

REGIONE  
TOSCANA



REGIONE  
ABRUZZO



# progetto MAGNATUM

**Monitoraggio delle Attività di Gestione delle tartufaie  
NAturali di TUber Magnatum**

**risultati e consigli pratici**

**a cura di**

**Alessandra Zambonelli, Claudia Perini, Giovanni Pacioni**



# **progetto MAGNATUM**

**Monitoraggio delle Attività di Gestione delle tartufoie  
NAturali di TUber Magnatum**

**risultati e consigli pratici**

**a cura di  
Alessandra Zambonelli, Claudia Perini, Giovanni Pacioni**

Alimat Edizioni - Cesena  
([www.alimatedizioni.it](http://www.alimatedizioni.it))

Stampato da Litografia CILS  
Cesena, novembre 2012

## ***Presentazione delle regioni aderenti al progetto***

### **REGIONE TOSCANA**

La Toscana è una delle Regioni italiane più importanti per la produzione di tartufi, in particolare per il tartufo bianco pregiato. I quantitativi raccolti annualmente nelle tartufaie naturali delle principali aree di produzione oscillano tra i 300 e i 750 quintali all'anno. Questa potenzialità produttiva coinvolge un numero crescente di soggetti, pari a circa 5.000 tartufai abilitati, organizzati in 10 Associazioni di raccoglitori (8 aggregate in un unico soggetto di rappresentanza, l'URATT), che contano circa 1.500 iscritti. Sono 27 le mostre-mercato e le sagre che si tengono durante l'anno nel territorio regionale e le principali riguardano il tartufo bianco.

La necessità di effettuare una ricerca su questa specie è scaturita direttamente dagli stessi operatori del settore, nell'ambito del tavolo regionale di filiera organizzato in Toscana nel 2006.

La Regione Toscana, tramite la Rete Interregionale per la ricerca agraria, forestale, acquacoltura e pesca, di cui cura la segreteria e il coordinamento dal 2001, ha proposto il progetto alle altre regioni italiane, acquisendo l'adesione della Regione Abruzzo, dell'Emilia-Romagna e del Molise.

Il Progetto pluriennale MAGNATUM (2008-2012), promosso e coordinato dalla Regione Toscana, Settore Promozione dell'Innovazione e Sistemi della Conoscenza e cofinanziato dalle quattro regioni sopra citate, è stato assegnato tramite bando pubblico al Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare dell'Università di Bologna che si è avvalso della collaborazione del Dipartimento di Scienze ambientali "G. Sarfatti" dell'Università di Siena e del Dipartimento di Scienze ambientali dell'Università dell'Aquila.

Dal progetto sono scaturite informazioni importanti per stabilire alcuni criteri di gestione delle tartufaie naturali di *Tuber magnatum* al fine di tutelare ed incrementare la produzione di tartufi, grazie soprattutto alle metodologie innovative impiegate, che hanno permesso di mettere a confronto ambienti produttivi di regioni diverse, ottenendo risultati significativi per ognuna di esse. Il carattere interregionale del progetto costituisce infatti un valore aggiunto, perché ha permesso di attivare sinergie di finanziamento per una ricerca complessa, innescando proficue collaborazioni tra importanti istituti di ricerca di livello nazionale, e incrementando il livello di conoscenza di uno dei prodotti italiani più conosciuti e apprezzati anche all'estero.

La pubblicazione relativa ai risultati del progetto MAGNATUM, per il taglio divulgativo utilizzato, consente di far apprezzare, nella sua complessità, il lavoro svolto e i risultati raggiunti a tutti i soggetti della filiera: tartufai, associazioni di raccoglitori, tartuficoltori, imprenditori agricoli, tecnici e liberi professionisti, amministratori pubblici.

Preme infine esprimere un ringraziamento agli Assessori delle Regioni Abruzzo, Emilia-Romagna e Molise che hanno collaborato alla realizzazione della ricerca, attivando sinergie con risorse finanziarie e di personale che hanno permesso di realizzare questo progetto di rilevante importanza per il settore.

Gianni SALVADORI  
Assessore all'Agricoltura della Regione Toscana

## **REGIONE ABRUZZO**

La Regione Abruzzo si colloca tra le regioni italiane a più alta vocazione tartufigola. Le molteplici attività svolte dalla Regione negli ultimi anni, unitamente ad altre istituzioni regionali, hanno messo in luce le notevoli potenzialità di questa risorsa naturale, ponendo l'Abruzzo tra le regioni più produttive a livello nazionale.

Le nove tipologie di tartufo autorizzate alla ricerca, vendita e consumo in Italia, sono tutte presenti nel territorio regionale ed una quota significativa della produzione è rappresentata dal tartufo bianco pregiato presente in varie zone, aspetti peraltro confermati dalla cartografia delle aree vocate prodotte di recente dalla Regione. Le 37 ditte che si occupano del commercio e/o lavorazione dei tartufi, i circa 6.000 raccoglitori autorizzati alla raccolta, le 8 associazioni di settore riconosciute, i 3 vivai che producono piantine micorrizzate rappresentano in modo significativo la consistenza e l'importanza di questo comparto per l'economia della Regione. Rimane ancora da lavorare sulla valorizzazione del prodotto, affinché questa produzione di eccellenza, possa fornire, ancor più, il proprio contributo allo sviluppo dell'economia di vaste aree interne della regione.

Totalmente positiva l'esperienza del Progetto Interregionale, sia per le indicazioni relative alla gestione delle aree produttive del prezioso fungo, sia per le nuove conoscenze acquisite. A tal proposito, si esprime vivo apprezzamento per il lavoro svolto dal Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare dell'Università di Bologna quale soggetto affidatario dei lavori, dal Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti" dell'Università degli Studi di Siena e dal Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università dell'Aquila che ha operato in Abruzzo. Infine un sentito ringraziamento alla Regione Toscana che ha validamente coordinato attraverso il proprio personale questo importante lavoro che rappresenta un sicuro riferimento per i tanti operatori del settore.

Mauro FEBBO

Assessore all'Agricoltura della Regione Abruzzo

## REGIONE EMILIA ROMAGNA

La Regione Emilia-Romagna ha avviato iniziative di studio, ricerca e sperimentazione ed ha partecipato, con propri finanziamenti, ai progetti nazionali strategici CNR-Regioni denominati, rispettivamente, "*Tuber biotecnologia della micorrizzazione*" (triennio 1996-1998) e "*Biotecnologie dei funghi eduli ectomicorrizici: dalle applicazioni agro-forestali a quelle agro-alimentari*" (triennio 1999-2002).

Per dare seguito all'attività di ricerca e trasferire in modo adeguato i risultati ottenuti, la Regione ha inoltre partecipato al Progetto Interregionale "MAGNATUM", funzionale alle esigenze di conservazione ambientale e di sviluppo di tecniche colturali adeguate all'incremento delle produzioni spontanee di *Tuber magnatum*, finanziando un ciclo di sperimentazioni sul proprio territorio. Recentemente, con l'obiettivo di garantire gli acquirenti di piante micorrizzate per la realizzazione di tartufo coltivate, si è dotata di uno specifico disciplinare, redatto dal Servizio Fitosanitario Regionale, per la produzione di queste piante che consente di "tracciare" l'intero processo certificando, unitamente alla provenienza del materiale forestale di base, anche quella della specie di tartufo utilizzata per la micorrizzazione.

Questa pubblicazione divulgativa contiene numerose indicazioni operative sviluppate sulla base di un approccio scientifico rigoroso e, per questo, rappresenta uno strumento di qualità a disposizione di tutti coloro che, a vario titolo, operano per la conservazione ed il miglioramento delle tartufole, a partire dalle Associazioni, dagli Enti Locali e di Bonifica cui va un ringraziamento particolare per la costante e qualificata collaborazione, confermata anche in occasione della realizzazione della parte emiliano-romagnola dei progetti precedentemente ricordati.

Tiberio RABBONI  
Assessore Agricoltura, Economia ittica, Attività  
faunistico – venatorie della Regione Emilia  
Romagna

## **REGIONE MOLISE**

La valorizzazione delle produzioni agroalimentari di qualità rappresenta per le aree rurali del territorio molisano una scelta di politica agricola fondamentale. Il Molise ha spiccate potenzialità in tal senso, testimoniate da un gran numero di prodotti tipici di eccellenza, tra cui il tartufo occupa indubbiamente un posto di primo piano. Il Molise è terra di tartufi e ne custodisce varietà dalle caratteristiche straordinarie. Il tartufo bianco molisano è un prodotto di elevata qualità, apprezzato per le sue proprietà organolettiche, per l'aroma ed il sapore inconfondibili che derivano dall'ambiente incontaminato caratteristico del Molise. Risorsa naturale che nasce spontaneamente lungo i fiumi, tra le montagne e le colline, il tartufo rappresenta oggi una delle più importanti fonti integrative di reddito per circa 3000 famiglie molisane e fa registrare una domanda in costante crescita.

Il Centro di Ricerca e Sperimentazione per la produzione di piante tartufigene, realizzato nel 2010 presso il vivaio forestale di Campochiaro (CB) e gestito direttamente dalla Regione Molise, già punto di riferimento per la tartuficoltura del Centro-Sud Italia, testimonia l'attenzione riservata dalla regione alla tutela e alla valorizzazione del tartufo.

In tale quadro rientra la positiva esperienza del Progetto Interregionale "MAGNATUM", orientato a migliorare la coltivazione del tartufo bianco negli ambienti naturali di produzione. Dalla ricerca svolta deriva il presente lavoro, che illustrando i principali risultati conseguiti, fornisce preziose indicazioni relative alla gestione delle aree produttive del tartufo e approfondisce notevolmente le conoscenze in materia.

Un sincero ringraziamento va alla Regione Toscana e all'Università di Bologna che hanno egregiamente coordinato il Progetto e ai tecnici della Regione Molise per l'impegno da sempre profuso nel settore.

Proseguendo su questa strada, la Regione Molise intende promuovere con sempre maggiore vigore le produzioni tartufigene, creando nuove e solide opportunità di sviluppo, attraverso interventi mirati a promuovere questo prodotto unico e straordinario.

Angiolina FUSCO PERRELLA  
Assessore all'Agricoltura della Regione  
Molise

## Prefazione

Il tartufo bianco pregiato, *Tuber magnatum*, è il prodotto della terra più prezioso e misterioso.

Nonostante i numerosi progressi scientifici degli ultimi anni che hanno permesso di conoscere nuovi aspetti della sua biologia ed ecologia, non è ancora possibile coltivarlo. La salvaguardia ed il miglioramento delle aree di produzione naturale del tartufo bianco pregiato, pertanto, rappresentano ancora gli unici approcci per tutelare ed incrementare le produzioni. Tuttavia i criteri di gestione delle tartufoie naturali non sono ancora stati definiti.

Questo volume illustra i risultati ottenuti in quattro anni di ricerche, svoltesi nell'ambito del Progetto Interregionale **MAGNATUM** (Monitoraggio delle Attività di Gestione delle tartufoie NATurali di **TU**ber **Magnatum**) volto a definire gli effetti di alcune pratiche colturali (lavorazioni del suolo e diradamento della vegetazione) sullo sviluppo di questo prezioso tartufo. Sulla base delle numerose sperimentazioni effettuate e dei risultati ottenuti, riportati in sintesi nella parte centrale del volume, è stato possibile definire alcuni criteri di gestione delle tartufoie naturali, illustrati nei capitoli conclusivi.

Il progetto MAGNATUM è stato attivato a seguito di un Bando di ricerca per un progetto interregionale avente per oggetto "Iniziative di ricerca e di sviluppo relative al settore del tartufo" (Decreto n. 321 del 25.9.2007) emanato dalla Regione Toscana (ARSIA) - Settore Promozione dell'Innovazione e Sistemi della Conoscenza (in esecuzione del decreto n. 321 del 25 settembre 2007) in qualità di soggetto capofila in nome e per conto delle seguenti Regioni: Abruzzo, Emilia Romagna, Molise, Toscana. Il progetto, di durata pluriennale (2008-2012), ha avuto un costo complessivo di 500.000 euro di cui 375.000 finanziati dalle quattro Regioni aderenti.

Al progetto hanno partecipato: il Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare - Università di Bologna, capofila del progetto, il Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti" - Università di Siena e il Dipartimento di Scienze Ambientali - Università dell'Aquila.

Con la realizzazione del presente volume cogliamo l'occasione per ringraziare tutte le persone che hanno reso possibile la realizzazione di questo progetto ed in primo luogo i nostri collaboratori (ricercatori, tecnici, assegnisti, dottorandi, borsisti e tesisti) che hanno eseguito le sperimentazioni in campo ed in laboratorio nonché l'elaborazione dei dati:

- Elena Baraldi, Mirco Iotti, Angelo Macrì, Ilaria Volpi, Tommaso D'Anello, Lorenzo Soprani dell'Università di Bologna;
- Elena Salerni, Pamela Leonardi, Flavio Frignani, Simona Maccherini, Paolo Castagnini, Elvira Longo dell'Università di Siena;
- Gianpiero Ciaschetti, Giorgio Lalli, Marco Leonardi, Marilena Oddis dell'Università dell'Aquila.

I risultati ottenuti dai nostri gruppi di ricerca, oltre ad essere riassunti nel presente volume sono stati pubblicati su prestigiose riviste internazionali.

Un sentito ringraziamento va inoltre ai tecnici professionisti che hanno curato le ricerche pedologiche ed in particolare a Lorenzo Gardin e Massimo Paolanti.

Vogliamo inoltre ringraziare:

- la Fattoria Barbiaccia Nuova, S. Miniato – Montaione, in particolare Guido Manfredi, che ha messo a disposizione la tartufoia sperimentale in Toscana e che ha eseguito le cure colturali e i tartufoi Imperio Poli e Francesco Panchetti;
- il Consorzio di Bonifica Renana, che ha messo a disposizione la tartufoia sperimentale in Emilia-Romagna ed in particolare Giovanni Graldi che non ha esitato a collaborare in ogni fase delle ricerche in campo, fornendoci tutto il materiale necessario e la sua esperienza di tartufoio e ricercatore;
- il C.F.S.-U.T.B. di Castel di Sangro, che ha messo a disposizione la tartufoia sperimentale in Abruzzo, ed ha eseguito le cure colturali previste e il controllo e la gestione delle parcelle sperimentali ed in particolare ai vari responsabili del C.F.S. che si sono succeduti nel corso della sperimentazione e che non hanno mai fatto mancare il loro prezioso sostegno, in particolare Giovanni Potena, Mario Posillico e Tiziana Alta;

- il C.F.S.-U.T.B. di Isernia, che ha messo a disposizione la tartufaia sperimentale in Molise, ed ha eseguito le cure colturali previste e il controllo e la gestione delle parcelle sperimentali, con l'attenta partecipazione del responsabile Armando Cardillo e del capo operario Nicola Martella;
- l'Associazione ARCI Tartufi e in particolare il suo presidente Marco Mazzali, per l'interessamento al progetto e per avere eseguito le lavorazioni del terreno nella tartufaia dell'Emilia Romagna;
- l'URATT - Unione Regionale Tartufai Toscani per aver dimostrato interesse al progetto e fornito il loro contributo negli incontri tecnici e convegni;
- la ditta Goldoni S.p.A. per avere messo a disposizione nel primo anno di sperimentazioni le macchine operatrici per le lavorazioni del terreno;
- Marcello Pagliai, direttore del C.R.A.-A.B.P. (Centro di Ricerca in Agricoltura per l'AgroBiologia e la Pedologia di Firenze), presso i cui laboratori sono state effettuate le determinazioni della densità apparente del suolo;
- Il laboratorio Agrochimico dell'ARSSA Abruzzo che ha esaminato le caratteristiche dei suoli delle tartufaie Abruzzesi e Molisane;
- Enrico Lancellotti del Dipartimento di Protezione delle Piante – sezione di Patologia Vegetale, Università di Sassari per l'aiuto nell'analisi statistica dei dati e avere adattato il database eMyCo – (Ectomycorrhizal Community Database) alle nostre esigenze sperimentali;
- Marco Morara, per averci fornito la fotografia di *Tuber magnatum* in copertina.

Infine un particolare e sentito ringraziamento lo rivolgiamo a Carlo Chiostrì, dirigente del Settore "Promozione dell'Innovazione e Sistemi della conoscenza" che ha promosso il progetto MAGNATUM attraverso la Rete Interregionale per la ricerca agraria, a Francesca Baglioni, funzionario della stessa Regione per la sua competenza, pazienza e disponibilità nel risolverci ogni problema tecnico o amministrativo affrontato nell'ambito dei quattro anni di attività progettuale, a Stefano Nannetti e a Maria Capecci della regione Emilia-Romagna, a Gabriele de Laurentiis della regione Abruzzo, ad Emidio Mastronardi e Salvatore Casale della regione Molise per il loro interessamento e suggerimenti tecnici per lo svolgimento delle prove sperimentali.

Ringraziamo vivamente la Segreteria Amministrativa del Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare ed in particolare Luana Imbastro, segretaria amministrativa, Catia Manini, Cristina Benazzi ed Elena Tortorici per la loro diponibilità nell'amministrazione dell'intero progetto.

Infine ringraziamo tutti gli Autori di questo volume e in particolare Angelo Macrì che si è adoperato nell'impaginazione e grafica del volume.

Nel volume, nonostante la complessità degli argomenti trattati gli Autori hanno saputo sviluppare i vari capitoli in modo semplice rendendo il testo comprensibile a tutti. Riteniamo che questo volume possa rivelarsi uno strumento utile ai soggetti interessati al tartufo: agricoltori, tartuficoltori, tartufai, tecnici del settore, studiosi e semplicemente amanti di questo prezioso fungo. Ci auguriamo, inoltre, che possa essere uno stimolo per continuare le ricerche sul tartufo bianco e per iniziare l'opera di salvaguardia e miglioramento delle tartufaie naturali.

*Alessandra Zambonelli, Claudia Perini, Giovanni Pacioni*

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
Alessandra Zambonelli, Claudia Perini, Giovanni Pacioni	
<b>2. LE TARTUFAIE SPERIMENTALI</b>	<b>7</b>
Alessandra Zambonelli, Claudia Perini, Giovanni Pacioni	
<b>3. I SUOLI DELLE TARTUFAIE</b>	<b>15</b>
Lorenzo Gardin, Massimo Paolanti	
<b>4. LE ECTOMICORRIZE</b>	<b>25</b>
Pamela Leonardi, Marco Leonardi	
<b>5. LA QUANTIFICAZIONE DEL MICELIO DI <i>T. MAGNATUM</i> NEL SUOLO</b>	<b>35</b>
Mirco Iotti, Marilena Oddis	
<b>6. EFFETTI DEGLI INTERVENTI COLTURALI SULLA PRODUZIONE DI TARTUFI E SUL MICELIO NEL SUOLO</b>	<b>45</b>
Elena Salerno	

<b>7. EFFETTO DELLE LAVORAZIONI SUL SUOLO</b>	<b>55</b>
Lorenzo Gardin	
<b>8. EFFETTO DEL DIRADAMENTO SELETTIVO SULLA COPERTURA VEGETALE</b>	<b>61</b>
Giovanni Pacioni	
<b>9. LA TEMPERATURA E L'UMIDITÀ DEL SUOLO NELLE TARTUFAIE</b>	<b>69</b>
Lorenzo Gardin	
<b>10. CRITERI DI GESTIONE DELLE TARTUFAIE NATURALI</b>	<b>77</b>
Alessandra Zambonelli, Claudia Perini, Giovanni Pacioni	
<b>11. CONCLUSIONI</b>	<b>81</b>
Alessandra Zambonelli, Claudia Perini, Giovanni Pacioni	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>85</b>

# 1. INTRODUZIONE

Alessandra Zambonelli<sup>1</sup>, Claudia Perini<sup>2</sup>, Giovanni Pacioni<sup>3</sup>

I tartufi sono funghi ipogei che compiono il loro ciclo vitale interamente sottoterra. Le specie di tartufi presenti in Italia sono numerose ed appartengono sia ai basidiomiceti (detti anche falsi tartufi) sia agli ascomiceti. Quelle che in Italia hanno interesse gastronomico e commerciale e che, secondo la legge quadro nazionale n. 752/85, possono essere raccolte e commercializzate appartengono tutte al genere *Tuber* e sono: *T. magnatum* (il tartufo bianco pregiato), *T. melanosporum* (il tartufo nero pregiato), *T. borchii* (= *T. albidum*, il tartufo bianchetto o marzuolo), *T. aestivum* (il tartufo estivo o scorzone anche nella forma *T. uncinatum*, denominata tartufo nero di Fragno), *T. brumale* (il tartufo nero d'inverno, anche nella varietà *moschatum* denominata tartufo nero moscato), *T. macrosporum* (il tartufo nero liscio) e *T. mesentericum* (il tartufo nero ordinario). Fra queste, *T. magnatum* è la specie di maggior pregio le cui quotazioni di mercato sono da una a dieci volte superiori a quelle degli altri tartufi commercializzati in Italia.

Sebbene l'aspetto del tartufo bianco sia simile a quello di altre specie come il bianchetto e i meno noti *Tuber dryophilum*, *T. maculatum*, *T. oligospermum* (il tartufo del Marocco) e *Choioomyces meandriformis* (il tartufo dei maiali), il suo aroma è unico ed inconfondibile [1]. Anche le caratteristiche delle spore, che ne permettono l'identificazione perfino in preparati alimentari quali le creme tartufate, i risotti ecc., sono diverse da quelle delle altre specie (Fig. 1).

---

<sup>1</sup>Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare, Università di Bologna

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università di Siena

<sup>3</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell'Aquila



Fig. 1. Confronto fra le caratteristiche dei corpi fruttiferi e delle spore di *T. magnatum* (a), *T. borchii* (b), *T. maculatum* (c), *T. oligospermum* (d), *T. dryophilum* (e) e *Choiromyces meandriformis* (f).

*T. magnatum* è un tartufo tipicamente italiano. Tuttavia è presente anche in alcune aree ristrette della Croazia, della Svizzera (Canton Ticino), della Slovenia, della Serbia, della Romania e dell'Ungheria. In Italia si sviluppa soprattutto in Piemonte, nelle Marche, in Toscana, in Emilia Romagna, in Abruzzo ed in Molise, ma è stato trovato anche in Liguria, Umbria, Lazio, Veneto, Campania e Basilicata.

Tutti i tartufi formano micorrizze (dal greco *mykos*: fungo, e *rhiza*: radice) con le radici di piante superiori, generalmente piante forestali quali le querce, i tigli, i

pioppi ed i noccioli. Le micorrize sono simbiosi di tipo mutualistico in quanto per entrambi i partner coinvolti in questo tipo d'intima associazione il vantaggio è reciproco: il fungo riceve dalla pianta zuccheri semplici per il suo sostentamento ed in cambio ne aumenta l'efficienza di assorbimento dell'acqua, dei sali minerali e fornisce una maggiore protezione contro le malattie. Nei suoli naturali la simbiosi micorrizica è indispensabile per assicurare un buon accrescimento delle piante, le quali possono così sopravvivere in terreni poveri di elementi nutritivi e resistere meglio alle avverse condizioni climatiche (es. siccità).

Le micorrize formate dai tartufi sono ectomicorrize, in cui il fungo riveste esternamente le radichette con un mantello fungino, detto anche micoclena; inoltre il micelio del fungo penetra nelle radici e si insinua fra le cellule corticali dove avvengono gli scambi di sostanze nutritive.

La simbiosi micorrizica è indispensabile per la produzione dei tartufi. Molti tartufi possono sviluppare il loro micelio in laboratorio, ma in assenza del legame con la pianta ospite non riescono a fruttificare. Per questo motivo la coltivazione dei tartufi è molto più complessa e richiede tempi molto più lunghi di quella di altri funghi, quali i prataioli, saprotrofi che riescono a svilupparsi e fruttificare utilizzando solo la sostanza organica presente in substrati costituiti da residui animali e vegetali.

Per coltivare il tartufo è necessario favorire la formazione delle ectomicorrize su idonee piante ospiti in condizioni controllate, accertarsi dell'avvenuta formazione della simbiosi e quindi mettere a dimora le piantine in un terreno idoneo. Le piante devono poi essere seguite nel tempo tramite appropriate tecniche colturali e, dopo un numero variabile di anni (4-12) dipendente da vari fattori quali la pianta ospite, il terreno ed il clima, saranno in grado di produrre i preziosi tartufi.

La tartuficoltura è già un'importante realtà produttiva per molte specie di tartufo; infatti *T. melanosporum*, *T. aestivum* e *T. borchii* sono estensivamente coltivati non solo in Italia ed in altri paesi europei, ma anche in America, Nuova Zelanda ed Australia [2]. Si stima che in Italia ed in Francia più della metà dei tartufi neri raccolti provenga da tartufaie coltivate [3].

Per questi tartufi sono state condotte alcune sperimentazioni in pieno campo che hanno permesso di sviluppare tecniche idonee alla conduzione delle tartufaie coltivate e naturali i cui risultati sono stati pubblicati in numerose riviste e libri italiani e stranieri.

A proposito delle lavorazioni del suolo nelle tartufaie di tartufo nero pregiato si suggerisce una sarchiatura superficiale dei pianelli (aree prive di vegetazione, dette anche cave o bruciate che caratterizzano le piante produttive) in febbraio-marzo, per favorire l'aerazione del suolo e la penetrazione dell'acqua piovana. Una successiva zappettatura dovrebbe essere effettuata da aprile a metà maggio, ma mai dopo una forte pioggia poiché con il terreno molto umido si provocherebbe l'asfissia delle radici. Altri autori ipotizzano che le lavorazioni del suolo nel pianello siano positive anche perché favorirebbero l'umificazione della materia organica evitando contemporaneamente il compattamento del terreno [4]. Sebbene le esperienze

conseguite consiglino le lavorazioni del terreno molti tartuficoltori esitano nell'intervenire sui pianelli in produzione.

Nonostante il tartufo bianco pregiato sia uno dei prodotti agro-alimentari tipici italiani più pregiati ed esclusivi, le informazioni acquisite sulla sua ecologia e biologia non sono state sufficienti per stabilire metodi razionali di coltivazione e per individuare tecniche idonee ad incrementarne la produttività nelle aree di produzione naturale.

Queste carenze conoscitive sono dovute a difficoltà oggettive, legate alle caratteristiche eco-fisiologiche di questa specie che ne rendono difficile lo studio sia in laboratorio sia in campo.

*T. magnatum* è infatti un fungo molto particolare in quanto il suo micelio si isola con difficoltà in coltura pura e inoltre cresce lentamente, diversamente da quello di altre specie di tartufo e perciò non è stato finora possibile studiarlo in laboratorio. Inoltre, la produzione di piante micorrizzate con tartufo bianco pregiato è molto difficile e solo raramente si ottengono piantine ben micorrizzate con l'inoculo sporale. Per questo motivo, attualmente, non si hanno a disposizione tartufole coltivate le quali, grazie alle loro caratteristiche di uniformità, rappresenterebbero un'ottima base su cui effettuare le sperimentazioni di campo [5].

D'altro canto le zone di produzione naturale sono estremamente eterogenee per produttività, solo alcune piante sono micorrizzate e la produzione di tartufi varia notevolmente nel tempo a seconda delle condizioni climatiche stagionali. Inoltre le piante produttive sono difficili da individuare per la mancanza dei pianelli, che contraddistinguono invece le piante micorrizzate con i tartufi neri. Le caratteristiche ecologiche e biologiche di questo tartufo rappresentano, quindi, un grande ostacolo per la sperimentazione in campo poiché diventa impossibile definire parcelle sperimentali omogenee per dimensioni, produttività e caratteristiche forestali.

Le difficoltà incontrate fino ad oggi nel reperire dati sperimentali su *T. magnatum* congiuntamente ad un eccessivo sfruttamento di questa risorsa naturale rischiano di depauperare irrimediabilmente la produzione nazionale. Considerando poi che in molti altri paesi europei ed extraeuropei si moltiplicano i tentativi di coltivare nel loro territorio questo prezioso tartufo (Francia, Spagna, Cile e Nuova Zelanda), la necessità di intervenire con adeguati progetti sperimentali diventa prioritaria.

La scienza moderna ha messo a disposizione nuove tecniche di biologia molecolare basate sull'analisi del DNA (e quindi del patrimonio genetico di un organismo) che possono essere applicate anche per lo studio dei tartufi. Queste tecniche sono utilizzate in vari settori della biologia come anche in criminologia dove per la loro precisione rappresentano la prova inconfutabile d'identificazione di un assassino. Le tecniche molecolari sono in grado anche d'identificare i tartufi in qualsiasi stadio del loro ciclo biologico, anche quando mancano caratteri morfologici utili a tal scopo come nel caso dei miceli in coltura pura, dei tartufi immaturi ancora privi di spore o delle micorrize [6]. Tramite le tecniche molecolari è

possibile studiare le comunità microbiche presenti nel suolo, identificando anche microrganismi non coltivabili, funghi e batteri, impossibili da rilevare con le tradizionali tecniche di laboratorio. La conoscenza delle comunità microbiche del suolo è particolarmente importante per comprendere meglio i complessi rapporti che il tartufo stabilisce con gli altri organismi con i quali esso convive durante tutto il suo ciclo vitale, dalla germinazione delle spore alla formazione delle micorrize e del corpo fruttifero. Alcuni di questi organismi potrebbero avere un ruolo molto importante, positivo o negativo, nella diffusione e fruttificazione del tartufo bianco.

Negli ultimi anni l'evoluzione nel campo della biologia molecolare ha aumentato le potenzialità della ricerca scientifica mettendo a disposizione tecniche quali la "real time" PCR che permettono di quantificare specifici microrganismi presenti in determinati microhabitat, quali le radici della pianta o il suolo. Tali tecniche consentono perciò di studiare le variazioni nello spazio e nel tempo di questi microrganismi anche in funzione di interventi colturali.

Questo progetto ha avuto lo scopo di ottenere risultati utili alla salvaguardia produttiva delle tartufaie naturali di tartufo bianco pregiato, utilizzando nuovi approcci metodologici di tipo morfologico e molecolare.

La sperimentazione effettuata ha consentito di approfondire le conoscenze sulle relazioni fra la produzione tartuficola, lo sviluppo del micelio di *T. magnatum* nel suolo, i caratteri ambientali ed ecologici e di verificare l'effetto di alcune tecniche di gestione delle tartufaie sui rapporti fra questi fattori. L'applicazione dei metodi d'analisi molecolare ha permesso inoltre di valutare in modo oggettivo l'effetto degli interventi colturali sulla biologia di *T. magnatum* nei siti produttivi, ottenendo risultati sperimentali svincolati dalle problematiche relative all'eterogeneità di sviluppo dei corpi fruttiferi.



## 2. LE TARTUFAIE SPERIMENTALI

Alessandra Zambonelli<sup>1</sup>, Claudia Perini<sup>2</sup>, Giovanni Pacioni<sup>3</sup>

Le tartufaie ove sono state eseguite le prove sperimentali (Figg. 2-11) sono state scelte nelle quattro regioni aderenti al progetto, in ambienti particolarmente vocati alla produzione di tartufo bianco pregiato e con caratteristiche tali da soddisfare tutti i requisiti necessari alla riuscita ottimale del progetto stesso (facilità d'accesso, controllo totale della produttività e delle strumentazioni, rappresentatività delle caratteristiche pedologiche, vegetazionali e climatiche delle tartufaie regionali, ecc.).

Le aree produttive delle tartufaie sono state suddivise in parcelle di circa 500 m<sup>2</sup> per l'esecuzione delle prove sperimentali.

Di seguito riportiamo le principali caratteristiche stazionali e vegetazionali delle tartufaie sperimentali. L'analisi dettagliata floristica e vegetazionale delle tartufaie è riportata nel sito del progetto <http://www.agrsci.unibo.it/magnatum/home.htm>

### Regione Toscana

La tartufaia oggetto della sperimentazione (di seguito indicata come tartufaia di Barbiarella) è localizzata nei terreni di proprietà dell'Azienda Agricola "Barbiarella Nuova", nel comune di Montaione (FI), all'interno della zona tipica di produzione del tartufo bianco pregiato di San Miniato (PI) (Fig. 2). La tartufaia, piuttosto disomogenea, è ubicata ad un'altitudine di circa 140 m slm in un versante di media

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare, Università di Bologna

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università di Siena

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell'Aquila

pendenza (5-25%), esposto a sud-est ed originatosi su substrati sabbiosi alternati a sottili livelli argillosi appartenenti ai depositi marini del Pliocene. Il versante si presenta, nella sua parte alta, a gradoni sub pianeggianti di presunta origine agricola.

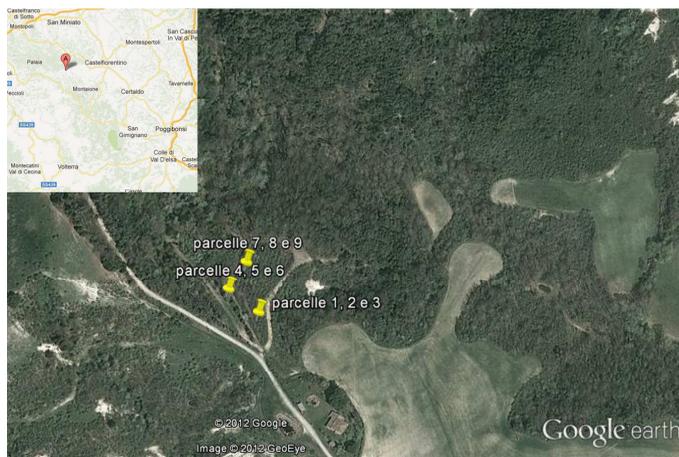


Fig. 2. Localizzazione e parcellazione della tartufaia di Barbiaglia (immagini tratte da ©2012 Google).

Nella tartufaia sono state individuate tre aree produttive, ciascuna delle quali è stata successivamente suddivisa in tre parcelle sperimentali. La prima area produttiva (parcelle 1, 2 e 3) (Fig. 3) è ubicata a ridosso della recinzione metallica che circonda la tartufaia, in una zona relativamente pianeggiante costituita da terrazzamenti arborati precedentemente sottoposti ad un intervento di ripulitura prevalentemente a carico dello strato arbustivo ed erbaceo. La seconda (parcelle 4, 5 e 6) si trova al di sopra dello “stradello” che divide la tartufaia e presenta diverse pendenze di versante e alcuni terrazzamenti, mentre l’ultima area (parcelle 7, 8 e 9) si trova sotto lo stradello ed è costituita da una fustaia in impluvio con arbusteto in forte pendenza superando il 20%.

Le specie arboree dominanti sono carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e pioppo bianco (*Populus alba*), seguite da *Acer campestre*, *Quercus cerris*, *Q. ilex* (principalmente presente nella seconda area sperimentale) e *Q. petraea* che forniscono una copertura arborea vicina al 70%. Nello strato arbustivo, con copertura di circa il 30%, predominano *Cornus mas*, *C. sanguinea*, *Coronilla emerus*, *Crataegus monogyna*, *Ostrya carpinifolia*, *Pyracantha coccinea* e *Rubus canescens*.



Fig. 3. Tartufaia di Barbialla (parcelle 1, 2 e 3).

## Regione Emilia Romagna

La tartufaia oggetto della sperimentazione è localizzata nella pianura padana a 5 m slm, nei terreni di proprietà del Consorzio di Bonifica Renana, strada Saiarino, 44011 Argenta (FE) (Fig. 4).

Le prime 9 parcelle sperimentali si trovano all'interno del parco del Museo della

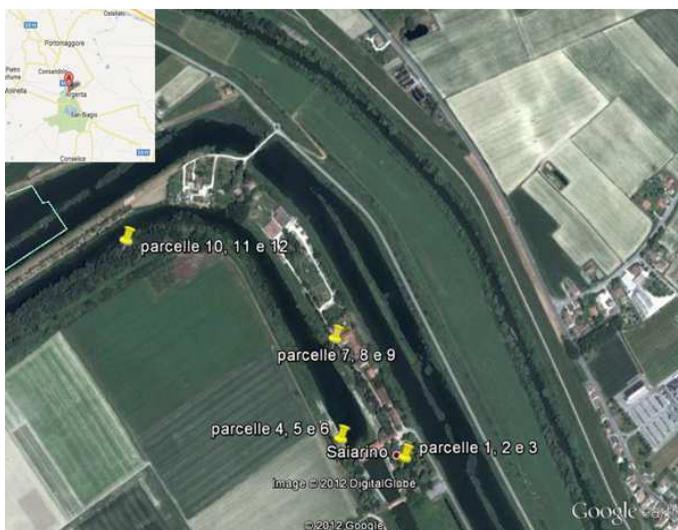


Fig. 4. Localizzazione e parcellazione della tartufaia di Argenta (immagini tratte da ©2012 Google).

Bonifica e sono rappresentative di un'importante realtà tartufigola regionale dove attualmente si concentra la maggior parte della produzione tartufigola di pianura: ambienti fortemente antropizzati (parchi, giardini, alberature stradali, ecc.) in cui le piante simbionti sono rappresentate da tigli e pioppi. Altre tre parcelle sperimentali sono state ricavate in un'area di terreno vicino al parco, gestita dall'associazione ARCI tartufi di Ferrara. Quest'altra area produttiva è situata in un ambiente tartufigeno naturale tipico della pianura emiliano-romagnola che attualmente, purtroppo, è diventato estremamente raro: i boschi planiziarzi igrofilici situati in vicinanza di corsi d'acqua.

La superficie della tartufigaia è prevalentemente pianeggiante ad eccezione di alcune zone limitate, coincidenti con gli argini dei canali della bonifica che interessano le parcelle 6, 7, 8 e 9.

La vegetazione è molto eterogenea: le parcelle 1-6 sono coperte da una vegetazione arborea completamente artificiale costituita da tigli, platani, cedri ed altre specie ornamentali (*Magnolia* sp., *Sophora* sp.) aventi una copertura compresa fra il 60 e 90% (Fig. 5), ad eccezione della parcella 6 che è interessata da un filare di pioppi neri che danno una copertura inferiore all'1%. Le parcelle 7, 8 e 9 sono ubicate attorno a tre grossi pioppi neri, alti circa 15-18 metri e con un grande sviluppo delle chiome (copertura intorno al 40-60% per le parcelle 8 e 9 e del 3% per la parcella 7) e sono in parte delimitate da un filare di pino nero.

La vegetazione ripariale (parcelle 10, 11 e 12), invece, è costituita da pioppo bianco, pioppo nero e olmo campestre con copertura del 40-60%. In queste parcelle vi è inoltre una rilevante presenza di specie arbustive, (rovo, vitalba, sambuco, olmo) che offrono una copertura compresa tra 30 e 75%.



Fig. 5. Tartufigaia di Argenta (parcelle 1, 2 e 3).

## Regione Abruzzo

La tartufaia oggetto della sperimentazione (di seguito indicata come tartufaia di Feudozzo) è una cerreta localizzata in un'area appenninica a 950 m slm, nei terreni della Foresta Demaniale Regionale "Feudozzo" gestita dal Corpo Forestale dello Stato – Ufficio per la Biodiversità (CFS-UTB di Castel di Sangro, L'Aquila) (Fig. 6).

La cerreta di Feudozzo si presenta, strutturalmente, come una giovane fustaia piuttosto rada, ancora sfruttata (Figg. 7-8). La copertura dello strato arboreo è, infatti, relativamente scarsa (intorno al 60%) mentre lo strato arbustivo risulta piuttosto fitto (70%). Combinando questo dato con quello della vegetazione erbacea si hanno valori di copertura del suolo molto elevati che superano il 100%. La superficie è a debole pendenza ed esposta verso est, interessata da processi di accumulo sia di origine colluviale che legati a dissesti. La fisiografia in dettaglio è complessa, l'area è infatti reincisa da impluvi.



Fig. 6. Localizzazione e parcellazione della tartufaia di Feudozzo (immagini tratte da ©2012 Google).

Due incisioni principali (relativamente al dettaglio di scala), interessano le parcelle C1-A1-B2 ed A4-C4-C2, mentre una parte delle parcelle A2 e B3 è pendente verso sud. La parcella B1 è quella relativamente meno pendente.

Il substrato geologico è rappresentato da alternanze argilloso arenacee. Nella tartufaia vi è una significativa presenza di specie meso-igrofile, favorite dalla presenza di scorrimento d'acqua superficiale, verosimilmente dovuto alla vicinanza di piccole sorgenti.



Fig. 7. Tartufaia di Feudozzo.



Fig. 8. La tartufaia di Feudozzo dopo la parcellizzazione con recinzione elettrificata.

## Regione Molise

La tartufaia oggetto della sperimentazione (di seguito indicata come tartufaia di Collemeluccio) è una cerreta localizzata in un'area appenninica a 810 m s.l.m., nei terreni della riserva Man & Biosphere “Collemeluccio” del Corpo Forestale dello Stato – Ufficio per la Biodiversità (CFS-UTB di Isernia) (Fig. 9).

Anche la cerreta di Collemeluccio si presenta, sotto il profilo strutturale, come una fustaia (Fig. 10). A differenza della tartufaia di Feudozzo, questa non viene tagliata da diversi anni. Tuttavia, sono ben evidenti segni tangibili di recenti interventi colturali relativi a ripulitura del sottobosco ed impianto di specie arboree (segnatamente *Alnus cordata* ed *Abies alba*).

La superficie è sub pianeggiante, con le parcelle A3, C2, B3 ed A1 con pendenze lievemente superiori di quelle delle parcelle B1, A2, C3, C1 e B2.



Fig. 9. Localizzazione e parcellazione della tartufaia di Collemeluccio (immagini tratte da ©2012 Google).

La copertura arborea stimata è di circa il 30-40%, uguale a quella arbustiva mentre la copertura erbacea è del 70%.

L'area è collocata su un terrazzo alto del fiume Trigno attraversato dal torrente Sarcitano (Fig. 11), in una situazione ecologica, quindi, caratterizzata da suolo umido e profondo. Il torrente incide substrati argillo-arenacei. I materiali su cui evolvono i suoli sono di origine colluviale.



Fig. 10. Tartufaia di Collemeluccio.



Fig. 11. Torrente Sarcitano che lambisce le parcelle C2, B3 e A1 della tartufaia.

### 3. I SUOLI DELLE TARTUFAIE

Lorenzo Gardin<sup>1</sup>, Massimo Paolanti<sup>2</sup>

La presenza e la fruttificazione dei tartufi sono fortemente condizionate dalle caratteristiche pedo-morfologiche del sito di crescita. Molto spesso si pensa al suolo come un elemento dell'ecosistema con caratteristiche proprie non in relazione con l'ambiente circostante e ancora, erroneamente, si pensa che una serie di dati analitici di laboratorio possa darci garanzia di conoscere le caratteristiche del suolo stesso. La conoscenza approfondita dei fattori dell'ecosistema che generano il suolo e la comprensione dei processi che in esso hanno luogo, consentono di riconoscere, individuare e delimitare dei territori aventi tra loro simili caratteristiche pedologiche e in tal modo di gestire e di controllarne la complessa variabilità. Numerosi studi condotti presso l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze (oggi CRA-ABP), realizzati nei più importanti ambienti produttivi dei principali tartufi eduli della Toscana [7-12], hanno trattato dell'importanza dei caratteri fisici e chimici del suolo in relazione alla presenza del tartufo. Studi analoghi condotti recentemente in Abruzzo [13-14] hanno portato alla luce la relazione fra il suolo e il tartufo anche su ambienti dell'Italia Centrale.

Per questi motivi si è voluto caratterizzare in dettaglio il suolo delle tartufoie oggetto di studio con particolare riferimento alla tartufoia Toscana e dell'Emilia Romagna in cui sono state effettuate le prove di lavorazione del suolo.

---

<sup>1</sup>Libero professionista, Firenze

<sup>2</sup>Libero professionista, Choros, Roma

## Metodologia di studio

Al centro di ogni parcella disegnata nelle tartufoie sperimentali è stata fatta un'osservazione pedologica, volta a descrivere i principali parametri pedologici importanti per la comprensione dei processi pedogenetici e per la loro intima relazione con la crescita e fruttificazione del tartufo. La descrizione del suolo è stata realizzata facendo uso delle specifiche contenute nella "Guida alla Descrizione dei Suoli in Campagna e alla Definizione delle loro Qualità", messa a punto dall'Istituto Sperimentale per lo Studio del Suolo di Firenze (CRA-ABP).

Si riportano brevemente i caratteri del suolo su cui ci siamo particolarmente soffermati e si descrive sinteticamente la loro importanza nei confronti del tartufo.

La suddivisione verticale del suolo in orizzonti ha consentito una descrizione per porzioni omogenee di suolo e ciò ha favorito la comprensione dei processi che in esso avvengono, compresi quelli inerenti la componente organica della lettiera.

Mediante l'utilizzo di specifiche tavole colorimetriche (Munsell Soil Color Chart) si è identificato il colore del suolo per fini diagnostici, cioè per poter meglio confrontare l'espressione di alcuni processi pedogenetici su due differenti campioni. Il colore evidenzia, per esempio, la presenza di fenomeni di ossidoriduzione; nel caso di suoli con problemi di drenaggio possono verificarsi condizioni di ristagno idrico che portano alla formazione di zone di colore diverso rispetto alla matrice del suolo, denominate screziature, di colore rosso e grigio (dovute al ferro) e nero (dovute al manganese). E' noto che tali condizioni sono assolutamente negative per la crescita e la fruttificazione dei tartufi.

La strutturazione del suolo è la modalità con cui le sue particelle primarie, cioè sabbia, limo, argilla, si uniscono tra loro in particelle composte denominate aggregati che determinano la distribuzione dei pori, l'aerazione e la permeabilità del suolo, parametri ritenuti di estrema importanza per la formazione delle condizioni di idoneità alla crescita e alla fruttificazione dei tartufi.

La presenza di scheletro, ovvero di frammenti di roccia superiori a 2 mm di diametro, è importante perché questo può costituire una fonte di calcare al suolo e perché, quando abbondante, determina condizioni di alta aerazione. Nella fase di campagna si sono eseguite anche delle stime di alcuni parametri chimici e fisici che poi sono stati misurati in laboratorio su un campione prelevato. Fra questi vi sono: l'effervescenza di un campione all'acido cloridrico che evidenzia la presenza nel suolo di carbonato di calcio, il pH, determinato mediante l'uso di titolatori colorimetrici; e la stima della tessitura, cioè della distribuzione delle particelle di suolo in sabbia, limo e argilla, che può aiutare fin da subito a comprendere per esempio il comportamento del suolo nei confronti dell'acqua (ritenzione idrica, drenaggio, permeabilità). Il drenaggio è una qualità del suolo relativa alla frequenza e alla durata dei periodi durante i quali il suolo non è saturo o è parzialmente saturo di acqua. Infine è stata fatta una stima della profondità del suolo, intesa come profondità degli orizzonti che possono essere interessati dalle radici delle piante.

Nel punto di descrizione del suolo è stato prelevato un campione ad una profondità compresa fra 0 e 20 cm, avendo avuto cura di escludere dal campionamento la lettiera e altri materiali organici grossolani, per la determinazione in laboratorio dei principali parametri fisici e chimici, di cui si riporta una breve descrizione. E' stata determinata la granulometria, che è un carattere stabile del terreno al quale sono collegate, direttamente e indirettamente, importanti proprietà dei suoli, fra le quali le più significative per il tartufo sono: la permeabilità all'aria e all'acqua, la capacità di trattenere l'acqua, la disponibilità di elementi nutritivi. La determinazione della granulometria è stata fatta con il metodo del densimetro.

Il pH, misurato in soluzione acquosa 1:5, rappresenta la misura dell'acidità e dell'alcalinità nel suolo o, più propriamente, della reazione del suolo, parametro discriminante per la crescita delle micorrize del tartufo e per l'insorgenza di funghi antagonisti. Il calcare totale, misurato con metodo gas-volumetrico, esprime la percentuale in peso dei carbonati nel suolo ed è un importantissimo regolatore del pH. La sostanza organica, misurata con il metodo di Walkley-Black, è un fattore centrale nel funzionamento degli ecosistemi: da essa dipende in generale la fertilità del suolo ed influisce fortemente sulla porosità e sulla formazione di nuovi aggregati. Infine la conducibilità elettrica, determinata su un estratto acquoso in rapporto 1:5, misura la concentrazione di sali solubili nella soluzione circolante (principalmente cloruri e solfati) che risultano essere dei sali assai dannosi per il micelio.

In ogni parcella sperimentale è stato inoltre prelevato un campione a parte per la determinazione, col metodo del cilindretto di volume noto, della densità apparente (rapporto fra massa e volume), che è una misura indiretta della porosità del suolo.

I risultati ottenuti sono stati messi in un sistema informativo geografico al fine di poter gestire la visualizzazione di ciascun parametro e le principali variabili sono state spazializzate per meglio comprendere i fenomeni e confrontare le caratteristiche di ciascuna parcella.

## **I suoli della tartufaia sperimentale di Barbiolla (Toscana)**

I suoli rilevati sono assai poco evoluti, a profilo A-AC-C, privi dei più comuni fenomeni di alterazione quali l'aumento dei colori bruni rispetto al substrato, la rimozione dei carbonati, un alto grado di sviluppo della struttura (Fig. 12).

Sono suoli moderatamente profondi, con il substrato pedogenetico intorno a 100 cm di profondità e con la possibilità per le radici delle piante di occupare il massimo volume a loro disposizione, non essendo mai presente alcuna limitazione o impedimento all'approfondimento e all'espansione degli apparati radicali.



Fig. 12. Il suolo di Barbialla: Typical Ustorthents, coarse loamy, mixed, calcareous, thermic.

Il drenaggio dei suoli è sempre buono sia in superficie che in profondità, dovuto alla alta conducibilità degli orizzonti superficiali; sono tuttavia occasionalmente presenti in profondità, degli strati, generalmente di scarso spessore, a tessitura più fine (franca e franco limosa), aventi una più bassa permeabilità, al di sopra dei quali si possono evidenziare dei fenomeni di temporaneo ristagno idrico. Questo appare più una qualità positiva che consente ai suoli di mantenersi freschi e umidi anche nei periodi più siccitosi, piuttosto che una limitazione nella disponibilità di ossigeno per le radici delle piante.

La tessitura degli orizzonti superficiali analizzati evidenzia una grande omogeneità: questi sono tutti franco sabbiosi con contenuti di argilla compresi fra 6% e 12% e contenuti in sabbia compresi fra 60% e 70% e sono del tutto privi di frammenti di roccia.

Più significativa è invece la variazione del contenuto di carbonato di calcio totale, che evidenzia come il processo di decarbonatazione sia incipiente in alcune parcelle, sia per quelle non direttamente interessate da fenomeni franosi (1, 2, 3), sia per quelle interessate da un più alto contenuto in sostanza organica che si lega intimamente al calcare; nelle altre parcelle il continuo arrivo di materiale contribuisce ad un sostanziale rallentamento del processo di decarbonatazione.

La densità apparente che esprime indirettamente la porosità, l'aerazione e la sofficità del suolo, presenta una variabilità assai significativa, con valori compresi fra 0,9 (parcelle 5 e 8) e 1,2 (parcella 1); si conferma come nelle superfici morfologicamente più stabili (parcelle 1, 2, 3, e anche 4) vi sia una maggiore densità del suolo, mentre nelle parcelle interessate da fenomeni erosivi il suolo sia più soffice e più aerato (parcelle 5, 6, 7, 8 e 9).

Anche il contenuto di carbonio organico appare significativamente variabile; nelle zone più stabili (parcelle 1, 2 e 3) il contenuto di carbonio organico è minore, e ciò può essere dovuto al fatto che questi suoli sono stati coltivati in passato, mentre il maggior contenuto di carbonio nelle altre parcelle può esser causato dai fenomeni erosivi ivi presenti, che tendono ad accumulare materia e con essa anche il carbonio organico, sottraendolo alla mineralizzazione.

Infine la conducibilità elettrica misurata in tutti i campioni mostra che non vi sono sali in quantità significativa e che pertanto non ci sono problemi per le radici delle piante e per il micelio. Le zone con una maggiore concentrazione di sali sono quelle dove vi è un accumulo dei flussi idrici che trasportano ed accumulano i soluti nel suolo.

### **I suoli della tartufaija sperimentale di Argenta (Emilia Romagna)**

I suoli rilevati nelle parcelle sperimentali presentano molti tratti comuni; tutti si sono evoluti da depositi alluvionali di tessitura media ed in generale si può affermare che gli orizzonti superficiali risultano più franchi, mentre gli orizzonti più profondi hanno maggiori contenuti di limo e di argilla (Fig. 13). L'evoluzione dei suoli è scarsa, l'alterazione del materiale di partenza è agli inizi; lo mostrano i colori omogenei degli orizzonti minerali e la presenza ancora abbondante di carbonati in tutto il profilo. Sono suoli molto profondi, senza alcuna limitazione o impedimento di natura fisica all'approfondimento e sviluppo radicale (es. roccia, frammenti di roccia, orizzonti induriti, etc.). Una limitazione per alcuni tipi di piante può essere costituita, in alcuni periodi dell'anno, dalla presenza di acqua libera a partire da circa 30-60 cm dalla superficie del suolo; lo dimostrano le comuni screziature di colore bruno grigiastro e bruno oliva che si ritrovano in quasi tutti i suoli delle parcelle. La disponibilità d'ossigeno per le radici delle piante risulta quindi essere moderata e il drenaggio del suolo da moderato a piuttosto mal drenato, proprio a causa della temporanea saturazione del suolo per risalita capillare della falda. Del resto le parcelle sperimentali si trovano sul primo argine del canale di bonifica e il livello dell'acqua è a circa 1-2 metri dal piano campagna.

Gli orizzonti superficiali, a causa della loro tessitura più sabbiosa, non presentano evidenze di ristagno idrico e il movimento dell'acqua in questi orizzonti è rapido. I suoli rilevati sono privi di frammenti di roccia in tutto il profilo. Entro 60 cm di profondità non è stato riscontrato alcun problema di salinità, né un eccesso di sodio nel complesso di scambio che risulta completamente saturato dalle basi, in particolare dal calcio e dal magnesio.



Fig. 13. Il suolo di Argenta: Aquic Ustochrepts, coarse loamy, mixed, thermic.

La granulometria degli orizzonti superficiali evidenzia tuttavia alcune differenze:

- le parcelle 1, 2 e 3 sono tutte franco sabbiose e risultano avere alti contenuti in sabbia (55-60%) e bassi contenuti in argilla (10-14%). In profondità i suoli diventano franchi e franco limosi con contenuti di sabbia stimati intorno al 45-50% e argilla intorno al 20%;
- le parcelle 4, 5 e 6 risultano invece franco limose, con contenuti di sabbia intorno al 30% e di argilla intorno al 18%, e questi valori si mantengono tali anche in profondità;
- le parcelle 7, 8 e 9 risultano franche e franco sabbiose in superficie, con contenuti di sabbia da 36 a 60% e contenuti in argilla da 9 a 20%, mentre in profondità diventano franco limose diminuendo il contenuto di sabbia a favore del limo;
- le parcelle 10, 11 e 12 risultano estremamente variabili, forse a causa della loro maggiore naturalità; i contenuti di sabbia variano da 17 a 54% e i contenuti in argilla da 13 a 41%; anche in profondità sono state stimate simili differenze.

Analizzando il contenuto in carbonato di calcio totale, si evidenzia come il processo di decarbonatazione sia quasi del tutto assente o appena incipiente in questi suoli; tutti i campioni analizzati sono risultati molto calcarei con contenuti variabili da 13 a 21% e le differenze fra le parcelle sono del tutto trascurabili. Il calcare attivo, la parte più finemente suddivisa, mostra variazioni più sensibili (da 2,9 a 11%), ma ciò non sembra avere particolare rilevanza.

I valori di pH sono compresi fra 7,9 e 8,3 (media 8,1); l'abbondante presenza di carbonato di calcio tampona in tutti i suoli la soluzione circolante e la reazione

risulta così moderatamente alcalina; nella classe con i valori più bassi si trovano le parcelle che hanno il contenuto di sostanza organica maggiore (parcelle 9 e 10) per il ruolo giocato dagli acidi organici.

I valori di densità apparente misurati nelle parcelle 1-6, ovvero nelle parcelle ubicate intorno all'edificio del Consorzio, sono i più elevati essendo compresi fra 1,25 e 1,59 (media 1,48), esplicitando la sensazione che siano luoghi ove vi è una certa compattazione del suolo causata dalla presenza antropica (calpestio, passaggio di macchine) e dall'assenza di lavorazioni del terreno.

Nelle altre parcelle 7-12 i valori sono nettamente più bassi ed oscillano tra 1,02 e 1,31 (media 1,14) mostrando quindi una buona porosità e sofficità del suolo, che sembra determinata maggiormente dalla strutturazione degli aggregati e soprattutto dall'alto contenuto in sostanza organica. La densità apparente è un parametro estremamente variabile spazialmente e necessiterebbe di numerose ripetizioni; tuttavia i dati sono sufficienti per evidenziare le suddette differenze rilevate fra le parcelle.

Anche il contenuto di sostanza organica, come accennato, appare significativamente variabile; nelle parcelle 1-6 il valore oscilla tra 2,4 e 4,8% (media 3,7), mentre nelle parcelle 6-12 i contenuti sono maggiori e oscillano tra 3,4 e 9,7% (media 6,2); tra le possibili cause di queste differenze si può considerare il maggior apporto di lettiera fornito da ambienti più naturali (bosco ripariale e prato stabile) rispetto a quelli antropici. Il rapporto C/N, utilizzato come grado di mineralizzazione della sostanza organica, mostra per tutte le parcelle dei valori molto omogenei che oscillano tra 9,4 e 14,2 (media 11,3) e ciò mostra un'alta velocità di trasformazione dei composti organici ad opera dei microrganismi.

## **I suoli della tartufaia sperimentale di Feudozzo (Abruzzo)**

I suoli di questo sito debbono le loro caratteristiche ai processi pedogeomorfici che modellano il versante. Gli orizzonti superficiali e sub superficiali risentono degli apporti colluviali delle parti superiori del versante, e questo influenza struttura e morfologia di questi orizzonti. I materiali di suolo in ogni caso sono fortemente correlati, per tessitura e caratteristiche del complesso di scambio, al substrato geologico che è rappresentato da alternanze argillose arenacee.



Fig. 14. Il suolo di Feudozzo: Typic Eutrudepts, mixed, mesic.

Il tipo di suolo più rappresentativo è costituito da inceptisuoli franco fini, a profilo A-B profondi (Fig. 14). Hanno un orizzonte A1 franco sabbioso, spesso generalmente meno di 10 cm, cui segue un orizzonte Bw1 a tessitura franca (da franco limoso argillosa a franco sabbiosa). In profondità aumenta il contenuto in argilla (tessiture da franco argilloso a franche). I suoli sono moderatamente ben drenati, con evidenze di idromorfia a partire da 60-80 cm di profondità. La presenza di scheletro è molto variabile anche a breve distanza, ma mai con contenuti elevati e prevalentemente a partire da 60 cm di profondità. Si tratta di suoli calcarei con reazione debolmente alcalina, talora neutra in superficie.

I valori della densità apparente, prima dell'attività sperimentale, si attestano tra 1,1 ed 1,3. Il contenuto in sostanza organica è relativamente elevato per un ambiente forestale, ma già a 50 cm diviene scarso. Il rapporto C/N, utilizzato come grado di mineralizzazione della sostanza organica, mostra per tutte le parcelle dei valori molto omogenei che oscillano tra 9,4 e 15,0 (media 11,1) indice di un'alta velocità di trasformazione dei composti organici ad opera dei microrganismi.

La lettiera non è molto spessa e nei primi orizzonti vi è un'attività biologica, elevata.

Riportiamo la distribuzione delle tessiture (classe USDA) ed il contenuto in calcare attivo (mg/g):

1. FLA: franco limoso argillosa
2. F: franca
3. FL: franco limosa
4. FS: franco sabbiosa

(B1) FLA 120	(C1) FLA 112	(B4) FLA 117	(A2) F (ND)
(C3) F 39	(A1) FLA 106	(A4) F 75	(B3) F 50
(A3) FLA 110	(B2) FL 105	(C4) FS 117	(C2) F 99

I dati analitici mettono in evidenza una variabilità all'interno dell'area con trend andamenti:

- suoli con sub orizzonte Bw1: a tessitura da franco limoso argillosa a franco limosa con contenuto in calcare attivo superiore a 100 mg/g (10%)
- suoli con sub orizzonte Bw1: a tessitura franca con contenuto in calcare attivo inferiore a 100 mg/g (10%)
- suoli con sub orizzonte Bw1: a tessitura franco sabbiosa con contenuto in calcare attivo superiore a 100 mg/g (10%)

Da notare, comunque, che le evidenze di campo mostrano chiaramente come ci sia un'ampia variabilità all'interno delle singole parcelle.

### **I suoli della tartufaia sperimentale di Collemeluccio (Molise)**

Il tipo di suolo più rappresentativo è costituito da inceptisuoli franco fini, a profilo A-B profondi (Fig. 15). Hanno un sottile orizzonte A1 franco sabbioso, spesso generalmente meno di 10 cm cui seguono orizzonti cambici a tessitura franco argillosa, con contenuti in argilla sempre superiori al 27%. I suoli sono moderatamente ben drenati, con evidenze di idromorfia già a partire dai 30 cm. Si tratta di suoli ricchi in calcare attivo e totale. I frammenti grossolani sono scarsi o



Fig. 15. Il suolo di Collemeluccio: Typic Eutrudpts, mixed, mesic.

assenti in superficie e divengono comuni a partire dagli 80 cm. Si tratta di suoli con calcare attivo scarso e reazione da neutra a debolmente alcalina. I valori della densità apparente, prima dell'attività sperimentale, si attestano tra 1,2 ed 1,3.

Il contenuto in sostanza organica è relativamente scarso per un ambiente forestale, e già a 30 cm diviene molto scarso.

Riportiamo la distribuzione delle tessiture (classe USDA) ed il contenuto in calcare attivo (mg/g):

1. FLA: franco limoso argillosa
2. FA: franco argillosa

(C2) FLA 94	(B3) FLA 119	(A1) FA 99
(A3) FLA 117	(C1) FA 185	(B2) FA 161
(B1) FLA 108	(A2) FA 98	(C3) FA 276

I dati analitici mettono in evidenza una certa uniformità nell'area per quanto riguarda le tessiture ed una più marcata per quanto riguarda il calcare attivo che si mantiene sempre al di sopra dei 90 mg/g (9%).

## 4. LE ECTOMICORRIZE

Pamela Leonardi<sup>1</sup>, Marco Leonardi<sup>2</sup>

I tartufi come molti altri funghi che vivono nel suolo formano simbiosi di tipo mutualistico con le radici di piante superiori che prendono il nome di “ectomicorrize”.

Esplorando un bosco dopo abbondanti piogge, principalmente in autunno, ci si accorge della presenza dei funghi quando compaiono sul terreno i “corpi fruttiferi” o quando il cane addestrato segnala la presenza del tartufo nel terreno. Tuttavia questa è solo una fase, molto breve e fugace, del complesso ciclo vitale dei funghi che si svolge prevalentemente sotto la superficie del terreno.

Raccogliendo un po’ di suolo in un bosco ci si accorge come gli strati superficiali siano ricchi di radichette in cui le ectomicorrize possono essere visibili anche ad occhio nudo. Le radichette colonizzate dai funghi appaiono infatti notevolmente ingrossate per la presenza del mantello fungino rispetto a quelle non micorrizzate (Figg. 16 e 17) e possono presentarsi di forma clavata o cilindrica e più o meno ramificate in modo semplice (Fig. 18), monopodiale (con un asse principale da cui si dipartono delle ramificazioni secondarie) (Fig. 19), dicotomico (con assi che si dividono in due apici di eguale lunghezza) (Fig. 20) o coralloide (con assi molto corti e densamente ramificati) (Fig. 21).

Il colore degli apici micorrizzati è estremamente variabile: bianco (Fig. 22), nero (Fig. 23), marrone (Fig. 24), rossiccio (Fig. 25), giallo (Fig. 26), ocra (Fig. 27), ecc.

---

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università di Siena

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell’Aquila



Fig. 16. Apice radicale non micorrizzato.



Fig. 17. Apice radicale micorrizzato.



Fig. 18. Ramificazione semplice.



Fig. 19. Ramificazione monopodiale.



Fig. 20. Ramificazione dicotomica.



Fig. 21. Ramificazione coralloide.



Fig. 22. Micorriza di colore bianco.



Fig. 23. Micorriza di colore nero.



Fig. 24. Micorriza di colore marrone.



Fig. 25. Micorriza di colore rossiccio.



Fig. 26. Micorriza di colore giallo.



Fig. 27. Micorriza di colore ocrea.

Nella maggior parte dei funghi simbioti, dal mantello degli apici radicali micorrizati si sviluppano elementi filamentosi quali ife (Fig. 28), cistidi (Fig. 29) o rizomorfe (Fig. 30) che vanno ad esplorare il suolo circostante.



Fig. 28. Micorrizza con ife.



Fig. 29. Micorrizza con cistidi.



Fig. 30. Micorrizza con rizomorfe.

Le ectomicorrize dei tartufi hanno caratteristiche morfologiche che permettono di riconoscerle da quelle formate da altri funghi. Esse, infatti, sono di colore variabile dall'ocra chiaro al bruno rossiccio scuro, in rapporto alla specie, allo stadio di sviluppo ed alla pianta ospite; la tonalità del colore è uniforme dalla base all'apice nelle micorrize mature e in quelle in fase di quiescenza (Fig. 31) mentre in quelle giovani in attiva crescita l'apice è più chiaro del resto della micorrizza (Fig. 32).



Fig. 31. Micorrizza di tartufo matura.



Fig. 32. Micorrizza di tartufo in fase di crescita.

Il mantello fungino, o micoclina, è costituito da un intreccio compatto di ife che, perdendo il loro tipico aspetto allungato, formano un "pseudotessuto" i cui elementi assumono un aspetto rotondeggiante con margini più o meno sinuosi o angolosi (Fig. 33). Le micorrize di molte specie di tartufi formano cistidi semplici simili a spine come quelli di *T. borchii* (Fig. 34) o cistidi allungati di tipo ifale semplici o ramificati come quelli di *T. magnatum*.



Fig. 33. Micoclena *T. borchii*.



Fig. 34. Cistidi di *T. borchii*.

## Le comunità fungine ectomicorriziche delle tartufaie oggetto di studio

Le specie fungine e vegetali capaci di formare ectomicorrizze attualmente sono stimate essere rispettivamente circa 25000 e 6000 [15-16] e dominano praticamente tutti gli ambienti forestali del globo. I funghi appartengono sia alla divisione degli ascomiceti (come i tartufi) sia a quella dei basidiomiceti (come i porcini, le russule, i lattari, ecc.). In uno stesso bosco sono presenti numerose specie fungine ectomicorriziche, molte delle quali condividono la stessa pianta e addirittura la medesima radichetta.

Fra questi funghi si instaura un rapporto di reciproca competizione per la conquista delle giovani radichette non ancora colonizzate. In questa sorta di “lotta” sotterranea nessun fungo risulta in assoluto più forte ma il “vincitore” è quello che meglio si adatta alle particolari condizioni presenti nel suolo in quel momento. Un qualsiasi cambiamento può spostare gli equilibri a favore di una specie o di un'altra. Per questo motivo la composizione delle comunità fungine ectomicorriziche è estremamente dinamica e varia nel tempo in funzione di numerosi fattori biotici ed abiotici ancora in parte sconosciuti. Esiste una rete sotterranea di connessione tra le ife fungine, che permette una sorta di comunicazione e trasferimento sia di energia sia di sostanze nutritive e tutto ciò si manifesta con la comparsa di corpi fruttiferi delle specie ectomicorriziche implicate [17]. Quindi i tartufi nel suolo convivono con altri funghi ectomicorrizici in un equilibrio che deve essere mantenuto o spostato a favore del tartufo al fine di garantirne la sopravvivenza, la diffusione nella tartufaia e la produzione dei corpi fruttiferi.

La conoscenza della composizione delle comunità fungine presenti nelle tartufaie naturali è il primo importante passo per comprendere sia i rapporti che intervengono fra il tartufo e gli altri funghi sia l'effetto dei fattori (clima, tipo di suolo, intervento dell'uomo) che li regolano. Informazioni importanti possono quindi scaturire dal confronto delle comunità fungine presenti in ambienti diversi e nell'ambito di una stessa tartufaia fra i punti in cui si raccolgono i tartufi e quelli non produttivi.

A tal scopo nelle quattro tartufaie sperimentali di *T. magnatum* sono stati effettuati dei carotaggi di suolo e sono state studiate le comunità fungine presenti sulle radichette, ossia i funghi ectomicorrizici che le compongono.

I campioni di suolo sono stati prelevati con l'ausilio di un carotatore in acciaio, appositamente costruito, avente un diametro di 6 cm, conficcandolo nel suolo fino ad una profondità di 30 cm sia in corrispondenza dei punti di raccolta dei corpi fruttiferi di *T. magnatum*, sia in punti non produttivi delle tartufoie sperimentali (Fig. 35).



Fig. 35. Prelievo dei campioni di suolo per l'analisi delle ectomicorrize.

In ogni singolo campione di suolo sono stati prelevati tutte le radichette visibili ad occhio nudo, e successivamente tutto il suolo è stato vagliato in un setaccio avente maglie di 2 mm. I vari apici radicali trattenuti dal setaccio sono stati ulteriormente ripuliti dai residui terrosi in acqua corrente (Fig. 36).

Gli apici radicali colonizzati da micorrize morfologicamente simili (i cosiddetti morfotipi) presenti in ciascun campione sono stati descritti<sup>3</sup>, raggruppati e contati (in questo modo si calcola l'abbondanza di ciascun morfotipo presente in un campione). Poi attraverso l'analisi molecolare tutti i funghi che costituiscono i diversi morfotipi micorrizici sono stati identificati e classificati (in questo modo si è calcolato il numero di specie fungine presenti in un campione di suolo, ossia la ricchezza in specie). Tali analisi sono state condotte con una metodologia molecolare messa a punto dal gruppo di lavoro dell'Università di Bologna [18].

---

<sup>3</sup> Le descrizioni dettagliate dei morfotipi ectomicorrizici sono riportate nel database [eMyCo - ectoMycorrhizal Community database](http://emyco.uniss.it/): <http://emyco.uniss.it/>



Fig. 36. Ripulitura e selezione degli apici micorrizati tramite setaccio (2 mm).

Nel corso delle prove sono stati esaminati 8100 apici radicali micorrizati (4365 nei punti non produttivi e 3735 nei punti produttivi) in 73 campioni di suolo e sono state descritte le micorrize sulla base del loro aspetto macroscopico e microscopico. Sono state identificate 129 specie e le regioni che hanno mostrato una maggiore diversità micorrizica sono l'Abruzzo (60 specie) e la Toscana (45 specie) mentre in Emilia Romagna ed in Molise sono state rilevate rispettivamente solo 22 e 30 specie. Fra queste specie fungine 15 erano comuni ad almeno due tartufaie, 5 a tre tartufaie e solo una specie di *Tomentella* è stata trovata in tutte le tartufaie sperimentali.

All'interno delle 4 tartufaie naturali di *T. magnatum* i funghi micorrizici maggiormente rappresentati, sia come numero di apici radicali (abbondanza) sia come numero di specie (ricchezza), appartengono alla famiglia delle Thelephoraceae (2281 apici e 41 specie) e Sebacinaceae (1500 apici e 23 specie) (Figg. 37 e 38). Queste due famiglie di funghi ectomicorrizici sono notoriamente le più rappresentate all'interno delle tartufaie di bianco, infatti, anche in altri studi la loro presenza sembrerebbe essere una costante [19]. Questi funghi formano corpi fruttiferi molto effimeri ed è estremamente difficile trovarli sulla superficie del suolo. Per questo motivo l'analisi delle micorrize è molto importante per poter rilevare tutti i funghi presenti in un ambiente e non solo quelli di cui vediamo i corpi fruttiferi. Inoltre la formazione dei corpi fruttiferi dipende molto dalle condizioni stagionali (piogge, temperature, ecc.) mentre le micorrize nel suolo subiscono fluttuazioni temporali più ridotte.

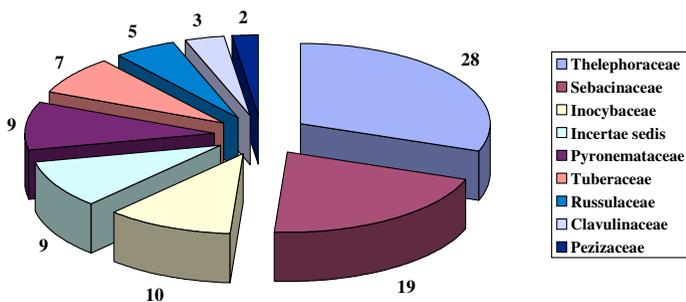


Fig. 37. Rappresentazione grafica delle varie famiglie e la loro abbondanza espressa in %. Non sono riportate le famiglie osservate raramente (Strophariaceae, Boletaceae, Tricholomataceae, Cortinariaceae, Hygrophoraceae, Hydangiaceae, Herpotrichiellaceae, Trichocomaceae) e gli ordini Helotiales e Pezizales.

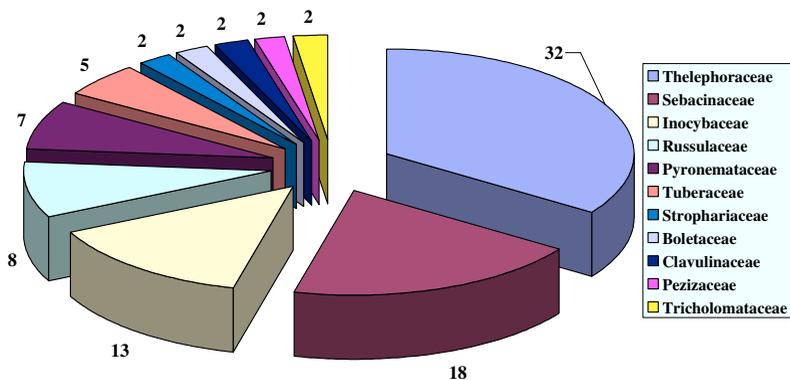


Fig. 38. Rappresentazione grafica delle varie famiglie e la loro ricchezza in specie espressa in %. Non si riportano le famiglie rappresentate da una sola specie (Cortinariaceae, Herpotrichiellaceae, Hydangiaceae, Hygrophoraceae, *Cenococcum* sp. Incertae sedis, Trichocomaceae) e gli ordini Helotiales e Pezizales.

Un altro gruppo di specie molto ben rappresentato sia a livello di abbondanza sia a livello di ricchezza specifica all'interno delle tartufaie, appartiene alla famiglia delle Inocybaceae. Questo dato inoltre è confermato anche dalla raccolta all'interno delle tartufaie di numerosi corpi fruttiferi di funghi appartenenti a tale famiglia (Fig. 39).



Fig. 39. Corpi fruttiferi di *Inocybe rimosa* raccolti nella tartufaia di Argenta.

Mettendo a confronto le due figure (Figg. 37 e 38) si può notare come famiglie più abbondanti spesso sono rappresentate da un numero esiguo di specie. Ad esempio risulta molto interessante l'andamento delle Tuberaceae e delle Russulaceae: infatti, le prime pur avendo un numero di apici radicali piuttosto alto sono rappresentate da poche specie (circa 600 apici e 7 specie), mentre le seconde hanno mostrato un andamento opposto con circa 400 apici e 10 specie.

All'interno delle quattro tartufaie oggetto di studio non sono mai state trovate le micorrize di *T. magnatum*; come osservato pure in altre ricerche, infatti, le micorrize del tartufo bianco sono molto rare o assenti e sembra che la produzione di corpi fruttiferi non dipenda direttamente dalla loro presenza [19].

In tutte le tartufaie, tranne in quella molisana, sono state rinvenute micorrize di altre specie di tartufi (Fig. 40) (*T. rufum*, *T. borchii*, *T. maculatum*, *T. brumale*, *T. melanosporum*, *T. dryophilum* e *Tuber cf. scruposum*) con *T. rufum* e *T. borchii* piuttosto abbondanti. In particolare nella tartufaia di Argenta ne sono state trovate ben 5 fra cui quelle *T. melanosporum* che risulta estremamente raro in Emilia Romagna. Questa co-presenza di altre specie di *Tuber* nelle tartufaie di tartufo bianco, e spesso nei punti di ritrovamento dei suoi corpi fruttiferi, potrebbe avere un significato ancora sconosciuto ma molto importante nella biologia di *T. magnatum*.

Le micorrize di *Tuber cf. scruposum* e di *T. rufum* sono state trovate principalmente nei punti produttivi (PP) o in parcelle in cui sono stati raccolti corpi fruttiferi di *T. magnatum* nel corso della sperimentazione. Al contrario le micorrize dei tartufi neri (*T. brumale* e *T. melanosporum*) raccolte nelle tartufaie dell’Abruzzo e dell’Emilia-Romagna e dei tartufi bianchi (*T. borchii* e *T. maculatum*) della Toscana erano presenti esclusivamente in punti non produttivi (PNP).

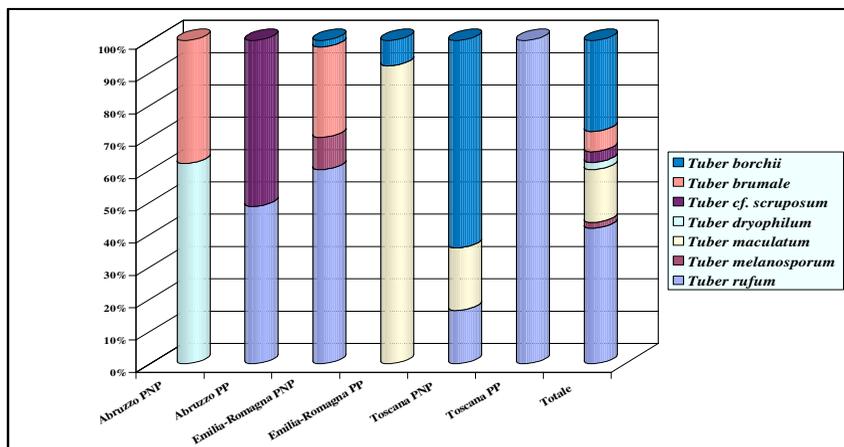


Fig. 40. Rappresentazione grafica della distribuzione del genere *Tuber*.

Concludendo, da questo studio si evince come alcune specie fungine ectomicorriziche che accompagnano *T. magnatum* potrebbero influire positivamente sulla sua diffusione nelle tartufaie naturali ed addirittura favorirne la fruttificazione. In particolare tra gli ascomiceti ipogei *T. rufum* ha dimostrato di essere abbondante nei punti di raccolta dei corpi fruttiferi di *T. magnatum*, quindi si potrebbe ipotizzare che questa specie di tartufo giochi un ruolo importante nel ciclo biologico di *T. magnatum* o che possa essere una specie indicatrice di un microambiente ottimale per il suo sviluppo. Al contrario altre specie di tartufi, come *T. brumale* e *T. melanosporum*, potrebbero essere potenziali competitori nei confronti di *T. magnatum* o comunque la loro presenza potrebbe segnalare inadeguate condizioni pedologiche. Anche alcuni macrofunghi epigei rinvenuti come micorrize sulle radici campionate potrebbero essere imputati al ruolo di competitori o cooperatori. Infatti la famiglia delle Inocybaceae, molto ben rappresentata a livello ectomicorrizico nelle aree di studio, sembrerebbe prediligere le medesime nicchie di *T. magnatum*. Mentre un'altra famiglia molto ben rappresentata nei boschi mediterranei, quella delle Russulaceae, tenderebbe a fruttificare in zone dove il tartufo risulta del tutto assente.

## 5. LA QUANTIFICAZIONE DEL MICELIO DI *T. MAGNATUM* NEL SUOLO

Mirco Iotti<sup>1</sup>, Marilena Oddis<sup>2</sup>

*T. magnatum* è da sempre considerato un fungo ectomicorrizico ma, a differenza delle altre specie di tartufo, è molto difficile osservare le sue micorrize. Queste ultime, infatti, non solo si ottengono con difficoltà in serra in condizioni controllate, ma sono anche estremamente rare nelle tartufoie naturali ed è molto difficile “scovarle” sugli apparati radicali. Per questo motivo è impossibile valutare la presenza e la diffusione di questo tartufo in un bosco semplicemente contando il numero di apici radicali che colonizza come normalmente si fa per gli altri tartufi di pregio quali *T. melanosporum*, *T. aestivum* o *T. borchii* [20-22]. Una valida alternativa è quella di quantificarne il micelio (l'insieme delle ife di un fungo) che esce dalle radici delle piante e si sviluppa libero nel suolo. Purtroppo le ife generalmente non possiedono caratteri morfologici distintivi che ci permettono di risalire alla specie di appartenenza e funghi anche molto diversi fra loro possono avere miceli molto simili. Diventa dunque necessario analizzare un certo volume di suolo e, in funzione del DNA contenuto nel micelio di un fungo, verificare se esso è presente, in che quantità e in che rapporto rispetto alle altre specie fungine. Le tecniche di biologia molecolare attualmente disponibili per scopi diagnostici sono numerose ma tutte si basano sull'applicazione della “Reazione a Catena della Polimerasi” (PCR) con la quale un piccolo frammento del DNA di un organismo

---

<sup>1</sup>Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare, Università di Bologna

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell'Aquila

viene riprodotto, ossia amplificato, fedelmente in diverse decine di milioni di copie. Gli inneschi (primers) di questa reazione di amplificazione possono essere “universali” (riproducono uno specifico frammento di DNA indipendentemente dalla specie fungina analizzata) oppure “specifici” (amplificano lo stesso frammento di DNA ma solo se appartenente ad una determinata specie). Primers “universali” sono stati impiegati nel corso di questo progetto per studiare le comunità fungine ectomicorriziche (vedi capitolo precedente) per cui è stato necessario identificare tutte le specie fungine in simbiosi con le radici delle piante. Al contrario l'impiego dei primers specifici permette di verificare con una semplice analisi PCR se il micelio di una certa specie fungina, es. *T. magnatum*, è presente all'interno di un campione biologico, es. suolo o radice. Un'ulteriore evoluzione della tecnica PCR, denominata “real-time PCR”, permette anche di quantificare il DNA della specie oggetto della nostra indagine registrando appunto in “tempo reale” l'andamento del processo di amplificazione. A livello pratico questa tecnica è ampiamente applicata per la quantificazione di Organismi Geneticamente Modificati all'interno ad esempio di partite di sementi per i quali la legge italiana si è dotata di una soglia tecnica di circa lo 0.05%. Inoltre, solo recentemente, la real-time PCR è stata messa a punto per quantificare il micelio nel suolo di tre importanti specie di funghi eduli ectomicorrizici quali *T. melanosporum* [23], *Lactarius deliciosus* [24] e *Boletus edulis* [25] per poi poterlo confrontare con la produttività di corpi fruttiferi.

Nel corso del Progetto Interregionale “MAGNATUM” la tecnica della real-time PCR è stata messa a punto ed estensivamente applicata, per la prima volta, per quantificare il micelio di *T. magnatum* nel suolo e confrontarlo con la produzione di corpi fruttiferi raccolti nel corso della sperimentazione. Inoltre questa tecnica molecolare è stata utilizzata per studiare come si diffonde nel suolo il micelio di questo pregiato tartufo durante l'epoca di produzione dei corpi fruttiferi e come questo varia nel corso delle stagioni.

## **Metodologia**

Per raggiungere gli scopi prefissati dal progetto è stato necessario innanzi tutto stabilire una procedura comune, di campo e di laboratorio, da applicare a tutte le tartufoe sia per ciò che riguarda i campionamenti sia per il trattamento e l'esame dei campioni raccolti. L'estrazione del terreno è stata effettuata tramite tubi in PVC (diametro 16 mm, lunghezza 50 cm) conficcati nel suolo fino a 30 cm di profondità con l'aiuto di un martello da 1 Kg. I tubi usati per la protezione dei cavi elettrici si sono dimostrati particolarmente idonei a tal scopo poiché relativamente poco costosi, facili da tagliare con una sega da ferro, pratici e maneggevoli, flessibili ma anche relativamente resistenti alla percussione e capaci di tagliare radici di piccole dimensioni (fino a 1-1,3 cm di diametro) senza rompersi. Solamente in situazioni particolarmente critiche (terreno ghiacciato o eccessivamente secco o sassoso)

questi tubi sono stati inseriti all'interno di un carotatore d'acciaio appositamente costruito di diametro interno pari a quello esterno dei tubi in PVC (Fig. 41).



Fig. 41. Prelievo dei campioni di suolo. Tre tubi in PVC sono stati piantati nel terreno senza l'ausilio del carotatore, mentre per il quarto l'operatore sta utilizzando il carotatore in acciaio.

Due differenti metodologie di campionamento sono state applicate per studiare micelio di *T. magnatum* nel suolo allo scopo di: 1) determinarne le relazioni con la produzione di corpi fruttiferi; 2) valutarne le variazioni spaziali e stagionali.

Nel primo caso i campionamenti sono stati effettuati alla fine del periodo di maturazione dei corpi fruttiferi (gennaio) durante il triennio 2009-2011. Ogni anno sono state prelevate 9 carote di suolo lungo le diagonali di ciascuna parcella sperimentale, le quali sono state riunite a formare un unico campione di circa 60 g di suolo (Fig. 42). In totale nel triennio sono state effettuate 351 estrazioni di DNA (3 estrazioni indipendenti per ciascun campione x 3 anni di sperimentazione x 39 parcelle sperimentali). Inoltre sono stati campionati ed analizzati anche suoli in aree sicuramente non produttive.

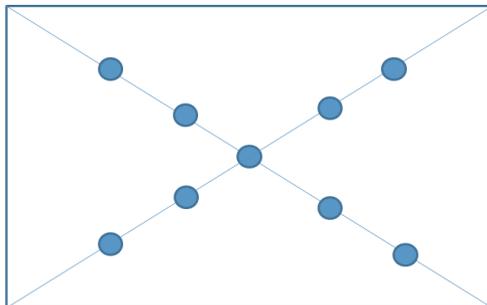


Fig. 42. Schema di campionamento nelle parcelle sperimentali.

Per studiare la dinamica spazio-temporale del micelio i campionamenti sono stati effettuati a distanze progressive dal punto di ritrovamento dei corpi fruttiferi e successivamente ripetuti nelle diverse stagioni. In particolare sono state prelevate e poi mescolate assieme 4 carote di suolo in direzione di ciascun punto cardinale per ottenere un singolo campione per ciascuna distanza di campionamento: in corrispondenza del punto di fruttificazione (0 cm), ad un metro (100 cm) e due metri (200 cm) dallo stesso. Nel corso del primo anno di sperimentazione in alcuni casi sono stati prelevati campioni anche alle distanze intermedie di 20 cm, 50 cm e 150 cm per stabilire quale fosse il criterio di campionamento più efficiente da adottare negli anni successivi (Fig. 43). Per alcuni punti produttivi questi prelievi di suolo sono stati ripetuti nelle stesse posizioni anche in primavera (marzo), estate (luglio) ed autunno (ottobre) successivi.



Fig. 43. Prelievo di campioni di suolo a distanze progressive dal punto di raccolta.

In laboratorio, le “carote” di suolo sono state estratte dai tubi rompendoli con un martello e sono state sottoposte a diversi trattamenti preparatori per le analisi molecolari. Inizialmente dal suolo sono state eliminate tutte le radici per amplificare con la “real-time” PCR solo il DNA del micelio di *T. magnatum* libero nel terreno evitando così quello in simbiosi con le piante ospiti. Successivamente è stata completamente eliminata l’acqua tramite liofilizzazione a freddo per poter analizzare la stessa quantità di suolo in tutti i campioni, indipendentemente dalla piovosità e dalla stagione in cui sono stati raccolti. Infine il suolo di ciascun campione è stato polverizzato ed accurato mescolamento, operazione indispensabile per aumentare l’efficienza della successiva estrazione del DNA e ridurre la variabilità dei risultati ottenuti. Da ciascun campione sono stati ricavati 3 sottocampioni indipendenti (5 g di suolo ciascuno) da sottoporre alle successive indagini molecolari per ottenere dei dati medi quantitativi del micelio di *T. magnatum* più rappresentativi possibili.

L’estrazione del DNA dal suolo è una fase molto delicata da cui dipende il successo delle successive analisi molecolari. L’obiettivo è quello di separare (ossia isolare) il DNA di tutti i microrganismi presenti in un campione di suolo dal resto dei materiali inorganici ed organici che compongono lo stesso campione. Il suolo è un materiale molto eterogeneo le cui caratteristiche possono variare notevolmente anche all’interno di una stessa tartufoia. Molti dei suoi tanti componenti possono ridurre l’efficienza d’isolamento del DNA più o meno marcatamente e richiedere diversi accorgimenti per essere eliminati. Per tali motivi è difficile trovare un protocollo d’estrazione valido per tutti i tipi di suolo ed in grado di garantire sia l’isolamento di tutto il DNA presente in un campione (parametro quantitativo) sia la completa eliminazione di tutti gli altri composti (parametro qualitativo). Comunque, per poter ottenere dati attendibili dalle successive analisi molecolari, ciascun campione di DNA deve possedere dei requisiti quali-quantitativi soddisfacenti, indipendentemente dalla provenienza del suolo da cui è stato isolato. Perciò nell’ambito del progetto MAGNATUM è stato necessario sviluppare un unico protocollo d’estrazione del DNA idoneo per tutti i differenti tipi di suolo delle tartufoie oggetto di studio.

Successivamente è stato indispensabile mettere a punto anche un protocollo “real-time” PCR specifico per *T. magnatum* che fosse in grado di rilevare la presenza del suo DNA anche in concentrazioni molto basse senza incorrere nel rischio di amplificare quello di altri tartufi o di altre specie fungine geneticamente vicine. Tutti i dettagli tecnici relativi a questa lunga e complessa attività di sviluppo della procedura analitica nel suo insieme sono dettagliatamente riportati in un articolo di libero accesso, recentemente pubblicato sulla rivista scientifica internazionale BMC Microbiology, il cui indirizzo web è il seguente: <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1471-2180-12-93.pdf> [26].

## Confronto fra produzione di corpi fruttiferi e quantità di micelio nel suolo

Dai risultati scaturiti dalla “real-time” PCR si deduce che il micelio di *T. magnatum* nel suolo è distribuito in modo discontinuo ed è fortemente influenzato dall’andamento climatico e dalle altre caratteristiche (chimiche e biologiche del suolo, vegetazione, ecc.) che contraddistinguono una specifica tartufaia. Indipendentemente da tutto ciò il suolo prelevato in aree sicuramente non produttive, all’esterno delle tartufaie sperimentali, non conteneva alcuna traccia di micelio di *T. magnatum*. Nella tartufaia di Collemeluccio quantità significative sono state ottenute solo nell’unica parcella (C2) che ha prodotto tartufi nel corso della sperimentazione. Al contrario nella tartufaia di Barbiaccia, *T. magnatum* è stato rilevato, seppur a volte in quantità minime, in tutte le parcelle sperimentali per tutti gli anni di campionamento. Va rilevato che nella tartufaia di Argenta, nell’unica parcella in cui non è mai stato rinvenuto il micelio di *T. magnatum*, non sono mai stati trovati neanche i suoi corpi fruttiferi. Al contrario, in questa parcella sono stati spesso raccolti i corpi fruttiferi e le micorrize di *T. brumale* ed alcune micorrize di *T. melanosporum*.

Nelle tartufaie oggetto di studio il micelio di *T. magnatum* è stato trovato anche in parcelle sperimentali che non hanno mai prodotto tartufi per tutto il periodo di svolgimento del progetto; questo sta ad indicare che la specie è capace di formare colonie miceliari nel suolo anche molto estese interessando anche più parcelle sperimentali contemporaneamente. Questa situazione è particolarmente evidente nelle tartufaie di Feudozzo e Barbiaccia dove il numero delle parcelle produttive e la produzione di corpi fruttiferi sono stati superiori. La notevole capacità di diffusione del micelio del tartufo bianco pregiato nel suolo è stata riscontrata anche in un’altra ricerca nella quale hanno rilevato uno sviluppo miceliare fino a 100 metri di distanza dal punto di ritrovamento del corpo fruttifero [27].

I risultati ottenuti hanno evidenziato che esiste comunque una correlazione positiva fra il micelio di *T. magnatum* e la produttività delle singole parcelle sperimentali in termini sia di numero sia di peso dei corpi fruttiferi prodotti [26].

Come si può infatti notare nella figura 44 in tutte le parcelle produttive delle tartufaie sperimentali abbiamo rilevato una quantità di micelio di *T. magnatum* sempre maggiore rispetto a quelle non produttive.

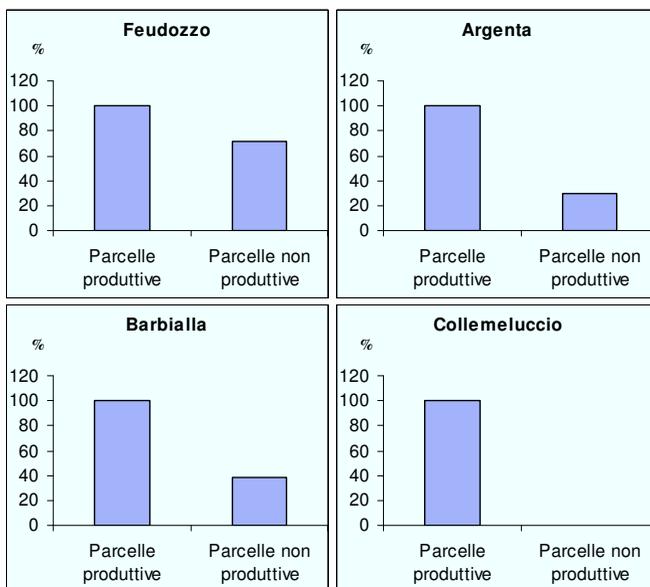


Fig. 44. Quantità medie di micelio di *T. magnatum* registrate nel corso dei tre anni di campionamento nelle parcelle produttive ed in quelle non produttive delle quattro tartufoie sperimentali. La quantità di micelio nel suolo delle parcelle non produttive è stata trasformata in valore percentuale rispetto a quella rilevata in quelle produttive (100%) della rispettiva tartufoia.

### Variazioni spaziali e stagionali del micelio di *T. magnatum*

Conoscere la distribuzione nel suolo del micelio di *T. magnatum* nel momento della produzione dei corpi fruttiferi e le sue variazioni nel corso delle stagioni sono aspetti estremamente importanti per comprendere meglio la biologia di questo fungo.

I risultati ottenuti dalla “real-time” PCR hanno messo in evidenza che la quantità di micelio di *T. magnatum* può variare in modo sostanziale fra i differenti punti di fruttificazione all’interno di una medesima tartufoia ed in modo più limitato anche all’interno di una stessa parcella. Ad esempio la quantità di micelio rilevata nei campioni di suolo prelevati nel 2008 a livello dei punti produttivi della parcella 6 della tartufoia di Argenta era almeno 8 volte superiore a quella dei campioni prelevati sotto i corpi fruttiferi raccolti nella parcella 7. Le due parcelle si trovano su sponde opposte di un canale della bonifica, ma seppure poco distanti fra loro hanno caratteristiche pedologiche differenti (vedi capitolo 3). Questo sta ad indicare che le differenti caratteristiche del suolo, anche in aree vicine di uno stesso

bosco, possono incidere notevolmente sulla capacità di sviluppo e di diffusione del micelio stesso. In generale, al momento della raccolta autunnale il micelio del tartufo bianco pregiato tende comunque a concentrarsi maggiormente nei punti di formazione dei corpi fruttiferi e a diminuire più o meno marcatamente allontanandosi da questi (Fig. 45). Tuttavia questo andamento generale può subire delle variazioni più o meno significative nel caso in cui due o più corpi fruttiferi si sviluppano a poca distanza l'uno dall'altro. In tal caso la diminuzione progressiva della quantità di micelio di *T. magnatum* che si registra allontanandosi dal punto di raccolta di un tartufo può essere soggetta ad un'inversione di tendenza in prossimità della zona di maturazione o di ritrovamento di un altro tartufo. Tale fenomeno, per esempio, è stato osservato con i due tartufi raccolti ad una distanza di circa 1,5 m nella parcella C2 della tartufaia di Collemeluccio (Fig. 46) e tre tartufi raccolti ad una distanza reciproca di 40-43 cm nella parcella 6 della tartufaia di Argenta (autunno 2008) (Fig. 47).

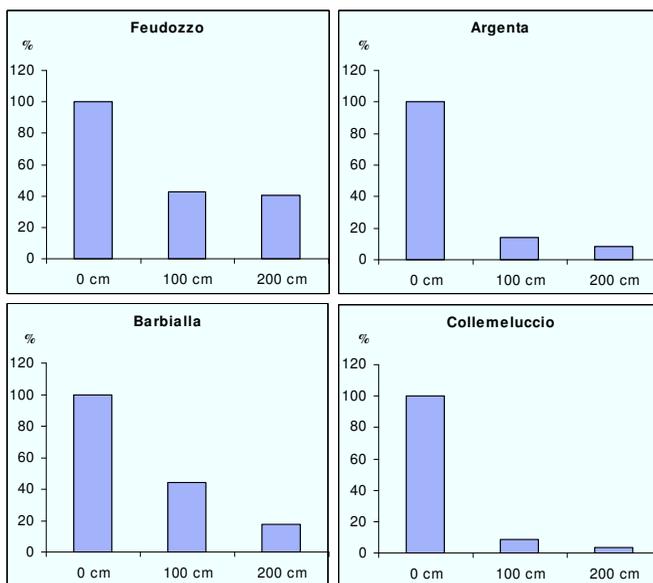


Fig. 45. Quantità medie di micelio di *T. magnatum* ottenute dai campioni di suolo prelevati nei punti produttivi durante il periodo autunnale nelle quattro tartufaie sperimentali. La quantità di micelio nel suolo di ciascun campione è stata trasformata in valore percentuale rispetto a quella rilevata nel punto a 0 cm (100%) della rispettiva tartufaia.

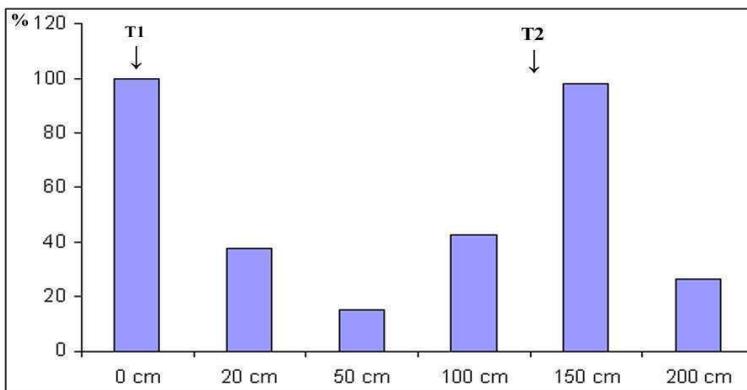


Fig. 46. Quantità di micelio di *T. magnatum* rispetto ai punti di ritrovamento del tartufo 1 (T1) e 2 (T2) nella tartufaia di Collemeluccio (parcella C2, autunno 2008). La quantità di micelio nel suolo di ciascun campione è stata trasformata in valore percentuale rispetto a quella rilevata nel punto a 0 cm del tartufo 1 (100%).

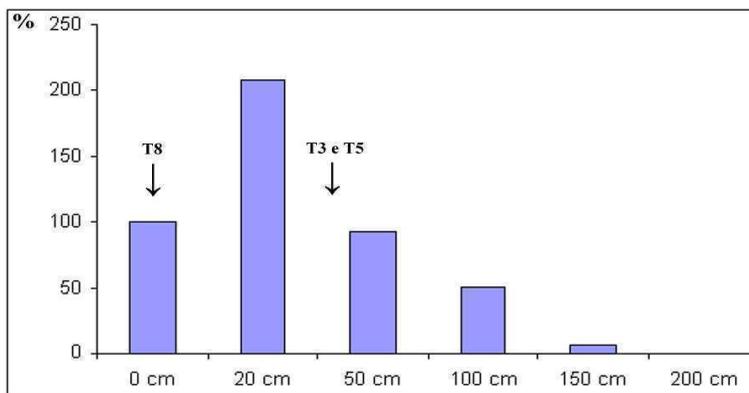


Fig. 47. Quantità di micelio di *T. magnatum* rispetto ai punti di ritrovamento di 3 tartufi (T3, T5 e T8) nella tartufaia di Argenta (parcella 6, autunno 2008). La quantità di micelio nel suolo di ciascun campione è stata trasformata in valore percentuale rispetto a quella rilevata nel punto a 0 cm del tartufo 8 (100%).

Nel primo caso si può notare che la diminuzione della quantità di micelio di *T. magnatum* registrata fino a 50 cm di distanza subisce un'evidente inversione di tendenza nei campioni raccolti a 100 e 150 cm, ossia in coincidenza con il punto di ritrovamento del tartufo 2. Nel secondo caso la maggiore quantità di micelio di *T. magnatum* non è stata riscontrata nel campione di suolo prelevato nel punto di ritrovamento del tartufo T8 ma a 20 cm di distanza, ossia in prossimità della zona di ritrovamento di altri due tartufi (T3 e T5).

Dai campionamenti effettuati nei punti produttivi in epoche successive è stato possibile constatare che la quantità e la distribuzione del micelio di *T. magnatum* nel suolo sono marcatamente influenzate dalla stagione in cui si sviluppa. In generale le più elevate concentrazioni medie di micelio sono state rilevate nel periodo primaverile. La maggior parte dei campioni di suolo raccolti in questa stagione hanno fornito valori superiori a quelli prelevati durante il precedente periodo autunnale di fruttificazione (Fig. 48). Inoltre, in primavera i campioni con le maggiori concentrazioni di micelio di *T. magnatum* non necessariamente erano quelli corrispondenti al punto di raccolta del corpo fruttifero. Tutto ciò sta ad indicare che nel corso di questa stagione si assiste ad un incremento e una redistribuzione del micelio del tartufo bianco pregiato nel suolo.

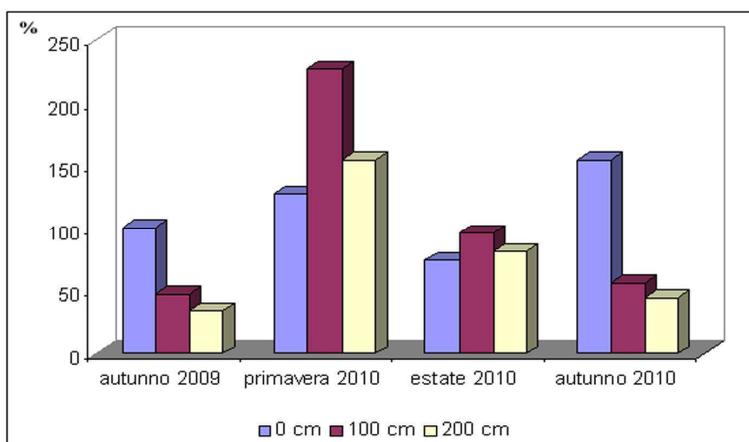


Fig. 48. Esempio di variazione spazio-temporale del micelio di *T. magnatum* raccolto nella tartufaia di Feudozzo (tartufo 10, parcella A2). La quantità di micelio nel suolo di ciascun campione è stata trasformata in valore percentuale rispetto a quella rilevata nel punto a 0 cm dell'autunno 2009 (100%).

In conclusione possiamo affermare che l'attività sperimentale relativa a questa parte del progetto ha permesso di sviluppare un protocollo idoneo per la diagnostica del micelio di *T. magnatum* nel suolo e ci ha consentito di chiarire alcuni aspetti della biologia di questo tartufo che saranno utili per impostare le sperimentazioni future. In primo luogo è stato messo a punto un protocollo di estrazione del DNA che può essere indifferentemente applicato a tutti i tipi di suolo in cui si sviluppa il tartufo bianco pregiato e che dà la garanzia di ottenere estratti di DNA idonei per le analisi in "real-time" PCR. Inoltre i risultati conseguiti suggeriscono che questa tecnica molecolare è un valido strumento per quantificare il tartufo bianco pregiato nel suolo e può essere indifferentemente applicata in tartufaie anche molto diverse fra loro permettendo di confrontarne i risultati in modo più oggettivo.

## 6. EFFETTI DEGLI INTERVENTI COLTURALI SULLA PRODUZIONE DI TARTUFI E SUL MICELIO NEL SUOLO

Elena Salerni<sup>1</sup>

I processi di fruttificazione dei funghi nei vari ecosistemi sono determinati da fattori climatici, biologici ed edafici che, in quanto strettamente interdipendenti, sono difficili da interpretare [28]. La produzione dei corpi fruttiferi o “carpogenesi” di *Tuber magnatum*, come quella di tutte le specie del genere *Tuber*, è influenzata da numerosi di questi fattori che ancora non sono del tutto noti [29]. Alcuni sono strettamente connessi allo stato fisiologico del fungo stesso e per tanto vengono classificati come endogeni da contrapporre a quelli esogeni di natura chimica, fisica e biologica, che invece si riferiscono all’habitat di crescita. I fattori chimici sono quelli tra i meno conosciuti e si ipotizza che modificazioni nella disponibilità di sostanze nutritive nel substrato di crescita inducano o meno l’istaurarsi dei processi di fruttificazione. Fra i fattori fisici quelli che giocano un ruolo di primo piano vi sono senza dubbio la temperatura, la luce, l’umidità e la concentrazione di ossigeno e anidride carbonica nel suolo. Questi, non solo devono rientrare in un “range” ben determinato a seconda della specie, ma sembra che influenzino i processi produttivi anche in seguito a forti e brusche variazioni degli stessi. Sull’influenza dei fattori biotici, in particolare la presenza di batteri nel suolo, il dibattito è ancora aperto, certo è che alcuni di questi organismi secernono sostanze in grado di stimolare l’accrescimento *in vitro* del micelio fungino [30].

---

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università di Siena

## Realizzazione degli interventi colturali

Le quattro tartufoie individuate sono state suddivise in parcelle secondo lo schema sperimentale del blocco randomizzato (Fig. 49), alcune di queste sono state mantenute tal quali ed adottate come tesi testimone, mentre nelle altre sono stati effettuati due interventi colturali diversi di ripulitura della vegetazione arbustiva (Feudozzo-Abruzzo e Collemeluccio-Molise) e di lavorazione superficiale del suolo (Argenta-Emilia Romagna e Barbialla-Toscana).

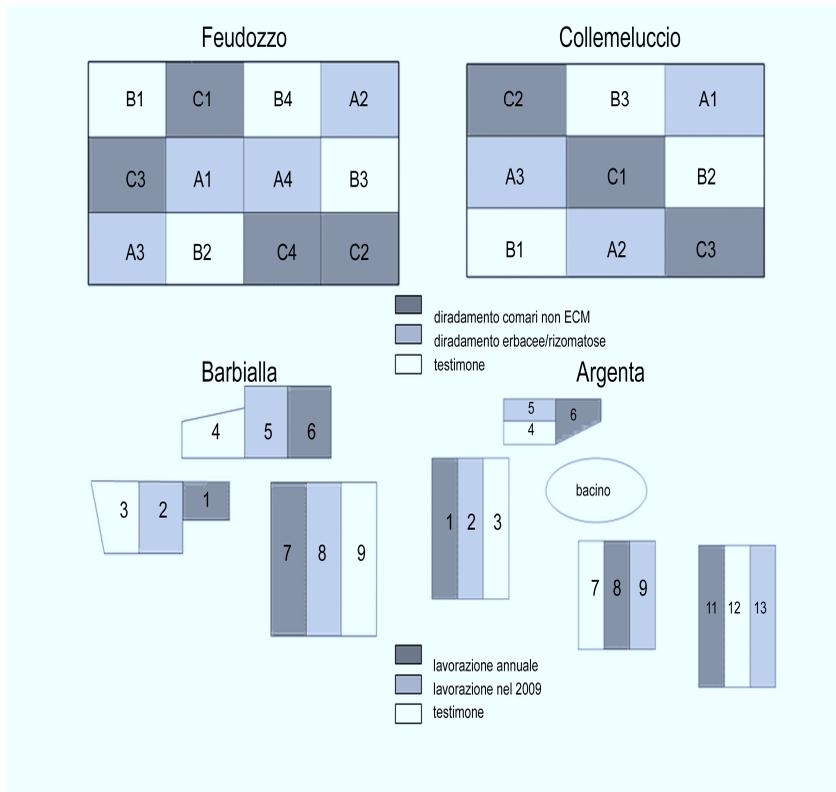


Fig. 49. Disegno sperimentale realizzato nelle tartufoie oggetto di studio.

Le prove di diradamento del soprassuolo nelle tartufaie di Feudozzo e Collemeluccio sono state di due tipi: la prima sulla vegetazione erbacea e sulle piante rizomatose e prostrate-sarmentose (Fig. 50a), la seconda a carico delle piante arbustive non ectomicorriziche, tenendo in considerazione la presenza e la distribuzione delle piante simbionti e di quelle comari ritenute utili allo sviluppo del tartufo (Fig. 50b).



Fig. 50. Intervento di diradamento del soprassuolo a Feudozzo: (a) rimozione della vegetazione erbacea e prostrata-sarmentosa; (b) risultato dell'intervento di pulizia anche a carico delle piante arbustive non ectomicorriziche.



Fig. 51. Lavorazioni nelle parcelle dell'Emilia Romagna: (a) lavorazione della parcella 1; (b) lavorazione della parcella 6; (c) lavorazione della parcella 8; (d) suolo in tempra al momento delle lavorazioni.



Fig. 52. Lavorazioni nelle parcelle della toscana: parcella 1 prima (a) e dopo (b) la lavorazione del suolo e parcella 6 prima (c) e dopo (d) la lavorazione del suolo.

Le lavorazioni superficiali del suolo ad Argenta e Barbiaccia sono state realizzate nel 2009 all'inizio della primavera con mezzi meccanici operanti fino ad una profondità massima di 15 cm, tenendo conto della morfologia del terreno (Figg. 51 e 52). In alcune parcelle tali lavorazioni sono state ripetute anche negli anni successivi in modo da valutare l'effetto temporale di questi interventi.

## Raccolta dati

Per tutta la durata del progetto sono stati effettuati sopralluoghi ogni 7-15 giorni, in funzione dell'andamento stagionale, nel periodo compreso fra ottobre e dicembre per rilevare le produzioni di tartufo. Durante ciascun sopralluogo, ciascun punto di raccolta è stato segnalato piantando nel terreno un picchetto (Fig. 53) dotato di cartellino riportante in modo indelebile la data di ritrovamento ed il codice identificativo del carpoforo; a tale codice corrispondono su un apposito registro tutti i dati relativi allo stesso carpoforo, quali il diametro, il peso, la profondità di raccolta, ecc.



Fig. 53. Raccolta di tartufi nella tartufaia di Barbialla.

Oltre alla produzione di tartufi, per le tartufaie di Feudozzo, Collemeluccio, Argenta e Barbialla è stata anche monitorata la quantità di micelio di *T. magnatum* nel suolo tramite la tecnica della “real-time” PCR. In particolare sono stati fatti dei campionamenti per ogni parcella prelevando campioni (Fig. 54) in punti equidistanti lungo linee diagonali tracciate lungo le parcelle tenendo conto di un possibile effetto bordo di 5 m (vedi capitolo 5).



Fig. 54. Prelievo dei campioni di suolo per il monitoraggio della quantità di micelio.

## Risultati

Gli effetti degli interventi colturali sulla produttività e sullo sviluppo del micelio di *T. magnatum* sono stati valutati in base ai dati raccolti nel triennio 2008-2010 per valutare la loro efficacia nel momento di maggiore effetto. Durante tale periodo di indagine sono stati collezionati 74 carpofori di *T. magnatum* per un peso complessivo di 1184,3 g; il maggior numero di tartufi (24) è stato raccolto nelle tartufaie di Feudozzo (Abruzzo), 18 a Barbiaccia (Toscana), 17 a Collemeluccio (Molise) e solo 15 corpi fruttiferi sono stati quelli raccolti nella tartufaia di Argenta (Emilia Romagna). Anche a livello di peso è Feudozzo la tartufaia in cui è stata trovata la maggiore quantità di prodotto (327,6 g), mentre Argenta è quella in cui ne è stata raccolta la minore (262 g).

Nella tartufaia di Collemeluccio l'unica parcella risultata produttiva, sia prima sia dopo l'intervento di diradamento delle piante arbustive non ectomicorriziche, è la parcella C2 (Fig. 55): prima dell'intervento erano stati raccolti 2 tartufi, mentre dopo la ripulitura in totale ne sono stati trovati 15, per un peso complessivo di circa 245 g. Anche nella tartufaia di Feudozzo sembra che gli interventi effettuati abbiano avuto un effetto positivo sulla produzione di tartufi, infatti ben 5 parcelle sulle otto in cui sono stati effettuati i diradamenti sono entrate in produzione (Fig. 55), mentre due delle quattro parcelle testimoni non hanno mai prodotto. In particolare, sembra che,

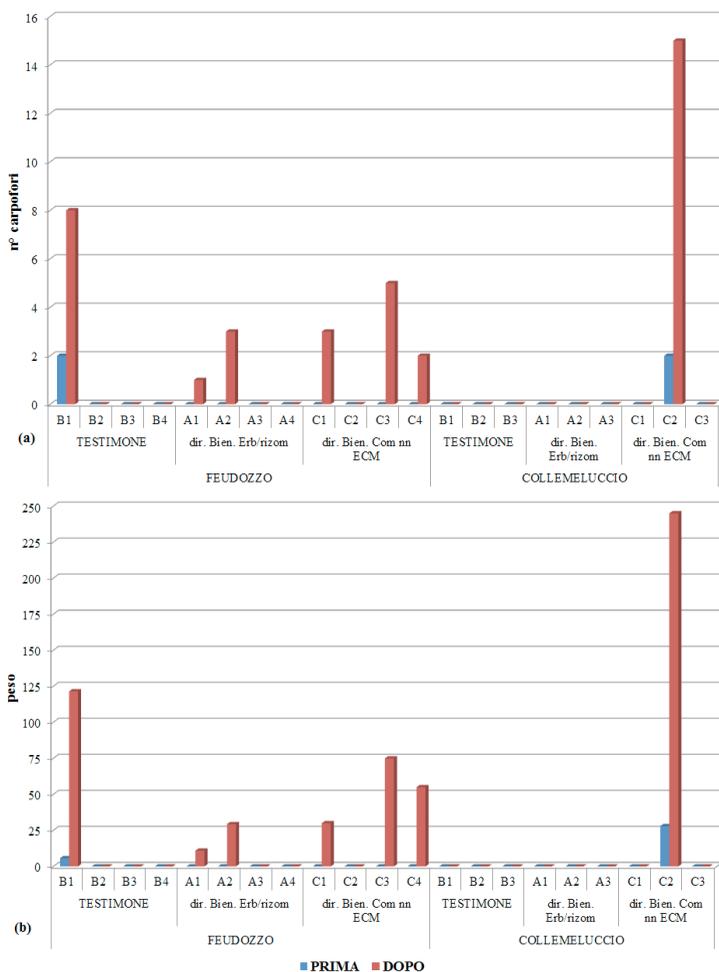


Fig. 55. Numero di carpofori di *T. magnatum* (a) e peso totale espresso in grammi (b) rilevato nella tartufaia abruzzese (Feudozzo) ed in quella molisana (Collemeluccio), prima e dopo gli interventi selvicolturali.

anche in questo caso, il diradamento delle piante arbustive non ectomicorriziche sia l'intervento che maggiormente influisca sui processi di fruttificazione di *T. magnatum*.

Rispetto ai dati di produzione, quelli relativi al micelio (Fig. 56) rivelano la presenza di *T. magnatum* in tutte le parcelle della tartufaia di Feudozzo, anche se il maggiore quantitativo è stato osservato in quelle caratterizzate dal diradamento della

vegetazione erbacea e delle piante rizomate e prostrate-sarmentose. A Collemeluccio, invece, la parcella C2 si conferma come unica area in cui il quantitativo di micelio è aumentato in seguito all'intervento effettuato.

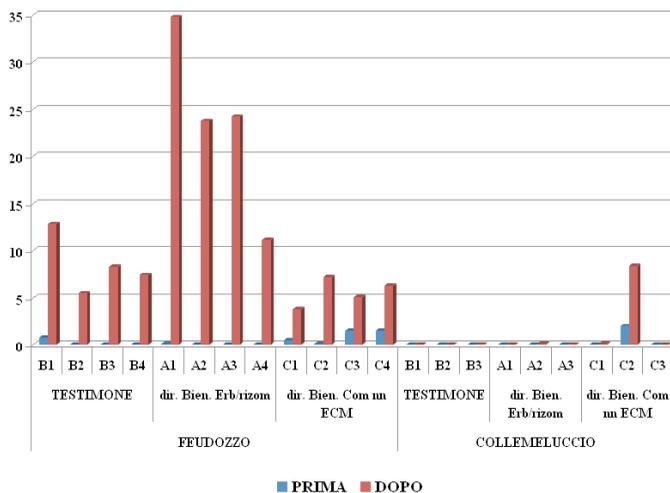


Fig. 56. Quantitativo di micelio di *T. magnatum* rilevato nella tartufoia di Feudozzo e Collemeluccio.

Al contrario di quanto rilevato per i due tipi di diradamento, le lavorazioni del suolo effettuate in periodi diversi nelle tartufoie di Argenta (Emilia Romagna) e Barbiaccia (Toscana) sembrano, a prima vista, avere un effetto negativo sui processi di fruttificazione del tartufo bianco pregiato (Fig. 57). Infatti ad Argenta sia nelle parcelle in cui l'intervento è stato eseguito tutti gli anni sia in quelle lavorate un solo anno la produttività si è ridotta o comunque non è aumentata, fenomeno particolarmente evidente nella 6 in cui, prima di effettuare le lavorazioni, era stato raccolto il maggior numero di corpi fruttiferi (Fig. 57). Al contrario nelle uniche due parcelle testimone produttive è stato registrato un andamento opposto: nella 4 la produzione di carpofori è aumentata nel tempo mentre nella 7 è diminuita. Anche a livello di peso sembra che le lavorazioni influiscano negativamente dato che, sempre nella parcella 6, si è passati dai circa 120 g pesati prima dell'intervento ai 10-20 g rilevati in seguito (Fig. 57).

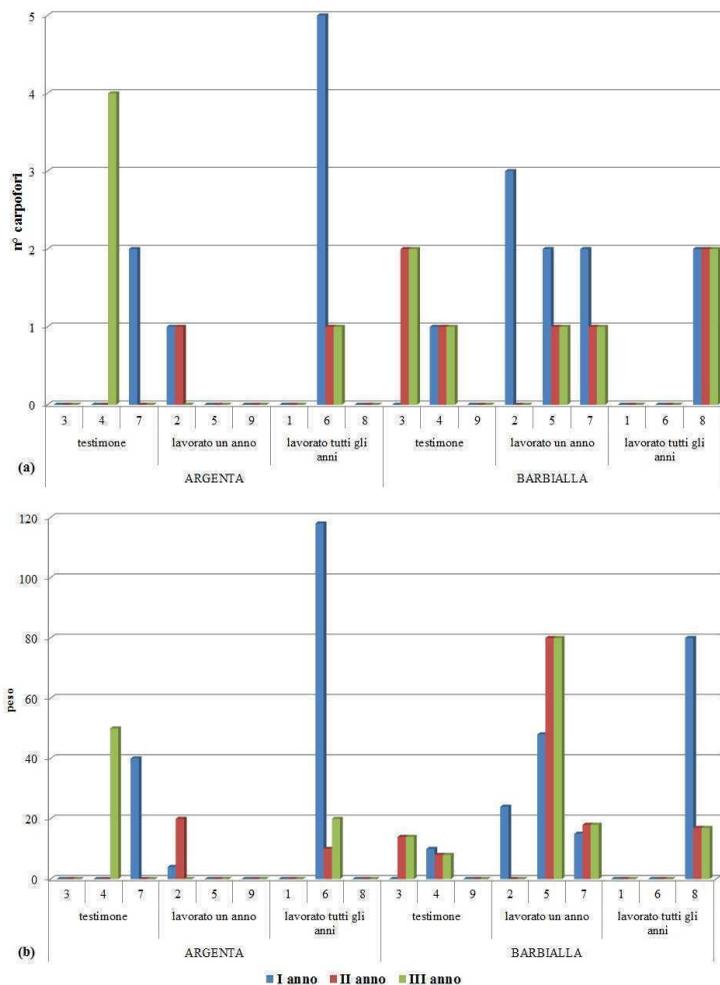


Fig. 57. Numero di carporfordi di *T. magnatum* (a) e peso totale espresso in grammi (b) rilevato nella tartufaia dell'Emilia Romagna (Argenta) ed in quella toscana (Barbiaccia), prima e dopo gli interventi culturali.

Situazione analoga è stata osserva nella tartufaia di Barbiaccia in cui solo nella parcella 8 la situazione è rimasta invariata prima e dopo l'intervento mentre in tutte le altre parcelle lavorate si è assistito ad un netto decremento della produzione e in un caso (parcella 2) alla sua completa interruzione (Fig. 57). Tuttavia sembra che, a livello di peso di tartufi raccolti, nelle parcelle 5 e 7 le lavorazioni hanno prodotto un

effetto moderatamente positivo (Fig. 57). La produzione nelle parcelle testimone invece si è mantenuta abbastanza costante negli anni d'indagine.

Comunque considerando solo i dati produttivi di queste due tartufaie è difficile arrivare a conclusioni chiare ed oggettive. Come già riportato nella premessa di questo volume la produzione di corpi fruttiferi è estremamente variabile e dipende da numerosi fattori climatici, pedologici e biotici ancora sconosciuti. Per questo motivo la quantificazione del micelio di *T. magnatum* mediante la tecnica della “real time” PCR messa a punto in questo progetto, si è dimostrata fondamentale per valutare in modo più approfondito e corretto l'effetto delle lavorazioni del suolo eseguite ad Argenta e Barbialla (Fig. 58).

Da quanto rilevato sembra che le lavorazioni del suolo abbiano un effetto discretamente positivo sull'accrescimento miceliare in entrambe le tartufaie. Questo fenomeno è particolarmente evidente nelle parcelle sottoposte a lavorazione ogni anno poichè in tutte queste la quantità di micelio è aumentata (Fig. 58). Al contrario dalle analisi non è stato possibile rilevare una dinamica comune fra le parcelle non lavorate di entrambe le tartufaie la cui variazione della quantità di micelio rimane influenzata solamente dall'andamento stagionale e dalle condizioni pedologiche locali.

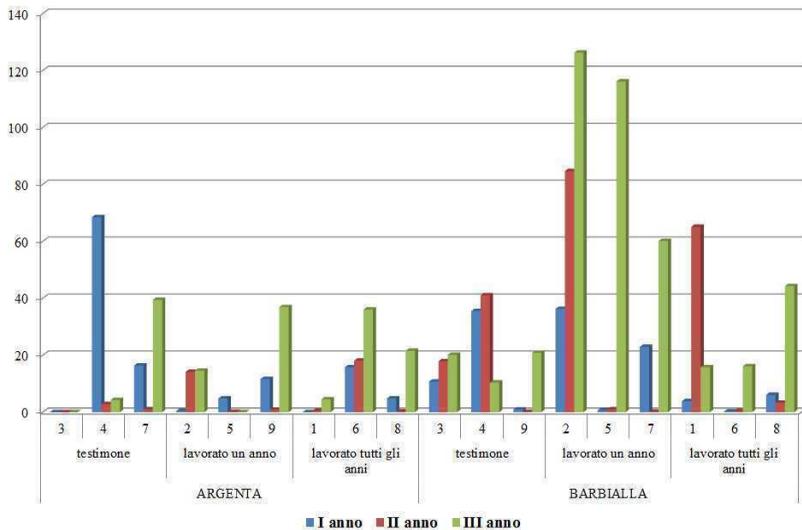


Fig. 58. Quantitativo di micelio di *T. magnatum* rilevato nelle tartufaie di Argenta e Barbialla.

## 7. EFFETTO DELLE LAVORAZIONI SUL SUOLO

Lorenzo Gardin<sup>1</sup>

Al fine di valutare gli effetti delle lavorazioni nelle tartufaie sperimentali di Barbialla e di Argenta sono stati realizzati specifici campionamenti del suolo per determinare la densità apparente nelle parcelle sperimentali (testimone, tesi1-lavorazione primo anno, tesi2-lavorazioni primo, secondo e terzo anno). Il campionamento è stato eseguito utilizzando il metodo del carotatore, prelevando i campioni alla profondità compresa fra 0 e 5 cm e distribuendo 3 ripetizioni su una diagonale di ciascuna parcella (Fig. 59).

I campioni sono stati analizzati nel laboratorio del Centro di Ricerca in Agricoltura - Centro di ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia di Firenze (CRA-ABP) e per ciascuno di essi sono stati misurati anche il contenuto idrico e il peso secco.

Per l'area di Barbialla i risultati del suddetto campionamento sono stati valutati insieme a quelli di un programma di monitoraggio della densità apparente svolto fin dal primo anno e che, in virtù di una maggiore frequenza di campionamenti, ha potuto tener conto delle variazioni stagionali di tale parametro e della durata degli effetti delle lavorazioni.

Nella tabella 1 si riporta il calendario di realizzazione dei campionamenti del suolo per la determinazione della densità apparente e delle lavorazioni del suolo.

---

<sup>1</sup>Libero professionista, Firenze



Fig. 59. Prelievo dei campioni di suolo per l'analisi della densità apparente.

Come si può notare dalla tabella 1, in tutte le parcelle è stata fatta la determinazione della densità apparente all'inizio ed alla fine della sperimentazione. Nelle parcelle 1, 2 e 3 sono stati intensificati i rilievi per studiare con maggior precisione le variazioni del parametro nel tempo.

Tabella 1. Tartufaiia di Barbiaila, calendario degli interventi (LAV) e delle misure di densità apparente (DA). Tipo di trattamento: contr = testimone, tesi1 = lavorazioni un anno, tesi2 = lavorazioni ogni anno.

	Parcelle								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	tesi2	tesi1	testimone	testimone	tesi1	tesi2	tesi2	tesi1	testimone
15-ott-08	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
6-apr-09	LAV	LAV	-	-	LAV	LAV	LAV	LAV	-
4-ago-09	DA	DA	DA						
18-dic-09	DA	DA	DA						
25-mar-10	LAV	-	-	-	-	LAV	LAV	-	-
18-mag-10	DA	DA	DA						
15-ott-10	DA	DA	DA						
28-feb-11	DA	DA	DA						
28-mar-11	LAV	-	-	-	-	LAV	LAV	-	-
1-apr-11	DA	DA	DA						
28-giu-11	DA	DA	DA						
14-ott-11	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA

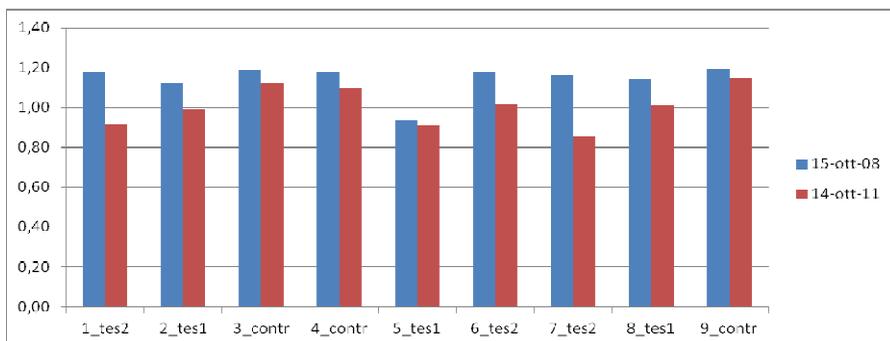


Fig. 60. Densità apparente misurata ad inizio e fine sperimentazione nella tartufiga di Barbialla. In ascissa il numero della parcella e il tipo di trattamento: contr = testimone, tes1 = lavorazioni un anno, tes2 = lavorazioni ogni anno. In ordinata i valori di densità apparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), mediana di tre ripetizioni.

Dal confronto fra i valori di densità apparente misurati prima della sperimentazione e dopo i trattamenti si osserva una diminuzione media del 21% per le parcella lavorate ogni anno (tesi 2), una diminuzione di circa il 10% per le parcella lavorate una volta soltanto ed una sostanziale invarianza per le parcella testimone. Gli effetti delle lavorazioni su questo parametro sono quindi molto evidenti (Fig. 60).

Per quanto riguarda il monitoraggio della densità apparente nel tempo, effettuato soltanto nelle parcella 1, 2 e 3, sono stati prelevati, in diverse date, 3 ripetizioni di campione di suolo per ciascuna parcella e ne è stata determinata la densità apparente (Tab. 2).

La tabella 2 mostra che la densità apparente è un parametro estremamente variabile e che localmente, anche nella stessa parcella, si possono rilevare valori molto differenti tra loro; il numero di campioni prelevati nel tempo consente comunque di osservare alcuni fenomeni.

Tabella 2. Statistiche descrittive la densità apparente della parcella 3 testimone, dal 14 ottobre 2008 al 15 ottobre 2011.

	N	Min	Max	Media	Mediana	Dev.st.	Ess (%)
Densità apparente	27	0,85	1,34	1,13	1,15	0,13	2,5

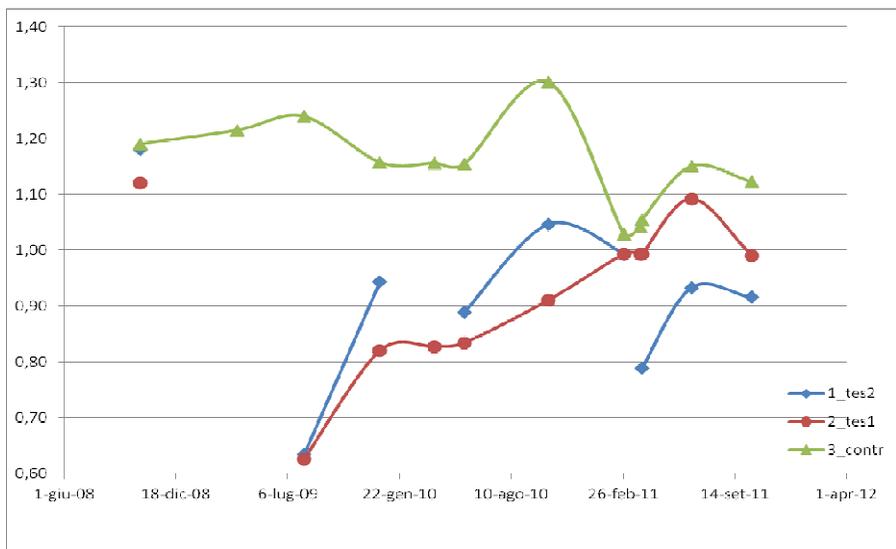


Fig. 61. Andamento della densità apparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) nel tempo; le interruzioni delle curve corrispondono con le lavorazioni effettuate nelle parcelle.

Osservando l'andamento dei valori di densità apparente nel tempo (Fig. 61) possiamo notare che nelle parcelle lavorate, tale parametro, dopo un notevole decremento subito a seguito delle lavorazioni fino a valori compresi fra  $0,65$  e  $0,78 \text{ g}/\text{cm}^3$ , tende a risalire con una certa repentinità per effetto della riaggregazione strutturale del suolo. Dopo 3-5 mesi dalle lavorazioni, la densità apparente era già incrementata mediamente del 20-30%, mentre nei mesi successivi l'incremento è stato minore (Fig. 61).

Osservando la curva della tesi 1 possiamo affermare che ad ottobre 2011, dopo due anni e mezzo dalle lavorazioni, la densità apparente del suolo è ancora inferiore al dato iniziale. Osservando la curva della tesi 2, appare come le lavorazioni del 25 marzo 2010 non abbiano inciso sul parametro (forse a causa delle abbondanti piogge che subito dopo le lavorazioni hanno ricompattato il terreno), mentre maggiore efficacia è stata raggiunta con le lavorazioni del 28 marzo 2011.

Per la tartufaiia di Argenta si osserva che, in seguito alle lavorazioni, dopo un periodo inferiore a due anni, la densità apparente ha subito una diminuzione del 34% circa per le parcelle lavorate ogni anno (tesi 2), una diminuzione di circa il 15% per le parcelle lavorate una volta soltanto e una sostanziale invarianza per le parcelle testimoni (Fig. 62). A differenza dei suoli di Barbialla, occorre specificare che le parcelle da 1 a 6 ricadono in zone antropizzate, frequentate da passaggio di

persone e talvolta di mezzi meccanici; per tali parcelle i valori iniziali di densità apparente del suolo sono molto elevati a causa della compattazione del suolo e pertanto gli effetti delle lavorazioni sono più evidenti.

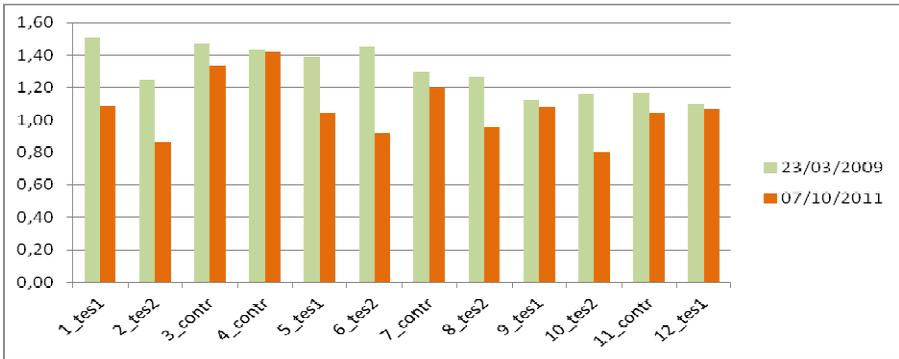


Fig. 62. Densità apparente misurata ad inizio e fine sperimentazione nella tartufoia di Argenta. In ascissa il numero della parcella e il tipo di trattamento: contr = testimone, tes1 = lavorazioni un anno, tes2 = lavorazioni ogni anno. In ordinata i valori di densità apparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), mediana di tre ripetizioni.

Dalle osservazioni condotte possiamo quindi affermare che l'alterazione dello spazio fra i pori del suolo è uno degli effetti più evidenti che si possono avere dopo le lavorazioni, le quali, oltre a mettere in evidenza un disturbo sulla superficie, influiscono sulla disposizione interna dei pori e degli aggregati, influenzando così la struttura del terreno. Dalla porosità, che è determinata dal tipo e dal grado di struttura del suolo, dipendono i rapporti fra la fase solida, liquida e gassosa del terreno ed essa è il principale fattore che regola l'infiltrazione, il drenaggio profondo e il potenziale idrico, forza con la quale l'acqua viene trattenuta nel suolo. La porosità influenza inoltre altri caratteri importanti per il tartufo, quali l'aerazione del suolo, lo sviluppo e l'approfondimento radicale delle piante. La densità apparente è un parametro relativamente facile da acquisire in campagna, anche se molto variabile e sensibile, e può essere preso come un indicatore fortemente correlato alla porosità del suolo.

Le lavorazioni delle parcelle sperimentali hanno prodotto dei cambiamenti nei micro rilievi, nella rugosità della superficie e, come visto, nella densità apparente.

Questi cambiamenti hanno avuto un carattere temporale e la loro persistenza è dipesa dalla stabilità strutturale del suolo e dall'aggressività degli agenti esterni. L'aumento della rugosità ha incrementato la capacità di immagazzinamento di acqua nella superficie, mentre la diminuzione di densità, ovvero l'aumento della porosità e in particolare del numero di macropori, ha favorito la penetrazione dell'acqua.



## 8. EFFETTO DEL DIRADAMENTO SELETTIVO DELLA COPERTURA VEGETALE

Giovanni Pacioni<sup>1</sup>

Nelle tartufaie di Feudozzo e Collemeluccio il diradamento selettivo della vegetazione ha determinato una variazione nel grado di copertura del suolo che abbiamo quantificato al fine di poter valutare gli effetti degli interventi sulla densità del micelio di *T. magnatum* nel suolo e sulla produzione dei tartufi bianchi.

Nella tabella 3, relativa a Feudozzo, è indicata la situazione della copertura a luglio 2011 dopo il secondo intervento di diradamento, equivalente come valori a quello del 2009. Nella tabella 4 sono riportati i dati di copertura a luglio 2011 nella tartufaia di Collemeluccio dove però non è stato possibile raccogliere dati significativi, sia per quel che riguarda la densità del micelio nel suolo sia per la produzione (vedi capitolo 6), per i motivi che verranno chiariti nel successivo paragrafo e che sono legati alla modifica della regimazione idrica della tartufaia. Tale intervento, che ha influenzato drasticamente la vitalità e la presenza del micelio di *T. magnatum* nel suolo e quindi la produzione di tartufi bianchi, ha vanificato la sperimentazione programmata (effetti del diradamento della vegetazione) ma ha nel contempo evidenziato il ruolo insostituibile del regime idrico sulla biologia del tartufo bianco.

La produzione di tartufi è avvenuta esclusivamente nella parcella C2 così come i più alti valori di densità miceliare sono stati registrati in quella parcella, nella quale è stato effettuato il taglio dello strato erbaceo.

---

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell'Aquila

Tabella 3. Altezza media della vegetazione e copertura delle parcelle della tartufaia di Feudozzo nel luglio 2011 dopo gli interventi di diradamento.

Copertura Strati*	m	%	m	%	m	%	m	%
<b>Parcelle</b>	<b>B1</b>		<b>C1</b>		<b>B4</b>		<b>A2</b>	
A	18,0	80	20,0	60	25,0	50	20,0	75
B1	4,0	60	3,0	25	2,5	35	3,5	10
B2	0,5	65	0,8	20	0,6	80	1,5	45
C	-	10	-	10	-	25	-	15
<b>Parcelle</b>	<b>C3</b>		<b>A1</b>		<b>A4</b>		<b>B3</b>	
A	20,0	65	25,0	45	25,0	50	24,0	70
B1	3,5	35	2,0	60	2,5	40	3,0	25
B2	1,0	25	0,6	70	0,8	70	1,0	50
C	-	10	-	15	-	10	-	40
<b>Parcelle</b>	<b>A3</b>		<b>B2</b>		<b>C4</b>		<b>C2</b>	
A	20,0	60	20,0	40	18,0	60	20,0	50
B1	3,0	65	3,5	70	3,0	30	2,5	20
B2	0,8	50	1,5	60	1,0	15	1,0	30
C	-	15	-	30	-	15	-	10

\*Strati: A, strato arboreo; B1, alto arbustivo e giovani alberi; B2, basso arbustivo; C, erbaceo.

Tabella 4. Altezza media della vegetazione e copertura delle parcelle della tartufaia di Collemeluccio nel luglio 2011 dopo gli interventi di diradamento.

Copertura Strati*	m	%	m	%	m	%
<b>Parcelle</b>	<b>C2</b>		<b>B3</b>		<b>A1</b>	
A	18,0	85	17,0	70	20,0	80
B	2,2	15	2,5	10	3,0	20
C	0,5	20	0,5	80	0,6	25
<b>Parcelle</b>	<b>A3</b>		<b>C1</b>		<b>B2</b>	
A	15,0	70	20,0	70	18,0	70
B	2,0	40	2,0	35	2,0	20
C	0,6	35	0,6	30	0,6	80
<b>Parcelle</b>	<b>B1</b>		<b>A2</b>		<b>C3</b>	
A	16,0	40	16,0	65	20,0	80
B	2,2	30	2,0	40	2,5	30
C	1,0	90	1,0	35	0,6	35

\*Strati: A, strato arboreo; B, arbustivo e giovani alberi; C, erbaceo

## Considerazioni aggiuntive

A Collemeluccio tutte le raccolte sono avvenute nella parcella C2 che è quasi interamente occupata da abeti bianchi adulti, nella quale, quindi, è presente prevalentemente lo strato arboreo con una copertura pressoché totale (Figg. 63-64). La parcella è interessata dalle esondazioni primaverili del torrente Sarcitano che in quel punto forma una stretta curva. In precedenza, prima della sperimentazione, la produzione di tartufo bianco era localizzata anche in altre parcelle, in particolare sulla linea di confine tra A2-C3, C1-B2 e B3-A1, dove scorreva l'acqua proveniente dall'incanalamento nel sentiero "Mediano". La sistemazione della strada carrabile

all'inizio del sentiero, ha portato alla captazione di quest'acqua in un pozzetto e la sua deviazione lungo la cunetta stradale, privando quindi la parcella sperimentale dell'apporto idrico (Fig. 65). Ciò riteniamo sia la causa della presenza insignificante del micelio di *T. magnatum* in queste parcella e la scomparsa della produzione di tartufo bianco. La presenza del micelio è stata rilevata, anche se in maniera assai ridotta all'inizio della sperimentazione (gennaio 2009), ad un paio di anni dall'intervento di modifica della regimazione idraulica, per poi scomparire quasi del tutto nel 2010.



Fig. 63. Punti di raccolta dei corpi fruttiferi di *T. magnatum* nella tartufaia di Collemeluccio.



Fig. 64. Collemeluccio, copertura della parcella C2, unica produttiva, dovuta allo strato arboreo di *Abies alba*.



Fig. 65. Collemeluccio, sentiero “Mediano” nel quale si incanalava l’acqua piovana che inondava l’area sperimentale e la cui irreggimentazione per la viabilità ha danneggiato la produzione di tartufo bianco.

Queste osservazioni sono state confermate anche dalle indagini condotte nella tartufaia di Feudozzo, dove le raccolte si sono concentrate lungo le linee di scorrimento dell’acqua (Fig. 66). La prima parte dalla parcella B1, un’area testimone con copertura alquanto eterogenea, è caratterizzata da due zone laterali che rappresentano il 65-70% della superficie con una copertura dello strato alto arbustivo valutabile intorno al 80-85% costituito da rovi, arbusti e giovani alberi, e da una striscia centrale, simile ad una galleria, dove è prevalente lo strato basso arbustivo fondamentalmente attribuibile a monocotiledoni rizomatoze e bulbose (Fig. 67). In questa situazione le raccolte sono avvenute lungo un solco verticale, nella zona centrale a “galleria”, creatosi a seguito di lavori di ceduzazione di qualche anno fa (2006) e dello scivolamento di grossi tronchi abbattuti. Su questo solco, che si origina parecchi metri prima della parte superiore della parcella, si è incanalato un ruscello che si forma in occasione di abbondanti precipitazioni. Il solco prosegue nella sottostante parcella C3, nella quale i punti di raccolta seguono questa canalizzazione. In quest’ultima è stato raccolto una volta anche un fiorone in una zona leggermente decentrata rispetto a questo allineamento.

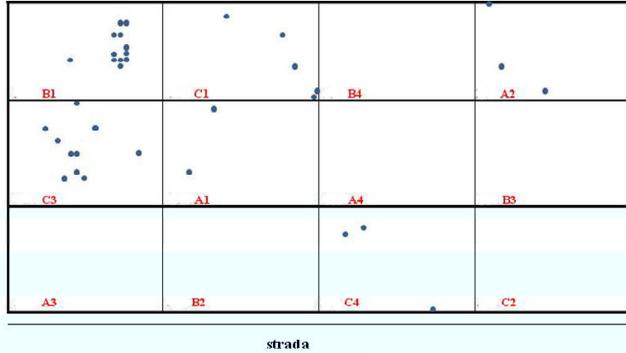


Fig. 66. Punti di raccolta di *T. magnatum* nella tartufoia di Feudozzo.



Fig. 67. Feudozzo, parcella B1-testimone, tratto centrale visto dall'alto con impluvio superficiale e galleria creati dallo scorrimento di tronchi abbattuti, con scarsa vegetazione nello strato arbustivo dove si è verificata una costante produzione di tartufo bianco a differenza delle zone a destra e sinistra interessate da un compatto strato di rovi ed arbusti.

Il solco si interrompe creando un piccolo accumulo di sedimento, probabilmente formato dalla testa del tronco che è stato poi tagliato e trasportato via. Nel punto di interruzione si forma un minuscolo ristagno e l'acqua, seguendo le curve di livello devia verso la parcella B2, testimone senza alcuna raccolta nel quadriennio.

Da notare che nella parcella B1 esiste un secondo piccolo impluvio a sinistra che scorre in una zona ad intensa copertura dello strato arbustivo.

Una seconda linea di scorrimento delle acque percorre obliquamente, da sinistra a destra guardando la figura, la parcella C1, per poi deviare verso sinistra nella A1. Anche in queste due parcelle sono state registrate una serie di raccolte che seguono anch'esse il percorso dell'acqua.

L'acqua delle parcelle B1-C3 si unisce a quella delle parcelle C1-A1 in corrispondenza della linea di demarcazione della B2, dal lato della parcella C4, dove si crea un balzo, già evidenziato nella relazione geologica, ed un approfondimento, mediamente di 50 cm con punte di 70-80 cm, del letto del ruscello che percorre la parcella B2, testimone improduttivo, per poi riversarsi nella cunetta stradale sottostante, fuori dalla tartufaia.

Un ulteriore scorrimento di acqua, si ha nella parte mediana nella parcella B4, testimone improduttivo, e in corrispondenza di una piccola risorgenza di acqua nel lato sinistro della A2, produttiva. L'acqua di queste due parcelle solitamente si incanala su un sentiero battuto che corre sul lato sinistro delle parcelle B3, testimone improduttivo, e C2, ma in qualche occasione può debordare sia in alto sia in basso verso la parcella C4. In quest'ultima si sono avute due raccolte nella parte superiore ed una di un grosso fiorone marcio nell'estate 2011.

Da questo attento esame possono essere tratte alcune considerazioni che coinvolgono il ruolo della vegetazione e dell'acqua. Come già chiarito la parcella B1 si presenta in maniera piuttosto diversa rispetto alle altre tre testimoni. In queste ultime infatti si ha una copertura degli strati alto arbustivo e giovani alberi, basso arbustivo ed erbaceo dovuta principalmente a rovi, alti fino a 2 m circa nella parcella B2, prostrati in B4, ed in una situazione intermedia in B3. In queste tre parcelle sono stati aperti sentieri di penetrazione di 50-60 cm di larghezza ma i cani non hanno mai segnalato la presenza di tartufi o altri funghi ipogei. La parcella B4 presenta condizioni apparenti favorevoli per quel che riguarda la presenza di acqua di scorrimento, mentre B3 e B2 hanno l'acqua di scorrimento incanalata nel primo caso in un sentiero battuto, nel secondo caso in un solco alquanto profondo (50-70 cm). Nella parcella B1 la situazione della copertura di arbusti e rovi è simile alle altre tre parcelle per circa il 70% della superficie a destra e a sinistra della zona centrale, dove c'è una striscia, che rappresenta circa il 30% della superficie, nella quale l'intervento di ceduzione operato nel 2006 ha creato una galleria nella vegetazione ed un impluvio superficiale. L'ombreggiamento dovuto allo strato arboreo e gli effetti dello scorrimento dei tronchi sugli strati erbaceo ed arbustivo hanno creato una condizione particolarmente favorevole allo sviluppo di *T. magnatum* all'interno della parcella testimone. Nella stessa particella B1, infatti, nel tratto a sinistra della zona centrale, dove esiste una fitta copertura di rovi, pur in presenza di un impluvio che converge su quello centrale, non si è mai verificata la raccolta di tartufi bianchi.

Quindi quello che sembra emergere è che l'acqua debba scorrere su terreno interessato dall'attività radicale superficiale delle piante arboree e probabilmente anche delle comari.

Certamente queste osservazioni non sono sufficienti a trarre delle considerazioni definitive e generalizzate in quanto scaturiscono da due soli casi. Comunque è possibile rilevare una certa concordanza logica con quanto sinora osservato da altri autori [11-12], per lo meno nel campo geo-pedologico, ossia l'importanza dell'azione dei processi di erosione e di deposizione di materiale sia nella dinamica fluviale che di versante, che generano orizzonti superficiali destrutturati, maggiormente soffici e aerati. L'acqua ha poi la non secondaria funzione di produrre le condizioni di umidità necessarie per lo sviluppo miceliare e per la produzione dei tartufi.

Concludendo, per quel che riguarda nello specifico l'influenza della vegetazione, pensiamo che si possa considerare molto positivamente una copertura operata dallo strato arboreo superiore al 50-60%. Anche in condizioni di copertura quasi totale dello strato arboreo come avviene nella parcella C2 a Collemeluccio, la produzione di tartufo bianco è sempre avvenuta regolarmente in tutti gli anni della sperimentazione con 139 g nel 2009, 106 nel 2010 e 88 nel 2011. In questa parcella, nella zona produttiva, è scarsamente presente lo strato arbustivo con giovani alberi e il basso strato erbaceo è diffuso a macchie.

Lo strato arbustivo va considerato in maniera analitica perché se costituito da piante micorriziche e comari, una sua presenza tra il 20% ed il 60% non sembra influenzare oltre misura la produzione; se invece costituito da rovi, con copertura superiore al 50%, oltre a rappresentare uno ostacolo alla ricerca, sembra bloccare la fruttificazione del tartufo bianco.

Per quel che concerne, infine, le cosiddette piante "comari" non abbiamo notato effetti negativi. In considerazione del fatto che non sono state trovate micorrize di *T. magnatum* sugli apparati radicali delle piante considerate simionti di questo tartufo, queste piante potrebbero presumibilmente poter partecipare al sostentamento del suo micelio con un non meglio identificato rapporto di cooperazione.



## **9. LA TEMPERATURA E L'UMIDITÀ DEL SUOLO NELLE TARTUFAIE**

Lorenzo Gardin<sup>1</sup>

Uno degli scopi del progetto MAGNATUM è stato quello di caratterizzare con tecniche innovative alcuni aspetti ecologici ritenuti di fondamentale importanza ai fini della crescita e della fruttificazione del tartufo bianco pregiato, quali la temperatura e l'umidità del suolo. La caratterizzazione di questi due parametri è stata fatta installando, nelle aree sperimentali, delle strumentazioni di precisione della ditta DECAGON DEVICES (USA) modello ECH2O, che comprendono una centralina EN50 per la raccolta dei dati, 5 sonde munite di cavi lunghi fino a 20 m ed un software per la gestione dei dati; una sonda è stata ubicata nella parcella testimone, mentre le altre sono state posizionate in due punti diversi di una parcella relativa a ciascuna tesi sperimentale (Fig. 68).

I dati di temperatura ed umidità del suolo sono stati registrati ogni ora; il software consente il “download” dei dati ed una loro preliminare elaborazione.

La sistemazione delle sonde nel suolo è avvenuta dopo aver scavato una buca profonda circa 25 cm, cercando di mantenere inalterata la parete verticale dove era stato deciso di infiggere i sensori. Questi ultimi sono stati posizionati alla profondità di 20 cm.

---

<sup>1</sup>Libero professionista, Firenze



Fig. 68. Sistema di acquisizione dei dati relativi alla temperatura ed umidità del suolo: a) sonda, b) inserimento della sonda nel suolo a 20 cm di profondità, c) centralina di raccolta dati.

I cavi sono stati protetti con tubo corrugato per evitare che fossero danneggiati da ungulati ed altri animali o da altri eventi causali, mentre i “data logger” sono stati sistemati all’interno di cassette di derivazione. L’utilizzo di tubi corrugati per esterni ha comportato la necessità di preparare tutto il materiale in sede. Le giunzioni sono state protette con nastro auto vulcanizzante ed inserite in scatole di derivazione mentre i tubi sono stati interrati ad una profondità di circa 10 cm per preservarli da animali, atti vandalici etc.

L’impianto è stato predisposto per poter operare in un ambiente esterno, boschivo, in condizioni di elevata escursione termica e per un arco di tempo pluriennale come previsto dal progetto. Tutte le parti deboli del sistema erano facilmente ispezionabili, in particolare i connettori per le prolunghe che è stato necessario utilizzare.

Ai fini di verificare il corretto funzionamento delle apparecchiature e la loro resistenza all’ambiente esterno, anche a seguito di eventi atmosferici intensi e violenti, sono stati effettuati sopralluoghi che hanno dato esito positivo. Pur trattandosi di un sistema rinforzato e protetto, necessita di un monitoraggio costante durante il quale è prudente effettuare “download” parziali o totali, controllando la presenza di eventuali valori anomali, e verificare il normale funzionamento dei sensori nel suolo ed il regolare collegamento fra i cavi. In varie occasioni è stato infatti necessario ripristinare sonde non più funzionanti, contatti elettrici e danni meccanici causati da animali selvatici.

La calibrazione dei risultati riguardanti l’umidità del suolo si rende necessaria per adattare le rilevazioni della sonda al tipo di suolo in cui essa è stata sistemata. In linea di massima occorre utilizzare funzioni di calibrazione differenti se si tratta di

suoli con elevato contenuto di materiale organico o suoli con elevato contenuto in sali mentre negli altri casi (quali il nostro) gli algoritmi proposti dal software sono soddisfacenti. Nonostante ciò si è voluto creare una specifica equazione di calibrazione basata sulle caratteristiche dei suoli delle tartufaie coinvolte nel progetto, in particolare sulla composizione granulometrica e sul contenuto di sostanza organica che potrebbero incidere maggiormente sul parametro umidità.

Le sonde utilizzate misurano il contenuto volumetrico d'acqua del terreno, determinando la costante dielettrica del suolo, parametro fortemente correlato al contenuto d'acqua. Tuttavia, non tutti i suoli hanno uguali proprietà elettriche. A causa di variazioni della tessitura e della salinità, la calibrazione generica fornisce risultati con un'accuratezza variabile del  $\pm 3-4\%$  per la maggior parte dei suoli minerali a granulometria media e fine, mentre può arrivare fino a  $\pm 10\%$  nei terreni a granulometria grossolana e con alto contenuto in sali. La precisione aumenta del  $\pm 1-2\%$  per tutti i suoli in seguito ad una specifica calibrazione basata sulle caratteristiche del suolo in esame; la ditta stessa ne consiglia la realizzazione.

Per questo motivo sono stati prelevati alcuni campioni di suolo alla stessa profondità dove sono state installate le sonde, ad una distanza inferiore ai due metri dalla sonda stessa ed in differenti periodi dell'anno. I campioni sono stati estratti mediante un carotatore avente un volume noto di  $100 \text{ cm}^3$  e poi pesati in laboratorio allo stato di umidità in cui si trovavano; successivamente sono stati messi ad essiccare in stufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  ed infine pesati nuovamente. In questo modo è stato calcolato immediatamente il valore dell'umidità in peso e, dopo aver determinato la massa volumica (peso secco / volume noto) allo stato secco, è stato ottenuto anche il valore dell'umidità in rapporto al volume. Tali valori sono stati messi in relazione con i dati bruti forniti dalle sonde nello stesso momento del prelievo del campione e così è stato possibile ricavare graficamente un'equazione lineare fra il dato strumentale in formato bruto (raw) e il valore di umidità volumetrica misurata (Fig. 69).

Nel database sono stati archiviati i dati delle sonde in formato grezzo e poi trasformati in valori di umidità volumetrica sia secondo l'equazione universale utilizzata dal software, sia secondo la nostra equazione calibrata. Ciò ha consentito di poter disporre di entrambi i valori e di poter verificare le differenze esistenti che, peraltro, appaiono poco significative.

Per ciascuna tartufaia è stata inoltre effettuata la stima del potenziale idrico corrispondente al valore di umidità (Fig. 70). Per fare ciò, non disponendo di misurazioni del potenziale, abbiamo fatto ricorso a una pedofunzione [31] immettendo come input i valori di tessitura, di carbonio organico e di densità apparente.

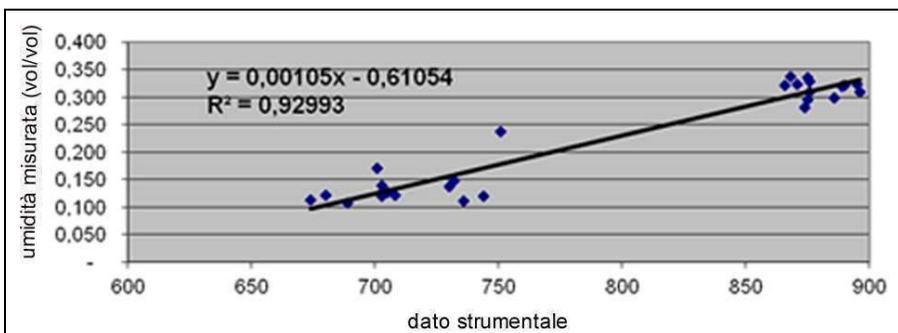


Fig. 69. Correlazione fra dato strumentale grezzo e misurazioni di umidità su campione di suolo per la calibrazione delle sonde.

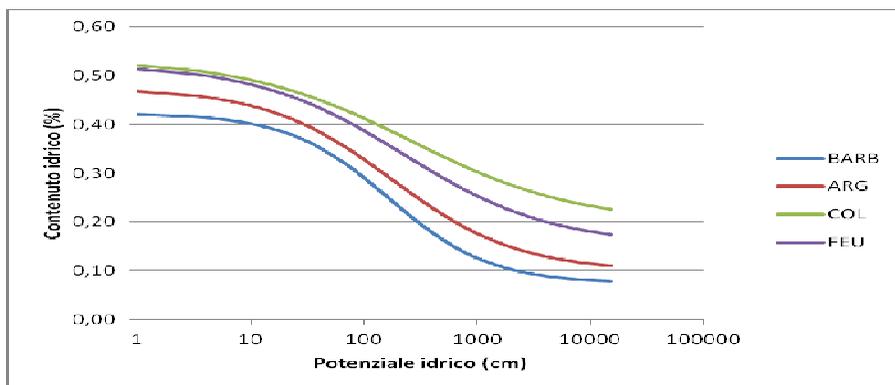


Fig. 70. Per ciascuna tartufaia sperimentale è stata costruita una curva di ritenzione idrica che mette in relazione il contenuto idrico misurato in campo dalle sonde e il potenziale idrico; ciò è stato possibile mediante una pedofunzione.

Tale operazione, per quanto affetta da un certo grado di approssimazione, consente di utilizzare il potenziale idrico come parametro di confronto fra siti tartufigeni con suoli differenti. Infatti non è importante conoscere soltanto la quantità di umidità presente nel terreno, ma anche la forza con la quale il terreno la trattiene e quindi in che percentuale può essere più facilmente utilizzata dalle radici delle piante o dal micelio fungino.

Tralasciando gli effetti che le lavorazioni o gli interventi di diradamento sulla vegetazione hanno avuto sulla temperatura e sull'umidità del suolo, vogliamo di seguito riportare e confrontare fra loro i parametri di temperatura e umidità medie delle 4 tartufaie, aggregati per media mensile.

Nelle figure 71 e 72 viene riportato l'andamento della temperatura media mensile del suolo e l'andamento dell'umidità volumetrica media mensile del suolo in relazione alla produzione di carporfiori raccolti in ciascuna tartufoia sperimentale.

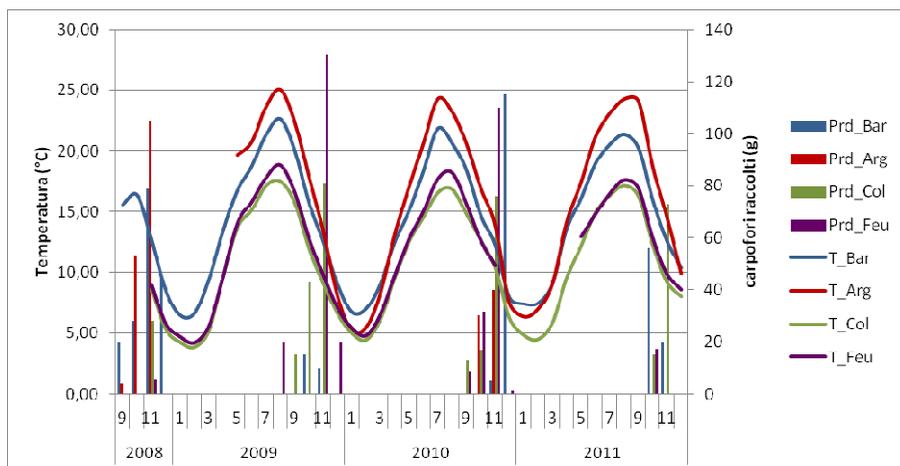


Fig. 71. Andamento della temperatura media mensile del suolo relativa al periodo di durata del progetto nelle 4 tartufoie sperimentali in relazione con la produzione di carporfiori (Arg: Argenta; Bar: Barbiaglia; Col: Collemeluccio; Feu: Feudozzo).

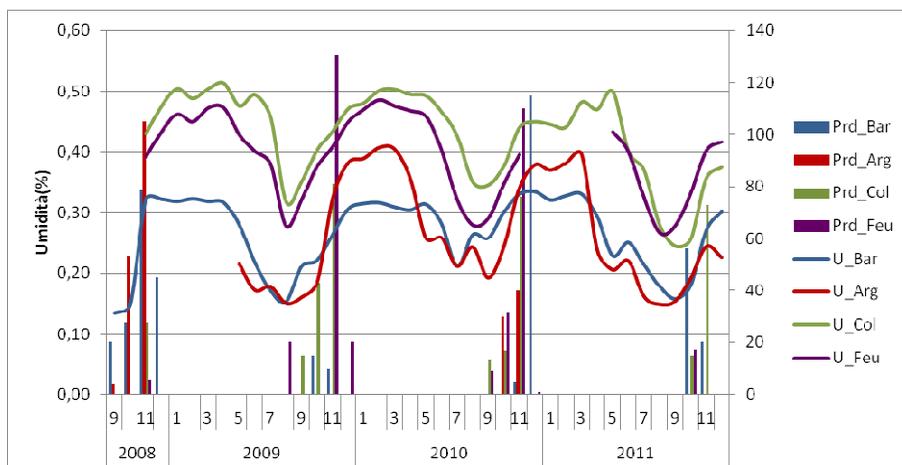


Fig. 72. Andamento dell'umidità media mensile del suolo relativa al periodo di durata del progetto nelle 4 tartufoie sperimentali in relazione con la produzione di carporfiori (Arg: Argenta; Bar: Barbiaglia; Col: Collemeluccio; Feu: Feudozzo).

La produzione di carpori si manifesta nel periodo autunnale, in fase di ricarica idrica, con valori di temperatura del suolo di circa 13 °C a Barbialla, 16 °C a Argenta, 12 °C a Collemeluccio e Feudozzo e con valori di umidità variabili. A Barbialla la produzione si realizza con valori di umidità medi intorno a 25%, mentre ad Argenta, a Collemeluccio e a Feudozzo i valori di umidità medi sono compresi fra 36% e 38%.

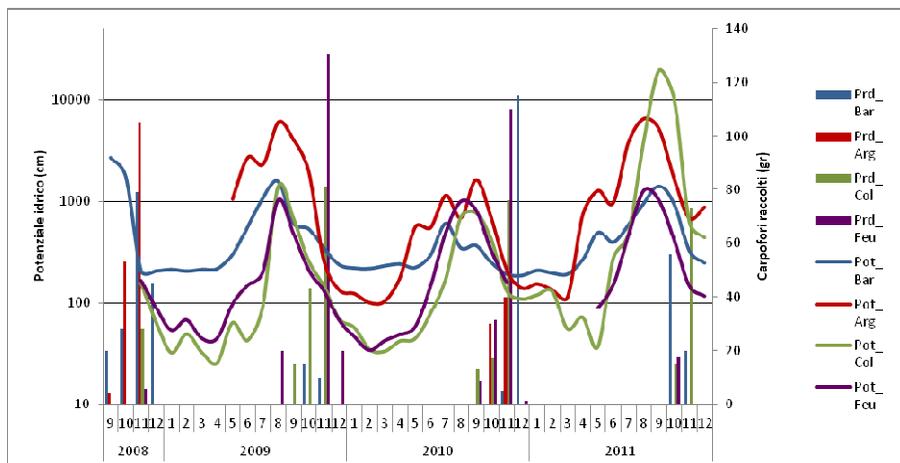


Fig. 73. Andamento del potenziale idrico medio mensile del suolo relativo al periodo di durata del progetto nelle 4 tartufige sperimentali (Arg: Argenta; Bar: Barbialla; Col: Collemeluccio; Feu: Feudozzo).

In figura 73 viene riportato l'andamento del potenziale idrico medio mensile del suolo, posto in relazione con la produzione di carpori raccolti in ciascuna tartufiga sperimentale. Il potenziale idrico esprime la forza necessaria per estrarre l'acqua dal suolo: da 100 a 300 cm di potenziale si pone convenzionalmente la capacità di campo, cioè quel valore di umidità corrispondente alla piena saturazione dei micropori; intorno invece a 15.000 cm si pone convenzionalmente il punto di appassimento, cioè il limite oltre al quale la maggior parte delle piante non riesce più ad estrarre l'acqua dal suolo.

Per tutte e quattro le tartufige i valori medi di potenziale al quale si verifica più frequentemente la produzione di tartufo sono compresi fra 180 e 260 cm, intorno cioè alla capacità di campo mostrando la necessità di un buon equilibrio fra la disponibilità d'acqua e la disponibilità d'aria.

L'importanza di conoscere il contenuto idrico dei suoli durante le varie fasi di vita del tartufo è risultato di grande interesse e si è rivelato molto importante. La disponibilità idrica in certi momenti dell'anno, in particolare nel periodo tardo primaverile e nel periodo estivo, riveste un ruolo fondamentale per sviluppo del micelio e per la fruttificazione del tartufo.

Dal monitoraggio delle temperature e umidità effettuato mediante le sonde nelle quattro tartufaie e sopra presentato è emerso come negli anni di durata del progetto vi siano state annate molto siccitose, con prolungati periodi secchi estivi che hanno gravemente compromesso la produzione di tartufo. Solo l'anno 2010 è risultato leggermente più umido in tutte le tartufaie e ciò ha garantito una maggiore produzione. Le conseguenze meno gravi dei periodi siccitosi si sono verificate nelle tartufaie montane abruzzesi e molisane, dove le temperature, l'evapotraspirazione e i valori di umidità del suolo hanno comunque consentito un'accettabile produzione di tartufo. Viceversa, nelle tartufaie della collina toscana e della pianura emiliano romagnola, essendo ubicate in posizioni più calde e meno piovose, si sono registrati valori di umidità del suolo assai bassi per diversi mesi, che hanno drasticamente ridotto la produzione del tartufo. Ad Argenta addirittura nell'anno 2011 non è stato raccolto nessun tartufo e nel 2009 solo due corpi fruttiferi.

L'anomala lunga durata di periodi siccitosi estivi non interrotti da eventi piovosi risulta essere un carattere climatico e pedoclimatico assai negativo per la produzione di tartufo.



## 10. CRITERI DI GESTIONE DELLE TARTUFAIE NATURALI

Alessandra Zambonelli<sup>1</sup>, Claudia Perini<sup>2</sup>, Giovanni Pacioni<sup>3</sup>

Scopo del progetto era quello di stabilire alcuni criteri di gestione delle tartufoie controllate di tartufo bianco, relativamente alle pratiche colturali sperimentate.

Il micelio di *T. magnatum* vive e si sviluppa unicamente nel suolo il quale risulta essere un ambiente estremamente eterogeneo e complesso in cui interagisce con numerosi altri microrganismi instaurando con loro un equilibrio dinamico condizionato da numerosi fattori biotici ed abiotici. I risultati ottenuti dal progetto hanno dato una panoramica delle specie fungine ectomicorriziche, saprotrofe e parassite che vivono nel suolo nei medesimi punti ove fruttifica *T. magnatum*. Abbiamo inoltre constatato come questi studi non siano semplici, in quanto le comunità fungine sono assai differenti a seconda che si esaminino i funghi presenti come micelio libero nel suolo, i funghi che sviluppano ectomicorrizze o quelli che formano corpi fruttiferi.

Purtroppo in un sistema biologico così complesso è difficile stabilire dei criteri di gestione universalmente validi e bisogna sempre tenere in considerazione le specifiche condizioni ecologiche della tartufoia dove si vuole operare nonché la dinamica delle condizioni climatiche.

---

<sup>1</sup>Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare, Università di Bologna

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università di Siena

<sup>3</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell'Aquila

L'impiego della tecnica "real-time" PCR si prospetta come uno strumento semplice ed immediato per valutare gli effetti degli interventi colturali che dovrebbero essere sempre verificati per una più sicura gestione delle tartufaie.

A pagina 81 riportiamo le indicazioni ed i criteri per impostare ed effettuare in maniera più appropriata i prelievi di terreno da sottoporre ad analisi "real-time" PCR, considerando anche gli obiettivi delle analisi.

Seppure, come già sottolineato, sia impossibile stabilire dei criteri universalmente validi possiamo dare alcuni consigli pratici per una migliore gestione delle tartufaie.

Le lavorazioni superficiali del suolo (5-25 cm in profondità) sono utili soprattutto nelle tartufaie di pianura, quando il suolo tende a compattarsi. Queste devono essere effettuate in primavera, preferibilmente a marzo, primi di aprile e limitate ai periodi in cui il terreno è in tempra. Per evitare la formazione di una soletta di lavorazione possono essere utilizzate erpici o frese a denti dritti (i denti ricurvi comuni nella maggior parte delle frese vanno evitati) oppure erpici a dischi (Fig. 74).



Fig. 74. Erpice a denti dritti e erpice a dischi.

Nelle tartufaie di collina le lavorazioni del terreno vanno limitate a quelli con scarsa pendenza per evitare sia rischi di smottamenti più o meno estesi, avendo smosso lo strato superficiale del suolo, sia rischi per gli operatori. Sempre per evitare rischi per gli operatori è preferibile lavorare il terreno a "rittochino" con trattori leggeri per evitare compattazione del terreno.

Il diradamento della vegetazione nelle tartufaie naturali è una pratica indispensabile soprattutto quando in queste la copertura erbacea è dovuta a specie rizomatose o prostrate-sarmentose come i rovi che a volte rendono il sito impenetrabile. Anche il diradamento delle piante arbustive è utile allo sviluppo del micelio e dei carpofori di *T. magnatum*, ma bisogna sempre avere cura di mantenere una copertura arborea superiore al 50-60%.

La copertura dello strato arbustivo invece deve essere limitata anche a discapito di alcune piante cosiddette “comari”, mantenendola al di sotto del 60%. La tartufoia trova sempre beneficio da un diradamento della vegetazione erbacea e soprattutto dall’eliminazione delle piante prostrate-sarmentose o rizomatose (es rovi ed equiseti). In particolare si dovrà procedere, ove possibile, all’eliminazione dei rovi che, oltre ostacolare il passaggio e la cerca dei cani addestrati, con la loro eccessiva copertura del suolo possono inibire anche lo sviluppo dei corpi fruttiferi, pur in presenza di un’adeguata quantità di micelio, in ambienti collinari.

Un’altra considerazione scaturita dai risultati ottenuti dal progetto riguarda il ruolo dell’umidità del suolo e soprattutto dell’acqua di scorrimento sullo sviluppo del micelio nel suolo e sulla produzione di corpi fruttiferi. Pertanto si consiglia di favorire lo scorrimento dell’acqua nelle tartufoie naturali in maniera più superficiale possibile, riducendo gli incanalamenti e favorendo le piccole esondazioni. Le tartufoie di pianura potrebbero invece trovare giovamento da interventi irrigui effettuati nei periodi particolarmente siccitosi. A questo fine si consigliano interventi irrigui non frequenti (ogni due settimane) ma con un quantitativo di acqua atto a bagnare i primi 20-30 cm di suolo ove sviluppa il micelio. Saranno tuttavia necessarie specifiche sperimentazioni al fine di definire le modalità ed i tempi degli interventi irrigui da effettuarsi nelle tartufoie naturali in modo da renderli sostenibili.

## **Consigli pratici per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre a “real-time” PCR**

### ***Criteri di campionamento***

Nel caso di voler verificare lo stato di salute di una tartufoia di cui non si hanno informazioni sulla produzione (nuovo impianto o impianto da ripristinare) si consiglia di quantificare il micelio di *T. magnatum* prevedendo campionamenti che coinvolgono tutta la superficie durante i mesi primaverili (Marzo-Aprile) quando c’è una “fioritura” ed una redistribuzione nel suolo del micelio di questa specie di tartufo. Per ridurre al minimo i costi dell’analisi si deve dividere la superficie totale in aree omogenee (parcelle) considerando parametri quali la morfologia, la pendenza, l’esposizione, la copertura vegetale ecc.

Ciascuna parcella dovrebbe avere comunque dimensioni non eccessive, comprese fra i 50 ai 100 m<sup>2</sup> (in relazione alle dimensioni ed alla morfologia della tartufoia stessa).

Nell’eventualità si desideri verificare l’andamento produttivo in uno specifico anno è consigliabile selezionare solo poche parcelle di dimensioni più piccole (10 m<sup>2</sup>) in corrispondenza delle aree della tartufoia solitamente più produttive.

Da ciascuna parcella si deve ricavare un campione di suolo rappresentativo da cui costituire sottocampioni (minimo 3 ripetizioni) da sottoporre alle analisi molecolari. A parità di quantità di suolo prelevato in ciascuna parcella è preferibile

effettuare tanti piccoli carotaggi di suolo lungo le diagonali piuttosto che pochi e grandi. Questo per ridurre al minimo i problemi dovuti all'eterogeneità del suolo ed alla distribuzione non omogenea del micelio e di tutti microrganismi più in generale.

### ***Modalità di campionamento***

Utilizzo di tubi “usa e getta” come quelli adottati nella corso della sperimentazione sono appropriati ed evitano la reciproca contaminazione dei campioni di suolo prelevati in punti differenti di una tartufaia. La tecnica “real-time” PCR è molto sensibile e sono sufficienti pochi milligrammi di suolo di un campione contenente micelio di *T. magnatum* per avere un esito positivo in un altro che in realtà ne è totalmente privo.

Il suolo campionato è preferibile liofilizzato o comunque adeguatamente essiccato all'aria non troppo calda (<50 °C) per eliminare l'umidità in eccesso che potrebbe interferire con la successiva frantumazione dello stesso e l'estrazione del DNA. Il suolo secco deve essere accuratamente polverizzato in un semplice mortaio e rimescolato per rendere omogenea tutta la massa da cui prelevare il suolo da analizzare.

## 11. CONCLUSIONI

Alessandra Zambonelli<sup>1</sup>, Claudia Perini<sup>2</sup>, Giovanni Pacioni<sup>3</sup>

La tecnica di “real-time” PCR messa a punto nel corso della sperimentazione ha permesso di acquisire nuove conoscenze sulla biologia di *T. magnatum* che finora erano ancora molto scarse. In particolare abbiamo evidenziato il ruolo predominante del micelio libero nel suolo nel ciclo biologico di questo tartufo, che pur essendo in grado di formare ectomicorrize in serra in condizioni controllate, sembra perderle in pieno campo. Esso, infatti, si sviluppa nel terreno formando placche di micelio molto ampie le quali costituiscono aree potenzialmente produttive. Il micelio pur essendo diffuso nel suolo tende tuttavia a concentrarsi nel punto dove avverrà la fruttificazione.

La quantità di micelio nel suolo è fortemente influenzata dalle condizioni climatiche e particolarmente dall’andamento stagionale estivo, come d’altra parte lo sviluppo dei corpi fruttiferi. Il micelio si sviluppa e si espande nel suolo nel periodo primaverile mentre nel periodo estivo diminuisce in modo più o meno marcato. Nel periodo autunnale tende a riconcentrarsi in prossimità dei punti produttivi.

La “real-time” PCR ha dimostrato di essere un valido strumento per rilevare la potenziale produttività di un’area, lo stato di salute di una tartufaia e gli effetti di interventi colturali o eventi naturali sulla stessa. La quantità di micelio risulta infatti correlata alla produttività anche se questo dato lo si è potuto rilevare su più anni di campionamento. Questa caratteristica di *T. magnatum* è molto importante ai

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare, Università di Bologna

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università di Siena

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell’Aquila

fini diagnostici. Al contrario in altri funghi pregiati, quali il tartufo nero pregiato o il porcino, non è stata trovata alcuna correlazione fra la quantità di micelio nel suolo e la produzione dei corpi fruttiferi [23, 25]. Mediante la quantificazione del micelio di *T. magnatum* nel suolo le potenzialità produttive di una tartufaia possono essere valutate senza considerare, quindi, la produzione reale di tartufi che è troppo variabile da un anno all'altro perché influenzata da molti fattori ambientali ed ecologici. Decisioni relative alla gestione di una tartufaia basate su dati produttivi di pochi anni spesso possono rivelarsi dannose senza neppure accorgersene. Inoltre nella maggior parte delle tartufaie naturali la raccolta è libera e non controllata, a differenza delle tartufaie sperimentali scelte in questo progetto, perciò è difficile disporre dei reali dati produttivi.

L'applicazione della "real-time" PCR può essere un utile strumento anche per valutare la potenzialità produttiva di tartufaie coltivate prima della loro entrata in produzione o di quelle ormai esaurite che hanno subito interventi di miglioramento. In questi casi è possibile fare valutazioni immediate sulla loro gestione senza aspettare che inizino o tornino a produrre tartufi. Eventualmente può essere valutato anche l'andamento produttivo stagionale analizzando qualche campione di suolo prelevato verso fine estate-inizio autunno prima che inizi la stagione di raccolta.

Relativamente alle lavorazioni del suolo abbiamo evidenziato un effetto benefico sullo sviluppo di *T. magnatum*. Infatti le lavorazioni hanno aumentato in generale la presenza di micelio di *T. magnatum* nel suolo che è risultata maggiormente presente nelle parcelle lavorate. Tale effetto non è stato evidente a livello di produzione dei corpi fruttiferi la quale è stata scarsa ed influenzata da andamenti climatici sfavorevoli. Le lavorazioni probabilmente hanno favorito lo sviluppo del micelio nel suolo per l'effetto della diminuzione della sua densità apparente. E' noto infatti che il tartufo predilige suoli soffici ed areati per il suo sviluppo.

Anche gli interventi di diradamento della vegetazione hanno favorito, in particolare nella tartufaia di Feudozzo, sia lo sviluppo del micelio nel suolo che la raccolta dei corpi fruttiferi. L'effetto positivo degli interventi di diradamento della vegetazione sulla crescita e densità miceliare è stato evidente non solo nelle parcelle diradate ma anche in quelle attigue testimone. Questo fenomeno si può cercare di spiegare sulla base delle nuove conoscenze acquisite sulla biologia di questo fungo. Come è noto le ife fungine sono fra loro collegate da ponti ifali che rendono il micelio interconnesso fra le sue parti formando così un unico individuo. Pertanto gli effetti benefici esercitati dal diradamento hanno avuto effetto positivo in tutta la tartufaia dove il micelio di *T. magnatum* è risultato presente ovunque, anche nelle parcelle non produttive.

Il monitoraggio dell'umidità e temperatura del suolo ha consentito di colmare un vuoto di conoscenze sulle esigenze pedoclimatiche del tartufo per lo sviluppo del micelio e per la produzione di carpori. Sono state conseguite infatti significative indicazioni sull'importanza dell'umidità del suolo nel periodo estivo; come si è verificato spesso durante la durata del progetto, bassi tenori di umidità del suolo non consentono la produzione. Anche l'esame delle caratteristiche stazionali delle tartufaie di Feudozzo e Collemeluccio suggeriscono l'importanza dell'umidità del suolo nella produzione di tartufi che è localizzata nei punti dove è presente acqua di scorrimento.

La prolungata e ininterrotta fase di secchezza dei suoli nel periodo estivo, che in particolare si verifica in ambienti di pianura e basso collinari, sono caratteristiche intrinseche del clima delle aree di produzione del tartufo. Tuttavia gli attuali cambiamenti climatici che portano ad un aumento generale delle temperature, soprattutto di quelle estive, e a una minore piovosità [32, 33] suggeriscono la necessità di intervenire ai fini di salvaguardare il micelio e la produzione di tartufo. Tuttavia saranno necessarie ulteriori sperimentazioni per verificare le modalità di esecuzione di eventuali interventi irrigui nelle tartufaie naturali.

Questa indagine, che è stata condotta in maniera coordinata e continuativa per un lasso di tempo adeguato e secondo criteri scientifici rigorosi, ha permesso di raccogliere informazioni importanti per stabilire alcuni criteri di gestione delle tartufaie naturali di *T. magnatum* al fine di tutelare ed incrementare la produzione di tartufi. Pertanto, siamo grati, come ricercatori appassionati di questo argomento, alle Amministrazioni Regionali che hanno creduto nel progetto, ma siamo altresì consapevoli, appunto perché persone di scienza, di non aver raggiunto informazioni definitive ma di aver soltanto stabilito un saldo gradino di conoscenze dal quale ripartire per future esperienze e verifiche sperimentali.



## Bibliografia

- [1] Zambonelli A, Iotti M. 2005. *Appennino Modenese. Terre da Tartufo*. Giorgio Mondadori, Milano.
- [2] Hall I, Brown G, Zambonelli A. 2007. *Taming the Truffle. The History, Lore, and Science of the Ultimate Mushroom*. Timber Press, Portland.
- [3] Zambonelli A, Iotti M. 2010. *Nella pianura bolognese si può coltivare tartufo nero*. Agricoltura 38: 70-71.
- [4] Pargney JC, Chevalier G, Dessolas H, Vignon JY, Dessolas B. 2011. *Osez cultiver la truffe autrement!* Miseenpages, Périgueux.
- [5] Gregori G. 2002. *Problems and expectations with the cultivation of Tuber magnatum*. In: Hall IR, Wang Y, Danell E, Zambonelli A. (eds), *Edible Mycorrhizal Mushrooms and Their Cultivation. Proceedings of the Second International Conference on Edible Mycorrhizal Mushrooms, Christchurch, New Zealand, 3-5 July 2001*. New Zealand Institute for Crop and Food Research Limited, Christchurch, CD-ROM.
- [6] Stocchi V. (coordinatore) 1999. *Metodi molecolari per l'identificazione delle diverse specie di tartufo*. Urbino University Press, Urbino.
- [7] AA.VV. 1995. *Ecologia delle tartufoie di tartufo bianco in Toscana*. ARSIA – Regione Toscana, Firenze.
- [8] Bragato G, Gardin L, Lulli L, Raglione M. 2006. *Tartufi eduli*. In: Costantini E.A.C. (coordinatore), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*. Cantagalli, Siena.
- [9] Bragato G, Lulli L, Panini T, Gardin L, Primavera F. 1992. *I suoli delle tartufoie naturali della zona di San Miniato (Pisa)*. Monti e Boschi 43(2): 17-24.
- [10] Bragato G, Panini T, Pagliai M. 1992. *Soil porosity and structural conditions in soils involved in white truffle production in the "Crete Senesi" area (Tuscany)*. Agricoltura Mediterranea 122: 180-188.
- [11] Lulli L, Panini T, Bragato G, Gardin L, Primavera F. 1991. *I suoli delle tartufoie naturali delle Crete Senesi*. Monti e Boschi 42(5): 31-39.
- [12] Panini T, Bragato G, Gardin L, Lulli L, Primavera F. 1991. *Suoli e siti tartufigeni di un versante tipico della zona di San Miniato, Toscana*. L'Italia Forestale e Montana 46(5): 373-393.
- [13] Chiuchiarelli I, Santucci S, Paolanti M. 2010. *I suoli delle tartufoie naturali in Abruzzo*. In: Donnini D. (ed), *Atti del 3° Congresso Internazionale di Spoleto sul Tartufo*, Spoleto 26-28 Novembre 2008. Comunità Montana dei Monti Martani Serano e Subasio, pp. 242-246.
- [14] Chiuchiarelli I, Santucci S, Paolanti M. 2009. *Cartografia e rilevamento pedologico. I suoli delle tartufoie naturali di Tuber magnatum e Tuber melanosporum in Abruzzo e la carta delle potenzialità tartufigole*. In: De Laurentis G, Spinelli D. (eds), *La carta della vocazionalità tartufigola della regione Abruzzo, risultati dell'indagine conclusiva*. Regione Abruzzo - ARSSA Abruzzo, pp. 27-38.
- [15] Rinaldi AC, Comadini O, Kuyper TW. 2008. *Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff*. Fungal Diversity 33: 1-45.
- [16] Brundrett MC. 2009. *Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis*. Plant and Soil 320: 37-77.

- [17] Rayner ADM. 1998. *Fountains of the forest—The interconnectedness between trees and fungi*. Mycological Research 102: 1441-1449.
- [18] Iotti M, Zambonelli A. 2006. *A quick and precise technique for identifying ectomycorrhizas by PCR*. Mycological Research 110: 60-65.
- [19] Murat C, Vizzini A, Bonfante P, Mello A. 2005. *Morphological and molecular typing of the below-ground fungal community in a natural Tuber magnatum truffle-ground*. FEMS Microbiology Letters 245: 307-313.
- [20] Belfiori B, Riccioni C, Tempesta S, Pasqualetti M, Paolocci F, Rubini A. 2012. *Comparison of ectomycorrhizal communities in natural and cultivated Tuber melanosporum truffle grounds*. FEMS Microbiology Ecology 81: 547–561.
- [21] Zambonelli A, Iotti M, Zinoni F, Dallavalle E, Hall R. 2005. *Effect of mulching on Tuber uncinatum ectomycorrhizas in an experimental truffière*. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 33: 65-73.
- [22] Iotti M, Lancellotti E, Hall I, Zambonelli A. 2010. *The ectomycorrhizal community in natural Tuber borchii grounds*. FEMS Microbiology Ecology 72: 250-260.
- [23] Suz LM, Martin MP, Oliach D, Fischer CR, Colinas C. 2008. *Mycelial abundance and other factors related to truffle productivity in Tuber melanosporum-Quercus ilex orchards*. FEMS Microbiology Letters 285: 72-78.
- [24] Parladé J, Hortal S, Pera J, Galipienso L. 2007. *Quantitative detection of Lactarius deliciosus extraradical soil mycelium by real-time PCR and its application in the study of fungal persistence and interspecific competition*. Journal of Biotechnology 128: 14–23.
- [25] de la Varga H, Águeda B, Martínez-Peña F, Parladé J, Pera J. 2011. *Quantification of extraradical soil mycelium and ectomycorrhizas of Boletus edulis in a Scots pine forest with variable sporocarp productivity*. Mycorrhiza 22: 59-68.
- [26] Iotti M, Leonardi M, Oddis M, Salerni E, Baraldi E, Zambonelli A. 2012. *Development and validation of a real-time PCR assay for detection and quantification of Tuber magnatum in soil*. BMC Microbiology 12: 93.
- [27] Zampieri E, Murat C, Cagnasso M, Bonfante P, Mello A. 2010. *Soil analysis reveals the presence of an extended mycelial network in a Tuber magnatum truffle-ground*. FEMS Microbiology Letters 71: 43-49.
- [28] Salerni E, Perini C. 2004. *Experimental study for increasing productivity of Boletus edulis s.l. in Italy*. Forest Ecology and Management 201: 161-170.
- [29] Granetti B, De Angelis A, Materozzi G. 2005. *Umbria terra di tartufi*. Regione Umbria, Terni.
- [30] Chevalier G, Pollacsek A. 1972. *Obtention de culture de mycelium de truffe a partir du carpofore et des mycorrhizes*. Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France 53: 981-989.
- [31] Vereecken H, Maes J, Feyen J, Darius P. 1989. *Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content*. Soil Science 148: 389-403.
- [32] Räisänen J, Hansson U, Ullerstig A, Döscher R, Graham LP, Jones C, Meier HEM, Samuelsson P, Willén U. 2004. *European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios*. Climate Dynamics 22: 13–31.
- [33] Marletto V. (2010) *Atlante idroclimatico dell'Emilia Romagna*. Regione Emilia-Romagna, Arpa Servizio Idro-Meteo-Clima.