



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA
Scienze e Biotecnologie dei Sistemi Agrari
e Forestali e delle Produzioni Alimentari



Indirizzo:

Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo

Ciclo XXV

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna
della quercia da sughero in Sardegna

dott. Achille Loi

<i>Direttore della Scuola</i>	Chiar.ma Prof. Alba Pusino
<i>Referente di Indirizzo</i>	Prof. Ignazio Floris
<i>Docente Guida</i>	Chiar.mo Prof. Pietro Luciano

Anno Accademico 2012-2013

Alla mia famiglia

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
2. LA MIRMECOFAUNA E L'AFIDOFAUNA DELLE SUGHERETE	10
3. PRECEDENTI NOTIZIE SULLA MIRMECOFAUNA E L'AFIDOFAUNA DELLE SUGHERETE IN SARDEGNA	20
4. PARTE SPERIMENTALE	22
4.1. Obiettivi di ricerca	22
4.2. Rilievi sulla mirmecofauna in ambiente sughericolo e osservazioni sulle associazioni tra formiche e afidi viventi sulla sughera	23
4.2.1. MATERIALI E METODI.....	23
4.2.1.1. <i>Descrizione delle località d'indagine</i>	23
4.2.1.2. <i>Inventario della mirmecofauna</i>	24
4.2.1.3. <i>Osservazioni sulle associazioni di formiche e afidi viventi sulla sughera</i> ...	26
4.2.2. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	28
4.2.2.1. <i>Inventario della mirmecofauna</i>	28
4.2.2.2. <i>Osservazioni sulle associazioni di formiche e afidi viventi sulla sughera</i>	33
4.3. Studio della trofobiosi obbligata tra <i>Lasius brunneus</i> e <i>Stomaphis quercus</i>	43
4.3.1. MATERIALI E METODI.....	43
4.3.1.1. <i>Osservazioni sul ciclo annuale di <i>L. brunneus</i> e <i>S. quercus</i> e loro dannosità</i>	43
4.3.1.2. <i>Distribuzione nello spazio delle sughere infestate da <i>L. brunneus</i></i>	44
4.3.1.3. <i>Diffusione di <i>L. brunneus</i> e <i>S. quercus</i> nei principali distretti sughericoli della Sardegna</i>	45
4.3.1.4. <i>Indagine sulla struttura sociale di <i>L. brunneus</i></i>	46
4.3.2. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	46
4.3.2.1. <i>Osservazioni sul ciclo annuale di <i>L. brunneus</i> e <i>S. quercus</i> e caratteristiche dell'infestazione</i>	46
4.3.2.2. <i>Distribuzione nello spazio delle sughere infestate da <i>L. brunneus</i></i>	57
4.3.2.3. <i>Presenza di <i>L. brunneus</i> e <i>S. quercus</i> in 40 località sughericole della Sardegna</i>	58
4.3.2.4. <i>Indagine sulla struttura sociale di <i>L. brunneus</i></i>	65
5. CONCLUSIONI	68
6. BIBLIOGRAFIA	72

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna

1. INTRODUZIONE

Nella maggior parte degli ambienti terrestri le formiche (Hymenoptera, Formicidae) rappresentano una parte sostanziale della biomassa animale (Hölldobler e Wilson, 1990; Schultz, 2000) e influiscono in modo decisivo sui cicli della vegetazione e del suolo, che certamente risulterebbero profondamente alterati da una loro improvvisa scomparsa (Bernard, 1968).

Ad esempio nelle foreste boreali la semplice presenza dei loro nidi terricoli influenza la fertilità dello strato attivo del suolo, aumentando la disponibilità di macronutrienti, soprattutto fosforo e azoto, indispensabili per l'accrescimento vegetale (Domisch *et al.*, 2009). Grazie all'abbondanza e alla diversità delle loro popolazioni, questi imenotteri dal comportamento eusociale rientrano in tutte le reti trofiche (Trager, 1998), tanto che in un ambiente possono essere sia i principali predatori e saprofagi di altri Esapodi e di piccoli invertebrati (Pavan, 1981; Urbaneja *et al.*, 2006) sia i più importanti agenti animali coinvolti nella dispersione dei semi (Gorb e Gorb, 1999).

La loro biodiversità è particolarmente elevata specialmente ai tropici (Wheeler, 1960; Hölldobler e Wilson, 1990) dove in 1.500 ha di foresta pluviale (Costa Rica) sono state collezionate le operaie di 437 specie differenti (Longino *et al.*, 2002), un po' meno delle 637 presenti in tutta Europa («www.faunaeur.org» aggiornato al giugno 2012) e circa 6 volte di più rispetto alla mirmecofauna nota per la Sardegna (Verdinelli *et al.*, 2007) o per la Gran Bretagna e l'Irlanda considerate insieme («www.bwars.com» aggiornato al gennaio 2012). Il numero di specie presenti e quello di nicchie ecologiche da esse occupato in un dato habitat sono influenzati dal livello di competizione interspecifica fra formicidi (Andersen 1990, 1997; Cerdá *et al.*, 1997) e fattori ecologici quali il tipo di vegetazione e di suolo, che principalmente influiscono sulle possibilità di nidificare e di nutrirsi, oltre a definire le condizioni microclimatiche dell'habitat (Bestelmeyer e Wiens 1996, 2001).

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

Grazie ai processi di rinaturalizzazione dovuti all'abbandono dell'agricoltura, in alcuni ambienti rurali a clima mediterraneo la biodiversità di formicidi aumenta lungo la successione da pascolo a foresta secondaria (Azcarate e Peco, 2011), mentre, al contrario, all'aumentare della copertura vegetale, si assiste ad una progressiva riduzione del numero di specie, determinata dalla maggiore competitività di quelle caratterizzate da una minore tolleranza alle alte temperature e da un comportamento dominante (Cerdá *et al.* 1997, 1998). A conferma di ciò, un po' a tutte le latitudini del continente europeo, si osserva una maggiore diversità di formicidi negli habitat più aperti e soleggiati, come le distese erbacee permanenti e certi arbusteti, rispetto a quella riscontrata nei boschi puri di leccio e nelle terre arate (Kumschick *et al.*, 2009; Castracani *et al.*, 2010). Anche nei boschi di querce mediterranee sempreverdi a portamento più aperto della chioma o a foglie più rade, come rispettivamente le sugherete e le formazioni a *Quercus ilex* Linnaeus subsp. *rotundifolia*, si è osservata una biodiversità superiore ad altre formazioni forestali, come le pinete e gli eucalipteti nonché a quella delle terre sottoposte a lavorazioni agricole (Cammel *et al.*, 1996). Queste osservazioni esplicitano la corrispondenza tra varietà e abbondanza di formiche e la complessità della componente vegetazionale (Bestelmeyer e Wiens, 1996), che incide in modo determinante sull'impatto dei fattori limitanti "competizione" e "clima" nei confronti della mirmecofauna. Infine, appare significativa la generale "sensibilità" di questi Esapodi alla semplificazione dell'ecosistema causata dalle attività agricole; infatti nei pascoli e nelle monocolture dove si ha una riduzione della biodiversità si è osservata una modificazione della composizione della mirmecofauna a vantaggio delle specie dominanti, opportuniste o invasive (Peck *et al.*, 1998; Castracani e Mori, 2006), così come verificabile nelle aree urbane (Antonova e Penev, 2006).

Riguardo ai danni provocati dai formicidi va innanzitutto evidenziato che soltanto raramente si nutrono direttamente dei tessuti delle piante (Vörös e

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna

Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",

Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",

Università degli Studi di Sassari

Gallé, 2002), mentre di questi possono servirsi in quantità, ad esempio per nidificare al loro interno o per allevare su di essi i funghi di cui si nutrono (Suiter e Bennet, 1999; Suiter, 2003; Hölldobler e Wilson, 1990). Ovunque solo le specie granivore sono ritenute potenzialmente responsabili di gravi danni per l'asportazione di ingenti quantità di sementi (Brown *et al.*, 1979). Fra esse, nella parte occidentale dell'area mediterranea (Carpintero *et al.*, 2007), si considera pericolosa la “mietitrice” *Messor barbarus* Forel (Formicidae, Formicinae), le cui operaie tra l'altro hanno un comportamento particolarmente attento durante il trasporto a più tappe dei semi bottinati verso i popolosi nidi terricoli, infatti ne disperdono involontariamente soltanto una modestissima frazione, pari ad appena allo 0,1% di quella complessivamente prelevata dalla vegetazione circostante (Detrain e Tasse, 2000).

Le formiche assumono particolare interesse in ambito agrario, non solo perché a volte direttamente dannose alle produzioni o perché, al contrario, utili in quanto possibili predatori d'insetti dannosi (Pavan, 1981; Way e Khoo, 1992), ma soprattutto per il danno indiretto procurato alle coltivazioni, a causa delle cure prestate ai fitomizi produttori di melata, come ad esempio gli afidi (Hemiptera Aphidoidea) (James *et al.*, 1999). Questi Omotteri Sternorrinchi, al contrario dei formicidi, sono scarsamente rappresentati ai tropici e divengono progressivamente più abbondanti secondo un gradiente sud-nord (Stadler e Dixon, 2005) e raggiungono la più alta abbondanza nella fascia temperata (Dixon *et al.*, 1987). Negli ambienti delle regioni temperato-fredde dell'Europa occidentale e settentrionale si assiste infatti alla frequente “dominanza” dei generi *Lasius* e *Myrmica*, i cui rappresentanti sono dei formicidi noti allevatori di Aphidoidea (Bernard, 1968). In ogni caso, soltanto una frazione minoritaria delle specie afidiche risulta in diversa misura mirmecofila, attraverso un ampio spettro di interazioni che vanno dal semplice rapporto preda-predatore alla ben più complessa e rara simbiosi mutualistica (Stadler e Dixon, 2005). Di tali afidi

le formiche possono controllare l'abbondanza e la distribuzione nello spazio delle popolazioni, per avere una costante risorsa di alimento indispensabile alle loro società poliannuali (Hopkins e Thacker, 1999).

Il consumo della melata di afidi è comune anche tra le formiche viventi in certi ambienti boschivi, dove in genere sono considerate come i principali predatori di altri Esapodi; *Formica aquilonia* Yarrow (Formicidae Formicinae), specie dominante e predatrice in diverse foreste euro-asiatiche, come le congeneri componenti del gruppo *rufa*, presenta una dieta costituita per il 78-92% da questa escrezione zuccherina (Domisch *et al.*, 2009).

Tra le oltre 15.000 specie di formicidi conosciute nel mondo (Bolton *et al.*, 2007), risultano esclusivamente zoofaghe soltanto quelle delle 2 sottofamiglie più primitive, Ponerinae e Dorylinae (Wheeler, 1960). A prelevare direttamente la melata dagli Aphidoidea sono invece le operaie di Formicinae e Dolichoderinae, a cui appartengono rispettivamente le formiche più evolute dell'Ordine e le più dannose alle attività umane (Bernard, 1968). A queste si aggiungono i generi *Myrmica*, *Tetramorium*, *Monomorium* e *Crematogaster* delle Myrmicinae, la sottofamiglia più ricca di specie (Nixon, 1951; Bernard, 1968; Kunkel *et al.*, 1985; Soria *et al.*, 1994a; Stadler e Dixon, 2005). In qualche altra mirmicina (*Leptothorax* sp.) la melata viene semplicemente lambita dalle superfici da essa imbrattate, senza dunque la diretta frequentazione delle colonie afidiche in attività (Wheeler, 1960).

Le formiche, in cambio del prelievo diretto di questa importante fonte glucidica possono provvedere a: rimuovere eventuali cadaveri ed esuvie dei fitomizi (Buckley, 1987); difenderli dai loro nemici naturali (Way, 1954; Banks, 1962); veicolarli attivamente ai siti di alimentazione (Way, 1954; Goidanich, 1957); costruire dei ricoveri (*shelter*) per proteggerli (Nixon, 1951); ospitare all'interno del loro nido le uova svernanti e tutti gli altri stadi di sviluppo dei loro trofobionti (Matsuura e Yashiro, 2006).

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

Infine si ricorda la pressione di predazione esercitata dalle formiche sugli stessi afidi assistiti, che modula le dimensioni della popolazione afidica nel corso del ciclo annuale in funzione della domanda/offerta di melata e dei fabbisogni proteici richiesti dalla società, particolarmente elevati nelle fasi di sviluppo della covata e per la produzione dei maschi (Sakata, 1995; Offenberg, 2001, Domisch *et al.* 2009).

Generalmente in ambito forestale, come anche in quello agrario, le formiche considerate nocive sono appunto quelle che curano, allevano e difendono dai loro nemici naturali gli afidi e le cocciniglie dannosi alle piante, oppure quelle che danneggiano direttamente, anche se molto di rado, i tessuti sani degli alberi (Cecconi, 1925).

Nella quercia da sughero (*Quercus suber* Linnaeus), Fagacea sempreverde diffusa nella parte occidentale del bacino del Mediterraneo e in quella atlantica della Penisola Iberica, possono risultare di particolare interesse i formicidi in grado di nidificare sotto la corteccia suberosa, visto il potenziale impatto dannoso alla produzione di sughero gentile (Casevitz-Werleoursse, 1973; Espalader *et al.*, 2006a e b). Le specie ritenute più importanti sotto tale aspetto sono *Crematogaster scutellaris* Olivier (Formicidae, Myrmicinae) e *Lasius brunneus* Latreille (Formicidae Formicinae), anch'esse variamente dipendenti dalla melata prodotta dagli afidi arboricoli (Soria *et al.*, 1994a; Espalader *et al.*, 2006b), in diversa misura oggetto di osservazioni nel presente lavoro.

2. LA MIRMECOFAUNA E L'AFIDOFAUNA DELLE SUGHERETE

Le formazioni a sughera sono un esempio di habitat a diverso livello di naturalità e d'intervento antropico, dove una serie di fattori abiotici e biotici possono determinare un progressivo deperimento del soprassuolo (Franceschini *et al.*, 2006; Kabrick *et al.*, 2008).

In Italia, le tipologie proposte dall'ultimo Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC, 2005) sono essenzialmente quella di «sughereta mediterranea» e quella di «pascolo arborato a sughera»: la prima è frequentemente caratterizzata da un rilevante grado di biodiversità, dove a questa Fagacea sempreverde possono associarsi gli elementi tipici della flora mediterranea, in particolare le componenti più acidofile come *Cistus* spp.; la seconda è invece un sistema semi-culturale complesso, dove la componente arborea convive con l'allevamento zootecnico e viene sfruttata quasi esclusivamente per l'estrazione del sughero. In quest'ultimo caso gli arbusti del sottobosco possono essere del tutto assenti, lasciando il posto alle essenze pabulari e ai rovi.

Anche in sughereta, come per altri ambienti boschivi, la mirmecofauna presente dipende dalla struttura della vegetazione, quindi tale componente faunistica può riflettere la tipologia forestale a un dato momento della successione ecologica nonché evidenziare gli effetti di un fattore perturbante l'equilibrio dell'ecosistema (Suñer e Pons, 1990; Gómez *et al.*, 2003). Precedenti studi hanno tenuto conto di questa correlazione nella valutazione del processo di ricolonizzazione di soprassuoli a sughera percorsi da incendio (Sommer, 1984) e di quelli sottoposti a pascolamento (Masson, 1989). L'inventario della mirmecofauna può inoltre essere funzionale alla verifica degli effetti dell'introduzione di specie invasive. In Spagna l'ingresso di *Linepithema humile* Mayr (Formicinae Dolichoderinae), ha ridotto la biodiversità originaria, non solo quella rappresentata dai Formicidae ma anche quella di altri *taxa* (Cammell *et al.*, 1996; Carpintero *et al.*, 2005; Estany-Tigerström *et al.*, 2010), data la sua superiore capacità nel

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

monopolizzare le risorse offerte da un nuovo ambiente (come i fitomizi produttori di melata). Nelle sugherete la sua introduzione ha conseguenze evidenti anche sull'architettura della componente vegetale, incide infatti negativamente sulla dispersione dei semi mirmecocori propri di molte essenze del sottobosco, attuata in precedenza dalla popolazione nativa (Gómez e Oliveras, 2003).

Un'altra formica in grado d'influenzare le condizioni ecosistemiche delle sugherete è la specie arboricola e afidicola *C. scutellaris* (Casevitz-Werleurse, 1981; Suñer e Abós, 1992; Soria *et al.*, 1994a), più sopra ricordata come agente di danno diretto al sughero gentile. Questa specie è tra le formiche più competitive e aggressive viventi nel bacino del Mediterraneo e trova condizioni ottimali di vita negli arboreti da frutto, oliveti, boschi di *Pinus* spp. e in particolare nelle formazioni a *Q. suber* (Casevitz-Weulersse, 1972; Santini *et al.*, 2011). In questi ultimi ambienti è considerata una formica "nativa" e dal comportamento dominante sulle altre specie arboreicole (Espalader e Rojo, 2002; Carpintero *et al.*, 2005). Le percentuali di querce occupate dai suoi nidi, o soltanto dalle operaie in attività sul tronco, possono variare ampiamente dallo 0 ad oltre l'80%. La relazione tra l'abbondanza di questo Formicidae e le caratteristiche delle sughere ospiti è stata indagata con risultati diversamente significativi in relazione alle condizioni stazionali, quali la densità del soprassuolo e le dimensioni medie delle piante che lo costituiscono (Casevitz-Werleurse, 1973; Villagran e Ocete, 1990; Suñer e Abós, 1992). Questi studi hanno rilevato come *C. scutellaris* manifesti una certa termofilia, abitando preferenzialmente le parti più assolate del popolamento, oppure quelle con una minore densità di piante ospiti; in tutti i casi ha scelto le sughere con una corteccia sufficientemente spessa per consentire la fondazione delle sue popolose società, dimostrando anche una certa preferenza per i soprassuoli maggiormente degradati e a basso livello di naturalità. In assenza di specie esotiche, come la citata *L. humile*, che è in grado di estinguere

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna

Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",

Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",

Università degli Studi di Sassari

progressivamente anche le popolazioni di *C. scutellaris* di una sughereta (Gomez e Oliveras, 2003; Carpintero *et al.*, 2005; Estany-Tigerström *et al.*, 2010), le colonie polidomiche di *C. scutellaris* (Bernard, 1968; Santini *et al.*, 2011) possono influenzare l'abbondanza e le *performance* di diverse altre specie di formicidi eventualmente presenti sugli alberi o al suolo. Essa tuttavia può anche condividere lo *status* di specie dominante con altre formiche particolarmente adattate agli ambienti mediterranei, per esempio *Pheidole pallidula* Nylander (Formicidae Mirmycinae), tipica degli habitat più disturbati dall'attività antropica (Marlier *et al.*, 2002; Cerdá *et al.*, 2009).

In un qualsiasi ecosistema, le specie considerate dominanti sono tali perché formano le popolazioni più numerose e, in ragione di un comportamento più aggressivo e competitivo, escludono a vario livello altri formicidi dai siti di nidificazione o dalle risorse alimentari (Arnan *et al.*, 2012).

In ogni caso, le popolose società polidomiche di *C. scutellaris* tollerano la presenza di alcune specie subordinate, per esempio *Camponotus lateralis* Olivier e *C. truncatus* Nylander (Formicidae, Formicinae) (Carpintero *et al.*, 2005), le cui bottinatrici sfruttano le scie odorose prodotte da quelle di *Crematogaster* in processione da e per le fonti di cibo (Carpintero *et al.*, 2005; Menzel *et al.*, 2010), per esempio la melata di afidi (Foto 1). Si tratta probabilmente di una forma di mimetismo batesiano, testimoniato da diverse affinità anche morfologiche con *C. scutellaris*.

Tale strategia adattativa consente quindi alla specie subordinata di usufruire, come detto, delle stesse risorse alimentari di *C. scutellaris* e nel contempo, grazie all'aggressività delle operaie della mirmicina, di sfuggire meglio alla predazione dei mirmecofagi (Carpintero *et al.*, 2005; Menzel *et al.*, 2010).

Come di consueto tra i Formicidae, che hanno abitudini alimentari sostanzialmente onnivore (Wheeler, 1960), la dieta di *C. scutellaris* non comprende solo il prelievo di melata, ma anche il saprofitismo e la

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

predazione di altri Esapodi. Tuttavia nel ruolo di predatore di stadi di sviluppo di lepidotteri defogliatori forestali, che rappresentano la principale avversità entomologica dei boschi di querce (Luciano e Roversi, 2001), questo Formicidae non sembra svolgere un'azione di controllo particolarmente significativa, se non nelle prime età larvali di questi fitofagi (Casevitz-Weulersse, 1981). Inoltre, nel nutrirsi dei vari stadi di *Lymantria dispar* Linnaeus (Lepidoptera Lymantriidae), questa ed altre formiche osservate *su Q. suber* sembrano predare quasi esclusivamente le uova parassitizzate da *Ooencyrtus kuvanae* Howard (Hymenoptera Encyrtidae), pratica che per altro non intacca la struttura dell'ovatura del lepidottero (Villemant e Andreï-Ruiz, 1999).



Foto 1 - Operaie di *Crematogaster scutellaris* mentre assistono una colonia di Aphidoidea insieme a una bottinatrice di *Camponotus lateralis* (cerchiata di giallo) (Fonte Web).

In realtà, la ragione principale della sua importanza nei sistemi a sughera è data dalla sua potenziale dannosità diretta al sughero gentile (Casevitz-Werleoursse, 1973; Soria *et al.*, 1994b).

Infatti, *C. scutellaris* è in genere molto abbondante in tutto l'areale di coltivazione della sughera e in condizioni per essa ottimali mostra la

tendenza ad occupare tutte le querce disponibili (Casevitz-Werleoursse, 1973; Suñer e Abós, 1992) nidificando sotto le cortecce. Le numerose gallerie e cavità riguardano più di frequente le sole parti mai demaschiate (Casevitz-Werleoursse, 1972; Villagran e Ocete, 1990), ma l'attività di escavazione può interessare parzialmente o totalmente la scorza gentile, così da ridurre il valore commerciale delle plance estratte (Casevitz-Werleoursse, 1973; Espalader e Nieves, 1983; Soria *et al.*, 1994b). Villagran e Ocete (1990) hanno stimato che la specie può giungere a determinare un deprezzamento del sughero gentile fino al 25%.

In tempi più recenti nelle formazioni a *Q. suber* della Catalogna (Spagna) si è rilevata la presenza di *Lasius brunneus* Latreille (Formicidae, Formicinae) (Foto 2), altra specie arboricola e allevatrice di afidi (Wilson, 1955), che si è rivelata a pieno titolo un "nuovo" agente di danno diretto al sughero gentile (Espalader e Rojo, 2002; Espalader e Bernal, 2008).

Si tratta di una formica xilolitica e corticicola a distribuzione eminentemente eurocaucasica, che in Europa sembra essere presente un po' ovunque dove vi siano delle latifoglie (Seifert, 2007). Una maggiore abbondanza di sue colonie è stata infatti osservata nei boschi misti di *Quercus*, *Carpinus*, *Tilia* e *Acer* (Harz, Germania) dove si sono conteggiati dai 10 ai 23 nidi/100 m² (Seifert 1992, 2007). Una minore densità per unità di superficie è stata invece verificata nelle foreste di conifere o in quelle miste di conifere e latifoglie (fino a 2 nidi/100 m²) (Seifert, 1992).

Oltre che sugli alberi, questo Lasiino può nidificare sotto le pietre a parecchi metri di distanza dall'albero più vicino, e nel legno in opera delle abitazioni (Wilson, 1955; Seifert, 2007).

Le sue società, ipotizzate monoginiche per alcuni tratti fondamentali, come il volo nuziale della casta fertile e l'aggressività territoriale tra operaie di nidi diversi (Seifert, 1992; Cremer *et al.*, 2008), sono molto popolose ed in realtà spesso polidomiche a maturità (Seifert, 2007). Dunque, le loro colonie sono costituite da diversi nidi arboricoli interconnessi, un tratto tipico delle

formiche poliginiche, dove vi è libera commistione di individui (operaie, regine) provenienti da nidi diversi (Cremer *et al.*, 2008), caratteristica delle specie invasive come la congenere del gruppo *brunneus Lasius neglectus* Van Loon, Boomsma e Andrasfalvy (Formicidae Formicinae), capace di formare supercolonie terricole di diversi km².



Foto 2 - Operaie di *L. brunneus* sul tronco di una sughera appena decorticata, di cui una (a destra) con il gastro rigonfio di melata (Alà dei Sardi, luglio 2010).

L. brunneus manifesta un'indole fugace e un comportamento criptico, tanto che all'apertura dei nidi le operaie guadagnano velocemente ogni riparo disponibile, evitando la fuga sulle superfici libere (Seifert, 1992); questi tratti del comportamento ne fanno probabilmente sottostimare la presenza nel territorio e la consistenza delle popolazioni (Wilson, 1955).

Per quanto riguarda le esigenze climatiche, Bernard (1968) inserisce *L. brunneus* tra i Formicidae igrofilo delle regioni "basse" e "umide" dell'Europa occidentale e settentrionale (Bretagna, Paesi Baschi) insieme ad altri congeneri come *Lasius fuliginosus* Latreille (Formicidae, Formicinae), altra specie europea dendrofila e allevatrice di afidi. Vista la sua origine biogeografica centroeuropea, *L. brunneus* trova negli ecosistemi

Achille LOI
Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

mediterranei fattori abiotici particolarmente limitanti la sua attività, come la bassa umidità relativa e le alte temperature dei mesi primaverili-estivi, e per questo sembra preferire le sugherete più fresche e umide dove la percentuale delle piante infestate può variare notevolmente dal 4 ad oltre il 90% (Espalder *et al.*, 2006a).

Oltre che sulle sughere, nell'area mediterranea (Spagna e Sardegna) è presente nei rovereti a circa 1000 m s.l.m. (García *et al.*, 2010), ma anche nei boschi puri di leccio (Rigato e Toni, 2011) e nei ripopolamenti a pino (Carpintero *et al.*, 2007).

Sulle altre specie del genere *Quercus* vegetanti nell'Europa centrale (Dolek *et al.*, 2009) e in Spagna (Carpintero *et al.*, 2005), *L. brunneus* si è dimostrata una componente della comunità autoctona di formiche strettamente arboricole ed è stata dunque ascritta tra le specie "native" che bottinano e nidificano sugli alberi. Nei querceti della Germania sembra preferire le formazioni caratterizzate da un alto livello di copertura del suolo da parte delle chiome (Dolek *et al.*, 2009) e a queste latitudini può diventare la specie più attiva sulla superficie del terreno (Jaffe *et al.* 2007).

Riguardo i processi di competizione interspecifica, *L. brunneus* è una formica dal comportamento dominante e territoriale, similmente alla ben più diffusa, aggressiva e competitiva *C. scutellaris*, senza però tollerare tra le sue bottinatrici delle specie subordinate (Carpintero *et al.*, 2005).

Essendo poi la sua dieta prevalentemente glicifaga (Wilson, 1955; Seifert, 2007), anche nella sughera *L. brunneus* instaura una stretta trofobiosi con afidi, in particolare con *Stomaphis quercus* Linnaeus (Aphidoidea Aphididae) (Foto 3), un grosso lacnino arboricolo che nel corso del ciclo annuale rappresenta la principale se non esclusiva fonte di melata per le popolose colonie di questo Formicidae (Espalader *et al.*, 2006b).

Gli afidi a distribuzione euroasiatica del genere *Stomaphis* Walker sono caratterizzati da un rostro molto più lungo del corpo, che consente loro la suzione della linfa elaborata dal floema delle radici e dei tronchi in diverse

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

specie arboree quali *Q. suber*, *Q. petrea* (Mattuschka) Lieblein, *Q. robur* Linnaeus, ma anche *Betula pendula* Roth e *Alnus glutinosa* (Linnaeus) Gaertn (Blackman e Eastop, 1994; Espalader *et al.*, 2006a), dove le loro colonie sono invariabilmente assistite da formiche dei generi *Lasius* e *Formica* (Blackman e Eastop, 1994; Lorenz e Scheurer, 1998; Takada, 2008). Gli altri Aphidoidea segnalati sulla sughera sono riconducibili a circa una ventina di entità, appartenenti a 4 Famiglie (Phylloxeridae, Thelaxidae, Calaphidinae, Aphididae) (Blackman e Eastop, 1994). Sono tutti fitomizi dei quali almeno in Italia e Spagna quasi mai si è avuta notizia di intense pullulazioni, eccetto che per ambienti più antropizzati come i boschi degradati e i giardini urbani (Barbagallo e Binazzi, 1991; Melia *et al.*, 1993). Non sono comunque da escludersi loro responsabilità nella comparsa di modificazioni fisiologiche e nella trasmissione di patologie, soprattutto per quelle specie le cui popolazioni si riproducono per anni sugli stessi alberi e nelle medesime nicchie trofiche dislocate su di essi, come proprio nel caso di *S. quercus* (Goidanich, 1957).

Tra gli afidi di maggiore interesse forestale in Italia, e noti come viventi sulla sughera, si richiamano innanzitutto *Lachnus roboris* Linnaeus (Aphidoidea Aphididae) e *Phylloxera quercus* (Aphidoidea Phylloxeridae) (Martelli e Arru, 1957; Barbagallo e Binazzi, 1991; Blackman e Eastop, 1994). *L. roboris* è un mirmecofilo obbligato (Foto 4) a distribuzione europea e mediterranea che compie olocicli monoici sui giovani rami di *Quercus* spp., oltre che sul castagno dove le sue popolazioni possono essere particolarmente numerose (Blackman e Eastop, 1994).

Ph. quercus viene considerata una specie olociclica tra querce sempreverdi (ospiti primari) e querce caducifoglie (ospiti secondari), con possibilità di anolociclo sulle prime (Barbagallo, 1985; Blackman e Eastop, 1994). Le femmine mature di questa specie vivono sulle pagine inferiori delle foglie, dove producono i caratteristici ingiallimenti a macchie (Blackman e Eastop, 1994).

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

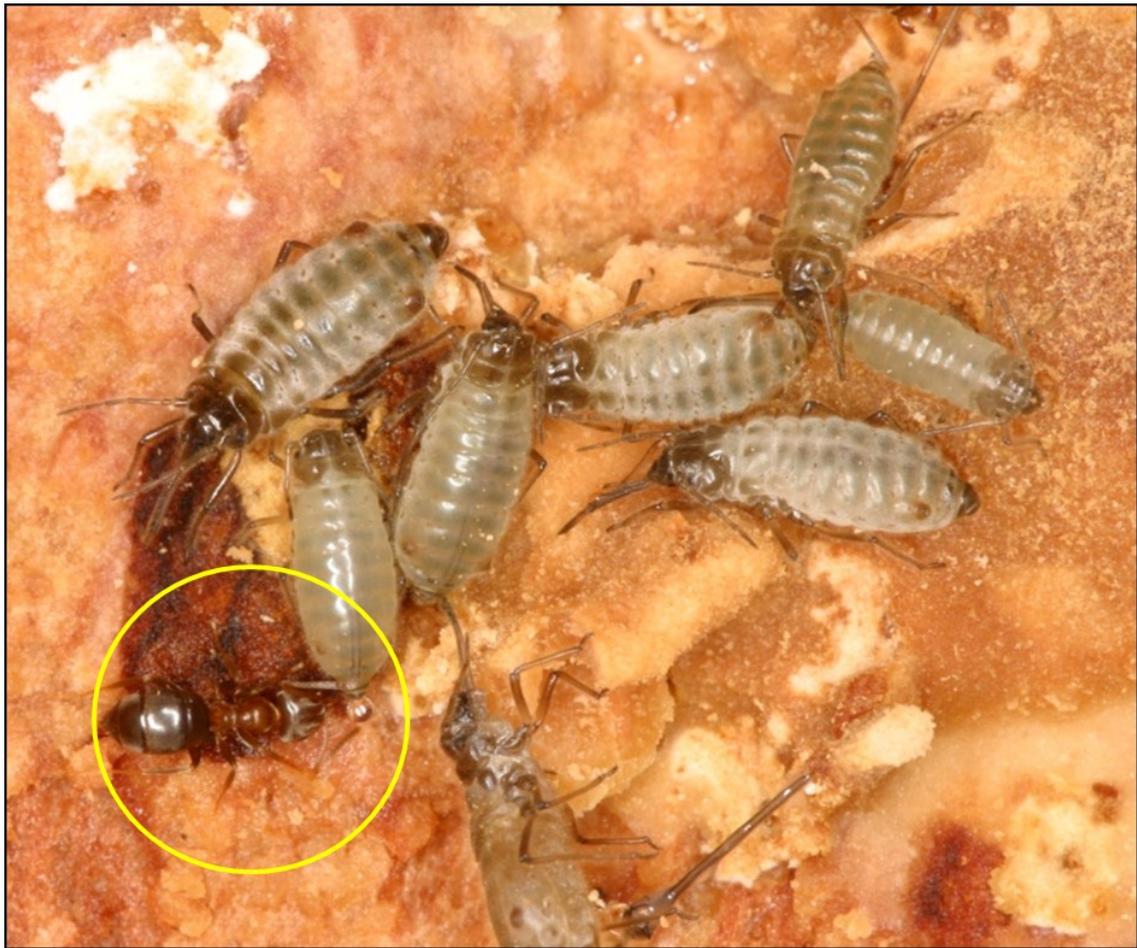


Foto 3 - Forme giovanili di femmine attere partenogenetiche di *Stomaphis quercus* su un tronco appena decorticato insieme a una bottinatrice di *Lasius brunneus* (cerchiata di giallo) (Alà dei Sardi luglio 2010).

Vi sono poi alcune specie di Calaphidinae, che solitamente si nutrono anch'esse nelle pagine inferiori delle foglie, ad esempio *Hoplocallis pictus* Pintera, *Myzocallis komareki* Pasek e *M. schreiberi* H.R.S. e Stroyan, caratterizzate normalmente da olocicli monoici, con una certa probabilità di svolgere anolocicli su particolari piante ospiti nonché in date condizioni ambientali (Barbagallo, 1985; Blackman e Eastop, 1994).

Rimane certamente da ricordare *Thelaxes suberi* Del Guercio (Aphidoidea Thelaxidae), afide particolarmente comune nelle aree meridionali del Mediterraneo, dove si rinviene su varie specie di querce sempreverdi o caducifoglie e sul castagno; anche quest'ultima specie compie un olociclo

monoico o un anolociclo a seconda del tipo di pianta ospite (Martelli e Arru, 1957; Barbagallo, 1985; Blackman e Eastop, 1994).



Foto 4 - Femmina attera partenogenetica di *Lachnus roboris* che, su un rametto di sughera, emette una goccia di melata a seguito della sollecitazione praticata da una bottinatrice di *Crematogaster scutellaris* (Alà dei Sardi, luglio 2010).

3. PRECEDENTI NOTIZIE SULLA MIRMECOFAUNA E L'AFIDOFAUNA DELLE SUGHERETE IN SARDEGNA

Fra i Paesi produttori di sughero, l'Italia conta 168.602 ha di sugherete delle quali la quasi totalità sono vegetanti in Sardegna, come riportato nell'Inventario Nazionale delle Foreste (INFC, 2005). Pur essendo una specie sclerofilla sempreverde, i migliori boschi di questa Fagacea sono presenti nelle zone più interne e piovose dell'Isola (Camarda e Valsecchi, 2008).

L'entomofauna di tali formazioni forestali è stata studiata in passato sia con indagini di tipo estensivo sulla sua composizione (Martelli e Arru, 1957; Prota, 1962, 1963, 1973; Barbagallo, 1985; Luciano e Roversi, 2001; Barbagallo e Ortu, 2009) sia con approfondimenti sulla dannosità e la dinamica di popolazione di alcune specie di lepidotteri defogliatori (Prota, 1970; Luciano *et al.*, 1982; Luciano e Prota 1983, 1986; Prota *et al.*, 1991), di coleotteri xilofagi (Cao e Luciano, 2005; Luciano *et al.*, 2008) e del formicide mirmicino *Crematogaster scutellaris* (Casevitz-Weulersse, 1972 e 1973).

Quest'ultimo è stato già oggetto di studi circa il suo comportamento nidificatorio e la sua abbondanza nelle sugherete dell'Isola, dove sembra essere presente ovunque dando alle cortecce delle querce infestate il tipico aspetto di "formicato" (Martelli e Arru, 1957; Casevitz-Werleoursse 1972, 1973; Casevitz-Werleoursse, 1981). Anche Cecconi (1925) ricorda la capacità di questa formica di arrecare danno alla produzione del sughero gentile nei popolamenti della Sardegna e la inserisce tra i più tipici e spesso indesiderati abitanti dei boschi italiani. A partire dal 2009, in alcune sugherete della parte nord orientale dell'Isola (Alà dei Sardi, OT), si sono effettuate delle osservazioni sulla mirmecofauna (Verdinelli *et al.*, 2012), che hanno evidenziato la presenza di 5 specie di formiche viventi in associazione con gli afidi sulle sughere, tra le quali *C. scutellaris* e *L. brunneus*, strettamente arboree e note componenti della mirmecofauna nativa delle formazioni a *Q. suber* nonché di sicuro interesse per l'ento-

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

mologia forestale, in quanto agenti di danno diretto alla produzione di sughero gentile.

Riguardo all'afidofauna reperibile sulle sughere della Sardegna e potenzialmente assistita da formiche arboricole, è nota la presenza, dei già citati, *L. roboris* e *T. suberi* oltre ad alcuni callafidini appartenenti ai generi *Hoplocallis* Pintera e *Myzocallis* Passerini, fra i quali rientrano i già ricordati *H. pictus* e *M. schreiberi* nonché il fillosserino *Ph. quercus*, che risulta tra i più frequenti e nocivi fitomizi dei boschi quercini dell'Isola (Martelli e Arru 1957; Barbagallo, 1985).

4. PARTE SPERIMENTALE

4.1. Obiettivi di ricerca

Come accennato in premessa, le notizie sulla mirmecofauna e l'afidofauna ad essa associata presente nelle sugherete sarde risultavano molto limitate, si è perciò intrapresa una ricerca su più livelli con diverse finalità:

- a) studiare la composizione della mirmecofauna e a tal fine sono state condotte osservazioni proprio nelle sugherete dove si è rilevata la presenza di *L. brunneus* (Foto 5);
- b) verificare i rapporti quantitativi e la dannosità dei formicidi nidificanti o meno sulle sughere e viventi in associazione con afidi su queste piante ospiti;
- c) approfondire le conoscenze sulla biologia di *L. brunneus* e indagare la relazione trofica con l'afide *S. quercus* nonché valutarne la dannosità a differente scala spaziale (pianta ospite, popolamento, distretto sughericolo);
- d) indagare la struttura sociale delle colonie di *L. brunneus* con test di aggressività.



Foto 5 – Veduta della sughereta di Pedrutocchis (Alà dei Sardi, OT), sede dei primi sopralluoghi che nel 2009 hanno permesso di verificare la presenza di *Lasius brunneus* in Sardegna.

4.2. Rilievi sulla mirmecofauna in ambiente sughericolo e osservazioni sulle associazioni tra formiche e afidi viventi sulla sughera

4.2.1. MATERIALI E METODI

4.2.1.1. Descrizione delle località d'indagine

I rilievi sono stati condotti in 4 località del comune di Alà dei Sardi (663 m s.l.m.; precipitazioni 944,4 mm/anno) distanti reciprocamente da 2 a 8 km (Foto 6). Tre di esse sono caratterizzate da sugherete disetanee condotte come pascoli arborati; nella quarta vegeta un soprassuolo all'inizio della fase di maturità. Di ogni località si riporta una breve descrizione, preceduta dalla denominazione, coordinate geografiche e altimetria di ciascuna:

1. Pedrutocchis (526376E 4496714N, 659 - 680 m s.l.m.), posta a circa 3 km a Sud-Ovest dell'abitato di Alà dei Sardi, è una sughereta disetanea di giacitura variabile perché vegetante lungo un declivio collinare che degrada progressivamente fino a un vasto compluvio, al fondo del quale scorre il ruscello S'Ena Boltutto. Il soprassuolo arboreo è caratterizzato da frequenti interruzioni, in cui sono presenti prati permanenti di essenze pabulari destinati al pascolo ovino.
2. Sa tanca e s'ena (526685E 4498021N, 648 m s.l.m.), si estende in un'area pianeggiante quasi 2 km a Nord- Est dalla località più in alto descritta e in essa scorre un modesto corso d'acqua, che determina ristagni idrici stagionali nel terreno ad esso circostante. La sughereta è anche in questo caso disetanea e la copertura boschiva è discontinua data la presenza di erbai autunno-vernini, destinati allo sfalcio oppure al pascolamento di capi bovini.
3. Madrone (532174E 4500533N, 510 m s.l.m.), ubicata a poco più di 6 km a Nord-Est della precedente località, presenta una copertura arborea generalmente continua e costituita in prevalenza da giovani sughere, sottoposte alla seconda decortica, e in minore quantità da piante di *Quercus ilex*. Nello strato arbustivo vegeta prevalentemente *Arbutus*

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

unedo Linnaeus. Essa è l'unica località in cui non viene mantenuto il bestiame al pascolo.

4. S'enatu e su mele (530499E 4498888N, 590 m s.l.m.), ricade in una valle posta a circa 2,5 km in direzione Sud-Ovest rispetto a Madrone. Si tratta di un ampio compluvio dove il soprassuolo è una sughereta disetanea, interrotta da ampie radure nelle quali vegetano prati naturali pascolati da bestiame bovino. Anche qui come a Sa tanca e s'ena il terreno è spesso caratterizzato da ristagni idrici, a causa della presenza diffusa di acqua superficiale.

L'estrazione del sughero nelle 4 sugherete considerate viene praticata scolarmente, in quanto le piante completano il turno di decortica in anni diversi, turno che in questo territorio ha una durata variabile tra i 12 e i 16 anni.

4.2.1.2. Inventario della mirmecofauna

Al fine di avere un quadro generale della mirmecofauna presente nelle sugherete considerate, si è ricorso alle trappole a caduta (*pit-fall*), che offrono una buona stima delle specie in attività sul terreno (Olson, 1991), e alla raccolta diretta degli esemplari, ritenuto il metodo più semplice e affidabile per confrontare le mirmecofauna di siti diversi (Romero e Jaffe, 1989).

In particolare, nella sughereta di Pedrutocchis, laddove nel 2009 si sono segnalate le prime sughere infestate da *L. brunneus*, si sono posizionate lungo un transetto 15 trappole a caduta distanti l'una dall'altra 10 m. Ciascuna era costituita da un contenitore cilindrico in polietilene con raggio di 10 cm e altezza di 20 cm, protetto da una copertura in legno per limitare l'ingresso di detriti vari e di altri *taxa* animali (in particolare i piccoli rettili come le lucertole).

Le trappole sono state riempite per circa 1/3 del loro volume da una soluzione a base di glicole etilenico, utilizzato a scopo conservativo e come

agente insetticida (Carpintero e Reyez-López, 2008). Due volte al mese si è provveduto a sostituire le trappole e a trasferirle in laboratorio per recuperare gli insetti in esse catturati (da fine maggio a fine luglio 2010). Inoltre, durante i mesi di giugno-luglio del 2010, questa volta in tutte le 4 sugherete di Alà dei Sardi descritte precedentemente, si è proceduto alla delimitazione di un'area campionaria di 100 m di raggio nella quale si è effettuata la raccolta diretta dei formicidi presenti, utilizzando a tale scopo pinze entomologiche e aspiratori. I formicidi sono stati ricercati durante le ore diurne, considerando tutti i possibili microhabitat idonei alla nidificazione sia nel terreno che sulle sughere.



Foto 6 – Localizzazione delle 4 sugherete del comune di Alà dei Sardi (OT) in cui si sono condotti larga parte dei rilievi sulla mirmecofauna e l'afidofauna viventi su sughera durante il triennio 2010-2012.

Nelle località Pedrutocchis, S'enatu e su mele e Sa tanca e s'ena, nella scelta dell'area di campionamento si è tenuto conto che in essa fosse presente

almeno una quercia infestata da *L. brunneus* tra quelle appena decorticate; soltanto nella sughereta di Madrone, poiché in essa non è stata osservata alcuna società di questo formicide, la scelta della superficie campionaria è stata casuale.

Tutti gli esemplari raccolti con entrambi i metodi, sono stati conservati in una soluzione al 70% di alcol etilico; per la loro determinazione a livello di specie si è proceduto al loro montaggio per le adeguate misure biometriche, particolarmente necessarie nel caso degli esemplari appartenenti ai *taxa* morfologicamente più omogenei (come le formiche del gruppo *Lasius* s. str.). Per la classificazione tassonomica si è tenuto conto di recenti pubblicazioni (Seifert 1992; Bolton *et al.* 2007).

4.2.1.3. Osservazioni sulle associazioni di formiche e afidi viventi sulla sughera

Tale indagine è stata condotta sia con finalità di tipo qualitativo che di tipo quantitativo. In particolare la prima finalità è stata perseguita: 1) osservando la presenza di associazioni tra formiche e afidi durante la raccolta diretta sulle sughere, 2) esaminando parte delle plance estratte subito dopo la decortica e 3) con l'osservazione da terra a Pedrutocchis dei rami più bassi (fino a 3 m) delle sughere vegetanti su 2 ha di superficie.

L'indagine di tipo quantitativo è stata invece eseguita nel luglio 2011 in tre parcelle di circa mezzo ettaro, nelle quali si è proceduto ad annotare per ogni sughera in esse vegetante la presenza di formicidi noti, dalle precedenti osservazioni di tipo qualitativo, per vivere in associazione con afidi.

In particolare, nella località Pedrutocchis si sono scelte due superfici rettangolari con lati di 60 x 80 m, distanti fra loro circa 300 m. Una terza parcella, di uguali dimensioni, è stata delimitata a circa 1.200 m dalle prime due, nella vicina località di Sa tanca e s'ena.

Su tutte le sughere vegetanti nelle 3 superfici (da 79 a 129 querce), insieme

Tab.1 – Elenco dei Formicidae collezionati con la raccolta diretta (1) e le trappole a caduta (2) nelle 4 sugherete di Alà dei Sardi. Per ogni località è indicata la presenza o meno di ciascuna entità e il numero totale di specie collezionate.

Specie	Pedrutocchis		Sa tanca e s'ena	S'enatu e su mele	Madrone
	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)
<i>Aphaenogaster spinosa</i> Emery	X	X	X		
<i>Aphaenogaster subterranea</i> Latreille	X	X		X	X
<i>Camponotus vagus</i> Scopoli	X	X			
<i>Camponotus truncatus</i> Spinola				X	X
<i>Camponotus fallax</i> Nylander	X				
<i>Camponotus gestroi</i> Emery	X			X	
<i>Camponotus lateralis</i> Olivier	X	X	X	X	X
<i>Camponotus piceus</i> Leach	X		X	X	X
<i>Camponotus aethiops</i> Latreille	X	X	X	X	X
<i>Crematogaster scutellaris</i> Olivier	X	X	X	X	X
<i>Formica cunicularia</i> Latreille	X		X	X	X
<i>Lasius brunneus</i> Latreille	X		X	X	
<i>Lasius lasioides</i> Emery	X	X	X	X	X
<i>Lasius niger</i> Linnaeus				X	X
<i>Lasius paralienus</i> Seifert	X		X	X	X
<i>Messor capitatus</i> Latreille		X			
<i>Messor structor</i> Latreille	X				
<i>Plagiolepis pygmaea</i> Latreille	X	X			X
<i>Plagiolepis xene</i> Stärcke	X				
<i>Solenopsis fugax</i> Latreille		X			
<i>Tapinoma simrothi</i> Krausse	X	X			
<i>Temnothorax krausseii</i> Emery	X	X			
<i>Temnothorax specularis</i> Emery		X			
<i>Temnothorax unifasciatus</i> Latreille	X		X		
<i>Tetramorium brevicorne</i> Bondroit		X			
	19	14	10	12	11
Totale numero di specie	25				

ai dati di frequenza delle singole specie, si è proceduto a rilevare il diametro a petto d'uomo delle sughere, fattore che può influenzare la coesistenza di formicidi diversi sulla stessa pianta ospite, soprattutto nel caso delle specie che in esse possono nidificare, come appunto *L. brunneus* e *C. scutellaris* (Carpintero *et al.*, 2005).

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna

Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",

Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",

Università degli Studi di Sassari

I valori dei diametri e le frequenze di ciascuna specie sulle piante ospiti sono stati sottoposti ad un'analisi della varianza (a un fattore), per verificare eventuali differenze di abbondanza legate al livello di copertura offerto dalle chiome, noto come fattore determinante per la composizione e l'abbondanza della mirmecofauna vivente sulle querce (Dolek *et al.*, 2009).

4.2.2. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.2.2.1. Inventario della mirmecofauna

Con i due metodi di raccolta (come detto trappole a caduta e raccolta diretta) nelle 4 località d'indagine sono stati reperiti 1.578 esemplari appartenenti a 25 specie diverse (Tab. 1).

Confrontando il numero di specie rilevato ad Alà dei Sardi con l'elenco di quelle presenti in Sardegna, riportato in una recente *check-list* (Verdinelli *et al.*, 2007), si evince che è stato possibile reperire circa 1/3 delle 70 specie e sottospecie note per l'Isola. I rilievi condotti hanno tuttavia messo in evidenza la presenza di 3 specie non comprese nella *check-list* citata, ritenute di dubbia presenza in Sardegna per mancanza di notizie certe o di recenti segnalazioni.

Si tratta di *L. brunneus*, mai rilevato prima nelle sugherete sarde, che recenti indagini hanno segnalato anche in alcune formazioni a leccio delle aree più interne e altimetricamente elevate dell'Isola (Rigato e Toni, 2011); *Camponotus fallax* Nylander, che invece mancava di recenti segnalazioni, anch'essa specie arboricola considerata "nativa" dei sistemi a sughera della Spagna come la precedente (Espalader e Rojo, 2002); *Plagiolepis xene* Stårcke (Formicidae Formicinae), formicide di primo ritrovamento in Sardegna, le cui numerose regine sono state reperite in una cavità della corteccia di una sughera, insieme a operaie e regine della congenere *P. pygmaea* Latreille, della quale è parassita sociale (Bernard, 1968).

Il numero di formicidi collezionato con le trappole a caduta (14) è confrontabile con quello di pluriennali raccolte (protrattesi dal 1983 al 2000)

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

effettuate in varie regioni della Spagna sia in leccete, con un livello di copertura arborea dal 40 fino al 90%, sia in pinete con copertura del 60% del suolo (Arnan *et al.*, 2012).

Nella sughereta di Alà dei Sardi, oltre i due terzi degli esemplari collezionati nelle *pit-fall* sono state operaie di *Aphaenogaster spinosa* Emery, *Crematogaster scutellaris* e di *P. pygmaea*. Le altre specie più frequenti (dall'1 al 5% dei formicidi conteggiati) sono state *Camponotus vagus* Scopoli, *C. aethiops* Latreille, *Aphaenogaster subterranea* Latreille, *Tapinoma simrothi* Krausse e *Messor capitatus* Latreille.

I risultati ottenuti mettono in evidenza come in sughereta sia possibile la presenza di specie note per frequentare preferenzialmente habitat con differenti condizioni microclimatiche e vegetazionali, come ad esempio *P. pygmaea* più abbondante negli ambienti a macchia mediterranea oppure specie più tipicamente forestali come *C. scutellaris*, *C. vagus*, *T. simrothi* e *A. subterranea*, alle quali si aggiungono i formicidi più tipici degli spazi aperti (distese erbacee permanenti, pascoli, campi coltivati) come *M. capitatus* e *C. aethiops* (Cammell *et al.*, 1996; Gómez *et al.*, 2003; Castracani *et al.*, 2010).

Del tutto assenti dalle *pit-fall* sono invece risultate le formiche arboricole *Lasius brunneus* Latreille, *C. truncatus* Spinola e *C. fallax* Nylander. Si sottolinea comunque che tale risultato potrebbe essere stato condizionato proprio dalla particolare trasparenza delle chiome delle sughere che, come detto, consente una maggiore insolazione del suolo condizionando il comportamento dei formicidi. Infatti, in altri ambienti come le formazioni ad alta copertura arborea a querce dell'Europa centrale, o a pino in ambiente mediterraneo, *L. brunneus* è risultata una specie particolarmente abbondante fra quelle catturate in trappole a caduta (Jaffe *et al.*, 2007; Carpintero *et al.*, 2007).

Nei 3 mesi di permanenza delle trappole a Pedrutocchis, si è invece collezionata *Lasius lasioides* Emery (Tab. 1), la specie filologicamente più

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

vicina a *L. brunneus* tra quelle dell'omonimo gruppo *brunneus* (Steiner *et al.*, 2004). Essa è una formica tipicamente mediterranea (Antonova e Penev, 2006) preferenzialmente terricola e che frequenta anche ambienti non forestali come le distese erbacee permanenti, le superfici a macchia e gli oliveti (Ottonetti *et al.*, 2008; Castracani *et al.*, 2010).

Con le raccolte dirette è stato ottenuto un numero di specie variabile da 10 a 19 nelle quattro sugherete considerate; risultati simili a quelli ottenuti con lo stesso metodo di campionamento in boschi puri o misti di rovere della Catalogna (Taveret), vegetanti ad un altitudine compresa tra i 977 e i 1.108 m s.l.m. (García *et al.*, 2010).

Le raccolte dirette hanno evidenziato una certa diversità nella composizione specifica della mirmecofauna fra Pedrutocchis e le altre località; infatti, in essa si sono collezionate 19 specie mentre nelle altre solo da 10 a 12.

Allo scopo di ottenere una valutazione della similarità fra le comunità di formicidi rilevati nelle quattro sugherete considerate si è proceduto al calcolo dell'indice di Sørensen. Questo parametro è largamente impiegato in entomologia ed è stato utilizzato per confrontare la composizione in specie di famiglie di Esapodi viventi in ambienti differenti (Burgio *et al.*, 1997; Bestelmeyer e Wiens, 2001). I sei indici di similarità calcolati confrontando fra essi i 4 ambienti di studio sono variati fra 0,60 e 0,87 (Tab. 2), evidenziando quindi come la struttura della mirmecofauna è in buona parte simile in tutte le sugherete considerate, dato che il numero di specie comuni a 2 diverse località è sempre almeno il 60% di quelle complessivamente reperite nell'altra, indipendentemente dalle diverse modalità di gestione del suolo e soprassuolo.

Infatti, nella località Madrone, il popolamento più giovane, con una copertura arborea omogenea ed in cui non sono praticati il pascolamento o le lavorazioni del terreno si sono raccolte sostanzialmente le stesse specie di formicidi presenti nella sughereta di S'enatu e su mele ($I_s = 0,87$),

classificabile come pascolo arborato sottoposto a pascolamento bovino e con una diffusa presenza di ristagni idrici.

Tab. 2 – Indici di similarità I_s tra le specie di formicidi collezionati nelle 4 sugherete di Alà dei Sardi. Gli indici sono stati calcolati con la formula $I_s = 2J/(X + Y)$ dove $J = n.$ di specie in comune tra 2 località e $(X+Y) =$ somma delle specie rilevate nelle 2 località.

Combinazioni tra coppie di località	I_s
Pedrutcchis, S'enatu e su mele	0,71
Pedrutcchis, Sa tanca e s'ena	0,68
Pedrutcchis, Madrone	0,60
S'enatu e su mele, Sa tanca e s'ena	0,76
S'enatu e su mele, Madrone	0,87
Sa tanca e s'ena, Madrone	0,66

Viceversa, sugherete per altro limitrofe (distanti poco più di un chilometro) e con caratteristiche in parte comuni (interruzioni della copertura arborea e pascolamento), come quelle di Sa tanca e s'ena e Pedrutcchis, presentano uno dei più bassi indici di similarità ($I_s = 0,68$).

Come si evince dalla Tab. 1, la variabilità dell' I_s dipende quasi esclusivamente dal più alto numero di specie collezionate nella sughereta di Pedrutcchis, l'unico popolamento sottoposto a pascolo ovino e nel quale non si compiono lavorazioni principali del terreno. Infatti nelle sugherete di Madrone, S'enatu e su mele e Sa tanca e s'ena non si sono reperite due specie terricole come *Messor structor* Latreille e *Tapinoma simrothi* Krausse nonché alcune specie di formicidi accomunati dalla cripticità della loro vita. Queste ultime sono le già citate *P. pygmaea* e *P. xene* (la prima per la verità reperita nella sughereta di Madrone oltre che a Pedrutcchis) alle quali si

aggiungono *Temnothorax krausse* Emery e *Camponotus fallax* Nylander, collezionate solo a Pedrutocchis. Esse sono caratterizzate dall'aver operaie di ridotte dimensioni oppure dal fondare le loro società in particolari microhabitat come la lettiera o il legno morto, caratteristiche che da un lato ne rendono meno agevole il reperimento e dall'altro ne limitano comunque la presenza agli habitat meno disturbati dalle attività umane (come le lavorazioni del terreno che comportano l'eliminazione di lettiera e legno morto caduto sul suolo) (Castracani *et al.*, 2010).

Fra i formicidi nidificanti sulle piante, *C. scutellaris* è risultata presente in quasi tutte le sughere esaminate nelle 4 località, a confermare il suo *status* di specie dominante di questi ed altri ambienti forestali del Mediterraneo (Martelli e Arru, 1957; Gómez *et al.*, 2003). Il suo ruolo come agente diretto di danno alla produzione di sughero gentile è apparso comunque alquanto modesto, dato che l'attività di escavazione è stata osservata quasi esclusivamente a carico del sughero grezzo, soprattutto poco al di sopra dell'area di decortica, come riportato in precedenti studi inerenti il suo comportamento nidificatorio (Casevitz-Werleurse 1972, 1973).

Le grandi colonie di *C. vagus*, altra formica poliginica e arboricola come *C. scutellaris* (Bernard, 1968), sono state osservate soltanto sotto le cortecce e nel legno delle querce morte, più annose o comunque deperenti, oltre che nelle plance lasciate ai piedi di queste durante precedenti estrazioni.

Altri 2 camponotini arboricoli, *C. truncatus* e *C. fallax*, sono risultati molto meno abbondanti rispetto alle 2 precedenti specie (a Madrone è stata collezionata soltanto un'operaia di *C. truncatus*). Entrambi formano società molto poco numerose, nidificanti dentro il legno morto dei rametti o nelle anfrattuosità delle cortecce.

Al contrario delle 4 specie nidificanti sugli alberi appena ricordate, *L. brunneus* si è dimostrata l'unica in grado di arrecare un severo danno al sughero gentile, come rilevato dalla diffusa escavazione delle plance estratte da alcune sughere. Infatti, durante le operazioni di decortica del 2010

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

l'osservazione di 100 piante appena decorticate, in ciascuna delle 4 sugherete considerate, ha evidenziato come i danni prodotti dal lasino interessassero dallo 0 al 4% delle piante.

A Madrone, l'unica sughereta in cui non è stata rilevata la presenza di *L. brunneus*, si è collezionata *L. niger* (attiva anche a S'enatu e su mele come riportato in Tab. 1), specie dalla grande plasticità ecologica e nociva allevatrice di fitomizi, che nella Penisola Iberica si è dimostrata una tipica abitatrice dei coltivi abbandonati, ma anche delle sugherete mature o in fase di ricostituzione dopo il passaggio di un incendio (Suñer e Pons, 1989; Gómez *et al.*, 2003).

4.2.2.2. Osservazioni sulle associazioni di formiche e afidi viventi sulla sughera

I rilievi qualitativi condotti nel 2010 hanno permesso di evidenziare anche le associazioni fra 5 diverse specie di formicidi che integrano la loro dieta con la melata prodotta da 3 diversi afidi arboricoli.

All'interno dei nidi scavati nel sughero gentile dalle operaie di *L. brunneus*, esaminati grazie all'asportazione delle plance, si è sempre osservata la presenza di numerosi individui di *Stomaphis quercus*, che si conferma così trofobionte obbligato del lasino su questa pianta ospite (Espalader *et al.*, 2006a e b) (Foto 7). Le grosse femmine dell'afide, spesso frammiste a neanidi di III-IV età isolate o in gruppi di 5 esemplari al massimo, sono state rinvenute, in attività di suzione, protette all'interno di camere sottocorticali appositamente scavate dalle operaie di *L. brunneus*, l'unica specie rilevata vivere in associazione con l'afide.

I rilievi eseguiti sulle chiome delle sughere hanno invece consentito di osservare come *C. scutellaris*, *C. aethiops*, *C. vagus* e *Lasius paralienus* Seifert prelevino la melata escreta da un altro lacnino, già ricordato nella parte introduttiva, il mirmecofilo obbligato *Lachnus roboris* s.l. (Foto 8), d'incerta determinazione date le tante affinità tra i congeneri *L. roboris*

Linnaeus e *L. ilicophilus* Del Guercio, entrambi segnalati sulle più comuni specie quercine europee («www. aphidsonworldsplants.info » aggiornato al 4 novembre 2012). Le rare colonie di quest'afide, osservate solo su una o due sughere per ettaro, sono risultate costituite da 10-20 individui e composte generalmente da 1-3 femmine vivipare attere con neanidi di diversa età.



Foto 7 – Veduta longitudinale (a) e trasversale (b) di una plancia di sughero gentile il cui spessore è diffusamente scavato dalle operaie di *Lasius brunneus* per realizzare il proprio nido (Alà dei Sardi, 2010).

Queste forme sono state sorprese in attività trofica soltanto su giovani rami di 2-4 anni, assistite da uno dei formicidi elencati più sopra. Su una stessa sughera, sulle colonie di quest'afide non si è mai osservata che un'unica specie di formicide, escluso il caso particolare di *C. scutellaris* e *C. lateralis*. Infatti come noto, e già richiamato anche nell'introduzione della tesi, le

operaie di quest'ultima specie normalmente seguono le scie odorose prodotte da quelle di *C. scutellaris* per individuare e raggiungere le colonie afidiche, sulle quali poi bottinano insieme senza ostilità reciproca. Questa condivisione del territorio ha portato a limitare i successivi rilievi quantitativi alla sola *C. scutellaris*.



Foto 8 – Operaie di *Lasius paralienus* intente ad assistere una femmina vivipara attera di *Lachnus roboris* su un giovane ramo di sughera.

Altro fitomizo rilevato è stato *Thelaxes suberi*, afide arboricolo tipico delle Fagaceae del genere *Quercus* dell'area mediterranea (Barbagallo e Binazzi, 1991; Melia *et al.*, 1993). Le femmine vivipare alate e le forme giovanili di questa specie sono state osservate su un'unica sughera ed erano in attività trofica sulle giovani ghiande in fase di accrescimento, assistite da numerose operaie di *L. paralienus*.

Riguardo l'abbondanza relativa su tronchi e rami di *Q. suber* delle 5 specie di formicidi viventi in associazione con afidi, in Tab. 3 si riporta il numero di sughere occupate da ciascuna di esse nelle 3 parcelle di circa mezzo ettaro delimitate nelle sugherete di Pedrutocchis e Sa tanca e s'ena. L'analisi della varianza a un fattore non ha mostrato differenze significative nei rapporti di abbondanza di queste 5 specie nelle 3 parcelle ($p\text{-value} \gg 0,005$), come peraltro tra i diametri medi delle sughere presenti (da 30 a 35 cm), tanto da ipotizzare una certa omogeneità nelle condizioni del soprassuolo. Questi dati fanno quindi presumere, anche se indicativamente, che nelle sugherete considerate vi sono condizioni microclimatiche simili tanto da consentire la presenza di queste specie di formiche in rapporti analoghi fra loro nelle 3 parcelle. Tuttavia, *C. scutellaris*, che occupa un numero di piante simile nelle 3 replicazioni, in realtà infesta con le sue colonie una percentuale di sughere molto diversa nelle 3 parcelle. Infatti a Sa tanca e s'ena occupa oltre l'85% delle sughere mentre a Pedrutocchis (A) è presente in poco più della metà delle sughere (54%). Tale differenza richiama la tendenza di questa specie ad occupare tutte le piante a disposizione, mostrata in particolare nelle condizioni di maggiore degrado ecosistemico (Suñer e Abós, 1992), derivabili dalle lavorazioni del terreno o dal pascolamento dello stesso, come sembra più evidente proprio a Sa tanca e s'ena.

Per la stessa località si evidenzia il ritrovamento di un'unica sughera con operaie di *L. paralienus*. Ciò può con alta probabilità dipendere proprio dalla notevole presenza di *C. scutellaris*, specie molto competitiva e aggressiva, che esclude quindi *L. paralienus*, noto al contrario per essere difficilmente reperibile nei territori frequentati da formicidi nativi e dominanti, tanto da concentrare anche il 90% dell'attività delle sue bottinatrici al di fuori del territorio occupato da questi ultimi (Stukalyuk e Radchenko, 2011).

Tab. 3 - Frequenza o numero di sughere occupate dalle 5 specie di formicidi osservati vivere in associazione con afidi su *Q. suber* in 3 parcelle da 4.800 m² delimitate in 2 sugherete di Alà dei Sardi (Luglio 2011).

Parcelle	Sughere per parcella (n.)	Sughere occupate da formicidi (n.)	Sughere con:				
			<i>Crematogaster scutellaris</i> (n.)	<i>Camponotus aethiops</i> (n.)	<i>Lasius brunneus</i> ¹ (n.)	<i>Camponotus vagus</i> (n.)	<i>Lasius paralienus</i> (n.)
Sa tanca e s'ena	79	72	68	22	10	5	1
Pedrutocchis (A)	129	113	70	64	15	8	12
Pedrutocchis (B)	109	91	73	23	11	13	6
Totale sughere (n.)	317	276	211	109	36	26	19

¹Solo infestazione presente (rosura fresca, operaie in attività sui tronchi e i rami).

In generale, si presume che sulle sughere vi possa essere un elevato livello di competizione interspecifica, in particolare tra le formiche arboricole (Carpintero *et al.*, 2005), come anche intuibile dai dati riportati in Tab. 4, dove si evince che nel 50-60 % delle sughere complessivamente vegetanti nelle 3 parcelle è presente soltanto uno dei 5 formicidi considerati, mentre nel 25-30% di esse si sono ritrovate al massimo due di queste specie. In genere la contemporanea presenza di due specie era dovuta a *C. scutellaris* e *C. aethiops*; la dominante e aggressiva mirmicina si è osservata invece su 16 e 12 piante rispettivamente con *L. brunneus* e con *C. vagus*, mentre è risultata estremamente rara la copresenza con la terricola *L. paralienus* (Tab. 5).

Tab. 4 - Frequenza percentuale delle sughere con almeno 1 delle 5 specie di formicidi nelle 3 parcelle di 4.800 m² (Alà dei Sardi, 2011).

Specie di formicidi presenti sulla stessa sughera (n.)	Parcelle		
	Sa tanca e s'ena (%)	Pedrutocchis (A) (%)	Pedrutocchis (B) (%)
1	58,23	49,61	56,88
2	29,11	31,78	25,68
3	5,06	4,65	1,83

A riprova di queste differenze, il dendrogramma rappresentato in Figura 1 e costruito dai dati riportati in Tab. 5 ricorrendo a una *cluster analysis* (metodo del legame singolo o del *Nearest Neighbor*), utilizzata già per verificare l'esistenza o meno di raggruppamenti tra diverse specie di formicidi proprio sulla sughera (Carpintero *et al.*, 2005), mostra come *C. scutellaris* si separi nettamente dagli altri quattro formicidi, come era prevedibile data la sua maggiore frequenza rispetto alle altre specie (prima

riga della matrice in Tab. 5). Inoltre, *C. aethiops* forma un gruppo indipendente rispetto a *L. brunneus*, *C. vagus* e *L. paralienus*, infatti queste ultime si sono osservate molto più di rado sulla stessa pianta ospite con *C. scutellaris* (Tab. 5).

Tab. 5 - Numero delle sughere vegetanti nelle 3 parcelle di 4.800 m² con 2 specie di formicidi presenti.

Specie	<i>Crematogaster scutellaris</i>	<i>Camponotus aethiops</i>	<i>Lasius brunneus</i>	<i>Camponotus vagus</i>	<i>Lasius paralienus</i>
<i>Crematogaster scutellaris</i>	0	57	16	12	3
<i>Camponotus aethiops</i>		0	6	1	1
<i>Lasius brunneus</i>			0	1	1
<i>Camponotus vagus</i>				0	0
<i>Lasius paralienus</i>					0

Questi risultati, confermano l'alto livello superiore di dominanza espresso da *C. scutellaris* nello strato vegetale arboreo ed evidenziano come in esso abbiano un certo grado di attività le bottinatrici solitarie di *C. aethiops*, nonostante frequentino la stessa specie di afide. Molto più limitata, quasi episodica, risulta invece la presenza delle altre 3 specie, certamente più condizionate dai fenomeni di competizione interspecifica con le aggressive operaie di *C. scutellaris*.

Il maggior livello di copresenza mostrato da *C. scutellaris* e *C. aethiops*, può essere spiegato in primo luogo dal fatto che si tratta di 2 formiche caratterizzate da diversi tratti vitali (*C. scutellaris* arboricola, poliginica e formante società molto popolose e *C. aethiops* terricola, monoginica e con società anche di solo 200 operaie), ma accomunate comunque da un

significativo adattamento agli ambienti più soleggiati e secchi (Bernard, 1968; Suñer e Pons, 1989; Suñer e Abós, 1992; Stukalyuk e Radchenko, 2011). Per altro, la coesistenza sulle querce tra formicidi dal comportamento dominante o sub-dominante come ad esempio *C. scutellaris*, *L. brunneus* o *C. aethiops* (Carpintero *et al.*, 2005; Stukalyuk e Radchenko, 2011) è possibile quando ciascuna di esse riesce a monopolizzare un diverso spazio vitale, rappresentato dal sito di nidificazione o dallo sfruttamento di una diversa specie afidica, oppure reperendo la melata prodotta dalla stessa specie afidica al di fuori del territorio occupato da *C. scutellaris* (Stukalyuk e Radchenko, 2011).

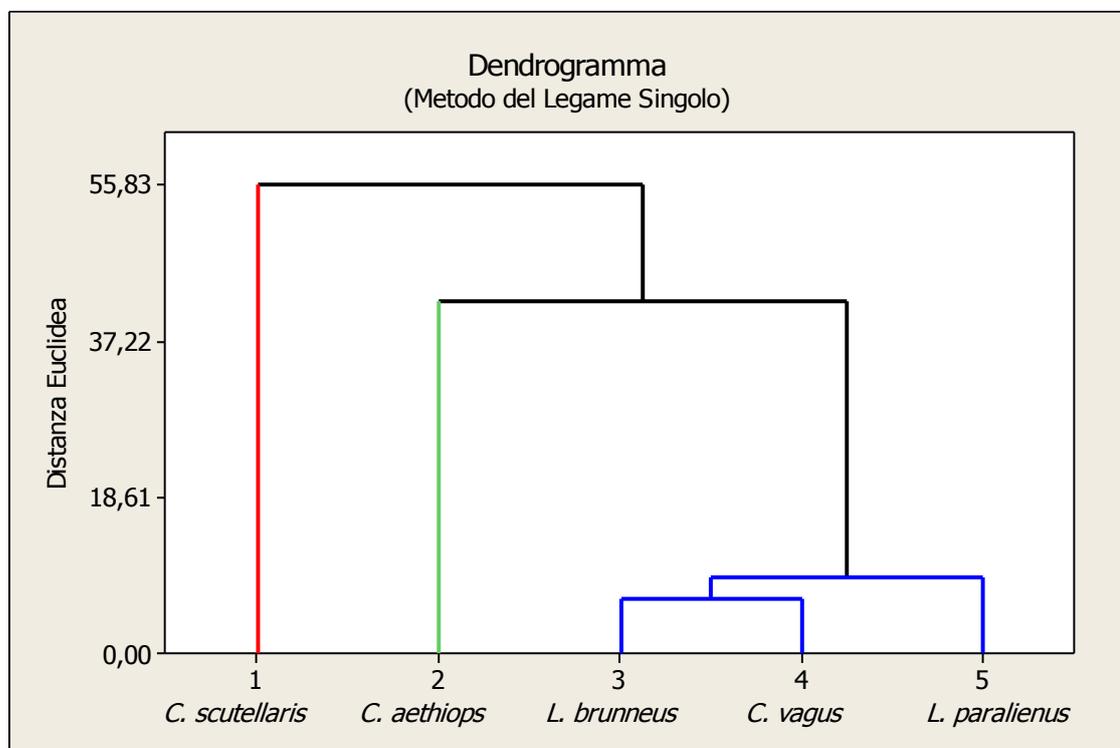


Figura 1 – Dendrogramma costruito in accordo con la distanza euclidea sui dati della matrice riportata in Tab. 5. Il diverso colore dei rami (rosso, verde, blu) indica l'appartenenza a un gruppo o *cluster*. I dati sono stati elaborati con il *software* «Minitab 15».

Proprio queste differenti strategie adattative spiegano come sia stato possibile osservare un alto numero di sughere frequentate da *C. scutellaris* e

L. brunneus alle quali si aggiunge a volte anche *C. aethiops*. Infatti, operaie di *C. scutellaris* sono state raccolte in 25 delle 36 sughere occupate da nidi sottocorticali di *L. brunneus* e in 9 di questi casi si è rilevata anche la presenza di *C. aethiops*.

Le popolose colonie di *L. brunneus* e *C. scutellaris* si sono osservate coesistere sulle stesse sughere probabilmente perché dipendenti dalla melata di specie afidiche diverse, rispettivamente *S. quercus* e *L. roboris*, nonché per la diversa localizzazione preferenziale dei loro nidi. Infatti, quando su uno stesso albero si sono osservati i nidi di entrambi i formicidi, quelli della mirmicina sono sembrati limitati alla parte del tronco rivestita di sughero grezzo, mentre quelli di *L. brunneus* sono risultati confinati al di sotto della scorza gentile nella zona più bassa del tronco stesso. Inoltre solo di rado le operaie di questo lasino, come già detto nella parte introduttiva caratterizzato da un comportamento criptico, si sono osservate formare processioni sulla superficie del tronco, “monopolizzata” più spesso dalle numerose operaie di *C. scutellaris* o dalle bottinatrici solitarie della terricola *C. aethiops*. L’ulteriore presenza di *C. aethiops* è giustificata in quanto sovente nidifica in prossimità delle querce e risale sulle stesse per dedicarsi alla zoo-necrofagia mentre raccoglie melata sullo strato erbaceo circostante, avvicinandosi quindi solo occasionalmente alle colonie di *L. roboris* (Foto 9), attivamente assistite dalle aggressive operaie di *C. scutellaris*.

In un solo caso nelle 36 piante abitate da *L. brunneus* è stata verificata la presenza di qualche operaia solitaria di *C. vagus*. Ciò si è verificato a Sa tanca e s’ena, dove peraltro il camponotino non era stato reperito durante la raccolta diretta (Tab. 1). Questa limitata copresenza di *L. brunneus* e *C. vagus* potrebbe essere dovuta al fatto che entrambe le specie costituiscono preferenzialmente i loro nidi nella zona del tronco sottoposta a decortica.

Sempre in una sola sughera si sono collezionati esemplari di *L. brunneus* e *L. paralienus*, pur avendo reperito quest’ultima specie su ben 19 sughere. Ciò potrebbe suggerire che la terricola *L. paralienus* eviti le sughere

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l’afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in “Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari”,
Indirizzo: “Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo”,
Università degli Studi di Sassari

occupate dai nidi della congenera, anch'essa come *C. scutellaris* una specie autoctona dal comportamento dominante.



Foto 9 – Una femmina vivipara attera di *Lachnus roboris* con una bottinatrice di *Camponotus aethiops* su un rametto di sughera.

4.3. Studio della trofobiosi obbligata tra *Lasius brunneus* e *Stomaphis quercus*

4.3.1. MATERIALI E METODI

Allo scopo di condurre osservazioni più approfondite sulla formica arboricola *L. brunneus*, come detto la specie rivelatasi più direttamente dannosa al sughero gentile, si sono condotti diversi rilievi di campo che hanno riguardato: 1) il ciclo annuale di questo formicide e del suo trofobionte obbligato *S. quercus*; 2) il danno causato sulle piante ospiti; 3) la distribuzione delle colonie nei popolamenti, la presenza dei 2 trofobionti in vari distretti sughericoli dell'Isola; 4) un'indagine sulla non ancora del tutto chiarita struttura sociale delle popolazioni del formicide (Seifert 1992, 2007).

4.3.1.1. Osservazioni sul ciclo annuale di *L. brunneus* e *S. quercus* e loro dannosità

Le osservazioni sulla biologia di formicide e afide simbiote sono state condotte dall'aprile 2010 all'agosto 2011 ad Alà dei Sardi nella sughereta posta in località Pedrutocchis, le cui caratteristiche generali sono state descritte nelle pagine precedenti.

In quest'area durante il periodo primaverile-estivo sono stati svolti, a cadenza quindicinale, sopralluoghi volti a rilevare la presenza dei due trofobionti sui tronchi, al piede di una decina di sughere infestate nonché nello spessore della loro corteccia con l'asportazione parziale di essa. Nel mese di luglio, le osservazioni sono state estese a tutte le piante decorticate della località per rilevare gli stadi di sviluppo presenti al di sotto della scorza suberosa appena asportata e stimare il livello di danno alle plance prodotto dall'escavazione dei nidi. Durante il periodo autunno-vernino i rilievi hanno avuto frequenza mensile e per indagare l'epoca di comparsa dei diversi stadi di sviluppo dei due trofobionti si è anche proceduto

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

all'estrazione progressiva della corteccia da una sughera infestata, alta 7-8 m con sezione del tronco a petto d'uomo di 76 cm.

4.3.1.2. Distribuzione nello spazio delle sughere infestate da L. brunneus

Nelle 3 parcelle delimitate a Pedrutocchis e Sa tanca e s'ena, già descritte nel paragrafo 4.2.1.3., si è condotto uno studio sulla distribuzione dell'infestazione di *L. brunneus*, ipotizzando che la stessa fosse influenzata dalla limitata capacità di diffusione del suo trofobionte *S. quercus*. Fenomeno questo già noto per il binomio *Lasius fuliginosus* Latreille – *S. quercus* in Inghilterra e in Germania (Lorenz e Scheurer, 1998; Hopkins e Thacker, 1999) e condizionato inoltre, come messo in evidenza proprio per *L. brunneus* ancora in Inghilterra (Wilson, 1955), dalle esigenze di spazio delle colonie mature del formicide, che sembrano preferire quindi le querce più annose. All'interno di ciascuna parcella (come già detto di circa mezzo ettaro di superficie) si è proceduto a rilevare la distanza di tutte le piante fra loro, i rispettivi diametri a petto d'uomo, considerando la presenza d'infestazione in atto e pregressa di *L. brunneus*. Ai dati sull'infestazione presente e passata sono stati applicati test per l'identificazione della presenza di raggruppamenti nello spazio (Kulldorff, 2006), per valutare se le sughere infestate risultino più vicine fra loro rispetto a quanto derivi dalla naturale distribuzione di tutte le sughere vegetanti nelle parcelle. Allo scopo si sono applicati sia il test di Cuzick-Edwards (Cuzick e Edwards, 1990) sia il test basato sulla *spatial scan statistic* (Kulldorff e Nagarwalla, 1995; Kulldorff, 1997).

Il test di Cuzick-Edwards, che si basa sul concetto d'intorno più vicino di ordine k (*k-nearest neighbor*), è stato condotto per diversi valori di k (cioè per diverse ipotesi sulla dimensione dei *cluster* di piante infestate) e la significatività aggiustata per tener conto della dipendenza tra le statistiche conseguenti, secondo il metodo di Holm (Lehman e Romano, 2005). Poiché questo test non è in grado d'indicare la posizione dei *cluster*, si è quindi

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

considerato il test basato sulla *spatial scan statistic* che permette d'individuare una regione circolare in cui la probabilità che una pianta sia infestata è significativamente maggiore che per le piante al di fuori di essa. La comparazione fra i diametri delle piante infestate e di quelle non infestate è stata condotta con il test non parametrico di Wilcoxon (Hollander e Wolfe 1999) data la forte asimmetria mostrata dalla distribuzione dei diametri nei campioni. Con tale test si è voluto verificare se la distribuzione della variabile “diametro delle piante” abbia media diversa fra quelle occupate e non occupate da un nido di *L. brunneus*, come già fatto da altri autori per questa ed altre specie di formicidi (Villagran e Ocete, 1990; Santini *et al.* 2010; Dolek *et al.* 2009).

4.3.1.3. Diffusione di L. brunneus e S. quercus nei principali distretti sughericoli della Sardegna

Per indagare la diffusione dei 2 trofobionti *L. brunneus* e *S. quercus* in Sardegna, tra aprile e giugno del 2011, in 40 località, in genere ricadenti nelle principali aree subericole, sono state controllate a caso 40 sughere su una superficie di 2-3 ha. Tale tipo di campionamento è stato interrotto quando si è riscontrata la presenza di una sughera infestata da *L. brunneus* e si è proceduto, nell'area ad essa circostante, trascurando le sughere fino a quel momento esaminate, a valutare l'infestazione su 100 sughere scelte a caso. La dimensione del campione è stata uguale a quella scelta in Spagna (Espalader *et al.*, 2006a); delle 100 piante esaminate in ogni località infestata sono stati annotati i diametri a petto d'uomo e su questi valori è stato effettuato il test di Wilcoxon per il confronto della distribuzione dei diametri.

Per evidenziare eventuali fattori che potessero giustificare la diffusione del formicida, ricorrendo a dati climatici disponibili (Arrigoni, 1968; Dettori *et al.* 2001), si è fatto un confronto qualitativo fra le condizioni climatiche delle località infestate rispetto a quelle delle non infestate.

Achille LOI
Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in “Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari”,
Indirizzo: “Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo”,
Università degli Studi di Sassari

4.3.1.4. Indagine sulla struttura sociale di *L. brunneus*

Per reperire notizie utili alla comprensione dell'organizzazione sociale delle popolazioni di *L. brunneus* nelle sugherete, si è ricorso ai test di aggressività tra coppie di operaie (Giraud *et al.*, 2002; Steiner *et al.*, 2004; Cremer *et al.*, 2008). Le osservazioni, effettuate in campo riponendo una coppia alla volta in una provetta cilindrica in polietilene trasparente di dimensioni 1 x 5 cm con tappo avvitabile, hanno riguardato esemplari di *L. brunneus* provenienti dalla stessa sughera e da sughere distanti 10 m, 200 m e 30 Km. In ciascun caso sono state effettuate 50 ripetizioni della durata di 5 minuti ciascuna, per un totale di 200 incontri. Per comparare il comportamento delle operaie di *L. brunneus* in queste condizioni sperimentali, si è proceduto ad effettuare anche 25 ripetizioni tra coppie di operaie di *C. scutellaris* raccolte da sughere distanti 10 e 200 m, e ulteriori 25 repliche tra coppie costituite da *L. brunneus* e *C. scutellaris*.

Il comportamento mostrato dagli esemplari si è classificato secondo i seguenti livelli: 0 = indifferenza; 1 = contatto; 2 = fuga; 3 = comportamento aggressivo; 4 = combattimento (Steiner *et al.*, 2004). Da 0 a 2 sono considerati comportamenti non aggressivi, mentre i livelli 3 e 4 sono da ritenersi aggressivi (Steiner *et al.* 2004).

4.3.2. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.3.2.1. Osservazioni sul ciclo annuale di *L. brunneus* e *S. quercus* e caratteristiche dell'infestazione

I rilievi di campo hanno evidenziato che è possibile reperire nel corso di tutto l'anno operaie di *L. brunneus* in attività sulla corteccia, anche se il loro numero si riduce significativamente nel periodo invernale e nelle ore più calde della stagione estiva. Soprattutto durante la primavera, stagione di massima attività delle colonie, le piante infestate presentano accumuli di rosura brunastra alla base del tronco o nelle anfrattuosità della scorza suberosa. Su quest'ultima sono visibili tutto l'anno anche ripari a mo' di

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

tettoie, costruiti dalle operaie impastando rosura di sughero e altri detriti con la loro saliva, al di sopra dei camminamenti esterni al nido e degli ingressi a quest'ultimo (Foto 10).

Con l'asportazione della scorza suberosa è stato possibile osservare come le camere di covata del formicide siano ricavate indifferentemente a diverse altezze da terra all'interno del sughero gentile e di quello grezzo sovrastante, a riprova di quanto già osservato da Espalader *et al.* (2006b) circa la distribuzione della società in piante di sughera. Larve del formicide sono state osservate da aprile a settembre (Foto 11). Due regine alate sono state collezionate dentro lo stesso nido il 7 luglio 2010 ad Alà dei Sardi e 3 il 26 maggio a Tempio Pausania. Si rileva soltanto che i 2 esemplari collezionati a luglio avevano un mesosoma di dimensioni molto maggiori e nel contempo che l'epoca di questi ritrovamenti coincide con il periodo dei voli nuziali osservato in Europa centrale (Seifert, 2007).

Le osservazioni hanno poi consentito di stabilire che l'afide, alla pari di altri congeneri (Matsuuro e Yashiro, 2006), svolge il suo ciclo quasi esclusivamente all'interno del nido di *L. brunneus*. Infatti, solo nei mesi di aprile e maggio è stato possibile rinvenire individui del fitomizo, isolati o in gruppi. Le forme giovanili di *S. quercus* durante la primavera del 2010 e del 2011 sono state osservate anche al colletto di sughere infestate, fino a 5 cm di profondità nella lettiera, sempre assistite da un copioso numero di formiche simbiotiche, a riprova di come la zona del colletto sia un sito di suzione preferenziale (Goidanich, 1957).

Con l'asportazione della scorza suberosa è stato rilevato come l'attività di suzione si svolga prevalentemente all'interno di apposite camere scavate nel sughero gentile e grezzo del tronco e dei rami principali dalle operaie del formicide. Durante la primavera del 2011 neanidi di diverse età sono state rinvenute fino a 6,5 m d'altezza dal suolo in nicchie scavate nel sugherone soprattutto all'ascella di rami primari e secondari. In ciascuna di queste camere non è infrequente osservare gruppi di afidi, fino a 8-12 individui, in-

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari



Foto 10 – Esempi di ripari realizzati dalle operaie di *L. brunneus* tra le anfrattuosità della corteccia.



Foto 11 – Covata di *L. brunneus* in una cavità del sughero gentile alla base del tronco (come indicato dalla freccia).

tenti ad alimentarsi l'uno accanto all'altro. Nella realizzazione di tali nicchie le formiche rispettano in genere il sughero degli ultimi 2 anni a più diretto contatto col fellogeno. Si realizza così una sorta di zona cuscinetto spessa 2-3 mm che separa gli afidi dal cambio subero-fellodermico e dai sottostanti tessuti vascolari (Foto 13). Le escavazioni prodotte dal formicide interessano fra il 50 e il 70% della superficie delle plance attaccate (lunghe, in media, 154.2 ± 49.0 cm e spesse 3.5 ± 0.3 cm), determinandone in più tratti lo sfaldamento durante la loro asportazione e quindi l'incompleta separazione dal fellogeno. Queste porzioni di sughero, che rappresentano la parte più interna del nido, rimangono strettamente adese al fellogeno e permarranno, come placche, anche negli anni successivi sulla superficie della corteccia di neoformazione, andando a rappresentare il più evidente sintomo di un'infestazione pregressa (Foto 14), come osservato anche nelle sugherete della Catalogna da Espadaler *et al.* (2006a). In tutti i casi il sughero ottenuto dalle piante infestate è stato scartato o solo in parte commercializzato come sughero da macina.

Su campioni di plance infestate, poste subito dopo l'estrazione all'interno di buste di plastica, è stato possibile determinare in laboratorio la presenza media di 425 operaie di *L. brunneus* e di 19 esemplari, in prevalenza neanidi, di *S. quercus* per m².

Durante le nostre osservazioni si è rilevato come la specie non disdegna di attaccare anche sughere particolarmente giovani con un diametro inferiore ai 20 cm, confermando quanto osservato in Spagna (Espadaler *et al.*, 2006a). Le sue colonie sono state rilevate non solo in piante decorticate da diversi anni ma anche su esemplari nei quali la raccolta del sughero è stata praticata solo da un paio d'anni; in questo caso gli ingressi ai nidi sono più spesso aperti lungo le stradelle, che si rivelano così vie d'ingresso preferenziali anche per il formicide, in analogia a quanto osservato per altri insetti dannosi alla sughera (Cao e Luciano, 2005). Ciò suggerisce come la

decortica non comprometta la sopravvivenza della colonia, che progressivamente va a riconquistare il sughero di nuova deposizione (Foto 15).



Foto 12 – Neanide di III età di *S. quercus* forzata, da due operaie di *L. brunneus*, ad estrarre i suoi lunghi stilette mandibolari e mascellari, infissi in profondità nei tessuti della pianta ospite.



Foto 13 – Camera di suzione scavata dalle operaie di *L. brunneus* nel sughero gentile (a sinistra, indicata dalla freccia) per consentire agli stadi di *S. quercus* la suzione dal floema del tronco (a destra).



Foto 14 - Sughera decorticata nel 2008 (come indicato dal numero dipinto sul tronco al momento dell'estrazione delle plance) sulla cui corteccia sono presenti placche di sughero gentile rimaste adese al fellogeno a causa della presenza dei nidi sottocorticali di *L. brunneus*.

All'interno dei nidi del formicida, osservati durante la decortica nelle piante da esso infestate, fra le decine di afidi osservati, di cui 109 collezionati, è stata reperita un'unica fondatrigenia alata. L'esemplare è stato osservato deambulare nelle gallerie della corteccia, salvo arrestarsi periodicamente per secernere melata, subito prelevata dalle formiche costantemente al suo seguito. Quest'unico rinvenimento sembra confermare come le cure rivolte dalle formiche limitino o talora inibiscano la formazione di alate (Johnson, 1959; Roberti, 1962; Kleinjan e Mittler, 1975) anche con il ricorso al taglio delle ali (Kunkel, 1973), come noto praticato proprio dalle formiche del genere *Lasius* (Tremblay, 1995). Quindi, la penuria di alate concorrerebbe a spiegare la limitata possibilità di autodispersione del fitomizo, che risulta così relegato nel territorio del formicida (Hopkins e Thacker, 1999) (Foto 16).



Foto 15 – Due momenti della decortica di una giovane sughera infestata da *L. brunneus*. L'asportazione delle placche di sughero gentile rimaste adese al felloderma richiede in attento impiego della scure per non danneggiarlo irrimediabilmente.



Foto 16 – Tre inquadrature dell'unica femmina alata partenogenetica di *S. quercus* osservata e collezionata durante l'estrazione delle plance ad Alà dei Sardi.

Nei mesi estivi e autunnali l'attività delle colonie dei due simbionti è concentrata all'interno delle cortecce e i trasferimenti attivi e passivi delle neanidi nei camminamenti protetti sulla corteccia sono progressivamente più rari, fino ad annullarsi a partire dalla prima decade di ottobre.

L'asportazione della corteccia da una sughera infestata (Foto 17) ha consentito di osservare *in situ* l'evoluzione della generazione anfigonica. Il 27 novembre 2010 è stato possibile rinvenire a 50-70 cm dal suolo femmine ovipare, attere come quelle partenogenetiche e di dimensioni simili; esse avevano l'addome evidentemente rigonfio e portavano sotto il corpo il lungo apparato boccale rivolto all'indietro, segno che avevano interrotto l'alimentazione. Ciascuna femmina era montata da 2-3 maschi neotenici, uno dei quali intento ad accoppiarsi; essi peraltro sono stati osservati tentare di accoppiarsi anche con le neanidi di maggiore età, confermando quanto noto fra gli stomafidini (Goidanich, 1957; Heie e Brill, 1995; Matsuura e Yashiro, 2006; Takada, 2008).

Achille LOI
 Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
 Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
 Università degli Studi di Sassari



Foto 17 – Sughera infestata da *Stomaphis quercus* e progressivamente decorticata fuori stagione (in alto) per osservare la generazione anfigonica di *S. quercus*. Nelle cavità sottocorticali scavate dalle operaie di *Lasius brunneus* si nota la presenza di una neanide, di alcuni adulti in accoppiamento e di grandi uova appena deposte di colore giallo oro (Alà dei Sardi, novembre 2010).

In genere le femmine sono state rinvenute in piccoli gruppi, non superiori a 5 esemplari, all'interno delle camere di alimentazione già descritte. Nelle medesime cavità sono state reperite anche le uova appena deposte, di colore giallo-oro; esse sono riunite in gruppi di 2-8 elementi, disposte l'una accanto all'altra e adese alle pareti suberose più distanti dalla zona di alimentazione di neanidi e femmine.

Il 15 gennaio 2011 si sono ritrovati ancora neanidi di varia età, anfigonici, uova appena deposte e altre di colore brunastro a segnalare l'avanzato sviluppo embrionale. I maschi montavano non solo le femmine mature ma anche quelle con l'addome afflosciato e visibilmente esauste. Questa osservazione di contemporanea presenza di diversi stadi di sviluppo dell'afide durante l'inverno contrasta con quanto riportato per la sughereta di Sant Hilari Sancalm (Catalogna, Spagna), nella quale già nel mese di novembre sono state ritrovate solo uova svernanti (Espalader *et al.*, 2006b), mentre concorda con quanto osservato per altre specie di *Stomaphis* viventi in Giappone (Matsuura e Yashiro, 2006; Takada, 2008) (Foto 18).

Come per le generazioni partenogenetiche, anche durante la stagione fredda gli afidi vivono con la costante presenza di uno stuolo di operaie di *L. brunneus*, che di fatto non interrompono mai l'attività all'interno del proprio nido. Se disturbate le formiche tentano di veicolare lontano le femmine ovipare non curandosi dei maschi o delle neanidi, che provvedono autonomamente alla propria fuga in tempi brevi.

Il 5 aprile del 2011 al di sotto della corteccia suberosa si è potuto verificare l'avvenuto inizio della schiusa delle uova svernanti. Le neanidi di prima età venivano veicolate direttamente dalle formiche ma erano comunque capaci di deambulare autonomamente. Il 15 aprile si è osservato che la loro diffusione interessava già la parte esterna delle cortecce delle piante ospiti (Foto 19).



Foto 18 – Femmina anfigonica e due maschi di *S. quercus*, ritrovati ancora attivi nel mese di gennaio 2011, all'interno delle cavità scavate da *L. brunneus* nello spessore del sughero.



Foto 19 – Neanidi di I età di *S. quercus* appena sgusciate dalle uova svernanti, deposte dalla generazione anfigonica dell'afide nelle cavità del sughero gentile scavate dalle operaie di *L. brunneus* (Alà dei Sardi, aprile 2011).

4.3.2.2. Distribuzione nello spazio delle sughere infestate da *L. brunneus*

I rilievi condotti nelle tre parcelle da 4.800 m² hanno fatto registrare un'infestazione attiva o pregressa che interessava dal 15 al 18% delle piante presenti (Tab. 6). Il test di Cuzick-Edwards porta a rifiutare l'ipotesi di una distribuzione casuale della presenza del formicide sulle sughere delle parcelle Pedrutocchis (B) e Sa tanca e s'ena (*p-value* < 10⁻⁴ in entrambi i casi) ma non in quella di Pedrutocchis (A) (*p-value* > 0.40).

Il test basato sulla *spatial scan statistics* ha confermato tali risultati e ha identificato sia a Pedrutocchis (B) sia a Sa tanca e s'ena solo un *cluster* primario significativo (come suggerito dalla distribuzione delle sughere riportata in Figura 2). Si deve tuttavia osservare che la dimensione reale dei *cluster* potrebbe essere inferiore (Kulldorff, 2006), come indicato dal test di Cuzick-Edwards che indica una forte significatività già per $k = 1$ (*p-value* ~ 10⁻⁵).

I risultati dei test fanno quindi supporre che con un'infestazione non sporadica la presenza del formicide interessi in genere gruppi di piante limitrofe probabilmente a causa della scarsa capacità di diffusione dell'afide simbiote, che, per le sue notevoli dimensioni, per la localizzazione delle sue colonie all'interno della scorza suberosa e per il limitato numero di forme alate, non pare in grado di compiere grossi spostamenti e quindi indirettamente vincola anche la localizzazione dei nidi del formicide.

Anche Goidanich (1957), nel suo studio sulla biologia di quest'afide, ricorda come le colonie si conservino di anno in anno sugli stessi alberi, siano essi ravvicinati l'uno con l'altro oppure notevolmente distanziati fra loro. In base a queste considerazioni, è probabile che la forma preferenziale di dispersione dell'afide siano le neanidi di I-III età, capaci di deambulare autonomamente all'interno o all'esterno dei nidi sottocorticali, oppure di essere facilmente trasportate dalle operaie di *L. brunneus*.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

Tab. 6 – Risultati dei rilievi effettuati nelle 3 parcelle di 4.800 m²; le piante infestate comprendono sia le sughere con infestazione presente sia quelle con i segni di una pregressa attività delle colonie di *L. brunneus* (Luglio, 2011).

Località	Piante esaminate (n.)	Piante infestate da <i>Lasius brunneus</i>		Diametro piante non infestate (cm) $\bar{x} \pm d.s.$	Diametro piante infestate (cm) $\bar{x} \pm d.s.$
		(n.)	(%)		
Sa tanca e s'ena	79	12	15,2	34,1 ± 11,8	40,0 ± 13,6
Pedrutcchis (A)	129	20	15,5	34,0 ± 30,6	41,6 ± 29,6
Pedrutcchis (B)	109	20	18,3	29,3 ± 17,8	40,3 ± 25,9

Il diametro medio delle piante infestate è risultato sempre superiore a quello delle piante non infestate (Tab. 6). Il test a due code di Wilcoxon ha portato a rifiutare l'ipotesi di egual distribuzione dei diametri nei due gruppi in entrambe le parcelle di Pedrutcchis (*p-value* 0.02 e 0.04 rispettivamente per (A) e (B)), ma non a Sa tanca e s'ena. Tuttavia, per quest'ultima il *p-value* del test non è molto elevato (0.08) e, dunque, il risultato potrebbe essere influenzato dal più basso numero di piante infestate ivi presenti. Questi risultati fanno quindi presumere che anche la dimensione delle piante ospiti possa concorrere a determinare la distribuzione dell'infestazione.

4.3.2.3. Presenza di L. brunneus e S. quercus in 40 località sughericole della Sardegna

Nel corso di sopralluoghi effettuati nei mesi da aprile a giugno 2011 in 40 località (Tab. 7 e Figura 3), si è rilevato come i due simbionti *L. brunneus* e

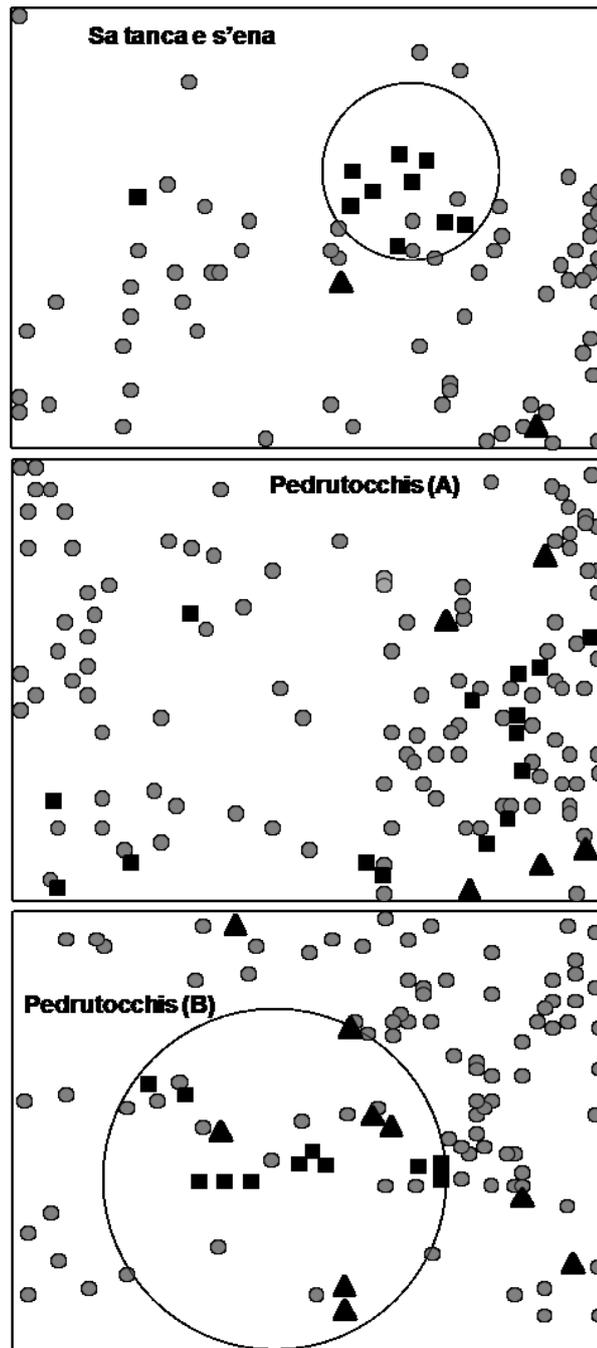


Fig. 2 – Distribuzione delle sughere nelle 3 parcelle di 4.800 m² dove è stata rilevata l'infestazione di *L. brunneus* (cerchi = sughere non occupate da *L. brunneus*; triangoli = sughere con segni di pregressa infestazione; quadrati = sughere con infestazione presente) (Alà dei Sardi, luglio 2011). In 2 delle 3 parcelle è rappresentata la dimensione dell'area circolare in cui è più elevata la probabilità d'infestazione, come indicato dal test di Cuzick-Edwards (le aree circolari hanno un diametro di 12,01 m a Sa tanca e s'ena e di 25,58 m a Pedrutocchis (B)).

S. quercus siano presenti oltre che ad Alà dei Sardi anche in altre sugherete della Sardegna, situate nei comuni di Aggius, Tempio Pausania, Buddusò, Orune e Nuoro. Sia ad Aggius nella località Santa Degna, dove vegeta un bosco misto di sughera e leccio, sia nella sughereta pura di Buddusò in località Santa Reparata è stata ritrovata un'unica sughera ospitante *L. brunneus*; le due piante hanno una notevole differenza di dimensioni con diametri rispettivamente di 25 e 105 cm.

I rilievi effettuati nelle altre località infestate hanno rivelato un livello d'infestazione variante fra il 7 e il 20% (Tab. 7). La percentuale di piante occupate dal formicide nelle sugherete sarde è risultata tuttavia decisamente inferiore a quella osservata in Spagna, dove in 19 parcelle di 4 diverse località si è rilevata una variabilità altissima compresa fra il 4 e il 92% con tassi d'infestazione medi per località varianti fra il 12,4 e il 56,5% (Espalader *et al.*, 2006a).

Applicando il test di Wilcoxon risulta che in quattro delle otto località vi è differenza significativa fra il diametro medio delle piante infestate e quello delle non infestate (Tab. 7). A Maria Naspà (Nuoro), in particolare, si ottiene una forte significatività nonostante il basso numero di piante infestate (7), poiché 6 di esse hanno diametri superiori ai 100 cm, fino a 192 cm, che si classificano nel 25% dei valori più alti in questa parcella. Questi risultati suggeriscono l'esistenza di una relazione fra la presenza del formicide e del suo simbionte e la dimensione delle piante ospiti, come osservato anche nelle parcelle da 4.800 m². Tuttavia proprio la presenza della spessa corteccia, come osservato in Sardegna e in Catalogna (Espalader *et al.*, 2006a), assicura nella sughera condizioni favorevoli all'instaurarsi e al permanere delle colonie di *L. brunneus* anche in piante giovani di diametro ancora modesto, al contrario di quanto segnalato da Collingwood (1979), che ricorda che la specie costruisce i nidi su vecchie piante, soprattutto querce, o come noto per il congenere *L. fuliginosus* su *Q. robur* e *Q. petrea* in Piemonte, dove sono colonizzati solo gli esemplari di maggiori dimensioni

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

Tab. 7 – Rilievi svolti nelle sugherete sarde in cui si è rilevata la presenza di *L. brunneus* e *S. quercus*, e i risultati del test non parametrico sui diametri.

Comune	Località	Diametro piante non infestate (cm) $\bar{x} \pm d.s.$	Piante infestate (n.)	Diametro piante infestate (cm) $\bar{x} \pm d.s.$	p-value test Wilcoxon
Tempio Pausania	Parapinta	80.5 ± 30.5	7	80.1 ± 23.4	0.836
Tempio Pausania	Caniffa	40.1 ± 18.4	16	50.6 ± 22.7	0.034
Alà dei Sardi	S' enatu e su mele	35.0 ± 13.0	17	39.2 ± 13.1	0.133
Alà dei Sardi	Sa tanca e s' ena (*)	46.7 ± 15.7	13	39.3 ± 14.5	0.203
Alà dei Sardi	Pedrutocchis (*)	34.0 ± 24.0	16	47.4 ± 30.5	0.008
Orune	Cant. S. Efsio	67.4 ± 43.7	20	89.4 ± 59.2	0.044
Orune	Sas Tuppas	62.3 ± 37.8	10	77.7 ± 53.7	0.322
Nuoro	Maria Naspa	74.7 ± 4.7	7	126.6 ± 42	0.004

(*) Le 100 piante considerate non ricadono all'interno delle parcelle da 4.800 m².

(Goidanich,1957) e quindi con cortecce più spesse e abitabili dalle popolose società dei due formicidi.

Tutte le aree sughericole infestate dal formicida sono concentrate nella parte centrale e nord orientale della Sardegna e ricadono fra i 447 m s.l.m. di Tempio Pausania (località Parapinta) e i 781 di Orune (loc. Sas tuppas).

Le condizioni climatiche di queste località sono tipiche, secondo la classificazione fitoclimatica del Pavari (Pavari, 1935; De Philippis, 1937), della sottozona fredda del *Lauretum* di 2° tipo, con siccità estiva; esse hanno una media di precipitazioni annue maggiore o uguale a 800 mm e una temperatura media del mese più caldo di non oltre 24 °C (Dettori *et al.*, 2001). Come riportato da Arrigoni (1968), le stesse località hanno condizioni climatiche equivalenti a quelle definite da Thornthwaite per i climi umidi rientranti nei tipi da B1 a B3 (primo-terzo mesotermico). Anche Espalader *et al.* (2006a), che hanno utilizzato quest'ultima classificazione del clima, hanno constatato che in Catalogna la diffusione della specie è limitata alle zone sughericole con clima

umido e sub-umido (da B1 a B3 e C2). Tuttavia va segnalato che in località limitrofe a quelle infestate, quindi con le stesse condizioni climatiche, non è sempre stato possibile riscontrare il formicida, come nel caso delle due località di Cusseddu e Caniffa in comune di Tempio Pausania o di Fenazzu e Sas tuppas in comune di Orune. Si presume che la distribuzione molto circoscritta di *L. brunneus* sia condizionata oltre che da fattori climatici a più larga scala anche da altre caratteristiche stazionali come la vicinanza a corsi d'acqua (come nel caso di Caniffa) o la scarsa permeabilità del suolo che determina prolungati ristagni idrici (come nel caso di Sas tuppas) che favoriscono un tenore d'umidità dell'aria particolarmente elevato.

La gran parte delle sugherete non attaccate rientra nelle sottozone media e calda del *Lauretum* (Dettori *et al.*, 2001), quindi con condizioni più siccitose e calde, dimostrando così come il clima possa essere considerato un fattore limitante la distribuzione dei due simbionti, che paiono preferire anche in

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

Tab. 8 - Elenco delle 40 località (i numeri in neretto indicano le località dove si è rilevata la presenza di *L. brunneus*).

N.	Comune	Località	Altitudine (m s.l.m.)	Coordinate UTM	
				Est	Nord
1	Aggius	Abbafritta	436	507378	4532667
2	Aggius	Santa Degna	530	504935	4530792
3	Tempio Pausania	Cusseddu	441	511350	4529540
4	Tempio Pausania	Caniffa	451	511466	4529028
5	Tempio Pausania	Parapinta	447	511819	4528444
6	Calangianus	Puzzu di rana	524	516765	4528532
7	Calangianus	Venapiccina	541	517787	4527958
8	Bortigiadas	Conca manna	199	503475	4525311
9	Berchidda	Sutturu e Concas	215	509774	4514486
10	Berchidda	Sa Mudditta	219	508150	4513888
11	Alà dei Sardi	Madrone	510	532167	4500563
12	Alà dei Sardi	S'Enatu e su mele	590	530506	4498900
13	Alà dei Sardi	Sa tanca e s'ena	648	526685	4498021
14	Alà dei Sardi	Pedrutocchis	660	526428	4496509
15	Buddusò	Santa Reparata	623	523278	4495870
16	Buddusò	Tilibilche	787	525493	4491205
17	Buddusò	Sozzuighe	798	526811	4490698
18	Buddusò	Dispensa	770	528520	4489847
19	Buddusò	Sos Canales	754	527831	4489525
20	Putifigari	Faedda	270	455694	4488926
21	Villanova Monteleone	Sa Tanca de pottitu	321	455708	4486252
22	Villanova Monteleone	Lacianu	362	452354	4483943
23	Montresta	Turre	441	458318	4469985
24	Nughedu S. Nicolò	Badde de Mandras	693	502744	4487489
25	Bultei	Su preideru	750	504464	4485021
26	Burgos	Pedras rujas	812	497536	4477195
27	Orune	Fenazzu	799	527479	4474052
28	Orune	Sas tuppas	781	525878	4473923
29	Orune	Lusteddia	854	528491	4473418
30	Orune	Cant. S. Efisio	740	525679	4472962
31	Nuoro	Maria Naspà	729	525634	4472166
32	Nuoro	Sa fenargia	748	523865	4470367
33	Nuoro	Lardine	672	524282	4468466
34	Scano di Montiferro	S'alchimissa	481	467428	4455862
35	Mamoiada	Costa perdosa	528	523476	4454211
36	Abbasanta	Crastu de itumbaru	362	482665	4447188
37	Gesturi	Giara	584	500143	4399170
38	Fluminimaggiore	Conca moddizzi	257	454855	4362222
39	Iglesias	Bega sa carroccia	546	456400	4359700
40	Sinnai	Monte Crexia	629	533527	4348020

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna

Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",

Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",

Università degli Studi di Sassari

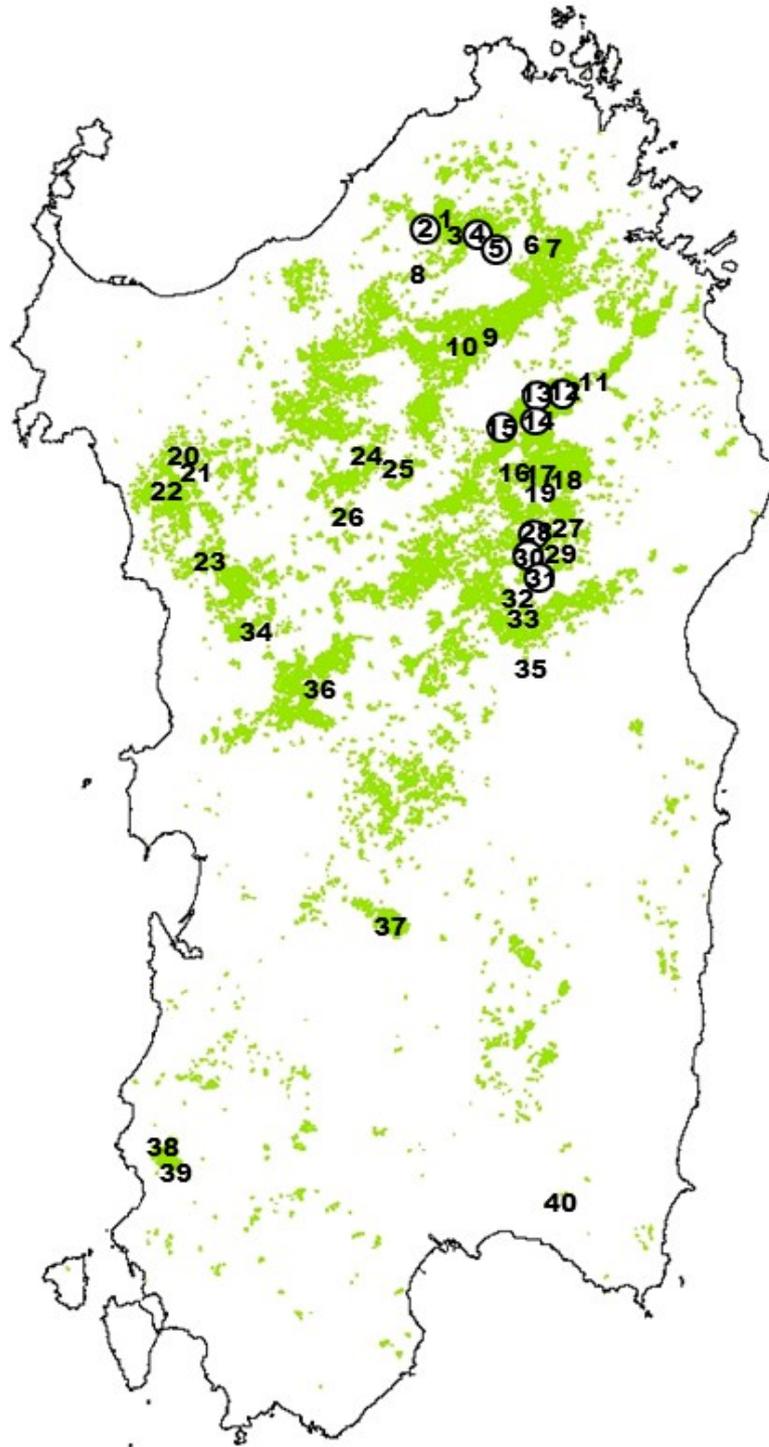


Figura 3 – Mappa della Sardegna con in verde la distribuzione delle sugherete; i numeri indicano la posizione delle località riportate in Tab. 8 e quelli cerchiati in nero mostrano le località dove è stato ritrovato *L. brunneus*.

Sardegna, come in Spagna (Espalader *et al.*, 2006a), le sugherete più fresche e umide.

4.3.2.4. Indagine sulla struttura sociale di *L. brunneus*

Durante i test di aggressività tra coppie di operaie di *L. brunneus*, in particolare quelle prelevate da sughere distanti 10 e 200 m, si è verificato un comportamento analogo a quello di esemplari collezionati sulla stessa sughera (livelli 0-2), come sintetizzato in Tab. 9, caratterizzato da frequenti esplorazioni antennali, plesiotropia e trofallassi.

Riguardo agli incontri tra esemplari raccolti in sughere distanti fra loro 30 km (prelevate da popolamenti vegetanti ad Alà dei Sardi e Orune), si è invece osservato un comportamento aggressivo (livello 3) in 26 dei 50 incontri effettuati. Infatti si è osservato il tipico movimento a scatto delle mascelle, che ha sostituito l'esplorazione antennale pressochè immediata come avviene fra le operaie di uno stesso nido. Solo durante 2 incontri, a tale atteggiamento aggressivo è seguito un combattimento vero e proprio (livello 4), dagli esiti mortali per una o tutte e due le contendenti.

Quest'ultimo livello di aggressività si è verificato in 12 dei 50 incontri tra operaie di *C. scutellaris* provenienti da sughere diverse della stessa località. Le operaie di *L. brunneus* hanno mostrato sottomissione nei confronti di quelle della notoriamente più aggressiva e dominante *C. scutellaris* (Carpintero *et al.*, 2005) in 5 incontri dei 25 effettuati, fuga ed indifferenza in 18, mentre in altri 2 si è assistito al combattimento degli esemplari.

In generale, *L. brunneus* ha dimostrato un basso livello di aggressività tra conspecifiche, comportamento tipico delle congeneri del gruppo *brunneus* anche se caratterizzate da differente struttura sociale (monodomini, polidomini, supercolonie) (Steiner *et al.*, 2004; Cremer *et al.*, 2008). Tuttavia per la specie in esame è nota, come riportato nel paragrafo 2., la polidomicità delle colonie mature e quindi questo comportamento di non aggressività depone a favore della oligoginia-poliginia delle sue colonie

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

(Seifert, 2007), che comporta in generale la libera commistione di individui appartenenti a nidi diversi senza il manifestarsi di aggressività territoriale (Cremer *et al.*, 2008).

Tab. 9 - Tipi di comportamento osservati durante i test di aggressività tra coppie di operaie, raccolte da sughere infestate vegetanti a distanze diverse (Livelli : 0 - 2 = comportamento non aggressivo; 3 - 4 = aggressivo (Steiner *et al.*, 2004)).

Distanza tra sughere dalle quali sono state raccolte le operaie	Livelli di aggressività:				
	0	1	2	3	4
<i>Lasius brunneus</i> :					
• stessa sughera	X	X	X		
• 10 m	X	X	X		
• 50 m	X	X	X		
• 200 m	X	X	X		
• 30 km	X	X	X	X	X
<i>Crematogaster scutellaris</i> :					
• 10 m	X		X	X	X
• 200 m	X	X	X	X	X
<i>L. brunneus</i> e <i>C. scutellaris</i> :					
distanze diverse			X	X	X

Questa organizzazione sociale è tipica di congeneri dai tratti pre-invasivi o invasivi, rispettivamente una specie simpatica di *L. turcicus* Santschi e *L. neglectus*, che permette di avvantaggiarsi dal cambiamento delle condizioni ambientali o nelle situazioni di disturbo antropico, quindi di adattarsi ad habitat diversi da quello originario sostituendo progressivamente almeno una parte delle specie native esistenti.

Proprio richiamandosi a meccanismi di tale tipo, Espalader *et al.* (2006a) sostengono che con il progressivo innalzamento delle temperature registrato negli ultimi 20-30 anni *L. brunneus* sia stata spinta ad infeudarsi nella quercia da sughero che, grazie alla spessa scorza suberosa, offre una

migliore abitabilità rispetto alle altre querce nella nuova situazione climatica. Ciò ha aumentato considerevolmente la sua presenza, e quindi la sua dannosità nelle sugherete, nelle quali era ritenuta non presente fino a una ventina di anni fa, quando in ambiente mediterraneo si considerava confinata alle fasce altimetriche più elevate proprie di altre specie arboree forestali, data la sua origine centroeuropea (Seifert, 1992).

5. CONCLUSIONI

I tre anni di attività di ricerca hanno permesso da un lato di approfondire le ricerche sulla mirmecofauna sarda, con attenzione particolare a quella vivente in un ecosistema forestale come la sughereta, dall'altro d'indagare a fondo l'associazione fra il formicide arboricolo *Lasius brunneus* e l'afide *Stomaphis quercus* suo trofobionte obbligato. L'insieme delle notizie acquisite su quest'ultimo filone d'indagine ha portato ad ampliare le conoscenze sull'entomofauna strettamente vivente sulla quercia da sughero e ad approfondire il comportamento dei due simbionti in ambiente mediterraneo, evidenziando come la loro diffusione sia strettamente dipendente dalle condizioni climatiche.

Le indagini sulla composizione della mirmecofauna hanno mostrato come in sughereta possano vivere specie arboricole caratteristiche delle foreste mediterranee o centroeuropee, rispettivamente *Crematogaster scutellaris* e *L. brunneus*, accanto ad altre generalmente più abbondanti nelle distese erbacee permanenti, nei campi coltivati o negli arbusteti a macchia mediterranea, come ad esempio *Camponotus aethiops*, *Messor capitatus* e *Plagiolepis pygmaea*. Questo dato conferma la grande diversità di microhabitat coesistenti in sughereta; infatti la trasparenza delle chiome di questa pianta permette al di sotto di esse lo sviluppo di arbusti ed erbe ai quali sono legate numerose altre specie animali che complessivamente rendono l'entomofauna di tali soprassuoli forestali particolarmente ricca. Infatti, con le trappole a caduta e con le raccolte dirette è stato possibile in un arco di tempo limitato reperire ben 25 specie di formicidi. Tra esse per la prima volta in Sardegna è stata collezionata *Plagiolepis xene* e confermata la presenza di *L. brunneus*.

Particolare cura è stata posta nel rilevare le specie che prevalentemente limitano la loro attività alle piante di sughera e per le quali possono risultare anche dannose, aprendo in esse i loro nidi e/o frequentandole assiduamente per approvvigionarsi della melata di afidi. Fra queste specie

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

la più abbondante è risultata *C. scutellaris* che in genere nidifica nel sughero grezzo e si rifornisce di melate frequentando le colonie dell'afide *Lachnus roboris* viventi sui giovani rami delle sughere. Altra specie osservata nidificare sulle sughere è *Camponotus vagus* che pratica l'apertura dei suoi nidi in piante senescenti e bottina anch'esso su *L. roboris*. Nel sughero gentile apre invece i suoi nidi *L. brunneus* che risulta così direttamente dannosa alla produzione principale offerta da questi soprassuoli. Esso è strettamente legato, come già detto, al suo trofobionte *S. quercus* vivente a carico dei tessuti floematici dei tronchi. Da quanto esposto emerge quindi come la sughera offra numerose nicchie ecologiche in grado di garantire la convivenza di specie diverse di formicidi e degli afidi loro simbiotici. Proprio le osservazioni particolari condotte sui trofobionti *L. brunneus* e *S. quercus* hanno permesso di arricchire le conoscenze sui loro cicli biologici, che si svolgono per larga parte dell'anno all'interno della corteccia della pianta ospite. Le operaie del formicide sono risultate attive durante tutto l'anno mentre le covate sono state osservate in primavera inoltrata e in estate. *S. quercus* è risultato compiere un olociclo monoico, per il cui svolgimento non può prescindere né dalle attenzioni delle operaie né dalla protezione offerta dal nido del formicide.

Questa trofobiosi, osservabile all'inizio della primavera quando parte degli afidi emergono sulle cortecce e vanno ad insediarsi al fondo delle fenditure del sughero, risulta facilmente osservabile date le dimensioni dell'afide e per la frenetica attività delle formiche bottinatrici-guardiane che li assistono costantemente. Essa meriterebbe di essere almeno in qualche area adeguatamente protetta e valorizzata sia sotto il profilo didattico che naturalistico dato che in altre aree geografiche (Inghilterra) l'afide è considerato specie rara da salvaguardare (Hopkins e Thacker, 1999).

Le indagini sulla diffusione di *L. brunneus*, e quindi anche del suo trofobionte, hanno dimostrato come la specie sia presente solamente in alcune sugherete della parte centrale e nord-orientale della Sardegna. Esse

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
Università degli Studi di Sassari

ricadono fra i 450 e i 780 m s.l.m. dove le condizioni climatiche sono tipiche, secondo la classificazione fitoclimatica del Pavari, della sottozona fredda del *Lauretum* di II tipo con siccità estiva. I rilievi sulla distribuzione delle piante infestate hanno dimostrato come esse siano in alcuni casi riuniti in *cluster* dal diametro variabile da 12 a circa 26 m, probabilmente per la limitata capacità di dispersione dell'afide simbionte. In altri casi invece si sono rinvenute sughere, soprattutto di grandi dimensioni, colonizzate dal formicide senza che le piante circostanti siano da esso attaccate, dimostrando che esse possono da sole fornire ospitalità alle numerose colonie dello stesso.

Le indagini condotte con i test di aggressività fra operaie, raccolte in località distanti anche decine di km, hanno in tutti i casi dimostrato trascurabili livelli di aggressività suggerendo quindi come il formicide possa ritenersi avere società polidomiche e dunque caratterizzate dalla libera commistione di individui appartenenti a nidi diversi. La sua dannosità si è rilevata molto più contenuta rispetto a quella nota per la Spagna, infatti al massimo le sue colonie sono risultate occupare il 20% delle piante in una stessa sughereta. Tuttavia, il danno causato alla produzione risulta comunque sensibile in quanto il sughero infestato non può essere commercializzato o viene destinato alla macina con consistente deprezzamento.

Una valutazione dell'effettiva dannosità del formicide nelle sugherete da esso infestate potrebbe suggerire anche l'ipotesi di ricorrere a interventi di contenimento della sua popolazione, dato che la sola decortica non assicura l'estinzione delle società. Tuttavia prove di lotta insetticida condotte in Spagna con l'applicazione di esche avvelenate si sono dimostrate inefficaci (Espalader *et al.*, 2006b). Ciò suggerisce l'opportunità di studiare tecniche di lotta integrata associando gli eventuali interventi insetticidi al momento della decortica, quando le colonie sono numericamente ridotte per l'asportazione di parte del nido e anche più esposte all'azione letale dei

principi attivi (come i borati di sodio, utilizzabili nel controllo biologico dei formicidi).

L'insieme delle ricerche condotte ha portato ad un significativo avanzamento delle conoscenze sull'entomofauna delle sugherete, evidenziando tra l'altro la presenza di specie dannose finora non rilevate in Sardegna nonostante diversi studiosi si siano dedicati ad investigarla. Ciò suggerisce per il futuro la prosecuzione delle indagini in tale ambito per completare il quadro dell'entomofauna vivente su tale specie arborea, che appare offrire una varietà di nicchie ecologiche molto ampia anche per la particolare struttura della corteccia.

6. BIBLIOGRAFIA

- Andersen A. N. (1990) – *The use of ant communities to evaluate change in Australian terrestrial ecosystem: an review and a recipe*. Proc. Soc. Aust., 16: 347-357.
- Andersen A. N. (1997) – *Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: a comparison with Australia*. J. Biogeogr., 24: 433-460.
- Antonova V., Penev L. (2006) – *Change in the zoogeographical structure of ants (Hymenoptera: Formicidae) caused by urban pressure in the Sofia region (Bulgaria)*. Myrmecologische Nachrichten, 8: 271-276.
- Arnan X., Cerdà X., Retana J. (2012) – *Distinctive life traits and distribution along environmental gradients of dominant and subordinate Mediterranean ant species*. Oecologia, DOI 10.1007/s00442-0122315-y.
- Arrigoni P. V., 1968 – *Fitoclimatologia della Sardegna*. Webbia, 23 (1): 100 pp.
- Azcárate F. M., Peco B. (2011) – *Abandonment of grazing in a mediterranean grassland area: consequences for ant assemblances*. Insect Conservation and Diversity. Doi: 10.1111/j. 1752-4598.2011.00165.x.
- Banks C. J. (1962) – *Effects of the ant, L. niger (L.), on insects preying on small populations of Aphis fabae Scop. On bean plants*. Ann. Appl. Entomol., 50: 669-679.
- Barbagallo S. (1985) - *Annotazioni faunistiche ed ecologiche sugli afidi della Sardegna (Homoptera Aphidoidea)*. Frustula Entomologica, nuova serie VII-VIII (XX-XXI): 423-463.
- Barbagallo S., Binazzi A. (1991) – *Gli afidi delle querce in Italia*. In: Atti del Convegno “Problematiche fitopatologiche del genere Quercus in Italia”, Firenze 19-20 novembre 1990, p. 142-157.
- Barbagallo S., Ortu S. (2009) – *Contributo alla conoscenza dell’afidofauna della Sardegna (Hemiptera Aphidoidea)*. Boll. Zool. Agr. Bachic., Ser. II, 41 (3): 181-206.
- Blackman R. L., Eastop V. F. (1994) - *Aphids on the world’s trees*. Cab International, 987 pp.
- Bernard F. (1968) – *Les Fourmis (Hymenoptera Formicidae). D’Europe occidentale et septentrionale*. Masson et Cie, 3: 407 pp.
- Bestelmeyer B. T., Wiens J. A. (1996) – *The effects of land use on the structure of ground-foraging ant communities in the Argentine Chaco*. Ecol. Appl., 6: 1225-1240.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l’afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
Tesi di dottorato in “Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari”,
Indirizzo: “Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo”,
Università degli Studi di Sassari

- Bestelmeyer B. T., Wiens J. A. (2001) – *Ant biodiversity in semiarid landscape mosaics: the consequences of grazing vs. natural heterogeneity*. *Ecological Applications*, 11(4): 1123-1140.
- Bolton B., Alpert G., Ward P. S., Naskrecki P. (2007) – *Bolton's catalogue of ants of the world: 1758-2005*. Cambridge, Mass., Harvard University Press, CD-ROM.
- Brown J. H., Reichman O. J., Davidson D. W. (1979) – *Granivory in desert ecosystems*. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 10: 201-207.
- Buckley R. C. (1987) – *Interactions Involving Plants, Homoptera, and Ants*. *Ann. Rev. Ec. Syst.*, 18: 111-135.
- Burgio G., Ferrari R., Boriani L. (1997) – *Il ruolo delle siepi nell'ecologia del campo coltivato: analisi della comunità dei Ditteri Sirfidi in aziende della Provincia di Bologna*. *Boll. Ist. Ent. "G. Grandi" Univ. Bologna*, 51:69-77.
- Camarda I., Valsecchi F. (2008) – *Alberi e arbusti spontanei della Sardegna*. Carlo Delfino Editore, Sassari, 524 pp.
- Cammel M. E., Way M. J., Paiva M. R. (1996) – *Diversity and structure of ant communities associated with oak, pine, eucalyptus and arable habitats in Portugal*. *Ins. Soc.*, 43: 37-46.
- Cao O. V., Luciano P. (2005) – *Severe infestations of Platypus cylindrus Fabricius (Coleoptera Platypodidae) in Sardinian cork oak forests*. *IOBC/wprs Bull.*, 28(8): 145-146.
- Carpintero S., Reyes-López J., Arias De Reyna L. (2005) - *Impact of Argentine ants (Linepitema humile) on an arboreal ant community in Doñana National Park, Spain*. *Biodiversity and Conservation*, 14: 151-163.
- Carpintero S. O., Reyes López J., Tinaut A. (2007) – *Estructura de la comunidad de formícidos (Hymenoptera, Formicidae) en un medio mediterráneo sabulícola (Parque Nacional de Doñana, Andalucía). Relacion con el tipo y complejidad de la vegetación*. *Boln. Assoc. Esp. Ent.*, 31(3-4): 51-73.
- Carpintero S., Reyes-López J. (2008) – *The role of competitive dominance in the invasive ability of the Argentine ant (Linepithema humile)*. *Biol. Invasions*, 10: 25-35.
- Casevitz-Weurlersse J. (1972) – *Habitats et comportement nidificateur de Crematogaster scutellaris Olivier (Hym. Formicidae)*. *Bull. Soc. ent. France*. 77 (1-2): 12-19.
- Casevitz-Weurlersse J. (1973) – *Sur la présence de Crematogaster scutellaris Olivier (Hymenoptera, Formicidae), dans les suberaies de*

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
 Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
 Università degli Studi di Sassari

- Sardegna*. Bull. Mus. Hist. Nat., 3^e sér, n° 119, Écologie générale 2: 45-63.
- Casevitz-Weurlersse J. (1981) – *Aspects de la faune du chene-liege* (*Quercus suber* L.) *lors d'une pullulation de Lymantria dispar* L. (*Lepidoptera: Lymantridae*) *et de Malacosoma neustria* L. (*Lepidoptera: Lasiocampidae*) *en Sardeigne*. Bull. Ecol., 12(4): 355-364.
- Castracani C., Mori A. (2006) – *The role of permanent grasslands on ant community structure: ants (Hymenoptera: Formicidae) as ecological indicators in the agro-ecosystems of the Taro River Regional Park (Italy)*. Myrmecological News, 9: 47-54.
- Castracani C., Grasso D. A., Fanfani A., Mori A. (2010) – *The ant fauna of Castelporziano Presidential Reserve (Rome, Italy) as a model for the analysis of ant community structure in relation to environmental variation in Mediterranean ecosystem*. Journ. Ins. Conserv., 14: 585-594.
- Cecconi G. (1925) – *Manuale di Entomologia Forestale*. Tipografia del Seminario (Padova). 677 pp.
- Cerdá X., Retana J., Cros S. (1997) - *Thermal disruption of transitive hierarchies in Mediterranean ant communities*. J. Animal. Ecol., 66:363–374.
- Cerdá X., Retana J., Manzaneda A. (1998) – *Thermal disruption of transitive hierarchies in Mediterranean ant communities*. Journal Animal Ecology, 66: 363-374.
- Cerdá X., Palacios R., Retana J. (2009) – *Ant Community Structure in citrus orchards in the Mediterranean Basin: Impoverishment as a consequence of habitat Homogeneity*. Environ. Entomol., 38(2): 317-324.
- Collingwood C. A., (1979) – *The Formicidae (Hymenoptera) of Fennoscavia and Denmark*. Fauna Entomol. Scand., 8: 1-174.
- Cuzick A. D., Edwards R., (1990) – *Spatial clustering for inhomogeneous populations*. J. Royal Statistical Soc. Series B, 52: 73-104.
- Cremer S., Ugelvig L. V, Drijfhout F. P., Schlick-Steiner B. C., Steiner M. F., Seifert B., Hughes D. P., Schulz A., Petersen K. S., Konrad H., Stauffer C., Kiran K., Espadaler X., d'Ettorre P., Aktaç N., Eilenberg J., Jones G. R. , Nash D. R., Pedersen J. S., Boomsma J. J. (2008) – *The Evolution of Invasiveness in Garden Ants*. PLoS ONE 3(12): e3838. doi:10.1371/journal.pone.0003838.
- De Philippis A. (1937) – *Classificazione e indici del clima, in rapporto alla vegetazione forestale italiana*. Nuovo Giornale Botanico Italiano, n. s., XLIV: 1-160.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
 Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
 Università degli Studi di Sassari

- Detrain C., Tasse O. (2000) – *Seed drops and caches by harvester ant *Messor barbarus*: do they contribute to seed dispersal in Mediterranean grasslands?*. *Naturwissenschaften*, 87: 373-376.
- Dettori S., Filigheddu M. R., Gutierrez M. (2001) – *La coltivazione della quercia da sughero*. Tipografia TAS (Tipografi Associati Sassari), Sassari: 140 pp.
- Dixon A. F. G., Kindlmann P., Leps J., Holman J. (1987) – *Why there are so few species of aphids, especially in the tropics*. *The American Naturalist*, 129:4.
- Dolek M., Freese-Hager A., Bussler H., Floren A., Liegl A., Schmidl J. (2009) – *Ants on oaks : effects of forest structure on species composition*. *J. Insect Conserv.*, 13: 367-375.
- Domisch T., Finér L., Neuvonen S., Niemela P., Risch A. C., Kilpeläinen J., Ohashi M., Jurgensen M. F. (2009) - *Foraging activity and dietary spectrum of wood ants (Formica rufa groups) and their role in nutrient fluxes in boreal forest*. *Ecological Entomology*, 34: 369-377.
- Espalader X., Nieves J. L. (1983) – *Hormigas (Hymenoptera, Formicidae) pobladoras de agallas abandonadas de Cinípidos (Hymenoptera, Cynipidae) sobre Quercus sp. en la península ibérica*. *Bol. Est. Cent. Ecol.*, 12(23): 89-93.
- Espalader X., Rojo M. (2002) – *Lasius brunneus, una formiga autòctona, plaga del suro*. *Full Informatiu*, 1: 1-2.
- Espalader X., Bernal V., Rojo M. (2006a) - *Lasius brunneus (Hymenoptera, Formicidae) una plaga del corcho en el NE de España: I. Caracterización de sus efectos y extensión de la misma*. *Bol. San. Veg. Plagas*, 32: 399-409.
- Espalader X., Bernal V., Rojo M. (2006b) - *Lasius brunneus (Hymenoptera, Formicidae) una plaga del corcho en el NE de España: II. Biología y pruebas de control*. *Bol. San. Veg. Plagas*.32 : 411-424.
- Espalader X., Bernal V. (2008) – *La formiga del suro, Lasius brunneus. Resultats de l'estudi i protocol d'actuació*. *Silvicultura*, 56 (2): 7-8.
- Estany-Tigerström D., Bas J. M., Pons P. (2010) – *Does Argentine ant invasion affect prey availability for foliage-gleaning birds?* *Biol. Invasions*, 12: 827-839.
- Franceschini A., Nieddu S., Deriu I., Linaldeddu B. T., Ruiu P. A. (2006) – *Incidenza del deperimento della quercia da sughero e comunità fungine endofitiche in sugherete della Sardegna centrale*. «Ricerca e Sughericoltura - Risultati di un triennio di indagini nelle sugherete della Provincia di Nuoro», a cura di P. Luciano e A. Franceschini. Composita, Sassari, p. 67-76.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
 Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
 Università degli Studi di Sassari

- García F., Espalader X., Echave P., Vila R. (2010) – *Hormigas (Hymenoptera, Formicidae) de los acantilados de l’Avec de Taveret (Barcelona, Península Ibérica)*. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, 47: 363-367.
- Giraud T., Pedersen J. S., Keller L. (2002) – *Evolution of supercolonies : The Argentine ants of southern Europe*. Proc. Natl., Acad. Sci., 99: 6075-6079.
- Goidanich A. (1957) – Le migrazioni coatte mirmecogene dello *Stomaphis quercus* Linnaeus, afide olociclico monoico omotopo. *Boll. Ist. Ent. Univ. Bologna*, 23: 93-131.
- Gómez C., Casellas D., Oliveras J., Bas J. M. (2003) – *Structure of ground-foraging ant assemblages in relation to land-use change in the northwestern Mediterranean region*. Biodivers. Cons., 12 : 2135-2146.
- Gómez C., Oliveras J. (2003) – *Can the Argentine ant (Linepithema humile Mayr) replace native ant in myrmecochory?*. Acta Oecologica, 24 : 47-53.
- Gorb S. N., Gorb E. V. (1999) – *Effects of ant species composition on seed removal in deciduous forest in eastern Europe*. Oikos, 84(1): 110-118.
- Heie O. E., Brill E. J. (1995) – *The aphidoidea (Hemiptera) of Fennoscavia and Denmark. Family Aphididae: part 3 of subfamily Aphidinae, and family Lachnidae*. Fauna Entomol. Scand., 31 (6): 107-117.
- Hollander M., Wolfe D. A. (1999) – *Nonparametric Statistical Methods. 2nd Edition*. Wiley, New York, 787 pp.
- Hölldobler B., Wilson E. O. (1990) – *The ants*. Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- Hopkins G. W., Thacker J. L. (1999) – *Ants and habitat specificity in aphids*. J. Insect Conserv., 3: 25-31.
- Jaffe C., Horchler P., Verhaagh, Gomez C., Sievert R., Jaffe R., Morawetz W. (2007) – *Comparing the ant fauna in a tropical and a temperate forest canopy*. Ecotropics, 20(2): 74-81.
- James D. G., Stevens M. M., Faulder R. J. (1999) – *Ant foraging reduces the abundance of beneficial and incidental arthropods in citrus canopies*. Biological Control, 14: 121-126.
- Johnson B. (1959) – *Ants and form reversal in aphids*. Nature, London, 184: 740 pp.
- Kabrick J. M., Dey D. C., Jensen R. G., Wallendorf M. (2008) – *The role of environmental factors in oak decline and mortality in the Ozark highlands*. Forest Ecology and Management, 225: 1409-1417.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
 Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
 Università degli Studi di Sassari

- Kleinjan J. E., Mittler T. E. (1975) – *A chemical influence of ants in wing development in aphids*. Entomol. Exp. Appl., 18: 384–388.
- Kulldorff M., Nagarwalla N. (1995) – *Spatial disease cluster: detection and inference*. Statistics in Medicine 14: 799-810.
- Kulldorff M. (1997) – *A spatial scan statistic, Communications in Statistics. Theory and Methods*, 26: 1481-1496.
- Kulldorff M. (2006) – *Test of spatial randomness adjusted for an inhomogeneity: a general framework*. Journal of the American Statistical Association, 101: 1289-1305.
- Kumschick S., Schmidt-Entling M. H., Bacher S., Hickler T., Espalader X., Nentwig W. (2009) – *Determinants of local ant (Hymenoptera: Formicidae) species richness and activity density across Europe*. Ecological Entomology, 34: 748-754.
- Kunkel H. (1973) – *Die kotgabe der Aphiden (Aphidina, Hemiptera) unter Einfluss von Ameisen*. Bonn. Zool. Beitr., 24: 105-121.
- Kunkel H., Kloft W. J., Fossel A. (1985) – *Die Honigtau-Erzeuger des Waldes*. In Waldtracht und Waldhoning in der Imkerei, ed. WJ Kloft, H Kunkel: 48-265.
- Lehmann E. L., Romano J. P. (2005) – *Testing Statistical Hypotheses. 3rd Edition*. Springer. New York, 784 pp.
- Longino J. T., Coddington J., Colwell R. K. (2002) – *The ant fauna of a tropical rain forest: estimating species three different way*. Ecology, 83(3): 689-702.
- Lorenz H., Scheurer S. (1998) – *Biology and generation-order of Stomaphis quercus (Lachnidae) living on Betula pendula near Berlin, Germany*. In: Aphids in natural and managed ecosystem (Nieto J. M. e Dixon A.F.G., eds.), Universidad de Léon, Spain: 243-250.
- Luciano P., Delrio G., Prota R., 1982 – *I defogliatori delle foreste a Quercus suber L.* Studi Sass., sez. III, Ann. Fac. Agr. Univ. Sassari, 29: 321-365.
- Luciano P., Lentini A., Cao O. V. (2008) – *Gravi danni da Coroebus florentinus in sugherete sarde*. Notiziario sulla protezione delle piante, 21: 215-217.
- Luciano P., Prota R. (1983) – *Indagini su una infestazione di Lymantria dispar L. in un comprensorio forestale della Sardegna*. Atti XIII Congr. Naz. It. Ent. 1983: 383-390.
- Luciano P., Prota R. (1986) – *La dinamica di popolazione di Lymantria dispar L. in Sardegna. III. Indicatori biologici della gradazione*. Frustula entomologica, VII-VIII (XX-XXI), 1984-85:613-630.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
 Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
 Università degli Studi di Sassari

- Luciano P., Roversi P. F. (2001) – *Fillofagi delle querce in Italia*. Ed. Poddighe, Sassari, 144 pp.
- Marlier J. F., Schatz B., de Biseau J. C. (2002) - *Influence de Crematogaster scutellaris (Hymenoptera: Myrmicinae) sur deux communautés de fourmis*. Colloque UIEIS, Versailles: 68-72.
- Martelli M., Arru G. M. (1957) – *Ricerche preliminari sull'entomofauna della Quercia da sughero ("Quercus suber" L.) in Sardegna*. Boll. Zool. Agr. Bachic., Serie II, 1: 5-49.
- Masson P. (1989) – *Sistemes délèvege méditerranéennes. Ponència presentada a «I Conferència d'estudiosos del Suro»*. Escola de Capacitació Agrària Forestal. Santa Coloma de Farners (Girona). 7 d'Abril del 1989.
- Matsuura K., Yashiro T. (2006) – *Aphid egg protection by ants: a novel aspect of the mutualism between the tree-feeding aphid Stomaphis hirukawai and its attendant ant Lasius productus*. Naturwissenschaften, 93: 506-510.
- Melia A., Cabezuelo P., Fdez. De Córdoba J. (1993) – *Incidencia de pulgones (Homoptera, Aphididae) en encinares de Córdoba*. Bol. San. Veg. Plagas, 19: 355-360.
- Menzel F., Woiwod M., Blüthgen N., Schmitt T. (2010) - *Behavioural and chemical mechanisms behind a Mediterranean ant-ant association*. Ecological Entomology, DOI: 10.1111/j.1365-2311.2010.01231.x.
- Nixon G. E. J. (1951) – *The Association of Ants with Aphids and Coccids*. London: Commonwealth Inst. Entomol. 36 pp.
- Offenberg J. (2001) – *Balancing between mutualism and exploitation: the symbiotic interaction between Lasius ants and aphids*. Behav. Ecol. Sociobiol., 49: 304-10.
- Olson, D. M. (1991) - *A comparison of the efficacy of the litter sifting and pitfall traps for sampling leaf litter ants (Hymenoptera: Formicidae) in a tropical wet forest, Costa Rica*. Biotropica 23: 166-172.
- Ottonetti L., Tucci L., Chelazzi G., Santini G. (2008) – *Stable isotopes analysis to assess the trophic role of ants in a Mediterranean agroecosystem*. Agricultural and Forest Entomology, 10: 29-36.
- Pavan M. (1981) - *Utilità delle formiche del gruppo Formica rufa*. Ministero Agricoltura e Foreste, Roma, Collana Verde , 57: 1-99.
- Pavari A. (1935) – *Sulle condizioni di vegetazione della sughera*. Atti Conv. Naz. Sughero, Sassari, 1934: 3-30.

- Peck S. L., MacQuaid B., Campbell B. (1998) – *Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition*. Environmental Entomology, 27: 1102- 1110.
- Prota R. (1962) – *Contributi alla conoscenza dell'entomofauna della Quercia da sughero (Quercus suber L.). I. Sul Lepidottero Eliozelide galligeno Heliozela stanneella F. v. R.* Studi Sassaesi, Sez. III – Ann. Fac. Agr., 9 (2): 345-429.
- Prota R. (1963) – *Contributi alla conoscenza dell'entomofauna della Quercia da sughero (Quercus suber L.). II. Note morfologiche ed etologiche su Auletobius politus (Serv.) (Coleoptera Curculionoidea)*. Mem. Staz. Sper. Sughero, Tempio Pausania, 5: 46 pp..
- Prota R. (1970) – *Contributi alla conoscenza dell'entomofauna della Quercia da sughero (Quercus suber L.). VI. Osservazioni su alcuni lepidotteri dannosi alla Quercia da sughero (Quercus suber L.) in Sardegna*. Mem. Staz. Sper. Sughero, Tempio Pausania, 30: 80 pp.
- Prota R. (1973) – *Contributi alla conoscenza dell'entomofauna della Quercia da sughero (Quercus suber L.). VII. Indagini sulla composizione e consistenza della lepidotterofauna di una sughereta e sul dinamismo delle principali specie nocive*. Mem. Staz. Sper. Sughero, Tempio Pausania, 35: 130 pp.
- Prota R., Floris I., Lentini A., Luciano P. (1991) – *Aspetti entomologici della quercia da sughero e prospettive di protezione in Sardegna*. Atti del Convegno “Problematiche fitopatologiche del genere *Quercus* in Italia”, Firenze 19-20 novembre: 284-301.
- Rigato F., Toni I. (2011) – *21. Hymenoptera, FORMICIDAE*. Short notes, Conservazione Habitat Invertebrati, 5: 819-882.
- Roberti D. (1962) – *I fattori determinanti la comparsa delle forme alate negli afidi*. Atti Acc. Naz. It. Ent., 9: 21-30.
- Romero H., Jaffe K. (1989) – *On methods for samplings of Formicidae in savannahs*. Biotropica, 21: 348-352.
- Sakata H. (1995) – *Density-Dependent Predation of the Ant Lasius niger (Hymenoptera: Formicidae) on Two Attended Aphids Lachnus tropicalis and Myzocallis kuricola (Homoptera: Aphididae)*. Res. Popul. Ecol., 37(2): 159-164.
- Santini G., Ramsay P. M., Tucci L., Ottonetti I., Frizzi F. (2011) – *Spatial patterns of the ant Crematogaster scutellaris in a model ecosystem*. Ecological Entomology, 36: 625-634.
- Schultz R. (2000) – *In search of ant ancestors*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97 (26): 14028-14029.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in “Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari”,
 Indirizzo: “Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo”,
 Università degli Studi di Sassari

- Seifert B. (1992) - *Taxonomic revision of the palaeartic members of the ant subgenus Lasius s. str. (Hymenoptera, Formicidae)*. Abh. Ber. Naturkundemus. Gorlitz, 66 (5):1-67.4
- Seifert B. (2007) – *Die Ameisen Mittel- und Nordeuropas*. Lutra, Klitten. 368 pp.
- Sommer F. (1984) – *Modalités de repeuplement en fourmis après incendie dans différentes formations végétales méditerranéennes*. A: R. Prodon et al., *Modalités de cicatrization des écosystèmes après incendie: Evolution de la macro et microfauna en fonction de la régénération de la végétation*. Rapport Ministère de l'Environnement. pp 97-114.
- Soria F. J., Villagrán M., Ocete M. E. (1994a) – *Estudio del comportamiento alimentario de Crematogaster scutellaris Oliv. (Hym. Formicidae) en tres alcornoques del SW español*. Bol. San. Veg. Plagas, 20: 637-642.
- Soria F. J., Villagran M., del Tio R., Ocete M. E. (1994b): *Estudios prospectivos del los principales perforadores del alcornoque en la Sierra Norte de Sevilla*. Bol. San. Veg. Plagas, 3: 643651.
- Stadler B, Dixon F. G. (2005) – *Ecology and Evolution of Aphid-Ant Interactions*. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., 36: 345-72.
- Steiner F. M., Schlick-Steiner B. C., Schödl S., Espalader X., Seifert B., Christian E., Stauffer C. (2004) – *Phylogeny and bionomics of Lasius austriacus (Hymenoptera, Formicidae)*. Insect. Soc, 51: 24-29.
- Stukalyuk S. V., Radchenko V. G. (2011) – *Structure of Multi-Species Ant Assemblages (Hymenoptera, Formicidae) in Mountain Crimea*. Entomological Review, 91(1): 15-36.
- Suiter D., Bennet G. (1999) – *Inspection: the key to successful carpenter ant control*. Pest Cont. Tech., 27: 68-70.
- Suiter D. R. (2003) – *Biology and management of carpenter ants*. University of Georgia Cooperative Extension Service (CAES) Bulletin, 1225: 8 pp.
- Suñer D., Pons P. (1989) – *Els formícids en l'ecologia de les suredes nord-mediterrànies*. Scientia Gerundensis, 15: 205-210.
- Suñer D., Abós L. (1992) – *Determination of the incidence of Crematogaster scutellaris (Olivier, 1791) on the cork oak forest in North-east Iberian area*. Scientia Gerundensis, 18: 223-233.
- Takada H. (2008) – *Life cycles of three Stomaphis species (Homoptera: Aphididae) observed in Kyoto, Japan: possible host alternation of S. japonica*. Entomological Science, 11: 341-348.
- Trager J. C. (1998) – *An introduction to ants (Formicidae) of tallgrass prairie*. Praire Journal, 18: 4-8.

Achille LOI

Osservazioni sulla mirmecofauna e l'afidofauna della quercia da sughero in Sardegna
 Tesi di dottorato in "Scienze e Biotecnologie dei Sistemi agrari e forestali e delle produzioni alimentari",
 Indirizzo: "Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo",
 Università degli Studi di Sassari

- Tremblay E. (1995) – *Entomologia Applicata*. Liguori Editore, 2(1): 407 pp.
- Urbaneja A., Garcia-Mari F., Tortosa D., Navarro C., Vanaclocha P., Castanera, P. (2006) - *Influence of Ground Predators on the Survival of the Mediterranean Fruit Fly Pupae, Ceratitis capitata, in Spanish Citrus Orchards*. *BioControl*, 51: 611-626.
- Verdinelli M., Sassu A., Molinu A., Fois X. (2007) – *An updated list of sardinias ants (Hymenoptera Formicidae)*. *Redia*, XC: 61-66.
- Verdinelli M., Loi A., Luciano P. (2012) - *Ant species noxious to cork oak in Sardinia*. *Integrated Protection in Oak forests*. IOBC/wprs Bulletin, 76: 249-252.
- Villagran M., Ocete M. E. (1990) – *Datos preliminares sobre la distribucion del nidos de Crematogaster scutellaris Oliv., 1789 (Hym. Formicidae) en alcornocales de Andalucia Occidental. Relacion con el perimetro del tronco*. *Bol. San. Veg. Plagas*, 16(1): 151-157.
- Villemant C., Andrei-Ruiz M. C. (1999) – *Life-cycles and biological features of eggs predators of Lymantria dispar (Lepidoptera: Lymantriidae) in the Mamora cork oak forest, Morocco*. *European Journal of Entomology*, 96(1): 29-36.
- Vörös e Gallé (2002) - *Ants (Hymenoptera: Formicidae) as primary pests in Hungary: Recent observations*. *Tiscia* 33: 31-35.
- Way M.J., Smith P.M., Potter C. (1954) - *Studies on the bean aphid Aphis fabae Scop., and its control on field beans*. *Ann. Appl. Biol.*, 41: 117-131.
- Way M. J., Khoo K. C. (1992) – *Role of ants in pest management*. *Ann. Rev. Entomol.*, 37:479-503.
- Wheeler W. M. (1960) – *Ants*. Columbia University Press. 663 pp.
- Wilson O. E. (1955) – *A monographic revision of the ant genus Lasius*. *Bull. Museum Comparative Zool.*, 113 (1): 1-201.