

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO



Facoltà di Scienze e Tecnologie
Corso di Laurea Triennale in Scienze Naturali

FUNGHI E BIOINDICAZIONE
LA DIVERSITA' BIOLOGICA DEI MACROMICETI
NEGLI ECOSISTEMI E LE LORO FUNZIONI DI
INDICATORI DI QUALITA' AMBIENTALE

Relatore: **Dott. Marco CACCIANIGA**

Relatore esterno: **Dott. Carmine SINISCALCO**

Tesi di laurea di:

Andrea PASETTI

Matr. n° 715016

Anno Accademico 2012/2013

Indice

1. Riassunto	3
2. Introduzione.....	5
3. Biologia fungina	7
3.1 Morfologia, struttura e riproduzione	7
3.2 Ecologia	12
3.3 Trofismo	13
3.4 Sistematica.....	16
4. Metodi di bioindicazione.....	19
5. Applicazione bioindicazione area campione	25
5.1 Premessa	25
5.2 Il caso studio la “Riserva Naturale Regionale Monte Soratte”	27
5.3 Materiali e metodi.....	29
5.4 Risultati.....	31
5.5 Confronto aree campione	37
6. Discussione.....	44
7. Bibliografia.....	47
Ringraziamenti	54

1. Riassunto



Boletus edulis Bull.: Fr.; Regione Trentino Alto Adige; Luglio 2007; Foto di Andrea Pasetti

In questo elaborato viene presentata parte di un recentissimo e complesso lavoro svolto e promosso dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) di Roma in collaborazione con Enti Nazionali, Regionali, Provinciali, Comunali e l'Associazione Micologica Bresadola (130 Gruppi Micologici sul territorio nazionale), volto a migliorare le conoscenze, il controllo e la conservazione della biodiversità del suolo.

I principali protagonisti di questo progetto sono i “macromiceti” ovvero tutti quei funghi che producono corpi fruttiferi visibili ad occhio nudo. Gli studi decennali dell'ISPRA sono stati condotti nell'ambito del “Progetto Speciale Funghi” ideato e realizzato dal dott. Carmine Siniscalco attuale responsabile del progetto e coordinatore delle “Unità Operative” che vi partecipano a titolo non oneroso. Uno degli scopi di questo progetto è quello di monitorare la biodiversità micologica tramite la mappatura ed il censimento sul territorio nazionale per giungere entro il 2016 alla redazione di una prima check list dei funghi d'Italia. Collegati al monitoraggio vi sono in essere una serie di studi multidisciplinari che mirano alla realizzazione di indici di controllo della qualità ambientale con particolare riferimento alla salute degli ecosistemi ed al degrado del suolo.

Lo scopo della presente tesi è certamente meno ambizioso e tende ad ottenere un duplice obiettivo: in primo luogo divulgare in ambito scientifico il “Progetto Speciale Funghi” dell'ISPRA, fornendo un

esempio di applicazione dei metodi sopracitati evidenziando il loro ottimo grado di validità e praticità d'utilizzo; in secondo luogo sostenere l'applicazione futura degli indici di qualità ambientale messi a punto nel progetto.

La prima parte del lavoro introduce biologicamente e morfologicamente i funghi, con un accenno di sistematica ed un particolare riferimento al trofismo. Quest'ultimo carattere è fondamentale ai fini della ricerca, in quanto è strettamente legato alle attività di bioindicazione dei macromiceti in particolare ***“l'efficienza delle interazioni dinamiche nelle relazioni trofiche del suolo risulta legata, oltre che ai diversi elementi ambientali e pedologici, anche ai rapporti che le varie componenti vegetali, micologiche e della fauna del suolo a diverse scale (micro, meso e macro) stabiliscono tra i loro”*** (Siniscalco, 2008). Ai funghi viene riconosciuto un ruolo molto importante quali indicatori di diversità, a livello genetico, in termini di ricchezza e abbondanza di popolazione, pertanto essi si prestano ad essere utilizzati nello studio e nel monitoraggio della biodiversità di un ecosistema o di un ambiente (Benedetti, et al. 2006).

La seconda parte descrive le diverse tipologie dei metodi di bioindicazione ed il concetto di *“fungo di riferimento”* ed è arricchita con immagini dei principali macrofunghi interessati. Un'attenzione particolare è rivolta alle conoscenze e agli strumenti utilizzati per svolgere efficacemente le attività di monitoraggio.

La terza parte, fulcro della ricerca, mostra la tipologia di lavoro svolto sul campo e il reale utilizzo degli indicatori di diversità biologica. Viene presa in considerazione un'area campione, sita nella “Riserva Naturale Monte Soratte” (RM), divisa in 3 macroaree secondo criteri floristici e vegetazionali, con 5 microaree di interesse ecologico.

La descrizione del censimento e il rilevamento di dati nelle diverse aree è stata oggetto di studio, analisi ed elaborazione, con costruzione di grafici esemplificativi. In seguito è stata confrontata la ricchezza micologica totale delle 3 macroaree, la ricchezza delle singole microaree all'interno della macroarea di riferimento e in particolare la ricchezza di specie indicatrici tra aree differenti. Ed è proprio quest'ultimo confronto, la base fondamentale per trarre conclusioni sulla qualità ambientale dell'area campione.

Infine nella discussione sono stati presentati risultati ottenuti dall'analisi sperimentale, in quanto alcune micro e macroaree dell'area campione sono profondamente degradate o si degraderanno in futuro. L'utilizzo dei macrofunghi come indicatori ecologici è risultato presumibilmente valido ed efficace: infatti il quadro di spinto degrado in atto era facilmente prevedibile dalla condizione di forte antropizzazione della zona in cui è inserita la “Riserva Naturale Monte Soratte” che corrisponde quasi completamente al Sito d'importanza comunitaria (SIC) “Monte Soratte IT 6030014” inserito nella rete Natura 2000 ai sensi della Direttiva 92/43/CEE “Habitat”.

2. Introduzione

I funghi sono importanti componenti degli ecosistemi, fondamentali per la continuazione dei cicli biogeochimici e rappresentano i principali agenti della decomposizione della materia organica capaci di trasformare i composti a base di carbonio, azoto, zolfo e fosforo in composti minerali nuovamente utilizzabili da parte delle piante. Per quanto riguarda il ciclo del carbonio, i principali componenti della materia organica decomposti sono rappresentati da cellulosa, emicellulose e lignina che rappresentano circa il 70% di tutto il materiale della parete delle cellule vegetali.

I miceti sono organismi eterotrofi; il loro trofismo è strettamente legato alle risorse alimentari disponibili nel substrato di crescita. Sono in grado di sfruttare qualsiasi composto organico come base per il loro sviluppo. Inoltre hanno anche bisogno di sostanze inorganiche, minerali, in particolare acqua, azoto, zolfo e fosforo in aggiunta a speciali composti organici e fattori di crescita, in particolare vitamine.

Molto spesso il confine tra le diverse tipologie di nutrimento è molto sottile, ci possono essere organismi con caratteri intermedi di difficile determinazione.

Dopo questa sintetica introduzione sulla biologia fungina, è d'obbligo affrontare il principale argomento di questo elaborato, i caratteri dei miceti che li rendono perfetti organismi per il monitoraggio della biodiversità e della qualità del suolo.

I macromiceti sono in grado di colonizzare qualsiasi tipo di ambiente per cui il loro monitoraggio in Italia parte dagli habitat dunali molto rarefatti e degradati per passare a quelli prativi e boschivi planiziali e montani per finire alle praterie artico-alpine delle nostre principali catene montuose: le Alpi e l'Appennino.

Recentemente, grazie ai protratti studi dell'ISPRA di Roma, con l'ausilio di importanti informazioni derivanti dalla sperimentazione su alcune specie di tartufi coltivati *Tuber melanosporum* Vitt. (Tartufo nero pregiato di Norcia), *Tuber aestivum* Vitt. (Tartufo estivo o scorzone), *Tuber magnatum* Pico (Tartufo bianco pregiato di Alba), i macromiceti sono stati ufficialmente riconosciuti come indicatori ecologici di qualità ambientale. L'obiettivo di un buon indicatore è quello di rappresentare uno strumento in grado di rilevare particolari condizioni dell'ambiente.

Tuttavia, la qualità di un determinato sistema ambientale non può essere descritta da un unico indicatore ma di regola deve tener conto di informazioni relative a un insieme di indicatori che possono presentare scale di misura diverse e richiedere un diverso peso nella valutazione (Benedetti et al., 2006).

Quindi un buon indicatore deve garantire rappresentatività, accessibilità, affidabilità ed operatività, inoltre, deve garantire utilità, validità analitica e misurabilità (OECD, 1999).

I macromiceti nascono come indicatori di qualità del suolo, per l'esigenza di disporre di un metodo semplice per conoscere il grado di deperimento del substrato, per scopi agricoli o prettamente naturalistici. Il discorso è reso più ampio dal legame forte tra il suolo e la componente vegetale, infatti conoscendo la condizione del suolo è più semplice misurare il livello di salute della pianta.

Il suolo è un sistema molto complesso e spesso vengono ignorate le sue potenzialità e la sua importanza globale di equilibrio ecosistemico. Esso è soggetto costantemente ad erosione, inquinamento,

pascolamento e forme di agricoltura intensiva/distruttiva; inoltre a fenomeni a scala globale quali desertificazione e salificazione, tutte connesse alla perdita di diversità biologica.

Il mantenimento della qualità del suolo è definita efficacemente da Doran e Parkin (1994) come” *la capacità del suolo di interagire con l’ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e per promuovere la salute animale e vegetale*”.

Questa definizione esprime con precisione l’importanza della salvaguardia del suolo e del conseguente mantenimento della qualità ambientale e l’utilizzo di bioindicatori è fondamentale per raggiungere questo obiettivo.

L’ideale sarebbe disporre di un buon numero di bioindicatori, ognuno riferito ad un particolare carattere dell’ambiente o semplicemente ad ambienti diversi che si vogliono monitorare. La variabilità degli strumenti utilizzati, da organismi animali, a vegetali fino ai miceti è fondamentale per avere un quadro completo della condizione globale dell’ecosistema che vogliamo analizzare.

Con l'utilizzo di questi strumenti è possibile programmare interventi di prevenzione nelle zone maggiormente a rischio di collasso ecologico e limitare i fattori che portano al declino della biodiversità. Come detto precedentemente, un organismo per essere considerato un indicatore biologico deve avere determinate caratteristiche e per confermare la suddetta ipotesi in ambito scientifico, è obbligatoria una valida dimostrazione.

Le sperimentazioni avviate dall’AMB (Gruppo Micologico e Naturalistico “R. Franchi”–AMB di Reggio Emilia) e proseguite in collaborazione con ENIA spa, ICM (CH), JRC-ies ed ISPRA hanno avvalorato con successo quest’ipotesi con studi scientifici, in laboratorio e con strumenti statistici. In particolare è stato individuato il così detto “*fungo di riferimento*” (reference mushroom), cioè un individuo standard di confronto che possa esser preso come riferimento fisso. *L’individuazione del “fungo di riferimento” è stato un procedimento decisamente complesso, in quanto il metabolismo di questi esseri viventi è ancora ben lontano dall’essere completamente conosciuto e quindi è difficile trovare in natura un campione che si possa definire, in riferimento alle concentrazioni degli elementi chimici, “bianco”.*

Lo spunto per la proposta di definizione del “fungo di riferimento” (“reference mushroom”) ci è venuto dalla lettura dell’articolo di Markert (1992). Per entrare subito in argomento riportiamo parti del sommario del suddetto articolo: “Two thirds of naturally occurring chemical elements in ecosystems are not investigated since they are viewed as nonessential or nontoxic to biota. In view of the important role plants play in most ecosystems, their inorganic chemical characterization, according to modern instrumental multi-elements techniques, the establishment of a “Reference plant”, comparable to the “Reference man” by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), can be a useful tool for this type of chemical “fingerprinting”...In the future, more attention should focus on establishing baseline values for “normal” elemental concentrations in ecosystem components...” Ci è venuto allora spontanea l’idea di estendere anche ai macromiceti lo stesso concetto, sulla base della raggiunta stabilità statistica del nostro database (Cocchi et al., 2006) che tuttavia, contenendo dati solo per ascomiceti e basidiomiceti, consente di definire un “reference mushroom” di prima

approssimazione; l'obiettivo successivo è quello di affinare l'analisi (e perciò di accumulare ancora dati per le specie per le quali sarà necessario) per arrivare a definire il "reference mushroom" dei diversi taxa, fino alla specie. In sintesi il concetto di "fungo di riferimento" ci serve per capire se le concentrazioni degli elementi chimici nei funghi superiori possono avere un ruolo nel definire possibilità di bioindicazione, valutazione tassonomiche e stime dell'assunzione di diversi metalli pesanti dal consumo delle diverse specie fungine commestibili.

Detto questo lo strumento di elaborazione più importante è stato fornito dall'analisi statistica, sono state individuate delle specie con almeno 20 campioni contenuti nel database, tra queste ne sono state scelte casualmente circa 60 e analizzata la concentrazione dei vari elementi chimici. In seguito sono state applicate le seguenti procedure statistiche; la verifica che i dati facciano parte di un insieme "statisticamente stabile" per l'ottenimento di dati reali, l'utilizzo di metodi di statistica descrittiva/esplorativa (valore medio, mediana, intervalli di confidenza, massimo, minimo, deviazione standard) e l'applicazione di metodi di analisi multivariata. A questo scopo si possono usare sia i dati riassuntivi che i dati grezzi, a seconda dello scopo dell'analisi.

L'analisi statistica negli ultimi anni è diventata fondamentale per la dimostrazione di modelli di dinamica ambientale e per lo sviluppo di metodi innovativi di controllo dell'ambiente come questo, permettendo un'elaborazione dei dati decisamente più vicina alla realtà.

Concludendo, il "fungo di riferimento" (Cocchi et al., 2006) può servire a rilevare differenze e anomalie nei campioni studiati ed è quindi utile per identificare variazioni in elementi chimici nel medesimo organismo in ecosistemi diversi. Il suo uso in progetti che includono aspetti di bioindicazione sembra quindi essere importante, in quanto potrebbe aiutare a rilevare particolarità ("outliers") e caratteristiche peculiari nei diversi ambienti da monitorare (Roberto M. Cenci, Luigi Cocchi, Orlando Petrini, Fabrizio Sena, Carmine Siniscalco, Luciano Vescovi "Elementi chimici nei funghi superiori, i funghi di riferimento come strumento di lavoro per la bioindicazione e la biodiversità, 2010).

3. Biologia fungina

3.1 Morfologia, struttura e riproduzione

I funghi sono organismi eucariotici che non possiedono plastidi, hanno nutrizione rigorosamente eterotrofa, sono generalmente costituiti da cellule sferoidali o allungate denominate *ife* che si raggruppano in ammassi più o meno voluminosi detti *miceli*. Questi non si differenziano mai in veri e propri tessuti ma possono costituire pseudotessuti. La riproduzione è affidata a endospore o a gameti, quest'ultimi sono protetti dalla parete spessa della cellula madre come nelle alghe. Questa definizione generale si riferisce alla stragrande maggioranza dei "veri funghi" o "Eumycota", è carente rispetto al taxon dei *Myxomycota* nei quali la fase vegetativa è caratterizzata da una organizzazione plasmodiale. Accettando come limite del "Regno" dei funghi i caratteri sopraelencati, in esso vengono compresi circa dalle 65.000 alle 100.000 specie, un gruppo vasto e davvero eterogeneo di difficile descrizione. Per

quanto riguarda la complessa sistematica, verrà sviluppata nel successivo paragrafo con maggior dettaglio per i “*funghi superiori*” poiché sono i principali protagonisti degli studi relativi a questo elaborato.

I *Myxomycota* costituiscono un Taxon con valore di Phylum molto discusso per diversi motivi, per la scarsa omogeneità degli organismi, per alcune caratteristiche che li avvicinano ai protozoi e agli animali e per possedere strette parentele con gli *Eumycota*. La fase vegetativa è differente nelle due classi dei Mixomiceti e Acrasiomiceti, nella prima gli individui sono caratterizzati da cellule mobili provviste o prive di flagelli (mixoamebe), dalle quali deriva il loro “corpo” plasmodio che è in grado di fagocitare come gli animali. Invece la fase vegetativa degli Acrasiomiceti è costituita da pseudoplasmodi, formati da più cellule e derivanti dall’aggregazione di amebe singole. Questi processi di differenziamento sono simili a quelli animali mentre non hanno alcuna somiglianza con quelli di differenziamento delle piante e degli Eumiceti. La riproduzione avviene con la formazione di corpi fruttiferi e di spore.

Di certo si può dire che i Mixomiceti hanno caratteristiche in parte del Regno Animale, in parte delle Piante ma soprattutto dei Funghi. Infatti i loro meccanismi di nutrizione sono rigorosamente organotrofi simili a quelli fungini ma corrispondono come modalità di assunzione di nutrienti a quelle dei protozoi. I *Mixomicota* sono organismi caratteristici di nicchie ecologiche ricche di sostanze organiche, con habitat molto differenti, dal legno marcescente alle cortecce ove formano ammassi mucilluginosi molto colorati. Non possiedono ad oggi, un ruolo ecologico fondamentale, anzi piuttosto marginale ma sono di estrema importanza dal punto di vista biologico generale come materiale sperimentale. Sono infatti considerati uno dei più importanti “oggetti” di laboratorio dell’ultimo ventennio di ricerca (Gerola FM., 1995).

Nel gruppo degli *Eumycota* invece, rappresentanti la principale divisione del regno dei Funghi, sono compresi i Mastigomiceti, precedentemente inclusi nei Funghi Inferiori che possiedono flagelli, almeno durante la fase riproduttiva, e gli Zigomiceti non flagellati inclusi in passato nei Funghi Inferiori e in parte nei Funghi Superiori con Ascomiceti e Basidiomiceti. Questi ultimi sono i più conosciuti dall’uomo nel mondo micologico con il nome di *macrofunghi* e sono certamente in grado di destare un grande interesse scientifico e alimentare.

Questi 3 Taxa (Zigomiceti, Ascomiceti e Basidiomiceti) sono definiti anche Amastigomiceti. Possono essere organismi unicellulari oppure costituiti da cellule allungate, ife che possono essere prive di setti o regolarmente settate. I più semplici Eumiceti hanno il corpo sferoidale provvisto di un numero variabile di estroflessioni ramificate dette *rizoidi*, nelle forme più complesse possono presentare dei rigonfiamenti in cui avviene la formazione di setti cosicché la struttura del loro corpo si avvicina a quello di un micelio. Quest’ultimo nelle forme tipiche è costituito da un insieme di ife più o meno ramificate che possono dare origine a strutture decisamente complesse mai formanti veri e propri tessuti che possono presentare un certo numero di differenziazioni. Le più note sono quelle che servono a fissare le ife al substrato nel caso di funghi saprofiti o vengono utilizzate come austeri, nei funghi parassiti. Le maggiori differenziazioni tuttavia si trovano sia nelle rizomorfe dei Basidiomiceti, sia nei corpi fruttiferi. Le rizomorfe nella loro parte apicale hanno una struttura che ricorda l’apice della radice infatti la sommità

ha forma conica ed è rivestita da sottili ife somiglianti a peli radicali; nella parte più apicale le cellule sono piccole e rimangono capaci di dividersi permettendo l'allungamento della rizomorfa e nella parte distale, le cellule si allungano e formano una specie di cordone conduttore, avvolto da un manicotto di cellule più corte. Un esempio di macrofungo commestibile è *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm. che possiede rizomorfe in grado di permettere al fungo di diffondersi attraverso il terreno da un apparato radicale all'altro. Nei corpi fruttiferi si possono invece trovare ife con funzione di conduzione di soluzioni dette ife vasali, altre ife a parete ispessita con funzione di sostegno dette ife fibrose e altre ancora contenenti liquidi particolari denominate ife laticifere. Inoltre le ife possono accrescersi e formare ammassi detti *sclerozi* che svolgono principalmente funzione di sopravvivenza, in condizioni di avversità ambientale possono resistere avendo sostanze di riserva da sfruttare. Sono strutture fondamentali per i funghi fitoparassiti perché permettono loro di rimanere vivi anche in assenza dell'ospite. Esistono anche pseudosclerozi costituiti da substrato tenuto assieme da masse di micelio. In questi funghi miceliari, meccanismi particolari di citodieresi che si verificano nelle cellule, portano alla formazione di strutture annesse alla parete denominate apparati settali. I diversi tipi di modelli settali possiedono grande valore sistematico; i pseudosetti o emisetti, sono caratteristici degli Zigomiceti, setti con perforazioni multiple sono tipiche dei Saccaromiceti, setti con perforazione semplice occlusa da corpi di Woronin, cioè unità sferoidali dense organizzate intorno al corpo centrale, sono caratteristici degli Ascomiceti e setti con parentesomi, cioè strutture complesse costituite da rigonfiamenti della membrana plasmatica con perforazioni differenti, sono caratteristici dei Basidiomiceti.

Gli Eumiceti possiedono una parete cellulare con pareti di natura cellulosa o chitinosa, oltre a queste due componenti che attribuiscono rigidità alla parete sono funzionalmente importanti glucani e proteine di parete. Le modificazioni dei componenti glucanici si accompagnano alla differenziazione di strutture specializzate, austeri di patogeni o arbuscoli di simbiotici mutualistici. Anche nei funghi la differenziazione di strutture di conservazione, quali spore e conidi, comporta deposizione di sporopollenina nelle strutture della parete che creano vere e proprie pareti secondarie. Oltre che per la natura chimica, la parete riveste notevole importanza dal punto di vista strutturale, infatti spesso può determinare la forma del corpo del fungo. E' questo il caso di funghi dimorfici, in quanto il passaggio da cellule sferoidali ad ife allungate può dipendere dall'organizzazione sopramolecolare della parete e dallo stato di cristallizzazione, cioè dall'orientamento spaziale delle catene dei polimeri che impartiscono rigidità. Queste diversità di composizione e struttura della parete dipendono a loro volta da varie condizioni ambientali e sono frequenti tra i funghi parassiti dell'uomo. Quindi la parete è in grado di cambiare aspetto a seconda della variazione di temperatura, del potenziale di ossidoriduzione, degli ioni presenti e della concentrazione di CO₂. Inoltre l'architettura sopramolecolare della parete è particolarmente importante anche per la differenziazione di cellule specializzate per la riproduzione, spore e conidi. Per lungo tempo la parete cellulare fungina è stata considerata un materiale inerte con solo funzione di protezione. Attualmente si è scoperto che la parete cellulare invece contiene anche enzimi specifici in grado di subire modificazioni correlate alle loro differenziazioni funzionali. La

superficie del fungo è infatti rappresentata dalle sue pareti esterne che agiscono da segnale tutte le volte che intervengono relazioni con altre cellule. Il rilascio di oligomeri di polisaccaridi di parete può agire come fitoalessine che scatenano la reazione di incompatibilità e quindi di resistenza delle cellule di piante attaccate dal fungo o come adesine, cioè componenti proteici di parete che permettono l'adesione alla superficie delle cellule da parassitare.

Per quanto riguarda la componente nucleare, i nuclei fungini sono sempre molto piccoli, con conseguente dimensione ridotta dei cromosomi, ma è doveroso precisare che non è mai stato approntato uno preciso studio di citogenetica e citosistemica che potesse confermare o smentire queste affermazioni. Generalmente i nuclei possono aggregarsi a due a due in alcune fasi del ciclo di Ascomiceti e Basidiomiceti, determinando un dicarion.

Per quanto riguarda la componente citoplasmatica, questa contiene ovviamente il nucleo ben definito delimitato da una doppia membrana e contenente il materiale genetico e vari organuli quali mitocondri con setti a cresta, sistemi lisosomici capaci di autofagia che funzionano come i vacuoli dei vegetali superiori, apparato di Golgi, reticolo endoplasmatico, vacuoli e ribosomi. In particolare i mitocondri sono apparentemente molto simili a quelli degli organismi animali, ma sono molto eterogenei per quanto riguarda la capacità di codifica e la lunghezza del genoma.

Parlando di metabolismo primario e secondario, dobbiamo ribadire che i funghi sono organismi eterotrofi che si nutrono per demolizione esterna dei substrati, con l'ausilio di isoenzimi e per successivo assorbimento delle soluzioni. Gli unici che si differenziano sono i Mixomiceti, che sono in grado di nutrirsi per ingestione o fagocitosi, andando a demolire ed assimilare una grande varietà di substrati. Il metabolismo globale dei micromiceti e macromiceti è davvero complesso e variegato, potremmo riassumerlo brevemente in alcuni punti:

- notevole adattabilità a substrati non ottimali, soprattutto se non rappresentano l'unica fonte di carbonio e azoto, con presenza obbligatoria di una parte del substrato ottimale che funziona da "starter".
- capacità di demolire come fonte di carbonio substrati complessi o tossici per altri organismi, utilizzando tutte le vie respiratorie possibili, coadiuvate da capacità di resistere ad alte concentrazioni di monosaccaridi e polisaccaridi.
- capacità di produrre metaboliti intermedi scarsamente metabolizzati da altri organismi ed enzimi specifici, non ubiquitari prodotti solamente da alcuni batteri.
- capacità di metabolizzare una grande varietà di sostanze azotate, dall'azoto organico, a quello inorganico compreso l'azoto nitrico che alcuni funghi superiori metabolizzano con l'ausilio di enzimi specifici.

Fondamentali per la diffusione di questi organismi, sono le diverse tipologie riproduttive che permettono un'ampia diffusione anche in luoghi ad elevato stress ambientale.

I cicli riproduttivi dei funghi sono molto complessi e di difficile trattazione essendo molto specifici per ogni singolo gruppo o specie, quindi verranno affrontati solo i tratti essenziali. La riproduzione *asessuale*

o *agamica*, avviene senza l'intervento di gameti, è più comune nei funghi inferiori e serve prevalentemente alla diffusione della specie nell'ambiente.

Esistono varie modalità di tale riproduzione, la *propagazione vegetativa* avviene per frammentazione del micelio nei funghi pluricellulari, mentre in quelli unicellulari prende il nome di *scissione*, cioè la divisione in due cellule figlie identiche e *gemmazione*, cioè protuberanze della cellula madre che si distaccano e danno origine ad un individuo identico.

Potrebbe rientrare in questa modalità riproduttiva la diffusione dei macromiceti quando il micelio viene frammentato dall'uomo o da animali e diffuso in ambiente. Altro caso di riproduzione asessuata è quella che avviene con l'intervento di *conidiofori*, elementi specializzati che producono spore non derivanti da processi meiotici. Altre spore invece sono specializzate per resistere in condizioni avverse nel tempo, vengono chiamate *clamidospore* ed hanno una parete spessa dove si accumulano sostanze di riserva, quali lipidi e glicogeno.

La riproduzione *sessuale o gamica* è tipica dei macromiceti con l'ausilio di spore sessuate aploidi.

Prendendo in considerazione un basidiomicete qualsiasi, il ciclo riproduttivo ha inizio all'interno dell'imenoforo, costituito da cellule cilindriche ad apice arrotondato dette *basidioli*, all'interno delle quali i nuclei del dikarion si fondono in un processo denominato cariogamia e il nucleo ottenuto va incontro a meiosi. I quattro nuclei meiotici n migrano all'estremità della cellula allargatasi a clava che prende il nome di *basidio*, si portano all'esterno e qui, sostenuti da peduncoli detti *sterigmi* maturano le spore con polarità negativa e positiva.

Quando maturano le spore cominciano a staccarsi dagli sterigmi e vengono espulse con un meccanismo attivo di lancio, una volta a terra con le giuste condizioni di umidità, temperature e sostanze nutritive iniziano a germinare. Nascono dei miceli detti *primari* che non sono in grado di sopravvivere a lungo se non si fondono con un altro micelio primario, generato da una spora con polarità opposta.

La plasmogamia dei due miceli primari compatibili genera un nuovo micelio, detto *secondario*, perenne; i due nuclei dei miceli primari però non si fondono e si ha la fase detta dikarion, caratterizzata da ife binucleate, con i due nuclei geneticamente diversi. Si tratta di una fase permanente nell'organismo fungino che terminerà solo nei futuri *sporofori* quando nei basidioli i due nuclei si fonderanno, permettendo poi l'inizio di un altro ciclo.

Prendendo in considerazione un ascomicete qualsiasi, il ciclo riproduttivo presenta delle diversità rispetto a quello dei basidiomiceti: sono presenti spore aploidi ma i miceli primari non si uniscono subito. Essi infatti rappresentano la fase perenne della vita del fungo e si uniranno solo al momento di formare le *ife ascogene* che daranno origine agli *aschi* e successivamente alle spore.

Inoltre gli ascomiceti rispetto ai basidiomiceti possiedono più tipologie di riproduzione gamica, *ologamia*, *gametogamia isogama* ed *oogama*, *gametangiogamia isogama* e *oogama*. In particolare quest'ultima avviene negli sporofori per copulazione di due gametangi, organi sessuali differenziati detti *anteridi* (maschile) e *ascogonio* (femminile). Questo è dotato di un organo copulatore, il *tricogino*,

attraverso il quale i nuclei dell'anteridio passano nell'ascogonio. I nuclei maschili e femminili si accoppiano quindi avviene la meiosi e si formano gli aschi direttamente dall'ascogonio.

Negli ascomiceti più evoluti, gli aschi non sono formati direttamente dall'ascogonio ma indirettamente attraverso la produzione delle ife ascogene, ognuna delle quali può dare origine ad un gran numero di aschi. Fra i termini più corretti proposti dalla letteratura scientifica, il più idoneo per definire la struttura che porta le spore è detto *sporoforo* (Corbetta, 1988).

3.2 Ecologia

Le popolazioni fungine in quanto tali, non dipendono per la loro crescita dalla luce mentre sono strettamente dipendenti dall'acqua che ne garantisce una distribuzione preferenziale nei luoghi umidi. Generalmente sono in grado di resistere a grandi escursioni di pH, preferiscono in genere i pH acidi con valori variabile tra 4 e 6. Esistono anche eccezioni di funghi presenti su substrato neutro intorno al 7.

Altro parametro fondamentale per la crescita fungina è la temperatura, fattore abiotico che permette la crescita o il blocco dello sviluppo. I funghi *termofili* si sviluppano a temperatura elevata prossima anche a 40 gradi, i funghi *mesofili* che rappresentano il principale gruppo garantiscono una crescita ad una temperatura media di 20-25 gradi, mentre funghi detti *psicrofili* sono in grado di vegetare anche ad una temperatura inferiore ai 25 gradi.

I substrati che i funghi colonizzano sono rappresentati da detriti e residui con presenza di composti organici, i funghi sono inseriti all'interno dei principali processi di demolizione della sostanza organica. Molti infatti utilizzano l'azoto minerale e in alternativa l'azoto organico solitamente in ambiente aerobico, ad eccezioni di rari casi. I funghi sono presenti nei tre principali ambienti di colonizzazione terra, acqua e aria con distribuzione decisamente differente. L'ambiente aereo è trascurabile poiché qui avviene solamente la fase di diffusione e non di sviluppo vero e proprio. In acqua, la presenza è decisamente ridotta in quanto l'ambiente non garantisce un substrato adatto alla crescita e le condizioni di luce sono poco ottimali. Al contrario, l'ambiente terrestre promuove una vasta variabilità di habitat che permette una diversità biologica davvero elevata, garantendo la crescita di un elevato numero di specie fungine. Tutto il regno dei funghi è caratterizzato dalla capacità di resistere a numerose sostanze tossiche compresi i metalli pesanti, utilizzando per il proprio metabolismo i substrati terrestri più svariati. Così i funghi lignicoli possono demolire con enzimi particolari detti ligninasi le lignine, metabolizzare come fonte primaria di carbonio i fenoli, demolire suberine e cutine e demolire cellulosa, il prodotto biologico più abbondante del pianeta. Quindi i funghi demoliscono macromolecole, andando a costituire e modificare il substrato agrario e forestale, partecipando così ai processi di umificazione prima e di mineralizzazione poi. L'impatto fungino sulla biosfera continua con la variabilità dei loro metabolismi secondari, essendo in grado di interagire con altri organismi mediante la produzione di molecole bioattive.

Questo vale per gli organismi di tutti i cinque regni, compresi i funghi stessi di cui sono noti fenomeni di antagonismo dovuti alla produzione di antibiotici antifungini. Sostanze che sono apparentemente un

prodotto finale del metabolismo inattivo o a funzione ignota nei funghi possono essere ormoni per le piante, come nel caso dell'auxina prodotta a partire dal triptofano o si rivelano feromoni per gli animali come accade per i derivati degli idrocarburi, prodotti dai tartufi. Infine alcuni metaboliti possono agire come fitotossine, determinando danni severi sulla pianta parassitata o agendo come sostanze che limitano infezioni decisamente più gravi.

Concludendo i funghi condizionano enormemente l'ambiente in cui vivono, essendo parte integrante della componente biotica, svolgono le principali attività di demolizione di sostanza organica nel ciclo dell'ecosistema coadiuvate a funzioni di danneggiamento della pianta parassitata o protezione di quest'ultima da sovra-infezioni portate da altri basidiomi. Con questa immensa variabilità di metabolismi primari e secondari, in aggiunta alla grande capacità di sfruttamento dei vari substrati, i funghi esercitano negli ambienti in cui vivono importanti pressioni selettive sugli organismi viventi, ricoprendo un ruolo ecologico fondamentale in qualsiasi ecosistema che sono in grado di colonizzare.

3.3 Trofismo

I funghi essendo organismi decisamente duttili, sono in grado di occupare gran parte degli ambienti anche grazie alle diverse tipologie di sfruttamento di risorse trofiche per il loro sviluppo. Possono quindi essere raggruppati in tre grosse categorie: funghi parassiti: si nutrono a spese di sostanze organiche appartenenti ad animali, funghi o vegetali viventi; funghi saprofiti: si nutrono a spesa di sostanze organiche appartenenti ad animali, funghi o vegetali morti; funghi simbiotici: si nutrono delle sostanze organiche elaborate dalle piante, che vengono prelevate dai continui scambi stabilitesi a livello degli apparati radicali tra le piante verdi e gli ospiti fungini.

I funghi *parassiti* sono quei funghi che si nutrono a spese di un altro organismo vivente denominato ospite dal quale traggono nutrienti, le patologie che essi causano negli ospiti, in particolare negli animali sono denominate micopatie. Il parassitismo, in particolare quello a carico delle piante e funghi è detto "obbligato" e si instaura quando il fungo per compiere il suo ciclo deve necessariamente parassitare l'ospite e in natura le sue fasi vegetative si trovano quindi solo su quest'ultimo. Nei macromiceti invece è predominante il parassitismo "facoltativo" o "non obbligato", cioè la capacità del fungo di vivere, oltre che come parassita, anche come saprotrofo (es. *Armillaria mellea*). La presenza del parassita porta in genere ad alterazioni della fisiologia dell'ospite, causando talvolta la morte cellulare dei tessuti infetti, nei casi più estremi anche di tutto l'organismo ospite. Alcuni parassiti prolungano la vita dell'ospite per completare il loro ciclo vitale e al termine dello sviluppo ne causano la morte per necrosi dei tessuti. Una precisazione è d'obbligo sul termine "parassita", volgarmente considerato con connotazione negativa, scientificamente può agire all'interno di un processo naturale positivo nell'ecosistema. Infatti è attraverso questo meccanismo che agisce la selezione naturale, con l'eliminazione di organismi poco vitali e meno adattati all'ambiente. Esemplicando, l'aggressione di un fungo parassita in una foresta in buone condizioni di naturalità, non è certamente un fenomeno negativo, ma garantisce il mantenimento dell'equilibrio naturale dell'habitat stesso. Al contrario un parassitismo diffuso, in una foresta sofferente

con bassa qualità ambientale, porterà alla rottura dell'equilibrio naturale e ai conseguenti problemi ecologici.

Vastissimo è il gruppo dei mico-parassiti, che sfruttano vari organismi; possono essere parassitate piante legnose arboree ed arbustive come nel caso di *Heterobasidion annosum* o di *Exobasidium rhododendri* che inducono la formazione di galle sulle foglie di *Rhododendron ferrugineum*.

I funghi possono essere parassitati da altri funghi, es. *Volvariella surrecta* su *Clitocybe nebularis*. Alghe, come diatomea *Asterionella formosa* può essere parassitata da *Rhizophydium planktonicum* e infine *Candida sp.* può parassitare diversi animali a sangue caldo.

I funghi saprofiti sono quei funghi in grado di decomporre la sostanza di origine animale, vegetale e fungina derivante da organismi morti. In questo modo, riciclando queste sostanze, ne evitano l'accumulo e rendono nuovamente fertile il terreno. In ogni ecosistema il riciclo della sostanza organica è fondamentale, infatti è possibile trovare diverse categorie di funghi specializzati in grado di demolire un gran numero di sostanze organiche. I funghi *lignivori* utilizzano le principali componenti del legno, lignina, cellulosa ed emicellulosa, occupando spazialmente le ceppaie e tronchi marcescenti. Provocano quel fenomeno conosciuto con il nome di carie, la carie è "bruna" quando viene consumata principalmente cellulosa ed emicellulosa, lasciando quasi inalterata la lignina. Si definisce "bianca", quando il fungo utilizza lignina e lascia intatta la cellulosa, provocando un imbiancamento del legno. È definita "soffice" quando compare in legni imbibiti d'acqua, causata da alcune specie di *Ascomyota* che penetrano negli strati superficiali del legno e ne consumano sia la cellulosa, sia l'emicellulosa. L'opera di questi funghi è di fondamentale importanza per il riciclo degli elementi minerali presenti nell'ecosistema.

I "*funghi della lettiera*", sono funghi che crescono in quello strato di sostanza organica costituita per l'80% circa da foglie e il restante da corteccia, frutti, rametti e altri materiali. La lettiera rappresenta un serbatoio di elementi minerali che servirà a reintegrare le riserve nutrizionali del terreno ma affinché questo avvenga ne occorre la degradazione. Questi funghi hanno il principale compito di svolgere la degradazione dei residui organici dando come prodotto finale acidi organici ed inorganici. Sono principalmente funghi microscopici ma ne esistono anche di macroscopici, in particolare dell'ordine degli *Agaricales*. I funghi *pirofilo*, si sviluppano in un ambiente che è stato devastato da un incendio; le ceneri e i resti carboniosi della vegetazione rendono il suolo più alcalino e favoriscono la crescita della flora fungina pirofila. Inoltre l'aumento repentino della temperatura, l'attivazione della spore dovuta a shock termico, la parziale sterilizzazione del substrato favoriscono le specie termoresistenti o un più rapido metabolismo dei funghi presenti. I funghi *coprofilo* detti anche *fimicoli*, utilizzano come substrato di crescita gli escrementi. Le deiezioni contengono diversi composti organici, dipendenti dall'alimentazione dell'animale che li ha prodotti e da fattori, quali temperatura e umidità.

L'aggressione dei funghi al substrato avviene solitamente in successione, con la comparsa iniziale degli Zigomiceti, denominati "*sugar-funghi*" che utilizzano gli zuccheri semplici, metabolizzando carboidrati e

proteine, seguiti dagli Ascomiceti che scompongono cellulosa e infine i Basidiomiceti che utilizzano la lignina.

I funghi *simbionti*, sono funghi che istaurano una simbiosi, cioè un rapporto stretto con un altro individuo da cui entrambi i partners traggono beneficio. Nella maggior parte dei casi il fungo trae dall'altro organismo composti organici semplici e fornisce soluzioni contenenti minerali, vitamine o ormoni. Le due principali simbiosi mutualistiche sono le micorrize ed i licheni. Le micorrize sono complessi tra le radici dell'ospite e i miceli dei funghi del terreno che possiedono grande variabilità sia morfologica che funzionale. Le principali tipologie possono raggrupparsi in ectomicorrize e endomicorrize. Le prime, sono caratteristiche delle piante forestali e sono sostenute da Basidiomiceti ed Ascomiceti che in presenza della pianta ospite producono i loro corpi fruttiferi come Boleti, Lattari, Russole e Amanite, cioè i principali macrofunghi compresi i funghi ipogei (tartufi) rappresentati dai *Tuber*.

Le seconde endomicorrize vescicolo arbuscolari sono le più diffuse in assoluto avendo come ospiti circa 80% delle piante ad habitus erbaceo e arboreo. I funghi che prendono parte a questo processo sono limitati alla famiglia degli Zigomiceti, in particolare le Glomacee con 3 o 4 generi al massimo. La distinzione principale tra i due tipi di micorrize, endo ed ectomicorrize risiede nella morfologia e funzionalità del processo simbiotico, nelle endomicorrize il micelio fungino è a contatto con il plasmalemma dell'ospite attraverso un collegamento, in cui la componente apoplastica dei partner è molto ridotta, se non vestigiale. Nelle ectomicorrize invece la componente apoplastica del collegamento è costituita dalla sovrapposizione di materiali complessi della parete.

In genere il compito primario del complesso micorrizico, è aumentare sia il volume di terreno esplorato per il prelievo dei minerali, sia la superficie di scambio tra i partner in simbiosi. Questo porta a modificazioni complesse delle strutture anatomiche da parte del fungo e l'istaurarsi di stretti rapporti cellulari tra il fungo e l'ospite. Le cellule con cui i funghi prendono contatto sono esclusivamente quelle del cilindro corticale, le modificazioni dell'organo dell'ospite che alberga il fungo portano ad alterazioni morfogenetiche ed anatomiche con produzione di radici corte e larghe e meristemi apicali anomali nelle ectomicorrize e ramificazioni particolari nelle endomicorrize. Quindi nelle ectomicorrize si differenziano veri e propri organi, in cui un manicotto di fungo funziona da sistema di protezione e di accumulo di minerali, una modificazione anatomica che prende il nome di micoclona. Partendo da quest'ultima numerose ife si approfondano, tra cellula e cellula, nella corteccia della radice ospite formando il reticolo di Harting, istaurando così un sistema complesso ad ampia superficie che permette lo scambio di zucchero dall'ospite al fungo e di fosfato, nitrati, cloruri dal fungo all'ospite. Nel caso invece delle endomicorrize, le radici non subiscono modificazioni istoanatomiche (non si forma la "micoclona") come detto in precedenza ma avvengono profondi rimaneggiamenti della composizione chimica e dell'ultrastruttura delle pareti radicali. Questo determina la differenziazione nella corteccia della radice ospite di strutture fungine caratteristiche quali, "gomitoli", "arbuscoli" e "vescicole" che permettono gli scambi trofici. Oltre alle endomicorrize arbuscolari appena descritte, ci sono altre due tipologie di

endomycorriche, sono le micorriche ericali e le micorriche delle Orchidaceae. Le prime sono caratterizzate da un ascomicete che penetra nell'unico strato di cellule corticali della radichetta, instaurando rapporti intracellulari. Questo permette il trasferimento di zucchero al fungo e il passaggio di composti azotati alla pianta, svincolandosi dalla nutrizione minerale. Il risultato dell'interazione è per l'ospite "l'effetto crescita", ossia una fertilizzazione biologica che porta ad un incremento della biomassa e per il fungo la possibilità di completare il ciclo biologico. Le seconde invece sono tipiche di tutte le Orchidee, in particolare di quelle che possiedono una fase di sviluppo eterotrofa che necessitano obbligatoriamente della micorizzazione per la loro sopravvivenza e crescita. Infine un'ultima tipologia che si discosta dai due grandi gruppi fino adesso citati sono le ectoendomycorriche, tali micorriche sono ancora poco conosciute, possiedono sia il mantello fungino che protegge esternamente la radichetta, sia la penetrazione intracellulare (sono state rinvenute nelle radici di conifere coltivate in vivaio, soprattutto con *Pinus e Larix* ed in alcune Ericacee).

3.4 Sistematica

La sistematica del regno dei funghi è particolarmente complessa e di difficile interpretazione per i non addetti ai lavori. Quindi verrà preso in considerazione solamente il grande gruppo tassonomico dei macromiceti, in particolare i *Basidiomycota* che verranno descritti con maggior precisione essendo coinvolti maggiormente in questo lavoro. I macromiceti sono divisi in quattro Phylum: *Basidiomycota*, *Ascomycota*, *Chytridiomycota*, *Zygomycota*.

Al Phylum (Divisione) dei *Basidiomycota* appartengono funghi le cui spore maturano all'esterno (meiospore esogene) in strutture mono o pluri-cellulari dette "basidi", estroflesse e portate da sottili filamenti chiamati "sterigmi" generalmente in numero di quattro. Le meiospore danno origine a micelio primario, nella riproduzione sessuale l'unione di due miceli primari di polarità opposta dà origine al micelio secondario binucleato (dikaryon), fertile, piuttosto longevo e con giunti a fibbia. Il corpo fruttifero dei *Basidiomycetes*, quello che noi comunemente ed impropriamente chiamiamo fungo, prende il nome di "basidioma". I Phylum dei *Basidiomycota* include sia organismi unicellulari (alcuni lieviti) che multicellulari. Sono presenti principalmente in ambiente terrestre, ma alcuni sono anche acquatici, ambiente marino compreso. Questo Phylum è un grande gruppo all'interno del Regno, a cui appartengono tutti i funghi con imenoforo a lamelle, a tubuli, pori ed aculei. Più raramente si osservano forme con imenoforo labirintiforme, liscio, rugoloso o racchiuso in un involucro protettivo detto peridio. I taxa presenti in questa divisione sono moltissimi, ed appartengono ad essa la maggior parte dei funghi che hanno interesse per la raccolta destinata all'alimentazione.

I *Basidiomycota* vengono divisi in tre classi: *Basidiomycetes*, *Teliomycetes*, *Ustomycetes*.

I *Basidiomycetes* comprendono funghi che producono basidi e basidiospore disposti in una superficie esterna od interna ad un basidioma, o come veniva chiamato in precedenza "basidiocarpo". Questa formazione costituisce la parte fertile di questi funghi detto "imenio", portato da una struttura semplice o più o meno complessa detta "imenoforo", l'imenio tende ad essere stratificato, ordinato in una sorta di

“palizzata” costituita dai basidi e, a seconda dei casi, da altri elementi imeniali sterili quali cistidi, basidioli etc. Le spore in molti funghi sono dotate di un meccanismo di espulsione attivo (ballistospore, vedi ad es. *Agaricales* s.l. e *Boletales*) in altri, come nei *Gasteromycetes* s.l., vengono disseminate a maturazione per gravità, correnti convettive o urti meccanici. Successive differenziazioni (sottoclassi) vengono operate in base alla morfologia dei basidi, in particolare sull’ osservazione che gli stessi siano costituiti da una sola cellula (Holobasidi) o da più cellule (Phragmobasidi) e/o con possibilità di generare spore secondarie agamiche, a volte con produzione di piccoli conidi, dette anche spore ripetitive-gemmanti. Gli attuali studi molecolari tendono a superare questa differenziazione, che resta comunque didatticamente valida sia da un punto di vista della microscopia classica che nel riconoscimento in base alle caratteristiche morfocromatiche, meccaniche ed organolettiche.

La seconda classe è rappresentata dai *Teliomycetes*, comprende funghi che essenzialmente si comportano da parassiti degli insetti e delle piante, spesso anche di quelle coltivate, creando non pochi problemi e danni economici. Sono essenzialmente due gli ordini relativi a questa classe: *Septobasidiales* e *Uredinales*. Al primo ordine appartengono basidiomi di aspetto corticoide, parassiti su molti insetti e piante (*Acacia* sp., *Eucalyptus* sp. come ad esempio *Septobasidium curtisii* (Berk. & Curt.) Boedyn & Steinmann). Le spore sono prodotte da basidi di forma particolare. Gli *Uredinales* parassitano spesso le graminacee ed altre piante e sono detti comunemente “Ruggini” per il loro aspetto simile alla comune ruggine del ferro. Questi funghi sono in grado di differenziare dei particolari organi, detti austori, capaci di penetrare all’interno delle cellule della pianta parassitata. Possono completare il loro ciclo vitale o su di un solo ospite (autoici) oppure presentare un ciclo molto più complesso comprendente vari ospiti intermedi (eteroici).

L’ultima classe, gli *Ustomycetes*, comprende funghi che essenzialmente si comportano da parassiti per le piante ed altri funghi. Anche in questo caso il danno biologico a carico delle colture agricole è spesso di notevole gravità come ad esempio in *Ustilago maydis* (DC.) Corda (1842), noto e pericoloso parassita del mais. I basidiomi appartenenti a questa classe sono comunemente conosciuti come “carboni” o “fuliggini” per il loro aspetto che spesso ricorda dei piccoli ammassi carboniosi. Tra gli ordini contenuti nella Classe *Ustomycetes* ricordiamo: ordine *Exobasidiales* con funghi parassiti di *Ericaceae* e *Commelinaceae*; ordine *Ustilaginales* ove è inserito il già citato *Ustilago maydis*.

Nel Phylum *Ascomycota* sono compresi i funghi nei quali le spore si maturano all’interno (meiospore endogene) di cellule denominate "aschi", questi hanno generalmente forma di sacchetto, fiasco o tubetto più o meno allungato. In molti casi la produzione è di otto spore per asco ma esistono moltissime eccezioni sia con numeri minori che maggiori. Le ife che generano gli aschi vengono dette ife ascogene (dikarion), esse presentano a maturità un apice ricurvo a forma di uncino, bisettato, all’interno del quale si ha la fusione dei due nuclei e la successiva formazione dell'asco.

Il corpo fruttifero degli *Ascomycetes* prende il nome generico di "ascoma". Gli *Ascomycetes* costituiscono un gruppo numerosissimo di funghi, sia mono che pluricellulari, si va ad esempio dagli importantissimi lieviti come ad es. *Saccharomyces cerevisiae*, il comune lievito di birra, al *Penicillium*

precursore dei moderni antibiotici, ad un numero estesissimo di specie studiate come patogene per l'uomo, gli animali e le piante. Sono pure *Ascomycetes* la maggior parte dei funghi che stabiliscono simbiosi con alghe verdi e cianobatteri nella formazione dei licheni. Numerose anche le specie di interesse alimentare, come ad esempio i tartufi (Genere *Tuber*) e le Spugnole (Genere *Morchella*).

Nel Phylum degli *Chytridiomycota*, sono compresi funghi sostanzialmente microscopici e spesso unicellulari. Le spore sono tipicamente provviste di "flagelli", che ne consentono il movimento nell'acqua. I *Chytridiomycetes* sono tra i funghi più primitivi e si comportano principalmente da saprofiti, con grande valenza ecologica, degradando ad esempio chitina e cheratina. Molti *Chytridiomycetes*, vista la loro peculiarità di movimento, sono acquatici, principalmente d'acqua dolce. Ci sono circa 1.000 specie di *Chytridiomycetes*, suddivise in 127 generi, distribuiti fra 5 ordini. Alcuni possono essere letali per alcune piante e alcuni animali come anfibi a cui otturano i pori della cute non permettendo la respirazione.

Il quarto Phylum è rappresentata dagli *Zygomycota* che comprende i funghi con meiospore e mitospore endogene portate da zygosporangi, gametangi e sporocisti. Il nome della divisione viene dagli zygosporangi, strutture resistenti formate durante la riproduzione sessuale. Ci sono circa 600 specie di *Zygomycetes* conosciuti, vivono nel terreno o su materiale in decomposizione sia di origine animale che vegetale. Alcuni formano rapporti mutualistici importanti con gli apparati radicali delle piante (micorrize). Un esempio comune di *Zygomycetes* è la muffa nera del pane: *Rhizopus stolonifero* oppure *Spinellus fusiger*, che spesso è parassita del genere *Mycena*. La Divisione *Zygomycota* comprende per alcuni studiosi l'ordine *Glomerales* (mancanza di formazione delle zygospore) mentre per altri questi funghi vengono elevati a Divisione autonoma *Glomeromycota*.

4. Metodi di bioindicazione

I metodi di bioindicazione con l'ausilio di macromiceti ipogei ed epigei sono principalmente applicabili al controllo della qualità del suolo, attraverso l'analisi di specifiche caratteristiche pedo-micologiche.

Grazie ai progressi compiuti negli studi recenti, i funghi sono sempre più entrati a far parte di quel gruppo di organismi che assumono il ruolo di bioindicatori di un dato ecosistema o di un dato ambiente. In particolare, va sottolineato il grosso contributo offerto dalle sperimentazioni condotte negli ultimi quarant'anni sulle specie di tartufi pregiati che ha migliorato notevolmente le conoscenze in materia di bioindicazione.

Le analisi sulle caratteristiche del suolo (analisi dei profili; granulometria; pH; contenuto in sali minerali, compresi i microelementi; componente organica; macro- e micro-porosità) hanno fornito una base di dati che sta contribuendo a fare luce sul complesso rapporto pedo-micologico. Indagini basate sullo studio ecologico hanno evidenziato come alcuni funghi possano essere identificati come indicatori di foreste naturali inalterate e del livello di decomposizione dei tronchi (Holmer, Stenlid, 1997).

Secondo questi autori gli studi delle successioni micotiche dovrebbero prendere in considerazione tutto il micelio e non solo i corpi fruttiferi che costituiscono una parte minore nel corpo vegetativo di un fungo.

I miceti prediligono per la loro crescita suoli con un gradiente di pH che varia dal subacido al subalcalino, con la preferenza per valori vicino a 7. Studi condotti in diversi ambienti boscati, in merito al pH dei suoli naturali, hanno evidenziato un gradiente che varia da 4,8 a 8 con un valore ottimale fissato a 7,2 a cui corrispondono boschi con una copertura vegetale in ottima salute. Le ricerche condotte sulle caratteristiche ecologiche dei funghi ipogei, ed in particolare sulle varietà pregiate di *Tuber*, con lo scopo di ampliare le conoscenze e migliorarne la coltivazione, hanno messo in evidenza valori di pH del suolo che variano da 7 a 8,3 a seconda delle specie studiate (Granetti, 1994).

In generale, gli ascocarpi di *Tuber* hanno una crescita agevolata quando le loro ife nutrizionali vivono in un microambiente con un pH ottimale di 6,0 mentre il resto dell'ectomicorrize trova giovamento e sviluppo a valori di pH da sub-alcalini a alcalini (Granetti et al., 2005).

Numerose ricerche condotte in stazioni naturali di *Tuber* hanno evidenziato le seguenti caratteristiche per le diverse specie:

- *T. melanosporum* Vitt. preferisce in genere terreni molto ricchi di scheletro con la restante parte costituita da terra fine (tessitura limoso-sabbiosa). Il pH è molto uniforme e presenta un valore medio di $8,0 \pm 0,4$ (estremi 7,05 e 8,25).
- *T. aestivum*; 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.
- *T. aestivum* f.ma *uncinatum*; in media, il suolo è profondo 28 cm, con uno scheletro del 10% costituito da calcare ed il restante 90% di terra fine (28% sabbia, 56% limo e 47% argilla). Il pH varia da 7,0 a 7,8 al variare della quantità di sostanza organica.
- *T. mesentericum*; in media, il suolo è profondo oltre 30 cm, soffice o costipato, come nei riporti dei tagli strada ove si accumula il brecciamme calcareo con pH a reazione neutra o sub-alcalina.

Altri studi condotti in Irpinia (Campania) hanno evidenziato un suolo limoso-sabbioso con modesta percentuale di scheletro e modesta percentuale di calcare, che assicura quasi sempre un pH vicino alla neutralità (7,07); in alcuni casi, il pH scende a valori subacidi.

- *T. magnatum*; suolo profondo, povero di scheletro e ricco di limo e argilla che complessivamente raggiungono il 68,4%. I valori del pH sono prossimi ad 8 e sono poco variabili.
- *T. borchii*; 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.

Confrontando le diverse specie di Tuber, è facilmente riscontrabile che queste hanno diverse esigenze ecologiche. Questa correlazione variabile tra la misura di pH, tessitura, granulometria del suolo e la crescita di micromiceti, rappresenta perfettamente il binomio substrato-micete. Le caratteristiche pedologiche presenti condizionano la crescita delle diverse specie di macrofunghi e la presenza di questi, garantisce un'indicazione di una precisa caratteristica pedologica. I miceti sono fondamentali per la conservazione della qualità degli habitat e utilizzabili per una grande varietà di indici di bioindicazione. È grazie al lavoro sperimentale del “Progetto Speciale Funghi” dell'ISPRA che questi possono essere applicati per rilevare e monitorare diversi tipi di ambienti, valutando il grado di qualità di differenti caratteristiche ecosistemiche. Qui sotto verranno descritti i diversi indicatori, caratterizzati da foto dei principali miceti citati.

Funghi indicatori di processi di degrado già in corso: alcune specie fungine, con la semplice presenza dei propri basidiomi, indicano uno squilibrio ecosistemico in corso e possono predire con un certo anticipo forme di degrado altrimenti rilevabili. Una specie fungina presente sui resti legnosi e indicatrice di notevoli quantità di sostanze azotate nella lettiera è *Megacollybia platyphylla* (Pers.: Fr.) Kotlaba & Pouzar che per la caratteristica intrinseca di agire su superfici molto vaste con i propri cordoni miceliari e di produrre i basidiomi direttamente su questi ultimi, è da considerarsi un buon indicatore di processi di degrado boschivo già in corso. In questi casi, la vasta gamma genetica e funzionale delle specie fungine fornisce una lista numerosa di specie indicatrici di una grossa sofferenza degli ecosistemi dovuta ad eccessi di biomassa morta. Citiamo tra le altre *Cerrena unicolor* (Bull.: Fr.) Murr., *Corioloopsis gallica* (Fr.) e *Trametes trogii* Berk. in Trog. che preannunciano con i propri sporofori l'ingresso nella catena trofica di *Megacollybia platyphylla*. Anche *Clitocybe phaeophthalma* (Pers.) Kuyper è una specie indicatrice di eccessiva quantità di sostanze azotate nella lettiera, ma a differenza di *Megacollybia platyphylla* ha un'azione puntiforme, per cui la sua presenza va valutata ogni volta sul posto a seconda dei casi. Ad esempio, un accumulo di lettiera in una località con ristagno idrico e bassa ventilazione, correlato ad un certo numero di basidiomi di *C. phaeophthalma*, potrebbe indicare un processo di deperimento in corso delle piante nell'area circoscritta dai basidiomi, in quanto l'eccesso di biomassa morta inibisce i processi di riciclo legati ad altre specie di funghi. Altre specie dei gasteromiceti epigei, appartenenti a diverse famiglie (*Phallaceae* Corda, *Lycoperdaceae* Corda, *Clathraceae* E.Fisch.) sono

indicatrici di processi di degrado già in corso: ad esempio, *Mutinus caninus* (Huds.:Pers.) Fr., *Lycoperdon pyriforme* Schaeff.:Pers., *Clathrus ruber* Micheli: Pers.



Megacollybia platyphylla (Pers.) Kotl. & Pouzar; Archivio AMB foto del Prof. Carlo Papetti

Funghi indicatori di futuri processi di degrado: si tratta di specie che nutrendosi dei prodotti di scarto di altre specie fungine con funzione di degradatori primari, indicano con la presenza dei loro basidiomi un'alterazione dell'ecosistema che percepiremo solo dopo molto tempo, cioè quando fruttificheranno i degradatori primari, cioè miceti che hanno un ciclo molto lungo e sono i principali organismi in grado di attaccare e degradare i composti organici del suolo e di provocare carie bianca e bruna. Quando essi superano in % una certa soglia non ancora definita ma che approssimativamente si avvicina al 5% massimo 10% hanno un effetto negativo sull'ecosistema. Per caratteristiche legate al loro ciclo biologico, sono indicatrici di futuri processi di degrado alcune specie del genere *Mycena* (Pers.) Roussel; *Mycena rosea* (Bull.) Gramberg; *Mycena pura* (Pers.: Fr.) P. Kumm.; *Mycena pelianthina* (Fr.) Quél.; *Mycena galericulata* (Scop.: Fr.) Gray; *Mycena niveipes* (Murrill) Murrill; *Mycena polygramma* (Bull.: Fr.) Gray; *Mycena amicta* (Fr.) Quél.; *Mycena flavoalba* (Fr.) Quél.



Mycena rosea (Bull.) Gramberg; Archivio AMB foto del Prof. Giovanni Consiglio

Funghi indicatori di diversità di habitat: i macromiceti sono utili per la conoscenza e la conservazione degli ecosistemi essendo indicatori di diversità biologica in termini di ricchezza e abbondanza di popolazione (Benedetti, et al., 2006).

Sulla componente micologica sono stati avviati studi specifici presso APAT (adesso ISPRA) a partire dal 2003 con l'acquisizione di banche dati, in particolare tramite una convenzione con l'Associazione Micologica Bresadola-Centro Studi Micologici (AMB-CSM), che ha permesso di realizzare un primo abbinamento delle specie fungine nazionali agli habitat definiti secondo la nomenclatura *CORINE Biotopes* e Natura 2000. Come esempio, si può citare l'analisi preliminare condotta su alcuni habitat di importanza europea che ha permesso di estrapolare alcune specie guida per gli ambienti dunali. Sulla base dei dati nazionali disponibili, sono stati creati degli elenchi di specie per ciascun habitat in base alla frequenza delle segnalazioni. Le specie caratteristiche e differenziali sono quelle che emergono dal confronto con altri habitat in base a frequenza e presenza; le specie frequenti sono quelle con elevato numero di segnalazioni, ma presenti anche in altri habitat. Tali specie (n = 177) rappresentano un primo campionario di elementi di pregio ecologico e di indicatori di qualità ambientale (Bianco PM., Siniscalco C., 2009).

I funghi micorrizici come indicatori degli aspetti fitopatologici: per quanto riguarda gli aspetti strettamente patologici, le ectomicorrize, oltre a costituire una barriera fisica alla penetrazione di parassiti nell'apice e a modificare qualitativamente e quantitativamente i metaboliti vegetali emessi nella rizosfera, generalmente producono anche dei composti antibiotici che rappresentano una barriera tossica

nei confronti di molti microrganismi del terreno. La conoscenza di questi prodotti del metabolismo micorrizogeno e dei loro meccanismi d'azione garantisce per il futuro numerose chiavi di bioindicazione tenuto conto che l'apparato radicale di una pianta forestale adulta, normalmente, può essere micorrizzata contemporaneamente da 30 a 50 specie fungine diverse, ciascuna in grado di esprimere al meglio le proprie potenzialità soltanto in determinate condizioni ecologiche, fenologiche, pedologiche, microclimatiche. Queste nuove risorse nelle bioindicazione permettono di affermare con certezza che micorrize in piena attività con produzione di corpi fruttiferi permettono di monitorare anche i loro benefici effetti sulle piante ospiti per cui, ad esempio, *Rhizopogon vinicolor* conferisce maggiore resistenza alla siccità a plantule di *Pseudotsuga menziesii* ed *Hebeloma crustuliniforme* si dimostra efficace nel mobilizzare azoto da sostanze proteiche in *Betula pendula*.

Le comunità micorriziche presentano una grande complessità e l'elevato numero di fattori diversi influenza in vario modo le loro dinamiche di azione per cui non è possibile parlare di un singolo effetto micorrizico, ma di più effetti associati. Come esempio, si può citare una sindrome molto complessa che viene riportata con il termine generico di "deperimento". Negli ultimi anni esso viene interpretato e valutato con criteri diversi grazie agli studi compiuti sulle comunità micorriziche. Molte ricerche hanno dimostrato che le radici assorbenti di alberi deperenti spesso mostrano significative variazioni nella composizione della comunità micorrizica. I sintomi di deperimento sono stati osservati con maggiore intensità in condizioni di prolungata carenza idrica o di salinità dell'acqua di falda, dimostrando che tali fattori ambientali possono più di altri assumere un ruolo importante nel predisporre il deperimento dei genotipi vegetali meno resistenti. È stato dimostrato, infatti, che l'albero deperisce gradualmente perdendo progressivamente la capacità di selezionare i simbionti micorrizici più efficienti, lasciando che essi vengano sostituiti da altri più adatti alle mutate condizioni ambientali. La frequenza relativa della comunità delle ectomicorrize più frequenti varia significativamente tra le piante sane e quelle poco e/o molto deperenti permettendo di identificare tale comunità come un valido bioindicatore della presenza e del grado di deperimento.

I funghi come accumulatori di metalli pesanti e indicatori del suolo: molti macrofunghi sono in grado di assorbire dal suolo elevate quantità di metalli pesanti e altre sostanze accumulate nel substrato. Analizzando i carpofori è possibile rilevare la presenza di queste sostanze nocive in grado di compromettere la conservazione di un ecosistema, in quanto possono colpire direttamente la componente biotica e più o meno direttamente l'uomo.

Di recente nella storia della vita sulla Terra, l'uomo è intervenuto modificando i cicli naturali della materia, manipolando artificialmente gli elementi chimici e disperdendo nell'ambiente sostanze sintetiche estranee alla vita ("xenobiotiche"), che sono entrate nel ciclo metabolico degli organismi.

La grande maggioranza di queste sostanze chimiche è stata ed è ancora oggi rilasciata nell'ambiente interferendo con gli equilibri degli ecosistemi terrestri. Per lungo tempo si è ritenuto che il suolo avesse la capacità di trattenere le sostanze inquinanti tamponandone gli effetti evidenti entro poco tempo. Si è quindi prestata sempre più attenzione a quei comparti ambientali come l'aria o le risorse idriche

superficiali dove, gli effetti dell'inquinamento antropico si ripercuotono sull'ambiente con maggiore immediatezza. La capacità del suolo di accumulare le sostanze inquinanti può effettivamente impedire l'immediata contaminazione di altri comparti ambientali ma può anche, determinare un improvviso rilascio degli inquinanti una volta raggiunto il limite di ritenzione. La parete cellulare dei funghi nel suolo è a diretto contatto con l'ambiente esterno ed è in grado di assorbire ed accumulare, anche all'interno della cellula, cationi pesanti. Questa caratteristica si presenta in maniera differenziata a seconda delle varie famiglie e specie fungine; infatti numerosi sono gli studi compiuti negli ultimi venti anni, particolarmente in Europa, sulla determinazione dei metalli pesanti nei funghi e i risultati ottenuti evidenziano comportamenti eterogenei tra specie e specie. Molti sono i metalli che, presenti in tracce sulla superficie terrestre, sono essenziali per la crescita e la riproduzione dei microrganismi. Diverse concentrazioni di metalli pesanti nel suolo influenzano la composizione della comunità fungina presente nella lettiera e nel suolo. Dal punto di vista funzionale il complesso costituito dalle emanazioni ifali delle micorrize ectotrofiche e la relativa micoclona mobilita minerali a partire da proteine e protegge l'apice dall'effetto tossico di inquinanti presenti nel suolo compresi i metalli pesanti in concentrazioni non micotossiche. I metalli pesanti assorbiti generalmente inibiscono la crescita fungina ma causano anche cambiamenti morfologici e fisiologici. La loro azione tossica sembra essere essenzialmente esercitata a carico degli enzimi. L'inibizione può dipendere dal fatto che vengono mascherati gruppi cataliticamente attivi, dalla denaturazione di proteine, dalla modificazione della conformazione enzimatica o dall'attivazione di altri siti coinvolti nella formazione di complessi enzima-substrato, che entrano in competizione con quelli normalmente presenti. Queste azioni tossiche variano da specie a specie e dipendono dalla concentrazione dei metalli e dal tempo di esposizione.

I funghi micorrizici come indicatori della qualità e della salute del complesso pianta-suolo: nelle simbiosi micorriziche gli scambi nutrizionali manifestano il loro effetto positivo sul metabolismo di entrambi i partner. L'efficienza di tali associazioni varia secondo una serie di interazioni dinamiche che coinvolgono non solo la pianta ed il fungo, ma anche i fattori ambientali e pedologici e i rapporti che si stabiliscono fra queste variabili. Per queste ragioni, i funghi micorrizici possono essere utilizzati come indicatori della qualità del suolo perché svolgono delle funzioni-chiave e quindi, l'individuazione di marcatori metabolici monitorabili con facilità, rende possibile l'osservazione e la valutazione dei cambiamenti che possono intervenire nella funzionalità dell'ambiente suolo. A tal proposito, un buon esempio è rappresentato dalla glomalina, una glicoproteina idrofobica prodotta dai funghi micorrizici arbuscolari (AM), simbiotici pressoché ubiquitari delle radici delle maggior parte delle piante terrestri, che si accumula nel suolo sotto forma di una sostanza proteica denominata "*Glomalin Related Soil Protein*" (GRSP). La GRSP è un marcatore, facilmente misurabile, dell'attività di medio-lungo periodo dei funghi AM. Tale marcatore è stato dimostrato essere sensibile non solo ai cambiamenti ambientali come l'aumento di CO₂ atmosferica e a diversi sistemi di uso e gestione del suolo, ma è anche risultato essere ottimamente correlato con la stabilità degli aggregati di particelle del suolo, importante parametro di funzionalità del suolo stesso.



Hebeloma crustuliniforme (Bull.) Quélet; Archivio AMB foto del Prof. Carlo Papetti

5. Applicazione bioindicazione area campione

5.1 Premessa

I “**Centri d’Eccellenza** per lo studio delle componenti della biodiversità del suolo”, costituiscono lo strumento utilizzato dal “**Progetto Speciale Funghi**” dell’ISPRA, per compiere studi disciplinari su conoscenza e monitoraggio, in linea con le direttive europee.

Dopo un’intensa attività seminariale, della durata di quattro anni con frequenza mensile (2007-2011), che ha fatto capire l’importanza fondamentale dell’interdisciplinarietà nella ricerca scientifica sui funghi ed ha collegato tra loro e mobilitato varie realtà della ricerca italiana, il “Progetto Speciale Funghi” dell’ISPRA, nel 2012 ha formulato la proposta del Progetto dei “Centri di Eccellenza” per lo studio delle componenti di biodiversità del suolo”, con la finalità di integrare al massimo con lo studio dei macromiceti e mixomiceti i dati sul biomonitoraggio del suolo che affluiranno al “Tavolo Tecnico per la rete nazionale di monitoraggio della biodiversità e degrado dei suoli” Programma Re Mo” nominato a giugno del 2012 da ISPRA su richiesta del Ministro del MIPAF in attuazione delle istanze della Comunità Europea. Il “Programma Re Mo” di cui il “Progetto Speciale Funghi” è componente e parte attiva è disponibile al seguente indirizzo:

<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni/natura-e-biodiversita/programma-re-mo.-rete-nazionale-monitoraggio-biodiversita-e-degrado-dei-suoli>.

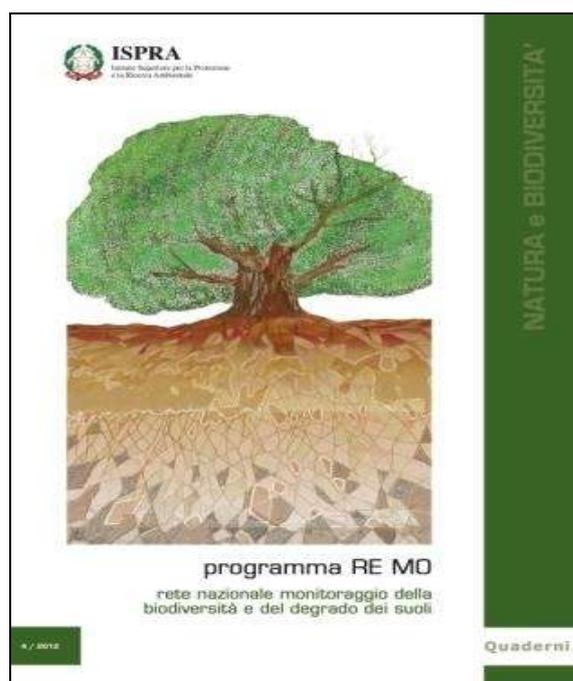
Dal 2012 ad oggi il “Progetto Speciale Funghi” ha realizzato i seguenti “Centri di Eccellenza:

1. Centro di Eccellenza ISPRA presso il GMEM–AMB (VT) (Lazio–Abruzzo).
2. Centro di Eccellenza ISPRA presso la Confederazione Micologica Calabrese (CMC) che raggruppa ad oggi 12 Gruppi Micologici dell’AMB (CS; CZ; RC;VV) (Calabria).
3. Centro di Eccellenza ISPRA presso il GEMAL–AMB (RM) (Lazio).
4. Centro di Eccellenza ISPRA presso l’AMET–AMB (PA) (Sicilia).
5. Centro di Eccellenza ISPRA presso l’ARTA ABRUZZO (AQ) (Abruzzo).
6. Centro di Eccellenza ISPRA presso COMANDO REGIONALE del CORPO FORESTALE dello STATO per la CAMPANIA (Campania).
7. Centro di Eccellenza ISPRA presso GRUPPO MICOLOGICO E NATURALISTICO “R. FRANCHI”–AMB (RE) (Emilia Romagna).
8. Centro di Eccellenza ISPRA presso COMUNE DI COMPIANO (PR) per “Appennino Parmense” e “Comunali Parmensi” (Emilia Romagna).

Altri “Centri di Eccellenza” sono in corso di realizzazione per coprire al massimo il territorio nazionale nell’esecuzione di studi sul biomonitoraggio del suolo.



Logo dei “Centri di Eccellenza del “Progetto Speciale Funghi” dell’ISPRA (grafica di L. Campana)



Quaderno ISPRA 4-2012 “Programma RE MO”

5.2 Il caso studio la “Riserva Naturale Regionale Monte Soratte”

Il primo “Centro d’Eccellenza per lo studio delle componenti della biodiversità del suolo” in Italia è stato realizzato dal “**Progetto Speciale Funghi**” dell’ISPRA presso il Gruppo Micologico dell’Etruria Meridionale-Associazione Micologica Bresadola che, in collaborazione con l’Amministrazione Provinciale di Roma, ha realizzato un primo Progetto pilota in un’area di studio nella zona del Monte Soratte (RM).

Il territorio è sito all’interno della “Riserva Naturale Regionale Monte Soratte” e si estende a circa 40 km a nord di Roma, per 444 ettari e corrisponde quasi completamente all’omonimo SIC IT6030014, esteso per 445 ettari con altitudine che va da 116 a 701 m s.l.m. I SIC sono Siti di Interesse Comunitario, individuati nel 1992 dall’Unione Europea con la Direttiva Habitat (92/43/CEE) per la Conservazione “degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatica”, recepita in Italia nel 1997. Sono siti di limitata estensione, rarefatti sul territorio che rappresentano una posizione strategica per la sosta delle specie migratorie e che registrano un’elevata diversità biologica in ambito floristico e faunistico. Le ZPS invece, che verranno citate più avanti nel corso dell’elaborato, sono Zone di Protezione Speciale, cioè aree individuate dalla Direttiva 79/409/CEE concernente la conservazione degli uccelli selvatici per garantire ad alcune specie di uccelli selvatici condizioni favorevoli in tutta l’area di distribuzione. La Riserva presenta al suo interno tre tipi e unità paesistiche infatti, oltre al **Monte Soratte** propriamente detto che occupa 289,9 ha, pari al 65,2 % del territorio complessivo, sono incluse porzioni delle unità dei **Colli e Ripiani Vulcanici Sabatini** con superficie pari a 119,3 ha, equivalente al 26,8 % del totale, i cui tufi circondano buona parte del rilievo, e piccole porzioni delle unità delle **Colline Argillose di Nazzano** che si estendono per 35,6 ha, rappresentanti l’8 % dell’area analizzata.

E’stata redatta una cartina che mostra la distribuzione delle tre unità paesistiche all’interno dell’area studiata.

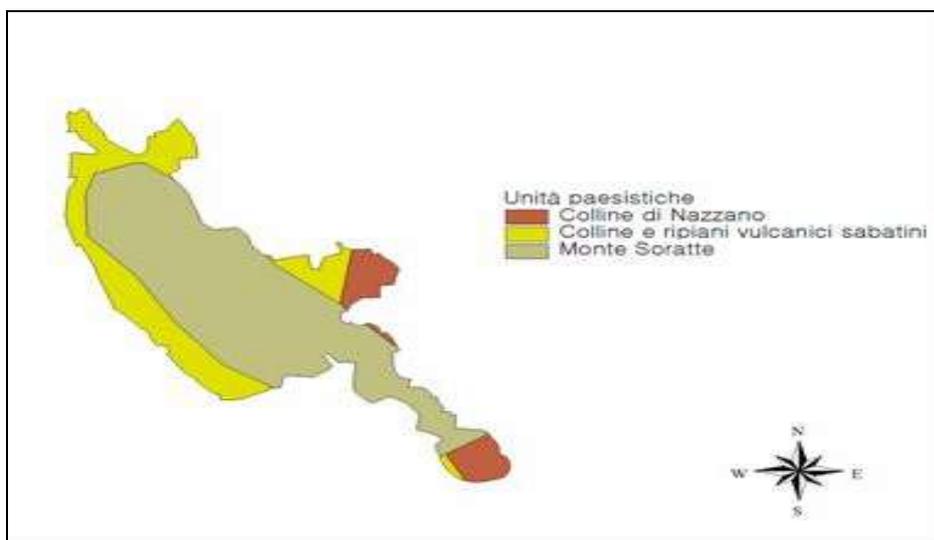


Figura 1: Carta delle Unità paesistiche (da Carta della Natura 1:250.000, ISPRA) del Sito d’Importanza comunitaria Monte Soratte

Facendo riferimento alla Carta della Natura della Regione Lazio 1:50.000 (Casella *et al.*, 2008), le formazioni maggiormente rappresentate sono le leccete (284 ettari, pari al 63,9 % della superficie totale del SIC) che mostrano anche la frammentazione minore.

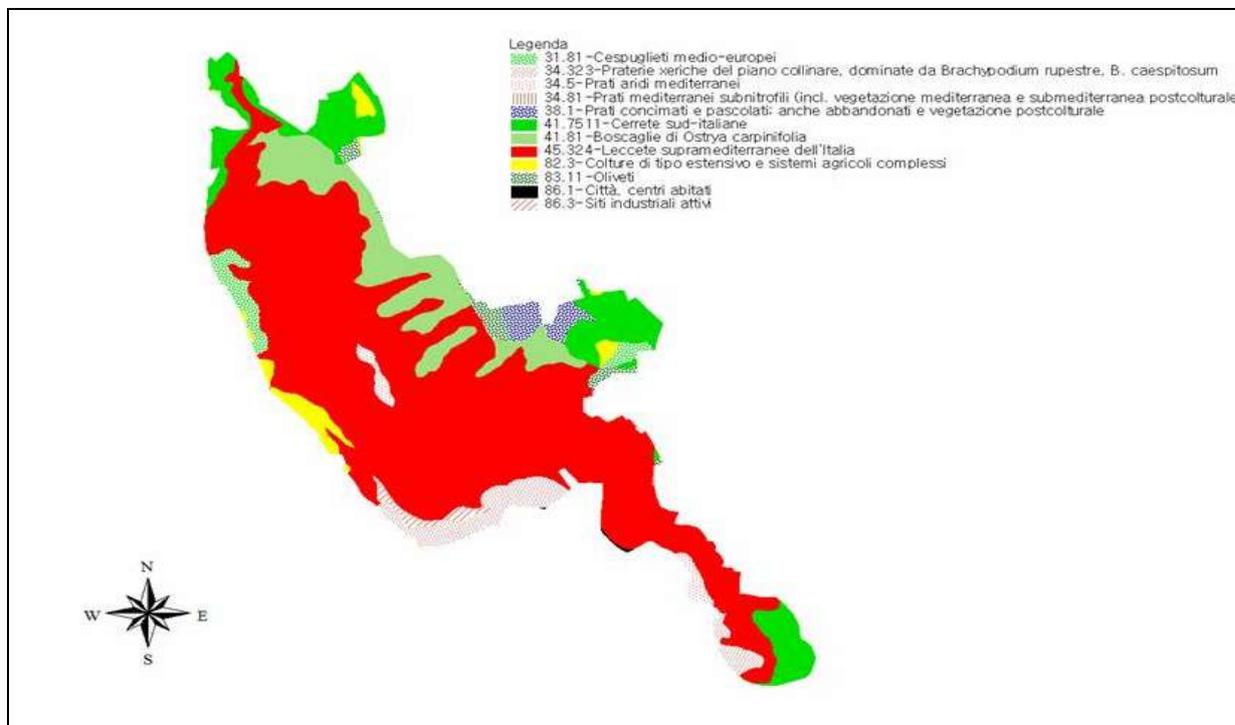


Figura 2: Carta della Natura del SIC IT6030014 Monte Soratte (da Carta della Natura 1:250.000, ISPRA)

Sul versante esposto a sud-ovest, la vegetazione naturale assume la struttura di cespuglieto o boscaglia. Lo strato erbaceo è quasi del tutto assente mentre è ben presente in alcune zone lo strato arbustivo dominato da *Smilax aspera* e *Rubia peregrina*. Le cerrete (50 ettari, pari all'11,2 % della superficie della Riserva), ugualmente habitat di interesse comunitario ai sensi della direttiva Habitat (codice 91M0), sono diffuse alla base del rilievo, nelle zone meno acclivi, su suoli più profondi. Sono dominate dal cerro (*Quercus cerris*), accompagnato spesso dal carpino orientale (*Carpinus orientalis*). Sul versante nord-est, più fresco, si possono osservare boschi con dominanza locale di caducifoglie quali carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), carpino orientale (*Carpinus orientalis*), orniello (*Fraxinus ornus*) e acero minore (*Acer monspessulanum*). Sul versante sud-occidentale, dove affiora la roccia calcarea e in maggiori condizioni di aridità, sono presenti formazioni vegetazionali tipiche di aree di degrado a gariga basofila, caratterizzate dall'euforbia cespugliosa (*Euphorbia characias*) e dall'elicriso (*Helycrisum italicum*). Sono inoltre presenti formazioni prative di tipo mediterraneo di interesse prioritario ai sensi della Dir. 92/43/CEE (codice 6220, habitat prioritario) che coprono 5,2 ha, pari all'1,2% della Riserva. Le zone coltivate coprono 16 ettari, pari al 3,6% dell'area e sono rappresentate in prevalenza da mosaici colturali complessi alternati a oliveti. Rivestono un particolare interesse le viti "maritate", che utilizzano come

sostegno piante da frutto o alberi di piccola taglia. Le zone fortemente antropizzate (urbano e industriale, comprese le cave) coprono una superficie trascurabile (3,9 ettari, pari allo 0,87 % della superficie totale).

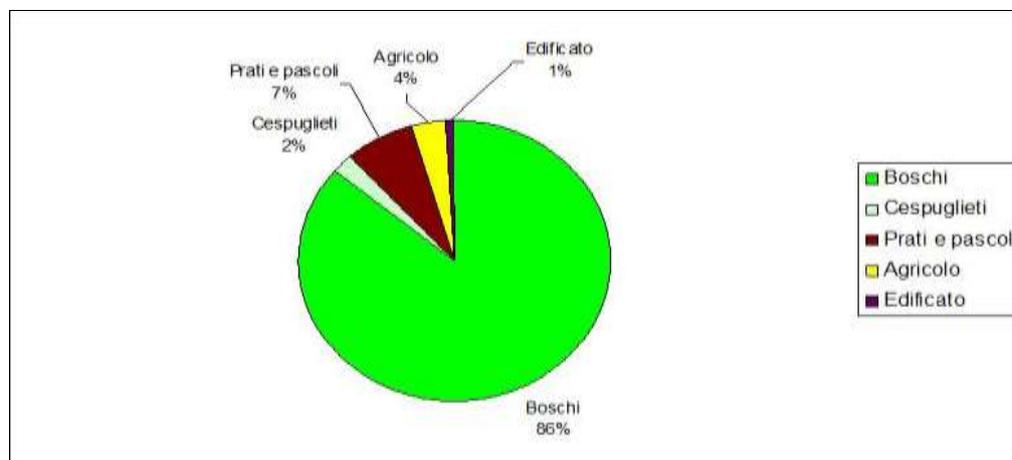


Figura 3: Copertura del Suolo del SIC/ZPS Monte Soratte

Questo lavoro rappresenta un primo contributo del Centro di Eccellenza ISPRA presso il GMEM-AMB (Gruppo Micologico Etruria Meridionale-Associazione Micologica Bresadola) per lo studio delle componenti micologiche della Riserva Naturale Monte Soratte, con titolo “*Elementi di pregio ecologico e indicatori di qualità ambientale come contributo al piano di gestione del Sito di Importanza Comunitaria “Monte Soratte IT 6030014”*”.

L’obiettivo principale di questo progetto è il monitoraggio della qualità ambientale e del grado di depauperamento del suolo delle macro e microaree esaminate. Lo studio delle componenti ecosistemiche con l’utilizzo di bioindicatori fungini, dovrà essere supportato dall’utilizzo di altri indicatori ecologici per avere un quadro completo della qualità ecosistemica del territorio. In questo modo saranno individuati più facilmente i fattori di degrado ambientale e si potrà intervenire per il ripristino del giusto grado di qualità ambientale della Riserva Naturale Monte Soratte.

5.3 Materiali e metodi

Sono state fatte tre principali operazioni preliminari: una mappatura completa della zona, una descrizione geologica e floristica dell’area e la divisione in tre macroaree, con criteri vegetazionali e di distribuzione delle essenze arboree. All’interno delle tre macroaree, sono state individuate le cinque stazioni o microaree scelte per i campionamenti: **Fondo di S. Silvestro**; **Monte Piccolo**; **Santa Romana**; **Monte Vilicone** e **Morra del Preteto** che riflettono la realtà fitogeografica della vegetazione potenziale della Riserva Naturale Monte Soratte. Successivamente è stato eseguito un censimento della flora micologica, con osservazione e raccolta di tutti i funghi e classificazione in campo o in laboratorio. Il periodo di censimento si è protratto dall’inizio dell’autunno 2011 a tutta la primavera 2012 con uscite sul campo e riconoscimento macroscopico e microscopico dei macromiceti censiti. Per eseguire una precisa

classificazione, elemento fondamentale per raccogliere dati precisi, è doveroso avere un'ottima conoscenza della flora micologica ed un codice di nomenclatura di riferimento aggiornato. Inoltre in alcuni casi l'osservazione macroscopica non è sufficiente ed è d'obbligo l'utilizzo della microscopia che permette, tramite il riconoscimento della morfologia sporale, la classificazione corretta di una specie. Successivamente sono state stilate tre liste di miceti per ogni macroarea di riferimento.

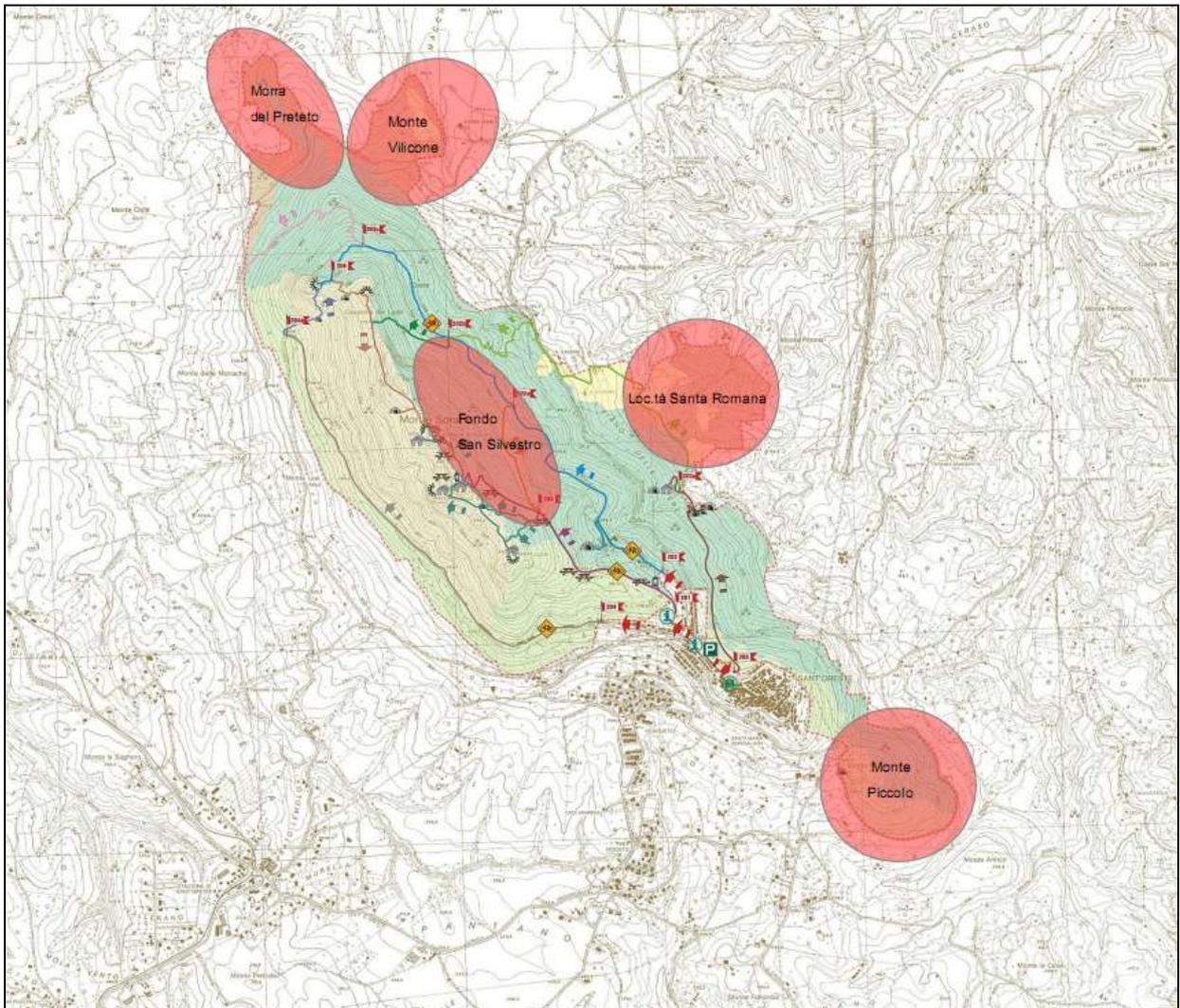


Figura 4: Aree individuate per i campionamenti

5.4 Risultati

La prima macroarea denominata “Lecceta supramediterranea” è caratterizzata dalla dominanza di leccete mesofile, che si differenziano dalle leccete costiere per la consistente presenza di elementi di caducifoglie. È da evidenziare la presenza di *Acer monspessulanum*, quale elemento di spicco rispetto alle leccete a carattere più decisamente mediterraneo, tipiche del litorale e come collegamento con le leccete miste a carattere più mesofilo, caratteristiche delle zone più interne. La specie dominante è *Quercus ilex* mentre le specie codominanti sono *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia*, *Acer monspessulanum*. Le stazioni individuate sono **Fondo di S. Silvestro**, **Monte Piccolo**, **Morra del Preteto**. Nelle tre stazioni sono state rinvenute in totale **46 specie fungine**: **44 Basidiomycetes** (2 *Phragmobasidiomycetidae*; 2 *Hymenomycetidae*; 1 *Aphyllorphomycetidae*; 1 *Gastromycetidae*) e **2 Ascomycetes**.

Tabella 1

Specie	Nome attuale dell'Index Fungorum (http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp)	Fondo di S.Silvestro	Monte Piccolo	Morra del Preteto
<i>Scenidium nitidum</i> (Durieu & Mont.) Kuntze	<i>Hexagonia nitida</i> Durieu & Mont.	*		*
<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.	<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.	*		
<i>Clitocybe geotropa</i> (Bull.) Quél.	<i>Infundibulicybe geotropa</i> (Bull.) Harmaja	*		
<i>Clitocybe gibba</i> (Pers.) P. Kumm.	<i>Clitocybe gibba</i> (Pers.) P. Kumm.	*		
<i>Clitocybe nebularis</i> (Batsch) P. Kumm.	<i>Clitocybe nebularis</i> (Batsch) P. Kumm.	*		
<i>Collybia fusipes</i> (Bull.) Quél.	<i>Gymnopus fusipes</i> (Bull.) Gray	*		
<i>Cortinarius subcompactus</i> Rob. Henry	<i>Cortinarius subcompactus</i> Rob. Henry	*		
<i>Hydnum repandum</i> L.	<i>Hydnum repandum</i> L.	*		
<i>Hygrophorus cossus</i> (Sowerby) Fr.	<i>Hygrophorus cossus</i> (Sowerby) Fr.	*		
<i>Hygrophorus russula</i> (Schaeff.) Kauffman	<i>Hygrophorus russula</i> (Schaeff.) Kauffman	*		
<i>Leccinum lepidum</i> (H. Bouchet ex Essette) Bon & Contu 1985	<i>Leccinellum lepidum</i> (H. Bouchet ex Essette) Bresinsky & Manfr. Binder	*		
<i>Lepista flaccida</i> (Sowerby) Pat.	<i>Lepista flaccida</i> (Sowerby) Pat.	*		
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	*		
<i>Lepista sordida</i> (Schumach.) Singer	<i>Lepista sordida</i> (Schumach.) Singer	*		
<i>Mycena rosea</i> Gramberg	<i>Mycena rosea</i> Gramberg	*		
<i>Oudemansiella radicata</i> (Relhan) Singer	<i>Xerula radicata</i> (Relhan) Dörfelt	*		
<i>Clathrus ruber</i> P. Micheli ex Pers.	<i>Clathrus ruber</i> P. Micheli ex Pers.		*	*
<i>Phellinus torulosus</i> (Pers.) Bourdot & Galzin	<i>Fuscoporia torulosa</i> (Pers.) T. Wagner & M. Fisch.		*	*
<i>Vuilleminia comedens</i> (Nees) Maire	<i>Vuilleminia comedens</i> (Nees) Maire		*	*
<i>Amanita vaginata</i> (Bull.) Lam.	<i>Amanita vaginata</i> (Bull.) Lam.		*	
<i>Auricularia mesenterica</i>	<i>Auricularia mesenterica</i> (Dicks.) Pers.		*	

(Dicks.) Pers.				
<i>Clavaria vermicularis</i> Sw.	<i>Clavaria fragilis</i> Holmsk.		*	
<i>Coprinus disseminatus</i> (Pers.) Gray	<i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E. Lange		*	
<i>Coprinus micaceus</i> (Bull.) Fr.	<i>Coprinellus micaceus</i> (Bull.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson		*	
<i>Cortinarius infractus</i> (Pers.) Fr.	<i>Cortinarius infractus</i> (Pers.) Fr.		*	
<i>Cuphophyllus borealis</i> (Peck) Bon	<i>Cuphophyllus borealis</i> (Peck) Bon		*	
<i>Diatrype stigma</i> (Hoffm.) Fr.	<i>Diatrype stigma</i> (Hoffm.) Fr.		*	
<i>Entoloma sepium</i> (Noulet & Dass.) Richon & Roze	<i>Entoloma sepium</i> (Noulet & Dass.) Richon & Roze		*	
<i>Hapalopilus rutilans</i> (Pers.) P. Karst.	<i>Hapalopilus rutilans</i> (Pers.) P. Karst.		*	
<i>Hypholoma fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm.	<i>Hypholoma fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm.		*	
<i>Merulioopsis corium</i> (Pers.) Ginns	<i>Byssomerulius corium</i> (Pers.) Parmasto		*	
<i>Mycena meliigena</i> (Berk. & Cooke) Sacc.	<i>Mycena meliigena</i> (Berk. & Cooke) Sacc.		*	
<i>Polyporus tuberaster</i> (Jacq. ex Pers.) Fr.	<i>Polyporus tuberaster</i> (Jacq. ex Pers.) Fr.		*	
<i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) Maire	<i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) Maire		*	
<i>Psathyrella lacrymabunda</i> (Bull.) M.M. Moser	<i>Lacrymaria lacrymabunda</i> (Bull.) Pat.		*	
<i>Russula vesca</i> Fr.	<i>Russula vesca</i> Fr.		*	
<i>Stereum gausapatum</i> (Fr.) Fr.	<i>Stereum gausapatum</i> (Fr.) Fr.		*	
<i>Stereum subtomentosum</i> Pouzar	<i>Stereum subtomentosum</i> Pouzar		*	
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd	<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd		*	
<i>Tremella mesenterica</i> Retz.	<i>Tremella mesenterica</i> Retz.		*	
<i>Agrocybe aegerita</i> (V. Brig.) Singer	<i>Agrocybe cylindracea</i> (DC.) Maire			*
<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat.	<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat.			*
<i>Micromphale foetidum</i> (Sowerby) Singer	<i>Gymnopus foetidus</i> (Sowerby) J.L. Mata & R.H. Petersen			*
<i>Peziza phyllogena</i> Cooke	<i>Peziza phyllogena</i> Cooke			*
<i>Pluteus murinus</i> Bres.	<i>Pluteus ephebeus</i> (Fr.) Gillet			*
<i>Schizopora paradoxa</i> (Schrad.) Donk	<i>Schizopora paradoxa</i> (Schrad.) Donk			*

La seconda macroarea è stata denominata “Cerreta submediterranea” è caratterizzata da formazioni forestali dominate da *Quercus cerris* a carattere submediterraneo. Si tratta di tipologie forestali diffuse dei piani supramediterraneo, montano e, localmente, mesomediterraneo dell’Italia centro-meridionale su substrati silicei e calcarei. La specie dominante è *Quercus cerris* mentre le specie codominanti sono *Carpinus orientalis*, *Fraxinus ornus*., *Ostrya carpinifolia*, *Quercus pubescens*. Le Stazioni di campionamento sono **Santa Romana** e **Monte Vilicone**. Nelle due stazioni sono state rinvenute in totale **82 specie fungine**, 77 *Basidiomycetes* (1 *Phragmobasidiomycetidae*; 55 *Hymenomycetidae*; 19 *Aphylloromycetidae*; 2 *Gastromycetidae*); 4 *Ascomycetes* e 1 *Mixomycetes*. La stazione Monte Vilicone è molto meno ricca di specie.

Tabella 2

Specie	Nome attuale dell'Index Fungorum (http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp)	Santa Romana	Monte Vilibicone
<i>Diatrype stigma</i> (Hoffm.) Fr.	<i>Diatrype stigma</i> (Hoffm.) Fr.	*	*
<i>Meruliopsis corium</i> (Pers.) Ginns	<i>Byssomerulius corium</i> (Pers.) Parmasto	*	*
<i>Vuilleminia comedens</i> (Nees) Maire	<i>Vuilleminia comedens</i> (Nees) Maire	*	*
<i>Agaricus praeclaresquamosus</i> var. <i>praeclaresquamosus</i> A.E. Freeman	<i>Agaricus moelleri</i> Wasser	*	
<i>Agaricus xanthodermus</i> Genev.	<i>Agaricus xanthodermus</i> Genev.	*	
<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.	<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.	*	
<i>Bisporella citrina</i> (Batsch) Korf & S.E. Carp.	<i>Bisporella citrina</i> (Batsch) Korf & S.E. Carp.	*	
<i>Bovista dermoxantha</i> (Vittad.) De Toni	<i>Lycoperdon dermoxanthum</i> Vittad.	*	
<i>Calocybe carnea</i> (Bull.) Kühner	<i>Rugosomyces carneus</i> (Bull.) Bon	*	
<i>Cerocorticium molare</i> (Chaillet ex Fr.) Jülich & Stalpers	<i>Radulomyces molaris</i> (Chaillet ex Fr.) M.P. Christ.	*	
<i>Clitocybe geotropa</i> (Bull.) Quéf.	<i>Infundibulicybe geotropa</i> (Bull.) Harmaja	*	
<i>Clitocybe gibba</i> (Pers.) P. Kumm.	<i>Clitocybe gibba</i> (Pers.) P. Kumm.	*	
<i>Clitocybe nebularis</i> (Batsch) P. Kumm.	<i>Clitocybe nebularis</i> (Batsch) P. Kumm.	*	
<i>Clitocybe odora</i> (Bull.) P. Kumm.	<i>Clitocybe odora</i> (Bull.) P. Kumm.	*	
<i>Clitocybe phaeophthalma</i> (Pers.) Kuyper	<i>Clitocybe phaeophthalma</i> (Pers.) Kuyper	*	
<i>Collybia butyracea</i> (Bull.) P. Kumm.	<i>Rhodocollybia butyracea</i> (Bull.) Lennox	*	
<i>Collybia butyracea</i> var. <i>asema</i> (Fr.) Cetto	<i>Rhodocollybia butyracea</i> (Bull.) Lennox	*	
<i>Collybia dryophila</i> (Bull.) P. Kumm.	<i>Gymnopus dryophilus</i> (Bull.) Murrill	*	
<i>Collybia kuehneriana</i> Singer	<i>Gymnopus erythropus</i> (Pers.) Antonín, Halling & Noordel.	*	
<i>Comatricha laxa</i> Rostaf.	<i>Comatricha laxa</i> Rostaf.	*	
<i>Coprinus micaceus</i> (Bull.) Fr.	<i>Coprinellus micaceus</i> (Bull.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson	*	
<i>Coprinus picaceus</i> (Bull.) Gray	<i>Coprinopsis picacea</i> (Bull.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo	*	
<i>Coprinus plicatilis</i> (Curtis) Fr.	<i>Parasola plicatilis</i> (Curtis) Redhead, Vilgalys & Hopple	*	
<i>Coprinus radians</i> (Desm.) Fr.	<i>Coprinellus radians</i> (Desm.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson	*	

<i>Corticium coeruleum</i> (Lam.) Fr.	<i>Terana coerulea</i> (Lam.) Kuntze	*	
<i>Crepidotus variabilis</i> (Pers.) P. Kumm.	<i>Crepidotus variabilis</i> (Pers.) P. Kumm.	*	
<i>Dichomitus campestris</i> (Quél.) Domański & Orlicz	<i>Dichomitus campestris</i> (Quél.) Domański & Orlicz	*	
<i>Entoloma lividoalbum</i> (Kühner & Romagn.) Kubička	<i>Entoloma lividoalbum</i> (Kühner & Romagn.) Kubička	*	
<i>Entoloma nidorosum</i> (Fr.) Quél.	<i>Entoloma rhodopolium</i> (Fr.) P. Kumm.	*	
<i>Entoloma sordidulum</i> (Kühner & Romagn.) P.D. Orton	<i>Entoloma sordidulum</i> (Kühner & Romagn.) P.D. Orton	*	
<i>Exidia glandulosa</i> (Bull.) Fr.	<i>Exidia glandulosa</i> (Bull.) Fr.	*	
<i>Fomes fomentarius</i> (L.) J. Kickx f.	<i>Fomes fomentarius</i> (L.) J. Kickx f.	*	
<i>Hapalopilus rutilans</i> (Pers.) P. Karst.	<i>Hapalopilus rutilans</i> (Pers.) P. Karst.	*	
<i>Helvella acetabulum</i> (L.) Quél.	<i>Helvella acetabulum</i> (L.) Quél.	*	
<i>Hydnum repandum</i> L.	<i>Hydnum repandum</i> L.	*	
<i>Hydnum rufescens</i> Pers.	<i>Hydnum rufescens</i> Pers.	*	
<i>Hygrophorus cossus</i> (Sowerby) Fr.	<i>Hygrophorus cossus</i> (Sowerby) Fr.	*	
<i>Hygrophorus russula</i> (Schaeff.) Kauffman	<i>Hygrophorus russula</i> (Schaeff.) Kauffman	*	
<i>Inocybe godeyi</i> Gillet	<i>Inocybe godeyi</i> Gillet	*	
<i>Lactarius chrysorrheus</i> Fr.	<i>Lactarius chrysorrheus</i> Fr.	*	
<i>Lactarius mairei</i> Malençon	<i>Lactarius mairei</i> Malençon	*	
<i>Leccinum lepidum</i> (H. Bouchet ex Essette) Bon & Contu 1985	<i>Leccinellum lepidum</i> (H. Bouchet ex Essette) Bresinsky & Manfr. Binder	*	
<i>Lentinellus micheneri</i> (Berk. & M.A. Curtis) Pegler	<i>Lentinellus micheneri</i> (Berk. & M.A. Curtis) Pegler	*	
<i>Lepiota clypeolaria</i> (Bull.) P. Kumm.	<i>Lepiota clypeolaria</i> (Bull.) P. Kumm.	*	
<i>Lepiota cristata</i> (Bolton) P. Kumm.	<i>Lepiota cristata</i> (Bolton) P. Kumm.	*	
<i>Lepiota josserandii</i> Bon & Boiffard	<i>Lepiota subincarnata</i> J.E. Lange	*	
<i>Lepista flaccida</i> (Sowerby) Pat.	<i>Lepista flaccida</i> (Sowerby) Pat.	*	
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	*	
<i>Leucopaxillus amarus</i> (Alb. & Schwein.) Kühner	<i>Leucopaxillus gentianeus</i> (Quél.) Kotl.	*	
<i>Lycoperdon molle</i> Pers.	<i>Lycoperdon molle</i> Pers.	*	
<i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer	<i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer	*	
<i>Megacollybia platyphylla</i> (Pers.) Kotl. &	<i>Megacollybia platyphylla</i> (Pers.) Kotl. & Pouzar	*	

Pouzar			
<i>Melanoleuca melaleuca</i> (Pers.) Murrill	<i>Melanoleuca melaleuca</i> (Pers.) Murrill	*	
<i>Mycena acicula</i> (Schaeff.) P. Kumm.	<i>Mycena acicula</i> (Schaeff.) P. Kumm.	*	
<i>Mycena haematopus</i> (Pers.) P. Kumm.	<i>Mycena haematopus</i> (Pers.) P. Kumm.	*	
<i>Mycena pelianthina</i> (Fr.) Quél.	<i>Mycena pelianthina</i> (Fr.) Quél.	*	
<i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm.	<i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm.	*	
<i>Mycena rosea</i> Gramberg	<i>Mycena rosea</i> Gramberg	*	
<i>Mycena vitilis</i> (Fr.) Quél.	<i>Mycena vitilis</i> (Fr.) Quél.	*	
<i>Omphalotus olearius</i> (DC.) Singer	<i>Omphalotus olearius</i> (DC.) Singer	*	
<i>Peniophora incarnata</i> (Pers.) P. Karst.	<i>Peniophora incarnata</i> (Pers.) P. Karst.	*	
<i>Peniophora quercina</i> (Pers.) Cooke	<i>Peniophora quercina</i> (Pers.) Cooke	*	
<i>Phanerochaete laevis</i> (Fr.) J. Erikss. & Ryvarden	<i>Phanerochaete laevis</i> (Fr.) J. Erikss. & Ryvarden	*	
<i>Phellinus torulosus</i> (Pers.) Bourdot & Galzin	<i>Fuscoporia torulosa</i> (Pers.) T. Wagner & M. Fisch.	*	
<i>Pluteus nanus</i> (Pers.) P. Kumm.	<i>Pluteus nanus</i> (Pers.) P. Kumm.	*	
<i>Pluteus salicinus</i> (Pers.) P. Kumm.	<i>Pluteus salicinus</i> (Pers.) P. Kumm.	*	
<i>Polyporus tuberaster</i> (Jacq. ex Pers.) Fr.	<i>Polyporus tuberaster</i> (Jacq. ex Pers.) Fr.	*	
<i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) Maire	<i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) Maire	*	
<i>Psathyrella conopilus</i> (Fr.) A. Pearson & Dennis	<i>Parasola conopilus</i> (Fr.) Örstadius & E. Larss.	*	
<i>Resupinatus applicatus</i> (Batsch) Gray	<i>Resupinatus applicatus</i> (Batsch) Gray	*	
<i>Russula grisea</i> Fr.	<i>Russula grisea</i> Fr.	*	
<i>Scenidium nitidum</i> (Durieu & Mont.) Kuntze	<i>Hexagonia nitida</i> Durieu & Mont.	*	
<i>Schizopora paradoxa</i> (Schrad.) Donk	<i>Schizopora paradoxa</i> (Schrad.) Donk	*	
<i>Stereum gausapatum</i> (Fr.) Fr.	<i>Stereum gausapatum</i> (Fr.) Fr.	*	
<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	*	
<i>Stereum subtomentosum</i> Pouzar	<i>Stereum subtomentosum</i> Pouzar	*	
<i>Tarzetta catinus</i> (Holmsk.) Korf & J.K. Rogers	<i>Tarzetta catinus</i> (Holmsk.) Korf & J.K. Rogers	*	
<i>Tricholoma sculpturatum</i> (Fr.) Quél.	<i>Tricholoma sculpturatum</i> (Fr.) Quél.	*	
<i>Tubaria hiemalis</i> Romagn. ex Bon	<i>Tubaria furfuracea</i> (Pers.) Gillet	*	
<i>Tubaria romagnesiana</i> Arnolds	<i>Tubaria romagnesiana</i> Arnolds	*	
<i>Pluteus murinus</i> Bres.	<i>Pluteus ephebeus</i> (Fr.) Gillet		*

<i>Micromphale foetidum</i> (Sowerby) Singer	<i>Gymnopus foetidus</i> (Sowerby) J.L. Mata & R.H. Petersen		*
--	--	--	---

La terza macroarea è stata denominata “Prateria mediterranea” e si estende sulla cresta del monte a mosaico con le garighe a *Helichrysum* del versante orientale e con le formazioni a *Phyllirea*, *Spartium* e *Rubus* del versante occidentale; consiste in prati mediterranei riferibili ai Thero-Brachypodietea. Si tratta di un habitat prioritario secondo la Direttiva CEE/92/43 che include le comunità mediterranee erbacee ad annuali a fenologia primaverile di Francia, Penisola Iberica e Italia. Le specie guida sono *Bupleurum baldense*, *Campanula erinus*, *Crucianella latifolia* L., *Erophila verna*, *Hypochaeris achyrophorus*, *Minuartia hybridam* *Plantago psyllium*, *Saxifraga tridactylites*, *Trifolium scabrum*, *Valantia muralis*, *Valerianella discoidea*, *Velezia rigida*. Le stazioni di campionamento sono **Santa Romana**, **Monte Piccolo**, in totale sono state rinvenute **9 specie fungine: 9 Basidiomycetes** (7 *Hymenomycetidae*; 2 *Gastromycetidae*).

Tabella 3

Specie	Nome attuale nell'Index Fungorum (http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp)	Santa Romana	Monte Piccolo
<i>Agaricus bresadolanus</i> Bohus	<i>Agaricus bresadolanus</i> Bohus	*	
<i>Agaricus campestris</i> var. <i>squamulosus</i> (Rea) Pilát	<i>Agaricus campestris</i> L., var. <i>campestris</i>	*	
<i>Bovista plumbea</i> Pers.	<i>Bovista plumbea</i> Pers.	*	
<i>Clitocybe geotropa</i> (Bull.) Quél.	<i>Infundibulicybe geotropa</i> (Bull.) Harmaja	*	
<i>Macrolepiota excoriata</i> (Schaeff.) Wasser	<i>Macrolepiota excoriata</i> (Schaeff.) Wasser	*	
<i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.	<i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.	*	
<i>Vascellum pratense</i> (Pers.) Kreisel	<i>Lycoperdon pratense</i> Pers.	*	
<i>Volvariella gloiocephala</i> (DC.) Boekhout & Enderle	<i>Volvopluteus gloiocephalus</i> (DC.) Justo	*	
<i>Cuphophyllus borealis</i> (Peck) Bon	<i>Cuphophyllus borealis</i> (Peck) Bon		*

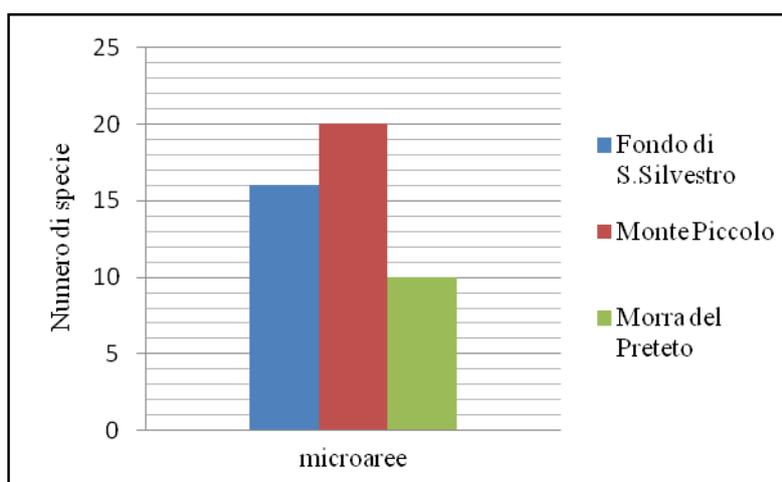
5.5 Confronto aree campione

Con i risultati ottenuti è possibile costruire un confronto della diversità di specie a vari livelli, tra le macroaree e le stazioni di una singola macroarea. La scelta di un parametro da rappresentare e analizzare per ogni grafico, garantisce un quadro completo della condizione ecosistemica, a piccola e grande scala, del territorio della Riserva Naturale Regionale “Monte Soratte”.

Nei grafici 1, 2 e 3 si pone in evidenza la diversità di ricchezza delle stazioni presenti all’interno delle macroaree di riferimento. Nel grafico 4 viene rappresentata la diversità totale delle singole macroaree a confronto.

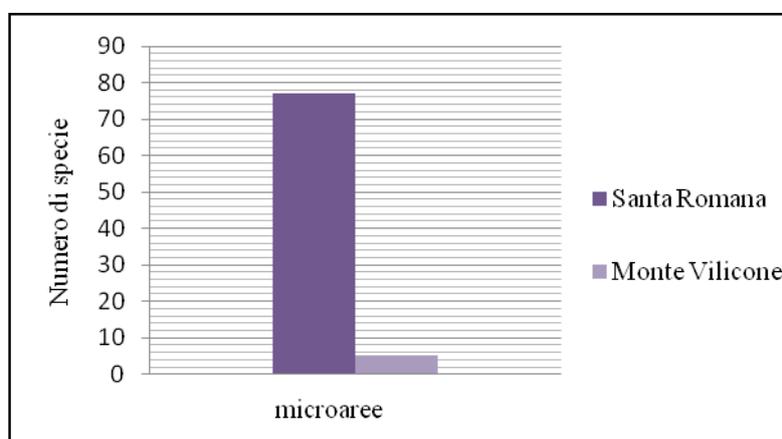
Nel grafico 5 e 6 viene confrontata la diversa distribuzione della flora micologica all’interno della tre macroaree: le specie fungine sono state divise in base alla modalità di nutrimento, simbiosi, parassitismo e saprofitismo. Queste ultime due modalità di nutrimento risultano fondamentali per monitorare lo stato di salute ecosistemica.

Nel grafico 8 si definisce la salute delle principali specie arboree, interpretando la distribuzione di specie parassite presenti su ceppaie vive o morte, tronchi e rami a terra delle essenze arboree. Nel grafico 9 si fa riferimento alle specie indicatrici di “degrado in atto e degrado futuro del suolo e dell’ecosistema”, concentrandosi sulla presenza o assenza delle medesime all’interno delle macroaree.



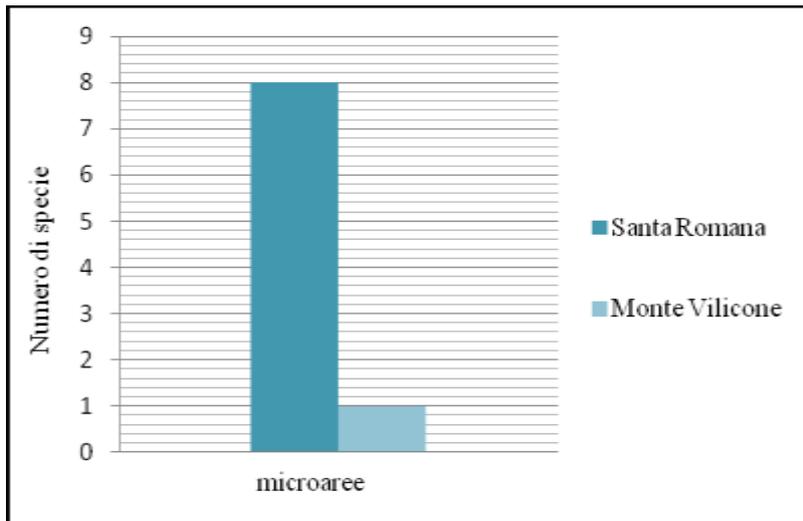
Leccete supramediterranee(x)	Specie(y)
Fondo di S.Silvestro	16
Monte Piccolo	20
Morre del Preteto	10
Totale	46

Grafico 1: Leccete supramediterranee



Cerrete submediterranee(x)	Specie(y)
Santa Romana	77
Monte Vilicone	5
Totale	82

Grafico 2: Cerrete submediterranee



Praterie mediterranee(x)	Specie(y)
Santa Romana	8
Monte Vilicone	1
Totale	9

Grafico 3: Praterie mediterranee

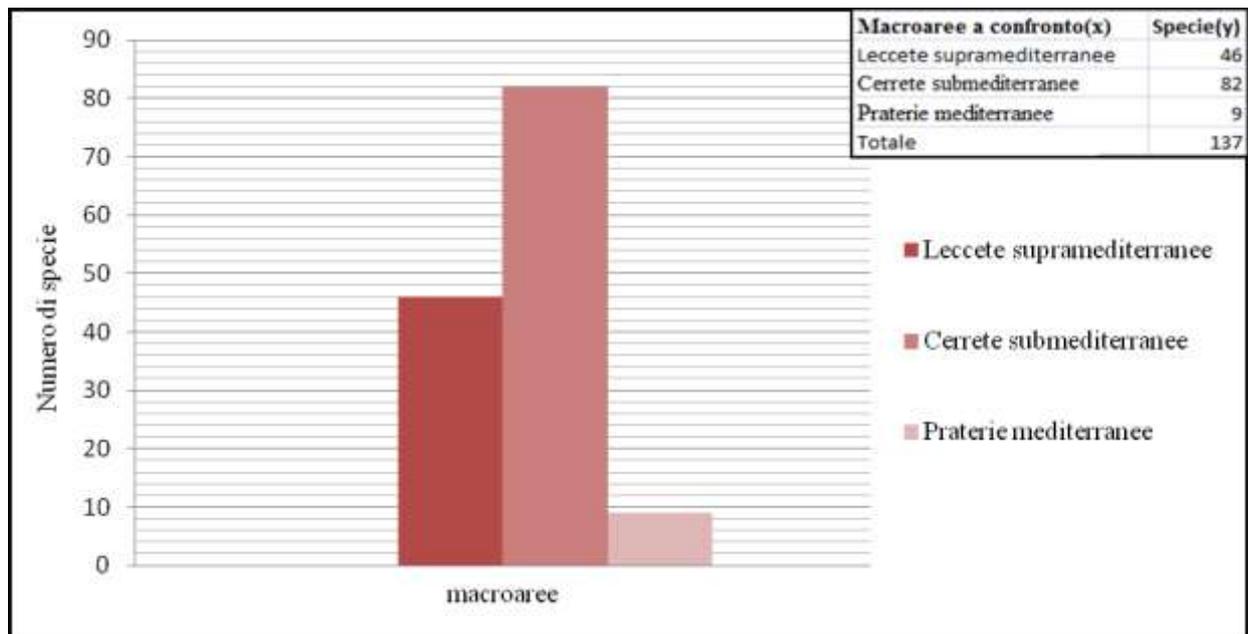


Grafico 4: Macroaree a confronto

I grafici 1, 2 e 3 evidenziano una marcata diversità micologica nelle cinque microaree.

Nel grafico 1 (Leccete supramediterranee) la ricchezza di specie è distribuita abbastanza uniformemente all'interno delle tre stazioni, denotando una condizione di equilibrio ecosistemico.

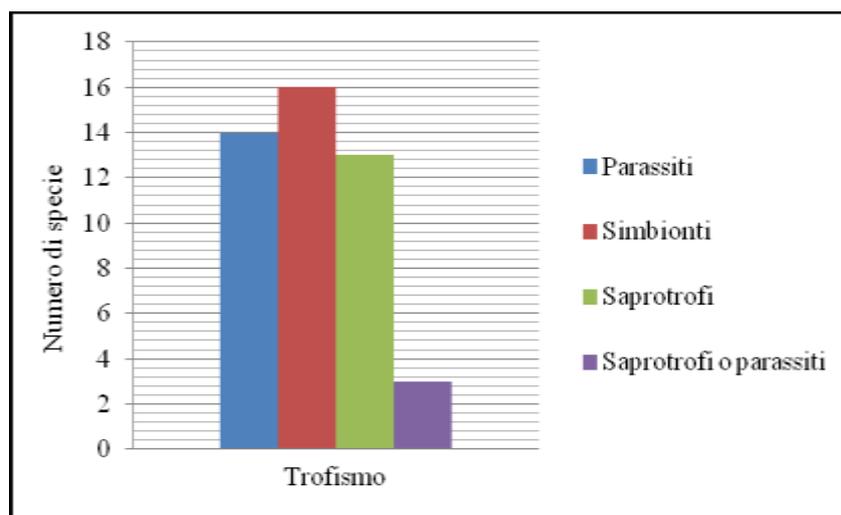
E' possibile affermare con certezza che le tre stazioni della macroarea delle Leccete supramediterranee hanno un grado di diversità biologica simile tra loro. Tuttavia non è possibile quantificare il grado di qualità ecologica della macroarea totale perchè l'indicatore dà un'informazione generale sul grado di salute ecosistemica dell'area studio, ma non fornisce ancora specifici parametri numerici in termini di ricchezza di specie per classificare un'area come in pessima, in buona o in ottima salute.

Nel grafico 2 (Cerrete submediterranee) e 3 (Praterie mediterranee) c'è un netto divario tra la ricchezza della flora micologica delle due stazioni. La microarea di Santa Romana presenta un elevato numero di specie mentre la microarea di Monte Vilicone registra un basso numero di specie censite.

In queste due macroaree il notevole contrasto di ricchezza micologica si traduce in diversità di habitat. La condizione di povertà micologica di Monte Vilicone è spiegabile dalla presenza prevalente, all'interno della stazione, delle Praterie mediterranee che sono fortemente degradate e presentano un limitata diversità di micro-habitat e nicchie ecologiche.

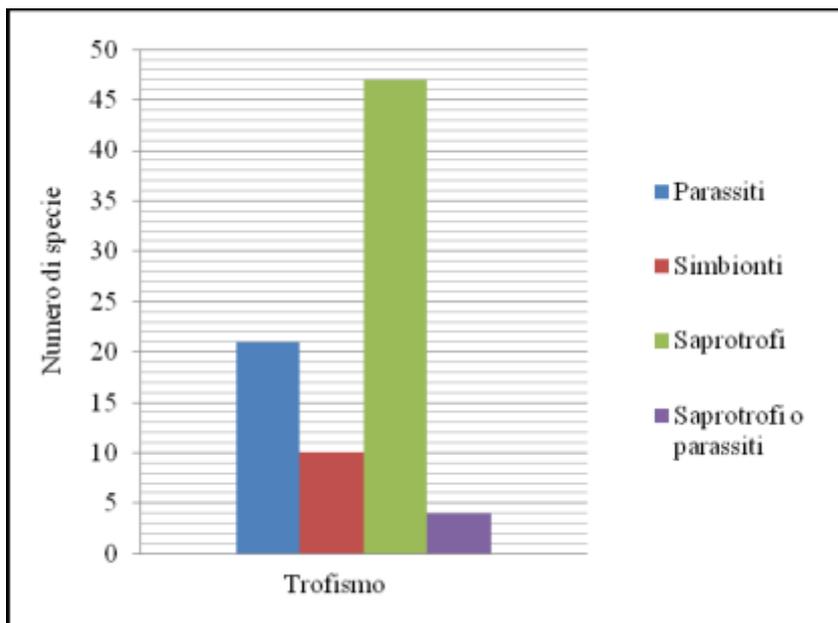
Nel grafico 4 è rappresentata la ricchezza delle singole macroaree: è possibile affermare che le Cerrete submediterranee possiedono un elevata diversità micologica rappresentata dal numero totale di specie censite all'interno della macroarea, nonostante la povertà di specie presenti nella stazione di Monte Vilicone. Questa ricchezza è traducibile in elevata diversità di micro-habitat, in quanto alla presenza di ogni specie corrispondono caratteristiche pedologiche e floristiche specifiche di un determinato habitat o micro-habitat.

Nelle Leccete submediterranee si registra un grado meno elevato di ricchezza micologica rispetto alle Cerrete submediterranee, mentre una condizione di estrema povertà è registrata nelle Praterie mediterranee dove il numero di specie è limitato a 9. La condizione di povertà micologica attribuibile alle Praterie mediterranee, è facilmente spiegabile dall'assenza di specie arboree che non permettono la crescita di miceti simbiotici e parassiti e al carico di ungulati e di cinghiali in eccesso che arano il soprassuolo, compresi i primi 5 cm di suolo naturale, sede principale dei funghi micorrizogeni così fortemente ridotti. Inoltre l' uniformità favorita dalla presenza delle specie erbacee non garantisce un elevata diversità di ambienti.



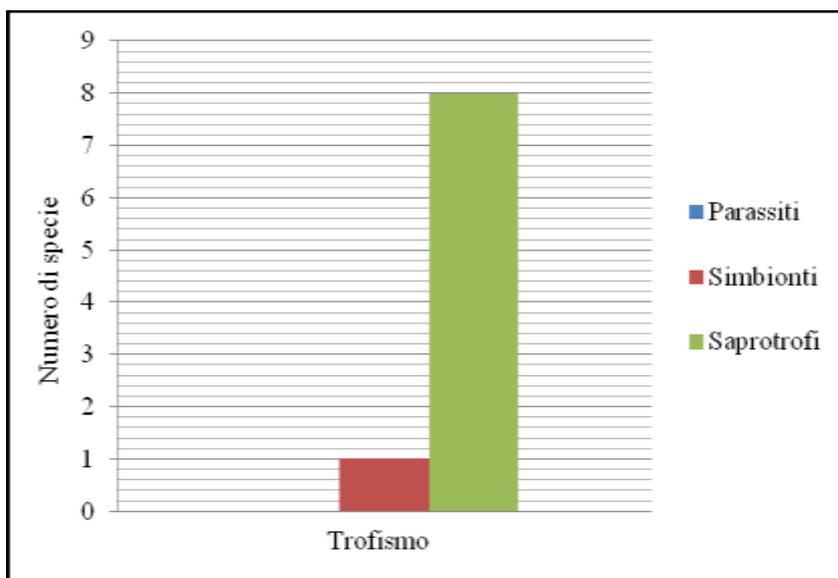
Trofismo(x)	Specie(y)
Parassiti	14
Simbionti	16
Saprofiti	13
Saprofiti o parassiti	3
Totale	46

Grafico 5: Leccete supramediterranee



Trofismo(x)	Specie(y)
Parassiti	21
Simbionti	10
Saprotrofi	47
Saprotrofi o parassiti	4
Totale	82

Grafico 6: Cerrete submediterranee



Trofismo(x)	Specie(y)
Parassiti	0
Simbionti	1
Saprotrofi	8
Totale	9

Grafico 7: Praterie mediterranee

Nel grafico 5, 6 e 7 sono rappresentate tutte le specie censite all'interno di ogni singola macroarea, divise per caratteri trofici, parassiti, saprotrofi e simbionti.

È stato utile dividere i micromiceti in queste categorie per monitorare efficacemente la salute delle essenze arboree e il grado di deperimento del suolo dell'area interessata.

Osservando i grafici è possibile affermare che la condizione trofica più diffusa è il saprofitismo, con circa il 52% delle specie censite totali. Detto questo, nella macroarea delle Cerrete submediterranee

l'eccessiva presenza di specie saprotrofe, dominanti rispetto alle altri classi trofiche, denota una condizione di elevata presenza di necromassa che evidenzia una stato di deperimento boschivo.

L'unica eccezione è rappresentata dalle Lecceete supramediterranee (grafico 5), dove il numero di specie saprotrofe non raggiunge il numero di specie di simbionti e parassite. In questa macroarea il problema si concentra sull' eccessiva presenza di queste ultime che competono con le simbionti per il maggior numero di individui tra le classi. La presenza di 14 specie parassite e di 3 specie parassite o saprotrofe a seconda delle condizioni ambientali, è rappresentativa di una condizione di diffuso deperimento ambientale e bassa qualità ecosistemica. Condizione che rimane stabile nonostante la discreta presenza di macrofunghi simbionti che testimoniano l'esistenza di almeno un nucleo di piante sane.

I miceti parassiti svolgono un importante funzione regolatrice all'interno di un ecosistema, attaccando alberi non sani e garantendo il ricambio vegetativo. In questo caso però quasi il 40% delle specie censite è parassita, solitamente in una zona boscata la percentuale dei miceti parassiti non supera il 20-30% quindi questa condizione è certamente valida per indicare una pessima salute delle piante arboree e una bassa qualità ambientale.

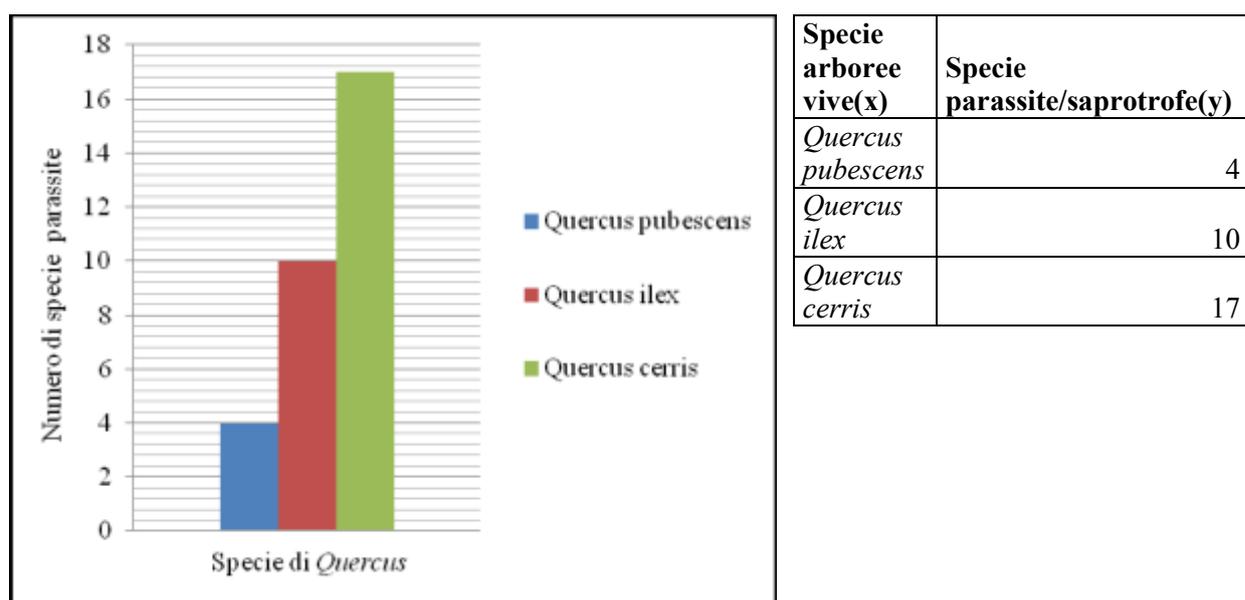


Grafico 8: Confronto specie di Quercus Riserva Naturale Monte Soratte

Nel grafico 8 sono state prese in considerazione sia le specie parassite propriamente dette sia le specie saprotrofe in grado di comportarsi da parassite. La flora micologica parassita è stata studiata su diversi individui vivi di 3 principali specie del genere *Quercus*. È possibile osservare che i miceti parassiti sono presenti in tutte le specie analizzate, in particolare *Quercus cerris* con 17 specie e *Quercus ilex* con 10 specie.

Quercus è il genere di essenze arborea più diffusa all'interno dell'area campione infatti caratterizza due delle tre macroaree censite. Tutte le specie di *Quercus* studiate presentano almeno 4 specie di parassiti

fungini fino ad un massimo di 17. Non abbiamo una situazione “normale” di riferimento per poter confrontare il numero di specie parassite di un bosco ben conservato con quelle di un bosco alterato.

Tuttavia, la condizione di spinto parassitismo nei confronti del genere *Quercus* è da considerarsi molto lontana da qualsiasi parametro di “normalità” poiché la presenza di parassiti in tutte le specie arboree analizzate e l’elevato numero totale dei parassiti presenti nell’area sono certamente indicatori di una bassa salute del bosco e di un degrado ecosistemico generale.

Indicatori di degrado in atto	Indicatori di degrado futuro
<i>Megacollybia platyphylla</i>	<i>Mycena rosea</i>
<i>Cerrena unicolor</i>	<i>Mycena pura</i>
<i>Coriolopsis gallica</i>	<i>Mycena pelianthina</i>
<i>Trametes trogii</i>	<i>Mycena galericulata</i>
<i>C. phaeophtalma</i>	<i>Mycena niveipes</i>
<i>Mutinus caninus</i>	<i>Mycena polygramma</i>
<i>Lycoperdon pyriforme</i>	<i>Mycena amicta</i>
<i>Clathrus ruber</i>	

Macroarea	Indicatori
Prateria	non presenta specie indicatrici
Cerrete submediterranee	<i>Mycena rosea</i> , <i>Mycena pura</i> , <i>Mycena pelianthina</i> , <i>Megacollybia platyphylla</i> , <i>C. phaeophtalma</i>
Leccete supramediterranee	<i>Mycena rosea</i> , <i>Clathrus ruber</i>

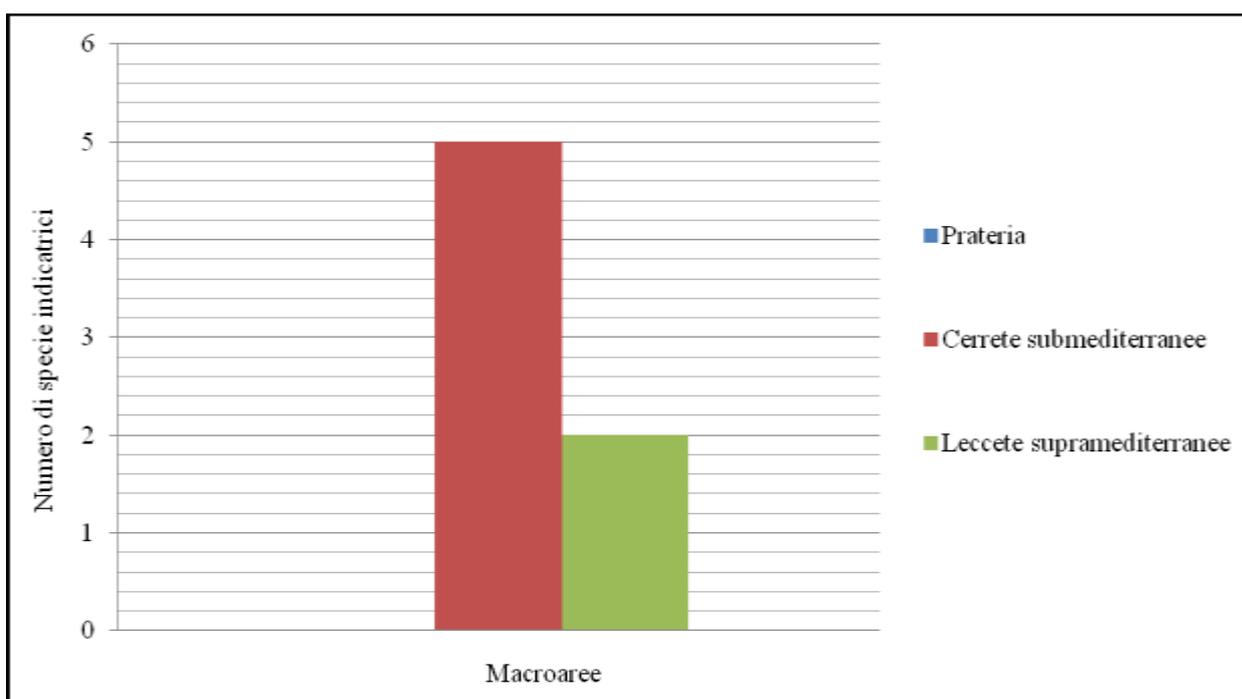


Grafico 9: Confronto macroaree con indicatori di degrado

Nel grafico 9 vengono prese in considerazione le specie indicatrici di degrado in atto e futuro che evidenziano un'alterazione ecosistemica. Questi macromiceti con la semplice presenza o meno, rappresentano uno strumento utile per definire la qualità di un ambiente naturale.

La situazione nelle tre macroaree è differente, nelle Cerrete submediterranee sono presenti 5 specie indicatrici di cui 2 indicatrici di degrado in atto e 3 di degrado futuro, nelle Lecceete supramediterranee le specie indicatrici sono 2, 1 indicatrice di degrado in atto e 1 di degrado futuro mentre nelle Praterie mediterranee non sono presenti specie indicatrici di processi di degrado.

La condizione delle Cerrete submediterranee rivela un sistema già degradato e un progressivo peggioramento della qualità del suolo e degli elementi ecosistemici. Nelle Lecceete supramediterranee lo stato ecosistemico è decisamente migliore ma è prevedibile un futuro peggioramento, in linea con la presenza di *Mycena rosea* che rappresenta il micete più affidabile tra gli indicatori di futuri processi di degrado.

Le Praterie mediterranee presentano un numero molto limitato di specie fungine, ma registrano una totale assenza di specie indicatrici di degrado. Nonostante quest'indicazione positiva rappresentano un'area con suolo e vegetazione fortemente degradata dall'eccessivo carico degli ungulati, in particolare dai cinghiali, specie in continuo aumento di popolazione.

Le due affermazioni precedenti creano un evidente contrasto tra l'assenza di indicatori fungini e una situazione reale di forte degrado, portando ad una riflessione obbligatoria. L'utilizzo dei macrofunghi come indicatori di qualità ecologica deve sempre considerare le problematiche ambientali e antropiche dell'area interessata. Gli indicatori possono dare informazioni non attendibili se non vengono considerate le dinamiche floristiche e faunistiche specifiche dell'area esaminata. Per avere informazioni valide infatti è fondamentale analizzare i casi specifici prima di proporre valutazioni errate.

6. Discussione



Amanita muscaria (L.: Fr.) Lam.; Regione Trentino Alto Adige; Luglio 2007; Foto di Andrea Pasetti

Lo scopo di questo lavoro preliminare sulla Riserva Naturale Monte Soratte è il monitoraggio della biodiversità e il controllo della qualità ecologica dell'area interessata che circonda numerosi habitat di interesse comunitario, SIC e ZPS che devono essere tutelati dall'erosione antropica.

La tutela di queste aree fondamentali per il mantenimento della biodiversità deve essere attuata con l'ausilio di diversi indici biologici per monitorare adeguatamente le differenti componenti ecosistemiche. Gli indicatori biologici utilizzati in questo lavoro sono i macromiceti che con la semplice presenza o assenza, e diversa modalità di trofismo caratterizzano il grado di salute dell'ecosistema.

Dagli studi di mappatura e censimento finora condotti nella Riserva Naturale Monte Soratte sulle componenti micologiche, emerge un quadro negativo per quanto riguarda la salute degli ecosistemi monitorati. La percentuale elevata di specie fungine parassite e/o saprofiti rinvenute, a discapito di quelle micorriziche, indica uno stato avanzato di "deperimento" degli ecosistemi studiati. Se si tiene conto del fatto che ogni apparato radicale di una pianta può legarsi contemporaneamente a 30-50 specie micorriziche diverse e che ciascuna è in grado di esprimere al meglio le proprie potenzialità soltanto in determinate condizioni ecologiche, fenologiche, pedologiche e microclimatiche, la bassa frequenza di sporofori di funghi micorrizogeni indica in generale un basso grado di adattabilità ai cambiamenti

ambientali da parte delle piante presenti. (Siniscalco *et al.*, 2011). La propensione degli sporofori di esprimere al meglio le loro potenzialità in particolari condizioni ecologiche, deve far riflettere sulla validità dell'informazione fornita dagli indicatori anche in base alle caratteristiche ambientali dell'area in esame, è possibile quindi registrare in alcune aree l'assenza di elevate quantità di specie micorriziche semplicemente per la non presenza di specifici fattori ecologici. Quindi è consigliabile considerare caso per caso per avere delle indicazioni valide sulla salute ecosistemica. Inoltre il perdurare di fattori avversi, come ad esempio la siccità, innesca meccanismi a catena con la conseguente progressiva perdita di capacità degli alberi di selezionare i simbionti micorrizici più efficienti a vantaggio di altri meno efficienti.

Quest'ultimi selezionati dalle nuove condizioni ambientali sono meno adatti dei simbionti che le piante selezionerebbero naturalmente, questa variazione è certamente negativa e incide sulla sopravvivenza della pianta, diminuendo il suo potenziale fisiologico.

Questo quadro è avvalorato dalla rilevata presenza di specie fungine indicatrici di futuri processi di degrado, come ad esempio *Mycena pura* e *Mycena rosea*, in particolare nei boschi di cerro submediterranei della località di studio. Tali specie indicano indirettamente la presenza di altre specie fungine con funzione di degradatori primari, che dai nostri rilievi già risultano in fase di fruttificazione (*Fomes fomentarius*; *Ganoderma applanatum*; *Phellinus torulosus*; *Scenidium nitidum*; ecc.). Pertanto, già da questi primi risultati si può affermare che le cenosi della Riserva Naturale Monte Soratte sono in una fase di degrado già molto avanzata, come testimonia ulteriormente la presenza di *Megacollybia platyphylla* sempre nella stazione di Santa Romana. Altre specie fungine, appartenenti alla *Subclasse* *Gastromycetidae* (*Lycoperdaceae* Corda e *Clathraceae* E. Fisch) presenti nelle aree di Monte Piccolo, Morra del Preteto e Santa Romana, confermano ulteriormente quanto affermato (Siniscalco *et al.*, 2011). Il quadro critico tracciato è certamente indicativo della situazione in atto ma non del tutto completo in quanto dovranno esser considerate le altre componenti ecosistemiche, fauna e flora con l'applicazione di altri indici ecologici. Quando il quadro ecologico verrà definito correttamente, sarà possibile individuare i fattori che hanno portato alla condizione odierna e intervenire, ove è possibile, per migliorare la qualità ambientale. I fattori determinanti nel processo di degrado ambientale e depauperamento del suolo, sono certamente imputabili alla presenza umana, è da valutare però il grado di impatto e l'utilità sociale dell'interventi umani prima di proporre modifiche.

A ridosso delle pendici del Monte Soratte e nelle aree limitrofe sono presenti aree agricole e centri urbani; l'azione umana nelle aree della riserva è regolamentata con diverse restrizioni, nonostante questo, l'effetto margine è presente a partire dalle aree più periferiche, lo testimonia l'estinzione locale di lupo presente nel recente passato. "Del lupo si hanno indizi di presenza fino alla prima metà del secolo scorso. La specie scomparve localmente attraverso la persecuzione diretta (taglia sui lupi) e l'abbattimento delle aree forestali"(Battisti, 1997).

Per quanto riguarda la flora, secondo uno studio condotto dal Centro di Eccellenza ISPRA per lo studio delle componenti di biodiversità del suolo presso il CSB del GMEM-AMB sulle cerrete laziali, è

possibile ipotizzare un'errata gestione di questi delicati ambienti. I turni molto brevi di ceduzione (frequenza del taglio a ceduo), a cui sono sottoposte le cerrete laziali, inducono uno stato di degrado eccessivo indicato da quelle specie fungine che sono presenti anche nelle praterie e nei margini forestali. In base a questi risultati si auspicano urgenti politiche locali di salvaguardia delle cerrete laziali ("91M0 Foreste Pannonico-Balcaniche di cerro e rovere"), considerate habitat di interesse comunitario ai sensi della direttiva habitat 92/43/CEE. Questo studio è stato utile non solo per il monitoraggio della biodiversità di una area naturale protetta, ma anche per permettere l'applicazione di un sistema innovativo come la bioindicazione con i macrofunghi. Un metodo per esser riconosciuto deve garantire un'applicazione ad ampia scala, ed è proprio questo l'obiettivo dei Centri d'Eccellenza del Progetto Speciale Funghi che hanno proposto un piano progettuale in risposta al bisogno di protezione della qualità del suolo e all'incremento delle conoscenze sulla biodiversità dei suoli italiani ("Progetto Speciale Funghi" dell'ISPRA, 2011).

Il monitoraggio del grado di biodiversità del suolo costituisce un elemento essenziale per l'individuazione precoce di una possibile alterazione (nella maggior parte dei casi peggiorativa) e per permettere l'adozione di idonee misure di contenimento del peggioramento stesso (Gardi et al., 2009).

I risultati ottenuti da questo studio sulla flora micologica hanno permesso di stilare un check-list delle specie presenti e della loro diversità di distribuzione a seconda degli habitat di sopravvivenza. Il grado di variabilità della flora micologica, l'elevata adattabilità a numerosi ambienti e la diversità di trofismo specie-specifico di questi organismi contribuisce a classificarli come potenziali ottimi indicatori di qualità ecologica.

Con l'utilizzo di alcuni bioindicatori:

- *funghi come indicatori di diversità di habitat;*
- *funghi indicatori di degrado già in atto;*
- *funghi indicatori di degrado futuro;*

è stato possibile inquadrare la condizione ecosistemica dell'area studio ponendo così le basi per un lavoro di monitoraggio integrativo per completare la conoscenza delle componenti ecologiche e del grado di qualità ambientale della Riserva Naturale Monte Soratte. L'integrazione del monitoraggio potrebbe avvenire in futuro con l'utilizzo del "*fungo di riferimento*", strumento utile per conoscere e controllare la quantità di sostanze chimiche tossiche e non, accumulate dai miceti bioaccumulatori. L'indicazione fornita dal *reference mushrooms* è un'indicazione molto valida poiché supportata da dati numerici ottenuti con analisi chimiche. Il risultato permette di individuare le principali problematiche legate all'accumulo di metalli pesanti nel suolo e determinare le cause di questo fenomeno nell'ambiente. Avere un quadro ecosistemico completo è utile per l'individuazione dei fattori che erodono la biodiversità e permette di intervenire attivamente sui processi a maggior impatto per il ripristino dell'equilibrio naturale.

Bibliografia

- Abbate G., Avena G.C., Blasi C., Veri L., 1981 - Studio delle tipologie fitosociologiche del Monte Soratte (Lazio) e loro contributo nella definizione fitogeografica dei complessi vegetazionali centro-appenninici. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche (Collana del Programma finalizzato Promozione della qualità dell'ambiente) AQ-1-125. - BNI IT S9-8298, p. 41.
- Abuzinadah RA., Read DJ., 1989 - The role of proteins in the nitrose nutrition of ectomycorrhizal plants. V. Nitrogen transfer in birch, *Betula pendula* L. grown in association with mycorrhizal and non mycorrhizal fungi. "New Phytologist", n.112, p. 61-68.
- Battisti C., 1997 - Piani di assetto aree naturali protette di interesse provinciale (L.R. Lazio 29/97) Riserva naturale "Monte Soratte".
- Bencivenga M., Calandra R., Giovagnotti E., Russi L., 1996. - Aspetti pedologici e vegetazionali delle tartufaie di alcune specie di "tartufi minori". "Annali della Facoltà di Agraria dell'Università di Perugia", n. 50, p. 7-45.
- Bencivenga M., Calandra R., Granetti B., 1990 - Ricerche sui terreni e sulla flora delle tartufaie naturali di *T. melanosporum* Vitt. dell'Italia centrale. "Atti del 2° Congresso Internazionale sul Tartufo", p. 337-374.
- Bencivenga M., Granetti B., 1990 - Flora, vegetazione e natura dei terreni di alcune tartufaie naturali di *Tuber magnatum* Pico dell'Italia centrale. "Atti del 2° Congresso Internazionale sul Tartufo", p. 433-434.
- Benedetti A., Brookes PC., Lynch J., 2006 - Concluding remarks. In: Bloem J., Hopkins; D., and Benedetti A. (Eds.): Microbial Methods for assessing soil quality. CABI Publishing; p. 63-70.
- Benedetti A., Francaviglia R., Marchionni M., Trincherà A., 2006 - Soil Biodiversity Concepts and a case study at a Mediterranean Natural Ecosystem. "Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Scritti e documenti", n. XXXVII, p. 209-224.
- Bersan F., 2002 - Studio preliminare per un tentativo di dare un valore bioindicatore a specie banali di funghi saprofiti in querceti mediterranei caducifolii. Associazione Micologica Bresadola – Fondazione Centro Studi Micologici, Trento - Vicenza. "Pagine di Micologia", n. 18, p. 13-20.

Bianco P.M., Siniscalco C., 2009 - Primo contributo all'abbinamento della componente micologica agli habitat dunali. In: Onori L. (Ed.): *Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle aree protette*. ISPRA, Roma, Rapporti 100/2009, p. 149-158.

Blaschke H., 1994 - Decline symptoms on roots of *Quercus robur*. "European Journal of Forest Pathology", n. 24, p. 386-398.

Bloem J., 2006 - Hopkins D., and Benedetti A. (Eds.) - *Microbial Methods for Assessing Soil Quality*. CABI Publishing.

Brookes P.C., 1994 - The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metal. "Biology and Fertility of Soils", n. 19, p. 143-149.

Carotenuto L., Primack R., 2006 - Conservazione della natura, Zanichelli, Bologna.

Casella L., Agrillo E., Bianco P.M., Cardillo A., Laureti L., Lugari A., Spada F., 2008 - Carta degli habitat della Regione Lazio per il sistema informativo di Carta della Natura alla scala 1:50.000.

Causin R., Montecchio L., Mutto Accordi S., 1996 - Probability of ectomycorrhizal infection in a declining stand of common oak. "Annales des Sciences Forestières", n.53, p. 743-752.

Cenci R., Cocchi L., Petrini O., Sena F., Siniscalco C., Vescovi L., 2010 - Elementi chimici nei funghi superiori. I funghi di riferimento come strumento di lavoro per la bioindicazione e la biodiversità. Monografia in lingua italiana. Pubblicazione congiunta tra l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (Ispra - VA), Associazione Micologica Bresadola - ENIA S.p.a. (ora IREN S.p.a.) - Istituto cantonale di microbiologia (Bellinzona -CH). Edito dal Joint Research Centre - European Commission (EUR 24415IT - ISBN 978-92-79-16023-3 - ISSN 1018-5593 - doi:10.2788/11507), p. 1-230.

Cocchi L., 2009 - Radioattività e metalli pesanti, gli elementi chimici nei funghi superiori. In P. Follesa: *Manuale tecnico-pratico per indagini su campioni fungini. Campioni ufficiali e non ufficiali. Intossicazione da funghi*. Associazione Micologica Bresadola-Fondazione Centro Studi Micologici, Trento-Vicenza.

Cocchi L., Vescovi L., Petrini O., 2009 - Il "fungo di riferimento": un nuovo strumento nella ricerca micologica.

Commissione Europea, 2007. Interpretation manual of European Union habitats. European Commission, DG Environment, EUR 27; p. 144.

Commissione Europea, 1999. Interpretation manual of European Union habitats. Natura 2000.

Commissione Europea, 1996. Interpretation manual of European Union habitats. Natura 2000.

Commissione Europea, 1992 - Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992 relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, (Direttiva Habitat). GUCE n.206 del 22 luglio 1992.

Davies C.E., Moss D., Hill M.O., 2004 - EUNIS Habitat Classification Revised 2004. European Environment Agency European Topic, Centre On Nature Protection And Biodiversity.

Donini M., 2007 - Gruppo micologico Bresadola - Trento "Parliamo di funghi 1 Ecologia, morfologia e sistematica", p. 15-54.

European Commission, DG XI, p.146.

European Commission, DG Environment, Eur 15 / 2; p.119.

Gallini L., 2001 - Comportamento chimico e mobilità di alcuni metalli pesanti in un'area circostante una fonderia. Tesi di Dottorato di Ricerca in Chimica Agraria. Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche – Dipartimento di valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali, Università degli Studi di Torino. Department of Chemistry and Chemical Engineering, University of Paisley, Glasgow.

Gardi C., Montanarella L., Arrouays D., Bispo A., Lemanceau P., Jolivet C., Mulder C., Ranjard L., Römbke J., Rutgers M., Menta C., 2009 - Soil biodiversity monitoring in Europe: ongoing activities and challenges; Article first published online, Gerola F.M. - Biologia e diversità dei vegetali, Utet Torino, 1995 ; p. 307-387.

Giovagnotti E., Di Massimo G., Bencivenga M., 1999 - Prove di coltivazione di *Tuber borchii* Vittad. in Italia. *Atti del 5ème Congrès International Science et Culture de la Truffe*, 4-6 mars 1999, Aix-en-Provence, France, p. 260-264.

Granetti B., De Angelis A., Materozzi G., 2005 - *Umbria terra di tartufi*. Gruppo Micologico Ternano, Regione dell'Umbria - Assessorato all'Agricoltura e Foreste, Perugia.

Holmer L., Stenlid J., 1997 - Competitive hierarchies of wood decomposing basidiomycetes in artificial systems based on variable inoculum sizes. "*Oikos*", n. 79, p. 77-84.

ISPRA 2009 - *Indicatori di Biodiversità per la sostenibilità in Agricoltura. Linee guida, strumenti e metodi per la valutazione della qualità degli agroecosistemi*. ISPRA, Roma, Manuali e Linee Guida 47/2008.

ISPRA, 2009° - Il progetto Carta della Natura - Linee guida per la cartografia e la valutazione degli habitat alla scala 1:50.000. Manuali e Linee Guida 48/2009.

ISPRA 2009b - Gli habitat in Carta della Natura - Schede descrittive degli habitat per la cartografia alla scala 1:50.000. Manuali e Linee Guida 49/2009.

Koide RT., Goff MD., Dickie IA., 2000 - Component growth efficiencies of mycorrhizal and non mycorrhizal plants. "*New Phytologist*", n. 148, p. 1563-1568.

Lilleskov EA., Bruns TD., 2001 - Nitrogen and ectomycorrhizal fungal communities: what we know, what we need to know. "*New Phytologist*", n.149, p. 154-158.

Loreau M., Naeem S., Inchausti P., Bengtsson J., Grime JP., Hector A., Hooper DU., Huston MA., Raffaelli D., Schmid B., Tilman D., Wardle DA., 2001 - Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. "*Science*", n. 294: p. 804-808.

Montecchio L., 2008 - Simbionti ectomicorrizici come indicatori della salute delle piante forestali. *Atti del Ciclo di Seminari "I macromiceti come indicatori biologici della qualità del territorio"*, ISPRA, Dipartimento Difesa della Natura, Progetto Speciale Funghi, Roma.

Mosca E., Montecchio L., Sella L., Garbaye J., 2007 - Short-term effect of removing tree competition on the ectomycorrhizal status of a declining pedunculate oak forest (*Quercus robur* L.). "*Forest Ecology and Management*", n.244, p. 129-140.

Onofri S., Zucconi L., 1999 - Funghi e metalli pesanti: bioindicazione, bioaccumulo e biorisanamento. *Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale"*. ANPA, Serie Atti 2/1999, Roma, p. 155-170.

Palenzona M., Curto A., Mondino GP., Saqlandin R., 1976 - *Il tartufo di Bagnoli Tuber mesentericum Vitt.: ambiente di produzione e prospettive di conservazione e diffusione in Irpinia*. Ed. C.C.A.A., Avellino.

Papetti C., Consiglio G., Simonini G., 2004 - Atlante fotografico dei "Funghi d'Italia"- Volume 1. A cura della Fondazione Centro Studi Micologici dell'AMB. Editore Associazione Micologica Bresadola; p. 511.

Parke JL., Linderman RG., Black CH., 1983 - The role of ectomycorrhizas in drought tolerance of douglas fir seedlings. "*New Phytologist*", n. 95, p. 83-95.

Petrini O., Cocchi L., Vescovi L., Petrini L., 2009 - Chemical elements in mushrooms: their potential taxonomic significance. "*Mycological Progress*", n. 8 (3), p. 171-180.

Ravera O., 1981 - Necessità e limiti degli indici e degli indicatori biologici. In: Onnis A and Ferrara R (Eds.): Colloquio su: *Inquinamento e Indicatori Biologici*. Roma, 3-4 giugno 1980. CNR - Collana del Programma Finalizzato "Promozione della Qualità dell'Ambiente" AC/1/130-148. Arti Grafiche Pacini Mariotti, Pisa, p. 11-20.

Robich G., 2003 - *Mycena d'Europa*. Ed. Associazione Micologica Bresadola - Fondazione Centro Studi Micologici, Trento-Vicenza, p. 728.

Rodwell J.S., Sch Aminée J.H.J., Mucina L., Pignatti S., Dring J., Moss D., 2002 - The diversity of European vegetation. An overview of phytosociological alliances and their relationship to EUNIS habitats. Wageningen, NL, Report EC-LNV nr. 2002/054.

Sarasini M., 2005 - *Gasteromiceti epigei*. Ed. A.M.B. - Fondazione Centro Studi Micologici, Trento-Vicenza, p. 406.

Schütt P., Cowling EB., 1985 - Waldsterben, a general decline of forests in central Europe: symptoms, development and possible causes. "*Tree Disease*", n.69, p. 548-558.

Sequi P., 1981 - Il punto di vista di un chimico agrario sugli indicatori biologici. In: Onnis A and Ferrara R (Eds.) - Colloquio su: *Inquinamento e Indicatori Biologici*. Roma, 3-4 giugno 1980. CNR - Collana del Programma Finalizzato "Promozione della Qualità dell'Ambiente" AC/1/130-148. Arti Grafiche Pacini Mariotti, Pisa, p. 21-28.

Shi LB., Guttenberger M, Kottke I, Hampp R., 2002 - The effect of drought on mycorrhizas of beech (*Fagus sylvatica* L.): changes in community structure, and the content of carbohydrates and nitrogen storage bodies of the fungi. “*Mycorrhiza*”, n.12, p. 303-311.

Siniscalco C., 2013 - I “Centri di Eccellenza” per lo studio delle componenti di biodiversità del suolo del “Progetto Speciale Funghi” dell’ISPRA. Atti dell’Assemblea dei Delegati dell’Associazione Micologica Bresadola (AMB). Asti 13-14 aprile 2013; p.1-10 (in fase di pubblicazione sul sito dell’AMB: <http://www.ambbresadola.org/>).

Siniscalco C., Bianco P.M., 2013 - Primo Contributo del “Centro di Eccellenza” ISPRA Presso il GMEM–AMB alla Conoscenza dei Funghi delle Foreste Laziali: “Le Cerrete”, Elementi di pregio ecologico ed indicatori di qualità ambientale come contributo al piano di gestione di un habitat di interesse comunitario ai sensi della direttiva habitat 92/43/CEE. Quaderni del GMEM-AMB, 13-2013. Edizioni del Gruppo Micologico dell’Etruria Meridionale, 12 maggio 2013; p. 6-13.

Siniscalco C., Campana L., Carletti R., Corinaldesi I., Frilli G., Jacomini C., Moccia G., Ortolani P., Parrettini GL., Siniscalco F., 2012 - Primo contributo del Centro d’Eccellenza Ispra presso il GMEM–AMB per lo studio delle componenti micologiche della Riserva Naturale Monte Soratte, Elementi di pregio ecologico e indicatori di qualità ambientale come contributo al piano di gestione del Sito di Importanza Comunitaria “Monte Soratte IT 6030014, 2011. Quaderni del GMEM-AMB, 12-2012. Edizioni del Gruppo Micologico dell’Etruria Meridionale, 27-28 ottobre 2012; p. 4-17.

Siniscalco C., Benedetti A., Campana L., Jacomini C., Moncali S., 2011 - I funghi come indicatori di qualità del suolo. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Dip. Difesa della Natura, Roma – Italia; Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA), Centro per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo (RPS), Roma – Italia. Biologi Italiani, Anno XLI – N°2 Marzo; p. 29-40.

Siniscalco C., 2008 - I funghi come bioindicatori della qualità del territorio. “*Atti del Workshop Biodiversità dei suoli italiani: verso una normativa ambientale*”. ISPRA, Roma.

Siniscalco C., Tornambè A., 2002 - Considerazioni sul fenomeno di assorbimento e accumulo di metalli pesanti nei funghi. Atti del 2° Convegno Internazionale di Micotossicologia. Associazione Micologica Bresadola - Centro Studi Micologici, “*Pagine di Micologia*”, n.17, p. 191-226.

Zanella A., Tomasi M., De Siena C., Frizzera L., Jabiol B., Nicolini G., Sartori G., Calabrese MS., Mancabelli A., Nardi S., Pizzeghello D., Odasso M., 2001 - *Humus Forestali* - Edizioni del Centro di Ecologia Alpina Trento.

Siti Internet

http://glossary.eea.eu.int/EEAGlossary/C/Corine_biotopes

<http://eunis.eea.europa.eu/habitats-code.jsp>

<http://vnr.unipg.it/habitat/>

<http://www.indexfungorum.org>

<http://funghitaliani.it>

<http://funghiteramani.it>

<http://www.valletiberina.it/riserva.soratte.html>

<http://www.isprambiente.gov.it>

<http://www.micoponte.it>

<http://www.funghiemicologia.com>

<http://www.micologi.it/>

<http://www.nuovamicologia.eu/>

<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni/natura-e-biodiversita/programma-re-mo.-rete-nazionale-monitoraggio-biodiversita-e-degrado-dei-suoli>

<http://www.ambresadola.org/>

Ringraziamenti

Prima di tutto vorrei ringraziare le due principali figure professionali che mi hanno permesso di iniziare e realizzare questo progetto accompagnandomi in questo intenso viaggio.

Un grazie al Gentilissimo Professor Marco Caccianiga che mi ha accolto con grande simpatia e professionalità nonostante i suoi innumerevoli impegni, ha saputo consigliarmi con grande precisione e puntualità, dandomi un'opportunità unica per completare il mio lavoro.

Un grazie al Gentilissimo Dottor Carmine Siniscalco che si è reso sempre disponibile, dall'inizio alla fine della stesura dell'elaborato, tracciando un preciso percorso ricco di informazioni, consigli tecnici e pratici che si è concluso con la revisione dei testi. Spero di poter collaborare con lui ed il "Progetto Speciale Funghi" dell'ISPRA in futuro per poter dare sia il mio contributo alle ricerche in atto sia accrescere le mie conoscenze e competenze come micologo.

Un doveroso e sentito ringraziamento al "Progetto Speciale Funghi" dell'ISPRA ed al Dipartimento "Difesa della Natura" di cui fa parte che mi ha fornito ogni sorta di materiale scientifico tra cui: database, documenti e relazioni utili; davvero grazie per il prezioso contributo e spero di poter onorare sia l'ISPRA sia il "Progetto Speciale Funghi" proponendo un lavoro chiaro ed interessante.

Ringrazio l'Associazione Micologica Bresadola (AMB) per gli importanti suggerimenti forniti ed in particolare gli autori che mi hanno fornito alcune splendide foto tratte dall'archivio AMB, il Professor Carlo Papetti e il Professor Giovanni Consiglio.

Un grazie speciale al Gruppo Micologico dell'Etruria Meridionale (GMEM-AMB) ed ai suoi organi "Centro Studi per la Biodiversità dell'Etruria Meridionale" e "Comitato Scientifico" per gli studi messi a disposizione e le consulenze fornite nell'elaborazione di questo prodotto.

In particolare voglio ringraziare esplicitamente gli autori dei documenti che ho utilizzato direttamente: Abbate Giovanna, Avena Giancarlo, Benedetti Anna, Bianco Pietro Massimiliano, Blasi Carlo, Campana Luca, Carletti Rolando, Cocchi Luigi, Corinaldesi Italo, Frilli Giuseppe, Jacomini Carlo, Moccia Giuseppe, Moncali Stefano, Ortolani Piero, Parrettini Gian Luigi, Petrini Orlando, Siniscalco Carmine, Siniscalco Fabio, Tornambè Andrea, Vescovi Luciano.

Ringrazio inoltre tutti coloro che hanno collaborato alla realizzazione delle pubblicazioni utilizzate:

Buizza Giorgio, Carletti Piero, Carta Luciano †, Crema Alessandro, Cresca Giancarlo, Luperi Cristina, Macchia Roberto †, Mattei Roberto, Orlando Patrizia, Pennacchiotti Giuliano, Pontani Silvestro, Rocchi Maurizio, Saraceni Alberto, Siniscalco Chiara, Siniscalco Marco, Tugliozzi Cesare, Vennari Andrea, Verducci Ferdinando.

Veniamo ora ai ringraziamenti delle persone che mi sono sempre vicine e lo sono state anche in questo lungo e travagliato viaggio, ricco di ansie e povero di soddisfazioni. Grazie agli amici storici di essere stati presenti, Berto, Bonny e Jed anche se le nostre strade spesso divergono e la vita tende a differenziare i nostri destini la nostra amicizia è il collante indissolubile delle nostre vite. Vi abbraccio fratelli.

Grazie agli amici di sempre, quelli che gioiscono e si disperano, condividendo angoscia e felicità, grazie Cri per il tuo sorriso sempre vivo, grazie Dani per il tuo esserci sempre nei momenti di maggior bisogno, grazie Perba per essere un grande amico, confidente e persona di spaventosa umiltà, grazie Ste per il tuo essere una persona pacifica e di larghe vedute, grazie Vale per avermi fatto riflettere in condizioni di limitata lucidità con i tuoi modi decisi ma gentili, grazie Vite che hai saputo stimolarmi intellettualmente, reputandomi sempre una persona all'altezza, grazie al fidato Edo che ha tenuto i miei piedi per terra, grazie a Fabietto per i giorni e le notti passate insieme dense di risate, delusioni, soddisfazioni e discorsi seri, un grazie a Lapo e Marcy per i bei momenti passati insieme sempre vivi nella mente.

Un grazie speciale all'amica che tengo nascosta come un fiore raro, grazie Aurora per essere semplicemente l'esempio vivente che nella vita è giusto cambiare e seguire il proprio cuore sempre.

Un grazie ad un amico caro, un amico con cui ho elevato il livello dei miei pensieri, una persona davvero straordinaria che ha arricchito la mia anima da pensatore. Grazie Molte fratello mio.

Un grazie all'amico lontano ma vicino nel cuore, grazie Nico per avermi sempre supportato nei momenti duri e per essermi sempre stato davvero vicino. Ti abbraccio.

Un grazie ad un amico prezioso, persona eccezionale di raro pregio morale, grazie Michi per avermi fatto da fratello maggiore. Grazie amico caro.

Grazie alla ragazza più dolce e solare, grazie al suo sorriso e alla sua gioia di vivere, grazie di starmi accanto sempre. Grazie Ale sei la mia anima.

Infine vorrei ringraziare i miei cari genitori e parenti che nonostante le difficoltà mi hanno sempre incoraggiato nel seguire questa strada, la mia strada.

Un grazie al nonno Nino, alla nonna Rosetta e al nonno Cesare in grado di scrivere pagine di vita importanti che mai dimenticherò. Un grazie allo zio Diego e zia Annalisa, grazie zia per la tua bontà indiscriminata nei confronti di tutti noi.

Un grazie alla mia sorellina per avermi sorriso e abbracciato e per avermi difeso nei momenti di massima delusione.

Un grazie a mio padre per avermi rincuorato anche solo con un gesto che vale più di mille parole.

Un grazie alla mamma più sensibile e premurosa del mondo che ha affrontato in prima linea tutte le mie sofferenze e i miei sfoghi. Grazie mamma, adesso possiamo festeggiare.

Un grazie speciale a tutta la famiglia Bernardini, alle mie care cugine che mi hanno sempre supportato anche a distanza, al mio caro zio Giuseppe che con una battuta mi ha fatto sorridere e grazie a te zia Titti, grazie di aver creduto in me, di avermi aiutato, di avermi fatto crescere, grazie di cuore.

Grazie a tutti dal profondo del cuore perché senza di voi forse non sarei arrivato fin qui.

