



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Doctoral Course

Landscape-Environmental Protection and Optimization of Agricultural Food Products

Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali

AGR/05 FOREST MANAGEMENT AND SILVICULTURE

AGR/11 GENERAL AND APPLIED ENTOMOLOGY

Monitoraggio e valutazione del danno degli insetti defogliatori su diverse specie di *Quercus* in Sicilia

IL DOTTORE

Angela Cannizzaro

IL COORDINATORE

Prof. Vincenzo Bagarello

IL TUTOR

Prof. Tommaso La Mantia

CO TUTORS

Prof. Bruno Massa

Prof.ssa Gabriella Lo Verde

INDICE

ABSTRACT	pag. 1
1. INTRODUZIONE	pag. 3
2. SCOPI DELLA RICERCA	pag. 6
3. AREE DI STUDIO	pag. 7
3.1 DESCRIZIONE GENERALE	pag. 7
3.2 PIANO SPERIMENTALE	pag. 10
4. STIMA DELLA DENSITÀ DI POPOLAZIONE DEL LEPIDOTTERO DEFOGLIATORE <i>TORTRIX VIRIDANA (L.)</i>	pag. 15
4.1 PREMESSA	pag. 15
4.2 MATERIALI E METODI	pag. 16
4.3 RISULTATI E DISCUSSIONE	pag. 19
4.3.1 INFESTAZIONE COMPLESSIVA NELLE STAZIONI DI CAMPIONAMENTO	pag. 19
4.3.2 INFESTAZIONE RILEVATA A FICUZZA SULLE DIVERSE SPECIE DI QUERCIA	pag. 22
5. VALUTAZIONE VISIVA DELLA TRASPARENZA DELLA CHIOMA E STATO DI DEPERIMENTO DEI POPOLAMENTI	pag. 25
5.1 PREMESSA	pag. 25
5.2 MATERIALI E METODI	pag. 28
5.3 RISULTATI E DISCUSSIONE	pag. 33
6. ANALISI DEL DANNO FOGLIARE	pag. 38
6.1 PREMESSA	pag. 38
6.2 MATERIALI E METODI	pag. 38
6.3 RISULTATI E DISCUSSIONE	pag. 39
7. VALUTAZIONE DELLA TRASPARENZA DELLA CHIOMA CON <i>REMOTE SENSING</i>	pag. 41
7.1 PREMESSA	pag. 41
7.2 MATERIALI E METODI	pag. 42
7.3 RISULTATI E DISCUSSIONE	pag. 43
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	pag. 49
RINGRAZIAMENTI	pag. 53
BIBLIOGRAFIA	pag. 54
APPENDICE	pag. 61

ABSTRACT

Most of the insects feeding on oaks are usually ‘in balance’ with their host trees, causing occasional damage. When severe defoliations regularly occur, oak trees vulnerability to the complex of factors causing the overall decline syndrome can increase. Assessing canopy damage due to defoliating insects through the usually adopted visual methods is quite difficult, requiring highly experienced operators and a long time spent to collect field data.

The present research has been carried out to investigate the different susceptibility of Sicilian oak species to defoliating insect attacks, in particular the oak moth *Tortrix viridana* (L.) (Lepidoptera Tortricidae), with the aim to assess the relationship among infestation, crown transparency and the health vegetation status (oak decline). The study was carried out in two of the main oak woodlands of western Sicily in the years 2015-2017: “Bosco di Ficuzza” (Palermo province), involving oak species of the *Quercus* section (*Quercus leptobalanos* Guss. and *Quercus virgiliana* (Ten.) Ten.) and of the *Cerris* section (*Quercus gussonei* (Borzi) Brullo and *Quercus trojana* subsp. *trojana* Webb) and “Monte Cammarata” (Agrigento province), involving *Q. virgiliana*. The research was developed following some different main topics. In the two study areas 15 sampling plots were considered (12 at Ficuzza and 3 at Mt. Cammarata). In each plot 20-30 oak trees were randomly selected and used for samplings of egg masses and damaged leaves and for transparency and health status recording.

The first research topic was focused on monitoring the population of *T. viridana* through recording the egg masses number on the four *Quercus* species and correlating them to the characteristics of the oak population. The sampling plan of *T. viridana* egg masses in the study areas involved branches collected from different oak species and their examination in the laboratory. The two Sicilian species belonging to the *Quercus* section resulted more susceptible to *T. viridana* infestation, with a mean number of egg masses significantly higher than the other two species. Moreover, the effect of habitat structure in terms of coexistence of different oak species resulted significant too, as both *Q. leptobalanos* and *Q. virgiliana* were less infested when *Q. gussonei* was present in the same plot.

Furthermore, different visual methods to record in the field the defoliation damage have been considered: crown transparency and vegetation state of the studied oak woods. In the first case, the transparency was recorded using a standardized method, whereas health status of examined trees was assessed recording crown transparency, cancer and injury occurrence in the tree trunk. The two survey methods allowed calculating a transparency index and a damage index, respectively. The two indexes showed to be significantly correlated between them and linked to oviposition.

Moreover, the leaf damage was investigated, through the collection of leaf samples, which were subsequently examined in the laboratory. Leaves were scanned and digital analysis of leaf images was carried out to measure the total leaf surface and the portion of the surface damaged by the trophic activity of the insect. No differences among oak species and sampling plots were found in the number and surface of damaged leaves and in the distribution of leaves in size classes, probably due to the low infestation levels recorded in the study years.

To explore the potential of the medium resolution data to evaluate the crown damage caused by defoliating insects and to classify the infested areas, a spectral vegetation index, namely Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), was applied using the Landsat 8 satellite images. In general, NDVI values showed low differences among the years, probably due to the low infestation level, to the potential interference of lower part of trees crown and of brushwood vegetation or to an insufficient sensibility of the used satellite images in detecting low differences in the vegetation conditions. The trend of the NDVI values in the three years resulted consistent with oviposition, transparency and damage indexes in most of sampling plot.

Finally, the *T. viridana* population density was compared with the damage / transparency indexes obtained with different methods, in order to identify simplified and efficient procedures to investigate the effects of infestations on the oaks populations. Results show that mapping crown transparency using satellite imagery analysis may represent a useful method to evaluate crown transparency, but standardized visual monitoring still remains essential to validate the results obtained by remote sensing, especially in heterogeneous woods like the Mediterranean deciduous oak ones.

1. INTRODUZIONE

Lo studio degli insetti defogliatori rappresenta una opportunità per approfondire la comprensione dei rapporti tra le diverse specie forestali e gli organismi ad esse associati parte integrante dell'equilibrio degli ecosistemi forestali, direttamente minacciati da fattori di origine naturale (declino delle querce, cambiamento climatico, etc.) o antropica (inquinamento, gestione selvicolturale inadeguata, ecc.).

In particolare, le querce mediterranee decidue sono la principale fonte alimentare dei bruchi dei Lepidotteri fillofagi, che rappresentano il gruppo più numeroso tra le popolazioni di insetti defogliatori; *Lymantria dispar* (L.), *Thaumetopoea processionea* (L.), *Malacosoma neustria* (L.), *Euproctis chryorrhoea* (L.), ed in particolare il Tortricidae *Tortrix viridana* (L.), sono legate esclusivamente o parzialmente al genere *Quercus* nella regione paleartica (Luciano e Roversi, 2001). I danni causati dai defogliatori possono essere aumentati dal fatto che sulla stessa pianta si possano succedere infestazioni di specie fitofaghe con sviluppo temporale diverso (Luciano *et al.*, 1982, Luciano e Roversi, 2001). Le fluttuazioni delle popolazioni dipendono da numerosi fattori abiotici e biotici, compreso il clima, che agisce sia sulle fasi fenologiche delle piante sia sui cicli biologici dei fitofagi e dei loro nemici naturali quali gli insetti predatori e parassitoidi o gli uccelli (Luciano e Roversi, 2001). La defogliazione causata dalla tortrice e dagli altri lepidotteri fillofagi altera le condizioni fisiologiche dell'intera pianta riducendo la biomassa fotosintetica, influenzando la formazione degli organi riproduttivi e interferendo sulla traspirazione e sulla distribuzione degli elaborati fotosintetici. La pianta reagisce alla defogliazione con una nuova emissione di foglie di dimensioni ridotte, tanto che la massa fogliare originaria viene ricostituita solo gradualmente (Cambini, 1971). La totale mancanza di foglie provoca sia una riduzione dell'accrescimento legnoso, arrecando notevoli danni economici; nelle sugherete sarde le perdite di produzione di sughero raggiungono anche il 60% negli anni di defogliazione totale e il 32% nell'anno successivo (Androic, 1978; Fratian, 1978; Luciano *et al.*, 1982, 2003).

La defogliazione totale e ripetuta, in coincidenza con altri fattori ecologici sfavorevoli (clima, condizioni di umidità del suolo, funghi patogeni) può portare ad un deperimento massiccio dei boschi (Androic, 1978; Bottacci, 1996), contribuendo alla "sindrome del deperimento delle querce" (*Oak Decline*). I sintomi più comuni di tale complessa sindrome sono: notevole riduzione della vitalità delle chiome, caduta anomala di rami e foglie, lacerazioni longitudinali della corteccia con essudati mucillaginosi brunastri. Oltre alla riduzione della produzione primaria si registra quindi un cambiamento del ruolo ecologico delle querce nei popolamenti interessati da deperimento con conseguenti modificazioni nella composizione floristica,

faunistica e anche microbiologica del suolo; inoltre una pianta debilitata a causa di fattori abiotici è più suscettibile all'attacco degli insetti, e, di contro, lo stress derivante dalle infestazioni può attivare la virulenza di funghi che normalmente vivono nella pianta come simbionti (Franklin *et al.*, 1987).

Il rilevamento visivo della trasparenza della chioma è a oggi una delle tecniche più consolidate per la valutazione delle condizioni sanitarie di un popolamento forestale. La trasparenza della chioma è determinata dalla quantità di luce che la attraversa (Ferretti, 1997), sebbene possa essere considerata una stima indiretta della biomassa fogliare (Horntvedt, 1993); essa è influenzata da diversi fattori: perdita di foglie dovuta a ramificazioni laterali ridotte o non sviluppate, tipo fogliare e tasso di accrescimento, riduzione della superficie fogliare per malformazioni, infestazioni etc., variabili ambientali (Innes e Boswell, 1991; Innes e Whittaker, 1993; Ferretti, 1997). Diversi autori hanno riportato una serie di problemi riscontrati nella valutazione visiva della trasparenza della chioma (Innes, 1988; Ferretti, 1997), tra cui i più significativi sono: scarsa definizione (valutazione poco standardizzata e scarsa comparabilità spaziale e temporale) (Ferretti *et al.*, 1995); soggettività (dovuta alla comparazione visiva con la pianta adottata come riferimento) (Ferretti, 1997) e variazione di giudizio tra gli osservatori (Ferretti *et al.*, 1998); non specificità (dovuta a più cause concorrenti, es. fattori biotici ed abiotici e caratteristiche intrinseche del sito e della pianta) (Hartmann, 1988; Ferretti *et al.*, 1995), relazione non chiara con le misure oggettive dello stato degli alberi (Ferretti, 1998), difficile analisi dei dati (utilizzo di limitate classi di trasparenza e di danno espresse in percentuale) (Ferretti, 1997) e, non ultimo, notevole dispendio di tempo. Frequentemente, inoltre, si osservano rapidi cambiamenti di trasparenza sugli alberi esaminati, determinati dalla capacità di alcune specie di produrre nuove foglie a seguito del danno subito alla chioma. Un'interpretazione più appropriata delle condizioni degli alberi necessiterebbe di informazioni aggiuntive rispetto ai soli dati della trasparenza visiva (Bussotti *et al.*, 1995; Ferretti *et al.*, 1999), informazioni che possono essere ottenute confrontando l'analisi dei dati spettrali provenienti da *remote sensing* con lo stato della vegetazione registrato in campo.

Alla base dell'uso del telerilevamento per l'analisi della vegetazione, vi è la curva caratteristica di riflettanza spettrale della vegetazione, definita come firma spettrale della vegetazione. La curva di riflettanza varia in funzione del tipo di vegetazione, della sua densità, dello stadio fenologico in cui si trovano le specie vegetali e dagli stress (idrico, fitosanitario, ecc.). L'andamento della curva di riflettanza della vegetazione è regolato dalle diverse lunghezze d'onda, dal contenuto e dal tipo di pigmenti fogliari, dalla struttura interna della foglia e dal contenuto d'acqua. In particolare, la struttura fogliare è responsabile della riflessione molto

elevata nelle bande dell'infrarosso vicino (0.7 - 1.35 μm); questo comportamento fornisce informazioni dirette sullo stato del mesofillo, che è più o meno sviluppato a seconda dello stato di salute della pianta, della varietà specifica e dello stadio fenologico.

L'insetto defogliatore su cui si è concentrata la ricerca, *T. viridana*, è una specie univoltina (Du Merle, 1983; Hunter, 1990), diffusa in tutta Europa, Asia Minore e Marocco (Luciano *et al.*, 1982). Lo sfarfallamento degli adulti si verifica in tarda primavera e all'inizio dell'estate. Le uova, di forma lenticolare (\varnothing 0,7-0,8 mm), vengono deposte parzialmente sovrapposte, a coppie, sulla corteccia dei giovani rametti nella parte alta della chioma. Le femmine ricoprono accuratamente le ovature con uno strato protettivo particolarmente mimetico, costituito da secreti ghiandolari e detriti vegetali (Luciano e Roversi, 2001). Le larve di prima età, in primavera, attaccano le gemme in fase di apertura, introducendosi al loro interno a partire dal descollamento delle perule, e cominciano ad alimentarsi dei germogli teneri. Le larve mature finiscono la stagione pabulare sul fogliame espanso (Du Merle, 1988) e, con il progredire dello sviluppo, si riparano ripiegando verso la nervatura centrale i margini delle foglie ormai completamente distese, di cui erodono più o meno ampiamente il lembo. Le larve raggiungono la maturità in circa un mese, quindi formano, dentro un bozzolo sericeo bianco tessuto nella foglia accartocciata, una crisalide di colore scuro da cui, dopo 12-16 giorni, sfarfalla l'adulto (Luciano e Roversi, 2001). La larva a maturità è lunga 12-15 mm, di colore variabile dal grigio al verde pallido, presenta dorsalmente 4 tubercoli neri per segmento e capo nero o castano. Le farfalle, di colore variabile dal verde chiaro al giallo paglierino, volano prevalentemente nelle ore pomeridiane e possono accoppiarsi lo stesso giorno dello sfarfallamento (Silvestri, 1923).

Questo lepidottero è un oligofago stretto perché la sua gamma di ospiti è limitata al genere *Quercus* (Du Merle, 1983; 1988; Hunter, 1990). Diversi ricercatori hanno studiato la tortrice in varie parti del suo areale geografico, riferendo che su tutte le specie quercine indagate la schiusa delle uova coincide con il germogliamento (Luciano *et al.*, 1982; Du Merle, 1983, 1988; Hunter, 1990; Serra *et al.*, 2002, 2007). Nella fase iniziale di germogliamento delle piante ospiti la tortrice è quindi potenzialmente più dannosa rispetto alle altre specie di defogliatori, come ad esempio *L. dispar*, che inizia il ciclo circa un mese dopo, e per la quale l'attività trofica dei bruchi, sembra influenzata dall'appetibilità delle foglie in termini di contenuto in azoto e tannino (Foss e Rieske, 2003). L'elevato polimorfismo che caratterizza le querce, noto anche per le specie presenti in Sicilia (Brullo *et al.*, 1999), può determinare una iniziale asincronia tra l'apertura delle gemme e la comparsa delle larve del tortricide. L'insetto si è però adattato a resistere a lungo all'inedia in attesa del momento in cui può perforare i germogli (Ivashov *et al.*, 2002). Infatti, le larve appena schiuse sono in grado di resistere senza alimentarsi fino a 10 giorni

in condizioni di temperature relativamente basse e umidità elevata, frequenti nel periodo primaverile; questa soglia rappresenta probabilmente il limite di sopravvivenza dell'insetto (Hunter, 1990). Tale aspetto sembrerebbe confermato da uno studio di Benassai *et al.* (2007) sulla scelta della pianta ospite, condotto in un querceto misto della provincia di Arezzo (Italia) a *Q. pubescens* Willd. e *Quercus cerris* L. tra il 2003 e il 2005, che non ha evidenziato differenze significative nel numero medio di uova deposte sulle due querce. Il ciclo di sviluppo del tortricide è risultato strettamente legato alla fenologia di ciascuna specie quercina, confermandosi così l'esistenza, anche in querceti misti, di popolazioni adattate alla pianta ospite. Sul cerro infatti le larve nascono al momento del rigonfiamento delle gemme e quindi con 15-20 giorni di anticipo rispetto alla roverella, al termine dello sviluppo preimmaginale l'infestazione sul cerro è però apparsa di minore intensità (Benassai *et al.*, 2007).

È infatti noto che l'epoca di fioritura e fruttificazione variano secondo la specie. In Sicilia ad esempio *Quercus gussonei* (Borzi) Brullo e *Quercus congesta* Presl fioriscono in aprile, *Quercus virgiliana* (Ten.) Ten., *Quercus dalechampii* Ten. e *Quercus amplifolia* Guss. fioriscono normalmente a febbraio-marzo e, a quote superiori a 800 m anche a maggio, *Quercus leptobalanos* Guss., a maggio (Brullo *et al.*, 1999), mentre mancano informazioni specifiche sull'inizio del germogliamento.

Inoltre uno studio preliminare sulla caratterizzazione genetica delle popolazioni di *T. viridana* associate alle tre principali querce della Sardegna (*Quercus ilex* L., *Quercus suber* L. e *Q. pubescens*) indica che la variabilità genetica nelle popolazioni di *T. viridana* appare correlata con differenze nel periodo di germogliamento determinate più da parametri ambientali dei popolamenti (latitudine e altitudine) che non dalla specie quercina (Serra *et al.*, 2014). D'altra parte, Kapeller *et al.* (2011) hanno osservato che la mescolanza di specie quercine non influenza l'abbondanza media di *T. viridana*, ma può indurre una enorme crescita della popolazione dell'insetto sugli alberi più suscettibili; ciò comporta una distribuzione non omogenea del danno, per cui alberi completamente defogliati possono trovarsi vicini ad individui scarsamente infestati.

2. SCOPI DELLA RICERCA

La ricerca, condotta in due dei principali comprensori quercini della Sicilia occidentale nel triennio 2015-2017, ha riguardato diversi aspetti del rapporto tra *T. viridana* e le più diffuse specie quercine delle aree oggetto di studio, e si è articolata in quattro principali linee di

indagine. Per ciascuna di esse è riportata una breve premessa riguardante i principali aspetti metodologici, seguita da una descrizione delle procedure adottate e dai risultati ottenuti.

In primo luogo è stata studiata la diversa suscettibilità di alcune specie di querce siciliane agli attacchi di *T. viridana*, monitorando le ovideposizioni dell'insetto e correlandole alle caratteristiche del popolamento forestale.

Inoltre, si sono studiati diversi metodi di valutazione del danno da defogliatori, confrontando il livello medio di ovature con parametri visivi quali la trasparenza della chioma e lo stato di deperimento dei popolamenti studiati; si sono quindi definiti i livelli dello stato sanitario delle specie quercine siciliane afferenti alla *Q. pubescens* s.l., su cui finora sono stati condotti pochi studi (Torta, in Sidoti e Colletti, 2006).

Successivamente al rilievo dei parametri visivi, sono stati rilevati anche parametri ottenuti sia dalla misurazione del danno fogliare in termini di superficie fogliare erosa dagli insetti che dall'analisi di dati sullo stato della vegetazione provenienti da telerilevamento.

Per risolvere taluni problemi metodologici dei parametri visivi, precedentemente dettagliati, negli ultimi anni è stato utilizzato, tra le modalità di indagine, il *remote sensing* con immagini satellitari; questa analisi può rappresentare un approccio obiettivo alla valutazione dei danni alla chioma causati dai Lepidotteri fillofagi sulle diverse specie di quercine, ed il confronto con i dati di campo su infestazione e trasparenza consentirebbe di esplorare il potenziale dei dati di media risoluzione per classificare le aree infestate e quantificare l'impatto dell'attività insetti sulla chioma (Rullán-Silva *et al.*, 2015).

Infine la densità della popolazione della tortrice è stata confrontata con i differenti indici di danno/trasparenza ottenuti con i diversi metodi, al fine di individuare procedure semplificate al tempo stesso efficaci di rilevamento degli effetti delle infestazioni sui popolamenti quercini.

3. AREE DI STUDIO

3.1 DESCRIZIONE GENERALE

Sono state individuate due aree di studio, all'interno della Riserva Naturale Orientata “Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago” (Palermo), e nell'area di Monte Cammarata, precedentemente inclusa nella Riserva Naturale Orientata “Monte Cammarata” ed oggi ricadente nel Parco Regionale dei Monti Sicani (Agrigento). Tali aree di studio possono essere considerate rappresentative delle formazioni boschive della Sicilia occidentale.

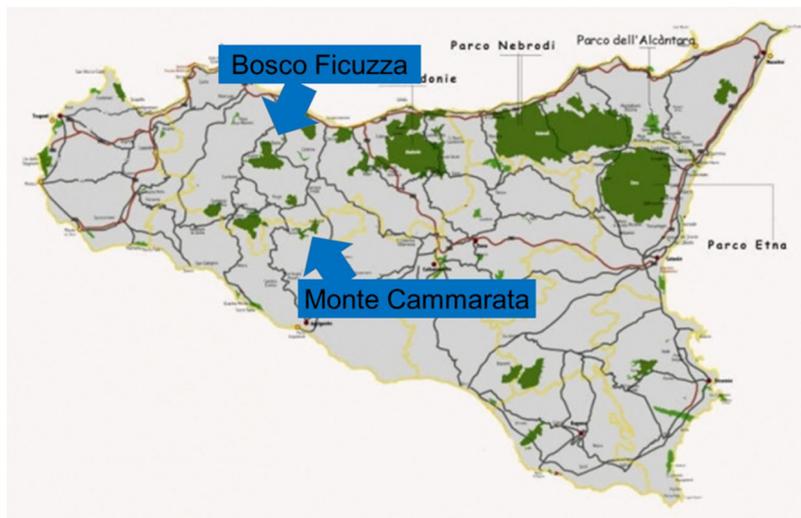


Fig. 1 - Dislocazione delle aree oggetto di studio

Il bosco di Ficuzza è caratterizzato da un mosaico di querceti sempreverdi, quali leccio e sughera, intercalati a querceti caducifogli di cerro di Gussone (*Q. gussonei*) e di roverella; questi *taxa*, distribuiti in maniera disomogenea a causa di fattori sia ambientali che storico-gestionali, danno vita a zone di transizione con la presenza di altre specie e più in generale ad una complessa eterogeneità del bosco.

Secondo la Carta bioclimatica della Riserva l'area è ripartita nell'ambito dei seguenti piani (Gianguzzi e La Mantia, 2004):

- termo-mediterraneo (temperatura media annua di 18-16 °C) subumido inferiore (piovosità media annua di 600-800 mm);
- meso-mediterraneo (temperatura media annua di 16-13 °C) con ombrotipo variabile dal subumido inferiore (piovosità media annua di 600-800 mm) al subumido superiore (piovosità media annua di 800-1000 mm);
- supra-mediterraneo (temperatura media annua di 13-8 °C) con ombrotipo variabile dal subumido superiore (piovosità media annua di 800-1000 mm) all'umido inferiore (piovosità media annua superiore a 1000 mm).

Il bosco, compreso fra 900 e 1.200 m s.l.m., è per lo più interessato da formazioni a leccio (*Q. ilex*) e roverella s.l. (*Q. leptobalanos*, *Q. congesta* e *Q. dalechampii*) spesso associati a olmo campestre (*Ulmus minor* Mill.), acero campestre (*Acer campestre* L.), orniello (*Fraxinus ornus* L.), pero mandorlino (*Pyrus amygdaliformis* Vill.) e melo selvatico (*Malus sylvestris* Mill.); a quota più alta, in prossimità della Rocca Busambra, sono presenti anche l'acero montano (*Acer*

pseudoplatanus L.) e il sorbo montano (*Sorbus aria* (L.) Crantz). A quote più basse, e su substrati arenacei, soprattutto nel Bosco del Cappelliere, vi sono popolamenti di sughera (*Q. suber*), associata alle querce caducifoglie, roverelle e cerro di Gussone (*Q. gussonei*), e ad individui sparsi di acero campestre, orniello, leccio. I boschi di querce caducifoglie occupano le aree con altitudine compresa tra i 500 e i 1.000 m s.l.m.; si tratta di boschi disetanei dove la specie più comune è *Q. virgiliana* associata a *Q. amplifolia*, e sporadicamente a *Q. dalechampii*. In queste zone si trovano anche l'acero campestre, il frassino ed individui di sughera nelle stazioni più umide. Fra i boschi di querce caducifoglie, di notevole interesse è quello a *Q. gussonei*, una specie simile a *Q. cerris* ma più termofila ed endemica siciliana (Brullo *et al.*, 1999), riscontrabile dai 750 ai 1000 m di altitudine; a Ficuzza è presente soprattutto nelle contrade Santa Barbara, Manca di Cerro, Valle Schiavo, Torre del Bosco, Pulpito del Re, e più in generale occupa la parte centrale del bosco, risultando in alcune aree soggetta a fenomeni di mortalità riconducibile alla sindrome del deperimento delle querce (Sala *et al.*, 2011, 2015). Il cerro di Gussone, insieme ad altre specie quali il leccio, la sughera, le roverelle e la sugherella minore (*Quercus fontanesii* Guss.), costituisce una tipologia forestale di particolare interesse ecologico, botanico e paesaggistico (Gianguzzi e La Mantia, 2004).

Le alterne vicende che fin dai tempi più remoti hanno interessato l'area del bosco della Ficuzza hanno contribuito a creare questo eterogeneo sistema forestale. La situazione attuale è dunque il risultato di azioni che hanno inizio fin dal periodo borbonico, quando Ferdinando I di Borbone, occupato il regno di Napoli da parte dei francesi, si spostò in Sicilia e fissò la capitale del regno a Palermo. Nacque allora per sua espressa volontà la Reale Tenuta di Ficuzza, nella quale vennero imposte severe limitazioni alle utilizzazioni forestali. Con il ritorno dei Borboni a Napoli, i boschi subirono tagli irrazionali e la loro condizione generale cominciò a deteriorarsi. Nel 1871, una legge dello Stato italiano dichiarò inalienabili la Real Casina di Caccia della Ficuzza e alcuni boschi superstiti, subito dopo affidati in gestione all'Amministrazione Forestale, che ne avviò la ricostituzione. L'Amministrazione forestale fece diversi tentativi di redigere appositi Piani di assestamento (1884, 1895, 1914), che purtroppo non furono completati e attuati. Oggi i boschi sono quasi tutti dei cedui oltre turno, ad eccezione di poche aree dove sono stati attuati interventi di conversione ad alto fusto (Rocca d'Illice e Alpe Cucco).

Il bosco di Monte Cammarata rientra in un ambito montano, con rilievi che superano i 1000 m s.l.m., e frequenti dirupi separati da conche e fondovalli.

Il clima, di natura mediterranea, presenta maggiori caratteri di mesofilia rispetto all'ambiente circostante. Le precipitazioni medie annue oscillano tra 700 e 800 mm, mentre le temperature variano a seconda dell'altitudine: le temperature medie annue sono comprese tra 10 °C nelle

zone più elevate di Monte Cammarata (1578 m s.l.m.) e 16 °C nelle aree meno elevate (500 m s.l.m.). Il bioclimate è di tipo meso-mediterraneo subumido inferiore, mentre al di sopra dei 1200 m s.l.m. esso è ascrivibile al tipo supra-mediterraneo subumido inferiore.

La flora è prevalentemente quella tipica della fascia meso-mediterranea ma sono presenti anche numerose specie endemiche, tipiche della fascia montano-mediterranea. La vegetazione forestale naturale è quasi interamente costituita dai querceti caducifogli e da leccete su pareti rocciose; inoltre sono presenti formazioni secondarie quali gli arbusteti e le praterie terofitiche e ad ampelodesma. Le formazioni boschive naturali sono tendenzialmente disetanee, anche se in alcune aree coetaneiformi a causa dell'azione di incendi o di utilizzazioni; lo strato arboreo è caratterizzato dalla dominanza di diverse specie afferenti al gruppo polimorfo della roverella e, in minor misura, da *Q. ilex*, *F. ornus* e *A. campestre*. Le diverse specie quercine, con caratteri morfologici distintivi non sempre facilmente apprezzabili, danno origine a formazioni spesso ben differenziate dal punto di vista ecologico. In particolare, il leccio, la quercia virgiliana (*Q. virgiliana*) e la quercia amplifolia (*Q. amplifolia*) partecipano alla costituzione di boschi misti di specie sempreverdi e caducifoglie, a carattere prevalentemente termofilo su substrati calcarei. Molto meno frequenti sono le altre specie appartenenti al ciclo della roverella, come la quercia congesta (*Q. congesta*) che prende parte alla formazione di boschi misti acidofili su substrati silicei nel piano submontano e montano (500-1300 m); la quercia di Dalechamps (*Q. dalechampii*) è frequente nei boschi misti, su substrati silicei, in stazioni ubicate tra 700 e 1800 m di quota. Le formazioni forestali artificiali sono caratterizzate da rimboschimenti di conifere mediterranee del piano basale a pino d'Aleppo, pino domestico e cipressi, e del piano montano a cedro dell'Atlante e pino nero (La Mela Veca *et al.*, 2005).

Anche nel bosco di Cammarata, la gestione forestale si è limitata ai tagli di diradamento nelle aree rimboschite e ad alcuni tagli di conversione a fustaia nei cedui oltre turno (Cozzo Cannone e Contrada Donna).

3.2 PIANO SPERIMENTALE

Allo scopo di indagare la relazione che i diversi *taxa* di querce hanno con i defogliatori, ed in considerazione della controversa sistematica del genere *Quercus*, le stazioni di campionamento all'interno delle due aree di studio, sono state scelte in base alla presenza dei differenti *taxa* indagati, seguendo la classificazione riportata da Manos *et al.* (1999) e, per la sezione *Cerris*, da Brullo *et al.* (1999) e Giardina *et al.* (2014).

A **Ficuzza**, nelle aree caratterizzate dalla presenza di specie appartenenti alla sezione *Quercus* (*Q. amplifolia*, *Q. congesta*, *Q. leptobalanos*, *Q. dalechampii*, *Q. virgiliana*) sono state

selezionate 3 stazioni a prevalenza di *Q. leptobalanos* e 2 a prevalenza di *Q. virgiliana*; inoltre è stata individuata una stazione in cui le due specie sono entrambe presenti. Nelle aree caratterizzate dalla presenza di specie della sezione *Cerris*, sono state selezionate stazioni in cui è presente *Q. gussonei* mista a *Q. leptobalanos* (2 stazioni) o a *Q. virgiliana* (2 stazioni), mentre per quanto riguarda *Quercus trojana* subsp. *trojana* Webb, presente in Sicilia con un piccolo popolamento di origine artificiale solo in contrada Girati a Ficuzza (Giardina *et al.*, 2014; Carabeo *et al.*, 2016), è stata scelta un'unica stazione in cui questa è associata a *Q. leptobalanos*. Con riguardo all'area di Monte Cammarata, i popolamenti studiati sono tutti caratterizzati dalla presenza pressoché esclusiva di *Q. virgiliana*.

Le 12 stazioni di campionamento individuate nel Bosco di Ficuzza (Fig. 2) sono caratterizzate come di seguito si descrive (Gianguzzi *et al.*, 2002, 2004):

1. Alpe Cucco (*Q. leptobalanos* e *Q. congesta*, 927 m s.l.m.): bosco maturo caducifoglio a *Q. leptobalanos*, endemica di Ficuzza e delle Madonie (Brullo *et al.*, 1999), sporadicamente sono presenti *Q. congesta* e *Q. dalechampii*; il corteggio floristico del sottobosco è ricco e tra le erbacee prevalgono le specie nemorali acidofile quali l'inula odorosa (*Pulicaria odora* (L.) Rchb.), l'aglio di Sicilia (*Nectaroscordum siculum* (Ucria) Lindley), la festuca dei querceti (*Festuca exaltata* C. Presl) e il cardo-pallottola meridionale (*Echinops siculus* Strobl).
2. Alpe Ramusa (*Q. leptobalanos* e *Q. congesta*, 917 m s.l.m.): ceduo semplice caducifoglio a *Q. leptobalanos*; sporadicamente nel soprassuolo sono presenti *Q. ilex* e *F. angustifolia*. Il sottobosco appare impoverito dal carico intenso del pascolo.
3. Cimitero (rimboschimento a *Q. leptobalanos*, 622 m s.l.m.): popolamento artificiale maturo a querce caducifoglie (con prevalenza di *Q. leptobalanos*) e *F. angustifolia*; la stazione appare impoverita dal punto di vista floristico a causa dell'impatto delle attività antropiche, in particolare per il pascolo.
4. Contrada Cappella (*Q. virgiliana* e *Q. leptobalanos*, 760 m s.l.m.): stazione sita nella parte settentrionale del Bosco del Cappelliere in cui l'areale della *Q. leptobalanos* viene in contatto con il querceto acidofilo a *Q. virgiliana*; il popolamento si caratterizza per un alto livello di naturalità e un grande valore paesaggistico.
5. Contrada Castellaccio (rimboschimento a *Q. virgiliana*, 560 m s.l.m.): rimboschimento maturo a querce caducifoglie con prevalenza di *Q. virgiliana*, in cui il popolamento quercino con ricco sottobosco si presenta ecologicamente affine ai vicini boschi naturali.

6. Contrada Girati (rimboschimento a *Q. trojana* e *Q. leptobalanos*, 818 m s.l.m.): rimboschimento maturo a querce caducifoglie con prevalenza di *Q. leptobalanos* e *F. angustifolia*; nell'area sono presenti una settantina di esemplari di *Q. trojana* in una situazione di densità eccessiva per cui spesso le chiome di *Q. leptobalanos* vengono a stretto contatto con *Q. trojana*; la stazione presenta un corredo di vegetazione di mantello e del sottobosco del tutto simile ai boschi naturali posti poco più in alto, verso la Rocca Busambra.
7. Cozzo Becchi (*Q. virgiliana* e *Q. amplifolia*, 544 m s.l.m.): bosco maturo caducifoglio a *Q. virgiliana*, partecipano alla costituzione del soprassuolo le altre querce afferenti alla *Q. pubescens* s.l. quali la *Q. amplifolia* e la *Q. dalechampii*. Nonostante la pressione pascoliva il sottobosco è corredato di tutte le specie tipicamente presenti nell'*Oleo sylvestris* – *Quercetum virgilianae*.
8. Piano Cancemi (*Q. virgiliana* e *Q. amplifolia*, 784 m s.l.m.): bosco caducifoglio acidofilo a *Q. virgiliana*; l'ampio corteggio floristico presente è tipico dei suoli silicei e sabbiosi.
9. Piano Salice Sopra (*Q. virgiliana* e *Q. gussonei*, 837 m s.l.m.): bosco caducifoglio a *Q. gussonei*, endemismo circoscritto ad un piccolo areale di Ficuzza e dei Monti Nebrodi, associato a *Q. virgiliana*.
10. Piano Salice Sotto (*Q. virgiliana* e *Q. gussonei*, 837 m s.l.m.): stazione del tutto analoga e attigua alla precedente.
11. Pulpito del Re (*Q. leptobalanos* e *Q. gussonei*, 775 m s.l.m.): bosco caducifoglio tipicamente afferente all'associazione *Quercetum gussonei*, con presenza nello strato arboreo di altre specie quercine caducifoglie quali la *Q. leptobalanos*, la *Q. dalechampii* e la *Q. congesta*. Il corteggio floristico si presenta tipicamente costituito da entità arbustive e erbacee del *Quercetum leptobalani*. Il cerro di Gussone, in alcuni esemplari di notevoli dimensioni, assume carattere di monumentalità.
12. Torre del Bosco (*Q. leptobalanos* e *Q. gussonei*, 861 m s.l.m.): stazione a cerro di Gussone e quercia leptobalana, del tutto simile alla precedente ma sita nel Bosco del Cappelliere ad una quota maggiore (861 m s.l.m.).

Sui Monti Sicani, nell'area di **Monte Cammarata** (Fig. 3), sono state individuate le 3 stazioni di campionamento come di seguito descritte (La Mela Veca e Cullotta, 2005):

1. Vivaio Filici (*Q. virgiliana*, 362 m s.l.m.): ceduo semplice costituito da querceto caducifoglio a prevalenza di *Q. virgiliana*, la stazione data la forte intensità di pascolo,

dovuta all'utilizzo come stallo di cinghiali e daini allevati dal Dipartimento Regionale Sviluppo Rurale e Territoriale della Regione Siciliana, si presenta fortemente degradata con sottobosco costituito quasi esclusivamente da *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. e Schinz.

2. Pizzo Apa (*Q. virgiliana* e *Q. ilex*, 847 m s.l.m.): ceduo composto oltre turno, costituito da querceto caducifoglio a prevalenza di *Q. virgiliana*, consociata a *Q. ilex*; dato il caratteri di termofilia di quest'area, il corteggio floristico comprende elementi di macchia mediterranea quali il pero mandorlino, il terebinto, il lentisco, i caprifogli selvatici, ecc.; sono presenti fenomeni di degrado legati al pascolo eccessivo.
3. Pizzo Apa Pini (*Q. virgiliana* e *Q. ilex*, 845 m s.l.m.): ceduo composto oltre turno, costituito da querceto caducifoglio a prevalenza di *Q. virgiliana* con Pino d'Aleppo: questa stazione sita dalla parte opposta di Pizzo Apa, a poche centinaia di metri dalla precedente, si caratterizza anch'essa per i danni alla vegetazione causati dal sovrappascolo.



Fig. 2 - Localizzazione delle stazioni di campionamento del Bosco di Ficuzza



Fig. 3 - Localizzazione delle stazioni di campionamento del Bosco di Monte Cammarata

4. STIMA DELLA DENSITÀ DI POPOLAZIONE DEL LEPIDOTTERO DEFOGLIATORE *TORTRIX VIRIDANA* L.

4.1 PREMESSA

La stima della densità di popolazione di *T. viridana* con l'uso delle trappole a feromone non può rispondere in maniera sufficiente ed univoca all'esigenza di valutare l'abbondanza del Lepidottero ed eventualmente prevenire il conseguente rischio di danno ai popolamenti quercini. Serra *et al.* (2002) hanno condotto uno studio impiegando le trappole a feromoni, con l'obiettivo di valutare la possibilità di stimare l'abbondanza del fitofago allo stadio adulto; le catture di adulti sono risultate significativamente differenti nelle due regioni studiate (Toscana e Sardegna) nonostante l'abbondanza della specie ottenuta dall'esame delle ovature fosse equivalente. Anche Sidoti (2011) evidenzia una enorme variabilità dei dati emersi da trappolamento in diversi querceti siciliani, dal 2009 al 2011, in contrasto con i dati che negli stessi anni provenivano dall'analisi delle ovideposizioni.

Per tali ragioni il livello della popolazione del tortricide è oggi comunemente stimato attraverso l'analisi dell'abbondanza dello stadio di uovo (Du Merle, 1985; Roversi e De Silva, 1994; Serra *et al.*, 2000); tale studio presenta alcune difficoltà, ricollegabili in primo luogo alle ridotte dimensioni delle ovature il cui rilievo richiede un notevole dispendio di tempo e l'applicazione di precisi protocolli di campionamento.

A tal proposito, è stato studiato il modello di distribuzione spaziale delle uova, sia all'interno della chioma delle piante che tra le piante, evidenziando che le femmine del tortricide non manifestano, nell'ovideporre, preferenze per particolari settori della chioma delle querce; in particolare è stato osservato che la distribuzione spaziale dell'abbondanza delle ovideposizioni di *T. viridana* è significativamente diversa tra siti e tra piante entro siti forestali omogenei; ne deriva che la distribuzione spaziale dell'ovideposizione non dipende né dalla tipologia di pianta ospite né dall'abbondanza del fitofago (Serra *et al.*, 2001). Al contrario, non sono state osservate differenze tra i diversi settori in cui sono state suddivise le piante, in conseguenza del fatto che le femmine, con scarsa mobilità (Du Merle, 1985) ovidepongono preferibilmente nei luoghi in cui hanno compiuto lo sviluppo giovanile (Serra *et al.*, 2001). Da ciò deriva che il prelievo del materiale vegetale all'interno delle chiome può essere eseguito in maniera casuale, indipendentemente dalla loro altezza ed esposizione nella chioma (Gilioli *et al.*, 1999).

Sulla base di tali informazioni, è stata definita una metodologia standardizzata di campionamento della densità di ovideposizioni, utilizzabile per il monitoraggio della popolazione di *T. viridana* e per la valutazione dei rischi di defogliazioni in querceti caducifogli,

applicabile anche a comprensori forestali molto diversi rispetto a quelli indagati in Sardegna e Toscana (Serra *et al.*, 2000, 2001, 2002).

L'utilizzo di tale metodo di rilevamento delle ovideposizioni può consentire da un lato di prevedere intense defogliazioni nell'anno successivo, dall'altro di valutare l'eventuale preferenza dell'insetto nei confronti delle diverse specie di quercia. In formazioni di roverella (*Q. pubescens*) della Toscana, Roversi e De Silva (1994) hanno osservato, che a densità comprese tra 2 e 8 ovature per branca, hanno fatto seguito forti defogliazioni. Rilievi condotti in Sardegna, hanno confermato che, a densità medie di almeno 5 ovideposizioni per branca, si sono verificati danni rilevanti con la totale defogliazione delle piante ospiti nei siti più infestati, consentendo di definire la soglia critica di rischio di danno corrispondente a un valore medio di 4 ovideposizioni per branca (Serra *et al.*, 2002).

Indagini condotte in Sardegna e Toscana attraverso il conteggio delle ovature su *Q. pubescens*, *Q. suber* e *Q. ilex* hanno sempre evidenziato valori medi minori su quercia da sughero e leccio, rispetto alle querce caducifoglie, indicando una precisa preferenza dell'insetto per queste ultime (Gilioli *et al.*, 1999; Serra *et al.*, 2002).

Durante la presente ricerca si è applicato il protocollo di campionamento sulle querce caducifoglie endemiche siciliane, ed in particolare su *Q. virgiliana* e *Q. leptobalanos*, e su due specie, *Q. gussonei* e *Q. trojana*, presenti a Ficuzza e appartenenti alla sez. *Cerris*; tali specie quercine non erano mai state indagate al fine di definire il livello di infestazione della tortrice verde.

4.2 MATERIALI E METODI

Dal 2015 al 2017, nella stagione autunnale, è stato effettuato il monitoraggio delle ovature di *T. viridana* sui rametti di *Quercus* spp. nelle 15 stazioni di campionamento sopra elencate, aventi un'estensione di circa un ettaro e caratterizzate da una copertura forestale omogenea; la stazione di campionamento è stata dunque individuata come una porzione delle due aree di studio, dove si può presumere la continuità delle condizioni di esposizione, di giacitura e di copertura arborea (Serra *et al.*, 2002). In ogni stazione di campionamento, sono state scelte in maniera casuale 4/6 piante, su cui è effettuato il rilievo di altezza e diametro a m 1,30; da ciascuna pianta sono state prelevate 2 porzioni distali di ramo formate dagli accrescimenti degli ultimi 4-5 anni e aventi un'estensione dei rametti di 2-4 anni d'età di almeno 30 cm di lunghezza. Il disegno di campionamento, schematizzato in Fig. 4, ha così previsto il prelievo di circa 100 rametti/branca e di 8/12 branche per ettaro (Serra *et al.*, 2002). Le branche sono state prelevate usando uno sveltatoio telescopico della lunghezza massima di 3 m. Successivamente, in laboratorio, da

ciascuna delle branche per pianta prelevate, è stato rimosso il getto terminale, effettuando così il rilievo sulla presenza/assenza delle ovature sui rametti di 2°, 3° e 4° anno di età; su ogni ramoscello sono state conteggiate allo stereomicroscopio le ovideposizioni di *T. viridana* (Fig. 5 e 6) e il loro numero ha costituito la variabile campionaria.

I dati ottenuti sono stati elaborati applicando l'Analisi della Varianza seguita dal test di Tukey ($p < 0,05$, campioni indipendenti). Nell'ANOVA (General Linear Model) applicata ai dati delle diverse stazioni di campionamento la variabile in uscita è la media delle ovature, mentre i fattori considerati sono stati l'anno e la stazione, nonché le interazioni tra essi.

Nell'analisi statistica dei dati di Ficuzza, relativi alla media di ovature per rametto sui diversi *taxa* indagati, è stato necessario considerare l'effetto dovuto al fatto che le diverse specie quercine studiate si trovassero, in diverse stazioni di rilevamento, consociate tra loro; a tale scopo, le stazioni sono state identificate e classificate secondo la consociazione, ove presente, tale fattore di analisi è stato definito come "habitat". Sui dati del bosco di Ficuzza, è stata poi applicata un'ANOVA (General Linear Model), in cui la variabile in uscita è la media delle ovature, mentre i fattori considerati sono stati la specie, l'anno e l'habitat come sopra descritto, oltre alle interazioni tra essi.

Le analisi statistiche relative alle ovature e a tutti gli altri aspetti indagati sono state effettuate utilizzando il software Minitab.

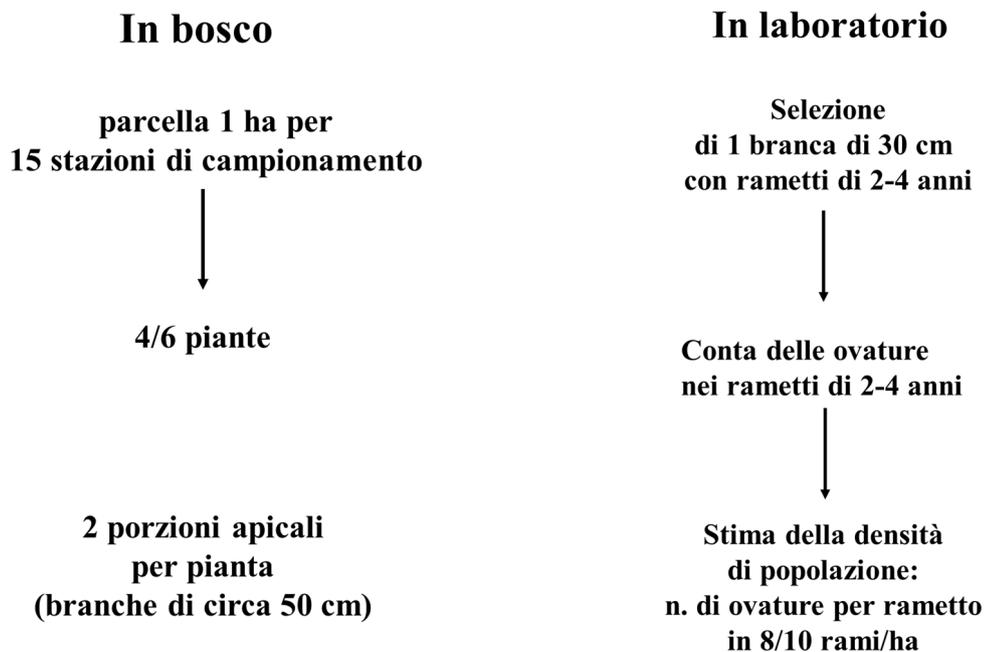


Fig. 4 – Schema di campionamento per il monitoraggio delle ovature di *T. viridana* (Serra *et al.*, 2002)



Fig. 5 – Selezione dei rametti di quercia di 2°, 3° e 4° anno



Fig. 6 – Ovature di *T. viridana* (fotografie di G. Cerasa)

4.3 RISULTATI E DISCUSSIONE

4.3.1 INFESTAZIONE COMPLESSIVA NELLE STAZIONI DI CAMPIONAMENTO

Sono stati complessivamente esaminati nel 2015 n. 7024 rametti su cui le osservazioni allo stereomicroscopio hanno consentito di contare 1373 ovature; nel 2016 sono stati osservati n. 5161 rametti con 716 ovature; infine nel 2017 su n. 6069 sono state contate 905 ovature (Tab. 1). Dall'analisi dei dati riguardanti il **Bosco di Ficuzza** riportati in Fig. 7, emerge nel 2015 una maggiore infestazione su *Q. leptobalanos* in Alpe Ramusa, su *Q. virgiliana* a Piano Cancemi e, in maniera sensibile nelle stazioni caratterizzate dai rimboschimenti a querce caducifoglie, in località Cimitero su *Q. leptobalanos*, e in Contrada Girati (popolamenti artificiale misto a *Q. leptobalanos* e *Q. trojana*). Nel 2016 si registra una generale diminuzione del livello di infestazione, la media delle ovature si mantiene più alta a Piano Cancemi su *Q. virgiliana* e nella stazione Cimitero (rimboschimento a *Q. leptobalanos*). Nel 2017 l'infestazione continua tendenzialmente a diminuire, tranne che per le stazioni di Piano Cancemi su *Q. virgiliana*, Alpe Ramusa su *Q. leptobalanos*, e C.da Cappella (popolamento misto a *Q. leptobalanos* e *Q. virgiliana*), in cui l'infestazione invece appare più elevata. Dunque a Ficuzza, nei querceti misti l'infestazione si è mantenuta costante nelle stazioni in cui è presente *Q. virgiliana*; mentre *Q. leptobalanos*, da sola e mista alla *Q. trojana* in Contrada Girati, mostra una diminuzione sensibile del numero di ovature di *T. viridana* (Fig. 7).

Tab. 1 – Numero di rametti osservati, dal 2015 al 2017, per il monitoraggio delle ovature di *T. viridana*.

Stazione	2015	2016	2017
Alpe Cucco	210	263	325
Alpe Ramusa	579	379	534
Cimitero	405	372	298
C.da Cappella	514	620	789
C.da Castellaccio	462	204	255
C.da Girati	599	930	756
Cozzo Becchi	555	208	686
Piano Cancemi	369	264	273
Pulpito del Re	863	276	463
Salice Sotto	379	227	441
Salice Sopra	368	305	274
Torre Bosco	395	257	292
Pizzo Apa	331	315	184
Pizzo Apa Pini	441	325	169
Vivaio Filici	447	216	330

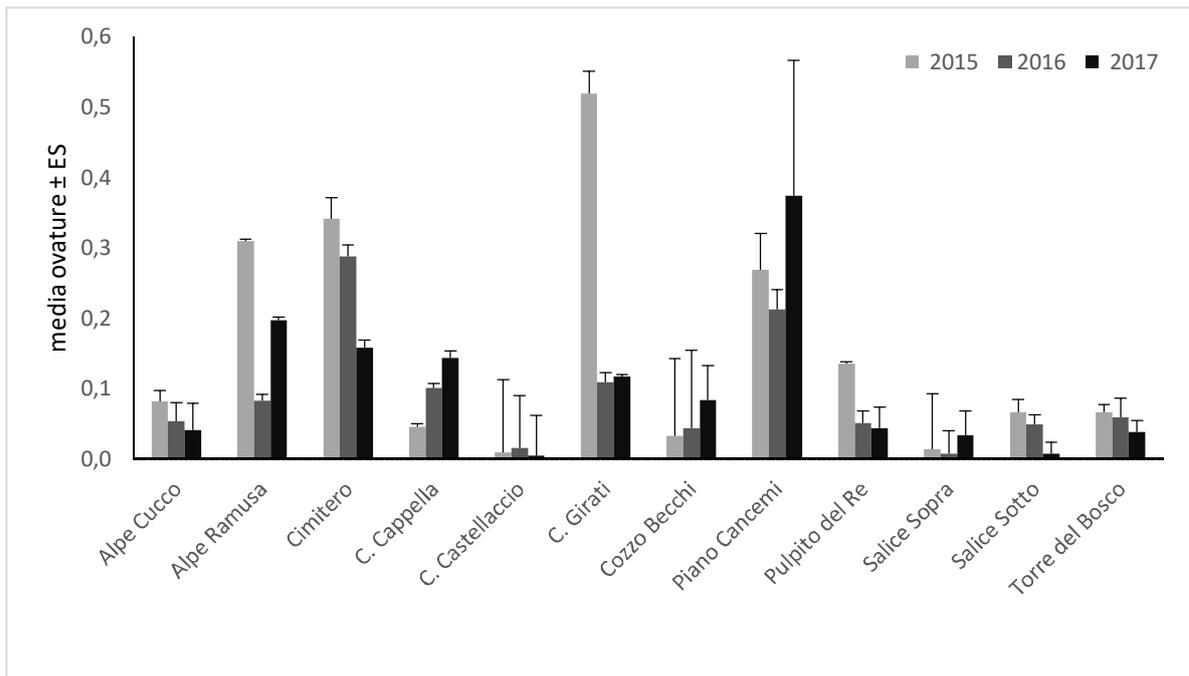


Fig. 7 – Media delle ovature per rametto (\pm ES) nelle diverse stazioni di campionamento nell'area di Ficuzza

L'analisi della varianza, riportata in Tab. 2, con un R_{sq} soddisfacente (78%), indica che vi sono differenze statisticamente significative tra la media delle ovideposizioni e la stazione di campionamento, l'anno di campionamento, la specie e l'interazione stazione x anno; mentre non risulta significativa l'interazione specie x anno, a dimostrazione che le caratteristiche della stazione e la specie discriminano il livello di infestazione, negli anni considerati, determinato attraverso il monitoraggio delle ovideposizioni.

Tab. 2 – Analisi della varianza relativa alla media delle ovature di *T. viridana* per le stazioni di Ficuzza

GLM	DF	F-Value	P-Value
Stazione	11	23,98	0,000
Anno	2	13,38	0,000
Specie	5	13,72	0,000
Stazione*Anno	22	4,39	0,000
Specie*Anno	10	1,32	0,228
R-sq	78,66%		
R-sq(adj)	70,33%		

Per quanto riguarda le stazioni di **Monte Cammarata** tra il 2015 e il 2016, la media delle ovature per rametto si è, in generale, mantenuta costante al Vivaio Filici, leggermente abbassata nella stazione di Pizzo Apa, mentre è aumentata leggermente a Pizzo Apa Pini, mantenendo, in tutti nei tre anni complessivamente, livelli più alti di infestazione rispetto al Bosco di Ficuzza. Nel 2017, nelle stazioni di Monte Cammarata, vi è un sensibile aumento della media di ovature che si attesta su valori più alti di quelli registrati nel 2015; ciò è da imputare probabilmente alle diverse caratteristiche ecologiche degli ecosistemi considerati, a cui va aggiunta la diversa gestione del querceto (Fig.8). In area sicana dunque, i valori di infestazione su *Q. virgiliana* sono sensibilmente più alti rispetto a Ficuzza, ad eccezione della stazione Vivaio Filici. In nessun caso nei tre anni di osservazione, si è raggiunta la soglia critica di danno pari a 4 ovideposizioni per branca.

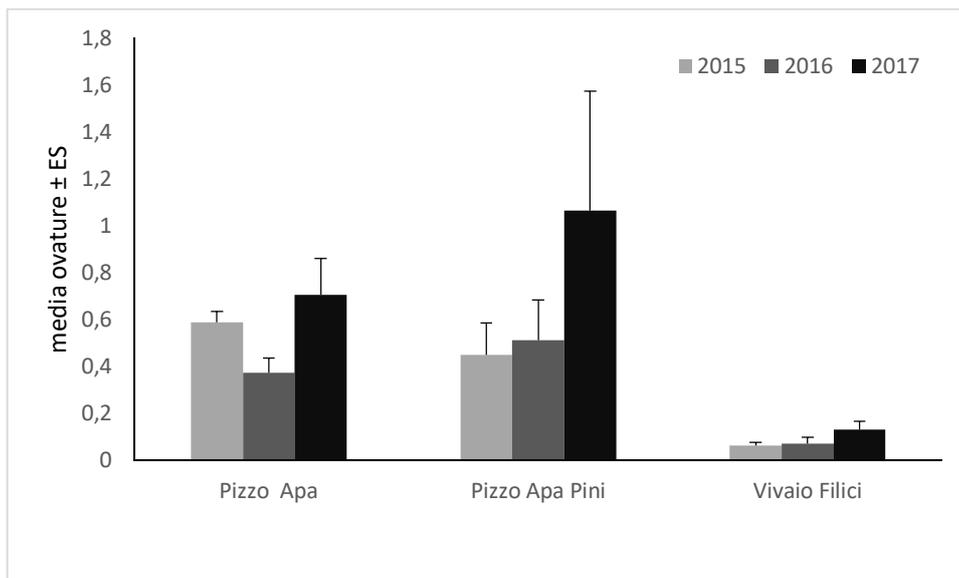


Fig. 8 – Andamento della media ovature/rametto (\pm ES) su *Q. virgiliana* nelle stazioni di Monte Cammarata

Nell'area di M. Cammarata sia la stazione che l'anno di rilevamento sono risultati significativi, e il modello giustifica un'alta percentuale della variabilità (77,7%), fatto comprensibile considerando che tutte le stazioni sono caratterizzate da scarsa ricchezza floristica e da struttura del bosco molto semplificata (Tab. 3). Le due stazioni più vicine ed ecologicamente simili (Pizzo Apa e Pizzo Apa Pini) non presentano differenza statisticamente significative, mentre la stazione di Vivaio Filici è risultata statisticamente diversa dalle altre.

Tab. 3 – Analisi della varianza relativa alla media delle ovature di *T. viridana* su rametti di *Q. virgiliana* a Cammarata

GLM dati trasformati ($\lambda=-1$)	DF	F-Value	P-Value
Stazione	2	42,31	0,000
Anno	2	4,11	0,028
Stazione*Anno	4	0,38	0,820
R-sq	77,75%		
R-sq(adj)	71,16%		

Infine, in linea con quanto già riportato da Serra *et al.* (2001), l'analisi statistica ha evidenziato che le dimensioni della pianta (altezza e diametro a 1,30) e il tipo di governo (pollone o alto fusto) non sono correlati con i livelli di ovideposizione dell'insetto (ANOVA a una via, $p < 0,05$).

4.3.2 INFESTAZIONE RILEVATA A FICUZZA SULLE DIVERSE SPECIE DI QUERCIA

Nel bosco di Ficuzza i dati relativi al monitoraggio delle ovature, nei tre anni di osservazione sono stati elaborati isolando le diverse specie quercine indagate; la rappresentazione grafica dell'andamento della media delle ovature per specie (Fig. 9) evidenzia che la *Q. leptobalanos*, pur nel generale decremento di infestazione dal 2015 al 2017, è la specie maggiormente suscettibile all'attacco di *T. viridana*, con la media di ovature più alta delle altre specie quercine in tutti gli anni di osservazione. Su *Q. gussonei* si è registrato un basso livello medio di ovature per rametto, a dimostrazione che la specie è la meno appetibile per l'insetto tra quelle indagate. *Q. trojana*, appartenente come la precedente alla sez. *Cerris*, segue l'andamento della consociata *Q. leptobalanos*, ma le ovideposizioni sono sensibilmente inferiori quando si abbassa il livello di infestazione della *Q. leptobalanos*; ciò è da imputare alla eccessiva densità delle querce in C.da Girati, che porta le chiome delle due specie a sovrapporsi. *Q. virgiliana* mostra valori più bassi di infestazione rispetto a *Q. leptobalanos*, tendenti a una diminuzione nel biennio 2015-16, mentre nel 2017 si è registrato un aumento del numero medio di ovature per rametto. In contrada Cappella, dove si consociano la *Q. virgiliana* e la *Q. leptobalanos*, pur con livelli bassi di infestazione, si è assistito ad un aumento delle ovature in controtendenza rispetto al comportamento delle altre stazioni, segno questo che le caratteristiche stazionali incidono notevolmente sulla suscettibilità della pianta ospite all'insetto.

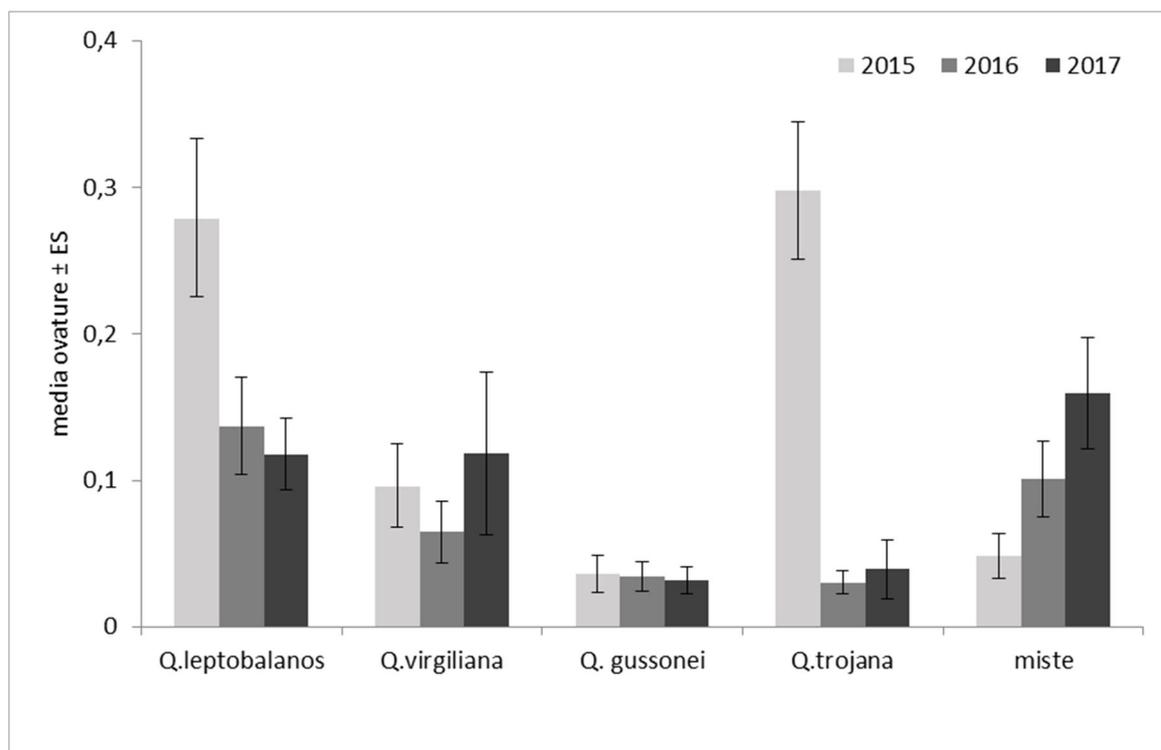


Fig. 9 – Media delle ovature per rametto (\pm ES) sulle diverse specie quercine di Ficuzza

I risultati dell'analisi statistica (Tab. 4) evidenziano un effetto significativo della specie di *Quercus* e dell'habitat sulla media delle ovature per pianta, mentre il fattore anno è al limite del livello di significatività adottato ($p=0,05$). Anche le interazioni specie/anno e habitat/anno sono risultate significative.

Tab. 4 – Analisi della varianza relativa alla media ovature di *T. viridana* su rametti di *Quercus* spp. a Ficuzza

GLM	DF	F-Value	P-Value
dati trasformati ($\lambda=-1$)			
Habitat	5	16,09	0,000
Anno	2	3,11	0,047
Specie	3	4,55	0,004
Habitat*anno	10	2,2	0,020
Specie*anno	6	2,36	0,033
R-sq	47,44%		
R-sq(adj)	38,51%		

Con riguardo alle specie, *Q. gussonei* differisce dalla *Q. leptobalanos* quando questa è in purezza (Alpe Cucco, Alpe Ramusa e Cimitero) o quando è associata a *Q. trojana* (C.da Girati); al contrario non vi sono differenze significative tra *Q. leptobalanos* e *Q. gussonei* nelle aree in cui sono consociate (Pulpito del Re e Torre del Bosco). Per quanto riguarda *Q. virgiliana*, la media di ovature non risulta differente tra le stazioni in cui questa non è consociata (Piano Cancemi, Cozzo Becchi e C.da Castellaccio), nonché tra queste e la stazione in cui è presente anche *Q. leptobalanos* (C.da Cappella). Nelle aree in cui *Q. virgiliana* e *Q. gussonei* sono consociate (Salice Sopra e Salice Sotto) non vi sono differenze significative tra le due specie, analogamente a quanto osservato per *Q. leptobalanos* (Fig. 10).

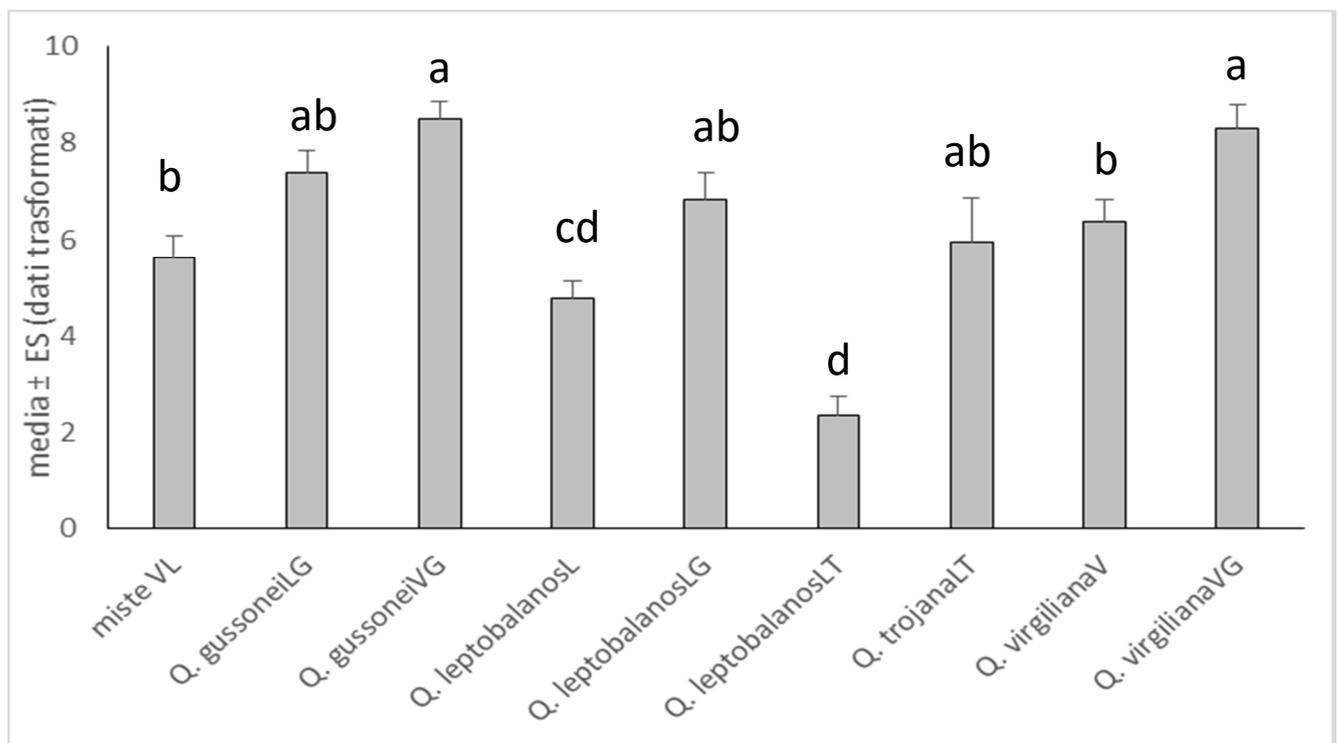


Fig. 10 – Media delle ovature per habitat (\pm ES) nelle stazioni di Ficuzza.
Lettere differenti indicano differenze significative tra le stazioni (GLM, vedi Tab. 4)

5 VALUTAZIONE VISIVA DELLA TRASPARENZA DELLA CHIOMA E STATO DI DEPERIMENTO DEI POPOLAMENTI

5.1 PREMESSA

Come affermato da Bussotti *et al.* (2014), nell'arco temporale dal 1997 al 2010, in Italia, le querce caducifoglie hanno mostrato una maggiore defogliazione media in conseguenza soprattutto dei cambiamenti climatici; il fenomeno complesso dell'*oak decline* necessita dunque di un approccio globale, in modo particolare per le querce mediterranee, data la fragilità degli ecosistemi in cui esse vivono, che consenta di descrivere meglio i rapporti della pianta sia con i fattori ambientali che con gli altri componenti dell'ecosistema; in particolare, in Italia, la roverella è una delle specie che mantiene i livelli di defogliazione più elevati, mentre nessuno studio è stato finora condotto circa i livelli di defogliazione e deperimento delle specie quercine siciliane afferenti alla *Q. pubescens* s.l.

Date queste considerazioni, è necessario valutare la trasparenza della chioma e il deperimento quercino complessivamente, considerando oltre ai fattori abiotici (danni meccanici, clima, ecc.) anche i sintomi causati da insetti e funghi, e di conseguenza effettuando il monitoraggio con una scheda fitosanitaria appositamente studiata. Dal 2006 in Italia vengono rilevati i sintomi attribuibili a fitopatie biotiche e abiotiche note, da queste rilevazioni emerge che i danni provocati da insetti ammontano a circa il 60% (gli insetti defogliatori incidono per il 48% sul totale delle cause accertate) mentre i funghi che provocano cancri e morie dei rametti determinano circa il 20% dei sintomi (Busotti *et al.*, 2014).

Nei querceti decidui delle aree oggetto di studio si sono registrati, nel corso degli ultimi anni, intensi fenomeni di defogliazione causata da insetti, tali da raggiungere in alcuni casi livelli di allarme (Lo Verde, *in verbis*), in particolare a M. Cammarata le pullulazioni di *T. viridana* si ripetono da qualche anno con gradazioni ravvicinate. In genere, livelli alti di infestazione sono legati ad annate siccitose, all'eccessiva densità dei cedui e alla mancanza di corretta gestione selvicolturale. L'elevata densità del soprassuolo quercino, in particolare, facilita lo spostamento dell'insetto da una pianta all'altra ma anche la ridotta presenza di altre specie vegetali, meno suscettibili all'attacco del tortricide, costituisce un fattore predisponente (Sidoti e Colletti, 2006).



Fig. 11 - Danno da *T. viridana* su giovane getto di quercia



Fig. 12 – Attività trofica di larva di *T. viridana* su giovane getto di quercia

A Ficuzza, altre specie di Lepidotteri fillofagi quali il Bombice dispari (*L. dispar*) e il Bombice gallonato (*M. neustrium*) sono frequenti nei querceti caducifogli (Fig. 13 e 15); queste specie a ciclo primaverile-estivo defogliano le querce successivamente all'attacco della tortrice e dopo che le piante hanno ripreso a vegetare. Tra queste si registra inoltre la processionaria della quercia (*T. processionea*) che è sporadicamente presente in alcune aree all'interno del Bosco di Ficuzza (Pulpito del Re e Vallone d'Ilice) non avendo finora trovato condizioni ottimali per incrementi demografici (Fig. 14). Tra i Lepidotteri a ciclo estivo-autunnale è segnalato a Ficuzza

il Limantride *E. chrysorrhoea*, che oltre alle querce attacca altre specie forestali appartenenti ai generi *Carpinus*, *Castanea*, *Salix* ed *Ulmus* (tutte specie presenti a Ficuzza compreso l'*Ostrya carpinifolia* di recente scoperto, Giardina *et al.*, 2015); le infestazioni di euprottide hanno carattere occasionale e puntiforme in quanto le popolazioni di questo insetto sono drasticamente limitate da fattori biologici, climatico-altitudinali, e dall'azione di antagonisti naturali quali ad esempio diversi parassitoidi (*Townsendiellomyia nidicola* Towns., *Trichogramma* gr. *evanescens* Westwood) o epidemie dovute a vari agenti patogeni (*Entomophthora aulicae* Reich.) (Delrio e Luciano, 1985; Lo Verde e Massa, 1995).



Fig. 13 - Larva di *Malacosoma neustrium processionea*



Fig. 14 - Larve di *Thaumetopoea*



Fig. 15 - Larve di *Lymantria dispar*.

Infine, occorre sottolineare che, soprattutto nel Bosco di Ficuzza, è diffusa la presenza del coleottero delle querce *Altica quercetorum* Foudras; questo fitofago, strettamente legato alle querce decidue e alle betulle, compie una sola generazione all'anno e sverna come adulto: in maggio gli adulti escono dai ricoveri invernali e si portano sulle foglie. Terminato il periodo di alimentazione le femmine depongono le uova in gruppi sulla pagina inferiore delle foglie; le larve, una volta sgusciate, si nutrono rimanendo in gruppo. I danni alle foglie, dovuti alla sinergia nell'attività trofica di larve ed adulti, sono individuabili ad inizio autunno: l'insetto, infatti, lascia intatte sia le nervature che l'epidermide delle foglie danneggiate, scheletrizzando la lamina (Mansilla *et al.*, 1993). Uno studio sul monitoraggio delle infestazioni di *A. quercetorum* a Ficuzza ha evidenziato che l'attacco è per lo più su *Q. gussonei* e che il coleottero danneggia maggiormente le parti basse della chioma (Caleca e Gammino, 2001).

5.2 MATERIALI E METODI

In ognuna delle stazioni di campionamento a *Q. leptobalanos* o *Q. virgiliana*, estese circa 1 ha, sono state individuate 20 piante in modo casuale, a distanza di 20-25 m tra loro, per la valutazione visiva della trasparenza della chioma secondo il protocollo di Ferretti (1994). Nelle altre stazioni il numero di piante utilizzate per i rilievi è stato superiore (30) per garantire che tutte le specie fossero rappresentate con un minimo di 15 piante. In tutti i casi tra le piante individuate erano presenti anche quelle su cui si era svolto il monitoraggio delle ovideposizioni di *T. viridana* (cfr. par.4.2). Tutte le piante sono state numerate e cartellate, per ognuna di esse e per ciascun anno è stata effettuata l'analisi visiva della trasparenza della chioma e l'attribuzione a classi di intensità di danno, attraverso la comparazione con le tavole di trasparenza relative a *Q. pubescens* (CEC – UN/ECE, 1994, Ferretti, 1994) (Fig. 16), assegnando ad ogni pianta una classe di trasparenza in una scala da 0 (danno tra 0 e 15%) a 4 (danno superiore al 90%) (Tab. 5 e Fig. 17). Allo stesso modo sono stati quantificati il grado di disseccamento dei rami e di clorosi delle foglie. Inoltre è stato valutato lo stato sanitario complessivo della pianta, verificando la presenza di lesioni da funghi e tumori al colletto, sul tronco e sui rami (classificati in una scala di sintomi specifica da 0 “pianta sana” a 4 “pianta con lesioni superiori ai 10 cm”) (Torta, in Sidoti e Colletti, 2006) (Tab. 6 e Fig. 18). In campo è stata utilizzata una scheda di valutazione appositamente predisposta (Fig. 19).

La classe di trasparenza è stata messa in relazione con gli altri parametri rilevati, quali il grado di disseccamento e di clorosi, e le classi di sintomi specifici al fusto e ai rami, in modo da pervenire ad una classificazione dell'intensità del danno complessivo (ID), con valori da 0 (pianta sana) a 4 (pianta morta) (Tab. 7).

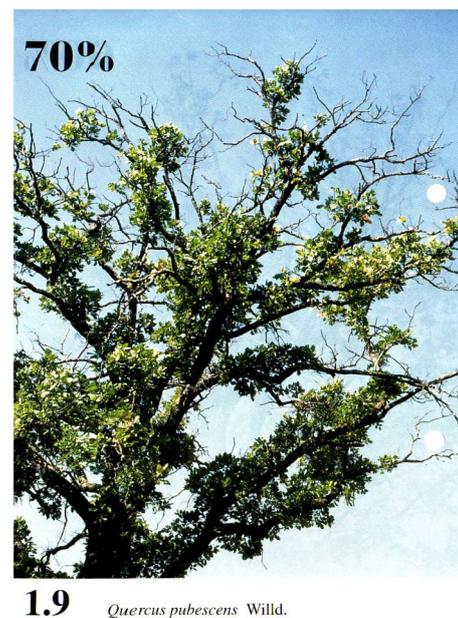


Fig.16 – Tavole di trasparenza della chioma di *Q. pubescens* (fonte: CEC – UN/ECE, 1994)

Tab. 5 – Classi di intensità di trasparenza della chioma

% Trasparenza della chioma	Classe di intensità
0 – 10	0
11 – 25	1
26 – 60	2
61 – 90	3
91 – 100	4

Tab. 6 – Classi di intensità di danno al fusto

Lunghezza lesioni tronco (cm)	Classe di intensità
0 – 0,9	0
1 - 5	1
6 - 10	2
oltre 10	3



Fig. 17 – Trasparenza visiva della chioma di *Q. pubescens* s.l.; in alto a destra e a sinistra, classi di intensità rispettivamente pari a 0 e 1; nel centro a destra e a sinistra, classi di intensità rispettivamente pari a 2 e 3; in basso al centro, classe di intensità del danno alla chioma pari a 4.



Fig. 18 – Esempi di lesioni al fusto (classe di intensità di danno 3)

Pianta n°

Data

Località Comune

Andamento climatico stagionale

Pioggie < media media > media

Temperature < media media > media

Avversità **Deperimento quercia**

INCIDENZA MALATTIA

tipo di governo: fustaia ceduo N. polloni/ceppaia:

stato fitosanitario pianta o polloni: sani con sintomi morti

Ceppaie: asintomatiche necrotiche cariate

DESCRIZIONE GENERALE DEI SINTOMI

	Parte inferiore	Parte superiore
Defogliazione o perdita di foglie	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Disseccamento rami o chiome	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Variazione del colore della chioma	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Lesioni corticali su rami o fusto	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fig. 2a: scheda di monitoraggio delle querce ed esemplare di quercia poco deperiente

STIMA DEI DANNI DELLA CHIOMA

Trasparenza della chioma: < 10% 11-25% 26-60% 61-90% >90%

Clorosi della chioma: < 10% 11-25% 26-60% 61-90% >90%

Disseccamenti dei rami: < 10% 11-25% 26-60% 61-90% >90%

STIMA DEI DANNI DEL FUSTO

pianta sana rigonfiamento ed emissione essudati

Lunghezza lesioni corticali (fino a 2 m dal suolo): 1-5 cm 6-10 cm >10 cm

STIMA DEI DANNI DEL COLLETTO E DELLE RADICI

Lunghezza cancri: 1-5 cm 6-10 cm >10 cm

Presenza essudati:

presenza micelio: colletto radici

Corpi fruttiferi:

Carie:

Fig. 19 – Scheda di campo per la valutazione della trasparenza visiva della chioma e del deperimento

Tab. 7 - Interpolazione delle classi di intensità di danno (chioma/fusto) e definizione del livello di deperimento di ciascuna quercia esaminata

Classe di intensità fusto \ Classe intensità chioma	0	1	2	3
0	0	1	1	2
1	0	1	1	2
2	1	1	2	2
3	2	2	3	3
4	3	3	4	4

Legenda

- 0 = nessuna lesione fusto + trasparenza chioma sino 25% = pianta sana
- 1 = lesioni al fusto sino a 10 cm + trasparenza chioma sino 60% = pianta con deperimento iniziale
- 2 = lesioni al fusto oltre 10 cm + trasparenza chioma sino 90% = pianta con deperimento avanzato
- 3 = lesioni al fusto oltre 10 cm + trasparenza chioma oltre 90% = pianta con deperimento grave
- 4 = pianta morta

Il campionamento visivo è stato effettuato sempre dallo stesso operatore, in ogni anno nell'ultima decade di maggio, alla fine del periodo di massima attività trofica dei bruchi di *T. viridana*, con l'obiettivo di escludere dal rilievo eventuali danni arrecati da altri defogliatori e al tempo stesso effettuare l'analisi prima che le piante producessero un secondo ricaccio per ricostituire la chioma compromessa. L'eventuale presenza e/o l'attività di altri insetti fitofagi è stata comunque annotata.

I dati sono stati elaborati calcolando sia l'indice di trasparenza al fine di ottenere una variabile continua e valutare la relazione con altri parametri, sia l'indice di deperimento da correlare con la presenza e intensità dell'infestazione. L'indice di trasparenza visiva (IT) è stato sviluppato, per anno e per stazione di campionamento, moltiplicando le frequenze (F) relative a ciascuna classe di trasparenza per un numero costante pari alla propria classe di trasparenza, secondo il seguente algoritmo: $IT = \sum (F_1*1)+(F_2*2)+(F_3*3)+(F_4*4)+(F_5*5)/100$. Il valore dell'indice così calcolato può variare tra 1 (tutte le piante attribuite alla classe 0 ovvero quella con il danno minore) e 5 (tutte le piante attribuite alla classe 4 ovvero quella con il danno maggiore).

L'incrocio degli indici di defogliazione e clorosi con i dati relativi alle infezioni fungine (Tab. 10) fornisce la classe cumulativa di intensità di danno che è quella che rappresenta la condizione complessiva del bosco in oggetto: non danneggiato (classe 0), debolmente danneggiato (classe 1), mediamente danneggiato (classe 2) e fortemente danneggiato (classe 3) (Rossini *et al.*, 2007). E' stato così calcolato un indice di deperimento percentuale per la stazione, pari al rapporto tra la sommatoria di ID moltiplicata per il n. piante in ciascuna delle 4 classi di intensità, e il n. totale di piante campionate x 4. (Torta, com. pers.).

I valori di tutti gli indici sono stati analizzati a coppie per verificare la eventuale correlazione (Indice di correlazione di Pearson, ρ ; $p < 0,05$).

5.3 RISULTATI E DISCUSSIONE

I rilievi effettuati a Ficuzza hanno interessato un totale di 271 alberi, appartenenti ai seguenti taxa: *Q. virgiliana* (106 piante), *Q. leptobalanos* (113), *Q. trojana* (10 piante) e *Q. gussonei* (42 piante), mentre a Monte Cammarata i rilievi si sono svolti su 60 piante di *Q. virgiliana*.

Tab. 8 – Indice di trasparenza, classi dell'intensità del danno e dell'indice di deperimento per stazione e per area di studio nei tre anni ($Q_v = Q. \text{virgiliana}$; $Q_l = Q. \text{leptobalanos}$; $Q_t = Q. \text{trojana}$; $Q_g = Q. \text{gussonei}$)

Stazione	Specie	Indice di Trasparenza			Classe di intensità del danno			Indice di deperimento (%)		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Alpe Cucco (Ficuzza)	Q_l	1,8	1,3	1,1	1	1	0	23	17	4
Alpe Ramusa (Ficuzza)	Q_l	2,7	1,4	1,3	2	1	1	43	19	18
Cimitero (Ficuzza)	Q_l	2,4	2,6	2,6	2	2	1	53	38	19
C.da Cappella (Ficuzza)	Q_l+Q_v	2,4	2,4	1,7	2	1	1	39	31	22
C.da Castellaccio (Ficuzza)	Q_v	1,6	1,7	1,1	1	1	0	13	15	8
C.da Girati (Ficuzza)	Q_t+Q_l	2,6	1,7	1,2	2	0	0	43	11	3
Cozzo Becchi (Ficuzza)	Q_v	2,1	1,8	1,1	1	0	0	16	11	0
Piano Cancemi (Ficuzza)	Q_v	2,8	2,0	1,4	2	1	0	39	21	10
Pulpito del Re (Ficuzza)	Q_g+Q_l	1,8	1,8	1,0	1	1	0	21	20	0
Salice Sopra (Ficuzza)	Q_g+Q_v	1,7	1,4	1,3	1	1	0	21	13	6
Salice Sotto (Ficuzza)	Q_g+Q_v	2,2	1,8	1,2	1	0	0	23	6	1
Torre del Bosco (Ficuzza)	Q_g+Q_l	1,4	1,3	1,2	0	0	0	3	9	4
Pizzo Apa (Cammarata)	Q_v	2,9	2,2	1,6	1	1	0	35	25	10
Pizzo Apa Pini (Cammarata)	Q_v	3,6	2,2	1,8	2	1	1	46	20	15
Vivaio Filici (Cammarata)	Q_v	2,1	2,0	1,8	1	1	1	15	15	14

I dati relativi all'indice di trasparenza visiva della chioma, alle classi di intensità del danno e all'indice di deperimento sono riassunti in Tab. 8.

Osservando l'andamento dell'indice di trasparenza della chioma nelle stazioni di Ficuzza (Fig. 20), ottenuto con la valutazione visiva sopra descritta, si evidenzia in generale un decremento della trasparenza dal 2015 al 2017 in tutte le stazioni di campionamento, con l'eccezione di C.da Castellaccio, in cui nel 2016 si ha un leggero innalzamento dei valori di danno alla chioma, e di Cimitero, in cui l'indice aumenta lievemente dal 2015 al 2016 rimanendo pressoché costante nel 2017. I picchi di trasparenza si raggiungono nel 2015 a Alpe Ramusa, C.da Girati e Piano Cancemi, mentre i valori minimi si raggiungono nel 2017 a Pulpito del Re, Cozzo Becchi, C.da Castellaccio e Alpe Cucco. Tali andamenti sono in linea con l'andamento della media delle ovideposizioni per rametto (Fig. 7).

Nell'area di Monte Cammarata, l'indice di trasparenza visiva della chioma è più alto rispetto alle aree di Ficuzza e ha un andamento, anche qui, decrescente in tutte le stazioni osservate; i valori massimi di danno alla chioma si registrano a Pizzo Apa Pini, mentre il Vivaio Filici riporta valori nei tre anni più bassi rispetto alle altre due stazioni considerate (Fig. 21); anche per Cammarata i dati relativi alla trasparenza visiva sono in linea con la media delle ovature per rametto (Fig. 8).

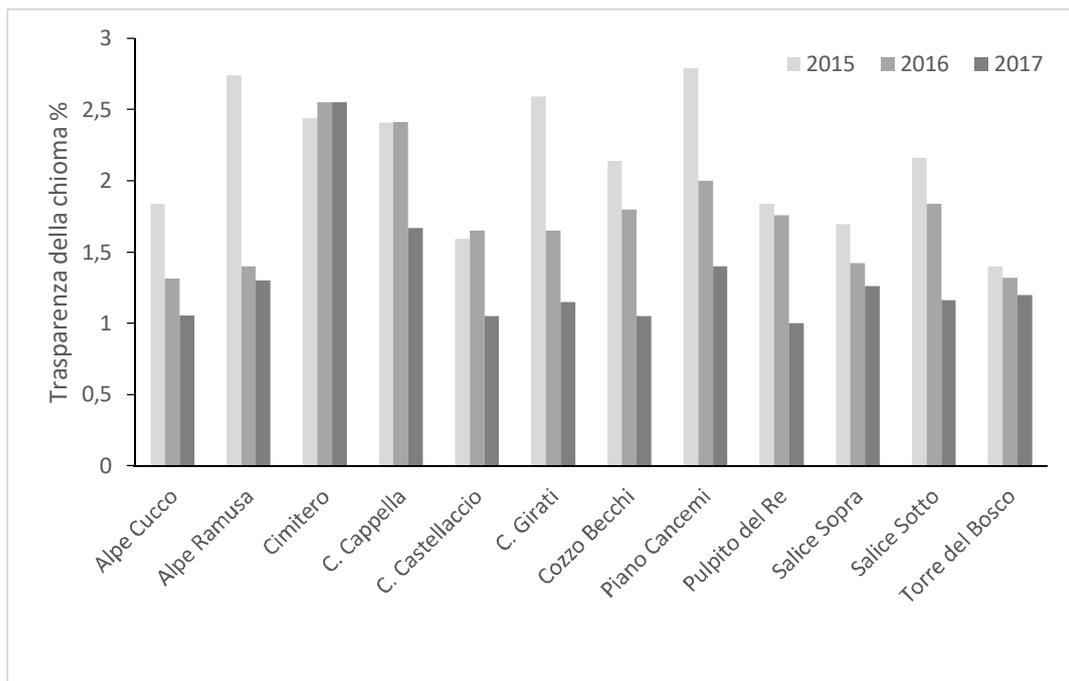


Fig. 20 – Andamento dell'indice di trasparenza della chioma per le stazioni di campionamento di Bosco Ficuzza

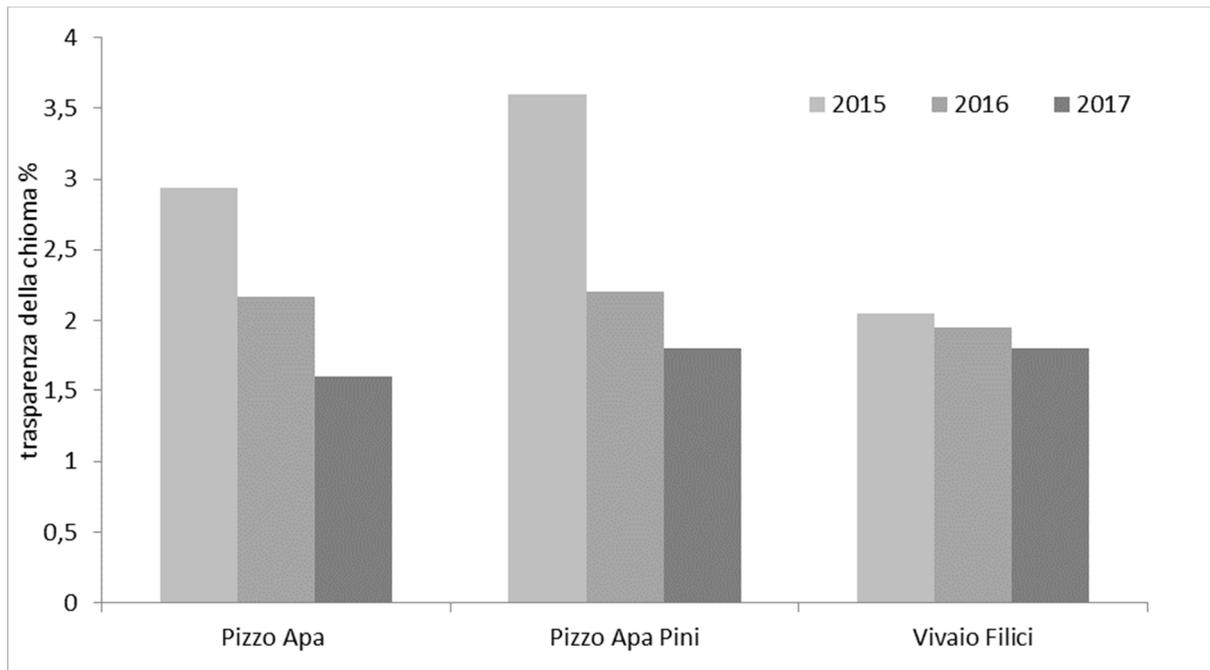


Fig. 21 – Andamento dell'indice di trasparenza della chioma per le stazioni di campionamento di Monte Cammarata

Per quanto riguarda i valori dell'indice di deperimento nel Bosco di Ficuzza, confrontando i risultati del 2015 con i dati del 2016, le stazioni in cui è emerso un maggiore grado di deperimento (superiore al 30%) sono state Cimitero (rimboschimento a querce con prevalenza di *Q. leptobalanos* miste a frassino), e Contrada Cappella (querceto misto a *Q. leptobalanos* e *Q. virgiliana*); l'area di Pulpito del Re a *Q. leptobalanos* si caratterizza anch'essa per un elevato livello di deperimento sia in termini di trasparenza della chioma che di sintomi al fusto. Di intensità trascurabile risultano tutti gli indici nelle stazioni di campionamento in cui le diverse specie quercine si ritrovano miste alla *Q. gussonei* e alla *Q. trojana*, entrambe appartenenti alla Sezione *Cerris*. Nel 2017 l'indice di deperimento decresce ulteriormente in tutte le stazioni rilevate, mantenendosi intorno al 20% solo nella stazione di Contrada Cappella (querceto misto a *Q. leptobalanos* e *Q. virgiliana*) e all'Alpe Ramusa (querceto a *Q. leptobalanos*) (Tab. 8, Fig. 22). Nelle 3 stazioni dell'agrigentino, l'indice di deperimento relativo al Vivaio Filici rimane costante tra il 2015 e il 2016, mentre risultano più alti, ma sensibilmente inferiori rispetto al 2015 (Tab. 8), i dati relativi alle stazioni Pizzo Apa Pini e Pizzo Apa; nel 2017 l'indice di deperimento e l'intensità di trasparenza della chioma diminuiscono in tutte le stazioni (Fig. 23).

Gli indici visivi sono stati confrontati con un'analisi di correlazione; l'indice di trasparenza della chioma è correlato con la media delle ovideposizioni sincronizzate col danno (danno dell'anno x e ovature dell'anno precedente) ($\rho = 0,451$ e $p = 0,035$), al contrario non vi è correlazione tra

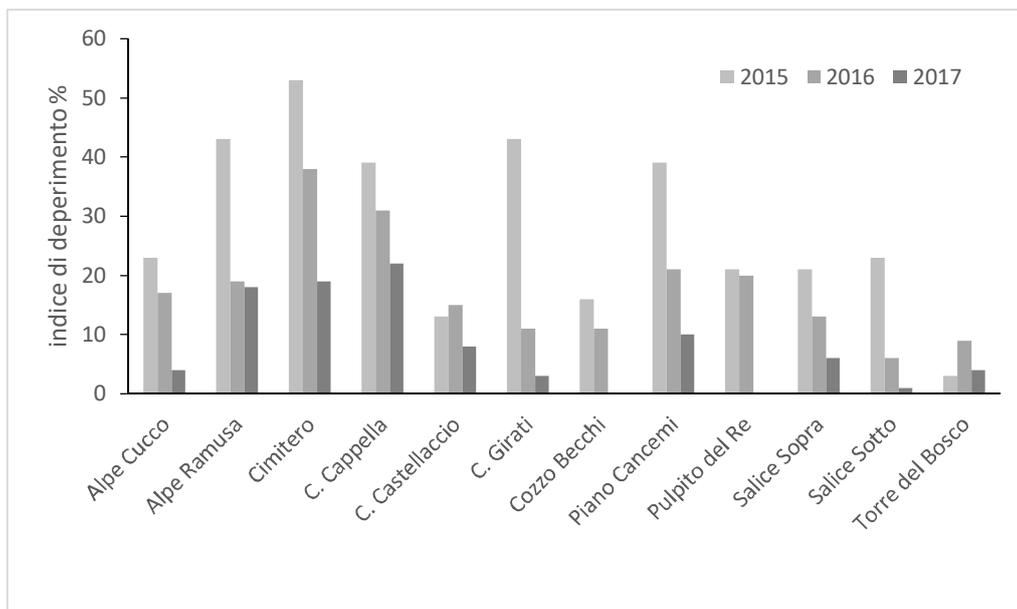


Fig. 22 - Indice di deperimento per stazione di campionamento nei tre anni a Bosco di Ficuzza

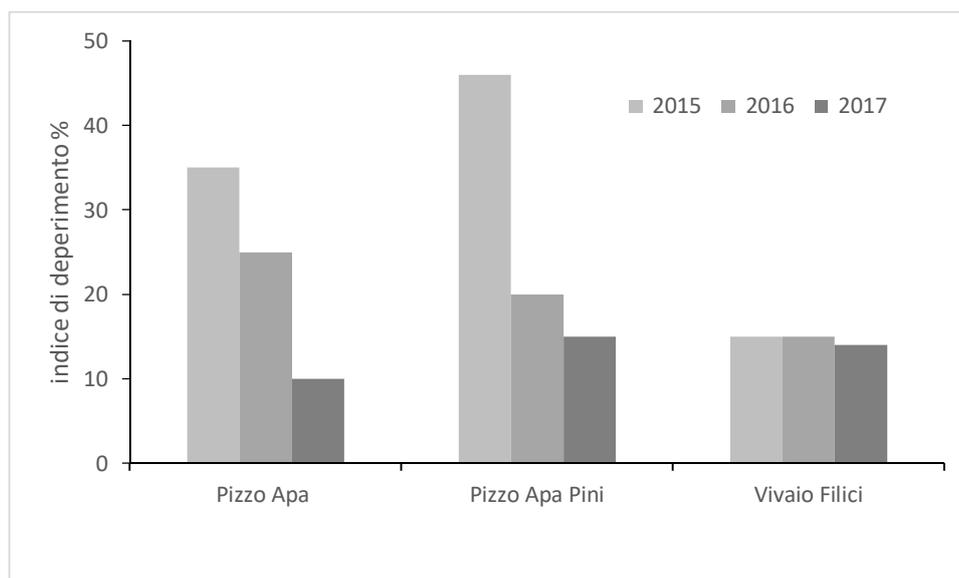


Fig. 23 - Indice di deperimento per stazione di campionamento nei tre anni a Bosco di Monte Cammarata

ovature e l'indice di deperimento ($\rho = 0,397$ e $p = 0,067$). Ciò è naturale conseguenza del fatto che l'indice di trasparenza visiva della chioma è strettamente correlato all'attività trofica dei bruchi, mentre l'indice di deperimento implica oltre alla valutazione della defogliazione anche i danni al fusto causati da micosi. Significativa è, al contrario, la correlazione tra indice di trasparenza visiva e indice di deperimento ($\rho = 0,878$ e $p = 0,000$) a dimostrazione che il modello di analisi utilizzato esprime in modo soddisfacente il ruolo dei fattori considerati.

ANALISI DEL DANNO FOGLIARE

6.1 PREMESSA

La misurazione dell'area fogliare viene di solito utilizzata in ricerche di tipo biometrico relative a specie di interesse agronomico (olivo, vite, ecc.), mentre pochi lavori riguardano la misura della superficie fogliare in ambito forestale e su un campione molto esteso.

Con riguardo alla valutazione dei danni da defogliazioni causate da insetti la misurazione dell'area fogliare può essere utile sia per comprendere la capacità di resistenza delle piante ospiti che per valutare le interazioni pianta/insetto (Jansky *et al.*, 1999; Hammond *et al.*, 2000). I metodi che i ricercatori hanno utilizzato per stimare il danno alle foglie sono essenzialmente basati sulla stima visiva o sul tracciamento manuale delle foglie danneggiate attraverso l'utilizzo di un misuratore di area fogliare (Stotz *et al.*, 2000, Hoy e Hall, 1993; Lo Verde *et al.*, 2011); questi procedimenti risultano però onerosi anche in termini di tempo necessario per le analisi delle immagini. O'Neal *et al.* (2002) hanno validato un protocollo riferito all'analisi del danno da insetto su foglie di soia (*Glycine max* (L.) Merr.), utilizzando un comune scanner da tavolo e un software *open source* in grado di misurare l'area fogliare persistente e quella rimossa dagli insetti (Image 4.0).

6.2 MATERIALI E METODI

Per ogni stazione di campionamento, sulle 4-6 piante individuate per il monitoraggio delle ovature (cfr. par. 4.2), sono state prelevate 100 foglie in modo casuale da due porzioni apicali di almeno 50 cm. Le foglie sono state raccolte in quattro diversi campionamenti: primavera 2016 e 2017 e autunno 2015 e 2016. Nei due campionamenti autunnali, le foglie utilizzate per l'analisi sono state prese dagli stessi rami raccolti per il monitoraggio delle ovature.

Le foglie sono state suddivise in "danneggiate" e "sane" sulla base della presenza di evidente attività dei fillofagi, numerate e scansionate utilizzando uno scanner da tavolo. Le immagini in formato digitale sono state analizzate attraverso un software di elaborazione digitale per immagini (ImageJ Fiji), che misura diversi parametri: area, perimetro, circolarità, lunghezza massima, lunghezza minima, rapporto lunghezza su larghezza (Fig. 24). In particolare, una volta effettuato il *set scale* in maniera da calibrare l'immagine in unità di misura metriche, è possibile modificare la scala cromatica tramite la sequenza di comandi *Image>Adjust>Threshold color*. La saturazione, la brillantezza e i livelli di ombra degli oggetti nell'immagine digitale, all'interno della regolazione dell'esposizione, sono stati manipolati per creare un'immagine nera su uno sfondo bianco in modo da definire meglio l'area da misurare. E' sempre possibile confrontare

l'immagine modificata con l'originale per verificare che una corretta calibratura cromatica consenta il miglior rilevamento del danno. Successivamente si esegue la sequenza di comandi *Analyze>Tools>ROI Manager* ed attraverso i comandi *Wand* e *Add* vengono selezionate e numerate le singole foglie di cui effettuare le misurazioni tramite il comando *Measure*.

I dati sulla superficie fogliare sono stati elaborati applicando un'ANOVA, in cui i fattori considerati sono stati l'anno, il periodo (primavera/autunno), la specie, la stazione, l'habitat, la media delle ovature.

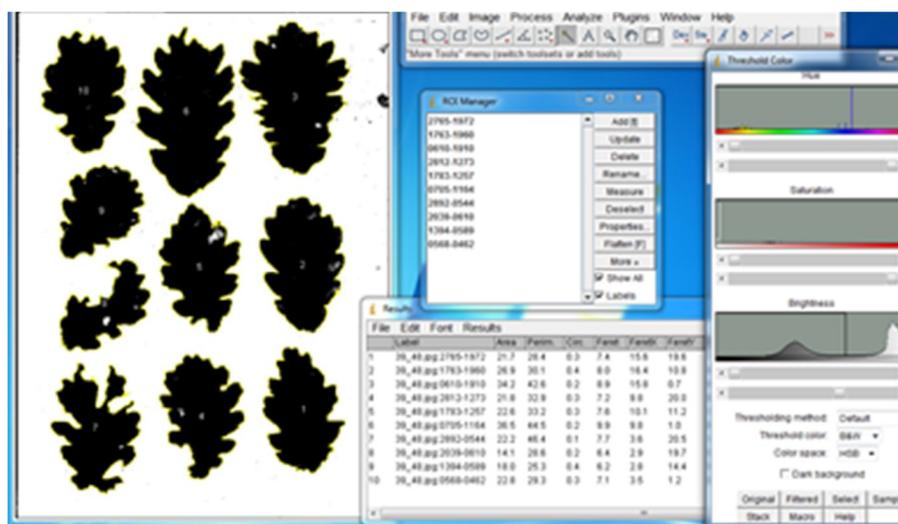


Fig. 24 - Analisi delle foglie in formato digitale tramite software Fiji ImageJ

6.3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Sono state esaminate 13.427 foglie prelevate nell'autunno del 2015, 8911 nella primavera 2016, 8934 nell'autunno 2016 e 4971 nella primavera 2017.

Dall'esame dei parametri relativi all'analisi fogliare, si è registrata una criticità nella struttura dei dati, in quanto, contrariamente a quanto atteso, il numero totale di foglie danneggiate e la distribuzione delle foglie sane e danneggiate per classi dimensionali risultano molto simili tra loro (Fig. 25 e 26), per tutte le specie considerate, sia nelle stazioni di Monte Cammarata che di Ficuzza. L'analisi della varianza ha dimostrato che i fattori considerati nel modello non consentono di spiegare la distribuzione dei dati di superficie fogliare ($p < 0,05$); inoltre, i livelli simili di superficie delle foglie danneggiate e delle foglie sane sono in linea con i bassi livelli d'infestazione registrati nei tre anni di rilievi.

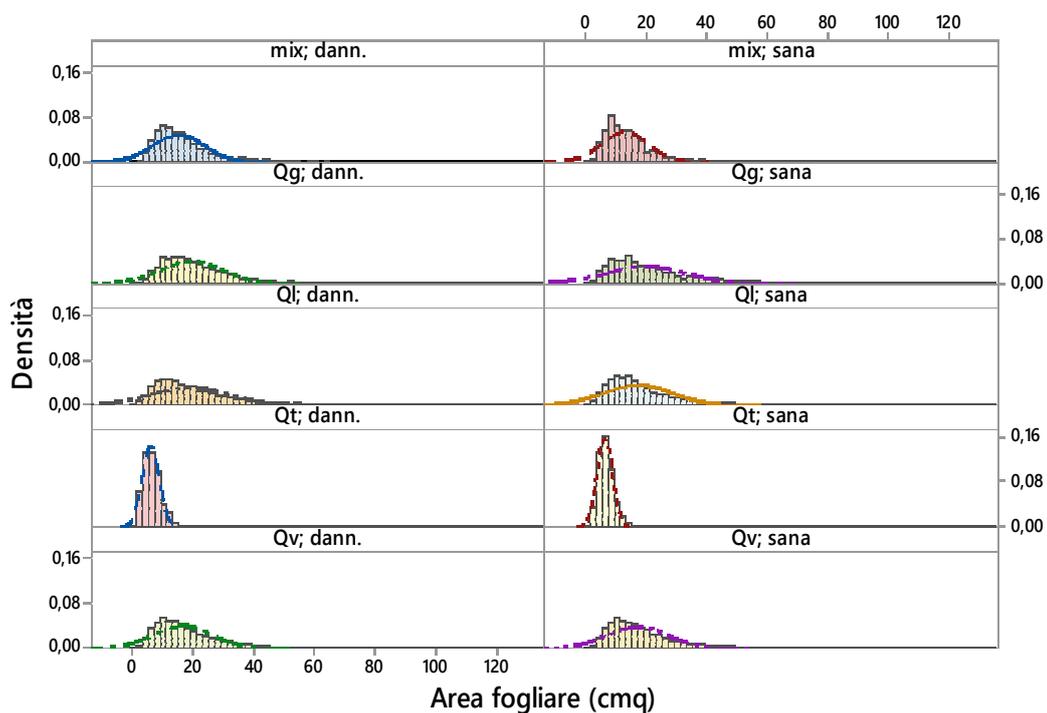


Fig. 25 – Distribuzione delle foglie in funzione delle classi di superficie nelle foglie sane e danneggiate sulle diverse specie di querce a Ficuzza.

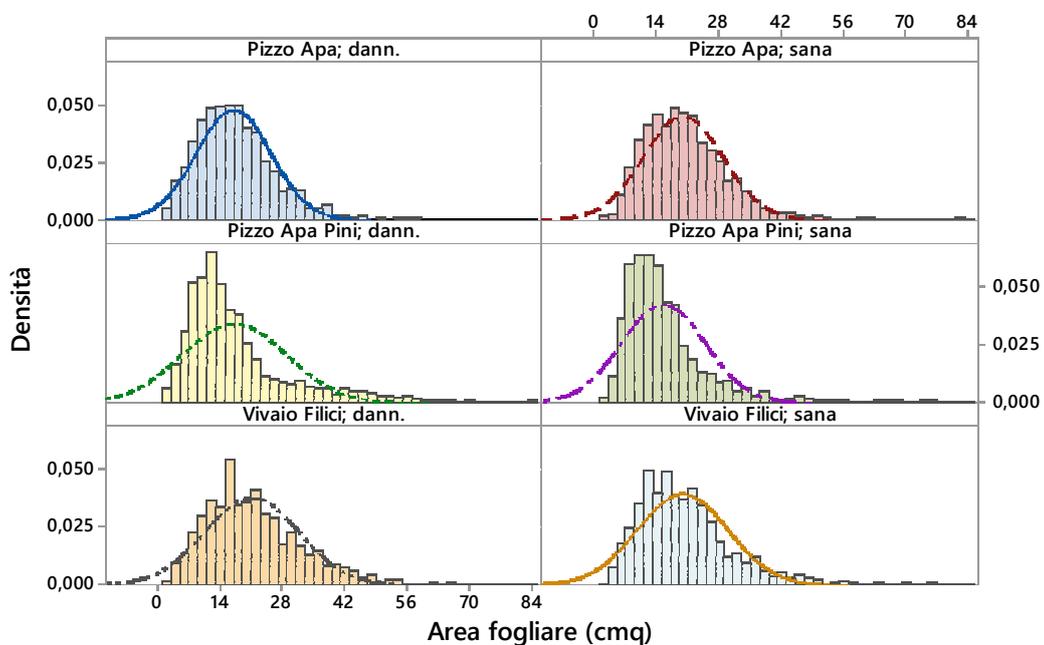


Fig. 26 – Distribuzione delle foglie in funzione delle classi di superficie nelle foglie sane e danneggiate nelle diverse stazioni di Monte Cammarata.

6. VALUTAZIONE DELLA TRASPARENZA DELLA CHIOMA CON *REMOTE SENSING*

7.1 PREMESSA

L'utilizzo del telerilevamento satellitare per lo studio della vegetazione è ampiamente documentato in diversi campi di applicazione (inventari forestali, uso del suolo, studio di parametri biologici quali indice di area fogliare, biomassa epigea e stadio fisiologico, previsione delle produzioni agricole e per il monitoraggio delle aree percorse da incendio). A partire dal sensore Landsat, il *remote sensing* è stato utilizzato, nelle foreste decidue, anche per rilevare l'entità delle defogliazioni causate dagli insetti, compresi i Lepidotteri fillofagi (Hurley *et al.*, 2004).

Lo studio delle variazioni della riflettanza in anni di alti livelli di infestazione e anni in cui la defogliazione è bassa, può essere utilizzato per definire le alterazioni della trasparenza della chioma provocate dai fillofagi (Townsend *et al.*, 2012).

Kelly (2002) ha studiato il declino delle querce in California usando le immagini satellitari ad alta risoluzione, e ha dimostrato una precisione complessiva del 92% nel rilevare la mortalità quercina utilizzando il *Normalised Difference Vegetation Index* (NDVI). L'NDVI è un indice spettrale fortemente correlato al contenuto di clorofilla e definito mediante la seguente espressione: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, dove NIR rappresenta il vicino infrarosso (*Near InfraRed*), mentre RED rappresenta la banda del rosso visibile. Al numeratore ci sono le quote di radiazione riflessa, al denominatore le quote di radiazione incidente, che colpiscono la superficie di interesse. Tale indice è un indicatore basato sulla riflettanza di un corpo (vegetazione) verso alcune bande delle onde elettromagnetiche, in particolare quelle del rosso e del vicino infrarosso. L'indice fornisce un valore numerico adimensionale, teoricamente compreso tra -1 e +1. Valori bassi di NDVI si verificano in aree a bassa o assente copertura vegetale, o dove la vegetazione presente è senescente o sofferente, mentre gli alti valori dell'indice rispecchiano una situazione di forte attività fotosintetica e quindi elevata presenza di biomassa. I valori di NDVI variano prevalentemente in un range compreso tra -0.2 e +0.6 sulle terre emerse, mentre i corpi d'acqua, la neve e le nubi presentano valori vicini allo zero o leggermente negativi. Dunque, attraverso l'NDVI si possono identificare velocemente le condizioni delle aree boschive indagate: una vegetazione sana e vigorosa assorbe una quota maggiore della luce mentre riflette maggiormente la banda elettromagnetica del vicino infrarosso registrando così alti valori di NDVI. Viceversa, una vegetazione sparsa, degradata o poco funzionante riflette la luce visibile più dell'infrarosso vicino, determinando bassi valori di NDVI (Meigs *et al.*, 2011; Townsend *et al.*, 2012; Czerwinski *et al.*, 2014; Sala *et al.*, 2015). Ad oggi,

l'NDVI è l'indice di vegetazione usato più frequentemente per monitorare le infestazioni (Rullan-Silva *et al.*, 2013, 2015), anche per quanto riguarda in particolare i danni da *T. viridana* (Gooshbor *et al.*, 2015).

7.2 MATERIALI E METODI

Per lo studio della trasparenza della chioma basato su immagini ottenute da *remote sensing*, sono state acquisite 4 immagini a media risoluzione Landsat 8 OLI_TIRS (*Operational Land Imager Thermal Infrared Sensor*); questo satellite è caratterizzato da una risoluzione geometrica, ovvero da un'estensione della superficie di territorio di ripresa, pari a 30 x 30 m, e da una risoluzione temporale di 16 giorni. Le immagini acquisite sono riferite ai mesi di maggio e di giugno degli anni 2015, 2016 e 2017; tali le scene, per gli anni 2015 e 2016 includono entrambe le aree di studio; al contrario per il 2017, a causa della elevata nuvolosità nel periodo considerato, sono state scelte due differenti immagini consecutive (Tab. 9). Le quattro scene relative al Worldwide Reference System Path/Row 189/34 e 190/34 sono state scaricate dal sito USGS GLOVIS (<http://glovis.usgs.gov>); è stato utilizzato il Level 1T *Terrain Correction*, in maniera che le immagini fossero corrette radiometricamente e geometricamente.

Le immagini Landsat a media risoluzione spaziale sono funzionali al monitoraggio dei boschi su scala regionale, grazie alla loro ampia estensione spaziale, alla risoluzione spaziale media e alle bande multispettrali (Gooshbor *et al.*, 2015), ed inoltre gli archivi completi delle immagini Landsat sono scaricabili attraverso l'USGS (*United States Geological Survey*).

Tab. 9 – Dati acquisiti da *remote sensing*

Sensore	Area di studio	Data di acquisizione	Dimensione del pixel	Path/row	Risoluzione spettrale	Bande usate	Cloud_Cover Land
LANDSAT 8 OLI_TIRS	Bosco Ficuzza	01/06/2015	30 m	189/34	Multispettrale (8 bande)	4, 5	48,64
		03/06/2016		189/34			0,46
		28/05/2017		190/34			1,40
LANDSAT 8 OLI_TIRS	Monte Cammarata	01/06/2015	30 m	189/34	Multispettrale (8 bande)	4, 5	48,64
		03/06/2016		189/34			0,46
		30/06/2017		189/34			3,37

Le immagini sono state pre-processate ed elaborate col software Erdas 2015. Al fine di confrontare i dati multispettrali con i dati di campo, su ciascuna scena sono state localizzate le stesse aree utilizzate per gli altri rilievi, precedentemente georeferenziate, sovrapponendo il

formato vettoriale delle stazioni di campionamento alle tre diverse scene e verificandone il grado di nuvolosità.

In ogni immagine è stata verificata la calibratura in riflettanza ed è stata effettuata la correzione atmosferica, in maniera da poter esaminare la variabilità spazio-temporale dell'indice di attività fotosintetica delle vegetazione (NDVI).

La correzione atmosferica permette di valutare l'incidenza dell'atmosfera sui dati telerilevati dal sensore, e rappresenta uno dei problemi più critici del pre-processamento delle immagini satellitari. L'atmosfera influenza i dati telerilevati in due modi diversi: smorza la radiazione e aumenta la diffusione della radiazione luminosa; una parte della radiazione diffusa, chiamata radiazione di percorso, viene deviata dall'atmosfera direttamente al sensore senza fornire informazioni sugli oggetti al suolo. L'interferenza dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione. I valori dei DN (*Digital Number*) di ciascuna banda delle scene selezionate sono stati convertiti in valori di riflettanza superficiale all'apice dell'atmosfera per ciascuna banda OLI usando lo strumento di calibrazione in Erdas 2015.

Dopo aver pre-processato il *dataset* delle immagini, per ogni scena sono stati creati una subset per ogni area di studio (Bosco Ficuzza e Bosco di Monte Cammarata); è stato successivamente calcolato per ogni immagine l'indice di vegetazione NDVI attraverso la funzione *Unsupervised* di Erdas, definendo il tipo di sensore (Landsat 8 OLI) e le bande spettrali relative all'NDVI (banda del rosso 4 e banda dell'infrarosso vicino 5); i tre *layer* così ottenuti per ogni area di campionamento e contenenti i dati relativi all'NDVI per ogni anno, sono stati infine composti in un unico *stack layer*, in modo che, dopo aver creato le AOI (*Area of Interest*) corrispondenti alle 15 stazioni di campionamento, attraverso la funzione *Supervised Signature Editor*, si è potuto classificare l'NDVI ottenuto. Tale metodologia ha consentito di estrapolare, per le diverse stazioni di campionamento presenti nelle due aree di studio, gli indici di vegetazione NDVI.

I valori di tutti gli indici sono stati analizzati a coppie per verificare la eventuale correlazione con i parametri visivi che dalle analisi precedenti erano risultati significativamente correlati con la media delle ovature: l'indice di trasparenza visiva della chioma e l'indice di deperimento (Indice di correlazione di Pearson, ρ ; $p < 0,05$).

7.3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Il confronto dei valori NDVI ottenuti nei tre anni di osservazione per le stazioni di campionamento di Monte Cammarata (Tab. 10 e Fig. 27) mostra per la stazione di Pizzo Apa nei tre anni un appiattimento dell'NDVI che si mantiene su valori compresi entro lo 0,4; nella stazione di Vivaio Filici e in particolare a Pizzo Apa Pini, l'NDVI è basso nel 2015

(raggiungendo a Pizzo Api Pini un valore di 0,90), per poi aumentare e stabilizzarsi nel 2016 e 2017 (Fig. 28), in accordo con quanto osservato sia rispetto all'infestazione (media ovature/rametto), che all'andamento del deperimento e della trasparenza della chioma, per poi crescere nei successivi due anni con un andamento simile alle precedenti stazioni di Monte Cammarata.

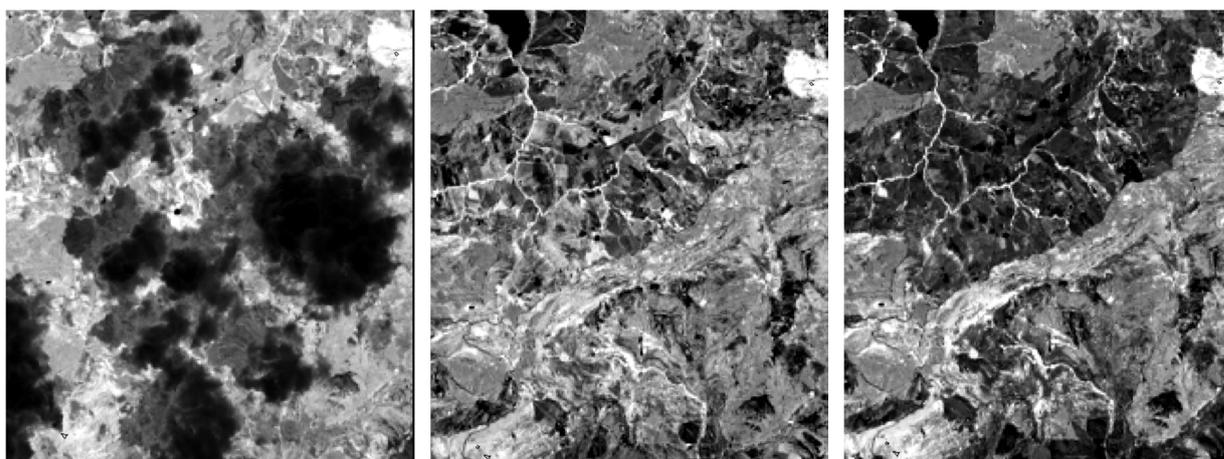


Fig 27 – NDVI 2015 - 2016 – 2017 Monte Cammarata

Tab. 10 – Valori medi di NDVI per le stazioni di Monte Cammarata

Stazione	Area m ₂	Anno	Minimo	Massimo	Media	Dev st
Pizzo Apa	3775,69	2015	0,417	0,462	0,442	0,015
		2016	0,396	0,458	0,428	0,018
		2017	0,386	0,455	0,424	0,021
Pizzo Apa Pini	1665,29	2015	0,090	0,164	0,128	0,027
		2016	0,402	0,475	0,449	0,026
		2017	0,371	0,450	0,427	0,030
Vivaio Filici	1556,57	2015	0,458	0,533	0,497	0,033
		2016	0,444	0,533	0,494	0,037
		2017	0,422	0,507	0,477	0,035

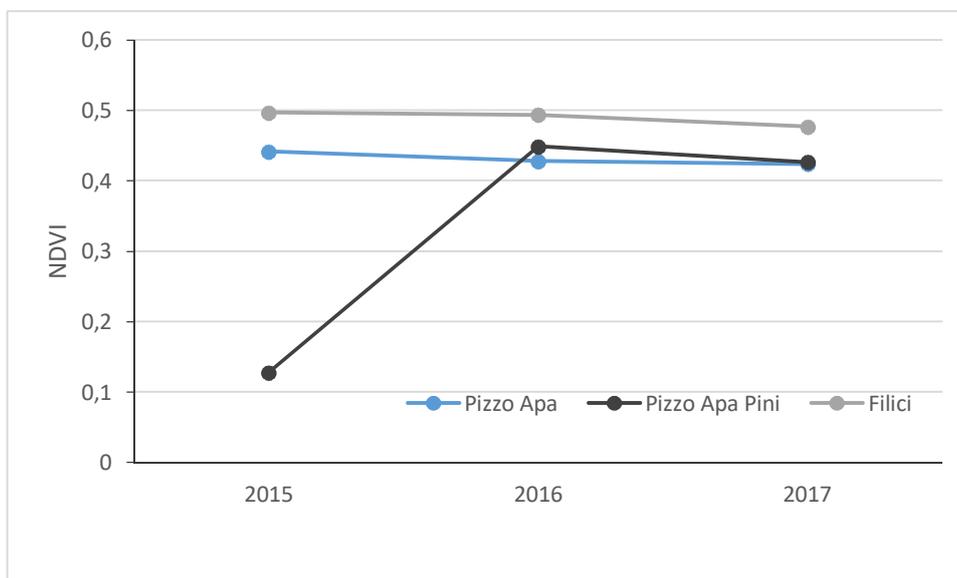


Fig. 28 – Andamento medio di NDVI nei tre anni per le stazioni di Cammarata

Nell'area di Bosco Ficuzza, l'NDVI medio nei tre anni (Tab. 11 e Fig. 29) ha generalmente un andamento crescente in linea coi dati derivanti dall'analisi della trasparenza della chioma e del monitoraggio delle ovideposizioni; in alcuni casi esso è però diminuito significativamente negli anni dopo l'infestazione massima registrata, sebbene i bassi valori medi dell'indice di vegetazione registrati per il 2017 a Pulpito del Re e a Salice sono falsati da una elevata concentrazione di nuvolosità puntualmente localizzata, che influisce sui DN delle bande multispettrali (Fig. 30).

Tale difformità nell'andamento dell'NDVI a livello di stazione vanno imputate ad alcune considerazioni, già evidenziate da Meigs *et al.* (2011) e da Gooshbor *et al.* (2015): l'NDVI tende a saturare nelle vicinanze della parte alta della chioma ed è altamente sensibile al segnale di sottofondo e di fondo del suolo, dunque spesso viene interpretato il ruolo delle biomasse fotosintetizzanti appartenenti non al soprassuolo quercino ma al sottobosco; inoltre i dati telerilevati sono sensibili solo alla parte superiore della chioma dell'albero, dunque è difficilmente rilevabile quanto accaduto alla parte inferiore. Infine va sottolineato che i dati di campo relativi alla trasparenza e al deperimento sono correlati non solo all'attività trofica dei fillofagi ma anche alle condizioni sanitarie dei popolamenti esaminati, che nel caso specifico, in

considerazione dei diversi andamenti climatici nei tre anni, hanno subito sensibili modificazioni; è dunque complesso definire una valutazione complessiva dell'andamento dell'NDVI senza correlare i dati telerilevati con le indagini di campo multifattoriali.

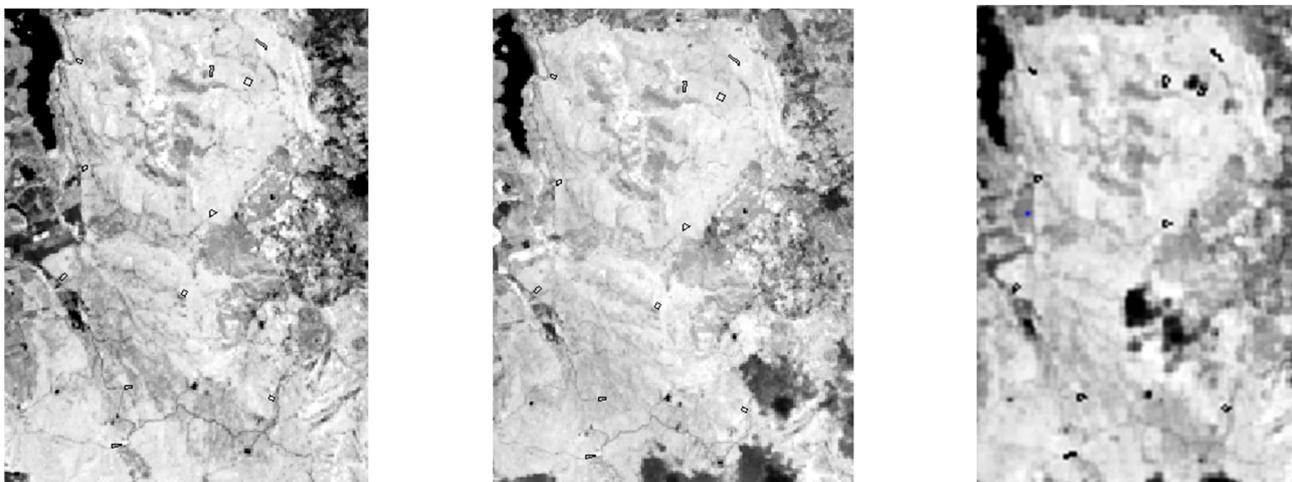


Fig 29 - NDVI 2015 - 2016 – 2017 Bosco Ficuzza

Tab. 11 – Valori medi di NDVI per le stazioni di Bosco Ficuzza

Stazione	Area m ₂	Anno	Minimo	Massimo	Media	Dev st
Alpe Cucco	4734,24	2015	0,504	0,538	0,524	0,010
		2016	0,480	0,544	0,528	0,021
		2017	0,493	0,547	0,530	0,018
Alpe Ramusa	5988,36	2015	0,412	0,511	0,466	0,032
		2016	0,423	0,542	0,485	0,038
		2017	0,427	0,534	0,481	0,036
Cimitero	6337,82	2015	0,286	0,467	0,418	0,056
		2016	0,319	0,496	0,428	0,061
		2017	0,315	0,517	0,452	0,070
C.da Cappella	7380,68	2015	0,391	0,498	0,476	0,030
		2016	0,420	0,541	0,509	0,032
		2017	0,398	0,531	0,498	0,033
C.da Castellaccio	5783,26	2015	0,399	0,510	0,472	0,035
		2016	0,368	0,507	0,459	0,044
		2017	0,383	0,514	0,463	0,049
C.da Girati	4745,52	2015	0,396	0,469	0,435	0,024
		2016	0,416	0,528	0,465	0,037
		2017	0,394	0,509	0,465	0,039
Cozzo Becchi	4263,97	2015	0,376	0,485	0,447	0,038
		2016	0,382	0,524	0,461	0,055
		2017	0,383	0,511	0,459	0,041
Piano Cancemi	6747,59	2015	0,452	0,556	0,526	0,030
		2016	0,478	0,579	0,551	0,029
		2017	0,467	0,563	0,538	0,028
Pulpito del Re	5782	2015	0,373	0,561	0,511	0,058
		2016	0,336	0,556	0,502	0,064
		2017	0,089	0,153	0,140	0,018

Salice	9861,71	2015	0,511	0,536	0,525	0,007
		2016	0,533	0,557	0,546	0,007
		2017	0,286	0,546	0,466	0,087
Torre del Bosco	6016,42	2015	0,491	0,535	0,518	0,011
		2016	0,508	0,552	0,540	0,013
		2017	0,498	0,539	0,527	0,011

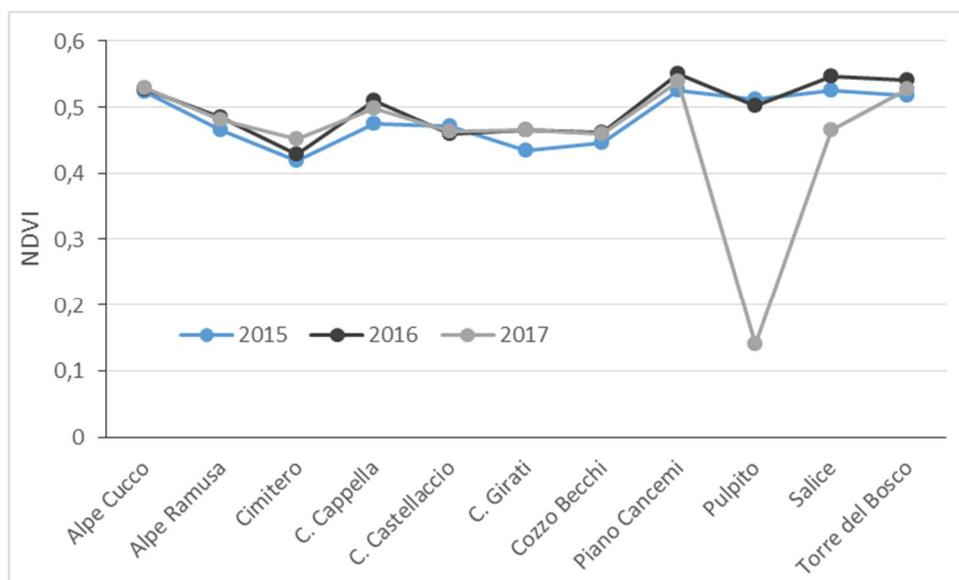


Fig. 30 – Andamento medio di NDVI nei tre anni per le stazioni di Ficuzza

L'analisi dell'indice di Pearson evidenzia una correlazione negativa ma non statisticamente significativa con l'indice di trasparenza visiva della chioma ($\rho = - 0,303$; $p = 0,092$) e con l'indice di deperimento ($\rho = - 0,321$; $p = 0,073$); i valori dell'NDVI infatti diminuiscono all'aumentare della trasparenza. Ciò potrebbe essere dovuto ai bassi livelli d'infestazione registrati negli anni di osservazione, anche se non si può escludere che il grado di sensibilità del sensore utilizzato (Landsat 8) non sia sufficiente a rilevare differenze di scarsa entità nello stato della vegetazione.

A tal fine, come rilevato recentemente da Modica *et al.* (2016), si ritiene utile, in futuro, indirizzare questa ricerca verso l'analisi di immagini satellitari con diverse geometrie e caratteristiche spettrali, in particolare attraverso l'utilizzo dei dati multispettrali provenienti dal satellite Sentinel 2, lanciato dall'ESA nel 2015 nell'ambito del programma *Copernicus*, che ha come obiettivo il monitoraggio ambientale globale in Europa. Il sensore Sentinel 2, i cui dati ad alta risoluzione sono liberamente accessibili, è dotato di un dispositivo multispettrale (MSI) in grado di acquisire immagini su 13 canali nel visibile/infrarosso (VNIR) e nella banda dell'infrarosso ad onde corte (SWIR): precisamente 4 bande nel visibile e vicino infrarosso con risoluzione spaziale 10 m, 6 bande nell'infrarosso con risoluzione spaziale 20 m e 3 bande con risoluzione 60 m di cui una nel blu e due nell'infrarosso; dunque questo sensore è in grado di

monitorare in maniera più efficace dei precedenti, lo sviluppo delle piante in ambito agricolo o forestale, valutando le variazioni nei livelli di clorofilla; in particolare, Sentinel 2 assicura una osservazione molto frequente delle aree esaminate (passaggi ogni 10 giorni), con immagini *cloud free* e ad alta risoluzione, in grado di seguire i cambiamenti della vegetazione con accuratezza e tempestività, includendo tre bande nel "red edge", che forniscono informazioni chiave sullo stato della vegetazione, assicurando una maggiore precisione nel calcolo di alcuni indici di vegetazione quali l'indice fogliare e l'NDVI (http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2).

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati sull'analisi visiva della trasparenza della chioma e sul deperimento sono correlati al livello delle popolazioni del tortricide, mentre i rilievi sulla superficie fogliare evidenziano forti criticità nella struttura dei dati. La superficie fogliare è risultata non correlabile con gli altri parametri rilevati (densità di ovideposizione, valutazione della trasparenza visiva della chioma e con *remote sensing*), infatti non emergono differenze statisticamente significative tra gli anni e le stagioni di indagine, le specie e le stazioni di campionamento.

Quando le condizioni ecologiche dei siti sono caratterizzate da un elevato livello di eterogeneità, come nelle aree oggetto di questo studio, i dati derivanti dalla stima di alcuni parametri considerati, come ad esempio NDVI e superficie fogliare, possono non risultare univoci, e di conseguenza il metodo di non facile applicazione. Anche dalla letteratura esistente non si traggono indicazioni metodologiche su come interpretare dati riferiti a condizioni eterogenee o a intervalli temporali brevi e in presenza di limitate differenze nei parametri considerati.

Da un'analisi multivariata in cui sono stati considerati i diversi fattori esaminati in questa ricerca (ovideposizioni sincronizzate col danno dell'anno successivo, trasparenza visiva, deperimento, NDVI e % di foglie danneggiate), emerge che la trasparenza visiva della chioma, correlata con il deperimento e l'ovideposizione, e l'NDVI sono le principali componenti che spiegano il 75% della variabilità (Fig. 31); nell'analisi multivariata, l'anno 2015 non è considerato in quanto non ci sono dati relativi alle ovature del 2014, infatti, come precedentemente spiegato, i dati considerati per le ovideposizioni sono sincronizzati rispetto al danno dell'anno successivo.

In Fig. 32 è riportato graficamente il peso di ciascuno dei parametri considerati sulle componenti principali; vi è una congruenza tra lo stato della vegetazione valutato con il metodo della trasparenza visiva e l'NDVI stimato da telerilevamento, in quanto siti con bassa percentuale di trasparenza presentano valori più alti di NDVI, mentre siti con alta percentuale di trasparenza presentano bassi livelli di NDVI. Nel caso in studio, le correlazioni tra densità dell'insetto e alcuni degli altri parametri non sono state statisticamente apprezzabili; tuttavia l'analisi multivariata comprendente tutti i fattori, indicando il peso di ciascuno di essi, ha confermato il ruolo prevalente di quelli che nelle analisi precedenti erano risultati correlati in modo statisticamente significativo, e al tempo stesso ha evidenziato che anche altri parametri, come l'NDVI, hanno un ruolo non trascurabile nel modello.

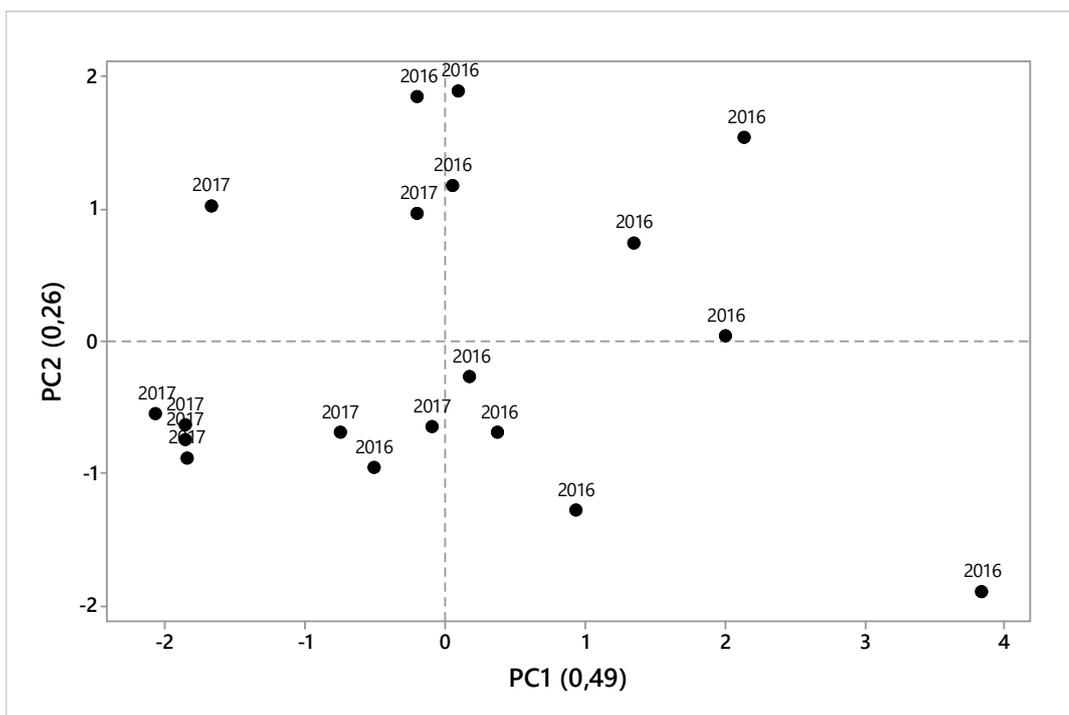


Fig. 31 – Analisi delle componenti principali PCA

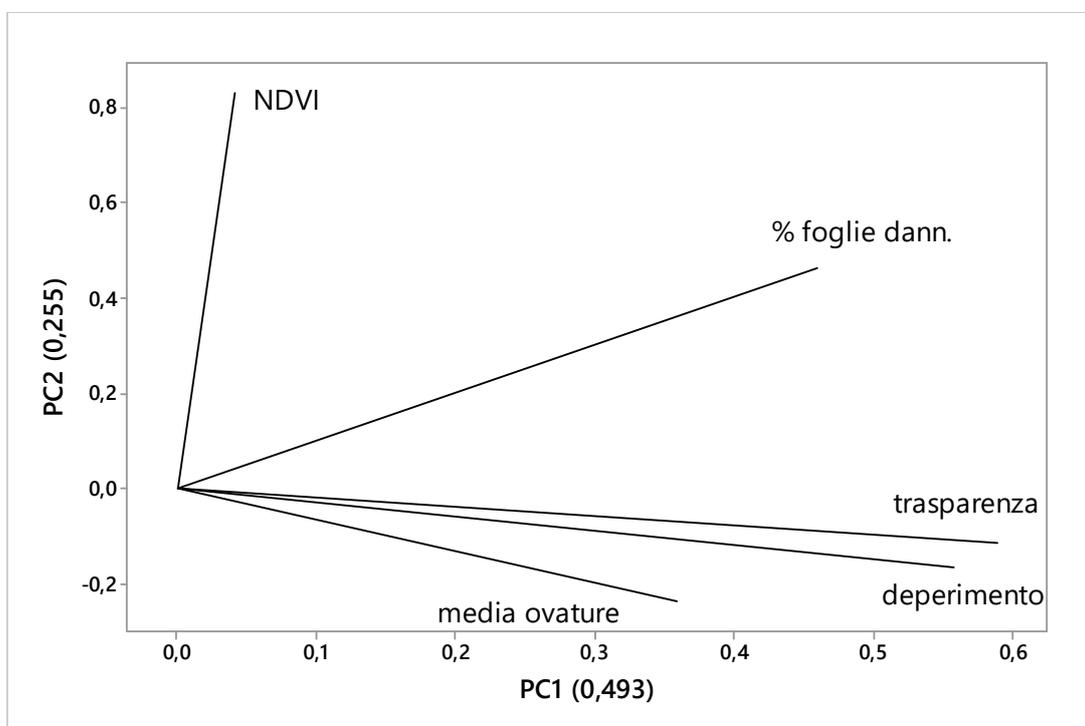


Fig. 32 – Importanza di ciascuno dei parametri considerati sulle due componenti principali (loading plot)

Considerando comunque che il basso livello di infestazione e di danno che risulta dalle analisi dei parametri relativi a ovature e trasparenza ha reso difficile la valutazione attraverso *remote sensing* delle differenze fra i tre anni della ricerca, sarebbe utile, per confermare l'efficacia del metodo di valutazione del danno, acquisire le immagini relative ad anni caratterizzati da forti defogliazioni; in particolare, ad esempio, infestazioni particolarmente intense sono state registrate, a Ficuzza, nella primavera del 1992, tali da giustificare il lancio del *Bacillus thuringiensis* (BT) con mezzi aerei, e nel 2012 nell'area di Monte Cammarata, presso il Vivaio Filici.

Sulla base della correlazione tra lepidotteri defogliatori e successo riproduttivo di alcune specie insettivore, i dati di questa ricerca potranno essere messi in relazione con studi effettuati in una delle aree-campione (M. Cammarata) sul ruolo degli uccelli insettivori nel controllo delle popolazioni dei defogliatori. Infatti i bruchi dei Lepidotteri defogliatori rappresentano la preda principale delle cince *Cyanistes caeruleus* e *Parus major* negli habitat di roverelle miste, suggerendo l'esistenza di un rapporto tra questi uccelli, le loro prede e i fattori che ne influenzano la disponibilità, quali ad esempio il grado di naturalità, indicando nella corretta pianificazione forestale un fattore potenziale e importante anche per la conservazione dell'avifauna insettivora (Massa *et al.*, 2011); il successo riproduttivo delle cince infatti richiede che i tempi della riproduzione siano esattamente sincronizzati con il picco di abbondanza delle larve di Lepidotteri.

Massa *et al.* (2011) hanno rilevato che le cince che nidificano nel querceto hanno avuto un successo riproduttivo maggiore che nelle aree rimboschite, mentre nell'area soggetta ad interventi di conversione del bosco, la consociazione di diverse specie quercine ha determinato un maggiore successo riproduttivo rispetto alle aree rimboschite; ciò dimostra la capacità delle popolazioni di cince di adattarsi all'habitat man mano che questo si evolve. I risultati di tali ricerche dovrebbero essere utilizzati nel programmare gli interventi di gestione dei rimboschimenti: l'impianto di latifoglie, all'interno di aree riforestate a prevalenza di conifere, infatti, incrementa la qualità delle risorse sfruttabili dagli uccelli insettivori, migliorando lo stato di conservazione a lungo termine dell'intero ecosistema.

Risulta dunque evidente che la gestione dei boschi non può prescindere dalla conoscenza delle complesse interazioni tra uomo, vegetazione e fauna e dal monitoraggio delle condizioni degli habitat. Come già evidenziato da Battisti e Masutti (2014), l'incidenza crescente delle infestazioni di artropodi nelle foreste, merita attenzione sia sotto il profilo gestionale che di prevenzione; gli insetti, infatti, hanno spesso reazioni imprevedibili alle sollecitazioni

dell'ambiente, tra queste la capacità di moltiplicarsi in massa in brevissimo tempo per ragioni che a volte sfuggono ad una immediata comprensione.

La situazione selvicolturale delle aree boschive esaminate è molto complessa, dal momento che sia i boschi di Ficuzza che di Monte Cammarata sono stati oggetto di numerosi interventi non caratterizzati dalla necessaria continuità della gestione e spesso eccessivi nell'intensità di prelievo. Gli attuali indirizzi di gestione forestale sono volti a rendere più funzionali i sistemi forestali che costituiscono questi boschi nel loro insieme. Principalmente per i querceti misti gli interventi da attuare riguardano il conseguimento del giusto grado di mescolanza tra le specie presenti, onde evitare che il trattamento passato finisca per condizionare eccessivamente la composizione dei popolamenti futuri. Quindi si dovrebbe intervenire per facilitare i processi di diffusione spontanea delle specie arboreo-arbustive autoctone, già attivi in molti tratti, operando cauti diradamenti selettivi. Inoltre una corretta gestione selvicolturale può determinare condizioni poco favorevoli alle esplosioni demografiche dei lepidotteri, con riflessi positivi sulla stabilità complessiva del popolamento forestale.

I risultati del lavoro svolto evidenziano che si dispone ad oggi di informazioni insufficienti per impostare strategie di gestione ambientale innovative ed efficaci. È necessario quindi un approfondimento delle conoscenze che consenta anche di ricostruire gli eventi critici verificatisi in una determinata area (annate di intense infestazioni, incendi, interventi selvicolturali, ecc.), nella prospettiva di attuare specifiche strategie di monitoraggio mirate alla realizzazione di efficaci modelli previsionali. Per quanto riguarda il rapporto tra *T. viridana* e le querce, allo stato attuale delle conoscenze, un'accurata valutazione visiva della trasparenza attraverso periodici rilievi sul campo si conferma il metodo ad oggi più idoneo per la valutazione del danno dei boschi in un contesto fortemente eterogeneo e costituisce comunque un elemento essenziale per la validazione di metodi alternativi quali il remote sensing. L'adozione di piani di monitoraggio basati su tale metodo dovrebbe comportare una adeguata formazione degli operatori, consentendo loro non solo di acquisire competenze tecniche specifiche, ma anche di incrementare il livello di sensibilità verso la gestione di un patrimonio unico e costantemente minacciato da fattori naturali e antropici.

Ringraziamenti - Desidero esprimere la mia gratitudine al Dott. Livio Torta per le importanti indicazioni sul deperimento delle querce, al Dott. Giovanni Giardina e al Dott. Leonardo Scuderi per le loro informazioni riguardo gli aspetti botanici e selvicolturali dei querceti di Ficuzza. Un sentito grazie va inoltre a: Giuliano Cerasa, Camillo Cusimano e Rocco Lo Duca per la collaborazione costante; a Milko Sinacori per il supporto nelle attività di campo e di laboratorio. Sono grata a Giovanna Sala e Rosanna Sciortino per la preziosa collaborazione riguardo il *remote sensing*. Ringrazio inoltre la laureanda Marica Palazzolo e tutto il personale del Dipartimento SAAF. Infine un ringraziamento va al Dipartimento Regionale dello Sviluppo Rurale e Territoriale per avere autorizzato il prelievo dei campioni necessario a questa ricerca.

Bibliografia

- Androic M., 1978. Effets économiques et écologiques de la défoliation causée par le Bombyx disparate (*Porthetria dispar* L.) dans les écosystèmes forestiers. Zast. Bilja, 155-161.
- Battisti A., Masutti L., 2014. Strategie di difesa dai fitofagi in relazione ai cambiamenti ambientali. Proceedings of the Second International Congress of Silviculture. Florence, November 26th - 29th 2014, 379 – 385.
- Benassai D., Niccoli A., Tiberi R., 2007. Bioecologia di *Tortrix viridana* L. (*Lepidoptera, Tortricidae*) in relazione alla pianta ospite in querceti della Toscana. 6° Congresso Nazionale SISEF, Arezzo 25 – 27 Set 2007, Contributo no. #c6.8.1.
- Bottacci A., 1996. Il deperimento delle querce: Sintomatologia ed influsso sul paesaggio agrario. Giornale botanico italiano. Vol.130, 153-157.
- Brullo S., Guarino R., Siracusa G., 1999. Revisione tassonomica delle querce caducifoglie della Sicilia. Webbia 54 (1), 1-72.
- Bussotti F., Ferretti M., Cozzi A., Grossoni P., Bottacci A., Tani C., 1995. Crown status of holm oak (*Quercus ilex* L.) trees as related to phenology and environmental stress. Water, Air, and Soil Pollution, volume 85, issue 3, 1269–1274.
- Bussotti F., Cenni E., Bettini D., Sarti C., Stergulc F., Feducci M., Capretti P., 2014. Le condizioni dei boschi in Italia. Risultati dalle indagini estensive di Livello I (1997-2010). Forest@ 11: 8-12.
- Cambini A., 1971. Valutazioni dei danni causati dagli insetti defogliatori alla quercia da sughero. Atti del 10 Convegno regionale del Sughero (Tempio P., 14 - 16 ottobre 1971), 327-339.
- Caleca V., Gammino G., 2001. Monitoring technique and evaluation of damage due to *Altica quercetorum* Foudras (Coleóptera Chrysomelidae) in Sicilian deciduous oak woodlands. In IUFRO Conference on Collecting and analyzing information for sustainable forest management and biodiversity monitoring with special reference to Mediterranean ecosystems, Palermo 4 – 7 dicembre 2001, 6-8.
- Carabeo M., Simeone M. C., Cherubini M., Mattia C., Chiocchini F., Bertini L., Caruso C., La Mantia T., Villani F., Mattioni C., 2016. Estimating the genetic diversity and structure of *Quercus trojana* Webb populations in Italy by SSRs: implications for management and conservation. Canadian Journal of Forest Research, 1-35.
- Czerwinski C.J., King D.J., Mitchell S.W., 2014. Mapping forest growth and decline in a temperate mixed forest using temporal trend analysis of Landsat imagery, 1987-2010. Remote sensing of environment 141, 188-200.

- Delrio G., Luciano P., 1985. The parasites and predators of *Euproctis chrysorrhoea* L. in Sardinia (preliminary note). Atti XIV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia sotto gli auspici dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, della Società Entomologica Italiana e della International Union of Biological Sciences. Palermo - Erice - Bagheria, 28 maggio-1 giugno 1985. 825-832.
- Du Merle P., 1983. Phenologies comparees du chene pubescent et du chene vert et de *Tortrix viridana* L. (*Lepidoptera, Tortricidae*). Mise en evidence chez l'insecte de deux populations sympatriques adaptees chacune a l'un des chenes. Acta Oecol. Oecol Appl. 4, 55–74.
- Du Merle P., 1985. Piégeage sexuel de *Tortrix viridana* L. (*Lep., Tortricidae*) en montagne méditerranée. II: Relation entre le nombre des captures et le niveau de population. Rendement des pièges. Zeitschrift für angewandte Entomologie, 100(3), 272-289.
- Du Merle P., 1988. Phenological resistance of oaks to the green oak leafroller *Tortrix viridana* (*Lepidoptera: Tortricidae*). In: Mattson W.J., Levieux J., Bernard-Dagan C. (Eds.), Mechanism of Woody Plant Defenses Against Insects, 215–226.
- Ferretti M., 1994. Mediterranean forest trees. A guide for crown assessment. CEC - UN/ECE, Brussels, Belgium, Geneva, Switzerland, 80 pp.
- Ferretti M., 1997. Forest Health Assessment and Monitoring – Issues for Consideration. Environmental Monitoring and Assessment, volume 48, issue 1, 45–72
- Ferretti M., 1998. Potential and limitation of visual indices of tree condition. Chemosphere, Vol. 36, No. 4-5, 1031-1036.
- Ferretti M., Bussotti F., Cozzi A., Cenni E., 1995. Forest decline and environmental pollution in Italy - Acritical reassessment. In: Responses of plants to air pollution (G. Lorenzini and G.F. Soldatini eds.). Agricoltura Mediterranea, 244-247.
- Ferretti M., Baratozzi L., Cenni E., Cozzi A., Savini P., 1998. Crown transparency of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Northern Apennines (Italy) – Status, changes and relationships with site characteristics and other indices of tree condition. Chemosphere, Vol. 36, No. 4-5, 1037-1042.
- Ferretti M., Bussotti F., Cenni E., Cozzi A., 1999. Implementation of quality assurance procedures in the Italian programs of forest condition monitoring. Water, Air and Soil Pollution 116, 371-376.
- Franklin J.F., Shugart H.H., Harmon M.E., 1987. Tree Death as an Ecological Process. BioScience Vol. 37 No. 8, 550-556.
- Fratian A., 1978. Influence des défoliations provoquées par *Lymantria dispar* sur l'accroissement et la viabilité des peuplements de quercinées. Zasl. Bljja, 143/144, 163·168.

- Foss L.K., Rieske L.K., 2003. Species-specific differences in oak foliage affect preference and performance of gypsy moth caterpillars. The Netherlands Entomological Society *Entomologia Experimentalis et Applicata* 108, 87-93.
- Gianguzzi L., La Mantia A., Rigoglioso A., 2002. Synphytosociological and ecological analysis of landscape applied to the management of protected areas in Sicily. 3. “Bosco Ficuzza-Rocca Busambra” Natural Reserve. In Proceedings IUFRO Conference (a cura di Corona P., Folving S., Marchetti M.). Palermo 4-7 dic. 2001, 72-75.
- Gianguzzi L., La Mantia A., 2004. Le serie di vegetazione della Riserva “Bosco Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago” (Provincia di Palermo). *Naturalista sicil.*, 28 (1), 265-326.
- Gianguzzi L., La Mantia A., Rigoglioso A., 2004. Carta della vegetazione della Riserva “Bosco Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago” (scala 1:20000). In Gianguzzi L., La Mantia A., Le serie di vegetazione della Riserva “Bosco Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago” (Provincia di Palermo). *Naturalista sicil.*, 28 (1), 265-326.
- Giardina G., La Mantia T., Sala G., Di Leo C., Pasta S., 2014. Possibile origine e consistenza di un popolamento di *Quercus trojana* Webb subsp. *trojana* (Fagaceae) nel Bosco della Ficuzza (Palermo, Sicilia). *Naturalista sicil.*, S. IV, XXXVIII (2), 145-170.
- Giardina G., La Mantia T., Sala G. & Pasta S., 2015. *Ostrya carpinifolia* Scop. (fam. Betulaceae) a Ficuzza (Monti Sicani, provincia di Palermo): note ecologiche e demografiche. *Naturalista sicil.*, XXXIX (1): 73-75.
- Gooshbor L., Pir Bavaghar M., Amanollahi J., Ghobari H., 2015. Monitoring Infestations of Oak Forests by *Tortrix viridana* (Lepidoptera: Tortricidae) using Remote Sensing. *Plant Protect. Sci.* Vol. 52, 2016, No. 2, 270–276.
- Hammond R.B., Higley L.G., Pedigo L.P., Bledsoe L., Spomer S.M., Degooyer T.A., 2000. Simulated insect defoliation on soybean: influence of row width. *J. Econ. Entomol.* 93, 1429-1436.
- Hoy C.W., Hall F.R., 1993. Feeding behavior of *Plutella xylostella* and *Leptinotarsa decemlineata* on leaves treated with *Bacillus thuringiensis* and esfenvalerate. *Pestic. Sci.* 38, 335-340.
- Horntvedt R., 1993. Crown density of spruce trees related to needle biomass. *Forest Ecology and Management*, volume 59, issues 3–4, 225-235.
- Hunter M.D., 1990. Differential susceptibility to variable plant phenology and its role in competition between two insect herbivores on oak. *Ecol. Entom.* 15, 401-408.

- Hurley A., Watts D., Burke B., Richards C., 2004. Identifying gypsy moth defoliation in Ohio using Landsat data. *Environmental & Engineering Geoscience*, 10 (4), 321-328.
- Jansky S., Austin-Phillips S., McCarthy C., 1999. Colorado potato beetle resistance in somatic hybrids of diploid interspecific *Solanum* clones. *Hortic. Sci.* 34, 922-927.
- Kelly N.M., 2002. Monitoring sudden oak death in California using high-resolution imagery. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184, 799-810.
- Kapeller S., Schroeder H., Schueler S., 2011. Modelling the spatial population dynamics of the green oak leaf roller (*Tortrix viridana*) using density dependent competitive interactions: effects of herbivore mortality and varying host-plant quality. *Ecological Modelling* 222, 1293-1302.
- Innes J.L., Boswell R.C., 1991. Monitoring of forest condition in Great Britain 1990. In: Forestry Commission. Bulletin, vol. 98. HMSO, London.
- Innes J.L., Whittaker R.J., 1993. Relationships between the crown condition of Sitka and Norway spruce and the environment in Great Britain: an exploratory analysis. *Journal of Applied Ecology* 30, 341-360.
- Innes J., 1988. Forest health surveys: problems in assessing observer objectivity. *Canadian Journal of Forest Research*. 18, 560-565.
- Ivashov A.V., Boyko G.E., Simchuk A. P., 2002. The role of host plant phenology in the development of the oak leafroller moth, *Tortrix viridana* L. (*Lepidoptera: Tortricidae*). *Forest Ecology and Management* 157, 7-14.
- La Mela Veca D.S., Cullotta S., Alferi I., Traina G., 2005. Le tipologie forestali della R.N.O. "Monte Cammarata". In D.S. La Mela Veca, e S. Cullotta (a cura di), I tipi forestali della Riserva Naturale Orientata "Monte Cammarata" (Monti Sicani – Sicilia Centro-occidentale) (pp. 25-102). Palermo: Azienda Regionale Foreste Demaniali Sicilia.
- Lo Verde G., Massa B., 1995. *Euproctis chrysorrhoea* L. (*Lepidoptera Lymantriidae*) e *Phytomyza phillyreae* Hering (*Diptera Agromyzidae*) presenti nella macchia mediterranea di Pantelleria: dati biologici e parassitoidi. *Naturalista Siciliano*, 19, 679-691.
- Lo Verde G., Rizzo R., Barraco G., Lombardo A., 2011. Effects of Kaolin on *Ophelimus maskelli* (*Hymenoptera: Eulophidae*) in Laboratory and Nursery Experiments. *J. Econ. Entomol.* 104(2), 180-187
- Longo S., Lo Verde G., Nucifora S., 2013. Indicatore 4/2011 - Defogliatori delle querce. In: Sidoti A. (ed), Rapporto sullo Stato delle Foreste in Sicilia 2011. Avversità degli alberi e delle foreste. Regione Siciliana Assessorato Regionale Delle Risorse Agricole e Alimentari DRAFD Servizio 7°- Forestale, 17-20.

- Luciano P., Del Rio G., Prota R., 1982. I defogliatori delle foreste a *Quercus suber* L. - Studi Sassaresi sez. I11 - Ann. Fac. Agr. Univ. Sassari, Vol. XXIX, 321-365.
- Luciano P., Roversi P.F., 2001. Fillofagi delle querce in Italia. Industria grafica Poddighe s.r.l., Sassari 2001, 162 pp.
- Luciano P., Lentini A., Cao O.V., 2003. La lotta ai lepidotteri defogliatori delle sugherete in Provincia di Sassari. Industria grafica Poddighe s.r.l., 69 pp.
- Manos P.S., Doyle J.J., Nixon K.C., 1999. Phylogeny, Biogeography, and Processes of Molecular Differentiation in *Quercus* Subgenus *Quercus* (*Fagaceae*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 12(3), 333–349.
- Mansilla P., Iglesias C., Mazoy D., 1993. *Altica quercetorum* Foudr. (*Cole. Chrysomelidae, Alticinae*). Plaga del Roble en Galicia. *Bol. San. Veg. Plagas*, 19 (1), 19-26.
- Massa B., Cusimano C.A., Margagliotta B., Galici R., 2011. Reproductive characteristics and differential response to seasonal temperatures of Blue and Great Tits (*Cyanistes caeruleus* e *Parus major*) in three neighbouring Mediterranean habitats. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 66, 157-172.
- Meigs G.W., Kennedy R.E., Cohen W.B., 2011. A Landsat time series approach to characterize bark beetle and defoliator impacts on tree mortality and surface fuels in conifer forests. *Remote sensing of environment* 115, 3707-3718.
- Modica G., Solano F., Merlino A., Di Fazio S., Barreca F., Laudari L., Fichera C.R., 2016. Using Landsat 8 imagery in detecting cork oak (*Quercus suber* L.) woodlands: a case study in Calabria (Italy). *Journal of Agricultural Engineering* 2016; XLVII:571, 205 – 215.
- O’Neal M.E., Landis D.A., Isaacs R., 2002. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. *J. Econ. Entomol.* 95(6), 1190-1194.
- Regione Siciliana – Dip. Reg.le Azienda Foreste Demaniali, 2011. Rapporto sullo stato delle foreste in Sicilia 2010. Suppl. n° 2 del mensile “Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi”, anno 17 n° 10 Dicembre 2011 – Gennaio 2012.
- Regione Siciliana – Dip. Reg.le dello Sviluppo Rurale e Territoriale, 2013. Rapporto sullo stato delle foreste in Sicilia 2013. Avversità degli alberi e delle foreste. Aprile 2015, 74 pp.
- Rossini M., Panigada C., Meroni M., Busetto L., Castrovinci R., Colombo R., 2007. Monitoraggio delle condizioni della farnia (*Quercus robur* L.) nel Parco del Ticino mediante tecniche di telerilevamento iperspettrale. *Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale*, 194-203.
- Roversi P.F., De Silva J., 1994. Distribuzione spaziale e temporale delle uova di *Tortrix viridana* (L.) in querceti della Toscana (*Lepidoptera Tortricidae*). In Atti XVII Congresso Nazionale

- Italiano di Entomologia. Udine 13-18 giugno 1994, 743-746.
- Rullan-Silva C.D., Olthoff A.E., Delgado de la Mata J.A., Pajares-Alonso J.A., 2013. Remote monitoring of forest insect defoliation. A review. *Forest Systems*, 22, 377-391.
- Rullán-Silva C., Olthoff A. E., Pando V., Pajares J. A., Delgado J.A., 2015. Remote monitoring of defoliation by the beech leaf-mining weevil *Rynchaenus fagi* in northern Spain. *Forest Ecology and Management* 347, 200–208.
- Sala G., La Mantia T., Buscemi I., Ciruolo G., 2015. Monitoring the invasion of an exotic tree *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle with Landsat satellite time series imagery in urban forest. 10° Congresso Nazionale SISEF, Firenze 15 – 18 Set 2015, Poster.
- Sala G., Giardina G. & La Mantia T., 2011. I fattori di rischio per la biodiversità forestale in Sicilia: il caso studio del cerro di Gussone. *L'Italia Forestale e Montana*, 66 (1), 71-80.
- Sala G., La Mantia T., Giardina G., Lauteri M., Garfi G., 2015. Climatic signals of tree-ring in *Quercus gussonei* (Borzi) Brullo in the Mediterranean region. In: Proceedings of the 10th SISEF National Congress “Sostenere il pianeta, boschi per la vita - Ricerca e innovazione per la tutela e la valorizzazione delle risorse forestali” (Travaglini D., Rossi P., Bucci G. eds.). Firenze (Italy) 15-18 Sep 2015. Abstract-book, Paper #c10.13.29.
- Serra G., Luciano P., Gilioli G., 2000. Indagini sulla distribuzione spaziale delle ovideposizioni di *Tortrix viridana* L. (*Lepidoptera Tortricidae*) in querceti della Sardegna. *Redia*, 81, 161-174.
- Serra G., Luciano P., Gilioli G., 2001. Indagini sulla distribuzione spaziale delle ovideposizioni di *Tortrix viridana* L. (*Lepidoptera Tortricidae*) in quercetin della Sardegna. Secondo contributo. *Redia*, LXXXIV, 20DI, 161-172.
- Serra G., Luciano P., Gilioli G., 2002 (ed. 2003). Observations on the spatial distribution of the green oak leaf-roller moth eggs in Sardinian forests. Third contribution: sampling design in *Quercus pubescens* Willd. Forest stands. *Redia*, LXXXV, 213-227.
- Serra G., Roversi P. F., Cao O. V., Luciano P., 2002. L'impiego delle trappole a feromoni nella previsione delle infestazioni di *Tortrix viridana* L. (Lep. Tortricidae). Atti XIX Congresso nazionale italiano di Entomologia, Catania 10-15 giugno 2002, 867-872
- Serra G., Lentini A.; 2007. Effetti dei trattamenti con *Bacillus thuringiensis* Berl. *kurstaki* sulla lepidotterofauna non target in boschi di roverella infestati da *Tortrix viridana* L. (*Lepidoptera Tortricidae*). *Notiziario sulla protezione delle piante* 21, 199-203.
- Serra G., Maestrone G. B., Baratti M., Lentini A., 2014. Genetic variation in Sardinian populations of the Green oak leaf roller *Tortrix viridana* L. (*Lepidoptera*, *Tortricidae*). *Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin Vol. 101*, 221-225.

- Sidoti A., Colletti A., 2006. Funghi ed Insetti riscontrati nei boschi della Sicilia nell'anno 2005. Regione Siciliana, Ass. Reg.le Agricoltura e Foreste – Dipartimento Azienda Regionale Foreste Demaniali UOB n. 3 – Difesa fitosanitaria dei boschi. Palermo, ottobre 2006.
- Sidoti A., 2011. Stato fitosanitario dei boschi in Sicilia. Conoscenze attuali, monitoraggio e interventi di protezione. Rapporto sullo stato delle foreste in Sicilia 2010, Compagnia delle foreste, 46-55.
- Silvestri F., 1923. Contribuzioni alla conoscenza dei Tortricidi delle querce. (I. 11.). - Boli. Lab. Zool.gen. agr. Portici, XVII, 41-107.
- Stotz H.U., Pittendrigh B. R., Kroymann J., Weniger K., Fritsche J., Bauke A., Mitchell-Olds T., 2000. Induced plant defense responses against chewing insects: ethylene signaling reduces resistance of *Arabidopsis* against Egyptian cotton worm but not diamondback moth. *Plant Physiol.*, 124, 1007-1019.
- Townsend P. A., Singh A., Foster J. R., Rehberg N. J., Kingdon C.C., Eshleman K.N., Seagle S.W., 2012. A general Landsat model to predict canopy defoliation in broadleaf deciduous forests. *Remote sensing of environment* 119, 255-265.

Appendice

Allegato 1- Indice di deperimento e classi di trasparenza, per stazioni di campionamento e per anno, nelle due aree di studio ($Qv = Q. virgiliana$; $Ql = Q. leptobalanos$; $Qt = Q. trojana$; $Qg = Q. gussonei$)

Stazione	Specie	Anno	Incidenza (%)			N° piante per classe di sintomo									Indice di trasparenza	Indice di deperimento (%)
						Trasparenza chioma					Lunghezza cancri fusto					
			Piante sane	Piante deperienti	Piante morte	Classe di intensità					Classe di intensità					
						0	1*	2*	3*	4*	0**	1**	2**	3**		
Alpe Cucco	Ql	2015	50	45	5	8	4	5	1	2	16	1	0	3	1,84	23
		2016	53	47	0	16	1	1	1	0	10	6	0	3	1,32	17
		2017	89	11	0	18	1	0	0	0	17	1	0	1	1,05	4
Alpe Ramusa	Ql	2015	15	85	0	3	4	7	2	4	12	1	1	6	2,74	43
		2016	55	45	0	14	4	2	0	0	13	0	1	6	1,40	19
		2017	65	35	0	15	4	1	0	0	13	0	1	6	1,30	18
Cimitero	Ql	2015	5	85	10	2	2	9	5	2	6	0	2	12	2,44	53
		2016	20	80	0	3	7	6	4	0	7	1	2	10	2,55	38
		2017	60	40	0	3	7	6	4	0	7	1	2	10	2,55	19
C. Cappella	miste	2015	13	83	3	2	9	12	5	2	18	0	1	11	2,41	39
		2016	38	62	0	7	9	7	6	0	17	0	0	12	2,41	31
		2017	50	50	0	18	7	2	3	0	19	2	1	8	1,67	22
C. Castellaccio	Qv	2015	65	35	0	11	5	3	1	0	16	1	2	1	1,59	13
		2016	60	40	0	12	5	1	2	0	12	2	4	2	1,65	15
		2017	80	20	0	19	1	0	0	0	16	0	2	2	1,05	8
C. Girati	Qt+Ql	2015	30	65	5	8	1	3	2	6	14	0	2	4	2,59	43
		2016	70	30	0	12	4	3	1	0	17	0	2	1	1,65	11
		2017	95	5	0	17	3	0	0	0	19	0	0	1	1,15	3
Cozzo Becchi	Qv	2015	50	50	0	3	10	6	1	0	16	0	3	1	2,14	16
		2016	65	35	0	8	9	2	1	0	16	2	1	1	1,80	11
		2017	100	0	0	19	1	0	0	0	20	0	0	0	1,05	0
Piano Cancemi	Qv	2015	20	80	0	2	3	8	3	4	16	0	0	4	2,79	39
		2016	55	45	0	9	5	3	3	0	15	0	0	5	2,00	21
		2017	75	25	0	13	6	1	0	0	17	0	0	3	1,40	10
Pulpito del Re	Qg+Ql	2015	52	44	4	12	8	4	0	1	16	0	3	6	1,84	21
		2016	60	40	0	14	6	2	3	0	16	2	1	6	1,76	20
		2017	100	0	0	23	0	0	0	0	23	0	0	0	1,00	0
Salice Sopra	Qg+Qv	2015	54	46	0	10	5	6	5	0	21	0	3	2	1,69	21
		2016	69	31	0	18	6	1	1	0	19	0	4	3	1,42	13
		2017	88	12	0	17	6	0	0	0	23	0	0	3	1,26	6
Salice Sotto	Qg+Qv	2015	52	48	0	8	4	6	4	3	24	0	0	1	2,16	23
		2016	80	20	0	9	11	5	0	0	24	0	0	1	1,84	6
		2017	96	4	0	21	4	0	0	0	24	0	1	0	1,16	1
Torre del Bosco	Qg+Ql	2015	92	8	0	17	7	1	0	0	24	0	0	1	1,40	3
		2016	80	20	0	20	3	1	1	0	21	0	1	3	1,32	9
		2017	88	12	0	22	1	2	0	0	24	0	0	1	1,20	4
Pizzo Apa	Qv	2015	30	70	0	4	10	5	6	5	20	1	7	2	2,93	35
		2016	37	63	0	10	11	3	6	0	15	2	12	1	2,17	25
		2017	73	27	0	17	10	1	2	0	23	1	5	1	1,60	10
Pizzo Apa Pini	Qv	2015	10	83	7	2	3	9	7	9	26	0	3	1	3,60	46
		2016	50	50	0	12	6	6	6	0	25	0	3	2	2,20	20
		2017	70	30	0	19	4	1	6	0	26	0	1	3	1,80	15
Vivaio Filici	Qv	2015	55	45	0	6	7	7	0	0	15	1	2	2	2,05	15
		2016	50	50	0	7	7	6	0	0	15	1	3	1	1,95	15
		2017	70	30	0	10	6	2	2	0	17	0	0	3	1,80	14

All. 2 – Indice di deperimento calcolato per stazioni di campionamento della Riserva Naturale Orientata di Ficuzza sulla base dei danni alla chioma e dei sintomi rilevati al fusto, 2015 (*Qv* = *Quercus virgiliana*; *Ql* = *Quercus leptobalanos*; *Qt* = *Quercus trojana*; *Qg* = *Quercus gussonei*). Nelle stazioni in cui sono presenti due specie appartenenti a sezioni diverse (*Cerris* e *Quercus*), i dati sono suddivisi per specie, e nella riga in grassetto riguardano la stazione nel suo complesso.

Stazione	Specie	Incidenza (%)			N° piante per classe di sintomo									Indice di deperimento (%)
					Trasparenza chioma					Lunghezza cancri fusto				
		Piante Sane	Piante Deperienti	Piante Morte	Classe di intensità					Classe di intensità				
					0	1*	2*	3*	4*	0**	1**	2**	3**	
Cozzo Becchi	<i>Qv</i>	50	50	0	3	10	6	1	0	16	0	3	1	16
Contrada Cappella	<i>Qv+Ql</i>	13	83	3	2	9	12	5	2	18	0	1	11	39
Piano Cancemi	<i>Qv</i>	20	80	0	2	3	8	3	4	16	0	0	4	39
Contrada Castellaccio	<i>Qv</i>	65	35	0	11	5	3	1	0	16	1	2	1	13
Cimitero	<i>Ql</i>	5	85	10	2	2	9	5	2	6	0	2	12	53
Alpe Ramusa	<i>Ql</i>	15	85	0	3	4	7	2	4	12	1	1	6	43
Alpe Cucco	<i>Ql</i>	50	45	5	8	4	5	1	2	16	1	0	3	23
Contrada Girati	<i>Qt+Ql</i>	30	65	5	8	1	3	2	6	14	0	2	4	43
	<i>Qt</i>	60	40	0	8	1	1	0	0	7	0	0	3	18
	<i>Ql</i>	0	90	10	0	0	2	2	6	7	0	2	1	68
Torre del Bosco	<i>Qg+Ql</i>	92	8	0	17	7	1	0	0	24	0	0	1	3
	<i>Qg</i>	100	0	0	11	0	0	0	0	11	0	0	0	0
	<i>Ql</i>	86	14	0	6	7	1	0	0	13	0	0	1	5
Pulpito del Re	<i>Qg+Ql</i>	52	44	4	12	8	4	0	1	16	0	3	6	21
	<i>Qg</i>	60	40	0	8	2	0	0	0	6	0	0	4	20
	<i>Ql</i>	47	47	6	4	6	4	0	1	10	0	3	2	22
Piano del Salice Sopra	<i>Qg+Qv</i>	54	46	0	10	5	6	5	0	21	0	3	2	21
	<i>Qg</i>	100	0	0	9	1	0	0	0	10	0	0	0	0
	<i>Qv</i>	27	73	0	1	3	6	5	0	11	0	2	2	35
Piano del Salice Sotto	<i>Qg+Qv</i>	52	48	0	8	4	6	4	3	24	0	0	1	23
	<i>Qg</i>	91	9	0	8	2	1	0	0	11	0	0	0	2
	<i>Qv</i>	21	79	0	0	2	5	4	3	14	0	0	1	40

All. 3 – Indice di deperimento calcolato per stazioni di campionamento della Riserva Naturale Orientata di Ficuzza sulla base dei danni alla chioma e dei sintomi rilevati al fusto, 2016 (*Qv* = *Quercus virgiliana*; *Ql* = *Quercus leptobalanos*; *Qt* = *Quercus trojana*; *Qg* = *Quercus gussonei*). Il simbolo (+) indica gli incrementi nell'indice di deperimento rispetto al 2015. Nelle stazioni in cui sono presenti due specie appartenenti a sezioni diverse (*Cerris* e *Quercus*), i dati sono suddivisi per specie, e nella riga in grassetto riguardano la stazione nel suo complesso.

Stazione	Specie	Incidenza (%)			N° piante per classe di sintomo									Indice di deperimento (%)
					Trasparenza chioma					Lunghezza cancri fusto				
		Piante sane	Piante deperienti	Piante morte	Classe di intensità					Classe di intensità				
					0	1	2	3	4	0	1	2	3	
Cozzo Becchi	<i>Qv</i>	65	35	0	8	9	2	1	0	16	2	1	1	11
Contrada Cappella	<i>Qv+Ql</i>	38	62	0	7	9	7	6	0	17	0	0	12	31
Piano Cancemi	<i>Qv</i>	55	45	0	9	5	3	3	0	15	0	0	5	21
Contrada Castellaccio	<i>Qv</i>	60	40	0	12	5	1	2	0	12	2	4	2	15 (+)
Cimitero	<i>Ql</i>	20	80	0	3	7	6	4	0	7	1	2	10	38
Alpe Ramusa	<i>Ql</i>	55	45	0	14	4	2	0	0	13	0	1	6	19
Alpe Cucco	<i>Ql</i>	53	47	0	16	1	1	1	0	10	6	0	3	17
Contrada Girati	<i>Qt+Ql</i>	70	30	0	12	4	3	1	0	17	0	2	1	11
	<i>Qt</i>	90	10	0	10	0	0	0	0	9	0	0	1	5
	<i>Ql</i>	50	50	0	2	4	3	1	0	8	0	2	0	18
Torre del Bosco	<i>Qg+Ql</i>	80	20	0	20	3	1	1	0	21	0	1	3	9 (+)
	<i>Qg</i>	92	8	0	12	0	0	0	0	11	0	0	1	4 (+)
	<i>Ql</i>	69	31	0	8	3	1	1	0	10	0	1	2	13 (+)
Pulpito del Re	<i>Qg+Ql</i>	60	40	0	14	6	2	3	0	16	2	1	6	20
	<i>Qg</i>	70	30	0	7	2	0	1	0	7	1	0	2	15
	<i>Ql</i>	53	47	0	7	4	2	2	0	9	1	1	4	23 (+)
Piano del Salice Sopra	<i>Qg+Qv</i>	69	31	0	18	6	1	1	0	19	0	4	3	13
	<i>Qg</i>	90	10	0	10	0	0	0	0	9	0	1	0	3 (+)
	<i>Qv</i>	60	40	0	7	6	1	1	0	10	0	2	3	18
Piano del Salice Sotto	<i>Qg+Qv</i>	80	20	0	9	11	5	0	0	24	0	0	1	6
	<i>Qg</i>	100	0	0	7	3	0	0	0	10	0	0	0	0
	<i>Qv</i>	67	33	0	2	8	5	0	0	14	0	0	1	10

All. 4 – Indice di deperimento calcolato per stazioni di campionamento della Riserva Naturale Orientata di Ficuzza sulla base dei danni alla chioma e dei sintomi rilevati al fusto, 2017 ($Q_v = Q. virgiliana$; $Q_l = Q. leptobalanos$; $Q_t = Q. trojana$; $Q_g = Q. gussonei$). Il simbolo (=) indica le stazioni in cui l'indice di deperimento è costante rispetto al 2016. Nelle stazioni in cui sono presenti due specie appartenenti a sezioni diverse (*Cerris* e *Quercus*), i dati sono suddivisi per specie, e nella riga in grassetto riguardano la stazione nel suo complesso.

Stazione	Specie	Incidenza (%)			N° piante per classe di sintomo									Indice di deperimento (%)	
					Trasparenza chioma					Lunghezza cancri fusto					
		Piante sane	Piante deperienti	Piante morte	Classe di intensità					Classe di intensità					
					0	1	2	3	4	0	1	2	3		
Cozzo Becchi	Q_v	100	0	0	19	1	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Contrada Cappella	Q_v+Q_l	50	50	0	18	7	2	3	0	0	19	2	1	8	22
Piano Cancemi	Q_v	75	25	0	13	6	1	0	0	0	17	0	0	3	10
Contrada Castellaccio	Q_v	80	20	0	19	1	0	0	0	0	16	0	2	2	8
Cimitero	Q_l	60	40	0	3	7	6	4	0	0	7	1	2	10	19
Alpe Ramusa	Q_l	65	35	0	15	4	1	0	0	0	13	0	1	6	18
Alpe Cucco	Q_l	89	11	0	18	1	0	0	0	0	17	1	0	1	4
Contrada Girati	Q_t+Q_l	95	5	0	17	3	0	0	0	0	19	0	0	1	3
	Q_t	90	10	0	10	0	0	0	0	0	9	0	0	1	5 (=)
	Q_l	100	0	0	7	3	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Torre del Bosco	Q_g+Q_l	88	12	0	22	1	2	0	0	0	24	0	0	1	4
	Q_g	100	0	0	12	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0
	Q_l	77	23	0	10	1	2	0	0	0	12	0	0	1	8
Pulpito del Re	Q_g+Q_l	100	0	0	23	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0
	Q_g	100	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
	Q_l	100	0	0	13	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
Piano del Salice Sopra	Q_g+Q_v	88	12	0	17	6	0	0	0	0	23	0	0	3	6
	Q_g	100	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
	Q_v	81	19	0	10	6	0	0	0	0	13	0	0	3	9
Piano del Salice Sotto	Q_g+Q_v	96	4	0	21	4	0	0	0	0	24	0	1	0	1
	Q_g	100	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0 (=)
	Q_v	93	7	0	11	4	0	0	0	0	14	0	1	0	2

All. 5 – Indice di deperimento calcolato per le stazioni di campionamento della Riserva Naturale Orientata di Monte Cammarata sulla base dei danni alla chioma e dei sintomi rilevati al fusto, 2015 ($Q_v = Q. \text{virgiliana}$).

Stazione	Specie	Incidenza (%)			N° piante per classe di sintomo									Indice di deperimento (%)
					Trasparenza chioma					Lunghezza cancri fusto				
		Pianta Sane	Pianta Deperienti	Pianta Morte	Classe di intensità					Classe di intensità				
					0	1*	2*	3*	4*	0**	1**	2**	3**	
<i>Pizzo Apa Pini</i>	<i>Qv</i>	10	83	7	2	3	9	7	9	26	0	3	1	46
<i>Pizzo Apa</i>	<i>Qv</i>	30	70	0	4	10	5	6	5	20	1	7	2	35
<i>Vivaio Filici</i>	<i>Qv</i>	55	45	0	6	7	7	0	0	15	1	2	2	15

All. 6– Indice di deperimento calcolato per le stazioni di campionamento della Riserva Naturale Orientata di Monte Cammarata sulla base dei danni alla chioma e dei sintomi rilevati al fusto, 2016 ($Q_v = Q. \text{virgiliana}$). Il simbolo (=) indica le stazioni in cui l'indice di deperimento è costante rispetto al 2015.

Stazione	Specie	Incidenza (%)			N° piante per classe di sintomo									Indice di deperimento (%)
					Trasparenza chioma					Lunghezza cancri fusto				
		Pianta sane	Pianta deperienti	Pianta morte	Classe di intensità					Classe di intensità				
					0	1	2	3	4	0	1	2	3	
Pizzo Apa Pini	<i>Qv</i>	50	50	0	12	6	6	6	0	25	0	3	2	20
Pizzo Apa	<i>Qv</i>	37	63	0	10	11	3	6	0	15	2	12	1	25
Vivaio Filici	<i>Qv</i>	50	50	0	7	7	6	0	0	15	1	3	1	15 (=)

All. 7 – Indice di deperimento calcolato per le stazioni di campionamento della Riserva Naturale Orientata di Monte Cammarata sulla base dei danni alla chioma e dei sintomi rilevati al fusto, primavera 2017 ($Q_v = Q. \text{virgiliana}$).

Stazione	Specie	Incidenza (%)			N° piante per classe di sintomo									Indice di deperimento (%)
					Trasparenza chioma					Lunghezza cancri fusto				
		Pianta sane	Pianta deperienti	Pianta morte	Classe di intensità					Classe di intensità				
					0	1	2	3	4	0	1	2	3	
Pizzo Apa Pini	<i>Qv</i>	70	30	0	19	4	1	6	0	26	0	1	3	15
Pizzo Apa	<i>Qv</i>	73	27	0	17	10	1	2	0	23	1	5	1	10
Vivaio Filici	<i>Qv</i>	70	30	0	10	6	2	2	0	17	0	0	3	14

All. 8 - Media delle ovature di *T. viridana* su rametti di *Quercus* spp. nelle stazioni di campionamento di Ficuzza

Stazione	2015			2016			2017		
	Media	ES	N. rametti	Media	ES	N. rametti	Media	ES	N. rametti
Alpe Cucco	0,081	± 0,016	210	0,053	± 0,026	263	0,040	± 0,038	325
Alpe Ramusa	0,309	± 0,003	579	0,082	± 0,009	379	0,197	± 0,004	534
Cimitero	0,341	± 0,030	405	0,288	± 0,016	372	0,158	± 0,011	298
C. Cappella	0,045	± 0,005	514	0,100	± 0,007	620	0,143	± 0,010	789
C. Castellaccio	0,009	± 0,103	462	0,015	± 0,075	204	0,004	± 0,057	255
C. Girati	0,519	± 0,032	599	0,109	± 0,013	930	0,116	± 0,003	756
Cozzo Becchi	0,032	± 0,110	555	0,043	± 0,111	208	0,083	± 0,049	686
Piano Cancemi	0,268	± 0,052	369	0,212	± 0,028	264	0,374	± 0,193	273
Pulpito del Re	0,134	± 0,003	863	0,051	± 0,017	276	0,043	± 0,030	463
Salice Sotto	0,066	± 0,079	379	0,048	± 0,033	227	0,007	± 0,035	441
Salice Sopra	0,013	± 0,018	368	0,007	± 0,014	305	0,033	± 0,016	274
Torre Bosco	0,066	± 0,011	395	0,058	± 0,027	257	0,038	± 0,016	292

All. 9 – Media delle ovature/rametto per stazione su *Q. virgiliana* a Cammarata

Stazione	Anno	N.	N. rametti	Media	ES	Minimum	Maximum
Pizzo Apa	2015	4	331	0,5888	± 0,0474	0,4691	0,6857
	2016	4	315	0,3740	± 0,0624	0,2289	0,4944
	2017	4	184	0,7050	± 0,1550	0,4720	1,1430
Pizzo Apa Pini	2015	4	441	0,4490	± 0,1380	0,2500	0,8390
	2016	4	325	0,5130	± 0,1720	0,1710	0,9850
	2017	4	169	1,0640	± 0,5110	0,4150	2,5880
Vivaio Filici	2015	4	447	0,0638	± 0,0137	0,0323	0,0902
	2016	4	216	0,0730	± 0,0249	0,0143	0,1207
	2017	4	330	0,1315	± 0,0357	0,0745	0,2340

All. 10 – Media delle ovature/rametto per specie a Ficuzza.

Specie	Anno	N.	Media	ES	Minimum	Maximum
miste	2015	6	0,0479	0,0156	0	0,1132
	2016	6	0,1009	0,0263	0,0380	0,1954
	2017	6	0,1596	0,0382	0,0370	0,2692
Q. gussonei	2015	12	0,0357	0,0124	0	0,1404
	2016	12	0,0340	0,0104	0	0,0857
	2017	12	0,0314	0,0089	0	0,1000
Q. leptobalanos	2015	21	0,2792	0,0540	0,0455	0,8496
	2016	21	0,1373	0,0329	0	0,5258
	2017	21	0,1178	0,0244	0	0,3661
Q. trojana	2015	3	0,2981	0,0465	0,2209	0,3816
	2016	3	0,0297	0,0079	0,0208	0,0455
	2017	3	0,0389	0,0200	0,0064	0,0752
Q. virgiliana	2015	18	0,0963	0,0287	0	0,4203
	2016	18	0,0646	0,0216	0	0,2667
	2017	18	0,1182	0,0555	0	0,9783