

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SASSARI
DIPARTIMENTO DI AGRARIA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
SISTEMI FORESTALI E AMBIENTALI**

ANALISI QUALITATIVA DELLA BIOMASSA DI *PISTACIA LENTISCUS* L.

Relatore:

Prof. MAURIZIO MULAS

Tesi di laurea di:

LEONARDO ALBERTO FADDA

Anno Accademico 2014-2015

INDICE

RIASSUNTO	3
ABSTRACT	4
INTRODUZIONE	5
Il fabbisogno energetico mondiale	5
La biomassa da combustione	8
La specie <i>Pistacia lentiscus</i>	17
OBIETTIVI DELLA TESI	24
MATERIALI E METODI	25
Inquadramento della stazione	25
Raccolta campioni	28
Analisi della biomassa	33
RISULTATI	54
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	74
BIBLIOGRAFIA	78
RINGRAZIAMENTI	81

RIASSUNTO

L'oggetto della tesi riguarda l'analisi della biomassa legnosa ed erbacea (foglie) di *Pistacia lentiscus* L. Questa pianta fa parte di un'importante famiglia di angiosperme dicotiledoni le Anacardiacee ed è tipica della macchia mediterranea. Lo studio è rivolto a conoscere le principali caratteristiche della specie e alcuni componenti elementari della sua biomassa. Sulla biomassa, infatti, è stato condotto uno studio analitico - sperimentale per la determinazione del contenuto di sostanza secca e delle ceneri. In seguito sono state condotte le analisi delle ceneri attraverso la spettroscopia ad assorbimento atomico al fine di rilevare i quantitativi di micro e macro elementi presenti.

Su una frazione della biomassa, inoltre, sono stati individuati i componenti strutturali e non strutturali, ovvero gli estrattivi e le frazioni della lignina e dell'olocellulosa.

ABSTRACT

The object of the thesis is the analysis of herbaceous (leaves) and woody biomass of *Pistacia lentiscus* L. This plant is part of an important family of angiosperms dicotyledons, the Anacardiaceae, and is a typical species of the Mediterranean maquis. The study of this species is open to know its main characteristics and the composition of its biomass. On the lentisk biomass analytical-experimental study was carried out, in order to determine the dry matter content, ashes and its composition in macro- and micro-elements by means of atomic absorption spectroscopy. Additionally, on a fraction of this biomass structural and non-structural components which form the biomass, such as extractives, lignin and holocellulose were determined.

INTRODUZIONE

Il fabbisogno energetico mondiale

L'attuale sistema energetico è essenzialmente basato sulle fonti primarie di origine fossile, cioè costituite da riserve di combustibili naturali formatisi in milioni di anni nel corso dell'evoluzione del nostro pianeta e che si sono conservati nelle profondità della crosta terrestre. Queste vengono bruciate per soddisfare circa l'83% dell'attuale fabbisogno energetico globale e sono costituite essenzialmente da petrolio, carbone e gas naturale (metano). Un altro 6% circa del fabbisogno energetico globale è coperto da materiale fissile (essenzialmente uranio 235, ricavato dall'uranio naturale) utilizzato nelle centrali nucleari, per cui circa il 90% del fabbisogno energetico globale è coperto da fonti primarie esauribili, poco più del 10% del fabbisogno energetico globale è coperto da fonti di energia rinnovabili, idroelettrico circa 6%, biomasse, geotermico ed eolico insieme coprono il 5% circa (ENEA, 2012).

Questo dovrebbe dare la dimensione del problema che si dovrà affrontare nei decenni futuri, per il fatto che una fonte esauribile è, come dice la parola, destinata ad esaurirsi ed accadrà in un tempo che in scala storica è relativamente breve. Attualmente è previsto che il picco di produzione del petrolio arriverà in un lasso di tempo che va da 5 anni a 30 anni, dopo di che il prezzo del greggio comincerà a salire fino a diventare economicamente insostenibile per il nostro sistema. Andamento simile è previsto per il gas naturale e per il carbone di alta qualità, mentre per il carbone di qualità

inferiore e per gli scisti bituminosi ci sono tempi di approvvigionamento nell'ordine di uno o due secoli, ma con maggiori problemi di rendimento energetico e di immissioni in atmosfera, già oggi al limite della sostenibilità ambientale. Va considerato anche il fatto che gli idrocarburi non servono solo per fini energetici, ma anche per la produzione di innumerevoli articoli industriali di uso comune per i quali spesso sono insostituibili materie prime.

Tempi di maggior disponibilità si hanno per i materiali fissili, che sono comunque limitati nel tempo, tanto più se dovranno coprire una larga parte del fabbisogno energetico globale, quando mancheranno o saranno meno convenienti le altre fonti primarie esauribili. In questo caso potrebbero esserci problemi per lo stoccaggio delle scorie ad alto potenziale radioattivo e l'incremento delle probabilità di incidenti nucleari qualora dovessero esserci migliaia di reattori in funzione.

Le rinnovabili svolgono già oggi un ruolo significativo nel settore della produzione di energia e già negli anni passati vi è stato un considerevole incremento degli investimenti in energie rinnovabili. Nel periodo dal 2005 al 2012 è stato registrato un tasso medio di crescita pari al 28% (ENEA, 2012). Vi è una forte correlazione tra investimenti in energie rinnovabili e prezzo del petrolio. In seguito all'elevato costo di quest'ultimo l'utilizzo di energie rinnovabili è diventato più appetibile ed è aumentata la sua forza concorrenziale nei confronti dei combustibili fossili.

Nei Paesi industrializzati (OCSE) quasi la metà dell'energia rinnovabile viene utilizzata nel settore della produzione di energia elettrica, mentre su scala mondiale il 53% è impiegato nei settori residenziale, commerciale e pubblico. Nei Paesi in via di sviluppo vi è un diffuso utilizzo di biomassa tradizionale. E' probabile che, con il graduale aumento dello sviluppo economico, nei Paesi non OCSE la percentuale di utilizzo sarà simile a quello dei Paesi OCSE. L'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) ritiene che l'impiego di energie rinnovabili aumenterà entro il 2035, ogni anno

mediamente del 7,4%, mentre per petrolio e per carbone il tasso di crescita sarà rispettivamente dello 0,5 e 0,7% (ENEA, 2012).

Il quest'ottica l'impiego di energie rinnovabili presenta numerosi potenziali vantaggi rispetto all'uso di combustibili fossili, poiché rivestono un ruolo di fondamentale importanza soprattutto nella difesa del clima e dell'ambiente. Infatti, contribuiscono a ridurre le emissioni di gas ad effetto serra e di altri inquinanti atmosferici. Inoltre, l'utilizzo in costante aumento di energie rinnovabili porta, tra l'altro, ad una notevole diversificazione delle fonti di energia e contribuisce a ridurre la dipendenza da combustibili fossili (petrolio, gas naturale e carbone) (ENEA,2012).

La biomassa da combustione

Con il termine “biomassa” si intende ogni tipo di sostanza organica non fossile di origine vegetale o animale, che può essere utilizzata per la produzione di energia. Tra le principali biomasse usate a scopo energetico vi sono il legno, la paglia dei cereali, i reflui degli allevamenti zootecnici e degli impianti di depurazione civili, così come colture energetiche dedicate, sia legnose, che oleaginose o cerealicole (colza, soia, girasole, mais, sorgo, canna da zucchero, etc.). L’energia prodotta dalla biomassa (bioenergia), è contenuta all’interno dei legami chimici delle molecole di origine vegetale ed animale (cellulosa, amido, proteine, etc.) e deriva direttamente dall’energia solare che i vegetali catturano con la fotosintesi clorofilliana e gli organismi animali utilizzano nel loro metabolismo.

La biomassa è una risorsa ampiamente utilizzata a livello mondiale. I processi e le tecnologie impiegati per la produzione di bioenergia sono diversi e talvolta molto complessi (Progetto ENCROP, 2010).

La bioenergia: rinnovabile ed a basse emissioni di carbonio

Dal punto di vista energetico, la biomassa è a tutti gli effetti una riserva di energia solare, che si rinnova continuamente grazie all’attività degli organismi vegetali ed animali che la producono.

La combustione è una complessa sequenza di reazioni chimiche che liberano l’energia contenuta nei legami delle molecole organiche (combustibile) in presenza di un agente ossidante (l’ossigeno contenuto nell’aria). Benché la combustione di biomassa rilasci nell’atmosfera il carbonio contenuto nella sostanza organica, le emissioni generate immettono in atmosfera circa la stessa quantità di anidride carbonica che era stata

precedentemente fissata dalle piante con la fotosintesi e sono destinate ad essere successivamente riassorbite in un nuovo ciclo di crescita della biomassa vegetale, rendendo così prossimo a zero il contributo netto all'aumento della CO₂ in atmosfera.

Per fare un esempio, bruciando una tonnellata di paglia di cereali, si immette in atmosfera la CO₂ che le piante avevano sottratto nell'arco della stagione precedente alla raccolta e che sarebbe comunque tornata in larga parte in atmosfera nell'arco di poco tempo, anche in modo naturale, attraverso la decomposizione della sostanza organica.

Nel caso dei combustibili fossili, invece, le emissioni di CO₂ sono ottenute da sostanze organiche che sono artificialmente estratte dal suolo, dove sono rimaste imprigionate per milioni di anni, e che non sarebbero mai tornate in atmosfera in assenza di un processo di estrazione artificiale operato dall'uomo. Per questo il loro contributo all'aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera è positivo.

La biomassa è dunque un'importante fonte di energia rinnovabile in quanto i tempi di sfruttamento sono paragonabili a quelli della sua rigenerazione: il suo rinnovamento biologico, infatti, avviene in un arco di tempo assai breve, a differenza di quello dei combustibili fossili che necessitano di milioni di anni per rigenerarsi (Tab. 1).

Tabella 1. Tempi di rigenerazione di diversi tipi di combustibili.

Combustibile	Tempo di rigenerazione
Legno	da 1 a 150 anni
Carbone	da 250 a 300 milioni di anni
Petrolio	da 100 a 450 milioni di anni

Con il termine “biocombustibili” si intendono i combustibili solidi, liquidi o gassosi derivati direttamente dalle biomasse, ed ottenuti a seguito di un processo di trasformazione del materiale organico. La bioenergia ottenuta dalla combustione diretta dei biocombustibili, può essere utilizzata sotto forma di:

- energia termica, ampiamente usata per il riscaldamento domestico ed il teleriscaldamento;
- energia elettrica, prodotta tradizionalmente in centrali elettriche di svariati megawatt di potenza.

Le tecnologie disponibili per la produzione sia di energia termica che elettrica da biomassa sono commercialmente mature ed ampiamente disponibili, sia per applicazioni di piccola scala (in particolare per il riscaldamento domestico) che di media e grande scala (riscaldamento e produzione di calore di processo per applicazioni industriali e generazione elettrica). Ad oggi esistono numerose centrali elettriche alimentate a biomassa solida, la cui potenza può arrivare fino a varie decine di megawatt.

Un sistema particolarmente efficiente di uso della biomassa è quello della cogenerazione, che prevede il recupero del calore residuo ottenuto dai processi di produzione di energia elettrica.

La combustione diretta di biocombustibili solidi per il riscaldamento e la produzione di calore di processo è uno dei metodi più economicamente vantaggiosi per convertire la biomassa in bioenergia, anche in termini di costi unitari per tonnellata di emissioni di CO₂ risparmiate (Progetto ENCROP, 2010).

Tipologie di biomassa e biocombustibili solidi

I biocombustibili solidi possono essere ricavati da un vasto gruppo di materie prime, che possono essere genericamente classificate in base alla loro origine secondo le seguenti categorie:

residui forestali: i residui delle operazioni di taglio dei boschi cedui (ramaglie) ed il legno ricavato da attività di manutenzione forestale quali il diradamento di boschi, l'avviamento ad alto fusto, il taglio raso, la manutenzione di alvei fluviali, etc.;

residui agricoli: paglia di cereali, stocchi di mais, scarti di potatura di vigneti, oliveti e frutteti, etc.;

residui di attività agro-alimentari: vinacce, sansa di olive, noccioli etc.;

residui industriali: scarti di segheria, pallets, scarti legnosi di carpenteria, etc.;

colture energetiche dedicate: colture arboree o erbacee ligno-cellulosiche prodotte appositamente per l'utilizzo energetico (pioppo, sorgo, etc.).

I principali motivi che giustificano l'uso di biomassa a scopo energetico possono essere riassunti nei seguenti punti principali.

Riduzione delle emissioni di carbonio

L'impiego di biomasse può contribuire in modo molto efficace alla riduzione delle emissioni di carbonio derivanti da utenze residenziali ed attività produttive. Oltre al beneficio ambientale che questo comporta, questo aspetto assume un rilievo particolare per le imprese che ricadono nel meccanismo delle quote di emissione di CO₂ previsto dalla Direttiva CE sull'Emission Trading, tra cui le aziende del settore energetico, cementizio, del vetro e della carta. In questo contesto l'investimento in un impianto a biomassa può rendere più facile il rispetto delle quote di emissione assegnate, se non addirittura in alcuni casi consentire di ottenere emissioni inferiori alle quote assegnate, generando così un bonus quote che può essere scambiato sul mercato dell'ETS, generando ricavi addizionali per le aziende (Progetto ENCROP, 2010).

Risparmio economico

Il costo dei biocombustibili solidi è in molti casi nettamente inferiore a quello dei combustibili fossili, in particolare il gasolio ed il GPL, che sono ancora oggi ampiamente impiegati per il riscaldamento di ambienti in aree

non metanizzate (spesso in zone rurali e decentralizzate). Anche se il costo dei generatori termici a biomassa è ancora più alto di quello di generatori a combustibili fossili di pari potenza, in molti casi una progettazione attenta degli impianti, dimensionati correttamente a seguito di un'analisi energetica approfondita delle utenze, può consentire risparmi notevoli sui costi energetici per il riscaldamento degli edifici e la produzione di calore di processo. Un impianto di riscaldamento a biomassa ben progettato (che rispetti il criterio della massimizzazione dell'efficienza energetica) può essere economicamente competitivo anche rispetto all'uso del gas naturale. Negli scenari più favorevoli il risparmio può essere tale da consentire il rientro dell'investimento in pochi anni (Progetto ENCROP, 2010).

Bassa volatilità dei prezzi del combustibile

La sicurezza energetica è un tema di grande preoccupazione quando si parla di combustibili fossili; l'instabilità dello scenario geopolitico nelle regioni di estrazione del petrolio e del metano, assieme alle speculazioni finanziarie su queste commodities espone i combustibili fossili ad una forte volatilità dei prezzi nel tempo. Questo rischio è certamente molto più limitato se non nullo per i biocombustibili solidi, in particolar modo per quelli prodotti nell'ambito di filiere locali, in cui è possibile stipulare accordi commerciali diretti fra fornitori ed acquirenti, saltando costosi intermediari ed eliminando l'influenza negativa dei fattori speculativi del mercato finanziario. L'uso di biomassa è inoltre un modo per diversificare le fonti di approvvigionamento energetico, aumentando l'autonomia energetica del nostro paese (Progetto ENCROP, 2010).

Benefici per lo sviluppo dell'economia locale

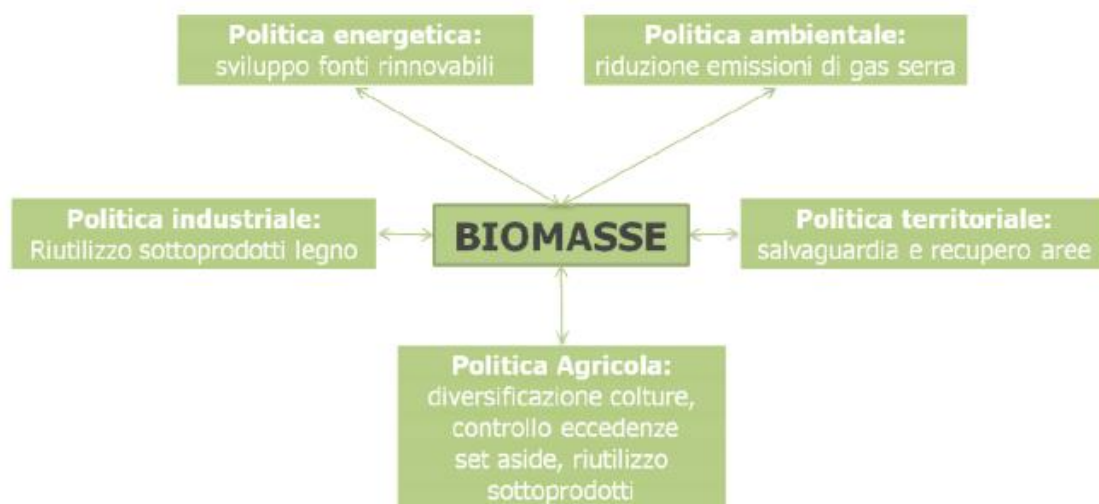
Lo sviluppo di un mercato locale della biomassa può offrire interessanti opportunità economiche sia ai produttori che agli utenti di energia.

Oltre a contribuire attivamente alla riduzione della dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili da paesi terzi, l'attivazione di filiere locali

contribuisce allo sviluppo rurale, alla diversificazione dell'economia locale, alla creazione di posti di lavoro e di ricchezza che si distribuisce fra gli operatori della filiera (produttori, trasportatori, fornitori di servizi, etc.), rimanendo nel territorio locale anziché essere trasferita nelle casse dei grandi produttori petroliferi o fornitori di gas naturale.

Per quanto sopra riportato si può evincere il ruolo centrale che la biomassa può ricoprire nell'integrare le azioni di diverse politiche di settore (industriale, agricolo, ambientale, energetico etc.) ricoprendo un ruolo importante nella transizione verso un'economia sostenibile (Tab. 2).

Tabella 2. Quadro delle relazioni politico-economiche che coinvolgono la produzione di biomasse destinate alla filiera energetica.



Rispetto alle fonti tradizionali e ad altre fonti di energia rinnovabile, le biomasse mostrano particolari specificità che possono rappresentare dei fattori critici per lo sviluppo dei progetti industriali.

A differenza di altre rinnovabili come il solare fotovoltaico o l'eolico, la biomassa, sia essa di origine forestale che agricola, è una risorsa energetica distribuita su un vasto territorio, che deve essere raccolta e concentrata presso l'impianto di conversione; questo comporta problematiche di natura logistica

ed il costo di raccolta della biomassa è sovente una voce importante del costo finale della risorsa, che può incidere sulla competitività economica dell'energia prodotta. Questo fattore è particolarmente rilevante in caso di grandi bacini di approvvigionamento, con distanze di molte decine di chilometri tra i luoghi di raccolta della biomassa e la centrale.

La necessità di reperire grandi quantitativi di biomassa su un territorio relativamente ampio richiede la partecipazione di vari soggetti all'interno della filiera (produttori, trasportatori, contoterzisti, manutentori, etc.), il che impone la necessità di dedicare tempo e risorse nella gestione coordinata ed efficiente di tutte queste figure.

Le caratteristiche qualitative dei biocombustibili solidi possono variare sensibilmente a seconda dell'origine della biomassa, mentre gli impianti di conversione delle centrali, (come la maggior parte dei processi industriali), dovrebbero operare in condizioni il più possibile costanti e standardizzate.

Nel caso di produzione di energia elettrica, sebbene il rendimento elettrico dei sistemi a biomassa sia spesso superiore a quello di altre forme di produzione di energia rinnovabile (es.: fotovoltaico circa 13%), i sistemi di generazione elettrica tramite combustione diretta producono sempre una grande quantità di calore residuo. Poiché la risorsa con cui l'impianto produce energia (la biomassa) ha un costo, a differenza del sole o del vento che sono disponibili gratuitamente, la redditività di un impianto per la produzione di energia elettrica da biomassa è strettamente legata non solo all'economicità della risorsa, ma spesso anche alla possibilità di recuperare il calore residuo dell'impianto (cogenerazione) e di valorizzarlo economicamente (ad esempio cedendo il calore ad una rete di teleriscaldamento). Questo è particolarmente vero per impianti di piccola taglia, che presentano rendimenti elettrici relativamente bassi e che dunque possono essere economicamente competitivi solo se funzionanti in cogenerazione per un numero elevato di ore (Progetto ENCROP, 2010).

Sostenibilità nell'utilizzo energetico dei combustibili legnosi

La produzione di bioenergia, come tutte le attività economiche e produttive, può avere un impatto ambientale e socio-economico sul territorio.

Negli ultimi anni l'attenzione dei media si è rivolta in modo particolare agli aspetti negativi ed ai potenziali rischi ambientali della produzione di bioenergia. E' importante puntualizzare che il settore della bioenergia è molto vasto. I biocombustibili (etanolo, biodiesel, pellet, cippato, biogas, etc.) possono essere prodotti da una gran varietà di biomasse e convertiti in energia con processi e tecnologie molto diversi. Ciascuno di questi presenta vantaggi e criticità specifici, da considerare caso per caso. Fortunatamente, il tipo di biocombustibile solido (*Pistacia lentiscus* L.) e le sue possibili forme di sfruttamento presentati in questo studio non destano particolari preoccupazioni riguardo la sostenibilità ambientale ed economica della loro utilizzazione, per i seguenti motivi:

- le materie prime usate per la produzione di biocombustibili solidi (cippato, pellet, etc.) utilizzati per i sistemi di riscaldamento e cogenerazione a biomassa, sono diverse da quelle usate per la produzione di biocarburanti, principalmente prodotti con olio di palma, soia e colza (per il biodiesel), mais e canna da zucchero (per l'etanolo);
- questa distinzione è altamente significativa per quanto concerne il bilancio energetico ed il contributo alla riduzione di emissioni di gas serra; i biocombustibili solidi infatti in questo caso presentano performance nettamente superiori ai biocarburanti per i trasporti.

I rischi di competizione fra colture energetiche ed alimentari, spesso segnalati dagli organi di informazione per la produzione di biocarburanti, non sussistono per le colture dedicate alla produzione di biomassa quali le piantagioni a ciclo breve. Queste occupano in Italia e nel mondo una percentuale ridottissima di superfici agricole (circa 5.100 ha in Italia, ossia

circa 5 km²). Nonostante le previsioni di crescita del mercato e del numero di impianti a biomassa, è evidente che le colture SRF (*Short Rotation Forestry*, letteralmente *selvicoltura a turno breve*) resteranno nel medio termine una produzione fortemente legata al territorio ed al consumo locale, che difficilmente potrà creare disequilibri sui mercati delle materie prime agricole (cereali, colture industriali) che sono soggette a dinamiche di prezzo mondiali e fortemente influenzate da fattori speculativi finanziari. Nonostante che gli scambi commerciali internazionali di combustibili solidi (prevalentemente pellet) si stiano intensificando, la biomassa è l'unica tra le fonti rinnovabili esistenti in cui il combustibile legnoso, ottenuto da una sua prima lavorazione deve essere prodotto, trasportato e accumulato localmente. Pertanto, proprio in virtù di tale forte radicamento con il territorio, nella scelta della tecnologia e dell'impianto più adatto, devono essere opportunamente studiate, per un suo utilizzo energetico, la sostenibilità e l'impatto generale sull'ecosistema: qualsiasi soggetto che voglia dotarsi di impianti alimentati a combustibile solido legnoso deve pertanto sincerarsi che l'utilizzo non implichi uno sfruttamento eccessivo delle risorse locali e sia pienamente compatibile con l'ambiente in cui l'impianto è inserito (Progetto ENCROP, 2010).

La specie *Pistacia lentiscus*

Inquadramento del genere Pistacia L.

Il genere *Pistacia* (fam. Anacardiacee) comprende diverse specie ed è costituito da alberi di medio sviluppo (4 - 5 m) o da arbusti con corteccia resinosa, tronco ramificato alla base di colore grigio, rami penduli, foglie impari-pennate e caduche. E' una specie dioica (piante maschili e femminili), fiorisce prima dello sviluppo delle foglie, tra marzo e maggio ed ha una fruttificazione alternante negli anni. I frutti sono drupe con epicarpo e mesocarpo di colore chiaro che si separano facilmente dall'endocarpo legnoso, i semi sono ricchi di grassi (54%) e di sostanze azotate (22%) ed hanno un sapore aromatico.

Tabella 3. Classificazione del genere *Pistacia*.

SEZIONI	SPECIE
<i>Lenticella Zoh.</i>	<i>P. mexicana</i> HBK <i>P. texana</i> Swingle
<i>Eu Lentiscus Zoh.</i>	<i>P. lentiscus</i> L. <i>P. saporte</i> Burnatt <i>P. weinmannifolia</i> Poisson
<i>Butmela Zoh.</i>	<i>P. atlantica</i> Desf.
<i>Eu Terebintuhus</i>	<i>P. chinensis</i> Bge <i>P. khinjuk</i> Stocks <i>P. palestina</i> Bois <i>P. terebinthus</i> <i>P. vera</i> L.

La più completa classificazione delle specie appartenenti al genere *Pistacia* è quella di Zohary (1952), il quale in base alle caratteristiche morfologiche delle foglie e dei semi, ha descritto 11 specie e le ha raggruppate in 4 sezioni (Parafitt e Badenes, 1997) (Tab. 3).

Le tre specie maggiormente diffuse nell'area mediterranea, dal Medio Oriente all'Europa sono: *P. vera*, *P. terebinthus* e *P. lentiscus*.

Pistacia lentiscus L.

La specie *P. lentiscus* è una pianta sempreverde a portamento arbustivo alta fino a 3 metri, raramente a portamento arboreo e alta fino a 8 metri, con accentuato odore di resina. La chioma è generalmente densa per la fitta ramificazione, di forma globosa e con rami a portamento tendenzialmente orizzontale (Fig. 1). La corteccia è squamosa, di colore cenerino nei giovani rami e bruno-rossastro nel tronco. Il legno è di colore roseo. Le foglie sono alterne, paripennate, glabre, di colore verde cupo. Sono composte da 6-10 segmenti ottusi ellittico-lanceolati a margine intero e apice ottuso, lunghi fino a 30 mm, con piccolo mucrone apicale e rachide leggermente alato (Fig. 1).

I fiori sono dioici (maschili e femminili separati in piante differenti), attinomorfi, pentameri, tetraciclici, sono raggruppati in pannocchie cilindriche brevi e dense disposte all'ascella delle foglie dei rametti dell'anno precedente (Fig. 1). I fiori maschili hanno 4 - 5 stami ed un pistillo rudimentale, sono vistosi per la presenza di stami di colore rosso vivo. I fiori femminili sono verdi con ovario supero e non presentano petali. I frutti sono drupe globose o lenticolari, di diametro 4 - 5 mm, carnose, rossastre, tendenti al nero a maturità, che contengono un seme. La fioritura ha luogo in primavera, da aprile a maggio. I frutti rossi sono ben visibili in piena estate e in autunno e maturano in inverno.

Per quanto riguarda l'habitat, si tratta di una pianta eliofila, termofila e xerofila che vegeta dal livello del mare fino a 600 metri. È un tipico componente della macchia mediterranea sempreverde e spesso si ritrova in associazione con l'olivastro, la fillirea ed il mirto. E' molto adattabile per il terreno, predilige però suoli silicei. Resiste bene a condizioni di prolungata aridità, mentre teme le gelate. Non è una specie colonizzatrice ma può assumere l'aspetto dominante nelle fasi di degradazione della macchia, in particolare dopo ripetuti incendi (Pignatti, 2003; Conti, 2005).



Figura 1. Particolari della pianta, foglie, fiori maschili e frutti del lentisco.

Nella Figura 2 viene presentata la distribuzione regionale di questa specie su tutto il territorio italiano.

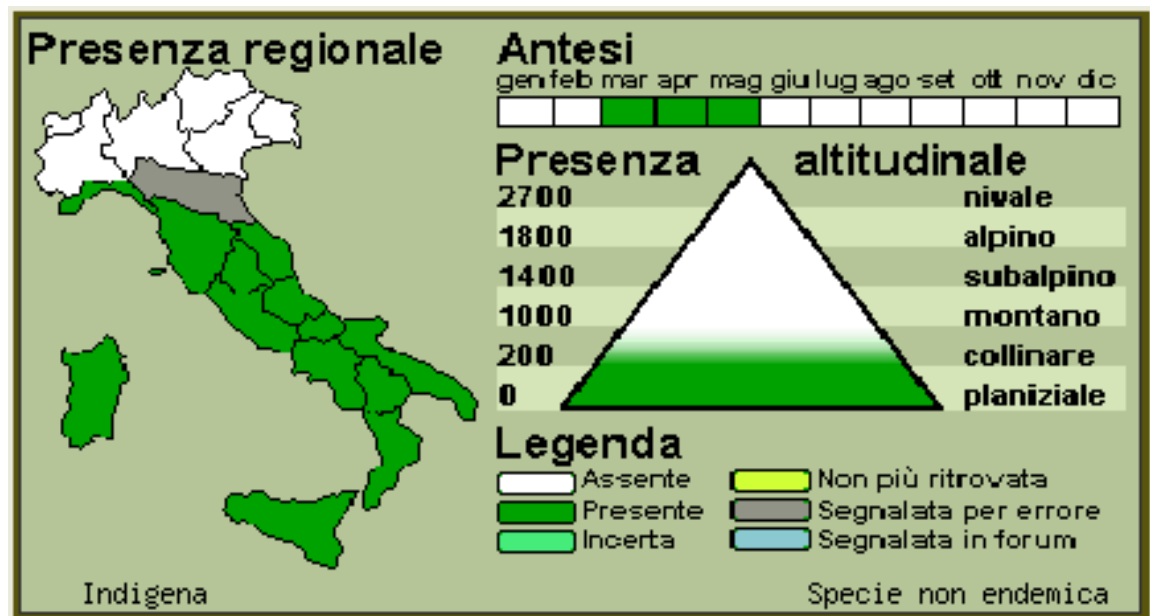


Figura 2. Distribuzione della specie *Pistacia lentiscus* nel territorio italiano.

Proprietà e utilizzi

Il lentisco è una specie che in passato ha avuto una larga utilizzazione per molteplici scopi; oggi i suoi usi sono più limitati. Esso ha una notevole importanza ecologica per la rapidità con cui ripristina un buon grado di copertura vegetale del suolo denudato. E' considerata una specie miglioratrice nel terreno. Il terriccio presente sotto i cespugli di questa specie è considerato un buon substrato per il giardinaggio in virtù della reazione leggermente alcalina.

Per la sua rusticità è tra le più adatte all'impiego nella riqualificazione ambientale e per l'arredo verde di zone marginali o difficili, quali quelle in forte pendio e altamente rocciose. I teneri germogli, freschi e poco tannici, sono appetiti dai ruminanti selvatici.

Il lentisco si presta per essere impiegato come componente di giardini mediterranei e giardini rocciosi. Poiché resiste bene alle potature drastiche è adatto anche per la costituzione di siepi geometriche; la ramificazione fitta e le ridotte dimensioni delle foglioline si prestano bene a questo scopo. Tra le specie spontanee, questa pianta è la più richiesta dal mercato floricolo per le sue fronde verdi recise che, per la delicatezza del fogliame, sono particolarmente idonee alla costituzione di composizioni floreali miste.

Il legname del lentisco è apprezzato per lavori di intarsio e per piccoli lavori al tornio, grazie alla sua durezza e al bel colore rosso-venato. In passato veniva usato per produrre carbone vegetale e ancora oggi è apprezzato per alimentare i forni a legna delle pizzerie in quanto la sua combustione permette di raggiungere in tempi rapidi alte temperature.

Effettuando incisioni sul tronco e sui rami si ottiene una resina che si rapprende all'aria (mastice); essa ha un odore caratteristico e viene chiamato mastice di Chio.

In passato i frutti venivano sottoposti a bollitura e a spremitura per

estrarre un olio impiegato come combustibile per l'illuminazione e come succedaneo dell'olio d'oliva per l'alimentazione, soprattutto nei periodi di carestia. Anticamente le bacche erano usate per aromatizzare le carni e venivano usate in insalata insieme con altre erbe di prato o come mangime per gli uccelli. Nell'alimentazione animale, il pannello residuo dall'estrazione dell'olio è utilizzabile tale e quale come mangime, soprattutto per i suini, ed ha buone caratteristiche dietetiche (<http://www.actaplantarum.org>, 11/2015).

OBIETTIVI DELLA TESI

La specie *Pistacia lentiscus* L. è una pianta molto comune del panorama vegetale mediterraneo e, soprattutto in Sardegna, ricopre gran parte delle zone occupate da macchie e foreste.

La facilità con cui il lentisco si sviluppa nel nostro ambiente suggerisce la possibilità che possa essere ulteriormente valorizzata come specie per la produzione semi-intensiva di biomassa da combustione.

A tal fine sarebbe opportuno determinare la capacità di produzione di biomassa legnosa in parcelle sperimentali condotte con modelli di coltivazione sostenibili e quali siano i principali parametri qualitativi della biomassa ottenibile. Questo, infatti, è indispensabile per una valutazione dell'attitudine del lentisco a produrre con cicli di rotazione accorciati a 2-3 anni e per avere dati di riferimento sui principali caratteri merceologici della biomassa prodotta.

La presente ricerca è stata svolta su piante di lentisco coltivate in terreni agrari al fine di fare una valutazione quantitativa e qualitativa della biomassa da combustione prodotta e verificare l'attitudine della specie a modelli di *short rotation forestry*.

MATERIALI E METODI

Inquadramento della stazione

I materiali utilizzati durante il lavoro di tesi sono stati prelevati nella "Azienda didattico-sperimentale Antonio Milella" situata a San Quirico (Fenosu) nel comune di Oristano (Fig. 3).

La stazione sperimentale, comprensiva di terreni e fabbricati, ha una superficie complessiva di circa 27 ettari di cui 23 vengono coltivati e impiegati nelle attività di sperimentazione didattica.

Per quanto attiene la sperimentazione, i campi di Fenosu hanno a lungo rappresentato un punto di riferimento nazionale e internazionale per lo studio della biodiversità agraria, attività iniziata negli Anni Settanta con il miglioramento genetico degli agrumi, che in questi anni trova pratica applicazione attraverso la valorizzazione e diffusione degli ibridi più performanti scaturiti dagli incroci attuati negli anni Settanta e Ottanta.

Altrettanto importanti e di assoluta unicità sono i campi clonali di vite ad uva da vino che raccolgono cloni plusvarianti per valore agronomico e sanitario dei principali vitigni sardi, parcelle dalle quali sono scaturiti i materiali di propagazione oggi impiegati nella viticoltura regionale. Diversi di essi sono stati brevettati e inseriti nel Registro Nazionale delle Varietà.

Ancora si ricordano le collezioni di germoplasma del genere *Opuntia* che, nell'ambito delle attività di uno specifico gruppo di lavoro FAO, hanno fatto confluire su Oristano accessioni provenienti da tutto gli areali di diffusione mondiali.

Più di recente si è avviato un progetto di caratterizzazione e domesticazione di specie native quali alimo, mirto, rosmarino, lentisco e olivastro che già hanno consentito di diffondere per il mirto varietà e cloni per la coltivazione intensiva e l'impiego ornamentale, con acquisizione di alcuni brevetti.

Di seguito vengono riportate alcune varietà e accessioni presenti a Fenosu:

- Vite: cultivar 57 (156 cloni), incroci 60, autofecondati 37;
- Agrumi: 56 cultivar, incroci 11, Limone 8, Pompelmo 8, Mandarino e mandarino simili 20, Arancio;
- Mirto: 54 cultivar;
- Olivo: 29 cultivar;
- Oleastro: 35 accessioni;
- Lentisco: 120 accessioni;
- Alimo: 30 selezioni clonali;
- Fico: 31 cultivar.

Da un punto di vista didattico la Stazione didattico-sperimentale svolge un ruolo fondamentale per tutti i corsi di studio che l'Ateneo di Sassari offre presso tutte le sue sedi dislocate nel territorio regionale (Università degli Studi di Sassari, dipartimento DESA, 2011.).



Figura 3. In rosso la delimitazione dell'azienda "Antonio Milella".

Raccolta campioni

L'oggetto di questa tesi, ricordato anche in precedenza, è lo studio qualitativo della biomassa di *Pistacia lentiscus* L. I campioni utilizzati per questo scopo provengono dal campo sperimentale n° 11 della stazione sperimentale e didattica "Antonio Milella" di San Quirico – Fenosu (OR) adibito alla raccolta di accessioni di lentisco. Tale campo è composto da circa 120 accessioni le quali hanno 20 anni di età. Durante questo periodo tali piante hanno vegetato indisturbate, subendo una potatura di riforma soltanto al 7° anno e hanno raggiunto un'altezza media di 3 m ed un'area di insidenza della chioma di circa 4 m² ciascuna (Fig. 4).

Di questo popolamento sono state selezionate dieci piante, di cui 6 di sesso maschile e 4 femminile, a cui è stata praticata una potatura importante che prevedeva l'asportazione del 90% della biomassa verde e tutte le ramaglie laterali. Il risultato finale riportava la pianta ad essere prevalentemente monocormica, ma anche bicormica a seconda dei casi (Fig. 5). L'intervento di taglio apparentemente drastico aveva il fine di simulare la raccolta complessiva di tutta la biomassa utilizzabile in modo sostenibile e inoltre quello di osservare anche le reali capacità di ripresa vegetativa della specie.

Le operazioni descritte sono state eseguite nel mese di gennaio del 2015 tramite l'ausilio di una motosega e vari accessori quali taglia-rami e forbici da potatura, seguendo tutte le norme di sicurezza previste e sotto la supervisione del personale qualificato presente nella struttura.

La scelta delle piante da utilizzare non è stata casuale, ma bensì ha seguito criteri inerenti la sicurezza delle operazioni previste, ha tenuto conto della disposizione delle stesse e dalla loro accessibilità nonché della loro espressione nel rappresentare l'intero popolamento.



Figura 4. Piante di *Pistacia lentiscus* L. prima della potatura (19/01/2015).



Figura 5. Piante di *Pistacia lentiscus* L. dopo la potatura (26/01/2015).

Come illustrato nella Figura 6 sono state scelte delle piante periferiche che rispettavano questi criteri.

La biomassa derivante dalla potatura di ciascuna pianta è stata suddivisa in due parti e pesata separatamente subito dopo il suo reperimento in campo. Per far ciò sono state utilizzate delle forbici da potatura ed è stata utilizzata una bilancia presente nei magazzini del campo. Le due frazioni costituenti il campione fresco totale di ogni pianta erano così formate:

- campione erbaceo-legnoso: composto da foglie e ramaglie di età da zero ai 3 anni;
- campione legnoso: composto da rami minori e branche di età superiore ai 3 anni.



Figura 6. Panoramica del popolamento e relative piante utilizzate.

Da entrambe le frazioni, quella erbaceo-legnosa e quella legnosa, per ciascuna pianta, subito dopo le pesate, sono stati isolati dei campioni rappresentativi della biomassa presente del peso di circa un kg. Questi campioni sono stati trasferiti nel laboratorio di chimica a CartaLoi presso la sede gemmata di Nuoro facente parte dell'Università di Sassari. Tale operazione di riduzione del campione da esaminare è stata fatta poiché l'ingombro complessivo del materiale vegetale non ne consentiva il trasporto presso il laboratorio. Comunque la quantità di un kg di biomassa fresca è risultata più che sufficiente per effettuare tutti gli studi prefissati.

Nelle Figure 7 e 8 vengono riportate alcune immagini riguardanti due campioni studiati.



Figura 7. Campione legnoso (1 kg circa).



Figura 8. Campione erbaceo-legnoso (1 kg circa).

Analisi della biomassa

Peso anidro e contenuto di umidità della biomassa

I campioni di biomassa entro breve tempo sono stati trasferiti presso il laboratorio di CartaLoi in Nuoro, dove sono stati pesati con la bilancia tecnica e successivamente sono stati lasciati essiccare all'aria per 30 giorni. Affinché potessero perdere gradualmente una parte consistente dell'umidità contenuta. Successivamente, al fine di determinare il peso anidro della biomassa, i campioni hanno subito un'essiccazione in stufa a 105 °C, inizialmente per 24 ore e comunque fino al raggiungimento del peso costante.

Tale operazione si è ritenuta necessaria per determinare il contenuto di umidità in tutti i campioni.

Preparazione dei campioni

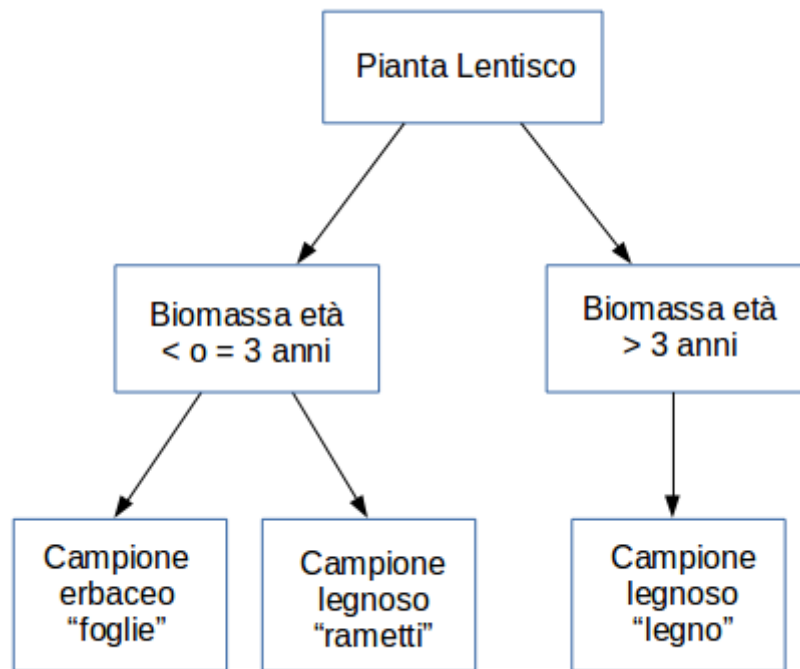
Successivamente tutti i campioni riguardanti la biomassa di età inferiore o uguale ai 3 anni sono stati ulteriormente suddivisi in 2 gruppi. Tale operazione ha portato alla formazione di 2 campioni distinti:

- campione erbaceo: costituito da sole foglie;
- campione legnoso: costituito da rami di piccole dimensioni;

Questa operazione non si è potuta eseguire quando i campioni erano allo stato fresco poiché le foglie tendevano a cadere e perdevano molte sostanze, oli essenziali, ecc., che sarebbero state poi utili ai successivi studi. È risultato invece agevole separare le 2 frazioni quando la biomassa è stata portata allo stato anidro.

Riassumendo possiamo dire che i campioni su cui proseguire le indagini sono 3, che per semplicità verranno indicati con le seguenti denominazioni: foglie, rametti e legno (Tabella 4).

Tabella 4. Ripartizione campioni biomassa.



I campioni delle frazioni legnose, rispettivamente quelli denominati “rametti” e “legno”, sono stati sottoposti ad una macinazione grossolana tramite l'ausilio di un cippatore elettrico che ha ridotto il materiale in piccole scaglie (Fig. 9).

Successivamente da ciascun campione delle 3 frazioni sono stati prelevati circa 20 grammi di materiale che è stato finemente macinato (Fig. 10) con l'ausilio di un comune macinino da caffè.

Questa operazione è stata necessaria per poter procedere con le successive prove di incenerimento.



Figura 9. Biomassa macinata con cippatore.



Figura 10. Parte di campione finemente macinata in laboratorio.

Analisi delle ceneri

Un'analisi qualitativa della biomassa vegetale include di norma lo studio delle ceneri. Questa indagine prevede la combustione totale della biomassa che ne determina la conversione della componente organica essenzialmente in CO₂ e vapore acqueo, oltre a una quota di altri elementi tipicamente presenti nelle emissioni gassose della combustione (NO_x, CO, composti volatili, ecc.), mentre le ceneri costituiscono il principale residuo solido. In quest'ultimo possono essere presenti anche incombusti solidi derivanti da una non perfetta combustione del legno e ciò dipende dalla tecnologia di conversione energetica (caldaie a griglia fissa o mobile, ecc.), dalla relativa modalità di gestione e dalle caratteristiche del combustibile (in primo luogo il contenuto di umidità). In termini un po' più tecnici, anche se molto generali, si può dire che il legno è mediamente costituito, per il 99% in peso sulla sostanza secca, da cellulosa, emicellulosa e lignina e per il restante 1% da componenti di origine minerale che la pianta ha assorbito dal terreno attraverso le radici. Nella loro forma ossidata queste sostanze minerali costituiscono la frazione principale (85-95%) delle ceneri. L'altra componente (5-15%) delle ceneri è rappresentata dai cosiddetti incombusti che sono costituiti da materia organica (p.e. cellulosa) che ha subito solo una parziale combustione. Le ceneri quindi non sono altro che una miscela di elementi minerali e componenti organici incombusti.

Nello specifico, il contenuto di ceneri cambia a seconda della tipologia di pianta e dalle parti della stessa che vengono prese in considerazione. Il contenuto e, soprattutto, le caratteristiche delle ceneri cambiano inoltre a seconda delle condizioni del terreno, del deposito di metalli pesanti e dei fertilizzanti utilizzati (Progetto BIO-CEN, 2004).

Operativamente il lavoro in questione è stato realizzato seguendo un protocollo standard che prevede l'analisi del contenuto in ceneri derivante

dalla combustione totale di 1 g di biomassa finemente macinata. La quale prima è stata nuovamente introdotta in stufa per 24 ore ad una temperatura di 105 °C. Ciò è stato necessario poiché la biomassa vegetale allo stato anidro tende ad assorbire una quantità di umidità di poco inferiore a quella del luogo in cui si trova. Tale accorgimento permette di riottenere un campione perfettamente anidro, della quale è stato annotato tempestivamente il peso in grammi con l'ausilio di una bilancia analitica, e quindi più facilmente inceneribile. Inoltre anche tutte le strumentazioni che sono entrate in contatto diretto con il campione, quali: crogioli, becher, ecc., sono state introdotte in stufa per 24 ore alla temperatura di 105 °C al fine di eliminare il contenuto di umidità da esse. Affinché il materiale e gli strumenti potessero permanere senza umidità una volta estratti dalla stufa sono stati inseriti all'interno degli appositi essiccatori (Fig. 11) e utilizzati in ambiente controllato.

I campioni sono stati analizzati in triplice replica e hanno interessato tutte le 3 le frazioni di biomassa che costituivano il campione completo (Tabella 4).

Il processo di combustione del materiale in questione si è svolto inizialmente esponendo la biomassa contenuta in dei crogioli posti a contatto con dei fornellini a piastra scaldante alla temperatura di 100 °C. Questa operazione è stata condotta sotto una cappa aspirante al fine di catturare tutti i fumi derivanti dalla combustione. I campioni sono stati esposti all'azione della piastra scaldante fino alla loro carbonizzazione completa, nonché al momento di arresto del fumo.



Figura 11. Essiccatore con crogioli all'interno.



Figura 12. Crogioli in muffola.

Successivamente i crogioli contenenti i campioni sono stati trasferiti all'interno di una muffola (Fig. 12) alla temperatura di 550 °C dove sono rimasti 24 ore, o comunque fino a raggiungere uno stato di incenerimento completo.

Il passaggio precedente è stato fondamentale poiché esporre la biomassa incombusta direttamente all'azione della muffola comporterebbe una combustione violenta con probabili fenomeni di esplosione del materiale.

I campioni così inceneriti sono stati nuovamente pesati con la bilancia analitica e confrontando le pesate con quelle precedenti, al netto della tara dei crogioli, si è stabilito il peso delle ceneri.

Per poter analizzare il contenuto in micro elementi le ceneri di ciascun campione sono state trattate nel modo seguente: all'interno del crogiolo contenente le ceneri (Fig. 13) sono stati inseriti 5 ml di HCL 4 Normale. L'acido cloridrico è stato lasciato agire per 5 minuti, dopo di che tutto il contenuto del crogiolo è stato versato all'interno di un matraccio, del volume di 100 ml, provvisto di un imbuto avente un filtro in carta affinché non passassero delle impurità o parti solide in soluzione (Fig. 14). Successivamente il matraccio contenente la soluzione acida è stato portato al volume di 100 ml con l'acqua deionizzata avendo cura di lavare le parti che sono entrate a contatto con l'HCL (filtro e imbuto) al fine di recuperare tutto l'acido utilizzato.

Infine parte del contenuto del matraccio, circa 50 ml, è stata trasferita in una falcon e conservata in frigo. La soluzione così ottenuta prende il nome di soluzione madre (Fig. 15). Questa verrà direttamente utilizzata per la caratterizzazione dei micro elementi e per la preparazione delle diluizioni per l'analisi dei macro elementi, anch'essi con la spettroscopia ad assorbimento atomico.



Figura 13. Alcuni crogioli contenenti i campioni inceneriti.

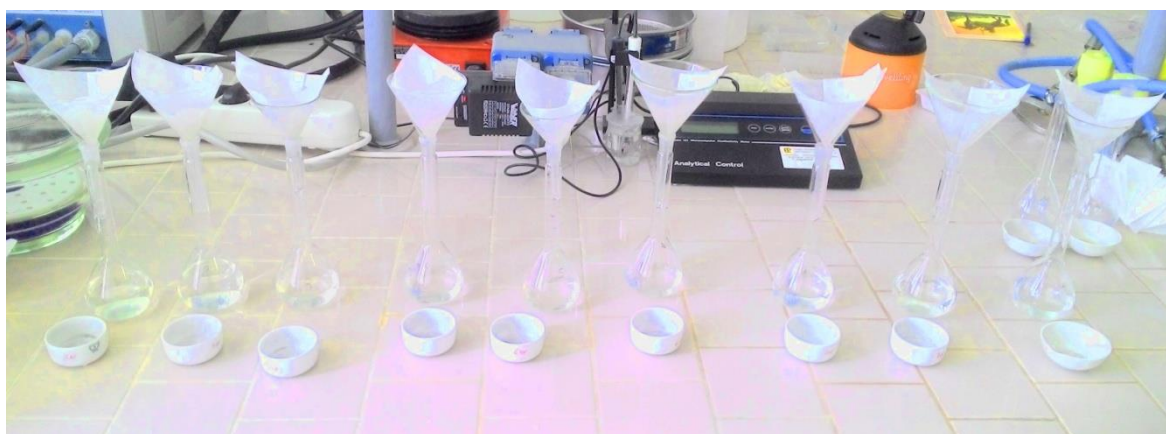


Figura 14. Soluzione acida nei matracci.



Figura 15. Alcune soluzioni madre.

La spettroscopia atomica è una tecnica di indagine che permette di eseguire analisi di metalli sia qualitativa che quantitativa, in cui una sostanza viene decomposta negli atomi che la costituiscono tramite una fiamma, un fornello riscaldato elettricamente o un plasma (gas a temperatura sufficientemente elevata da contenere ioni ed elettroni liberi). La quantità di ogni elemento presente nel “gas atomico” viene misurata dall’assorbimento o dall’emissione di radiazione ultravioletta o visibile da parte degli atomi allo stato gassoso. Il processo è possibile poiché gli atomi assorbono parte della luce proveniente dalla sorgente, mentre la radiazione rimanente raggiunge il rivelatore.



Figura 16. Strumento per la spettroscopia di assorbimento atomico.

Attraverso alcune prove di lettura della soluzione madre con lo strumento si è stabilita la concentrazione del 2% per quanto riguarda la preparazione delle diluizioni, dalla soluzione madre di partenza, relative alla caratterizzazione dei macro elementi. La concentrazione della frazione acida nella soluzione diluita deve essere tarata in funzione della specie legnosa o erbacea che si intende studiare, nonché al tipo di sostanza che si va a ricercare.

Con l'utilizzo della spettroscopia di assorbimento atomico sono stati ricercati 8 elementi chimici. Sodio, potassio, calcio e magnesio tra i macro elementi (espressi in percentuale) e zinco, ferro, rame e manganese per i micro elementi (espressi in parti per milione). Rispettivamente dalle diluizioni al 2% della soluzione madre per quanto riguarda i primi e direttamente dalla soluzione madre per quanto riguarda i micro elementi.

Determinazione dei componenti strutturali e non strutturali della biomassa

Il legno è prodotto dalla pianta come elemento strutturale, con ottime caratteristiche di robustezza e resistenza. I suoi costituenti principali sono la lignina, le emicellulose e la cellulosa, che rappresentano il composto chimico più abbondante.

La struttura del legno è composta da: 50% di carbonio, 42% di ossigeno, 6% di idrogeno, 2% di minerali, azoto e pigmenti.

È un insieme di varie sostanze, le principali sono i polisaccaridi chiamati olocellulose (70%) e la lignina. L'olocellulosa è una miscela di cellulosa propriamente detta e di altri polisaccaridi, del tipo delle emicellulose a peso molecolare relativamente basso e derivante dall'arabinosio, glucosio, mannosio, galattosio e xilosio.

La composizione, il grado di polimerizzazione la quantità dei diversi costituenti differiscono a seconda della specie vegetale.

La lignina è un polimero complesso di fenoli variamente sostituiti.

Anche per essa la composizione e il grado di polimerizzazione variano a seconda della specie vegetale. La sua funzione è di cementare le fibre del legno. Sono inoltre presenti altre sostanze: coloranti, tannini, resine, oli, ecc., che a volte vengono estratti industrialmente. Attraverso varie lavorazioni si possono ottenere dal legno molti altri prodotti: dalla lignina tensioattivi, adesivi e vanillina, e dall'olocellulosa alcool metilico, acido levulinico e miscele di zucchero. Nello specifico i lunghi polimeri di cellulosa costituiscono le fibre che danno alle piante la loro resistenza, mentre la lignina ha funzione di collante per mantenere unite queste fibre. L'emicellulosa ha il ruolo fondamentale di tenere associate cellulosa e lignina (Progetto E.C.A.T.E, 2006). Inoltre la cellulosa è un polisaccaride naturale che ha la formula generale $(C_6H_{10}O_5)_n$, un peso molecolare medio di 300-500 u.m.a e un grado di polimerizzazione che può variare da 3000 fino a 10000 a seconda del vegetale. La cellulosa è insolubile in acqua, forma la struttura di sostegno di tutte le biomasse presenti sulla terra e costituisce approssimativamente il 50% del materiale della parete cellulare. Le molecole di cellulosa hanno come unità base un anello di β -D-glucopiranosio. Ogni anello è ruotato di 180° rispetto al successivo pertanto l'unità ripetitiva è formata da due anelli contigui uniti a mezzo di legami 1,4- β -glicosidici (Fig. 17). La struttura è molto stabile a causa degli anelli a sei atomi di carbonio, dell'assenza di doppi legami e della presenza di un sistema di ponti ad idrogeno interpolimerici. I ponti idrogeno sono formati da un atomo di H di un gruppo alcolico parzialmente legato ad un secondo atomo di ossigeno appartenente ad un polimero di una fibra parallela (Fig. 18). Queste proprietà rendono il polimero cellulosa più resistente agli attacchi chimici e termici e fa sì che si sviluppi in maniera più lineare, rendendolo così oltre che resistente, anche filabile. Per questo motivo la cellulosa risulta essere la materia prima fondamentale per le fibre naturali (Progetto E.C.A.T.E, 2006).

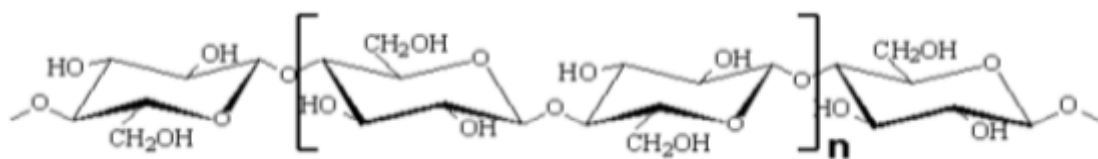


Figura 17. Struttura della cellulosa.

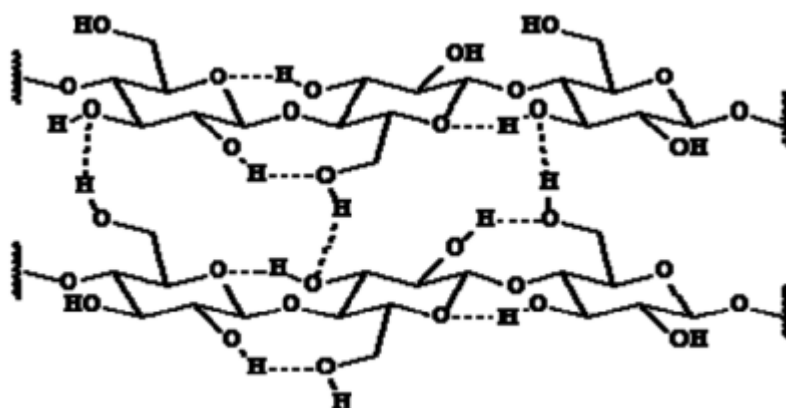


Figura 18. Formazione di ponti idrogeno fra le catene di cellulosa.

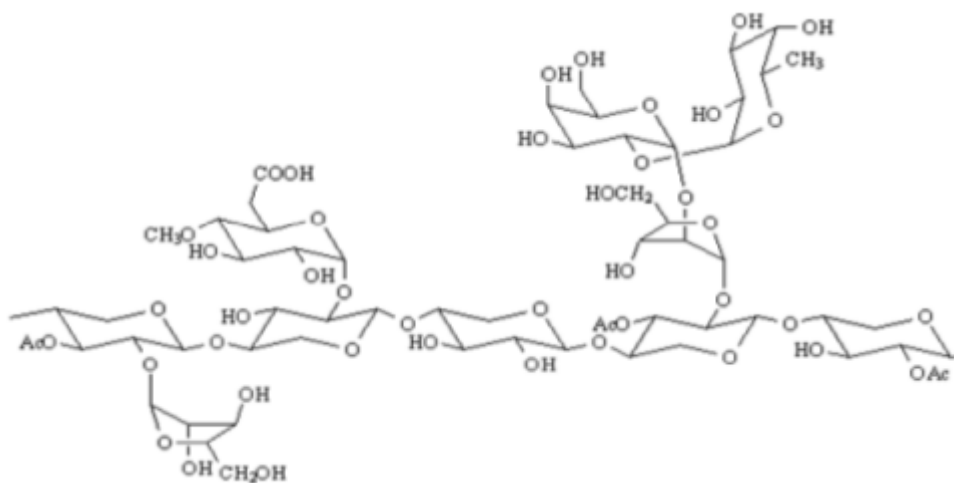


Figura 19. Ramificazioni di emicellulosa su una catena di cellulosa.

L'emicellulosa, invece, è formata da polisaccaridi complessi che si collocano in associazione con la cellulosa nella parete cellulare. A differenza della cellulosa, l'emicellulosa è solubile in soluzioni alcaline diluite. E' formata da strutture ramificate (Fig. 19), che variano notevolmente a seconda che la biomassa sia di tipo legnoso o erbaceo.

Inoltre, l'emicellulosa non è formata da un'identica unità monometrica ripetuta, bensì da diversi zuccheri tra i quali alcuni a cinque atomi di carbonio (xylani), altri a sei (glucani, mannani, arabinani, acidi galatturonici). Le catene sono di solito formate da 50-200 unità monometriche fra le quali, in generale, la più abbondante è lo xylano (Progetto E.C.A.T.E, 2006).

La lignina è una molecola naturale complessa costituita da diverse unità di fenil-propano. Dopo i polisaccaridi rappresenta la struttura organica più presente nei vegetali. La presenza relativa della lignina, se da una parte si può ritenere circa costante all'interno di una stessa specie, è considerevolmente variabile tra le diverse specie. Per esempio il legno delle gimnosperme (conifere) ha un contenuto di lignina che può passare dal 27% al 37%, mentre il legno delle angiosperme, mostra mediamente un contenuto che varia dal 16% al 29%.

La lignina svolge diverse funzioni fondamentali per la vita del vegetale. Il principale compito svolto dalla lignina è quello di ridurre la permeabilità all'acqua intervenendo in tutti i processi di scambio di minerali, nutrienti e metabolici. Inoltre, se la cellulosa fornisce la vera e propria resistenza meccanica caratteristica del legno, la lignina opera da riempitivo e da collante tra le cellule vegetali, fornendo resistenza alla compressione e agli urti.

La lignina può considerarsi la molecola più complessa per quel che riguarda la struttura della biomassa. Non è infatti possibile dare una composizione precisa, anche se esistono diversi tentativi di fornire un modello di struttura media come nel caso della betulla (Fig. 20).

Dal momento che le unità monomeriche di lignina presentano nella

maggior parte dei casi un insieme comune di nove carboni, sei nell'anello aromatico e tre nella parte alifatica, spesso i dati analitici riguardanti le diverse lignine sono espressi rispetto alla formula C_9 , come nel caso della *Picea abies* $C_9 H_{8.3} O_{2.7} (OCH_3)_{0.97}$, o dell'*Eucalyptus regnans* $C_9 H_{8.7} O_{2.9} (OCH_3)_{1.58}$. L'eterogeneità della lignina è ben riconoscibile per le diverse piante di diverse famiglie, ordini, generi e classi così come la struttura della lignina in una stessa specie può variare in base alla zona di provenienza ed alla età della pianta. Un esempio della variabilità di composizione elementare delle lignine è riportato in Tabella 5.

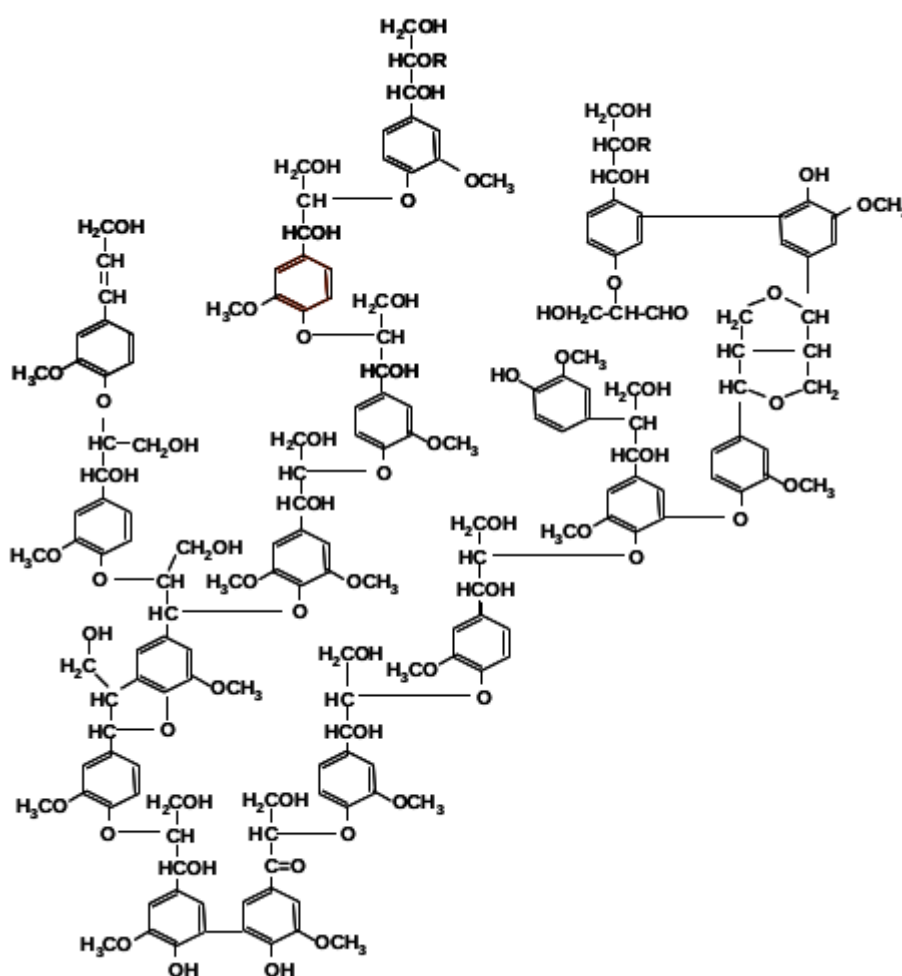


Figura 20. Tipica struttura della lignina.

In genere la lignina differisce per il diverso contenuto relativo di monomeri presenti nella struttura. Si possono individuare due grandi gruppi di piante: le softwood e le hardwood. Tra le prime si identificano principalmente le gimnosperme. Le lignine di queste piante sono caratterizzate da una maggior abbondanza di alcool coniferilico, mentre le lignine di piante hardwood sono angiosperme e sono il prodotto di copolimerizzazione di alcool del sirigolo, da cui dipende la maggior abbondanza di gruppi metossile ($-\text{OCH}_3$) nell'anello aromatico.

Il contenuto tipico di metossili in una hardwood è 1.20 - 1.52 gruppi metossile per unità di C_9 .

La principale differenza tra le due classi di lignine, consiste nella maggior presenza di ossigeno nelle hardwood, e ciò è strettamente correlato alla maggiore abbondanza di gruppi metossili nella struttura. Questo si traduce in una minore compattezza della struttura macromolecolare della hardwood rispetto alla softwood che è in grado di formare un numero superiore di legami intramolecolari. Osservando la struttura delle lignine, è possibile notare la predominanza del legame arilglicerolo- β -aril-etere detto anche β -O-4 (Fig. 21). Questo legame è il principale per entrambe le classi di lignina, anche se maggiormente presente nelle hardwood (Progetto E.C.A.T.E, 2006).

Tabella 5. Analisi elementare di 14 diversi tipi di lignina.

LIGNINE SOFTWOOD	%C	%H	%O	%OCH₃	Unità di massa C₉
<i>Picea abies</i>	62.7	5.9	31.3	15.8	190.2
<i>Picea mariana</i>	63.7	6.3	29.4	15.4	185.8
<i>Pinus sylvestris</i>	64.0	6.1	29.8	15.7	185.9
<i>Pinus ponderosa</i>	62.5	6.0	29.9	15.0	187.1
<i>Pseudotsuga menziessi</i>	64.8	5.8	29.6	12.5	180.0
<i>Thuja plicata</i>	63.8	6.1	30.1	16.1	187.3
<i>Tsuga heterophylla</i>	63.4	6.3	29.8	15.7	187.3
<i>Larix occidentalis</i>	63.7	6.1	30.2	12.9	184.0
LIGNINE HARDWOOD					
<i>Fagus sylvatica</i>	60.3	6.3	33.4	21.4	207.1
<i>Betulla verrucosa</i>	58.5	6.5	34.0	21.5	211.9
<i>Populus tremuloides</i>	60.0	6.1	33.9	21.5	208.5
<i>Acer macrophyllum</i>	60.4	5.7	33.9	20.0	204.9
<i>Liquidambar styraciflua</i>	57.6	5.6	35.1	21.4	215.0
<i>Eucalyptus regnans</i>	59.2	6.3	33.6	22.9	212.5

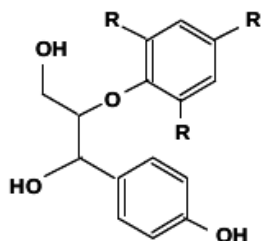


Figura 21. Legame β -O-4.

In questo studio sono state individuate le componenti strutturali e non strutturali su una parte del campione di biomassa di *Pistacia lentiscus* L.

In particolare l'analisi ha riguardato i campioni legnosi ed erbacei provenienti dalle prime quattro piante potate in campo, per un totale di 12 campioni da eseguire in triplice replica.

Nella prima fase è stato necessario pretrattare la biomassa (prima con acqua deionizzata e poi con un solvente organico) precedentemente essiccata al fine di estrarre tutti i componenti non strutturali da essa ovvero i polifenoli tra cui i tannini che formano il mastice, gli oli essenziali, e comunque tutte le miscele complesse di specie chimiche diverse fra le quali almeno alcune facilmente volatili e molto spesso odorose.

Operativamente si è proceduto nel modo seguente: per ciascun campione sono stati pesati 2 g di biomassa, precedentemente essiccata e finemente macinata, con la bilancia tecnica. I quali sono stati posti su una beuta da 100 ml, dove sono stati aggiunti 25 ml di H₂O deionizzata. Il tutto è stato lasciato in agitazione a caldo (alla temperatura di 95 °C) per 2 ore sistemando un vetrino di orologio sulla beuta (Fig. 22). Quest'ultima precauzione è stata adottata affinché ci fosse una precipitazione dell'evaporato.

Dopo di che il contenuto della beuta è stato versato in una Falcon e messo a centrifugare a 3000 rpm per 30 minuti.

Una volta eliminato il surnatante sono stati aggiunti 25 ml di metanolo e il tutto è stato agitato manualmente per 15 minuti, successivamente le Falcon sono state fatte centrifugare a 3000 rpm per 20 minuti (Fig. 23). Questa estrazione con il solvente organico, il metanolo, si è ritenuto opportuno eseguirla una seconda volta al fine di estrarre completamente tutte le sostanze liposolubili (oli essenziali, ecc.)



Figura 22. Beute sugli agitatori magnetici con piastra scaldante.



Figura 23. Alcune Falcon estratte dalla centrifuga dopo 20 minuti.

Quindi, una volta eliminato il surnatante, è stato recuperato in un vetrino il campione. Il quale è stato lasciato 15 minuti all'aria affinché il metanolo del campione fosse evaporato. Infine è stato posto in stufa a 105°C per 24 ore.

Il campione così ottenuto risulta essere privo di tutte le componenti non strutturali precedentemente elencate. Per cui si è proceduto ad isolare la frazione ligninica dalla biomassa:

Trascorse le 24 ore è stato estratto dalla stufa e lasciato raffreddare all'interno degli essiccatori, quindi una parte del campione del peso di 1 g è stata pesata con la bilancia analitica ed è stata posta su una beuta da 250 ml dove sono stati aggiunti 10 ml di H₂SO₄ al 60% alla temperatura di 2 °C. Il tutto è stato posto sull'agitatore magnetico per 3 ore a temperatura ambiente. Successivamente sono stati versati 100 ml di H₂O distillata alla temperatura di 5 °C, ed è stato lasciato in agitazione a caldo (temperatura prossima ai 100 °C) con un vetrino sulla beuta per le successive 3 ore (Fig. 24).

Passate le 3 ore, il contenuto della beuta è stato versato all'interno di un filtro Gauch posto sopra l'estrattore del vuoto (Fig. 25).

Ad estrazione ultimata, il filtro contenente la lignina è stato inserito in stufa, prima a temperatura 80 °C per 2 ore poi a 105 °C per 24 ore. Infine, una volta estratto dalla stufa, è stato pesato con la bilancia analitica.

È opportuno ricordare che tale filtro è stato posto anche precedentemente, da vuoto, in stufa a 105°C per 24 ore e una volta estratto ne è stato annotato il peso con l'ausilio della bilancia analitica. Per cui sottraendo il peso del filtro vuoto al peso del filtro contenente la lignina si è potuto risalire alla quantità di lignina presente nel campione.



Figura 24. Agitazione a caldo della soluzione acida.



Figura 25. Filtro Gauch posizionato sull'estrattore del vuoto.

L'olocellulosa invece è stata calcolata per differenza di pesata tra il campione pretrattato del peso di 1 g e la quantità di lignina presente in esso.

Il lavoro svolto è frutto di lunghe ricerche bibliografiche, che hanno permesso di mettere appunto una metodica sperimentale dopo un lungo periodo di prova nei laboratori di CartaLoi e Sa terra Mala in Nuoro. La metodica in questione è stata inoltre redatta sulla base della strumentazione messa a disposizione dall'Università di Sassari.

I dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza per mezzo del software MSTAT-C. La separazione delle medie è stata effettuata tramite il Multiple Range Test di Duncan per $p \leq 0,01$.

RISULTATI

Durante la raccolta dei campioni nel campo sperimentale n° 11 della stazione sperimentale di “San Quirico – Fenosu” (OR), per ciascuna pianta potata è stato annotato il peso complessivo della biomassa ottenuta, nonché le rispettive pesate della frazione comprendente la biomassa dai 0 ai 3 anni e della biomassa di età superiore ai 3 anni. Nella Tabella 6 vengono presentati i dati ricavati da tale suddivisione ed inoltre viene espresso il sesso delle piante utilizzate. L'elaborazione di queste informazioni permette di dire complessivamente che il 59,7% della biomassa ha un'età superiore ai 3 anni mentre la restante percentuale ovvero il 40,3% è composto da biomassa di età inferiore o uguale ai 3 anni (Fig. 26). Questo dato è presumibilmente dovuto al fatto che le condizioni della stazione in cui le piante si ritrovano a vegetare sono ottime in termini di apporto nutrizionale e idrico poiché nel periodo estivo si effettua anche una irrigazione di soccorso.

Ciò ha permesso alle piante di sviluppare in un tempo relativamente breve delle dimensioni diametriche considerevoli per quanto riguarda i rami principali e il fusto. Tuttavia, è importante ricordare come alcune piante, nello specifico le piante numero 3, 5 e 7 riportate nella Tabella 6, subissero una condizione di dominanza da parte delle piante adiacenti. Questa circostanza ha fatto sì che le tre piante menzionate non abbiano sviluppato una massa legnosa come le piante circostanti, ma bensì abbiano accresciuto maggiormente la parte terminale dei rami alla ricerca di luce e spazio. Ciò è riscontrabile anche nei dati riportati in Tabella 6 poiché il peso delle 2 frazioni in cui è stata suddivisa la biomassa ha quantitativi pressoché simili.

Tabella 6. Quantità di biomassa legnosa totale delle piante di lentisco.

Dati assoluti				
Piante	Sesso	Biomassa età < 3 anni (Kg)	Biomassa età > 3 anni (Kg)	Totale biomassa età < e > 3 anni (Kg)
P. Lentiscus L. 1	femmina	22	52	74
P. Lentiscus L. 2	maschio	62,5	87	149,5
P. Lentiscus L. 3	maschio	19,5	18	37,5
P. Lentiscus L. 4	femmina	47	78	125
P. Lentiscus L. 5	femmina	22,5	22	44,5
P. Lentiscus L. 6	femmina	22,5	38	60,5
P. Lentiscus L. 7	maschio	8	12	20
P. Lentiscus L. 8	maschio	47	70	117
P. Lentiscus L. 9	maschio	14	30	44
P. Lentiscus L. 10	maschio	36	50	86

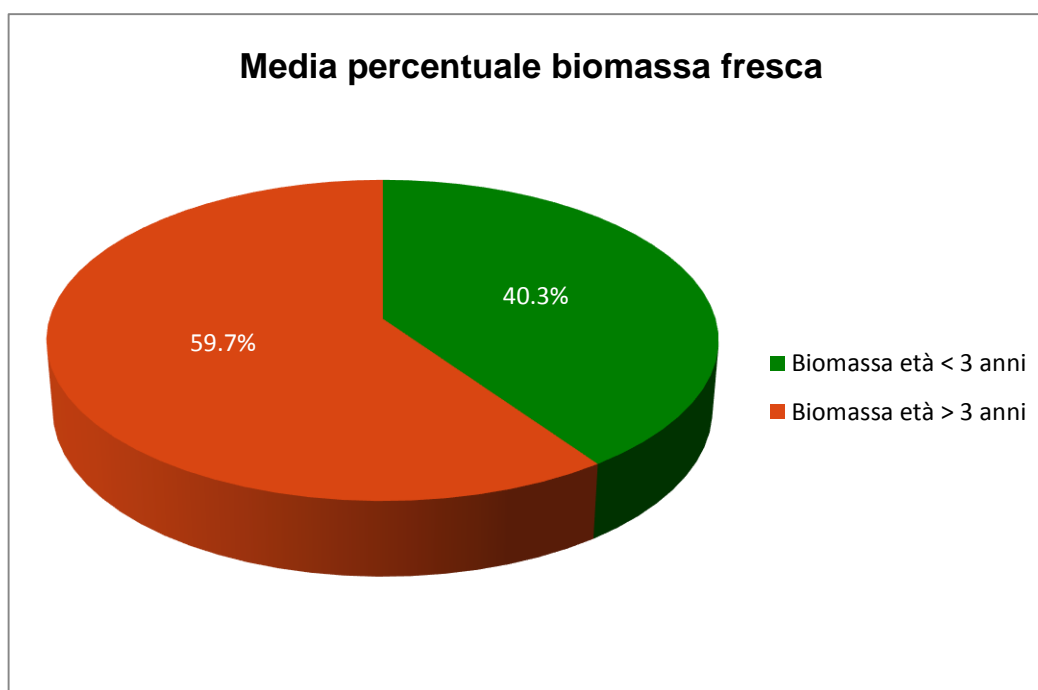


Figura 26. Ripartizione media della biomassa fresca nella popolazione di piante di lentisco.

Con il successivo trasferimento dei campioni, scelti nelle operazioni di campagna, nei laboratori di Nuoro dell'Università di Sassari si è proceduto a determinare il peso anidro degli stessi.

Il contenuto di umidità è stato calcolato per differenza di pesata tra il peso fresco e peso anidro ed espresso in percentuale. Nella Figura 27 vengono riportati i dati ottenuti. I valori relativi alla biomassa di età inferiore o uguale ai 3 anni mostrano una variabilità compresa tra il 47,28% e il 55,13%, mentre per la biomassa di età superiore ai 3 anni i dati erano quasi sempre inferiori con variabilità compresa tra 38,34% e 52,72%.

Dunque possiamo dire che l'umidità media della biomassa relativa a tutte le 10 piante esaminate per i campioni di età superiore ai 3 anni è di 46,45% mentre per i campioni di età inferiore o uguale ai 3 anni è di 51,73% (Fig. 28).

Come spiegato nel capitolo precedente, la biomassa inizialmente suddivisa in 2 frazioni è stata ulteriormente frazionata. Ciò ha portato alla suddivisione dei campioni prelevati dalla biomassa di età compresa tra i 0 e 3 anni in 2 campioni distinti: un campione erbaceo formato da sole foglie e un campione legnoso costituito da rametti.

In Figura 29 si riporta il risultato espresso in percentuale di tale suddivisione. La componente delle foglie espressa come percentuale del peso secco era pari a valori compresi tra 31,8 e 57,1%, con notevole variabilità tra le diverse piante studiate, mentre di conseguenza la percentuale di biomassa secca attribuibile ai rametti era compresa tra 42,9 e 68,2%. Inoltre questa ripartizione ha permesso di stabilire che in media il campione erbaceo (44,08 % sul totale) è più piccolo di quello legnoso (55,92% sul totale), vedi Figura 30.

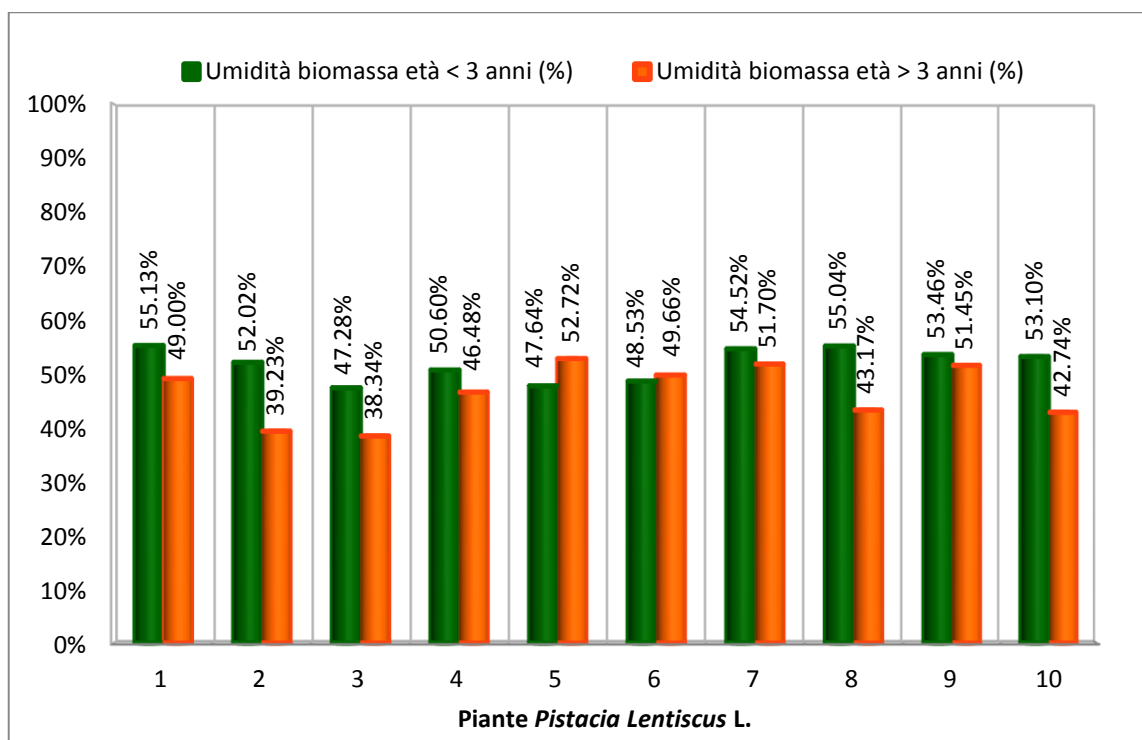


Figura 27. Umidità nelle frazioni costituenti la biomassa.

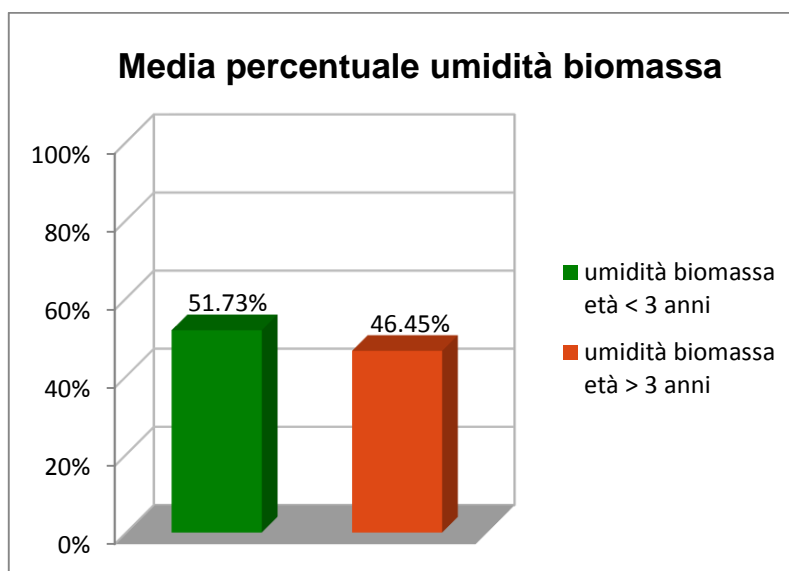


Figura 28. Umidità media totale nelle frazioni costituenti la biomassa.

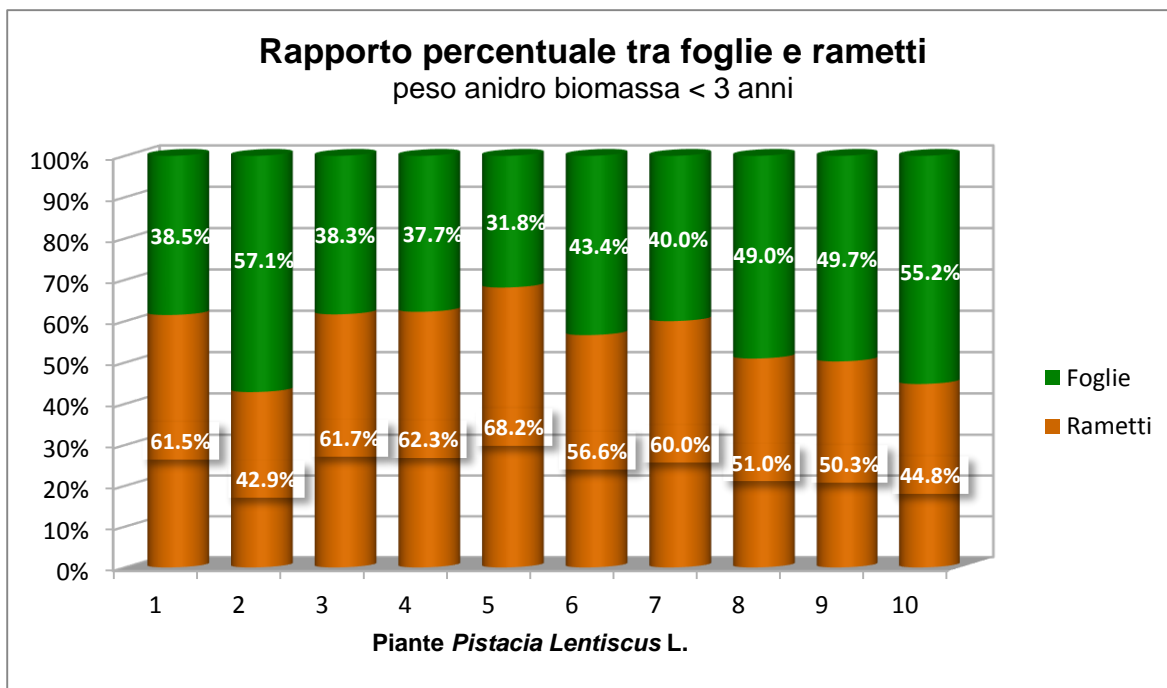


Figura 29. Ripartizione percentuale tra i campioni di foglie e rametti.

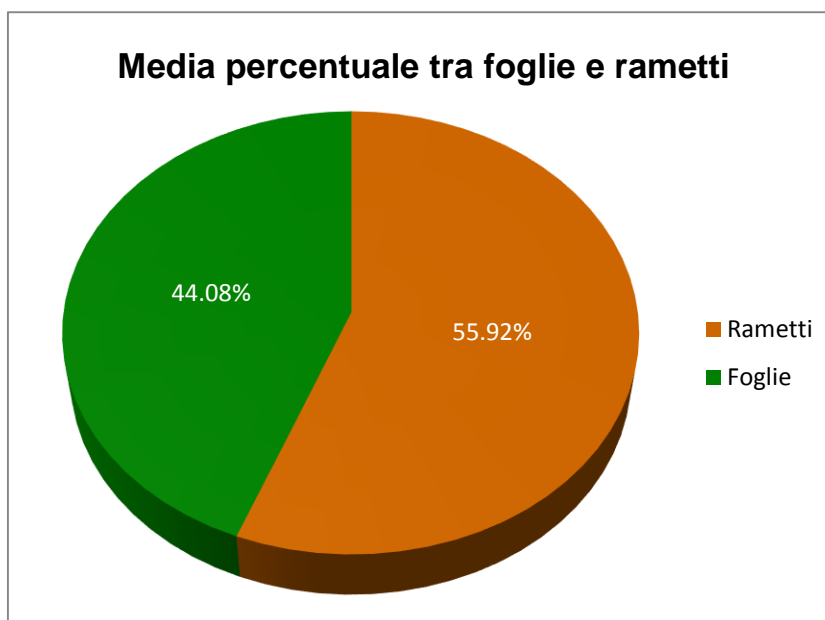


Figura 30. Distribuzione percentuale media della sostanza secca tra foglie e rametti.

I dati sul peso delle ceneri prodotte con l'incenerimento delle porzioni delle 3 frazioni della biomassa di ciascuna pianta, necessaria all'analisi delle ceneri, sono stati oggetto di una analisi della varianza, per mezzo del software MSTAT-C dove la separazione delle medie è stata effettuata tramite il Multiple Range Test di Duncan per $p \leq 0,01$ (Figg. 32, 33 e 34).

Possiamo dire che il materiale che presenta una quantità media di ceneri maggiore è la frazione erbacea con 5,75%, mentre i rametti mostrano un contenuto medio di ceneri pari a 4,21% e la biomassa legnosa di età superiore ai 3 anni una quantità media di ceneri pari al 2,19% (Fig. 31).

Questo presumibilmente perché la biomassa più giovane è caratterizzata da un maggiore contenuto di elementi di origine minerale.

Appare notevole anche la variabilità del contenuto di ceneri tra le diverse piante analizzate, con valori di ceneri nelle foglie compresi tra 4,82 e 7,16% (Fig. 32), nei rametti tra 3,62 e 4,66% (Fig. 33) e nel legno tra 1,54 e 3,16% (Fig. 34).

Ulteriori dettagli sulla frazione minerale della biomassa vengono forniti dai risultati relativi all'analisi tramite spettroscopia ad assorbimento atomico, con la caratterizzazione del contenuto di micro e macroelementi nelle ceneri.

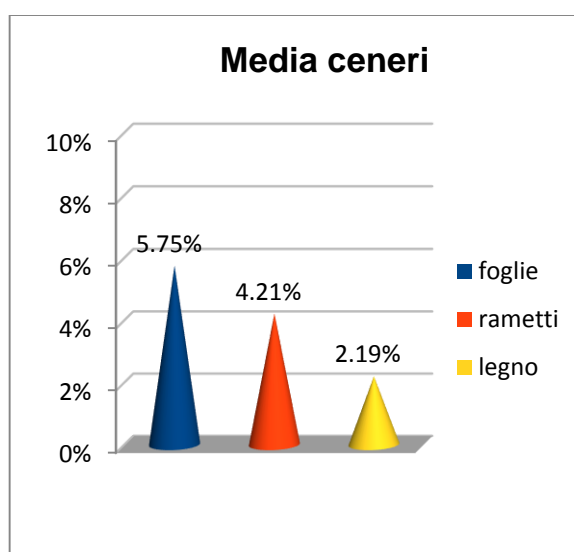


Figura 31. Contenuto medio di ceneri nella 3 frazioni della biomassa.

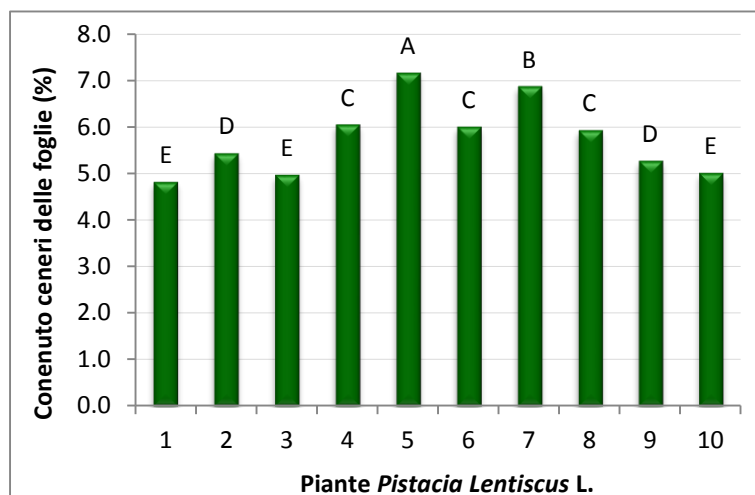


Figura 32. Analisi statistica del contenuto di ceneri nelle foglie.

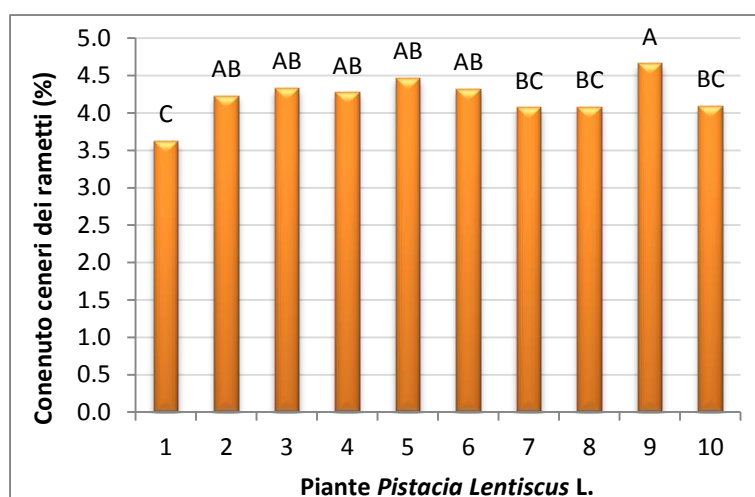


Figura 33. Analisi statistica del contenuto di ceneri nei rametti.

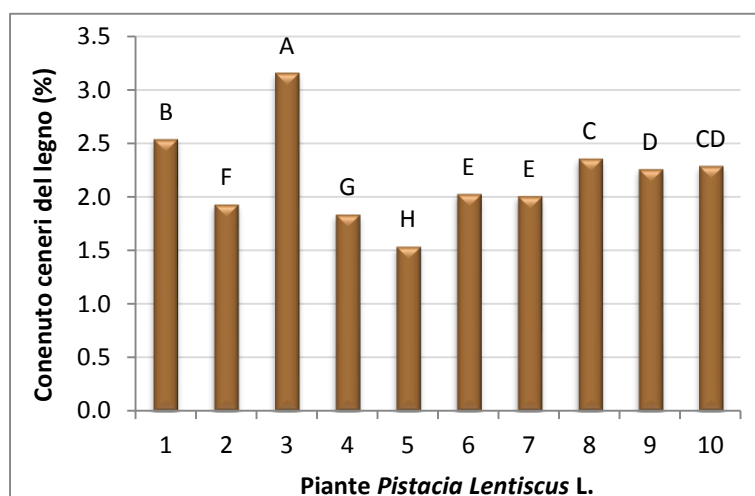


Figura 34. Analisi statistica del contenuto di ceneri nel legno.

Come esposto nel capitolo precedente, utilizzando la spettroscopia di assorbimento atomico sono stati ricercati 8 elementi chimici contenuti nelle ceneri dei campioni esaminati. Nello specifico sono stati ricercati: sodio, potassio, calcio e magnesio tra i macroelementi (espressi in percentuale) e zinco, ferro, rame e manganese per i microelementi (espressi in parti per milione, ppm).

Elaborando i dati, relativi a tale analisi nelle 3 frazioni costituenti il campione totale, emerge che tra i macro elementi quelli con una concentrazione maggiore sono il calcio e il potassio (Fig. 35), mentre il micro elemento più abbondante è il ferro (Fig. 36). È interessante notare come tutti gli elementi ricercati siano stati rilevati in concentrazioni maggiori nella biomassa giovane, soprattutto nelle foglie (Figg. 37-44).

Anche in questo caso la variabilità riscontrata tra i diversi campioni appare notevole con livelli di sodio nelle foglie compresi tra 0,17 e 0,32%, nei rametti tra 0,14 e 0,19% e nel legno tra 0,11 e 0,16% (Fig. 37).

Il potassio invece risultava compreso tra 0,31 e 0,81% della sostanza secca delle foglie, tra 0,55 e 0,80% nei rametti e tra 0,20 e 0,44% nel legno (Fig. 38).

Il calcio mostrava valori variabili tra 0,82 e 1,69% della sostanza secca delle foglie, tra 0,41 e 0,71% nei rametti e tra 0,27 e 0,67% nel legno (Fig. 39), risultando così l'elemento minerale più rappresentato.

Il magnesio, infine, tra i macroelementi analizzati mostrava contenuti nelle foglie compresi tra 0,18 e 0,29%, nei rametti tra 0,08 e 0,11% e nel legno tra 0,06 e 0,13% (Fig. 40).

Tra i microelementi analizzati lo zinco mostrava valori compresi tra 13,33 e 18,33 ppm nelle foglie, tra 12,33 e 22,67 ppm nei rametti e tra 4,33 e 8,00 ppm nel legno (Fig. 41).

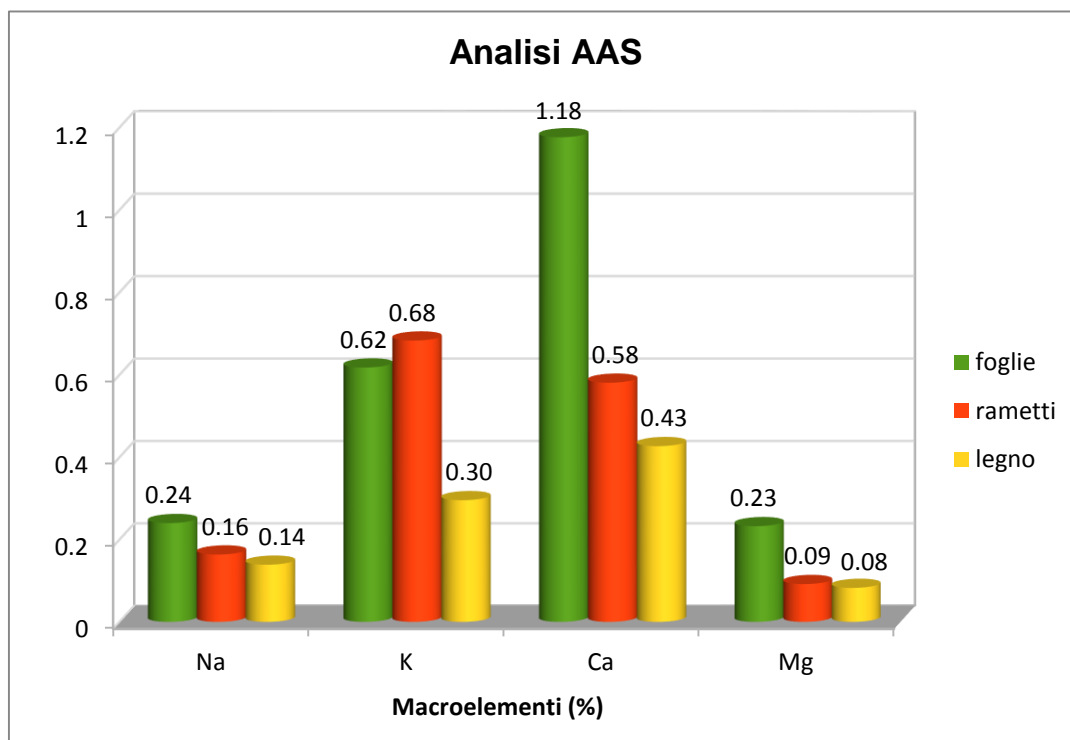


Figura 35. Macroelementi sulle 3 frazioni che costituiscono la biomassa.

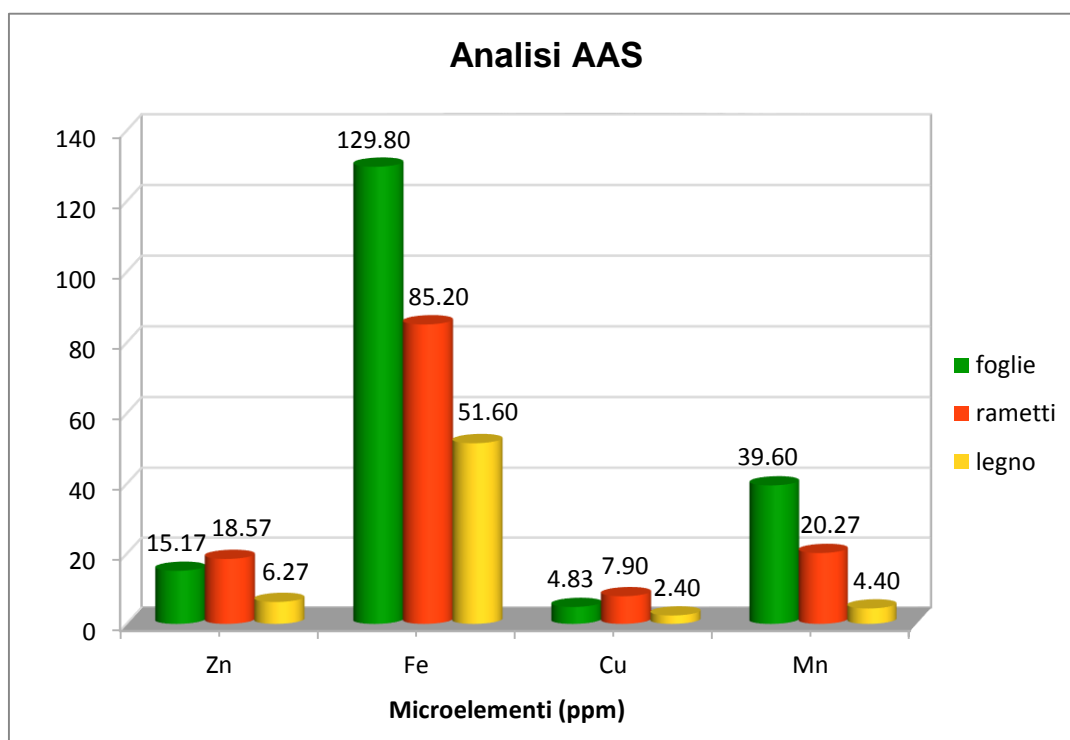


Figura 36. Microelementi sulle 3 frazioni che costituiscono la biomassa.

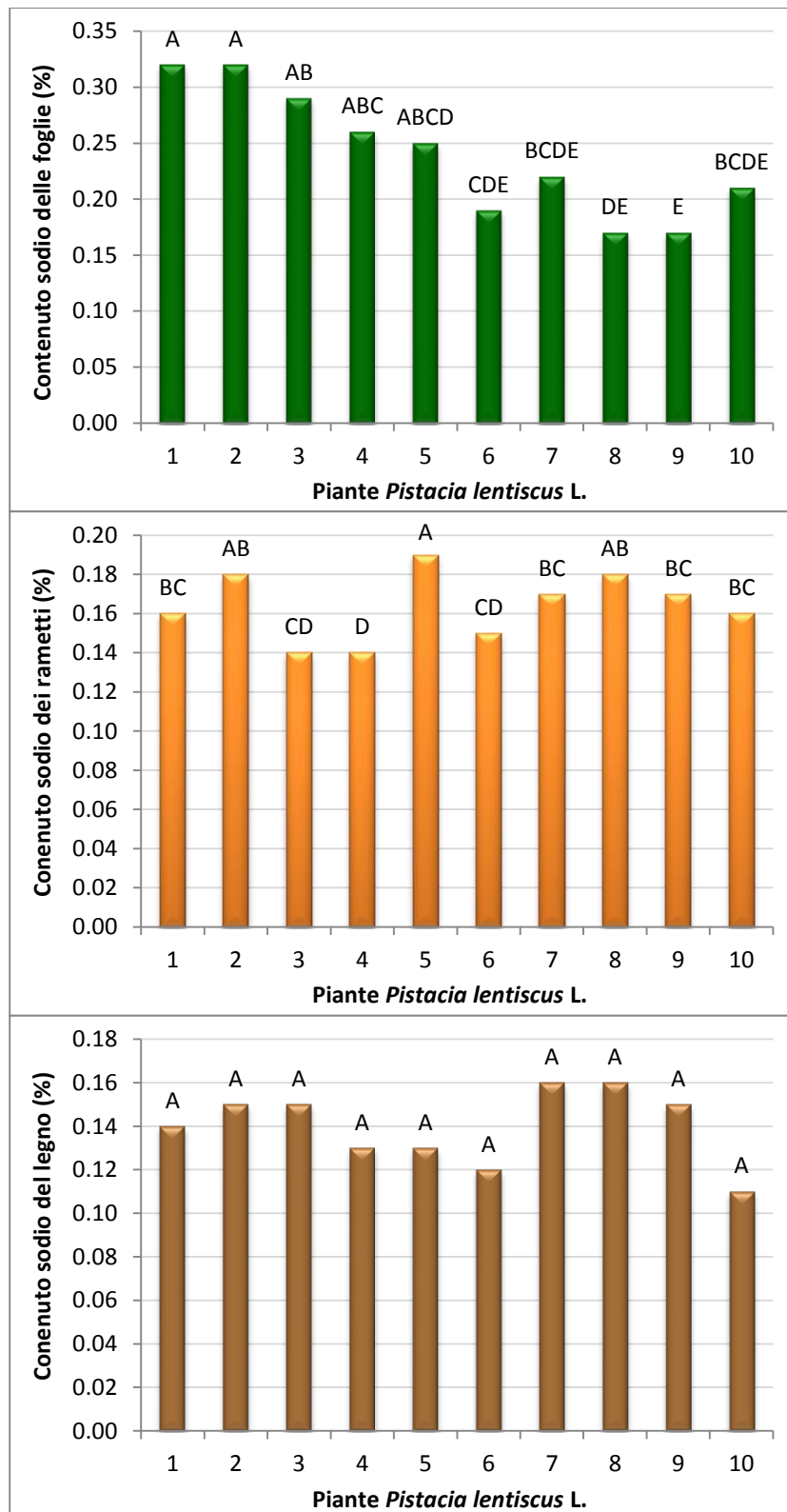


Figura 37. Analisi statistica del contenuto di sodio.

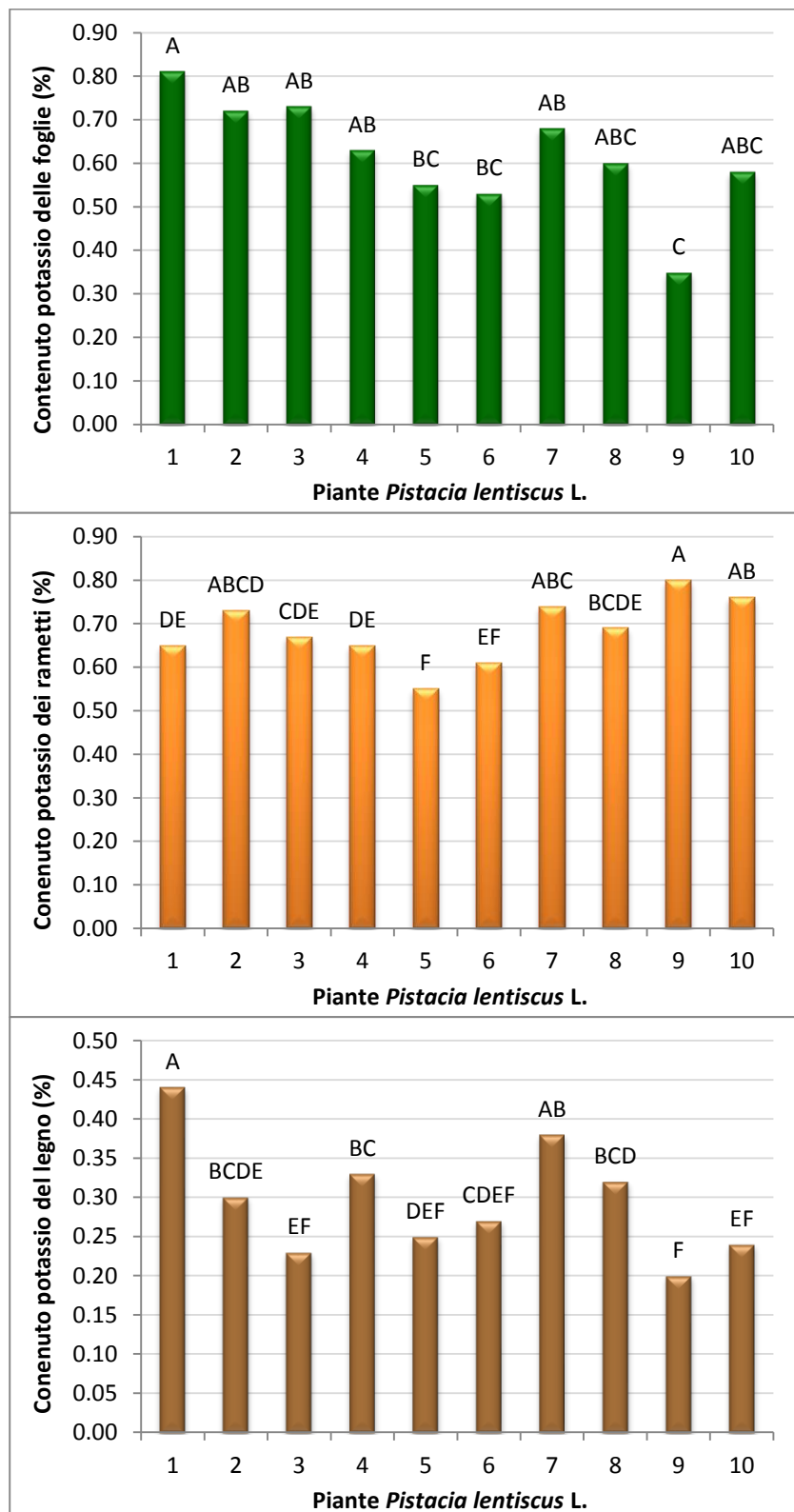


Figura 38. Analisi statistica del contenuto di potassio.

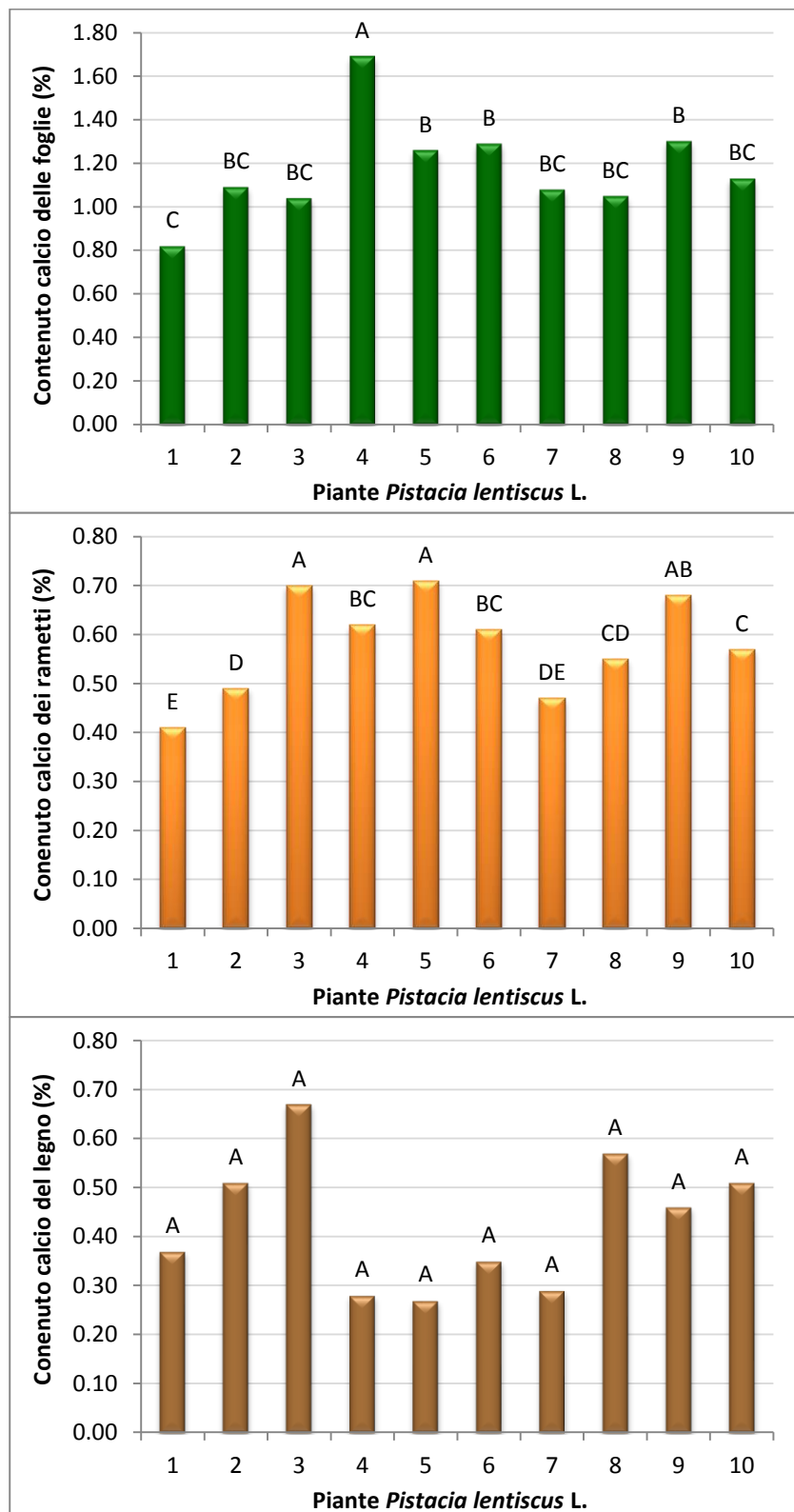


Figura 39. Analisi statistica del contenuto di calcio.

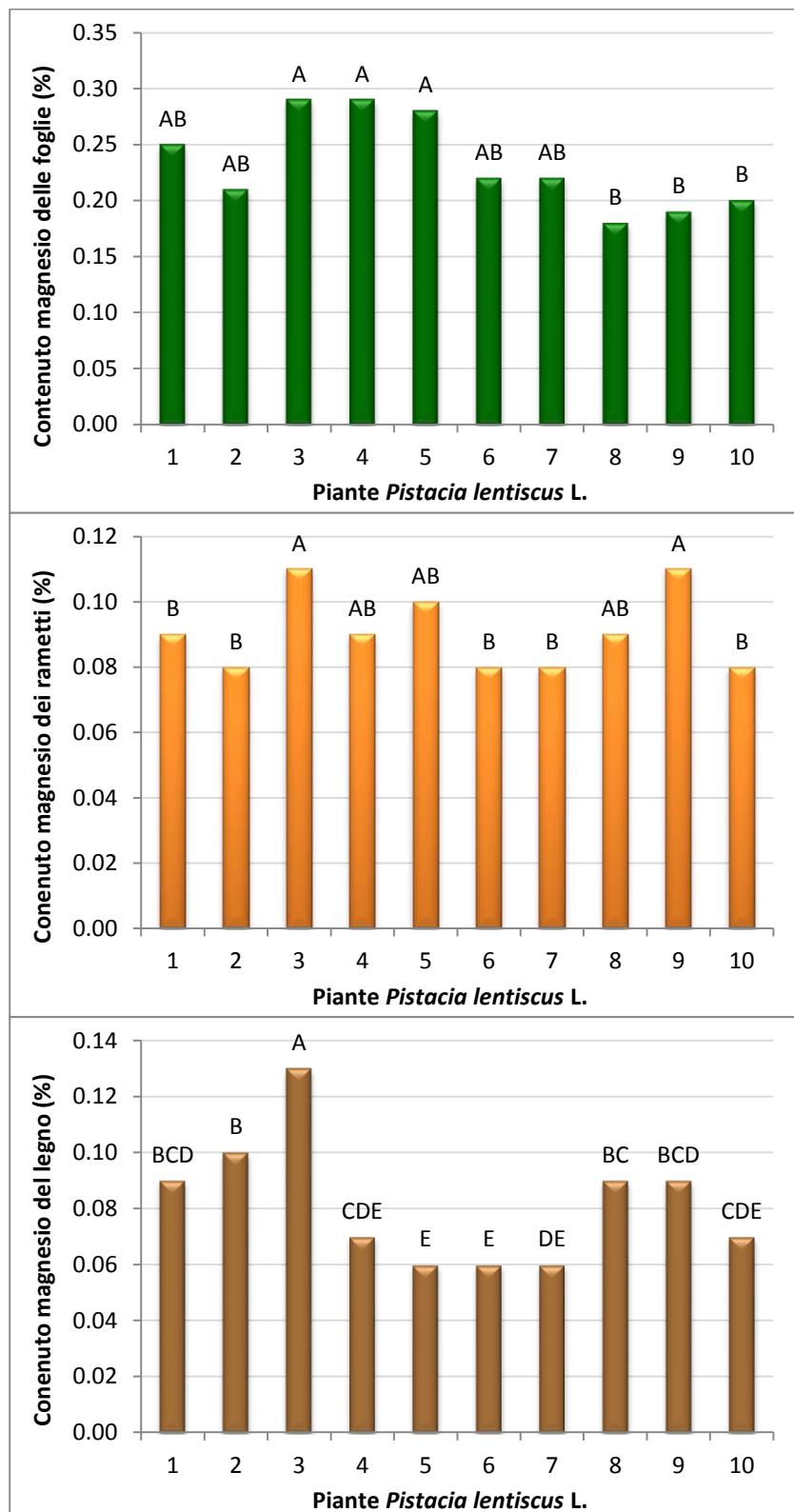


Figura 40. Analisi statistica del contenuto di magnesio.

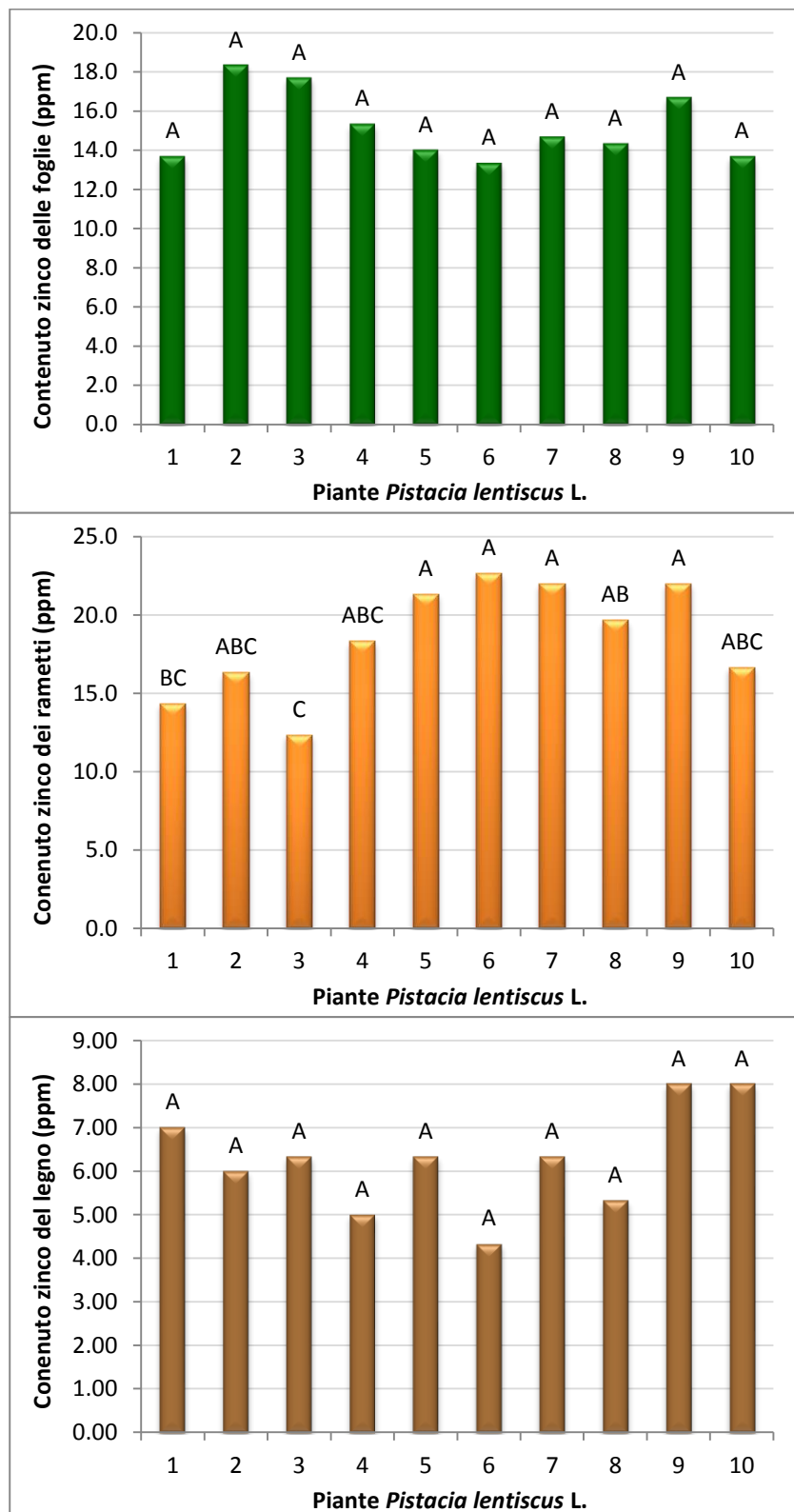


Figura 41. Analisi statistica del contenuto di zinco.

Per quanto riguarda il ferro, questo è risultato il microelemento presente in concentrazioni più elevate, con valori compresi tra 66,67 e 174,67 ppm nelle foglie, tra 52,33 e 103,67 ppm nei rametti e tra 38,67 e 67,33 ppm nel legno (Fig. 42).

Il rame è risultato presente nelle foglie con concentrazioni tra 3,33 e 9,33 ppm, nei rametti tra 5,33 e 12,33 ppm e nel legno tra 1,67 e 3,67 ppm (Fig. 43).

Il manganese, infine, ha fatto registrare concentrazioni comprese tra 31,00 e 61,67 ppm nelle foglie, tra 13,33 e 28,33 ppm e tra 3,67 e 5,33 ppm nel legno (Fig. 44).

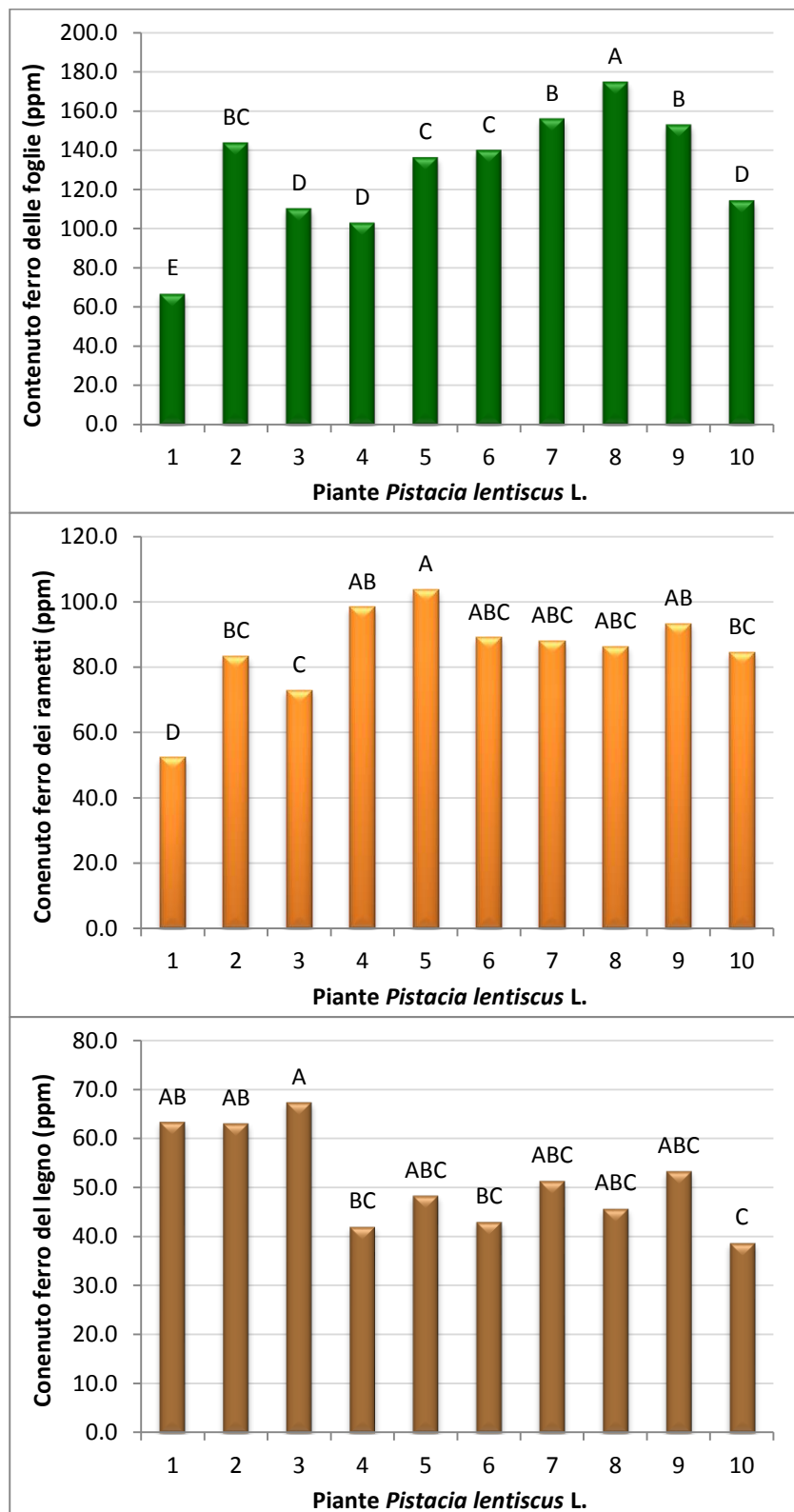


Figura 42. Analisi statistica del contenuto di ferro.

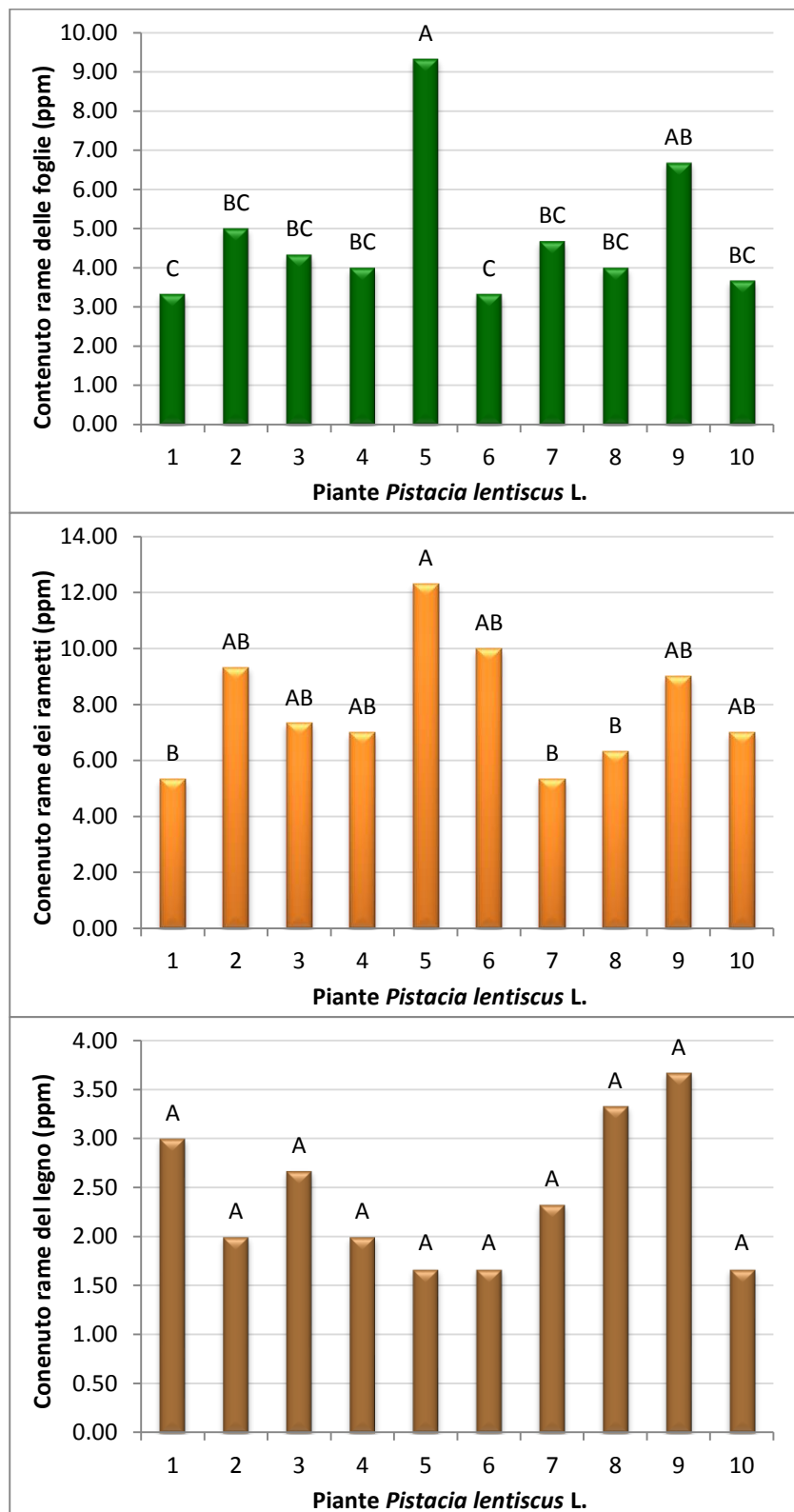


Figura 43. Analisi statistica del contenuto di rame.

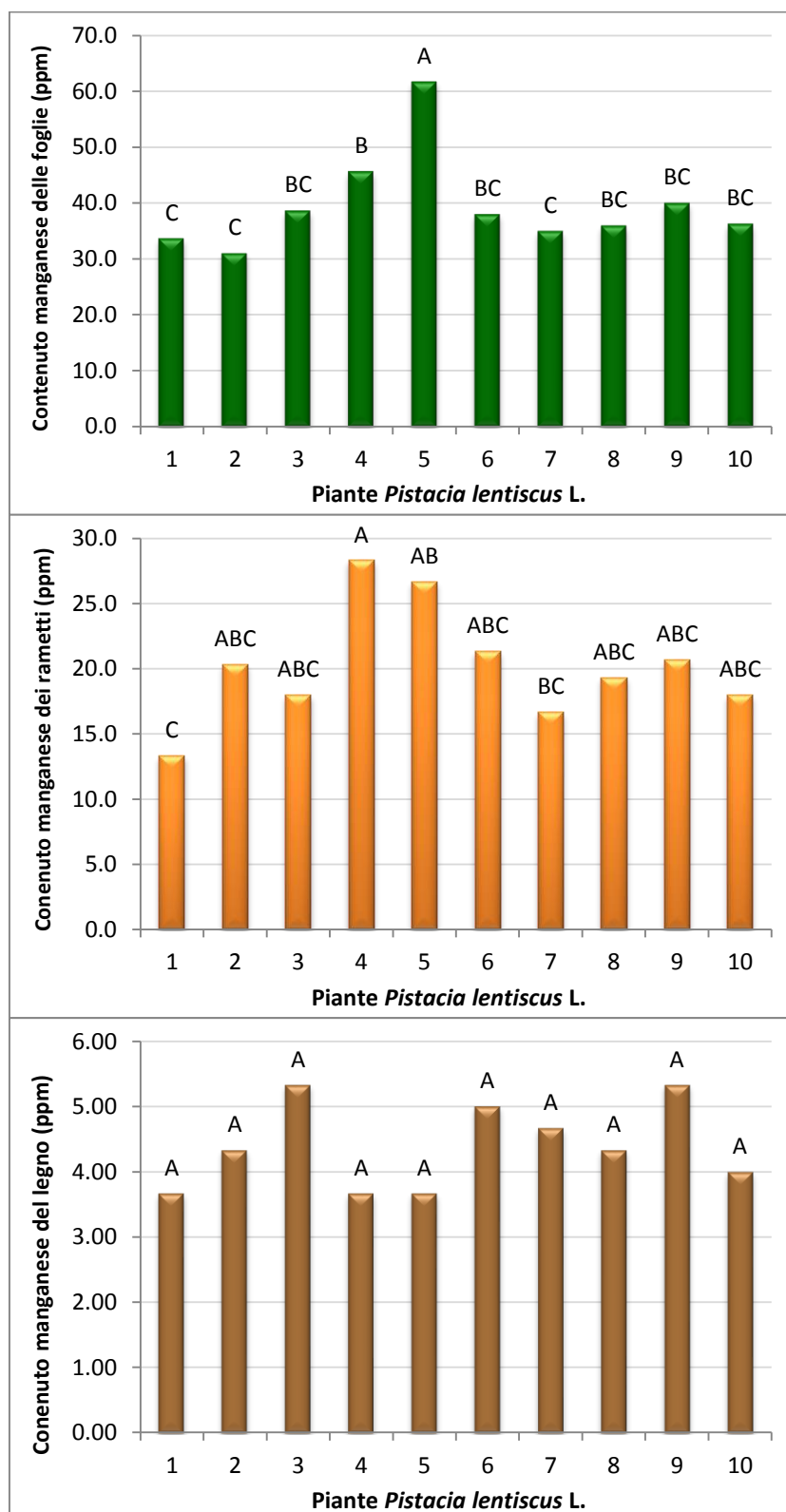


Figura 44. Analisi statistica del contenuto di manganese.

Dall'analisi dei dati relativi all'estrazione della lignina e dell'olocellulosa nelle 4 accessioni presentate nel capitolo precedente emerge che il contenuto di lignina è maggiore nel campione erbaceo e si riduce nella biomassa legnosa, soprattutto in quella di età superiore ai 3 anni, mentre di conseguenza le quantità di olocellulosa hanno una tendenza inversa (Fig. 45 e 46).

In particolare, è stato osservato un valore di lignina compreso tra 51,90 e 58,63% nelle foglie, tra 29,20 e 31,56% nei rametti e tra 20,11 e 24,14% nel legno. Viceversa il contenuto di olocellulosa era compreso tra 41,37 e 48,10% nelle foglie, tra 68,44 e 70,80% nei rametti e tra 75,86 e 79,89% nel legno (Fig. 45). La variabilità tra i diversi campioni analizzati è risultata relativamente contenuta.

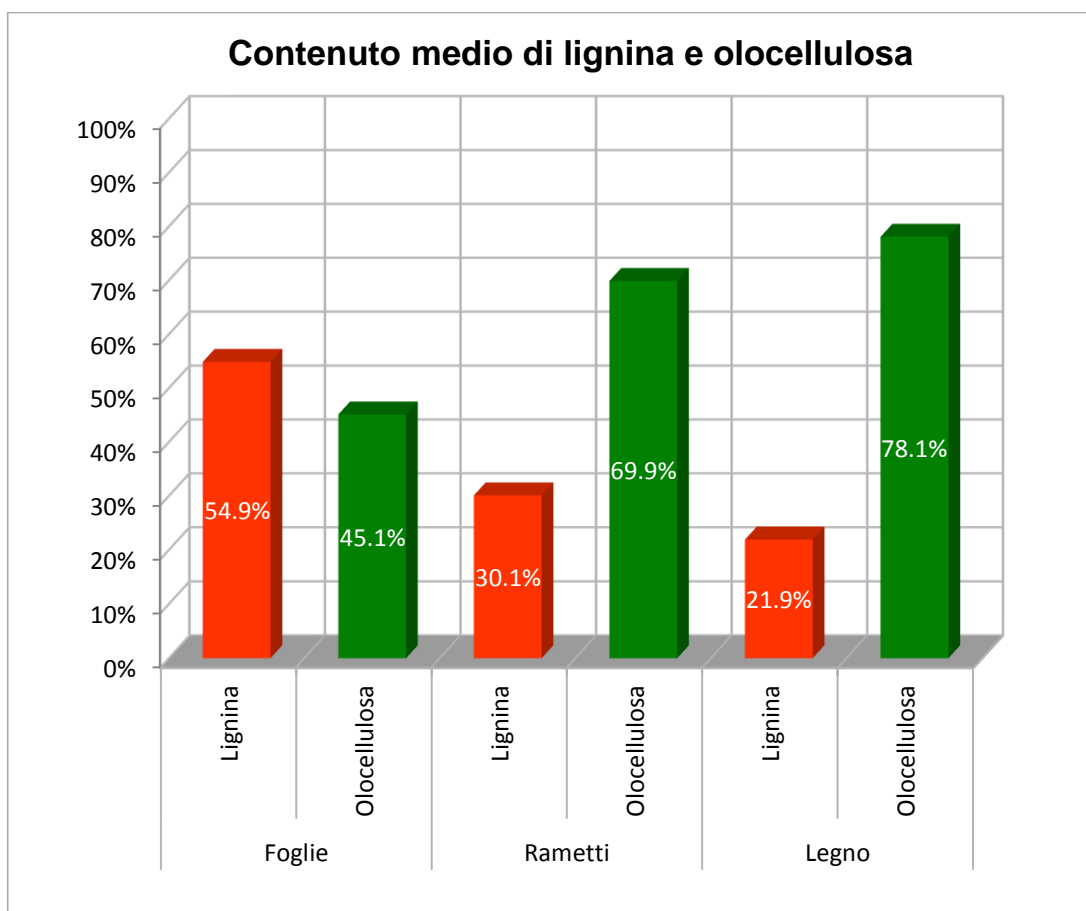


Figura 45. Contenuto medio di lignina e olocellulosa nella biomassa.

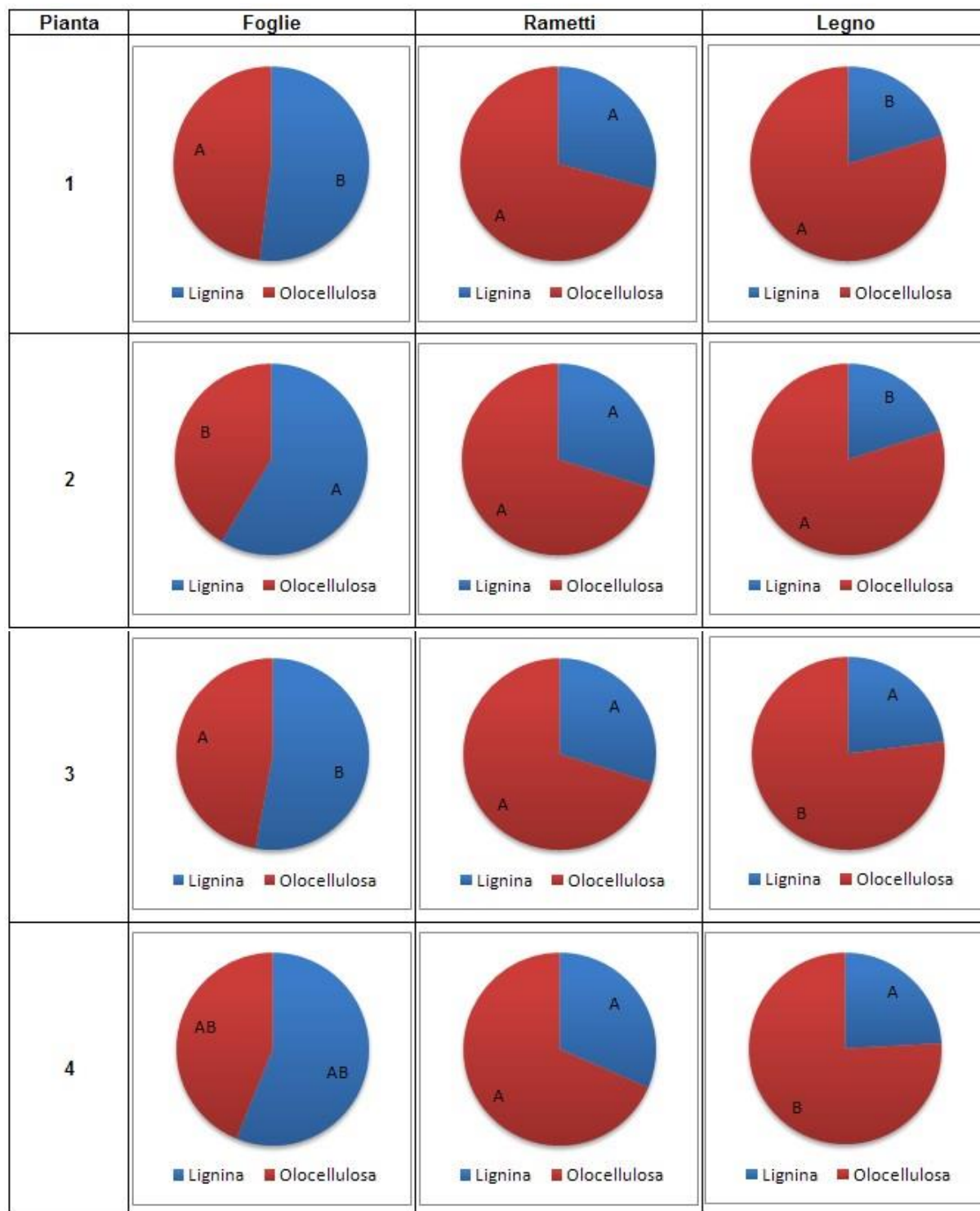


Figura 46. Analisi statistica del contenuto di lignina e olocellulosa.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Dall'analisi dei dati raccolti in questa ricerca appare chiara l'attitudine della specie *Pistacia lentiscus* alla produzione di biomassa da combustione. Questa peraltro appare anche ben distribuita a vantaggio della biomassa di età inferiore ai 3 anni, come spesso accade nelle specie arbustive rispetto alla distribuzione classica che possiamo trovare nelle specie arboree.

E' possibile osservare anche una notevole differenza individuale nel vigore delle singole piante studiate, ma tale differenza sembra prescindere dal sesso delle piante. Solo occasionalmente qualche individuo di sesso maschile sembra più vigoroso, ma questa osservazione non può essere generalizzata.

La buona percentuale di biomassa giovane sul totale ha una prima conseguenza sul contenuto di umidità totale del cippato ottenibile, in quanto questo è più elevato nelle componenti delle foglie e dei rametti giovani. Tale elemento deve essere tenuto in debita considerazione quando si pensi ad una utilizzazione della specie per la produzione di biomassa da combustione.

Le foglie a loro volta sono una parte notevole della biomassa secca dell'insieme della vegetazione di età inferiore ai 3 anni, raggiungendo un dato medio del 44,08% che determina una forte influenza di questa componente sulla frazione potenzialmente ottenibile da un ciclo di produzione in *short rotation forestry*. Oltre al maggiore contenuto di umidità alla raccolta, infatti, dovremo attenderci un più elevato contenuto di ceneri, pari a più del doppio di quello ottenibile dalla combustione di biomassa legnosa di età superiore ai 3 anni, ma anche un potere calorifero leggermente superiore in virtù del contenuto di lignina decisamente superiore nelle foglie e nei rametti rispetto

al legno più maturo.

Infatti, elaborando i dati assoluti relativi alla biomassa totale recuperata durante le fasi di campionamento e incrociando gli stessi con quelli ricavati dalla riduzione dei campioni in sostanza secca, nelle tre frazioni che costituiscono la biomassa analizzata, è stato possibile risalire al potere calorifico potenzialmente producibile da ciascuna delle piante studiate nell'utilizzo a fini energetici (Fig. 47). Questo è stato possibile perché si avevano a disposizione dati originali di prove di combustione alla bomba calorimetrica realizzate con frazioni di biomassa di piante di lentisco paragonabili a quelle studiate (Busia, 2010).

Da queste ulteriori elaborazioni si evince che il potere calorifico attribuibile alla biomassa fogliare era compreso tra 31,33 e 383,79 MJ per pianta, mentre quello relativo ai rametti era tra 42,88 e 292,36 MJ e quello attribuibile alla biomassa legnosa di età superiore a 3 anni era compreso tra 118,52 e 1046,90 MJ (Fig. 47).

Esiste quindi, in forma generale una correlazione lineare tra quantità totale di biomassa prodotta e rendimento in termini di potere calorifico per piante, come dimostrato dall'equazione riportata in Figura 48. Tuttavia, appare anche chiaro che il contributo della frazione fogliare al potere calorifico complessivo della biomassa asportata è più rilevante nelle piante dotate di poco vigore vegetativo e quindi tendenzialmente più arbustive, rispetto a quelle più vigorose e maggiori produttrici di biomassa legnosa come appare dalla relazione quadratica riportata nella Figura 49.

Si ritiene di particolare interesse, in conclusione, il significativo contributo che la biomassa fogliare di questa specie apporta per la particolare ricchezza in lignina, che potrebbe risultare vantaggioso nel caso di utilizzo in modelli di produzione di biomassa da combustione intensivi con cicli di utilizzo ravvicinati.

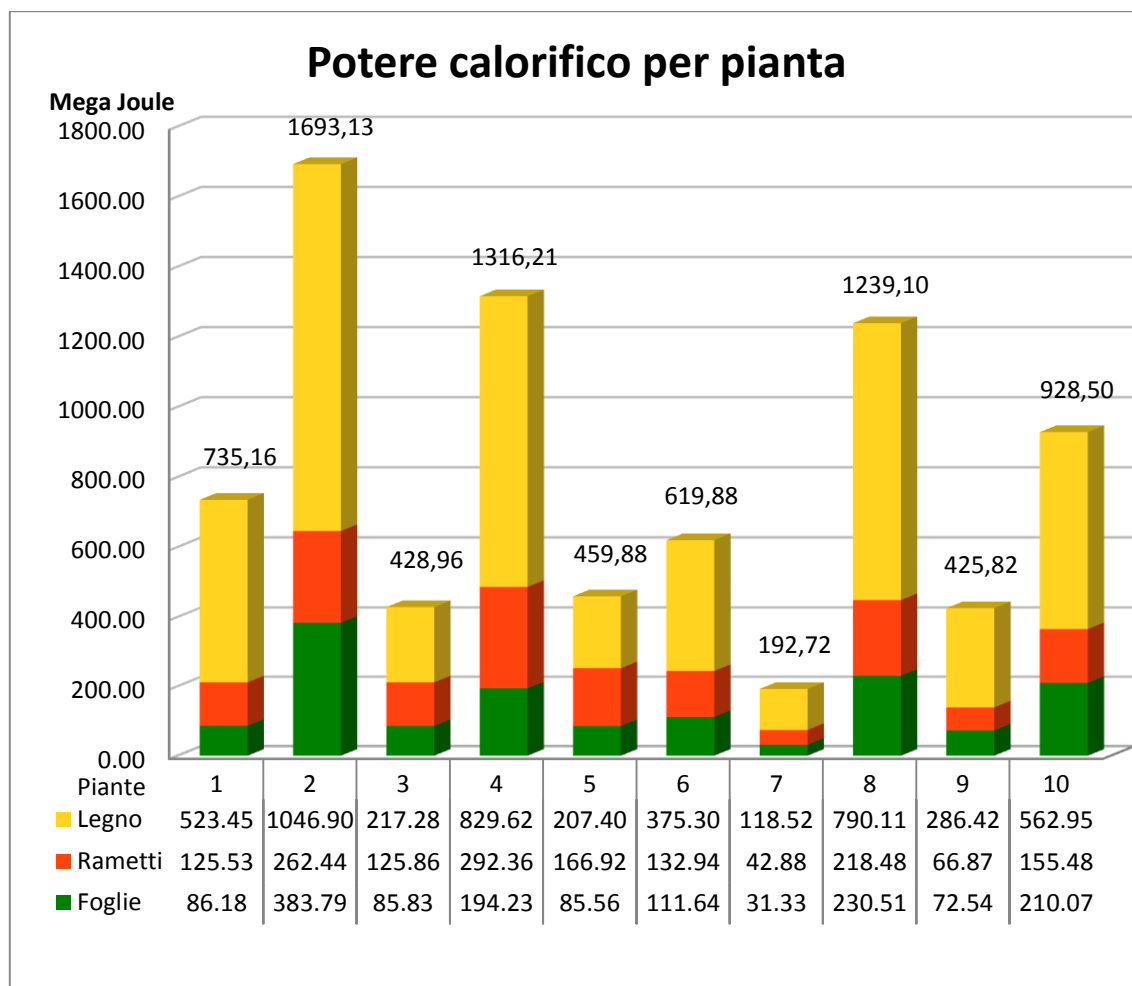


Figura 47. Potere calorifico della biomassa complessiva utilizzata per pianta.

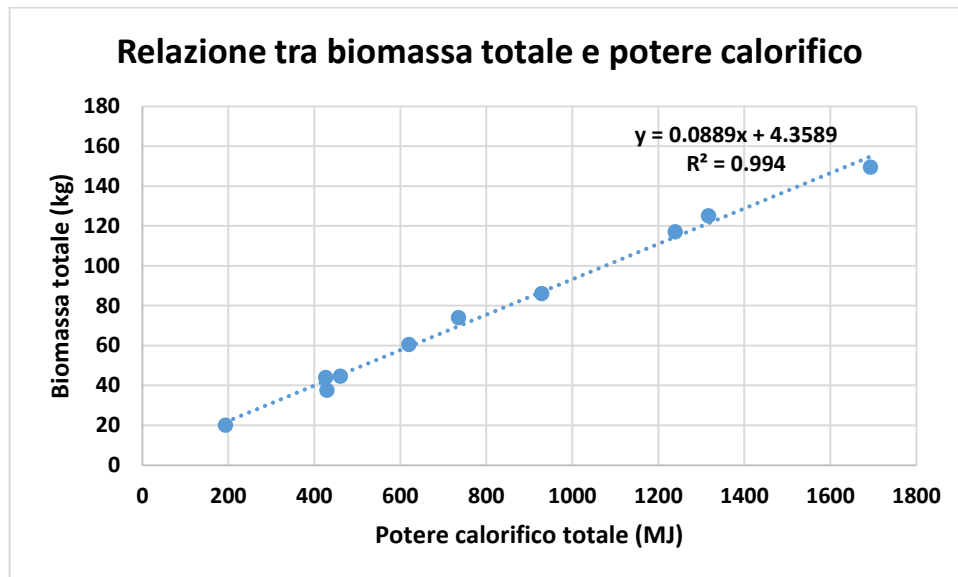


Figura 48. Correlazione tra potere calorifico totale e quantità di biomassa prodotta per pianta.

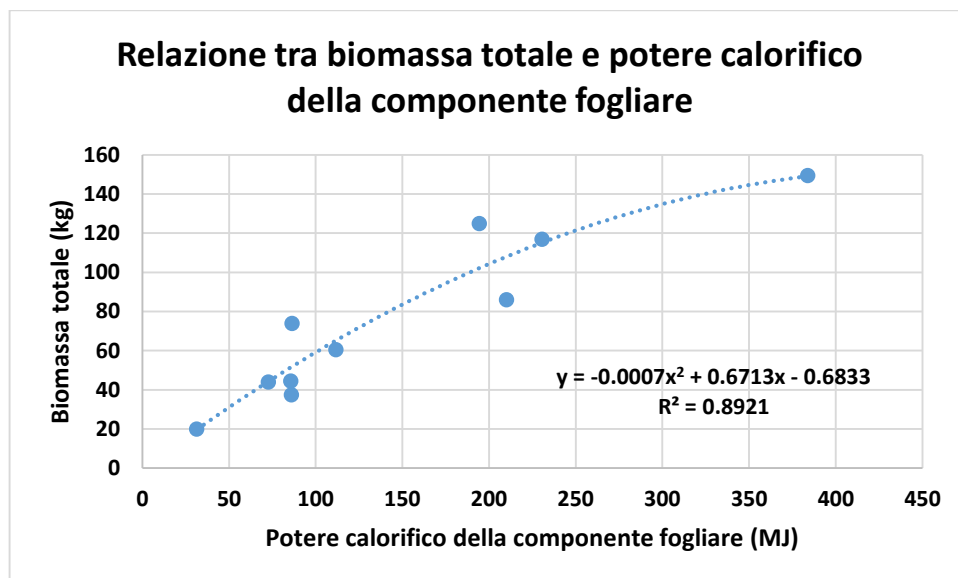


Figura 49. Correlazione tra potere calorifico della componente fogliare e quantità di biomassa totale prodotta per pianta.

BIBLIOGRAFIA

- Aldaeus F., Schweinebarth H., Törngren P., Jacobs A., 2011. Simplified determination of total lignin content in kraft lignin samples and black liquors. *Holzforschung* 65: 601-604.
- Bauer S., Ibanez A.B., 2014. Rapid Determination of Cellulose. *Biotechnol. Bioeng.*, 111(11): 2355-2357.
- Busia, 2010. Possibilità di utilizzo di alcune specie della macchia mediterranea per la produzione di biomassa da combustione. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli Studi di Sassari, Sede di Nuoro.
- Conti F., Abbate G., Alessandrini A., Blasi C., 2005. An annotated checklist of the Italian vascular flora, Palombi Editori.
- Czerkawski J.W., 1996. The determination of lignin. Hannah Dairy Research Institute, Ayr.
- ENEA, 2012. Domanda e offerta di energia in Italia e nel mondo: situazione attuale e scenari futuri.
- <http://www.actaplantarum.org>, 11/2015.
- INNVENTIA, 2014. Protocol for round robin test of lignin content in lignin samples (COST FP0901).
- Kirk T.K., Obst J.R., 1988. Lignin Determination. *Methods in Enzymology*, 161: 87-101.
- Korpinen R., Pranovich A., Willför A., 2012. Determination of lignin content for extracts obtained by pressurized hot water. COST meeting 2012, Espoo.

- Li Jingjing, 2011. Isolation of lignin from wood. Bachelor Thesis.
- Morrison M., 1995. Determination of Lignin and Tannin Contents of Cowpea Seed Coats. University of Aberdeen.
- Norman A.G., Jenkins S.H., 1934. The Determination of Lignin. Rothamsted Experimental Station.
- Parafitt D.E., Badenes M.L., 1997. Phylogeny of the genus *Pistacia* as determined from analysis of the chloroplast genome. Proc. Natl. Acad. Sci., 94: 7987-7992.
- Parasuraman et al., 2007. Estimation of hardwood lignin.
- Pignatti S., 2003. Flora d'Italia, Edagricole.
- Progetto BIO-CEN, 2004. Gestione e valorizzazione delle ceneri di combustione nella filiera Legno-Energia.
- Progetto E.C.A.T.E., 2006. Efficienza e Compatibilità Ambientale delle Tecnologie Energetiche.
- Progetto ENCROP. Manuale: produzione ed utilizzo di biomasse ligno-cellulosiche da colture dedicate.
- Ragauskas A. J., 2007. Lignin Determination.
- Scandinavian Pulp, Paper and Board, 2009. Production of a pure lignin product. SCAN-CM 71:09.
- Sun et al., 2014. Effect of lignin content on changes occurring in poplar cellulose ultrastructure during dilute acid pretreatment. Biotechnology for Biofuels, 7: 150.
- TAPPI, 2002. Protocollo T 211 om-02.
- TAPPI, 2006. Protocollo T 222 om-02.
- TAPPI Standards, 2013. Regulations and Style Guidelines.
- Università degli Studi di Sassari, dipartimento DESA, 2011. Idea progetto per la riqualificazione della stazione didattica-sperimentale di “San Quirico-Fenosu” (Oristano).
- Ververis C., Georgiou K., ^a, Danielidis D., Hatzinikolaou D.G., Santas P.,

- Santas R., Corleti V., 2007. Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource Technology*, 98: 296-301.
- Ziesing R., Tomani P., Theliander H., 2014. Production of a pure lignin product. *Cellulose Chem. Technol.*, 48: 805-811.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che con grande disponibilità ed impegno hanno reso possibile lo svolgimento dell'intero lavoro, in particolar modo il relatore, Prof. Maurizio Mulas, che mi ha seguito con attenzione e grande professionalità e la sua collaboratrice Dott.ssa. Leonarda Dessena.

Un sentito ringraziamento anche al personale dei laboratori di CartaLoi e Sa Terra Mala di Nuoro e al personale del laboratorio del dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio di Sassari.

Ringrazio anche i miei genitori e mia sorella che mi hanno sempre sostenuto e hanno sempre creduto in me.