archivio
di ISPRA e Gruppo Micologico dell'Etruria Meridionale – AMB nel “Sistema informativo della
biodiversità micologica di
ISPRA” e realizzato da Carmine Siniscalco




| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|---|--|
| <p>N°2. <i>Balsamia vulgaris</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Malagrotta (RM): Località: Prato Madonna; Altezza: 60 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G.Manetti ex Carrière, 1855</p> | <p>Data di raccolta: 18 febbraio 2015; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco.</p> |
| <p>N°7. <i>Balsamia vulgaris</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Malagrotta (RM): Loc.: Prato Madonna; Altezza: 60 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G.Manetti ex Carrière, 1855</p> | <p>Data di raccolta: 20 marzo 2015; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°54. <i>Balsamia vulgaris</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Malagrotta (RM): Loc.: Prato Madonna; Altezza: 60 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G.Manetti ex Carrière, 1855</p> | <p>Data di raccolta: 14 gennaio 2016; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |



| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|--|---|--|--|
| <p>N°9. <i>Tuber aestivum</i>, Vittadini f.ma <i>uncinatum</i> (Chatin) Montecchi & Borrelli 1995</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus ilex</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 22 marzo 2015; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°12. <i>Tuber aestivum</i>, Vittadini f.ma <i>uncinatum</i> (Chatin) Montecchi & Borrelli 1995</p>  | <p>Travo (PC): Loc.: Quadrelli; Altezza: 197 m. slm</p> | <p>Ritrovamento occasionale in arredo urbano con presenza di betulla, lauroceraso, acero, <i>prunus spp.</i> e rose rampicanti</p> | <p>Data di raccolta: 08 marzo 2015; Legit: Stefania Pinto; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°24. <i>Tuber aestivum</i>, Vittadini f.ma <i>uncinatum</i> (Chatin) Montecchi & Borrelli 1995</p>  | <p>Vejano (VT): Loc.: Le Mure Altezza: 380 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 19 luglio 2015 Legit: Alessandro Crema + Beta e Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |




| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|--|--|--|---|
| <p>N°30. <i>Tuber aestivum</i>, Vittadini f.ma <i>uncinatum</i> (Chatin) Montecchi & Borrelli 1995</p>  | <p>Ciciliano (RM): Loc.: Foresta Altezza: 420 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop., 1772; <i>Ulmus minor</i> Mill., 1768; <i>Acer campestre</i> L., 1753 e <i>Cornus sanguinea</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 06 ottobre 2015</p> <p>Legit: Alessandro Crema + Beta;</p> <p>Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°38. <i>Tuber aestivum</i>, Vittadini f.ma <i>uncinatum</i> (Chatin) Montecchi & Borrelli 1995</p>  | <p>Cottanello (RI): Loc.: Piè di Morra Altezza: 860 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Carpinus betulus</i> L., 1753; <i>Acer opalus</i> subsp. <i>obtusatum</i> (Waldst. & Kit. Ex Willd.) Gams, 1925</p> | <p>Data di raccolta: 06 novembre 2015</p> <p>Legit: Cristina Luperi e Chiara Siniscalco + Lilly;</p> <p>Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°49. <i>Tuber aestivum</i>, Vittadini f.ma <i>uncinatum</i> (Chatin) Montecchi & Borrelli 1995</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus ilex</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 03 gennaio 2016;</p> <p>Legit: Alessandro Crema + Beta;</p> <p>Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |




| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|--|--|---|--|
| <p>N°65. <i>Tuber aestivum</i>, Vittadini f.ma <i>uncinatum</i> (Chatin) Montecchi & Borrelli 1995</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Corylus avellana</i> L., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 13 marzo 2016; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°3. <i>Tuber borchii</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Montalto di Castro (VT): Loc.: Marina di Pescia Romana; Altezza: 3 m. slm</p> | <p><i>Pinus pinea</i> L., 1753 in ambiente retrodunale</p> | <p>Data di raccolta: 21 febbraio 2015; Legit: Cristina Luperi e Chiara Siniscalco + Lilly; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°5. <i>Tuber borchii</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Ronciglione (VT): Loc.: Macchia grossa; Altezza: 670 m. slm</p> | <p><i>Fagus sylvatica</i> L., faggeta depressa naturale ad alto fusto</p> | <p>Data di raccolta: 17 marzo 2015; Legit: Agostino Mocavini e Sabrina Campari + Bobo; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |




| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|---|---|
| <p>N°6. <i>Tuber borchii</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Malagrotta (RM): Loc.: Prato Madonna; Altezza: 60 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G.Manetti ex Carrière, 1855</p> | <p>Data di raccolta: 20 marzo 2015; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°8. <i>Tuber borchii</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Castel di Guido (RM): Loc.: La Bottaccia; Altezza: 75 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 21 marzo 2015; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°10. <i>Tuber borchii</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 22 marzo 2015; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |




| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|--|---|
| <p>N°56. <i>Tuber borchii</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Pinus halepensis</i> Mill., 1768</p> | <p>Data di raccolta: 17 gennaio 2016; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°66. <i>Tuber borchii</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 13 marzo 2016; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°40. <i>Tuber brumale</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Cottanello (RI): Loc.: Fonte Creticcia Altezza: 960 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Acer opalus</i> subsp. <i>obtusatum</i> (Waldst. & Kit. Ex Willd.) Gams, 1925; <i>Juniperus communis</i> L., 1753; <i>Prunus spinosa</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 06 novembre 2015 Legit: Cristina Luperi e Chiara Siniscalco + Lilly; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |

| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|---|---|
| <p>N°50. <i>Tuber brumale</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Castel di Guido (RM): Loc.: La Bottaccia; Altezza: 75 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus ilex</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 12 gennaio 2016; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°57. <i>Tuber brumale</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 24 gennaio 2016; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°58. <i>Tuber brumale</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Ronciglione (VT): Loc.: Tregnano; Altezza: 370 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus cerris</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 26 gennaio 2016; Legit: Agostino Moscovini e Sabrina Campari + Bobo; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |




| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|--|--|
| <p>N°64. <i>Tuber brumale</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 13 marzo 2016; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°25. <i>Tuber excavatum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Vejano (VT): Loc.: Le Mure Altezza: 380 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 19 luglio 2015 Legit: Alessandro Crema + Beta e Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°29. <i>Tuber excavatum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Ciciliano (RM): Loc.: Foresta Altezza: 420 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop., 1772; <i>Ulmus minor</i> Mill., 1768; <i>Acer campestre</i> L., 1753 e <i>Cornus sanguinea</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 06 ottobre 2015 Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |




| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|--|---|---|
| <p>N°35. <i>Tuber excavatum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Serrone (FR): Loc.: Monte Scalambra Altezza: 750 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold, 1785</p> | <p>Data di raccolta: 04 novembre 2015 Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°44. <i>Tuber excavatum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Collevecchio (RI): Loc.: Colle Nardis Altezza: 220 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop., 1772; <i>Fraxinus ornus</i> L., 1753; <i>Corylus avellana</i> L., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 11 dicembre 2015 Legit: Fabio Silvestrini + Silla 2; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°68. <i>Tuber excavatum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Vejano (VT): Loc.: Le Mure; Altezza: 380 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 12 aprile 2016; Legit: Alessandro Crema + Beta e Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |


| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|---|---|
| <p>N°36. <i>Tuber fulgens</i>, Quélet 1880</p>  | <p>Serrone (FR): Loc.: Monte Scalambra Altezza: 750 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold, 1785</p> | <p>Data di raccolta: 04 novembre 2015 Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°39. <i>Tuber macrosporum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Cottanello (RI): Loc.: Fonte Creticcia Altezza: 960 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Acer opalus</i> subsp. <i>obtusatum</i> (Waldst. & Kit. Ex Willd.) Gams, 1925; <i>Juniperus communis</i> L., 1753; <i>Prunus spinosa</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 06 novembre 2015 Legit: Cristina Luperi e Chiara Siniscalco + Lilly; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°42. <i>Tuber macrosporum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Collevecchio (RI): Loc.: Colle Nardis Altezza: 220 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop., 1772; <i>Fraxinus ornus</i> L., 1753; <i>Corylus avellana</i> L., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 11 dicembre 2015 Legit: Fabio Silvestrini + Silla 2; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |

| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|--|--|---|
| <p>N°45. <i>Tuber macrosporum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Collevecchio (RI): Loc.: Campana Altezza: 170 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Fraxinus ornus</i> L., 1753; <i>Corylus avellana</i> L., 1805; <i>Acer campestre</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 14 dicembre 2015 Legit: Fabio Silvestrini + Silla 2; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°28. <i>Tuber magnatum</i>, Picco* 1788</p>  | <p>Ciciliano (RM): Loc.: Foresta Altezza: 420 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop., 1772; <i>Ulmus minor</i> Mill., 1768; <i>Acer campestre</i> L., 1753 e <i>Cornus sanguinea</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 06 ottobre 2015 Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°43. <i>Tuber magnatum</i>, Picco* 1788</p>  | <p>Collevecchio (RI): Loc.: Colle Nardis Altezza: 220 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop., 1772; <i>Fraxinus ornus</i> L., 1753; <i>Corylus avellana</i> L., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 11 dicembre 2015 Legit: Fabio Silvestrini + Silla 2; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |

| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|--|---|---|---|
| <p>N°46. <i>Tuber magnatum</i>, Picco* 1788</p>  | <p>Collevecchio (RI): Loc.: Campana Altezza: 170 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Populus alba</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Fraxinus ornus</i> L., 1753; <i>Corylus avellana</i> L., 1805; <i>Acer campestre</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 14 dicembre 2015 Legit: Fabio Silvestrini + Silla 2; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°11. <i>Tuber melanosporum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 22 marzo 2015; Legit: Alessandro Crema + Beta; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°62. <i>Tuber melanosporum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Casal Selce (RM): Loc.: La Selce; Altezza: 55 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 07 febbraio 2016; Legit: Alessandro Crema + Beta e Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |

| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|---|--|
| <p>N°4. <i>Tuber mesentericum</i>, Vittadini 1831</p>  | <p>Caprarola (VT): Loc.: Monte Venere; Altezza: 560 m. slm</p> | <p><i>Fagus sylvatica</i> L., faggeta depressa naturale ad alto fusto</p> | <p>Data di raccolta: 04 marzo 2015; Legit: Agostino Mocavini e Sabrina Campari + Bobo; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°1. <i>Tuber puberulum</i>, Berkeley & Broome 1846</p>  | <p>Malagrotta (RM): Località: Prato Madonna; Altezza: 60 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G.Manetti ex Carrière, 1855</p> | <p>Data di raccolta: 18 febbraio 2015; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°52. <i>Tuber puberulum</i>, Berkeley & Broome 1846</p>  | <p>Castel di Guido (RM): Loc.: La Bottaccia; Altezza: 75 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805</p> | <p>Data di raccolta: 12 gennaio 2016; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |

| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|---|---|--|
| <p>N°53. <i>Tuber puberulum</i>, Berkeley & Broome 1846</p>  | <p>Malagrotta (RM): Loc.: Prato Madonna; Altezza: 60 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G.Manetti ex Carrière, 1855</p> | <p>Data di raccolta: 14 gennaio 2016; Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°55. <i>Tuber puberulum</i>, Berkeley & Broome 1846</p>  | <p>Capranica (VT): Loc.: Monte S. Elia; Altezza: 380 m. slm</p> | <p>Bosco naturale con essenze vegetali principali a <i>Quercus cerris</i> L., 1753; <i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805; <i>Quercus ilex</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 15 gennaio 2016; Legit: Agostino Mocavini e Sabrina Campari + Bobo; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |
| <p>N°21. <i>Tuber rufum</i>, Picco*: Fr.1823 var. <i>rufum</i> Montecchi & Lazzari 1993</p>  | <p>Malagrotta (RM): Loc.: Prato Madonna Altezza: 60 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Quercus ilex</i> L., 1753</p> | <p>Data di raccolta: 15 luglio 2015 Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |

| EXSICCATUM (in ordine alfabetico) | RACCOLTO | HABITAT | DATI DI RACCOLTA |
|---|--|--|--|
| <p>N°34. <i>Tuber rufum</i>, Picco*: Fr.1823 var. <i>rufum</i> Montecchi & Lazzari 1993</p>  | <p>Serrone (FR): Loc.: Monte Scalambra Altezza: 750 m. slm</p> | <p>Impianto forestale a <i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold, 1785</p> | <p>Data di raccolta: 04 novembre 2015 Legit: Adelmo Rubeca + Luna; Determinavit: Carmine Siniscalco</p> |

Fonte: Gruppo Micologico dell'Etruria Meridionale-Associazione Micologica Bresadola (GMEM-AMB)
Foto: S. Remelli

***Pico-Picco:** nel mese di novembre 2014, Carmine Siniscalco ha condotto una ricerca nella città di Torino presso l'*Archivio Storico dell'Anagrafe* (che ha dati a partire dal 1800) e presso l'*Archivio Storico Diocesano* (che ha dati a partire dal 1823) per avere chiarimenti sia sulle eventuali date di nascita e morte, sia sul nome corretto di "Vittorio Pico o Picco".

È stato verificato che per quanto riguarda il XVIII secolo non risultano registrazioni anagrafiche ad opera delle Amministrazioni Civiche e che soltanto le parrocchie registravano i battesimi.

Solo le ricerche condotte presso l'*Archivio Storico dell'Anagrafe di Torino* hanno permesso in parte di risolvere alcuni quesiti posti.

- In merito alle date:

"nelle Rubriche e nei Registri degli Atti di Morte, vi si trova un unico Victor Picco, deceduto celibe il 21 floréal (11 maggio) 1804 all'età di 33 anni, registrato al n. 2887.

A conferma di ciò:

"in una Lezione Accademica di Vincenzo Malacarne da Saluzzo, inserita nel Tomo XVI della Società Italiana delle Scienze e inviata alla stampa il 3 febbraio 1812 presso la tipografia di Luigi Mainardi di Verona, risulta che Vittorio Pico ("membro già del Collegio Medico Torinese") era già defunto".

- In merito al nome:

"nei registri dell'Archivio Storico dell'Anagrafe di Torino consultati, il cognome "Picco" ricorre più volte, mentre mai compare "Pico".

"A tal proposito bisogna comunque tenere presente che all'epoca i nomi propri di persona, ma anche i toponimi, si trovano scritti di volta in volta in maniera diversa, anche dalla stessa mano".

In conclusione:

- per quanto riguarda le date ora è possibile avere almeno un' indicazione certa su una probabile data di morte: 11 maggio 1804. Inoltre, in base ai dati ricavati bisogna ancora condurre tentativi di ricerca per la data di nascita tra i contributi di qualche archivio del 1770 e/o del 1771 ancora esistente presso gli Archivi Parrocchiali di Torino.
- A seguito di questa indagine si ritiene di adottare come nome corretto "**Vittorio Picco (Victor Picco)**".

Nota da: Siniscalco C., Bianco P.M., Parrettini G.L., Floccia F., Campana L., Jacomini C., (Eds.), 2014. "Abbinamento dei macromiceti italiani ai sistemi di classificazione degli habitat. Prima correlazione tra specie fungine, habitat e coperture del suolo sul territorio nazionale". ISPRA, Manuali e Linee Guida (MLG) n. 119/2014 - (ISBN 978-88-448-0690-3); pp. 1-533.

APPENDICE

B

**RISULTATI DEI TEST DI: PREFERENZA ALIMENTARE,
SOPRAVVIVENZA E RIPRODUZIONE**

LEGENDA:

Riga > Colonna
 Colonna > Riga

TABELLA 1

ANDAMENTO NEL TEMPO DELL'ESPRESSIONE DI UNA PREFERENZA

p-value = 0.0001536***

| | | |
|-----|-------------|-------|
| | 24h | 48h |
| 48h | 4.73e-05*** | - |
| 72h | 0.0001*** | 0.855 |

ANDAMENTO NEL TEMPO DELLA SCELTA TARTUFO/CIBANTI

p-value = 3.703e-11***

| | | |
|-----|-------------|-------|
| | 24h | 48h |
| 48h | 6.25e-08*** | - |
| 72h | 5.37e-12*** | 0.128 |

| B. vulgaris p-value = 0.2652 | | T. aestivum p-value = 0.06684 | | T. borchii p-value = 0.004227** | | T. brumale p-value = 0.0003318*** | |
|--|-------|--|-------|---|--------|---|--------|
| 24h | 48h | 24h | 48h | 24h | 48h | 24h | 48h |
| 0.932 | - | 0.203 | - | 0.001*** | - | 0.002** | - |
| 0.131 | 0.414 | 0.041* | 0.117 | 0.003** | 0.411 | 0.001*** | 0.848 |
| T. excavatum p-value = 0.1123 | | T. fulgens p-value = 0.2818 | | T. macrosporum p-value = 0.005794** | | T. magnatum p-value = 0.775 | |
| 24h | 48h | 24h | 48h | 24h | 48h | 24h | 48h |
| 0.124 | - | 0.715 | - | 0.074 | - | 0.700 | - |
| 0.014** | 0.456 | 0.465 | 0.109 | 0.002** | 0.034* | 0.814 | 0.638 |
| T. melanosporum p-value = 0.8825 | | T. mesentericum p-value = 0.02237* | | T. puberulum p-value = 0.1657 | | T. rufum p-value = 0.003394** | |
| 24h | 48h | 24h | 48h | 24h | 48h | 24h | 48h |
| 0.953 | - | 0.062 | - | 0.080 | - | 0.012** | - |
| 0.859 | 0.498 | 0.062 | 1 | 0.012** | 0.235 | 0.440 | 0.021* |

LEGENDA:

Riga > Colonna
 Colonna > Riga

TABELLA 2

| SCELTA ALIMENTARE: CONFRONTO FRA SPECIE (su cibanti alle 72h) | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| p-value = 0.0008429*** | | | | | | | | | | | | |
| | Cereali | <i>B. vulgaris</i> | <i>T. aestivum</i> | <i>T. borchii</i> | <i>T. brumale</i> | <i>T. excavatum</i> | <i>T. fulgens</i> | <i>T. macrosporum</i> | <i>T. magnatum</i> | <i>T. melanosporum</i> | <i>T. mesentericum</i> | <i>T. puberulum</i> |
| <i>B. vulgaris</i> | 0.547 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. aestivum</i> | 0.768 | 0.610 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. borchii</i> | 0.094 | 0.983 | 0.484 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. brumale</i> | 0.286 | 0.747 | 0.480 | 0.881 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. excavatum</i> | 0.155 | 0.152 | 0.101 | 0.036* | 0.083 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. fulgens</i> | 0.705 | 0.895 | 0.681 | 0.838 | 0.889 | 0.287 | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. macrosporum</i> | 0.001*** | 0.005** | 0.0002*** | 0.0002*** | 0.001*** | 6.95e-05*** | 0.199 | - | - | - | - | - |
| <i>T. magnatum</i> | 0.004** | 0.050* | 0.011* | 0.009** | 0.014** | 0.003** | 0.401 | 1.000 | - | - | - | - |
| <i>T. melanosporum</i> | 0.183 | 0.520 | 0.267 | 0.404 | 0.533 | 0.061 | 0.803 | 0.071 | 0.212 | - | - | - |
| <i>T. mesentericum</i> | 0.042* | 0.405 | 0.129 | 0.346 | 0.577 | 0.054* | 0.599 | 0.028* | 0.136 | 0.951 | - | - |
| <i>T. puberulum</i> | 0.097 | 0.604 | 0.258 | 0.400 | 0.591 | 0.028* | 0.946 | 0.013** | 0.060 | 0.808 | 0.919 | - |
| <i>T. rufum</i> | 0.959 | 0.616 | 0.956 | 0.512 | 0.421 | 0.241 | 0.806 | 0.001*** | 0.044* | 0.322 | 0.085 | 0.290 |

PREFERENZA ALIMENTARE

LEGENDA:

Riga > Colonna
 Colonna > Riga

TABELLA 3

| SCELTA ALIMENTARE: CONFRONTO CEREALI VS TARTUFO A 72h | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|--|--------|----------|----------|--------|--|
| | C2 | C7 | C54 | | C30 | C38 | C49 | C65 | |
| <i>Balsamia vulgaris</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.8539 | 0.07825 | 0.4982 | | | | | | |
| <i>Tuber aestivum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.7865 | 0.4615 | 0.04123* | | 0.2207 | 0.2733 | 0.04217* | 1 | |
| <i>Tuber borchii</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.7055 | 0.2228 | 0.03936* | | 0.8539 | 0.5002 | 0.8902 | 0.6803 | |
| <i>Tuber brumale</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.8539 | 0.5807 | 0.07825 | | 0.58 | 0.64 | | | |
| <i>Tuber excavatum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.04217* | 0.8918 | 0.1041 | | 0.44 | 0.68 | 0.04123* | | |
| <i>Tuber fulgens</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 1 | | | | | | | | |
| <i>Tuber macrosporum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.04217* | 0.04217* | 0.06332 | | | | | | |
| <i>Tuber magnatum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.4652 | 0.04217* | 0.07825 | | | | | | |
| <i>Tuber melanosporum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.8902 | 0.2785 | | | | | | | |
| <i>Tuber mesentericum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.03936* | | | | | | | | |
| <i>Tuber puberulum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.593 | 0.04311* | 0.04123* | | 0.55 | 0.04217* | | | |
| <i>Tuber rufum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.04217* | 0.04217* | | | | | | | |

LEGENDA:

□ Riga > Colonna □ Colonna > Riga

TABELLA 4

| SCELTA ALIMENTARE: CONFRONTO FRA CAMPIONI (Tartufo/Cibanti alle 72h) | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|--|--------|
| Balsamia vulgaris p-value = 0.2901 | | | | | | | | | |
| | C2 | | | | | | | | C7 |
| C7 | 0.2948 | | | | | | | | - |
| C54 | 0.3961 | | | | | | | | 0.1666 |
| Tuber aestivum* p-value = 0.05357* | | | | | | | | | |
| | C9 | C12 | C24 | C30 | C38 | C49 | | | |
| C12 | 0.7533 | - | - | - | - | - | | | |
| C24 | 0.2933 | 0.1719 | - | - | - | - | | | |
| C30 | 0.2477 | 0.1706 | 0.0144** | - | - | - | | | |
| C38 | 0.834 | 0.6742 | 0.2888 | 0.2433 | - | - | | | |
| C49 | 0.07403 | 0.02686* | 0.008408** | 0.2328 | 0.02592* | - | | | |
| C65 | 0.5284 | 0.5959 | 0.09169 | 0.7518 | 0.2888 | 0.2418 | | | |
| Tuber borchii p-value = 0.906 | | | | | | | | | |
| | C3 | C5 | C6 | C8 | C10 | C56 | | | |
| C5 | 0.2433 | - | - | - | - | - | | | |
| C6 | 0.1719 | 0.833 | - | - | - | - | | | |
| C8 | 0.9161 | 0.4633 | 0.3457 | - | - | - | | | |
| C10 | 0.6004 | 0.7533 | 0.7518 | 1 | - | - | | | |
| C56 | 0.833 | 0.833 | 0.5993 | 1 | 0.9166 | - | | | |
| C66 | 0.5993 | 0.2477 | 0.462 | 0.7511 | 0.6742 | 0.7526 | | | |
| Tuber brumale p-value = 0.03198* | | | | | | | | | |
| | C40 | C50 | C57 | C58 | C64 | C58 | | | |
| C50 | 0.5296 | - | - | - | - | - | | | |
| C57 | 0.3443 | 0.09524 | - | - | - | - | | | |
| C58 | 0.03175* | 0.2948 | 0.03175* | - | - | - | | | |
| C64 | 0.02639* | 0.4005 | 0.02639* | 1 | - | - | | | |
| Tuber excavatum p-value = 0.05332* | | | | | | | | | |
| | C25 | C29 | C35 | C44 | C68 | C44 | | | |
| C29 | 0.07491 | - | - | - | - | - | | | |
| C35 | 0.01141** | 0.2073 | 0.01141** | - | - | - | | | |
| C44 | 0.4535 | 0.4633 | 0.1116 | - | - | - | | | |
| C68 | 0.4447 | 0.1719 | 0.02546* | - | - | - | | | |
| Tuber macrosporium p-value = 0.029* | | | | | | | | | |
| | C39 | C42 | C45 | C43 | C46 | C43 | | | |
| C42 | 0.6999 | - | - | - | - | - | | | |
| C45 | 0.02546* | 0.0306* | - | - | - | - | | | |
| Tuber magnatum p-value = 0.2525 | | | | | | | | | |
| | C28 | C43 | C46 | | | | | | |
| C43 | 0.1261 | - | - | | | | | | |
| C46 | 0.59 | 0.1955 | - | | | | | | |
| Tuber melanosporum C11 | | | | | | | | | |
| C62 | 0.1116 | | | | | | | | |
| Tuber puberulum p-value = 0.002545** | | | | | | | | | |
| | C1 | C52 | C53 | C55 | C53 | | | | |
| C52 | 0.03501* | - | - | - | - | - | | | |
| C53 | 0.01141** | 0.008611** | - | - | - | - | | | |
| C55 | 0.02733* | 0.7503 | 0.008611** | 0.008611** | 0.008611** | 0.008611** | | | |
| Tuber rufum C21 | | | | | | | | | |
| C34 | 0.008816** | | | | | | | | |
| *Confronto fra 2 campioni di Tuber aestivum | | | | | | | | | |
| | C9 | C38 | | | | | | | |
| C49 | 0.042* | 0.041* | | | | | | | |

P R E F E R E N Z A A L I M E N T A R E

LEGENDA:

 Riga > Colonna
 Colonna > Riga

TABELLA 5

| SOPRAVVIVENZA: CONFRONTO FRA SPECIE (% sopravvissuti) | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| | Cereali | <i>B. vulgaris</i> | <i>T. aestivum</i> | <i>T. borchii</i> | <i>T. brumale</i> | <i>T. excavatum</i> | <i>T. fulgens</i> | <i>T. macrosporum</i> | <i>T. magnatum</i> | <i>T. melanosporum</i> | <i>T. mesentericum</i> | <i>T. puberulum</i> |
| <i>B. vulgaris</i> | 0.411 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. aestivum</i> | 0.372 | 0.058 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. borchii</i> | 0.82 | 0.258 | 0.388 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. brumale</i> | 6.24e-06*** | 2.01e-05*** | 8.39e-10*** | 7.33e-09*** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. excavatum</i> | 0.5872 | 0.988 | 0.121 | 0.4144 | 3.32e-05*** | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. fulgens</i> | 0.004** | 0.003** | 0.0003*** | 0.0005*** | 0.325 | 0.010** | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. macrosporum</i> | 0.014** | 0.085 | 0.0001*** | 0.002** | 0.0002*** | 0.248 | 0.004** | - | - | - | - | - |
| <i>T. magnatum</i> | 0.002** | 0.009** | 6.02e-06* | 0.0001*** | 0.002** | 0.057* | 0.008** | 0.231 | - | - | - | - |
| <i>T. melanosporum</i> | 0.469 | 0.128 | 0.951 | 0.484 | 1.37e-05*** | 0.221 | 0.002** | 0.002** | 0.0002*** | - | - | - |
| <i>T. mesentericum</i> | 0.540 | 0.187 | 0.926 | 0.549 | 0.0005*** | 0.290 | 0.008** | 0.008** | 0.002** | 0.945 | - | - |
| <i>T. puberulum</i> | 0.118 | 0.009** | 0.395 | 0.094 | 6.31e-09*** | 0.043* | 0.0002*** | 3.69e-06** | 2.36e-07*** | 0.534 | 0.628 | - |
| <i>T. rufum</i> | 0.003** | 0.003** | 2.33e-05*** | 5.85e-05*** | 0.058* | 0.010** | 0.217 | 0.014** | 0.066 | 0.0004*** | 0.003** | 3.77e-06*** |

SOPRAVVIVENZA

LEGENDA:

Riga > Colonna
 Colonna > Riga

TABELLA 6

| SOPRAVVIVENZA: CONFRONTO CONTROLLO VS TARTUFO (% sopravvissuti) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|----------|-----|----------|-----|--------------|-----|----------|
| | C2 | C7 | C54 | | | | | | |
| <i>Balsamia vulgaris</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.2946 | 0.888 | 0.4094 | | | | | | |
| <i>Tuber aestivum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.5405 | 0.3939 | 0.7118 | C30 | 0.249 | C38 | 0.5405 | C49 | 0.889 |
| <i>Tuber borchii</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.8173 | 0.7428 | 0.8897 | C8 | 0.7118 | C10 | 0.02221* | C56 | 0.04761* |
| <i>Tuber brumale</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.0007748*** | 0.0007637*** | 0.03117* | C58 | 0.7118 | C64 | 0.0007748*** | C65 | 0.04761* |
| <i>Tuber excavatum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.007183** | 0.1462 | 0.7784 | C44 | 0.03124* | C68 | 0.01542** | C66 | 0.04761* |
| <i>Tuber fulgens</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.004079** | | | | | | | | |
| <i>Tuber macrosporium</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.2369 | 0.02751* | 0.06471 | C45 | | | | | |
| <i>Tuber magnatum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.03124* | 0.02485* | 0.03501* | C46 | | | | | |
| <i>Tuber melanosporum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.1619 | 0.8173 | | C62 | | | | | |
| <i>Tuber mesentericum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.5405 | | | | | | | | |
| <i>Tuber puberulum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.3939 | 0.3939 | 0.04761* | C53 | 0.7428 | C55 | | | |
| <i>Tuber rufum</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | 0.02795* | 0.01056** | | C34 | | | | | |

SOPRAVVIVENZA

LEGENDA:

Riga > Colonna
 Colonna > Riga

TABELLA 7

| SOPRAVIVENZA: CONFRONTO FRA CAMPIONI (% sopravvissuti) | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|--------|--|--|--|--------|
| <i>Balsamia vulgaris</i> p-value = 0.7014 | | | | | | | | | | |
| | C2 | | | | | | | | | C7 |
| C7 | 0.4477 | | | | | | | | | - |
| C54 | 0.8266 | | | | | | | | | 0.5152 |
| <i>Tuber aestivum</i> p-value = 0.8151 | | | | | | | | | | |
| C12 | 0.8111 | C12 | C24 | C30 | C38 | C49 | | | | |
| C24 | 0.3711 | 0.3092 | - | - | - | - | | | | |
| C30 | 0.6056 | 0.6985 | 0.1955 | - | - | - | | | | |
| C38 | 1 | 0.8111 | 0.3711 | 0.6056 | - | - | | | | |
| C49 | 0.5721 | 0.4189 | 0.9131 | 0.2877 | 0.5721 | - | | | | |
| C65 | 0.6999 | 0.6985 | 0.4101 | 0.8815 | 0.6999 | 0.3428 | | | | |
| <i>Tuber borchii</i> p-value = 0.004526** | | | | | | | | | | |
| C5 | 0.5038 | C5 | C6 | C8 | C10 | C56 | | | | |
| C6 | 0.8266 | 0.5023 | - | - | - | - | | | | |
| C8 | 0.7449 | 0.5038 | 0.6644 | - | - | - | | | | |
| C10 | 0.02639* | 0.007815** | 0.0144** | 0.08868 | - | - | | | | |
| C56 | 0.05391* | 0.04953* | 0.05281* | 0.05391* | 0.005189** | - | | | | |
| C66 | 0.05391* | 0.04953* | 0.05281* | 0.05391* | 0.005189** | NA | | | | |
| <i>Tuber brumale</i> p-value = 0.001018*** | | | | | | | | | | |
| C40 | C40 | C50 | C57 | C58 | | | | | | |
| C50 | 0.2123 | - | - | - | | | | | | |
| C57 | 0.008208** | 0.007622** | - | - | | | | | | |
| C58 | 0.007815** | 0.007244** | 0.007244** | 0.831 | | | | | | |
| C64 | 0.4386 | 0.729 | 0.729 | 0.008208** | 0.007815** | | | | | |
| <i>Tuber excavatum</i> p-value = 0.001083*** | | | | | | | | | | |
| C29 | C25 | C29 | C35 | C44 | | | | | | |
| C35 | 0.008208** | - | - | - | | | | | | |
| C44 | 0.01962* | 0.2877 | 0.01962** | 0.01962** | | | | | | |
| C68 | 0.7526 | 0.008208** | 0.008208** | 0.136 | | | | | | |
| | 0.005346** | 1 | 1 | 0.005346** | | | | | | |
| <i>Tuber macrosporium</i> p-value = 0.2328 | | | | | | | | | | |
| C42 | C39 | C42 | C43 | C45 | | | | | | |
| C45 | 0.05821* | - | - | - | | | | | | |
| | 0.4338 | 0.5876 | | | | | | | | |
| <i>Tuber magnatum</i> p-value = 0.5558 | | | | | | | | | | |
| C43 | C28 | C43 | | | | | | | | |
| C46 | 0.3871 | - | | | | | | | | |
| | 0.9136 | 0.3321 | | | | | | | | |
| <i>Tuber melanosporum</i> | | | | | | | | | | |
| C62 | C11 | C11 | | | | | | | | |
| | 0.1563 | 0.1563 | | | | | | | | |
| <i>Tuber puberulum</i> p-value = 0.265 | | | | | | | | | | |
| C52 | C1 | C52 | C53 | | | | | | | |
| C53 | 1 | - | - | | | | | | | |
| C55 | 0.1336 | 0.1336 | 0.04953* | | | | | | | |
| | 0.5485 | 0.5485 | 0.04953* | | | | | | | |
| <i>Tuber rufum</i> | | | | | | | | | | |
| C34 | C21 | C21 | | | | | | | | |
| | 0.2433 | 0.2433 | | | | | | | | |

LEGENDA:

Riga > Colonna
 Colonna > Riga

TABELLA 8

| RIPRODUZIONE: CONFRONTO FRA SPECIE (Giovani/Adulti) | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| | p-value = 2.97e-16*** | | | | | | | | | | | |
| | Cereali | <i>B. vulgaris</i> | <i>T. aestivum</i> | <i>T. borchii</i> | <i>T. brumale</i> | <i>T. excavatum</i> | <i>T. fulgens</i> | <i>T. macrosporum</i> | <i>T. magnatum</i> | <i>T. melanosporum</i> | <i>T. mesentericum</i> | <i>T. puberulum</i> |
| <i>B. vulgaris</i> | 0.389 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. aestivum</i> | 0.146 | 0.557 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. borchii</i> | 0.450 | 0.150 | 0.011** | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. brumale</i> | 1.39e-05*** | 0.001*** | 9.67e-05*** | 9.71e-09*** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. excavatum</i> | 0.214 | 0.675 | 0.922 | 0.029* | 0.001*** | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. fulgens</i> | 0.0001*** | 0.007** | 0.002** | 6.08e-06*** | 0.013* | 0.005** | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. macrosporum</i> | 0.011** | 0.345 | 0.133 | 3.62e-05*** | 0.001*** | 0.276 | 0.0003*** | - | - | - | - | - |
| <i>T. magnatum</i> | 3.06e-06*** | 5.24e-05*** | 1.73e-05*** | 2.74e-08*** | 0.0004*** | 0.002** | 0.067 | 3.06e-06** | - | - | - | - |
| <i>T. melanosporum</i> | 0.012** | 0.007** | 0.0002*** | 0.024* | 7.04e-06*** | 0.002** | 0.001*** | 2.45e-06*** | 3.17e-05*** | - | - | - |
| <i>T. mesentericum</i> | 0.349 | 0.349 | 0.024* | 0.298 | 0.001*** | 0.042* | 0.008** | 0.0001*** | 0.001*** | 0.310 | - | - |
| <i>T. puberulum</i> | 0.359 | 0.947 | 0.484 | 0.100 | 1.80e-06*** | 0.553 | 0.001*** | 0.002*** | 5.70e-07*** | 0.0003*** | 0.003** | - |
| <i>T. rufum</i> | 0.012** | 0.285 | 0.179 | 0.0001*** | 0.006** | 0.306 | 0.003** | 0.868 | 3.17e-05*** | 4.33e-05*** | 0.001*** | 0.004** |

RIPRODUZIONE

LEGENDA:

Riga > Colonna Colonna > Riga

TABELLA 9

| RIPRODUZIONE: CONFRONTO CONTROLLO VS TARTUFO (Giovani/Adulti) | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | C2 | C7 | C54 | | |
| <i>Balsamia vulgaris</i> | | | | | |
| Cereali | 0.000516*** | 0.9328 | 0.3056 | | |
| <i>Tuber aestivum</i> | | | | | |
| Cereali | 0.168 | 0.4973 | 0.168 | C30 | C65 |
| <i>Tuber borchii</i> | | | | 0.005418** | 0.1186 |
| Cereali | 0.03277* | 0.8001 | 0.000129*** | C8 | C56 |
| <i>Tuber brumale</i> | | | | 0.866 | 0.866 |
| Cereali | 0.02541* | 0.0983 | 0.000129*** | C58 | 0.08062 |
| <i>Tuber excavatum</i> | | | | 0.000129*** | 0.001936*** |
| Cereali | 0.000129*** | 0.168 | 0.866 | C44 | C68 |
| <i>Tuber fulgens</i> | | | | 0.002451** | 0.3486 |
| Cereali | 0.000129*** | | | | |
| <i>Tuber macrosporium</i> | | | | | |
| Cereali | 0.1903 | 0.005418** | 0.1974 | | |
| <i>Tuber magnatum</i> | | | | | |
| Cereali | 0.000129*** | 0.000129*** | 0.000129*** | | |
| <i>Tuber melanosporum</i> | | | | | |
| Cereali | 0.4445 | 0.000516*** | | | |
| <i>Tuber mesentericum</i> | | | | | |
| Cereali | 0.3486 | | | | |
| <i>Tuber puberulum</i> | | | | | |
| Cereali | 0.631 | 0.08062 | 0.6003 | C53 | C55 |
| <i>Tuber rufum</i> | | | | | |
| Cereali | 0.00774** | 0.1974 | | | 0.6116 |

| CONFRONTO FRA SPECIE | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----|
| | Cereali | <i>B. vulgaris</i> | <i>T. aestivum</i> | <i>T. borchii</i> | <i>T. brumale</i> | <i>T. excavatum</i> | <i>T. fulgens</i> | <i>T. macrosporum</i> | <i>T. magnatum</i> | <i>T. melanosporum</i> | <i>T. mesentericum</i> | <i>T. puberulum</i> | |
| <i>B. vulgaris</i> | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. aestivum</i> | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. borchii</i> | | | R | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. brumale</i> | S R | S R A | S R A | S R | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. excavatum</i> | | | | R | S R | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. fulgens</i> | S R | S R | S R | S R | R | S R | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. macrosporum</i> | A S R A | A S | A S R A | A S R A | A S R A | A | S R | - | - | - | - | - | - |
| <i>T. magnatum</i> | A S R A | S R A | S R A | S R A | S R A | S R | S | R | - | - | - | - | - |
| <i>T. melanosporum</i> | | | R | R | S R | R | S R | S R | S R | - | - | - | - |
| <i>T. mesentericum</i> | A | | R | | S R A | R | S R | A S R | S R | | | | |
| <i>T. puberulum</i> | | S | | | S R A | S | S R | A S R | S R | R | | | |
| <i>T. rufum</i> | S R | S | S | S R | S R | S | R A | A S | A | S R | S R | S R | S R |

LEGENDA: A: Appetibilità; S: Sopravvivenza; R: Riproduzione

TABELLA 12

■ Riga > Colonna ■ Colonna > Riga

| CONFRONTO CONTROLLO VS TARTUFO | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|
| | C2 | C7 | C54 | | | | | | |
| <i>Balsamia vulgaris</i> | | | | | | | | | |
| Cereali | R | | | | | | | | |
| <i>Tuber aestivum</i> | C9 | C12 | C24 | | | | | | |
| Cereali | | | A | | | | | | |
| <i>Tuber borchii</i> | C3 | C5 | C6 | | | | | | |
| Cereali | | | A | | | | | | |
| <i>Tuber brumale</i> | C40 | C50 | C57 | | | | | | |
| Cereali | S | R | S | | | | | | |
| <i>Tuber excavatum</i> | C25 | C29 | C35 | | | | | | |
| Cereali | A | S | R | | | | | | |
| <i>Tuber fulgens</i> | C36 | | | | | | | | |
| Cereali | S | R | | | | | | | |
| <i>Tuber macrosporium</i> | C39 | C42 | C45 | | | | | | |
| Cereali | A | A | S | | | | | | |
| <i>Tuber magnatum</i> | C28 | C43 | C46 | | | | | | |
| Cereali | S | R | A | | | | | | |
| <i>Tuber melanosporum</i> | C11 | C62 | | | | | | | |
| Cereali | | | R | | | | | | |
| <i>Tuber mesentericum</i> | C4 | | | | | | | | |
| Cereali | A | | | | | | | | |
| <i>Tuber puberulum</i> | C1 | C52 | C53 | | | | | | |
| Cereali | | A | S | | | | | | |
| <i>Tuber rufum</i> | C21 | C34 | | | | | | | |
| Cereali | A | S | R | | | | | | |

O H N O R F N O C

| CONFRONTO FRA CAMPIONI | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|--|--|--|--|---|
| <i>Balsamia vulgaris</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C2 | | C7 | | | | | | | | | |
| C7 | | R | - | | | | | | | | | |
| C54 | | R | | | | | | | | | | |
| <i>Tuber aestivum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C9 | C12 | C24 | C30 | C38 | C49 | | | | | | |
| C12 | R | - | - | - | - | - | | | | | | |
| C24 | R | | - | - | - | - | | | | | | |
| C30 | R | R | A | R | - | - | | | | | | |
| C38 | | | | R | - | - | | | | | | |
| C49 | | A | A | R | A | - | | | | | | |
| C65 | | R | R | R | | | | | | | | |
| <i>Tuber borchii</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C3 | C5 | C6 | C8 | C10 | C56 | | | | | | |
| C5 | R | - | - | - | - | - | | | | | | |
| C6 | R | R | - | - | - | - | | | | | | |
| C8 | R | | R | R | - | - | | | | | | |
| C10 | S | S | S | R | - | - | | | | | | |
| C56 | S | S | S | S | S | - | | | | | | |
| C66 | S | S | S | S | S | - | | | | | | |
| <i>Tuber brumale</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C40 | C50 | C57 | C58 | | | | | | | | |
| C50 | | - | - | - | | | | | | | | |
| C57 | S | R | S | R | - | - | | | | | | |
| C58 | A | S | S | R | A | - | | | | | | |
| C64 | A | R | R | R | A | S | R | | | | | S |
| <i>Tuber excavatum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C25 | C29 | C35 | C44 | | | | | | | | |
| C29 | S | R | - | - | | | | | | | | |
| C35 | A | S | R | - | | | | | | | | |
| C44 | | | S | R | S | R | | | | | | |
| C68 | S | R | S | R | A | S | R | | | | | S |
| <i>Tuber macrosporum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C39 | C42 | | | | | | | | | | |
| C42 | S | R | | | | | | | | | | |
| C45 | A | | A | | | | | | | | | R |
| <i>Tuber magnatum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C28 | C43 | | | | | | | | | | |
| C43 | | | | | | | | | | | | |
| C46 | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tuber melanosporum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C11 | | | | | | | | | | | |
| C62 | | | | | | | | | | | | R |
| <i>Tuber puberulum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C1 | C52 | C53 | | | | | | | | | |
| C52 | A | R | - | | | | | | | | | |
| C53 | A | R | A | R | R | R | | | | | | - |
| C55 | A | R | A | R | R | R | A | | | | | S |
| <i>Tuber rufum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | C21 | | | | | | | | | | | |
| C34 | | | | | | | | | | | | |

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Al – Safadi, M.M. (1988). *Observation on the behaviour of Cryptopygus thermophilic Axelson (Collembola, Isotomidae)*. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 25: 333-41.
- Allen, M.F. (1991). *The ecology of mycorrhizae*. Cambridge University Press. 184 pp.
- Andren, O., Bengtson, J., Clarholm, M. (1995). *Biodiversity and species redundancy among litter decomposers*. In: Collins, H.P., Robertson, G.P., Klug, M.J. (Eds.), *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity*. Kluwer Academic Publisher, pp. 141-151.
- Antunes, P.M., Koyama, A. (2017). *Mycorrhizas as Nutrient and Energy Pumps of Soil Food Webs*. *Mycorrhizal Mediation of Soil*, pp. 149-173. doi: 10.1016/B978-0-12-804312-7.00009-7.
- Bakonyi, G., Posta, K., Kiss, I., Fábíán, M., Nagy, I., Nosek, J.N. (2002). *Density-dependent regulation of arbuscular mycorrhiza by collembola*. *Soil biology and Biochemistry*, 34:661-664.
- Bardgett, R., Whittaker, J., Frankland, J. (1993). *The diet and food preferences of Onychiurus procampatus (Collembola) from upland grassland soils*. *Biology and Fertility of Soils*, 16 (4):296-298.
- Barrios, E. (2007). *Soil biota, ecosystem services and land productivity*. *Ecological Economics*, 64 (2):269-285.
- Barry, D., Staunton, S., Callot, G. (1994). *Mode of the absorption of water and nutrients by ascocarps of Tuber melanosporum and Tuber aestivum. A radioactive tracer technique*. *Can. J. Bot.*, 72(3):317-322.
- Barry, D., Jaillard, B., Staunton, S., Callot, G. (1995). *Translocation and metabolism of phosphate following absorption by ascocarps of Tuber melanosporum and Tuber aestivum*. *Mycological Research*, 99:162-172.
- Beare, M.H., Coleman Jr., D.C., Crossley, D.A., Hendrix, P.F., Odum, E.P. (1995). *A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling*. *Plant and Soil*, 170 (1):5-22.

- Berke, S.K. (2010). *Functional groups of ecosystem engineers: a proposed classification with comments current issues*. Integr. Comp. Biol., 50:147–157.doi: 10.1093/icb/icq077.
- Bonfante, P., Fontana, A., Montacchini, F. (1971). *Studi sull'ecologia del Tuber melanosporum. I. dimostrazione di un effetto fitotossico*. Allionia, 17:47-54.
- Bongers, T., Bongers, M. (1998). *Functional diversity of nematodes*. Appl. Soil Ecol., 10:239–251.doi:10.1016/S0929-1393(98)00123-1.
- Breure, A.M., De Deyn, G.B., Dominati, E., Eglin, T., Hedlund, K., Orshoven, J., Van e Posthuma L. (2012). *Ecosystem services: a useful concept for soil policy making!* Current Opinion in Environmental Sustainability, 4:1-8.
- Briones, M.J.I. (2014). *Soil fauna and soil functions: ajigsaw puzzle*. Frontiers in Environmental Science. Vol. 2. Art. 7. doi: 10.3389/fenvs.2014.00007.
- Broadly, P.A. (1979). *Feeding studies on the collembolan Cryptopygus antarcticus Willem at Signy Island, South Orkney Islands*. Brit. Antarct. Survey Bull., pp. 37-41.
- Brussaard, L. (1998). *Soil fauna, guilds, functional group sand ecosystem processes*. Appl. Soil Ecol., 9:123–135.doi:10.1016/S0929-1393(98)00066-3.
- Callot, G. (1999). *La truffe, la terre, la vie*. INRA editions, Paris. 210 pp.
- Castrignanò, A., Goovaerts, P. (2000). *A geostatistical approach to estimate probability of occurrence of Tuber melanosporum in relation to some soil properties*. Geoderma, 98:95–113.
- Ceruti, A., 1960. *Elaphomycetales et Tuberales*. Iconographie Mycologica Bresadola. Suppl. II, Trento. 100 pp.
- Ciccarello, A. (1564). *Opusculum de Tuberibus*. Padova (Toso, Padova, 1976).
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Naeem, S., Limburg, K., Paruelo, J., O'Neill, R.V., Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, M. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, 387:253–260.
- Crowther, T.W., Boddy, L., Jones, T.H. (2012). *Functional and ecological consequences of saprotrophic fungus–grazer interactions*. The ISME Journal, 6 (11):1992–2001.
- Cummins, K.W. (1974). *Structure and function of stream ecosystems*. Bioscience, 24:631–641.doi:10.2307/1296676.
- De Ruiter, P.C., Neutel, A.M., Moore, J.C. (1995). *Energetics, patterns of interaction strengths, and stability in real ecosystems*. Science, 269:1257–1260.
- Delmas, J. (1983). *La truffe et sa culture*, 2nd edn. INRA, Paris, 55 pp.
- Ettema, C.H., Wardle, D.A. (2002). *Spatial soil ecology*. Trends in Ecology and Evolution, 17 (4):177–183.
- Faber, J.H., Verhoef, H.A. (1991). *Functional differences between closely- related soil arthropods with respect to decomposition processes in the presence or absence of pine tree roots*. Soil Biol. Biochem., 23:15–23.doi:10.1016/0038- 0717(91)90157-F.
- Filser, J. (2003). *The role of Collembola in carbon and nitrogen cycling in soil*. Pedobiologia, 46:234-245. doi:10.1078/0031-4056-00130.

- Finlay, R. (1985). *Interactions between soil micro-arthropods and endomycorrhizal associations of higher plants*. Special Publications Series of the British Ecological Society. In: Fitter, A.H. (Ed.), *Ecological Interactions in Soil*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 319–332.
- Fitter, A.H, Sanders, I.R. (1992). *Interactions with the soil fauna*. In: Allen M.F., Allen M.F. (Eds.). *Mycorrhizal functioning an integrative plant – fungal process*. Chapman & Hall, London, pp. 333-354.
- Folke, C., Holling, C.S., Perrings, C. (1996). *Biological biodiversity, ecosystems and the human scale*. *Ecol. Appl.*, 6:1018–1024.doi:10.2307/2269584.
- Fountain, M.T., Hopkin, S.P. (2005). *Folsomia candida (Collembola): a 'standard' soil arthropod*. *Annual Review of Entomology*, 50:201-222.
- Frank JL, Anglin S, Carrington EM, Taylor DS, Viratos B, Southworth D. 2009. *Rodent dispersal of mycorrhizal inoculum to Quercus garryana seedlings promotes range expansion*. *Botany*, 87:821–829.
- Freckman, D.W., Blackburn, T.H., Brussaard, L., Hutchings, P., Palmer, M.A., Snelgrove, P.V.R. (1997). *Linking biodiversity and ecosystem functioning of soil and sediments*. *Ambio*, 26:556–562.
- Frouz, J., Nováková, A. (2001). *A new method for rearing the sciarid fly, Lycoriella ingenua (Diptera:Sciaridae) in the laboratory: possible implications for the study of flyefungal interactions*. *Pedobiologia*, 45:329-340.
- Gange, A.C. (1993). *Translocation of mycorrhizal fungi by earthworms during early succession*. *Soil Biology and Biochemistry*, 25 (8):1021–1026.
- Gange, A.C. (2000). *Arbuscular mycorrhizal fungi, Collembola and plant growth*. *Trends in Ecology & Evolution*, 15 (9):369–372.
- Garbaye, J., Bowen, G.D. (1989). *Stimulation of ectomycorrhizal infection of Pinus radiata by some microorganism associated with the mantle of ectomycorrhizas*. *New Phytol.*, 112:383-388.
- García-Montero, L.G., Quintana, A., Valverde-Asenjo, I. Díaz, P. (2009). *Calcareous amendments in truffle culture: A soil nutrition hypothesis*. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:1227-1232.
- García-Montero, L.G., Valverde-Asenjo, I., Moreno, D., Díaz, P., Hernando, I., Menta, C., Tarasconi, K. (2012). *Influence of edaphic factors on edible ectomycorrhizal mushrooms: new hypotheses on soil nutrition and C sinks associated to ectomycorrhizae and soil fauna using the Tuber Brûlé model*. Pp. 83–104 in: Zambonelli, A., Bonito, G.M. (eds) *Edible ectomycorrhizal mushrooms*, vol 34. Springer, Berlin.
- Giller, P.S. (1996). *The diversity of soil communities, the “poor man’s tropical rainforest”*. *Biodiversity and Conservation*, 5:135-168.
- Gilmore, S. K. (1970). *Collembola predation on nematodes*. *Search Agriculture, Entomology and Limnology* 1.3, I.
- Giovannetti G., Zanini E., Patetta A. (1992). *Valutazioni morfofisiologiche e pedochimiche di*

- una possibile fase saprofitica di Tuber spp.* Atti del Convegno Internazionale sul Tartufo. L'Aquila 5/8 marzo - Micologia e Vegetazione Mediterranea. Vol.VII.
- Granetti, B., De Angelis, A., Materozzi, G. (2005). *Umbria terra di tartufi*. Regione Umbria - Gruppo Micologico Ternano, Terni, 303 pp.
- Gryndler, M., Cerná, L., Bukovská, P., Hřselová, H., Jansa, J. (2014). *Tuber aestivum association with non-host roots*. Mycorrhiza, 24: 603-610.
- Harris, K.K., Boerner, R. (1990). *Effects of belowground grazing by collembola on growth, mycorrhizal infection, and P uptake of Geranium robertianum*. Plant and Soil, 129 (2):203-210.
- Heděnc, P., Radochová, P., Nováková, A., Kaneda, S., Frouz, J. (2013). *Grazing preference and utilization of soil fungi by Folsomia candida (Isotomidae: Collembola)*. European Journal of Soil Biology, 55:66-70.
- Hekman, W.E., Boogert, P.J., Zwart, K.B. (1992). *The physiology and ecology of a novel, obligate mycophagous flagellate*. FEMS Microbiology Letters, 86 (3):255-265.
- Hildebrand, M., Tebbe, C.C., Geider, K. (2001). *Survival Studies with the Fire Blight Pathogen Erwinia amylovora in Soil and in a Soil-inhabiting Insect*. Journal of phytopathology, 149:635-639. 10.1046/j.1439-0434.2001.00685.x.
- Honrubia, M., Torres, P., Díaz, G., Cano, A. (1992). *Manual para micorrizar plantas en viveros forestales*. Proyecto LUCDEME VIII. ICONA.
- Hooper, D., Hawksworth, D., Dhillon, S. (1995). *Microbial diversity and ecosystem processes*. Global Biodiversity Assessment, edUnited Nations Environment Programme (Cambridge: Cambridge University Press), pp. 433-443.
- Hopkin, S.P. (1997). *Biology of the Springtails (Insecta : Collembola)*. Oxford University Press.
- Hua, J., Jiang, Q., Bai, J., Ding, F., Lin, X., Yin, Y. (2014). *Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and fungivorous nematodes on the growth and arsenic uptake of tobacco in arsenic-contaminated soils*. Applied Soil Ecology, 84:176-184.
- Hunt, H.W., Coleman, D.C., Ingham, E.R., Ingham, R.E., Elliot, E.T., Moore, J.C., Rose, S.L., Rid, C.F.F., Morley, C.R. (1987). *The detrital food web in a shortgrass prairie*. Biology and Fertility of Soils, 3 (1/2):57-68.
- Hurej, M., Debek, J., Pomorski, R.J. (1992). *Investigations on damage to sugar beet seedings by the springtail Onychiurus armatus (Collembola, Onychiuridae) in Lower Silesia (Poland)*. Acta Entomologica Bohemoslovaca, 89:403-7.
- Hussey, R., Roncadori, R. (1981). *Influence of Aphelenchus avenae on vesicular-arbuscular endomycorrhizal growth response in cotton*. Journal of Nematology, 13 (1):48.
- Ingham, R.E., Trofymow, J., Ingham, E.R., Coleman, D.C. (1985). *Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth*. Ecological Monographs, 55 (1):119-140.
- ISO 11267 (1999). *Soil quality-inhibition of reproduction of Collembola (Folsomia candida) by*

- soil pollutants. Rep. No. ISO 11267:1999(E)*. Geneva: Int. Stand. Organ. 16 pp.
- Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Römbke, J., der Putten, W.H. van (Eds.) (2010). *European Atlas of Soil Biodiversity*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Jónsson, J.Ö.G., Davíðsdóttir, B., Nikolaidis, N.P. (2017). *Chapter 12. Valuation of Soil Ecosystem Services*. *Advances in Agronomy*, 142: 353-384.
- Johnson, D., Krsek, M., Wellington, E.M., Stott, A.W., Cole, L., Bardgett, R.D., Read, D.J., Leake, J.R. (2005). *Soil invertebrates disrupt carbon flow through fungal networks*. *Science*, 309 (5737):1047.
- Kadowaki, K., Sato, H., Yamamoto, S., Tanabe, A.S., Hidaka, A., Toju, H. (2014). *Detection of the horizontal spatial structure of soil fungal communities in a natural forest*. *Population Ecology*, 56: 301-310.
- Kampichler, C., Rolschewski, J., Donnelly, D.P., Boddy, L. (2004). *Collembolan grazing affects the growth strategy of the cord-forming fungus *Hypholoma fasciculare**. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:591-599.
- Kaneda, A., Kaneko, N. (2004). *The feeding preference of a collembolan (*Folsomia candida* Willem) on ectomycorrhiza (*Pisolithus tinctorius* (Pers.)) varies with mycelial growth condition and vitality*. *Applied Soil Ecology*, 27:1-5.
- Keesstra, S.D., Geissen, V., Mosse, K., Piirainen, S., Scudiero, E., Leistra, M., Schaik (van), L. (2012). *Soil as a filter for groundwater quality*. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4 (5): 507-516
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., Swift, M.J. (2008) *Soil health in agricultural systems*. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363:685-701.
- Klironomos, J., Kendrick, B. (1995). *Relationships among microarthropods, fungi, and their environment*. *Plant and Soil*, 170 (1):183-197.
- Klironomos, J., Ursic, M. (1998). *Density-dependent grazing on the extraradical hyphal network of the arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus intraradices*, by the collembolan, *Folsomia candida**. *Biology and Fertility of Soils*, 26 (3):250-253.
- Klironomos, J.N., Bednarczuk, E.M., Neville, J. (1999). *Reproductive significance of feeding on saprobic and arbuscular mycorrhizal fungi by the collembolan *Folsomia candida**. *Funct. Ecol.*, 13:756-61.
- Klironomos, J.N., Moutoglis, P. (1999). *Colonization of nonmycorrhizal plants by mycorrhizal neighbours as influenced by the collembolan, *Folsomia candida**. *Biology and Fertility of Soils*, 29 (3):277-281.
- Knight, C.B., Angel, R.A. (1967). *A preliminary study of the dietary requirements of *Tomocerus* (*Collembola*)*. *American Midland Naturalist*, 77: 510-17.
- Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R.D., Kuypers, T.W., van Breemen, N. (2001). *Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals*. *Trends in Ecology & Evolution*, 16 (5):248-254.

- Larink, O. (1997). *Springtails and mites: important knots in the food web of soils*. In: Benckiser, G. (Ed.). *Fauna in Soil Ecosystems: Recycling Processes, Nutrient Fluxes and Agricultural Production*. Marcel Dekker, New York, pp. 225-264.
- Larsen, J., Jakobsen, I. (1996). *Interactions between a mycophagous Collembola, dry yeast and the external mycelium of an arbuscular mycorrhizal fungus*. *Mycorrhiza*, 6 (4):259-264.
- Lavelle, P. (1996). *Diversity of soil fauna and ecosystem function*. *Biol. Int.*, 33:3-16.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Dhillon, O.W. (1997). *Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers*. *European Journal of Soil Biology*, 33 (4):159-193.
- Lavelle, P., Spain, A.V. (2001). *Soil ecology*. Amsterdam: Kluwer Scientific. 678 pp.
- Lilleskov, E.A., Bruns, T.D. (2005). *Spore dispersal of a resupinate ectomycorrhizal fungus, Tomentella sublilacina, via soil food webs*. *Mycologia*, 97 (4):762-769.
- Lussenhop, J. (1996). *Collembola as mediators of microbial symbiont effects upon soybean*. *Soil Biology & Biochemistry*, 28 (3):363-369.
- Mamoun, M., Olivier, J.M. (1990). «*Dynamique des populations fongiques et bactériennes de la rhizosphère des noisetiers truffiers*». III. Effet du régime hydrique sur la mycorrhization et la microflore associée: *Agronomie*, v.10, pp. 77-84.
- Mamoun, M., Olivier, J.M. (1992). «*Effect of soil Pseudomonads on colonization of hazel roots by the ectomycorrhizal species Tuber melanosporum and its competitors*». *Plant & Soil*, v. 139, pp. 265-273.
- Mamoun, M., Olivier, J.M. (1993a). «*Competition between Tuber melanosporum and other ectomycorrhizal fungi under 2 irrigation regimes. 1. Competition with Tuber brumale*». *Plant and Soil*, 149:219-225.
- Mamoun, M., Olivier, J.M. (1993b). *Effect of iron amendment on the development of the ectomycorrhizal fungus Tuber melanosporum and the rhizoplane bacteria*. *European Journal of Soil Biology*, 29:83-90.
- Mamoun, M., Poitou, N., Olivier, J.M. (1985). «*Etude des interactions entre Tuber melanosporum et son environnement biotique*». En *Mycorrhizae: phytosiology and genetics*. I SEM, Dijon/INRA.
- Mangan, S.A., Adler, G.H. (2002). *Seasonal dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi by spiny rats in a neotropical forest*. *Oecologia*, 131 (4):587-597.
- Marsili, L.F. (1714). *Schedae per tuberorum historia*. Ms. 86, c.1-7. Biblioteca Universitaria, Bologna.
- Matic, R., Koledin, D. (1985). *Preference and feeding specificity of Tetrodontophora bielensis (Collembola; Insecta) under laboratory conditions*. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 22:121-129.
- McGonigle, T.P. (1995). *The significance of grazing on fungi in nutrient cycling*. *Canadian Journal of Botany*, 73 (Suppl.1):1370-1376.
- McMillan, J. H. (1975). *Inter-specific and seasonal analyses of the gut contents of three Collembola (family Onychiuridae)*. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 12:449-457.

- Menta, C., García-Montero, L.G., Pinto, S., Conti, F.D., Baroni, G., Maresi, M. (2014). *Does natural "microcosm" created by Tuber aestivum affect soil microarthropods? A new hypothesis based on Collembola in truffle culture.* Applied Soil Ecology, 84:31-37.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2003). *Ecosystem and Human Well-Being: A Framework for Assessment.* Island Press, Washington, DC.
- Mitchell, M.J., Parkinson, D. (1976). *Fungal feeding or oribatid mites (Acari: Cryptostigmata) in an aspen woodland soil.* Ecology, pp. 302-312.
- Moonen, A.C., Bárberi, P. (2008). *Functional biodiversity: An agroecosystem approach.* Agriculture, Ecosystems and Environment, 127: 7-21.
- Montacchini, F., Lo Bue, G., Caramiello - Lomagno, R. (1977). *Studi sull'ecologia del Tuber melanosporum. III. Fenomeni di inibizione nell'ambiente naturale nell'Italia centrale.* Allionia, 22:87-104.
- Montecchi, A., Lazzari, G. (1993). *Atlante fotografico di funghi ipogei.* Ed. Associazione Micologica Bresadola Trento Centro di Studi Micologici.
- Moore, J.C., Walter, D.E., Hunt, H.W. (1998). *Arthropod regulation of micro-mesobiota in belowground detrital food webs.* Ann.Rev.Entomol., 33:419-439. doi: 10.1146/annurev.en.33.010188.002223.
- Olivier, J.M., Savignac e Sourzat, P. (1996). *Truffle et trufficulture.* Ed. Fanlac. Périgueux. 269 pp.
- Pacioni, G., Bologna, M.A., Laurenzi, M. (1991). *Insect attraction by Tuber: a chemical explanation.* Mycol. Res., 95(12):1359-1363. doi: 10.1016/S0953-7562(09)80385-7.
- Petersen, H. (1975). *Estimation of dry weight, fresh weight, and calorific content of various collembolan species.* Pedobiologia, 15:222-243.
- Petersen, H. (1980). *Population dynamic and metabolic characterization of Collembola species in a beech forest ecosystem.* In: Dindal, D.L. (Ed.), Soil biology as related to land use practices. Proc. VII Int. Soil Zool. Colloq. I.S.S.S., Syracuse, N.Y., USA July 29. Aug., pp. 806-833. EPA 560/13-80-038, Washington D.C.
- Petersen, H. (1981). *The respiratory metabolism of Collembola species from a Danish beech wood.* Oikos 37, pp. 273-286.
- Petz, W., Foissner, W., Adam, H. (1985). *Culture, food selection and growth rate in the mycophagous ciliate Grossglockneria acuta Foissner, 1980: first evidence of autochthonous soil ciliates.* Soil Biology and Biochemistry, 17 (6):871-875.
- Pfeffer, S.P., Khalili, H., Filser, J. (2010). *Food choice and reproductive success of Folsomia candida feeding on copper-contaminated mycelium of the soil fungus Alternaria alternate.* Pedobiologia, 54:19-23.
- Pinto, S., Gatti, F., García-Montero, L.G., Menta, C. (2017). *Does soil fauna like truffles just as humans do? One-year study of biodiversity in natural brûlés of Tuber aestivum Vittad.* Science of The Total Environment, 584-585: 1175-1184.
- Pollierer, M.M., Dyckmans, J., Scheu, S., Haubert, D. (2012). *Carbon flux through fungi*

- and bacteria into the forest soil animal food web as indicated by compound-specific ^{13}C fatty acid analysis*. *Functional Ecology*, 26 (4):978–990.
- Reddell, P., Spain, A.V. (1991). *Earthworms as vectors of viable propagules of mycorrhizal fungi*. *Soil Biology and Biochemistry*, 23 (8):767–774.
- Reyna Domenech, S. (1992). *La trufa. (Agroguías)*. Mundi-prensa. 120 pp.
- Reyna Domenech, S. (2007). *Truficultura. Fundamentos y técnicas*. Mundi-Prensa. Madrid. 686 pp.
- Reyna Domenech, S., Garcia-Barreda, S. (2014). *Black truffle cultivation: a global reality*. *Forest Systems*, 23(2):317-328.
- Robinson, D.A., Hockley, N., Cooper, D.M., Emmett, B.A., Keith, A.M., Lebron, I., Reynolds, B., Tipping, E., Tye, A.M., Watts, C.W., Whalley, W.R., Black, H.I.J., Warren, G.P., Robinson, J.S. (2013). *Natural capital and ecosystem services, developing an appropriate soils framework as a basis for valuation*. *Soil Biology and Biochemistry*, 57:1023-1033.
- Sabatini M.A., Innocenti G. (2000). *Soil borne plant pathogenic fungi in relation to some collembolan species under laboratory conditions*. *Mycol. Res.*, 104:1197-201.
- Sadaka N., Poinot-Balaguer N. (1987). *Determination of amino- acids from the leaves of evergreen oak (Quercus ilex L.) at four different stages of decomposition*. *Biol. Fertil. Soils*, 5:158-163.
- Schneider, K., Migge, S., Norton, R.A., Scheu, S., Langel, R., Reineking, A., Maraun, M. (2004). *Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): evidence from stable isotope ratios ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)*. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(11):1769-1774.
- Schneider, K., Renker, C., Maraun, M. (2005). *Oribatid mite (Acari, Oribatida) feeding on ectomycorrhizal fungi*. *Mycorrhiza*, 16 (1):67–72.
- Schulz, E., Scheu, S. (1994). *Oribatid mite mediated changes in litter decomposition: model experiments with ^{14}C -labelled holocellulose*. *Pedobiologia*, 38:344–352.
- Siepel, H. (1994). *Life-history tactics of soil microarthropods*. *Biol. Fertil. Soils*, 18:263–278. doi:10.1007/BF00570628.
- Siniscalco, C., Bianco, P.M., Parrettini, G.L., Floccia, F., Campana, L., Jacomini, C. (2014). *“Abbinamento dei macromiceti italiani ai sistemi di classificazione degli habitat. Prima correlazione tra specie fungine, habitat e coperture del suolo sul territorio nazionale”*. ISPRA, Manuali e Linee Guida (MLG) n. 119/2014 – (ISBN 978-88-448-0690-3); pp. 1-533.
- Staadén, S., Milcu, A., Rohlfs, M., Scheu, S. (2010). *Fungal toxins affect the fitness and stable isotope fractionation of Collembola*. *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (10):1766–1773.
- Streiblová, E., Gryndlerová, H., Gryndler, M. (2012). *Truffle brûlé: an efficient fungal life strategy*. *FEMS Microbiology Ecology*, 80 (1):1–8.
- Susilo, F.X., Neutel, A.M., van Noordwijk, M., Hairiah, K., Brown, G., Swift, M.J. (2004). *Soil biodiversity and food webs*. In: van Noordwijk, M., Cadisch, G., Ong, C.K. (Eds.), *Below-ground Interactions in Tropical Agroecosystems*. CAB International,

- Wallingford, pp. 285–302.
- Swift, M.J., Izac, A.M.N., van Noordwijk, M. (2004). *Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions?* Agriculture, Ecosystems & Environment, 104:113–134.
- Thiele, A., Larink, O. (1990). *Colour-marking in experiments on food selection with Collembola*. Biology and Fertility of Soils, 9:203–204.
- Tiedje, J.M., Cho, J.C., Murray, A., Teves, D., Xia, B., Zhou, J. (2001). *Soil teeming with life: new frontiers to soil science*. In: Rees, R.M., Ball, B.C., Campbell, C.D., Watson, C.A. (Eds.), Sustainable Management of Soil Organic Matter. CAB International, Wallingford, pp. 393–412.
- Tordoff, G.M., Boddy, L., Jones, T.H. (2008). *Species-specific impacts of collembola grazing on fungal foraging ecology*. Soil Biology and Biochemistry, 40 (2):434–442.
- Ulber, B. (1980). *Studies on the food selection of Onychiurus fimatus gisin (Onychiuridae, Collembola), a seedling pest of sugar -beet*. Zeitschrift für angewandte entomologie – journal of applied entomology, 90 (4):333–346.
- Van der Putten, W.H., De Ruiter, P.C., Bezemer, T.M., Harvey, J.A., Wassen, M., Wolters, V. (2004). *Trophic interactions in a changing world*. Basic and Applied Ecology, 5:487–494.
- Varga, J., Naár, Z., Dobolyi, C. (2002). *Selective feeding of collembolan species Tomocerus longicornis (Mull.) and Orchesella cincta (L.) on moss inhabiting fungi*. Pedobiologia, 46:526–538.
- Vegter, J.J. (1983). *Food and habitat specialization in coexisting springtails (Collembola, Entomobryidae)*. Pedobiologia, 25:253–62.
- Visser, S. (1985). *Role of the soil invertebrates in determining the composition of soil microbial communities*. In: Fitter, A.H., Atkinson, D., Read, D.J., Usher, M.B. (Eds.), Ecological Interactions in Soil. Plants, Microbes and Soil Animals. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 297–317.
- Wall, D.H., Adams, G., Parsons, A.N. (2001). *Soil Biodiversity*. In: Chapin III, F.S., Sala, O.E., Huber-Sannwald, E. (Eds.), Global biodiversity in a changing environment: Scenarios for the 21st century. Springer-Verlag, New York, pp. 47–82.
- Walter, D.E., Hunt, H.W., Elliot, E.T. (1988). *Guilds or functional groups? An analysis of predatory arthropods from a short grass steppe soil*. Pedobiologia, 31:247–260.
- Warnock, A., Fitter, A., Usher, M. (1982). *The influence of a springtail Folsomia candida (Insecta, Collembola) on the mycorrhizal association of leek Allium porrum and the vesicular-arbuscular mycorrhizal endophyte Glomus fasciculatus*. New Phytologist, 90 (2):285–292.
- Wurst, S., Dugassa-Gobena, D., Langel, R., Bonkowski, M., Scheu, S. (2004). *Combined effects of earthworms and vesicular–arbuscular mycorrhizas on plant and aphid performance*. New Phytologist, 163 (1):169–176.
- Yachi, S., Loreau, M. (1999). *Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 96:1463–1468.

doi:10.1073/pnas.96.4.1463.

Zaller, J.G., Heigl, F., Grabmaier, A., Lichtenegger, C., Piller, K., Allabashi, R., Frank, T., Drapela, T. (2011). *Earthworm- mycorrhiza interactions can affect the diversity, structure and functioning of establishing model grassland communities*. PLoS One, 6 (12), e29293.

Zambonelli, A., Iotti, M., Murat, C. (Eds.) (2016). *True Truffle (Tuber spp.) in the World. Soil Ecology, Systematics and Biochemistry*. Springer International Publishing, Switzerland.

SITOGRAFIA

EEA, European Environment Assessment, (2016). *Mapping and assessing the condition of Europe's ecosystems: progress and challenges*. URL: <https://doi.org/10.2800/417530>

Floccia, F., Jacomini, C. (a cura di) (2012). *Programma RE MO. Rete nazionale monitoraggio biodiversità e degrado dei suoli*. Quaderni ISPRA Natura e Biodiversità 4/2012. ISBN: 978-88-448-0570-8. URL: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni/natura-e-biodiversita/programma-re-mo-rete-nazionale-monitoraggio-biodiversita-e-degrado-dei-suoli>

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. URL: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J.L., Deyn (de), G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramirez, K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., Putten (van der), W.H., Wall, D.H. (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. URL: <https://globalsoilbiodiversity.org/?q=node/271>

Perotto, S., Rodda, M., Benetti, A., Sillo, F., Rodda, E.E.M., Girlanda, M., Murat, C., Balestrini, R. (2014). *Gene expression in mycorrhizal orchid protocorms suggests a friendly plant-fungus relationship*. *Planta*, 239:1337. URL: <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2062-x>

Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Pérès, G., Rutgers, M. (2012). *Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services – an overview of European approaches*. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4 (5):529-538. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009>

R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>

Robinson, D.A., Panagos, P., Borrelli, P., Jones, A., Montanarella, L., Tye, A., Obst, C.G. (2017). *Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment*. *Nature Scientific Reports* 7, Article number: 6706. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-06819-3>

<http://agrimont.info/c/ipm/il-concetto-di-malattia-pt-1>

<http://www.tuber.it/it/glossario.php>

RINGRAZIAMENTI

Sembra ieri che stavo scrivendo i ringraziamenti per la triennale e invece sono passati quasi due anni. Non è cambiato molto da allora, continuo a pensare che i ringraziamenti scritti con l'inchiostro abbiano poco valore se non sentiti, per cui nominerò poche persone, ma a queste dedico un "GRAZIE" sincero.

Ho il privilegio di poter dare i miei genitori per scontati, non ho mai avuto dubbi sul loro appoggio e non li offenderò ringraziandoli per qualcosa che ad ogni padre dovrebbe venire naturale: voler vedere i propri figli felici.

Mio fratello è la mia grande certezza. So cosa pensa, e non perché i suoi pensieri siano scontati (anche quello, certo), ma perché, pur essendo così diversi, condividiamo molto. È probabilmente l'unica persona con la quale rido spensieratamente e allo stesso tempo quella che sopporto meno. Lo ringrazio per avermi spronato nella stesura di questa tesi, per i dettagli che probabilmente solo lui vedrà. Grazie perché, come sempre quando stiamo insieme, è stato un gran bel gioco. Grazie per aver creduto.

Non posso non ringraziare Manuela, non solo per prendersi cura di Fabio (le ricordo che è una merce non restituibile), ma anche perché è ormai parte della famiglia, non quella di sangue, ma quella che per me ha più valore: quella che si sceglie.

Ringrazio mio zio per essere la dimostrazione che a volte sono le persone più distanti fisicamente quelle che senti più vicino. Grazie per non avere bisogno di parole, perché sono preziose le persone con le quali puoi sentirti a tuo agio senza dire nulla. E grazie per pensare che possa fare tutto ciò che vorrei anche quando sono la prima a non crederci, perché è diverso conoscere le proprie mancanze dal vederle riflesse negli occhi delle persone a cui vuoi bene.

Ringrazio tutte quelle persone che in qualche modo hanno reso migliore la mia esperienza universitaria, quelle che facevano già parte della mia vita e quelle che ho incontrato durante il percorso.

Ringrazio Carmine Siniscalco per il sostegno scientifico e le utili correzioni durante la stesura della tesi.

Ringrazio Beatrice Bonati, non solo “per la disponibilità”, questa è una frase ormai di rigore in tutti i ringraziamenti e ha perso significato, anche se è indubbio che abbia potuto contare sempre sul suo aiuto. La ringrazio per l’appoggio che mi ha dato, ha significato molto per me, e per le piacevoli chiacchierate. È stato un piacere conoscerla.

Ovviamente un sentito grazie alla professoressa Menta per avermi dato la possibilità di proseguire il percorso iniziato in triennale e per la disponibilità dimostrata in ogni momento non solo come professoressa ma, soprattutto, come persona. Sembrerò banale, avrei voluto esprimermi meglio; è ironico come le parole abbondino quando qualcuno non piace e sembrano tutte inadeguate quando lo si apprezza. Le sono davvero grata per il tempo condiviso.

Un doveroso e sentito ringraziamento per la cortese collaborazione prestata al “Progetto Speciale Funghi” dell’ISPRA ed al Servizio per la Sostenibilità della Pianificazione Territoriale, per le Aree Protette e la Tutela del Paesaggio, della Natura e dei Servizi Ecosistemici Terrestri (BIO-SOST) di cui fa parte nell’ambito del Dipartimento per il Monitoraggio e la Tutela dell’Ambiente e per la Conservazione della Biodiversità (BIO). Un particolare ringraziamento alla Segreteria Tecnica e Operativa del progetto nelle persone del Sig. Luca Campana, della Dott.ssa Francesca Floccia e della Sig.ra Rosalba Mattiozzi sia per il materiale bibliografico sia per quello scientifico fornito.

Un grazie speciale al “Centro di Eccellenza per lo studio delle componenti di biodiversità del suolo”

del “Progetto Speciale Funghi” di ISPRA presso il “Gruppo Micologico dell’Etruria Meridionale - AMB” (GMEM - AMB) ed ai suoi organi “Centro Studi per la Biodiversità dell’Etruria Meridionale” e “Comitato Scientifico” per il materiale fungino ed i relativi studi messi a disposizione.

Un ulteriore ringraziamento va rivolto sia a Carmine Siniscalco per la determinazione, certificazione e preparazione del materiale micologico studiato sia ai raccoglitori degli esemplari studiati ed ai loro fidati ed amabili cani da tartufi:

- Sig. Adelmo Rubeca e Luna;
- Sig. Alessandro Crema e Beta;
- Sig.re Cristina Luperi, Chiara Siniscalco e Lilly;
- Sig. Agostino Mocavini, Sig.ra Sabrina Campari e Bobo;
- Sig. Fabio Silvestrini e Silla 2;
- Sig. Giuseppe Carletti e Rossana;
- Sig. Riccardo Bartoli e Mia.