



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
-VITERBO-**

DIPARTIMENTO DI AGROBIOLOGIA E AGROCHIMICA

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA

Scienze Ambientali XXI ciclo

**Caratterizzazione chimica di tessuti legnosi mediante
pirolisi-gas cromatografia/spettrometria di massa
(Py-GC/MS) e analisi dei gas svolti (EGA)
(chim/01)**

Coordinatore: Prof. Maurizio Petruccioli

Tutor: Prof. Felice Grandinetti

Relatore: Dott. Vittorio Vinciguerra

Dottorando: Dott. Gianluca Petrucci

A tutti coloro che mi vogliono bene.....

ma soprattutto

alla mia Famiglia

*Gli alberi sono sempre stati per me i più assidui predicatori.
Io li venero, quando vivono in popolazioni e famiglie, in boschi e foreste.
E più ancora li venero quando se ne stanno soli.
Essi sono come dei solitari. (...) come grandi uomini solitari,
come Beethoven e Nietzsche.
Nelle loro cime stormisce il mondo, le loro radici riposano nell'infinito.
Gli alberi sono come santuari.
Chi sa parlare con loro, chi sa ascoltarli, percepisce la verità.*

(Hermann Hesse, Vagabondaggio)

Indice

Abbreviazioni	4
Prefazione	5
Capitolo 1	
Introduzione	7
1.1 La pericolosità dell'albero.....	7
1.2 Prevenire la pericolosità dell'albero.....	8
1.3 La resistenza dei tessuti legnosi.....	9
1.4 Cause di instabilità.....	9
1.5 Strategie di difesa.....	10
Capitolo 2	
Legno e Sughero	
2.1 Il Legno.....	11
2.2 La Lignina.....	14
2.3 Il Sughero.....	16
2.4 La Suberina.....	18
Capitolo 3	
3.1 La gestione attuale degli alberi pericolosi.....	21
3.2 Difetti delle piante, le loro cause e la loro identificazione.....	22
3.2.1 I Marciumi radicali.....	23
3.2.2 Le Carie del legno.....	25

3.2.2.1 Processo d'infezione.....	26
3.2.2.2 Tipi di carie del legno.....	28
3.3 I meccanismi di difesa.....	30
3.4 Agenti di carie degli alberi situati nei centri urbani.....	32

Capitolo 4

Metodi per la valutazione della stabilità.....	35
4.1 L'analisi visiva.....	35
4.2 Gli strumenti tradizionali di indagine.....	36
4.3 L'indagine strumentale fisica.....	37
4.3.1 Il Resistograph®.....	37
4.3.2 I dispositivi sonici.....	38
4.3.3 Il martello ad impulsi.....	39
4.3.4 Il tomografo.....	40
4.4 Altri metodi e strumenti diagnostici.....	40
4.4.1 Il succhiello di Pressler e il Frattometro.....	40
4.4.2 Shigometer.....	42
4.5 Introduzione alle analisi termiche.....	42
4.5.1 Pirolisi Analitica.....	43

Capitolo 5

Materiale e Metodi.....	46
5.1 Preparazioni dei campioni.....	46
5.1.1 Campioni d'interesse urbanistico e commerciale.....	46
5.1.2 Campioni di corteccia.....	47

5.2 Py-GC/MS.....	49
5.2.1 Py-GC/MS (Legno).....	50
5.2.2 Py-GC/MS (Sughero).....	50
5.3 Analisi dei gas svolti (TPPy-GC/MS).....	52
5.3.1 TPPy-GC/MS: condizioni operative.....	52
 Capitolo 6	
Risultati e Discussioni	57
6.1 Py-GC/MS (legno).....	57
6.2 Py-GC/MS (corteccia).....	61
6.3 Analisi dei gas svolti (TPPy-GC/MS).....	66
6.4 TPPy-GC/MS (gas leggeri).....	69
6.5 TPPy-GC/MS (fenoli).....	72
6.6 Statistica.....	75
6.6.1 Analisi delle Componenti Principali (PCA) applicata a campioni di <i>Platanus acerifolia</i> colpito da infezione fungina.....	75
6.6.2 Cluster analysis (CA) applicata a campioni di corteccia provenienti da 22 latifoglie.....	78
 Capitolo 7	
Conclusioni	80
 Ringraziamenti	82
 Letteratura citata	83
 Allegato	
Schede botaniche delle specie analizzate	89

Abbreviazioni

CI	ionizzazione chimica
DSC	calorimetria a scansione differenziale
DTA	analisi termica differenziale
EI	impatto elettronico
EGA	analisi dei gas svolti
G	derivati p-guaiacilici
GC	gas-cromatografia
H	derivati p-idrossifenilici
MS	spettrometria di massa
PCA	analisi delle componenti principali
Py	pirolisi
Py-GC/MS	pirolisi accoppiata con gas cromatografia /spettrometria di massa
S	derivati p-siringilici
TG	termogravimetria
TIC	corrente ionica totale
TPPy-MS	pirolisi a temperatura programmata-spettrometria di massa
TPPy-GC/MS	pirolisi a temperatura programmata gascromatografia/spettrometria di massa
VTA	valutazione visiva dell'albero

Prefazione

Le città italiane possiedono un patrimonio arboreo di notevole interesse; inoltre è presente in esse una discreta quantità e varietà di parchi urbani e suburbani, nonché di giardini di rilevanza storica ed una fitta rete di alberate stradali che si estende su tutto il territorio cittadino, tanto nel cuore quanto nelle aree più esterne.

Una buona parte del presente lavoro rientra nella progettazione di un piano di gestione per analizzare e valutare lo stato di salute e di stabilità di alberature cittadine e parchi urbani, in una visione di protezione e valorizzazione di tale patrimonio.

Il lavoro è stato svolto in collaborazione con lo studio tecnico agroforestale Urban Tree del Dott. For. Rocco Sgherzi che ha effettuato una serie di analisi di valutazione della stabilità degli alberi presso il Comune di Viterbo e di Roma ed inoltre ci ha procurato la maggior parte dei campioni da noi analizzati.

Il nostro compito è stato quello di caratterizzare il tessuto legnoso delle varie specie arboree soggette a fenomeni di biodegradazione fungina, di alberi facenti parte di alberature cittadine, di parchi e giardini urbani.

Abbiamo cercato di sviluppare e mettere a punto delle metodiche analitiche che consentano di caratterizzare diversi tipi di tessuti legnosi che abbiano importanza sia urbanistica-ornamentale che commerciale. La nostra attenzione si è rivolta, inoltre, anche ad alberi che, indipendentemente dalle qualità intrinseche del legno, presentino una ridotta stabilità e comportino un rischio di schianto improvviso e quindi una pericolosità per le persone e gli autoveicoli. Saranno descritti i vari passaggi di attuazione del metodo, dalle analisi visive alle modalità ed i criteri delle analisi strumentali, effettuate con diverse apparecchiature.

Inoltre, tale lavoro ha lo scopo di svolgere uno studio preliminare sulle possibilità di impiego di una tecnica di analisi innovativa (la Pirolisi associata alla Gas Cromatografia e Spettrometria di Massa) volta alla determinazione delle componenti del sughero e della suberina *tal quali* (cioè senza estrazioni chimiche); si è ritenuto di arrivare ai risultati sperati mediante un campionamento che interessasse la quercia da sughero e altre specie capaci di produrre sughero, seppur in maniera ridotta, appartenenti alla stessa Famiglia botanica e ad altre sistematicamente molto lontane; le analisi di diverse provenienze della quercia da sughero hanno mirato ad

escludere l'effetto dell'ambiente dall'elaborazione delle conclusioni, mentre ulteriori analisi di specie che non producono sughero hanno consentito l'individuazione delle componenti chimiche non riferibili al sughero stesso.

Infine, un obiettivo secondario di questo lavoro è stata la verifica delle possibilità applicative della tecnica utilizzata e della composizione della corteccia per fini chemio-tassonomici delle specie arboree.

Capitolo 1

“ Gli alberi sono i testimoni della vita del pianeta, noi siamo solo i testimoni, effimeri, della vita degli alberi ”

(Introduzione a Mattheck, 1998)

Introduzione

La vita in città, per un albero, è molto difficile!!! Le condizioni ambientali alle quali, nella maggior parte dei casi, è sottoposto sono pressoché estreme. Le radici non trovano spazio per espandersi nel terreno, che spesso presenta pessime caratteristiche fisico-chimiche, se non risulta addirittura intossicato da metalli pesanti, residui di combustione o di altri inquinanti.

L'approvvigionamento idrico è un altro fattore di stress quando l'asfaltatura delle strade ricopre il 90-95% della superficie sotto chioma degli alberi, lasciando una piccola porzione libera per gli scambi gassosi ed idrici soltanto attorno al colletto dell'albero (Pestalozza, 1998, 2001). Per non parlare dei danni meccanici agli apparati radicali, tanto occulti quanto insidiosi e difficili da riparare da parte dell'albero stesso, così come il costipamento del terreno dovuto al traffico veicolare che rende praticamente nulla la capacità per l'ossigeno dei substrati su cui gli alberi sono radicati. Il fusto ed il colletto sono spesso feriti e danneggiati da operazioni di parcheggio o da manovre di macchine operatrici, mentre le chiome vengono troppo spesso assoggettate a drastici interventi cesori, finalizzati a renderle compatibili con le facciate degli edifici (McPherson *et al.* 1992 e 1997; Semenzato: pp. 13-21, 2003).

1.1 La pericolosità dell'albero

La possibilità di usufruire del verde cittadino è condizionata dallo stato sanitario del patrimonio arboreo, in quanto l'albero è anche rischioso per l'incolumità dell'uomo, aspetto questo ormai fondamentale nella gestione delle alberate pubbliche e così il loro controllo è finalizzato prima di tutto alla prevenzione di schianti o della caduta di rami.

Infatti, quando si presenta il caso di danni provocati da alberi crollati o da parti spezzate dello stesso, ne deriva una responsabilità civile e penale per il possessore dell'albero. In materia non esiste una normativa specifica, per cui la giurisprudenza ha elaborato il concetto dell'obbligo di tutela di sicurezza pubblica, in particolare per quanto riguarda la sicurezza stradale. Tale dovere comporta che chi apre una strada o tollera la viabilità pubblica sul suo territorio ha l'obbligo

giuridico di prendere provvedimenti necessari per proteggere terzi, il che implica il mantenimento di uno stato di sanità degli alberi. Il proprietario dell'albero, o colui che in altro modo è responsabile dello stesso, quindi ha l'obbligo di impedire sostanzialmente i danni causati dagli alberi a persone e cose. E' vero anche che il responsabile dell'albero non può azzerare i rischi di caduta o di schianto, ma deve fare di tutto per ridurli al minimo. Infatti, il tecnico del verde pubblico deve essere all'avanguardia sulle tecniche meglio efficienti ed innovative e l'Ente che delega il lavoro deve mettere a disposizione del tecnico tutti i mezzi e i poteri necessari per l'espletamento delle mansioni al meglio delle cognizioni tecnico-scientifiche del momento (Miglietta, Nicolotti, 1998).

1.2 Prevenire la pericolosità dell'albero

In un contesto urbano fitto di strade e fabbricati, le piante che rientrano nel loro ipotetico raggio di caduta, possono rappresentare un serio problema, mettendo a repentaglio l'incolumità di tali strutture. Nasce così la necessità di individuare un metodo e delle tecniche di valutazione dello stato di salute degli alberi che tengano conto, al fine di ottenere le migliori valutazioni possibili, da un lato delle conoscenze già acquisite, dall'altro di quanto la tecnologia odierna può metterci a disposizione.

Per ridurre il più possibile il rischio di cedimento degli alberi occorre comprendere le loro leggi di crescita e la loro costruzione. Gli alberi crescendo assumono una forma dove tutte le tensioni vengono distribuite in modo uniforme su tutta la superficie. La regola generale che governa la crescita di ogni struttura biologica è l'**auto-ottimizzazione** cioè l'assoluta mancanza di spreco di materiale nella crescita adattiva. A questo è giunto, dopo anni di studio sulla biomeccanica e più precisamente sulla valutazione dell'ottimizzazione della crescita delle strutture biologiche, il Prof. Claus Mattheck, direttore del dipartimento di Biomeccanica presso il Centro di Ricerca di Karlsruhe, in Germania.

In una costruzione ideale non ci sono zone sovraccariche, punti di potenziale rottura, né altre a carico ridotto con conseguente spreco di materiale, ovvero la tensione risulta costante su tutta la superficie. L'albero, al contrario delle ossa, non demolisce in modo attivo le zone non sollecitate ma continua a crescere nelle zone maggiormente sollecitate in attesa che lo stato di tensione costante venga ripristinato. Queste costruzioni di riparazioni sono sintomi di difetti e attraverso il riconoscimento di questi è possibile effettuare una prima valutazione dello stato di

conservazione dell'albero, e degli opportuni approfondimenti di indagine, con metodi analitici, nei casi in cui sia necessario arrivare ad un preciso dimensionamento del difetto.

1.3 La resistenza dei tessuti legnosi

Come è noto, il legno non è un materiale omogeneo, per cui dobbiamo aspettarci valori di resistenza diversi sia in direzione orizzontale, e cioè da un punto ad un altro della generica sezione trasversale, che in direzione verticale e cioè considerando sezioni a diverse altezze dello stesso fusto.

I tessuti legnosi che compongono un fusto risentono dell'epoca in cui sono stati prodotti, per cui il legno giovanile, prossimo all'asse del fusto, generato nei primi anni di vita dell'albero è strutturalmente diverso da quello sviluppato dall'albero nella sua maturità ed ancora diverso da quello che l'albero è in grado di produrre nella sua fase di senescenza (Pellerano, 2002). A tali variazioni strutturali vanno aggiunti altri fattori di variabilità costituiti dal diverso spessore degli anelli di accrescimento, dalla percentuale di legno primaverile, rispetto a quello autunnale, ed anche dalla presenza di duramificazioni più o meno estese .

1.4 Cause di instabilità

Gli alberi ed i loro tessuti legnosi possono manifestare instabilità strutturale attraverso:

- rottura completa e perdita istantanea di stabilità;
- danneggiamento con rottura parziale più o meno estesa di tessuti legnosi;
- riduzione della resistenza per effetto di degradazione dei tessuti.

La prima tipologia di instabilità si verifica quando si determinano delle concentrazioni di tensioni, a causa dei più diversi eventi esterni (vento, neve, azioni esterne ecc..) che portano al superamento della resistenza globale dell'elemento sollecitato e, quindi, alla rottura istantanea e contestuale all'evento traumatico che l'ha determinata.

La seconda tipologia è caratterizzata dal fatto che il superamento localizzato delle tensioni massime ammissibili non ha interessato l'intero elemento reagente ma solo una parte più o meno estesa, non sufficiente tuttavia a determinarne il cedimento strutturale. Questo decadimento strutturale, che viene chiamato “legno fragile”, è forse quello più difficile da individuare preventivamente, specie se è trascorso poco tempo dall'evento traumatico e l'albero non ha

ancora avuto il tempo di porre in essere le sue strategie di difesa.

1.5 Le strategie di difesa

Il comportamento tipico degli alberi che si accorgono di variazioni ed incrementi anomali del loro stato tensionale e quello di orientare le loro energie di accrescimento verso le sezioni maggiormente sollecitate, tentando di riparare i danni subiti.

Escludendo la prima tipologia di danno, in cui l'albero non ha il tempo di mettere in atto alcuna strategia di difesa, negli altri due casi la pianta potrebbe recuperare, almeno in parte, la sua stabilità strutturale.

Le strategie di intervento, differenti a seconda dei casi e dell'entità del danno, richiedono tuttavia un certo tempo (alcuni anni) e non sempre riescono a ripristinare integralmente le condizioni iniziali per cui, in presenza di nuovi eventi eccezionali, ovvero con il perdurare di fenomeni di degradazione dei tessuti legnosi, diventano estremamente pericolosi per la incolumità delle persone e delle cose.

In un certo senso gli eventi traumatici che portano alla rottura completa sono meno pericolosi, sia perché nel tempo hanno una durata molto limitata, sia perché, in occasione di eventi eccezionali, chiunque è più attento e certamente evita con maggiore attenzione situazioni di potenziale pericolo.

Ogni albero è come se disponesse di una serie di sensori, uniformemente distribuiti nella zona del cambio: quando, in una qualunque parte, le tensioni tendono ad assumere valori stabilmente crescenti, l'albero è in grado di percepire questa anomalia e, per sopravvivere, orienta le sue energie di accrescimento in maniera da riportare le tensioni a valori compatibili con la resistenza dei suoi tessuti.

Capitolo 2

Legno & Sughero

2.1 Il legno

Storicamente, era considerato il materiale per eccellenza (nella bibbia, ad esempio, il termine legno è sinonimo di “materiale”) ed ha fornito un valido contributo allo sviluppo della nostra civiltà.

Il legno è un materiale di origine biologica in quanto è il tessuto vegetale che costituisce la struttura portante del fusto, dei rami e delle radici degli alberi appartenenti alla sottodivisione delle Gimnosperme (o Conifere) e delle Angiosperme dicotiledoni (o Latifoglie). Esso si forma per opera di uno strato periferico sottocorticale che prende il nome di cambio (figura 2.0). La denominazione dei vari legni è solitamente la stessa della specie o del genere botanico che li ha prodotti.

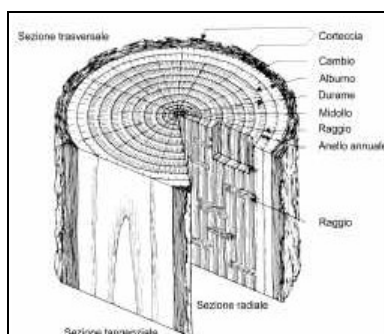


Figura 2.0: schema strutturale del legno

Gli aspetti tecnici che ne caratterizzano il comportamento come materiale derivano in primo luogo dalle sua **composizione chimica** e dalla **struttura** della parete delle sue cellule.

Il legno è infatti un composito naturale formato da tre polimeri principali (**cellulosa, emicellulosa e lignina**) che hanno proprietà meccaniche complementari, ove la cellulosa è molto resistente a trazione e la lignina a compressione. Se si esclude un maggior contenuto di lignine nelle conifere, il legno delle varie specie non presenta eccessive differenze nei confronti dei componenti chimici principali (Browning, 1975; Prince e Stiefeld, 1987; Reid, 1995). Ulteriori importanti componenti sono gli **estrattivi**, sostanze estranee alla parete cellulare così chiamati in quanto possono essere estratti dal legno con solventi.

Per quanto riguarda la **parete cellulare**, essa è composta da più strati di microfibrille di cellulosa (che formano la struttura portante) variamente intrecciate e consolidate da una matrice di lignina. Ad una sottile membrana esterna, detta parete primaria, segue una parete secondaria di maggior spessore, che si sviluppa verso il lume cellulare e che, a sua volta, è ulteriormente stratificata. La disposizione delle microfibrille all'interno della parete e le loro differenze di orientazione tra i vari strati formano una struttura cava ma rigida (per il processo di lignificazione) che permette alla pianta di sopportare le forti sollecitazioni derivate dal peso della chioma e dal vento e fa del legno un materiale leggero e particolarmente resistente, imitato dall'uomo nella realizzazione di molti dei moderni compositi sintetici.

Il legno è un materiale non omogeneo e presenta una struttura articolata per cui ad un esame macro e microscopico appare **poroso** mentre risulta **fibroso** se osservato ad un maggior dettaglio.

In relazione alle esigenze fisiologiche della pianta, che prevedono l'espletamento delle funzioni di conduzione, sostegno, accumulo e secrezione, il legno è infatti formato da **cellule diverse** (per tipo e forma) e **variamente orientate**, per lo più morte (prive di citoplasma), cave (con un lume cellulare più o meno ampio, che determina appunto la sua porosità), unite tra loro secondo modelli di aggregazione predeterminati geneticamente (diversi tra il legno di conifera e di latifolia e tali da renderne possibile anche il riconoscimento).

La produzione di tessuti legnosi, generalmente discontinua, si esplica inoltre (almeno per le specie legnose che vegetano nei climi temperati) nella formazione di **anelli di accrescimento** successivi e concentrici, visibili sulle sezioni trasversali di un fusto, nel cui ambito è spesso possibile distinguere una porzione di **legno primaticcio** ed una di **legno tardivo**, in quanto le condizioni climatiche, l'umidità del suolo, lo stato fisiologico dell'albero sono solitamente molto diversi tra loro all'inizio e nel corso della stagione vegetativa.

Il legno di recente formazione, quello della corona più esterna, è denominato **alburno** e presenta generalmente un colore chiaro; ricco di sostanze di riserva (principalmente amido), tale tessuto è



Foto 2.0: foto di una sezione di legno

più facilmente attaccabile dagli organismi xilofagi. Il legno più interno, che negli alberi maturi costituisce la maggior parte del volume del fusto, è invece detto **durame**; esso è la modificazione nel tempo dell'alburno da cui si differenzia talvolta per un diverso colore e la maggior resistenza al degrado da parte di insetti e funghi per l'assenza di amido e l'influenza di particolari estrattivi.

Il legno (foto 2.0) è un materiale fortemente anisotropo poiché le sue caratteristiche

anatomiche e morfologiche dipendono dalla sezione esaminata e le sue proprietà fisico-meccaniche sono influenzate in modo significativo dalla direzione lungo la quale vengono rilevate. Ciò è dovuto alla disposizione delle cellule che lo compongono, le quali hanno una direzione prevalente (detta **fibratura**) e sono per lo più orientate parallelamente all'asse di accrescimento del fusto.

Ricordiamo che le piante superiori sono costituite principalmente da una struttura *lignocellulosica* sita a livello delle pareti cellulari e formata fondamentalmente da tre classi di composti: *cellulose*, *emicellulose* e *lignine*. Proprio questa ultima è la sostanza che maggiormente risponde alle esigenze di solidità della pianta e di resistenza agli attacchi biologici (Browning, 1975; Prince e Stiefeld, 1987; Reid, 1995).

La composizione chimica del legno è complessa; ci sono una miriade di componenti, distribuiti in modo non uniforme.

Le classi di composti presenti nel legno, sono:

- *carboidrati*: principalmente polisaccaridi. Sono rappresentate da cellulose (maggior componente nel legno, rappresenta circa il 50% del peso del legno), emicellulose, amido, sostanze pectiche, arabogalattani;
- *sostanze fenoliche*: composti aromatici, caratterizzati dalla presenza di gruppi fenilossidrilici e feniletere. Costituiscono dal 20 al 30% del tessuto legnoso. Sono raggruppate nel sistema conosciuto come “ *lignina*”, biopolimero ad alto peso molecolare insolubile in acqua. Altri composti fenolici sono costituiti dai tannini idrolizzabili (ellagitannini) e dai tannini condensati (proantocianidine);
- *terpeni e lignani*: comprendono sostanze volatili presenti nelle resine e acidi resinici. Si può avere un contenuto massimo del 5% nel legno di conifere, nel legno di latifoglie sono praticamente assenti;
- *acidi alifatici*: se ne trovano tra l'1 e il 5%;
- *alcoli*: comprendono alcoli alifatici e steroli;
- *proteine*: la loro presenza è maggiore durante la fase di sviluppo, ma nel legno maturo si scende fino al 1%;
- *costituenti inorganici*: sono rappresentati soprattutto da sostanze minerali (Ca, K, Si, Fe, Mg, Mn, P, Al, S in forma di cloruri, solfati, carbonati ecc.) che possono ammontare a circa lo 0,5%.

2.2 La lignina

Con il termine lignina si indica uno dei principali tipi di polimeri fenolici che si ritrova come costituente più o meno abbondante delle pareti cellulari di tutte le piante vascolari, può arrivare a formare il 30% del tessuto della pianta stessa, comprese la specie erbacee. E' esclusa la presenza di lignina in piante non vascolari, quali alghe e funghi, mentre nei muschi è stata riscontrata la presenza di polimeri fenolici insolubili, che, in assenza di prove definitive circa la loro struttura, vengono definiti ligninosimili. Lo stretto connubio con le altre due componenti (cellulose ed emicellulose) dà luogo ai composti lignocellulosici che costituiscono la sostanza organica più abbondante nell'ambiente terrestre (Browning, 1975; Prince e Stiefeld, 1987; Reid, 1995).

La lignina è presente nella matrice non-cellulosica delle pareti cellulari in stretta associazione con la matrice cellulosica e con gli -OH fenolici legati covalentemente o tramite legami idrogeno ai

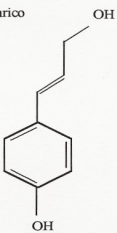
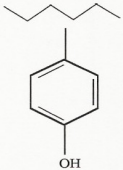
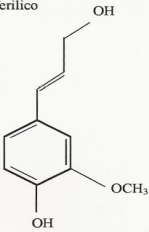
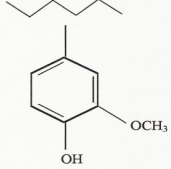
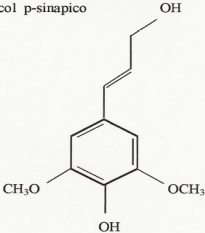
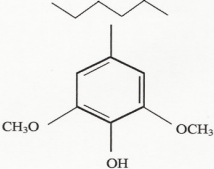
PRECURSORI DELLA LIGNINA	COSTITUENTI DEL POLIMERO
alcol p-cumarico 	p-idrossifenile 
alcol p-coniferilico 	p-guaiacile 
alcol p-sinapico 	p-siringile 

Figura 2.1: principali costituenti della lignina

carboidrati della parete. Legami covalenti possono aversi anche con le proteine della parete, e stato anzi suggerito che uno dei primi stadi della lignificazione possa essere la formazione di legami incrociati con la proteina della parete primaria durante la polimerizzazione dei costituenti monomerici della lignina. Oltre che nelle pareti cellulari dei tessuti conduttori, la lignina si ritrova, anche, in pareti di radici, frutti, gemme e corteccia. Il processo di lignificazione della parete ha inizio dopo la deposizione dei costituenti polisaccaridici e verso la fine del processo di crescita

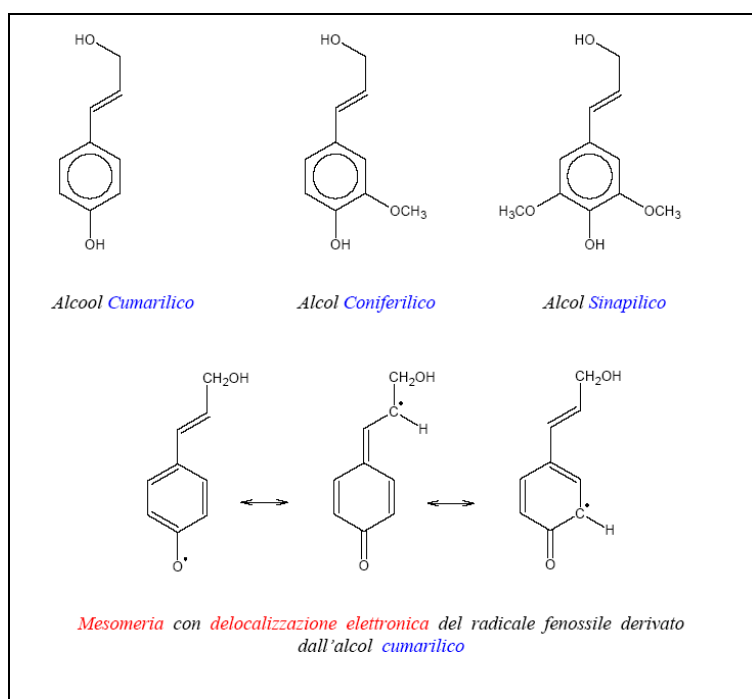
processo è stato considerato un fattore decisivo nell'adattamento delle piante all'habitat terrestre, in quanto solo la lignificazione delle pareti rende possibile la formazione di strutture rigide di sostegno in piante legnose ed alberi nonché la formazione di tessuti conduttori per il trasporto di acqua e di altri nutrienti. Infine, va ricordato il ruolo della lignina nella protezione della parete dall'attacco di agenti fisici, chimici e biologici.

È una macromolecola aromatica molto complessa ed irregolare con peso molecolare compreso tra 4.000 e 12.000, è come un miscuglio di sostanze chimiche di composizione simile, ma con struttura diversa fra loro.

Chimicamente, la lignina, può essere considerata un eteropolimero aromatico tridimensionale, altamente ramificato, che si forma per deidrogenazione enzimatica degli alcoli p-cumarilico, coniferilico e sinapilico (figura 2.1), composti fenilpropanoidici la cui porzione aromatica viene indicata con i prefissi p-idrossifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S). Le quantità relative di **H**, **G** e **S** presenti in qualsiasi campione di legno possono essere utilizzate per caratterizzare la lignina stessa (Galletti *et al.*, 1995).

La biosintesi della lignina segue la via dell'acido shikimico.

La sintesi avviene in presenza dell'enzima lignina perossidasi e per azione del perossido d'idrogeno (acqua ossigenata) continuamente prodotto in piccole quantità dai vegetali. L'enzima ossida gli alcoli fenilpropanoici che si trasformano nei corrispondenti radicali



Schema 1: via dell'acido shikimico

fenossilici. Questi rapidamente copolimerizzano con una tipica reazione a catena formando appunto la lignina (schema 1).

Nel polimero (figura 2.2: struttura proposta da Nimz nel 1974 per la lignina di faggio))i principali legami che si hanno, in percentuali diverse a seconda della provenienza, sono: il legame 5-5', il legame di tipo β -O-4, il legame di tipo β -5 ecc..

Questi legami, insieme ad altri meno comuni, sono poco,

facilmente, idrolizzabili e ciò evidenzia la scarsa propensione della molecola ad una rapida

degradazione. Nonostante la lignina sia quindi un polimero di non facile demolizione ci sono una serie di microrganismi che utilizzano tale polimero e riescono a degradarlo abbastanza facilmente, come ad esempio alcuni generi di funghi (Zimmermann, 1990).

Per quanto concerne, infine, la degradazione della lignina, esiste un ampio range di microrganismi capaci di degradare, parzialmente o completamente, questo polimero: da alcuni funghi del legno fino ad alcuni batteri ed actinomiceti, meno efficaci, però, dei funghi.

Circa i meccanismi coinvolti nei processi degradativi, si ritiene che laccasi e perossidasi (ligninasi o perossidasi della lignina), prodotte dal microrganismo, svolgano un ruolo molto importante in questo processo.

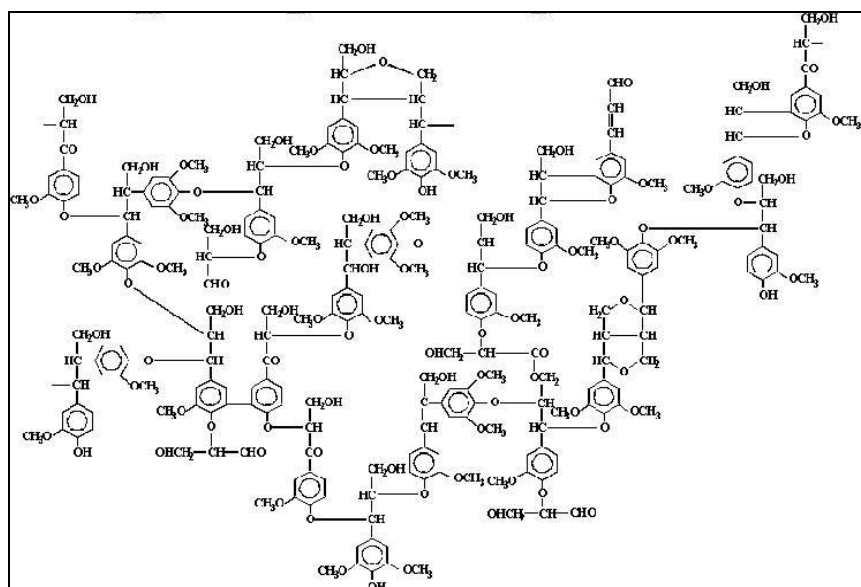


Figura 2.2: Struttura della lignina di faggio proposta da Nimz

2.3 Il sughero

Il sughero è l'epitelio che riveste il fusto delle piante legnose nelle quali sostituisce l'epidermide, che viene lacerata dall'accrescimento secondario (diametrico) del fusto stesso. Particolarmente pregiato commercialmente è quello della quercia da sughero (*Quercus suber*).

La corteccia della quercia da sughero è utilizzata per ricavarne il sughero, un prodotto biologico unico nel suo genere difficilmente sostituibile dai prodotti sintetici.

Il sughero deriva da un tessuto vegetale detto “fellògeno” che si origina più o meno precocemente alla periferia delle strutture secondarie nel fusto e nella radice (Gellini e Grossoni, 1997). Quando l'epidermide di una pianta non è più funzionante, esso produce nuovi strati protettivi su entrambi i suoi lati, e precisamente sughero verso l'esterno e “felloderma” verso

l'interno; assieme a tali strati esso costituisce l'entità strutturale denominata corteccia (figura 2.3).

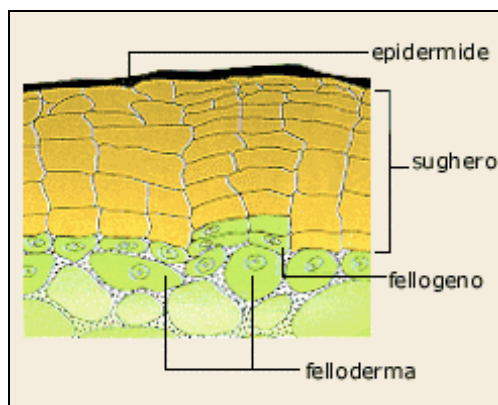


Figura 2.3: struttura sughero

La Quercia da sughero deve avere almeno 25 anni prima che possa fornire la prima raccolta che viene eseguita praticando incisioni superficiali sul tronco (foto 2.1), che non devono danneggiare i tessuti vivi sottostanti. Il danneggiamento del "fellogeno", la parte generatrice del sughero, comprometterebbe infatti la qualità del prodotto e causerebbe, con il tempo, la morte della pianta.

Il primo sughero estratto è grezzo ed a grana grossa e prende il nome di “sughero vergine”. Questo tipo di sughero è di scarsa qualità perché presenta numerose rughe e rotture dovute all'enorme tensione scaturita dalla crescita dell'albero. Dopo l'estrazione del sughero vergine una nuova corteccia inizia a rigenerarsi. Il prelievo da uno stesso albero deve rispettare intervalli di circa dieci anni; ciò per permettere alla pianta di sviluppare uno strato protettivo sufficientemente spesso. Il sughero estratto dalla seconda raccolta prende il nome di “sughero secondario” mentre quello estratto nelle successive raccolte prende il nome di “sughero amadia”. Il sughero secondario è di qualità migliore rispetto al “sughero vergine”, ma

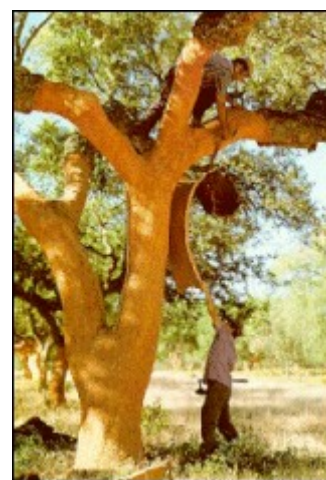


Foto 2.1: decorticazione di un esemplare di *Quercus suber*.

non può raggiungere l'ottima qualità del sughero “amadia”, un sughero liscio, compatto ed a grana fine. Gli alberi non vengono mai tagliati per cui l'habitat rimane indisturbato.

Le cellule del sughero, di forma appiattita, durante il processo di differenziamento che le porta a raggiungere lo stadio adulto subiscono il processo di suberificazione, che consiste nella deposizione a livello della parete di una sostanza chimica complessa, la **suberina**.

2.4 La suberina

La suberina è un polimero simile alla cutina, dalla quale differisce per la presenza nella sua composizione di acidi bicarbossilici e per la maggiore quantità di acidi grassi a catena lunga, oltre che per la presenza di composti fenolici. È un costituente della parete cellulare presente in molte parti di pianta: nell'endoderme delle radici dove la deposizione della suberina provoca un ispessimento del tessuto (banda di Caspary) con conseguente formazione di una barriera tra apoplasto corticale e stele, nelle cellule esterne di tutti gli organi ipogei, nel periderma, il tessuto secondario di protezione che forma la corteccia esterna di fusti e radici durante l'accrescimento secondario delle piante legnose, nelle cellule della guaina del fascio delle piante C4 e nelle cellule del tegumento dei semi localizzate nel punto di attacco ai fasci vascolari. Formazione di suberina, inoltre, si riscontra nei siti dell'abscissione fogliare e nelle aree danneggiate da malattie o da ferite. La suberina funge da barriera nei confronti del flusso di acqua e di vari soluti e la sua presenza fa sì che le pareti cellulari suberizzate assumano un caratteristico aspetto lamellare, quasi certamente determinato da strati di cera interposti tra regioni del polimero suberinico (Gil *et al.*, 1997).

Il polimero (figura 2.4) è una miscela di acidi grassi a catena lunga, acidi grassi ossidrilati, acidi

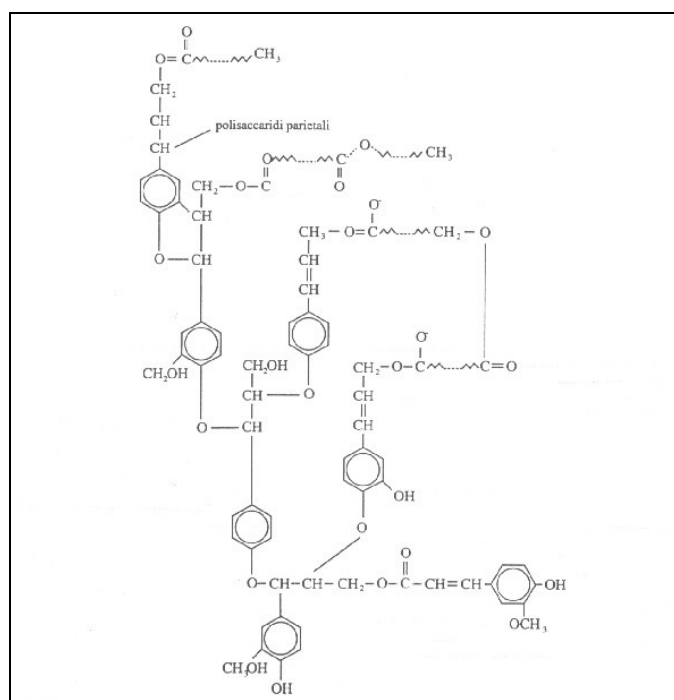


Figura 2.4: struttura schematica della suberina

bicarbossilici, alcoli a lunga catena (per lo più >16 atomi di C) ed, inoltre composti fenolici, come l'acido ferulico, che legano la struttura reticolare della suberina alla parete. La porzione lipidica della suberina ne rappresenta circa il 50%.

La suberina è un costituente essenziale del sughero e contribuisce a determinarne le principali caratteristiche. Si tratta di una sostanza idrofoba depositata, sotto forma di lamelle, attorno alle cavità lasciate vuote dalle cellule morte del sughero, è inoltre presente in molte altre parti del corpo vegetale. Dal punto di vista chimico la suberina è un biopolimero che funge da barriera tra la pianta e l'ambiente esterno; è conosciuta come un complesso poliestere basato su glicerolo e lunghe catene α,ω -diacidi e ω -idrossiacidi (Graca & Pereira, 1997).

La struttura dei poliesteri alifatici ha i collegamenti estesi nelle parti aromatiche; in proposito, alcuni autori definiscono la suberina come il complesso generale dell'aggregazione dei domini polialifatici e poliaromatici. (Bernards, 2002; Kolattukudy et al, 2002).

Tuttavia come queste unità monomeriche siano assemblate a livello macromolecolare rimane ancora ampiamente sconosciuto. La suberina è presente in tessuti specializzati della pianta, (cellule suberizzate), dove rappresenta più del 50% della composizione chimica delle relative pareti cellulari (Pereira, 1988). Nei tessuti esterni, queste cellule suberizzate giocano un ruolo vitale, che permette la protezione contro i fattori ambientali e i patogeni, oltre al controllo della temperatura e della perdita d'acqua.

Alcune piante hanno un quantitativo significativo di cellule suberizzate che sono collocate in maniera principale nella corteccia di alcune specie di alberi. Tra tutte la più conosciuta è la Quercia da sughero (*Quercus suber* L.) o più semplicemente "sughera"; la corteccia di questa pianta è il tessuto conosciuto come quello avente il più alto contenuto di suberina, (più del 50% del peso secco) (Pereira, 1988). Come già detto, la suberina non si trova soltanto nelle cortecce di determinate specie, ma anche nel periderma dei tuberi (ad esempio in *Solanum Tuberosum*), e in altri tessuti di piante inclusi l'ipoderma, l'epidermide delle radici, e l'endoderma e i tessuti cicatriziali.

Le pareti cellulari che contengono suberina sono generalmente molto sottili, meno di un μm di spessore, e mostrano una parete primaria, una parete secondaria, e a volte una parete terziaria. Nel sughero, queste pareti cellulari hanno come componenti strutturali; suberina (50%), poliaromatici (30%), e polisaccaridi (20%) (Pereira, 1988). Le cellule suberizzate includono anche significativi quantitativi di estratti depositati all'interno della parete cellulare. Studi toposchimici hanno illustrato che i polisaccaridi e parte dei poliaromatici sono localizzati nella parete primaria e terziaria (Sitte, 1955). La parete secondaria rappresenta la maggior parte dello spessore della cellula, e qui sono principalmente localizzati suberina e parte dei poliaromatici. Alcuni studi hanno localizzato anche parte degli estratti associati con la suberina entro la parete cellulare secondaria (Sitte, 1962). Mediante l'utilizzo di uno strumento come il microscopio

elettronico a trasmissione (TEM) è stato possibile individuare il livello ultrastrutturale della suberina contenuta nelle pareti cellulari secondarie, deposte in strati sovrapposti. Dopo un appropriata marcatura queste lamelle sono state riconosciute aventi una disposizione alternata, con lamelle aventi contrasto opaco e altre traslucide. Nelle pareti cellulari del sughero, le lamelle traslucide hanno uno spessore regolare di circa 30 Å, le lamelle opache hanno uno spessore variabile da circa 70 a 100 Å. Nelle pareti cellulari del sughero di *Quercus suber* sono state contate tra 30 e 60 lamelle (Sitte, 1962). Dopo aver esposto un quadro sommario della molecola, passiamo ad analizzare in dettaglio i componenti strutturali della stessa.

La struttura chimica della suberina pone ancora numerosi dubbi ai vari ricercatori che vi si sono dedicati negli ultimi decenni, utilizzando tecniche chimiche, fisiche e persino genetiche. Questa è conosciuta come un polimero insolubile, quindi, al fine di analizzare i monomeri si rende necessario un pre-trattamento con reazioni di depolimerizzazione; la depolimerizzazione della suberina si effettua con alcune reazioni che rompono i legami esteri, come l'idrolisi, l'alcolisi, e l'idrogenolisi (Graca & Pereira, 2000). La miscela depolimerizzata risultante può essere successivamente analizzata mediante gas cromatografia associata a spettrometria di massa (GC-MS). Attraverso questo trattamento si è potuto osservare che i principali monomeri della suberina sono: glicerolo, lunghe catene α,ω -diacidi, e lunghe catene di ω -idrossiacidi (Graca, 2000). Tra i prodotti di depolimerizzazione della suberina sono stati trovati anche piccoli quantitativi di 1-alcanolo e 1-acido alcanico (Graca & Pereira, 2000). Il glicerolo è uno dei monomeri principali della suberina, e può rappresentare fino al 26% della sua miscela. Le lunghe catene dei monomeri della suberina hanno, come dominanti, catene di lunghezza, 16, 18, e 22 carboni. (Halloway, 1983; Kolattukudy et al, 1975). In molti tipi di suberina i monomeri α,ω -diacidi sono la classe dominante, seguiti da vicino dagli ω -idrossiacidi (Graca & Pereira, 2000; Kolattukudy et al, 1975).

Alcune suberine hanno piccole quantità di gruppi di catene ossigenate, mentre altre hanno questo tipo di monomero come costituente principale. Anche se l'abbondanza relativa di acidi saturi e delle catene di monomeri varia a seconda delle diverse specie di piante, il modello di base del glicerolo che prevede la configurazione α,ω -diacidi, e ω -idrossiacido, sembra essere generale nella suberina. (Graca & Pereira, 2000; Graca & Pereira 1999).

Capitolo 3

3.1 La gestione attuale degli alberi pericolosi

Prima di inoltrarci nella vera e propria gestione degli alberi pericolosi, dobbiamo rispondere alla domanda: “ perché l’albero si rompe?” La risposta ci viene da una legge della biomeccanica, conosciuta con il nome di “assioma della tensione costante”. Come spiegato, in modo esauriente da Mattheck C.(1994), qualsiasi costruzione meccanica è leggera quanto possibile e salda quanto necessario quando subisce un carico equilibrato, cioè quando tutti i punti della sua superficie si trovano a sostenere la stessa tensione. Non vi sono perciò zone sovraccariche (punti potenziali di rottura) o altre a carico ridotto (con conseguente spreco di materiale). Una costruzione ottimale ha una tensione costante su tutta la superficie. Questa regola definisce il progetto biologico dalle zanne degli animali alle radici degli alberi, dalle inserzioni dei rami fino alle ossa del nostro corpo. L’unica differenza tra ossa e alberi, visti in base all’assioma della tensione costante, è che le ossa possono anche assottigliarsi e non soltanto crescere, mentre l’albero non demolisce in modo attivo le zone non sollecitate. Esso è in grado di reagire soprattutto in un modo: continuare a crescere nelle zone maggiormente sollecitate, punendo così quelle che lo sono di meno, evitando la formazione di altro legno, in attesa che lo stato di tensione costante venga ripristinato. Troppo spesso non siamo sufficientemente consapevoli dei rischi che possono derivare dalla presenza d’alberi compromessi nella loro stabilità meccanica. Ci sono più ragioni di quante ne possiamo immaginare perché un albero possa cadere, spezzarsi, o perdere rami. Non va, infatti, sottovalutato che perfino un albero solido e stabile può diventare una pianta pericolosa, se la sua struttura legnosa è indebolita da uno o più difetti. La maggior parte dei difetti che riscontriamo negli alberi urbani sono la conseguenza di una gestione e manutenzione inadeguata. Tali difetti aumentano il rischio che le piante siano scalzate o spezzate dalla forza del vento, dal peso della neve, o talvolta cedano improvvisamente (schianto), per temporali o addirittura sotto il loro stesso peso. La pericolosità di una pianta è dunque, spesso, legata alla presenza di difetti, che ne possono compromettere la stabilità (Matteck e Breloer pp. 33-35, 1998; Semenzato pp. 85-86, 2003).

3.2 Difetti delle piante, le loro cause e la loro identificazione

I difetti sono segnali visibili e tangibili del rischio che la pianta possa cedere. Imparare a riconoscerli è dunque fondamentale per poter prevenire i rischi prendendo le necessarie precauzioni. I difetti sono vari, alcuni derivano da fattori legati alla cattiva gestione degli impianti quali (Semenzato pp. 86-94, 2003):

- potature eseguite su rami e branche di diametro troppo consistente (>10 cm);
- mancanza di un piano di sostituzione delle piante senescenti;
- cattive condizioni colturali.

L'ispezione degli alberi senescenti, soprattutto di quelli che incombono su possibili bersagli, andrebbe eseguita con regolarità. La priorità andrà stabilita sulla base di diversi fattori:

- la specie;
- l'età e le dimensioni;
- la storia della pianta e della sua manutenzione;
- la presenza di fattori di disturbo;
- le condizioni vegetative della pianta.

Sono sette le categorie in cui possiamo classificare i difetti degli alberi, che possono essere messi in evidenza da una ispezione visiva:

- I. *Presenza di legno secco.* Il legno secco deve essere rimosso il prima possibile. Le piante morte o le grosse branche secche sono del tutto imprevedibili e possono crollare o staccarsi all'improvviso senza alcuna apparente causa.
- II. *Fessure del tronco e delle branche.* Possono essere causate da fulmini, ed interessano uno spessore limitato del tronco, e spesso sono indicazione che l'albero sta già cedendo strutturalmente. Spesso su di esse s'innescano fenomeni di degrado del legno che risultano in carie e cavità.
- III. *Malattie del legno e conseguenti cavità,* a causa di patogeni fungini, è una delle cause principali del cedimento degli alberi. Questo soprattutto in città, perché dal punto di vista micologico, l'ambiente urbano offre particolari condizioni ecologiche che operano una severa selezione fra la moltitudine delle specie fungine esistenti. Si può senza dubbio evidenziare la presenza di una nicchia ecologica del tutto particolare che compie una

selezione sulle specie ed evidenzia la presenza di specie “cittadine” non riconosciute nei consueti censimenti sulla microflora di boschi e foreste.

In realtà, le piante arboree possono convivere con malattie di questo tipo e possono rinforzare gli organi colpiti attraverso la formazione verso l'esterno di nuovi tessuti (compartimentazione).

- IV. *Cancri*. Sono zone del tronco ove per diversi motivi, generalmente ferite o malattie, i tessuti della corteccia e del cambio sono morti. La presenza di cancri, di una certa estensione, aumenta il rischio che il tronco o la branca possa schiantarsi in corrispondenza di tessuti secchi.
- V. *Problemi agli apparati radicali*. Possono essere soggette al ribaltamento, ad esempio a causa del peso della chioma in vegetazione. I problemi più frequenti riguardano il taglio degli apparati radicali: dovuto a scavi, la morte delle radici dovuta all'eccessivo compattamento del terreno o difetti nella struttura degli apparati radicali, che derivano dalla cattiva qualità del materiale vivaistico.
- VI. *Forcelle deboli o con corteccia inclusa*. Rami epicormici (es. rami formati dopo una capitozzatura), forcilla con corteccia inclusa.
- VII. *Problemi della struttura della chioma*. Sono legati alla storia dell'allevamento, della crescita e della manutenzione della pianta. Danni derivanti da fortuali, abbattimenti di piante codominanti, interventi di potatura non corretti possono aver determinato chiome asimmetriche, con peso della chioma sbilanciato, piante pericolosamente inclinate.

Ricordiamo che la principale forma di degrado che ha interessato il nostro lavoro è costituita dalle malattie del legno dovute a vere e proprie infezioni (in particolare carie), le quali spesso si sviluppano all'interno del tronco e non sono facilmente visibili ed identificabili dall'esterno.

Infezioni e cause di instabilità dell'albero

Tra le malattie più temibili nelle alberature ornamentali sono da considerare quelle che alterano l'integrità delle strutture legnose, quali soprattutto la carie e i marciumi radicali, infezioni che, anche quando non pregiudizievoli per la sopravvivenza delle piante, possono risultare estremamente pericolose in quanto causa di crolli o schianti di vario tipo.

3.2.1 I marciumi radicali

Sono causati da funghi in grado di alterare la vitalità e la funzionalità meccanica del sistema vascolare ipogeo. L'infezione può limitarsi ad un settore delle radici, in tal caso la pianta colpita

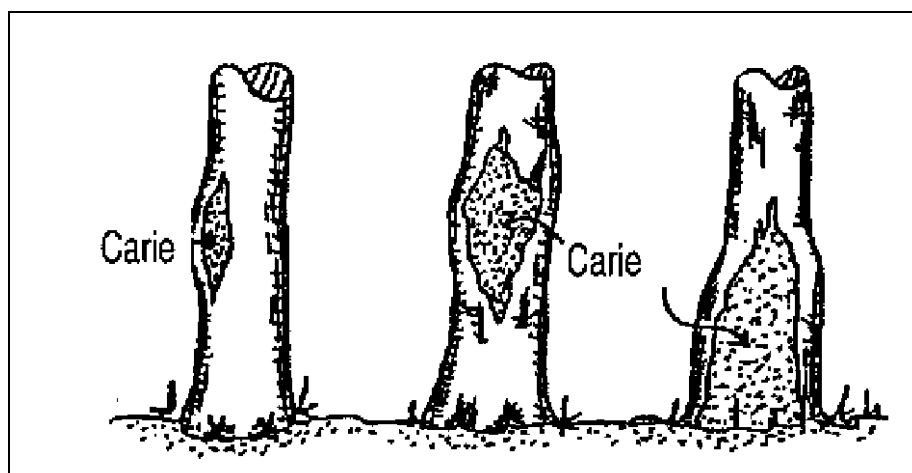
non muore e difficilmente manifesta sintomi sulla chioma, ma può schiantarsi, se sollecitata dal vento, venendo a mancare l'ancoraggio al terreno. Se invece, l'infezione interessa tutto l'apparato radicale provoca in tempi più o meno brevi il deperimento e la morte del soggetto colpito. Nelle latifoglie la chioma ingiallisce perdendo progressivamente densità o, talvolta, disseccando all'improvviso. Nelle conifere gli aghi assumono colorazione rossastra e iniziano a cadere lasciando spogli i rami alti della chioma.

Gli agenti di marciume radicale, comuni in forma endemica in foresta, possono assumere carattere epifitico quando si passa a formazioni artificiali, quali parchi e giardini. Possono diffondersi per contatto radicale tra piante sane e infette (*Armillaria* spp., *Heterobasidion annosum*, *Ganoderma* spp.), avvalendosi di organi di propagazione quali le rizomorfe (*Armillaria* spp.) o partendo da residui legnosi infetti presenti nel terreno.

I funghi del genere *Ganoderma* sono certamente i più subdoli perché possono comportarsi sia come agenti di carie, rimanendo per anni nel tronco della pianta senza indurre la manifestazione di sintomi esteriori, sia come agenti di marciume radicale, passando dal tronco alle radici. Sono dotati di elevata potenzialità diffusiva, essendo in grado di infettare molte specie, come dimostrano le sempre più frequenti forme di deperimento segnalate su esemplari di platano, pioppo, acero, quercia, ippocastano e tiglio in cui il *Ganoderma*, quando è agente di carie determina un'intensa e rapida degradazione della porzione interna del tronco che può causare lo schianto dell'albero. Sia la comparsa dei carpofori sul tronco, sia la loro dimensione non sono correlabili con l'estensione della carie interna che può essere valutata solo con tecniche diagnostiche strumentali.

Armillaria, conosciuta anche con il nome di chiodino o famigliola, comprende alcune specie dotate di patogenicità e areali di distribuzione diversi. Si tratta di funghi caratterizzati da un'elevata adattabilità, in grado di vivere come saprofita su vecchie ceppaie nel terreno per anni e trasformarsi in parassiti, anche piuttosto aggressivi, non appena una pianta deperisce. Non esiste parco con piante secolari dove *Armillaria* non sia presente. Come già accennato, questo fungo è in grado di vivere come saprofita su residui legnosi e di aggredire le piante deperienti raggiungendole con le rizomorfe, lunghi cordoni miceliari scuri simili a radici. È riconoscibile con certezza dalla presenza di rizomorfe nel terreno o sotto la corteccia, dal micelio biancastro a palmetta sotto corticale e dai caratteristici carpofori prodotti nel periodo autunnale.

3.2.2 Le carie del legno



Con il termine “carie” si indicano quelle forme di alterazione e disgregazione del legno delle piante arboree dovute all'azione di uno o più patogeni fungini, i quali sono dotati di enzimi capaci di degradare le sostanze che costituiscono la parete cellulare degli elementi xilematici.

Se in un ecosistema naturale i funghi agenti di carie svolgono l'importante funzione ecologica di decomposizione del legno in sostanze umiche, essi divengono invece particolarmente pericolosi nei parchi e nelle alberate, monumentali e non, dove lo schianto anche di un solo grosso ramo può avere conseguenze gravi sui fruitori (Semenzato pp. 93-94, 2003; Bernicchia e Padovan, 1990; Mattek e Breloer pp. 225, 1998).

Nelle parti alte del fusto e a livello della chioma, le vie d'infezione sono rappresentate soprattutto da grossi tagli di potatura che favoriscono l'ingresso di questi patogeni. Alla base dei fusti le vie d'infezione sono rappresentate da ferite accidentali.

In genere le manifestazioni esterne nelle piante cariate, a livello della chioma o lungo il fusto, sono assai tardive e difficilmente rilevabili anche nei casi in cui l'integrità meccanica delle piante colpite è irrimediabilmente compromessa. Solo su esemplari molto vecchi e con grosse ferite, le carie sono evidenziate da seccumi alla chioma. Per tale motivo, in mancanza di sintomatologie evidenti, la loro presenza ed estensione all'interno della pianta richiede controlli strumentali periodici e mirati.

I funghi agenti di carie del legno sono organismi privi di clorofilla e pertanto, dovendosi nutrire di sostanze organiche già elaborate, sono da considerarsi eterotrofi. Essi possono assorbire tali sostanze direttamente dalle cellule radicali delle piante in una simbiosi mutualistica (funghi micorrizogeni) o dai residui di organismi (funghi saprofiti) oppure possono insediarsi su di un

organismo vivente e crescere a sue spese (funghi parassiti). Tra questi ultimi estremi esiste tutta una scala di attitudini alla vita saprofita o parassitaria. I funghi parassiti del legno infatti sono più precisamente “facoltativi” possono cioè vivere sia come parassiti sia come saprofiti. Il più delle volte iniziano il loro ciclo come parassiti di un albero vivo e, quando questo giunge a morte, continuano a vivere nel legno morto come saprofiti. D'altra parte alcune specie saprofite possono, in particolari condizioni di debolezza della pianta, comportarsi come deboli parassiti ed aggredire il legno vivente. Sono oltretutto considerati “deboli parassiti” in quanto agiscono maggiormente su piante a scarsa reattività, senescenti, oppure sofferenti per attacchi di altri parassiti, per scarso assorbimento radicale, per stress da inquinanti, carenze o ristagni idrici od altri fattori abiotici, e soprattutto per ferite estese. In generale, sia in condizioni cittadine che in ambiente naturale, le possibilità di insediamento delle carie aumentano in relazione diretta con l'età e con l'ampiezza delle ferite.

In virtù del loro elevato patrimonio enzimatico, i funghi lignicoli sono in grado di utilizzare gli idrati del carbonio derivati dalla degradazione delle sostanze che compongono la parte legnosa delle cellule, in particolare la lignina, cellulose ed emicellulose. Ne deriva la carie del legno, i cui sintomi variano a seconda che le ife si sviluppino prevalentemente in direzione longitudinale, seguendo i vasi, le tracheidi e le fibre, o in senso radiale attraverso i raggi midollari, che offrono substrati nutritivi di facile assimilazione e minor resistenza meccanica, o in direzione circolare, attraverso gli anelli annuali.

3.2.2.1 Processo d'infezione

I funghi agenti delle carie del legno vengono generalmente considerati dei deboli parassiti poiché solo l'intervento dei fattori esterni predisponenti può favorire l'avvio del loro processo infettivo.

Le infezioni da parte di funghi cariogeni possono avere origine da spore, conidi e frammenti di miceli; la penetrazione nei tessuti dell'ospite avviene attraverso soluzioni di continuità, soprattutto rotture di rami, tagli di potatura, spacchi da gelo ecc..

I potenziali punti d'ingresso per le spore sono costituiti da tutti i tipi di lesioni presenti sugli ospiti come di seguito indicato:

- Danni alla corteccia: rami rotti, segati, bruciature da sole, ferimenti e danni meccanici

alla corteccia a causa di cantieri stradali, morsi di animali, lavori forestali;

- Danni alle radici: ferimenti e danni meccanici, morte per vecchiaia della radice a fittone, fattori ambientali che caratterizzano il luogo di ubicazione;
- Fattori di stress: carenza di luce, ristagni di acqua, terreno molto compatto, siccità prolungata, piogge acide, gas di scarico.

Il patogeno colonizza più efficacemente i tessuti legnosi ancora vivi quanto più la capacità di reazione dell'ospite è compromessa e questo processo viene accelerato dalla morte progressiva delle cellule vegetali.

Non tutti i microrganismi presenti sulle superfici esposte di organi legnosi, sia di piante vive sia di manufatti, riescono a penetrare e avviare un processo cariogeno. I primi sono quelli che riescono ad utilizzare sostanze più semplici presenti nei contenuti cellulari. Come ad esempio batteri cromogeni e le comuni muffe. In seguito alle modificazioni indotte nel legno dai primi organismi colonizzatori (neutralizzazione delle barriere di difesa, abbassamento del tenore di umidità e del pH dei tessuti, esaurimento dei metaboliti) possono prendere il sopravvento i funghi più tipicamente lignivori che si accrescono nel legno interno (tessuto in gran parte morto). Oltre alla potenzialità patogenetiche proprie di ogni singolo fungo cariogeno altri fattori influenzano lo sviluppo di questo tipo di alterazione del legno e tra questi ha un ruolo importante l'età delle piante interessate.

Le carie del legno sono malattie subdole, in quanto solitamente caratterizzate da un periodo di incubazione molto lungo. Per anni infatti la pianta colpita può non manifestare sintomi esterni specifici, anche quando la sua integrità meccanica è irrimediabilmente compromessa. In realtà, per la riduzione o l'arresto dello scorrimento della linfa, la chioma delle piante colpite manifesta spesso una vegetazione stentata, rarefatta, con seccumi più o meno diffusi, sintomi che però sono attribuibili anche ad altri fenomeni di sofferenza, per esempio danni da inquinanti, carenze idriche, attacchi parassitari, e con il tempo a tali manifestazioni possono unirsi altre più tipiche, quali zone del fusto o dei rami morte, depresse o, al contrario, rigonfie. I carpofori degli agenti fungini, che rimangono l'elemento diagnostico più attendibile, compaiono in genere assai tardivamente, spesso quando le strutture legnose sono ormai compromesse.

Dall'aspetto dei corpi fruttiferi del fungo si possono trarre delle conclusioni sulla decomposizione del legno, specialmente nel caso di carpofori pluriennali; se sono grandi e sodi con evidente accrescimento indicano che c'è ancora molto legno residuo. Molti e piccoli corpi fruttiferi, impoveriti e raggrinziti fanno supporre la quasi completa decomposizione del legno residuo, fenomeno definito come "fruttificazione da panico".

3.2.2.2 Tipi di carie del legno

Di solito, sulla base dei componenti chimici della parete cellulare che vengono degradati ed all'aspetto e consistenza della massa legnosa alterata, vengono riconosciuti tre differenti tipi di carie: bianca, bruna e soffice.

Inoltre, le carie del legno possono essere classificate anche in base alla localizzazione delle stesse nelle differenti parti dell'albero. Esse vengono quindi suddivise in carie delle radici, del durame e dell'alburno.

Carie bianca

Gli agenti fungini demoliscono tutti i costituenti della parete cellulare, compresa la lignina e gli estrattivi colorati, causando lo sbiancamento del legno che acquista una consistenza fibrosa o spugnosa.

Il legno colpito da carie bianca assume un aspetto più chiaro di quello sano (foto 3.0). Comunemente vengono riconosciuti differenti tipi di carie bianca in relazione all'aspetto finale assunto dal legno cariato: alveolare, fibrosa, lamellare, marmorizzata, spugnosa e tubolare.



Foto 3.0: carie bianca

Carie bruna

Conosciuta anche come carie “corrosiva” (foto 3.1). Nella carie bruna i funghi attaccano gran parte della cellulosa e delle emicellulosa lasciando quasi alterata la lignina. Spesso il legno attaccato dalla carie bruna si spacca secondo piani di sfaldatura ortogonali, con fessure spesso tappezzate dal micelio, per cui questa carie viene definita anche cubica.

Il legno alterato ha una colorazione brunastra, a causa della riduzione del contenuto in cellulosa e emicellulosa, e una consistenza friabile.



Foto 3.1: carie bruna

Il legno così alterato assorbe acqua più rapidamente e si asciuga più lentamente, è soffice e pastoso quando umido, mentre quando è asciutto si spacca facilmente e assume un aspetto polverulento.

Le carie bruna può essere di due tipi: secca e umida. La prima interessa soprattutto il legno di conifera con umidità del 20-40%. Invece, quella umida è quella più comune sia su legno di conifere che di latifoglie; l'alterazione si riscontra su legno con umidità superiore al 40%.

Carie soffice

I funghi che causano le carie soffici sono i meno specializzati nella degradazione del legno, sono tuttavia agenti importanti nel processo di deperimento di legname fortemente idratato come palizzate, serramenti e di tutti i materiali esposti in ambienti umidi. Gli agenti di carie “molle” attaccano legname morto sia di conifera sia di latifolia, con una particolare preferenza verso quest'ultima. Le ife di questi funghi, secernendo complessi enzimatici, degradano le cellulose e le emicellulose circostanti determinando piccole cavità, di forma circolare o romboidale.

Carie delle radici

I funghi che causano queste carie possono penetrare direttamente i tessuti corticali, colonizzando estesamente le radici e possono causare la morte della pianta anche in breve tempo. Infatti la loro crescita interferisce negativamente con l'assorbimento e il trasporto dell'acqua.

Carie del durame

I funghi che provocano questo tipo di carie, si sviluppano nel legno interno di vecchie piante, costituito prettamente da cellule morte e con funzionalità principalmente meccaniche. Tali funghi penetrano attraverso ferite ed hanno uno sviluppo molto lento. Lo sviluppo di queste alterazioni verso l'esterno dell'organo viene il più delle volte bloccato dalla reazione delle cellule dell'alburno, ancora vive. La presenza dei corpi fruttiferi costituisce frequentemente l'unico sintomo visibile di un processo che ha già seriamente danneggiato la pianta.

Carie dell'alburno

Quando i funghi cariogeni oltre a deteriorare il durame sono in grado di colonizzare la parte ancora vitale dello xilema e gli strati corticali dell'albero, creano il fenomeno della carie dell'alburno. Questo attacco è molto efficiente su piante che vedono ridotta la loro capacità di reazione verso la colonizzazione da parte di microorganismi. Le operazioni di potatura e capitozzatura sono tra le cause predisponenti più frequenti di carie nelle alberature cittadine e dei parchi. La colonizzazione del legno continua anche dopo la morte dell'albero e, quindi, queste carie sono un problema anche per il legname in opera.

3.3 I meccanismi di difesa della pianta

La resistenza alle infezioni nella pianta è il risultato di diversi meccanismi di difesa che operano in modo coordinato. Infatti, una pianta aggredita da un fungo cariogeno è in grado di attivare una serie di processi di difesa con l'obiettivo di ostacolare la diffusione dell'infezione.

Nelle prime fasi di infezione viene attivato un meccanismo attraverso il quale si producono sostanze antimicrobiche come composti fenolici, di terpeni. Questa prima risposta è di estrema importanza perché è in grado di inibire la crescita fungina nei tessuti corticali fino a che non si verifica la formazione di barriere strutturali. Nei tessuti corticali si ha la produzione di enzimi ad azione fungicida, ad esempio l'enzima chitinasi, o la sintesi di composti come la lignina e la suberina che invece bloccano fisicamente, saturando la parete cellulare, la diffusione del patogeno. Al momento dell'infezione il fungo libera nell'organismo ospite dei messaggi chimici che la pianta è in grado di captare e che gli permettono di attivare i suddetti sistemi di difesa. Nella pianta vengono quindi indotte risposte fisiologiche e biochimiche immediate, che si

verificano nell'arco di pochi secondi, e risposte più lente che si verificano in ore o giorni. Attualmente esistono due teorie per spiegare l'evoluzione della carie nei tessuti interni.

1. **CODIT** (Compartmentalisation of decay in tree) teoria che si basa sul principio secondo il quale "lo sviluppo della carie è condizionato dalle risposte di difesa attiva della pianta" (Shigo, 1993), ovvero l'alburno si oppone all'avanzata della degradazione mediante la formazione di quattro barriere di formazione (figura 3.0).

- I. La prima barriera consiste nell'occlusione degli elementi vascolari con resine, gomme e tille, ed agisce contro la diffusione longitudinale del fungo.
- II. La seconda barriera è rappresentata dal rafforzamento delle cerchie con deposizione di strati di legno denso e limita lo sviluppo della carie in senso radiale, verso l'interno.
- III. La terza barriera si estrinseca nei raggi midollari attraverso la suberificazione e la lignificazione delle relative cellule e si oppone alla diffusione della carie in senso tangenziale.

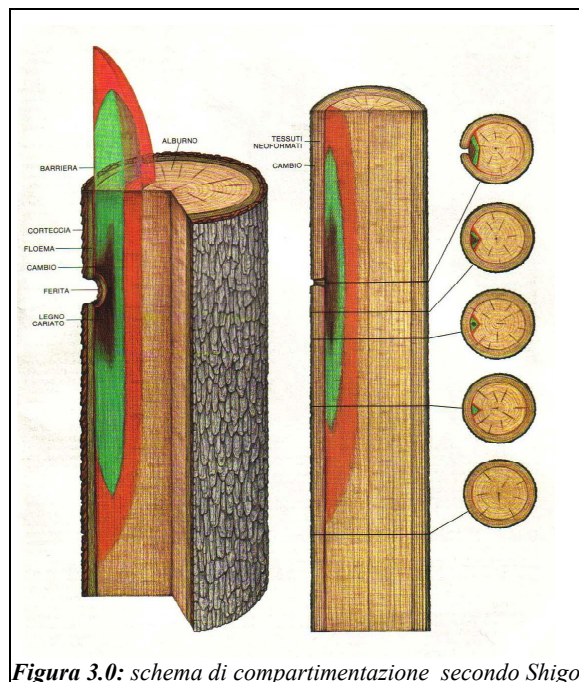


Figura 3.0: schema di compartimentazione secondo Shigo

- IV. La quarta barriera, separa lo xilema della pianta al momento della lesione da quello che verrà a formarsi in seguito, opponendosi alla diffusione dell'alterazione dall'interno verso l'esterno. Essa consiste in genere in una modificazione dell'anello di crescita, prodotto dal meristema cambiale, che risulta costituito da legno di tipo diverso, con cellule legnose più piccole, rivestite

di suberina, e che pertanto viene difficilmente attaccato dagli enzimi dei patogeni.

2. **CM** (condizionamento ambientale) questa teoria fonda i suoi principi sul fatto che la crescita del fungo nell'organismo ospite, e quindi la dinamica della carie, dipende in modo aspecifico da fattori nutrizionali e fisici.

3.4 Agenti di carie degli alberi situati nei centri urbani

Tante specie fungine sono responsabili negli alberi della carie del legno. Questo fenomeno è stato preso molto in esame negli ultimi anni ed ha fortunatamente cambiato e modificato la mentalità e la tecnica di cura delle piante arboree della città (Valentini; Conti pp. 206-211, 1987).

Di seguito vengono presentati e descritti i funghi più frequenti, responsabili della distruzione o disorganizzazione del corpo legnoso delle piante del patrimonio verde cittadino.

Agenti fungini:

Armillaria spp.;

Fistulina epatica;

Fomes fomentarius;

Ganoderma applanatum, G. Adspersum, Ga.resinaceum;

Inonotus hispidus, In. dryadeus, Ph. punctatus;

Laetiporus sulfureus;

Meripilus giganteum;

Parennipora fraxinea;

Phellinus igniarius, Ph. dryadeus, Ph. punctatus;

Pholiota squarrosa;

Polyporus squamosus;

Ustulina deusta ;

Tra quelli visti in precedenza, gli agenti patogeni fungini che più interessano i nostri studi sono, principalmente:

- *Inonotus hispidus*, *In. dryadeus*.: Sono due patogeni molto attivi che determinano una carie bianca. *In. hispidus* vive su tante latifoglie, ma soprattutto su noce, melo, platano, frassino. È un parassita che entra nel cilindro centrale del tronco o dei rami tramite ferite e tagli. Da lì si nota anche il primo sviluppo, accompagnato da lunghe lesioni corticali. Il fungo diventa pericoloso appena invade l'alburno: in questo caso può distruggere il cambio. Viene così a mancare la possibilità di sviluppare legno nuovo, necessario per l'equilibrio statico. Negli stadi avanzati di carie indebolisce la pianta riducendone la stabilità.
- 

Inonotus hispidus
Mensola giovane al platano
- *Fomes spp.*: Attacca l'ospite debole tramite ferite sul tronco. È responsabile di una carie bianca nel cilindro centrale. Lungo il legno attaccato si notano delle linee nere: sono linee di demarcazione che si sviluppano tra i miceli di differenti colonie del fungo. Il fungo viene spesso accompagnato da sintomi tipici sul tronco quali scanalature assiali e solchi sul cilindro corticale.



- *Polyporus spp.*: Esso attacca come parassita una larga gamma di alberature tramite ferite al tronco o ai rami. Da lì spuntano anche corpi fruttiferi. Il fungo è agente di carie bianca. Questa si distribuisce su tutto il cilindro centrale; il danno è grosso quando il fungo invade l'alburno. Il grado di debolezza che si crea dipende dalla specie dell'albero, da come è capace di circoscrivere l'agente fungino.



Polyporus squamosus:
Il cappello del fungo è caratterizzato con un cappello largo fino a 40 cm, con grosse squame adiacenti a colore bruno

- *Phellinus spp.*: l'agente fungino crea una carie bianca nel cilindro centrale e lungo le branche grosse. Il fungo si presenta di varie specie a seconda dell'ospite. Attaccano l'albero attraverso le ferite sul tronco e nella corona. Tutte le specie presentano dei corpi fruttiferi pluriennali.



Phellinus punctatus sulla branca di un Platano.

Capitolo 4

Metodi per la valutazione della stabilità

4.1 L'analisi visiva

L'ispezione visiva dell'albero per identificare i segni esterni del deperimento è un metodo tradizionale ed ha lo scopo di capire se quanto l'albero ha realizzato è sufficiente a riparare il danno ed a prevenire eventuali rischi di schianto dell'intera struttura o di singole sue parti. Lo scopo dell'analisi visiva dell'albero è quello di:

1. Esaminare le caratteristiche e lo stato generale della pianta, ad esempio dimensioni, età, inclinazione del fusto, sito d'impianto;
 2. Evidenziare la presenza di manifestazioni esterne di sofferenza meccanica del fusto, dei rami e della zolla radicale;
 3. Valutare l'entità e la gravità dei singoli difetti e le loro ripercussioni sulla stabilità dell'intera struttura.
- I segnali esterni durante l'indagine includono:
 - (a) **Vitalità:** fogliame o rami secchi, collari indicanti rotture imminenti, corteccia mancante, crescita stentata, scarsa riparazione delle ferite, presenza di tessuto cambiale morto sotto la corteccia, specialmente vicino o al di sotto del livello del terreno;
 - (b) **Stato fitosanitario:** corpi fruttiferi, fuoriuscita di liquido da ferite aperte o diversi indicatori di presenza di funghi o altri parassiti;
 - (c) **Sintomi di difetti meccanici:** rigonfiamenti, depressioni, costolature da torsione, posizione inclinata, collari radicali, fessure nel terreno ovvero ogni deposito di materiale apparentemente superfluo e un sintomo di difetto.
 - (d) **Carpofori e ferite:** un altro aspetto che mette in evidenza e la concomitante presenza di corpi fungini e di cavità aperte lungo il fusto o sulle branche. Si sa infatti che gli agenti fungini di carie penetrano nell'albero attraverso le cavità e la loro ultima azione, dopo aver digerito parte del legno interno, è la formazione di corpi fruttiferi che servono al fungo per emettere le spore, colonizzatrici di altri ospiti. Per le piante utilizzate in centri urbani, l'attenzione viene soprattutto posta agli agenti in grado di deturpare le caratteristiche ornamentali e di ridurre la stabilità, imponendo misure atte a garantire la sicurezza di chi fruisce degli spazi pubblici.

4.2 Gli strumenti tradizionali di indagine

La scelta degli strumenti di prima indagine deriva da una lunga esperienza nel settore delle analisi VTA, ed è adatta per ottenere un'idea sufficientemente chiara delle condizioni di stabilità di ogni singolo albero. Gli strumenti utilizzati sono;

- martello di gomma;
- cavalletto dendrometrico;
- binocolo;
- bindella;
- root inspector.

Il martello di gomma serve per un primo approccio con il fusto della pianta, per identificare un eventuale distacco della corteccia. Una superficie sospetta può essere colpita con un martello forestale e, con l'esperienza, il suono risultante può essere interpretato, in modo da farsi una certa idea della presenza di deperimento e della sua estensione. Le zone necrotiche rispondono alle sollecitazioni meccaniche esercitata con un martello in un modo diverso dal punto di vista sonoro. Questo metodo è totalmente non invasivo e lo strumento facile da trasportare.



Foto 4.0: Root inspector in una cavità al colletto

Il cavalletto forestale serve per determinare il diametro a petto d'uomo, a circa a 130 cm da terra, dell'albero, e se presente una cavità aperta nel tronco è possibile penetrarvi con un'asta graduata e misurarne l'ampiezza e con il cavalletto poi si ricava il rapporto tra la porzione sana residua ed il raggio del tronco. Quando questo non è possibile, si ricorre ad altri strumenti, come il Resistograph. Il binocolo è un valido strumento per vedere più da vicino le branche primarie e

secondarie in sommità, il castello di alberi particolarmente alti.

Il root inspector serve per misurare le cavità presenti sul fusto o sul colletto di un albero; e un'asta misuratrice, una sonda, lunga di solito 80 cm che si fa penetrare nelle cavità per accertare l'entità della degradazione (Foto 4.0).

La tecnica del VTA permette di individuare, all'interno di una popolazione arborea, quegli individui che manifestano sintomi di probabili anomalie a carico dei propri tessuti interni. Sul singolo albero, consente di individuare quei punti critici su cui effettuare un'analisi strumentale in grado di misurare la porzione residua di legno sano, parametro questo direttamente correlabile con il fattore di sicurezza dello stesso (Matteck *et al.* 1994; Matteck e Breloer pp. 125-145 e pp. 223-257, 1998; Semenzato pp. 95-97, 2003; www.cnr.it; www.eurogreen.net).

4.3 L'indagine strumentale fisica

4.3.1 Il Resistograph®

E' lo strumento adottato nel 90% delle indagini strumentali, in quanto è poco invasivo e molto preciso (Pestalozza, 2005). L'indagine mediante Resistograph ha la funzione principale di quantificare e posizionare eventuali aree di decadimento interno sul tronco e cordoni radicali, zone sottostanti al colletto e branche principali soprattutto nella zona di inserzione della chioma.

Il Resistograph è una micro-trivella che misura la resistenza del legno perforandolo tramite una sonda che ruota a velocità costante di 1500 r.p.m. (rotazioni per minuto), registrando le informazioni per tutta la lunghezza del percorso perforante. La resistenza alla perforazione è concentrata

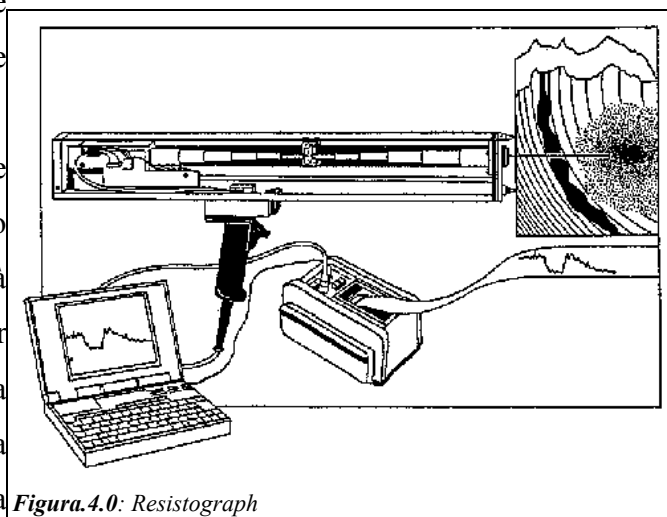


Figura.4.0: Resistograph

sulla punta di un ago sottile dal momento che quest'ultimo ha uno spessore doppio rispetto lo stelo. La sonda ha una punta appiattita e affilata, larga 3 millimetri, che deve essere sostituita frequentemente, ed ha una lunghezza di 300 millimetri (Figura 4.0). Quando ha inizio la perforazione, la sonda della micro-trivella dovrebbe, se è possibile, essere disposta perpendicolarmente agli anelli annuali. La regolazione elettronica del motore garantisce una

velocità costante dell'ago, parametro che va adattato alle specifiche caratteristiche di densità del legno da esaminare: 50 mm/min per legni ad altissima densità e 700 mm/min per legni molto teneri (Pestalozza, 1998). La resistenza alla penetrazione infatti può variare fra le specie ed anche fra alberi differenti appartenenti alla stessa specie. Può anche variare in differenti parti dell'albero, poiché dipende da fattori come il modello di sviluppo e la presenza di estratti, resine e legno di reazione, ma può anche essere influenzata dalle variazioni di densità del legno tra alburno e durame o delle zone di reazione (Bradshaw, Hunt, 1995).

Non basta effettuare l'analisi in un solo punto, ma occorre eseguire più perforazioni per poter descrivere correttamente la sezione interessata. Inoltre, bisogna essere sicuri che la sezione descritta sia effettivamente quella più debole ovvero, dall'analisi visiva, vengono individuati i punti critici sui quali si effettuano poi i sondaggi più approfonditi.

Il profilo di densità prodotto dal Resistograph consente di misurare le variazioni di densità tra aree di legno estivo ed aree di legno primaverile permettendo in questo modo conte anulari ed analisi di curve di crescita dei soggetti arborei. Inoltre i profili mettono in evidenza eventuali anomalie a carico dei tessuti interni in maniera da quantificare lo spessore del legno intatto, la presenza di barriere di reazione. Il legno decomposto o in via di decomposizione, a causa di carie, viene evidenziato dai profili di densità dal momento che il decadimento causa una riduzione della resistenza meccanica alla perforazione. Grazie ad una stampante incorporata allo strumento, il profilo di densità è visualizzato immediatamente su carta e contemporaneamente viene memorizzato dallo strumento ed è quindi possibile scaricarlo su PC ed elaborarlo con il software specifico.

E' importante anche ricordare che il Resistograph può essere vettore di infezioni fungine da un albero infetto ad uno sano, se lo strumento non viene disinfettato con cura dopo ogni suo utilizzo. Da studi effettuati su *Tilia sp.*, indagato strumentalmente con un Resistograph per delineare una carie al suo interno, è apparso che dopo quattro mesi dall'analisi, intorno al buco dell'ispezione, la zona di reazione si era sviluppata notevolmente e la crescita radiale del patogeno fungino era divenuta più facile e aggressiva (Toussaint, 2004).

4.3.2 I dispositivi sonici

I dispositivi sonici rilevano la presenza del deperimento misurando il tempo impiegato dalle onde sonore per passare attraverso un campione di prova. La velocità del suono del legno

dipende dalle proprietà specifiche che, in caso di deperimento, sono alterate. Queste comprendono l'elasticità, la densità ed il tenore di acqua. In generale, il deperimento rallenta ed attenua la velocità di trasmissione delle onde sonore. Di norma, ciò significa che il primo e più forte segnale ricevuto avrà attraversato il campione viaggiando intorno alla zona decaduta e, quindi, necessiterà di un tempo più lungo di attraversamento rispetto ad un campione non alterato. Nel legno, per la sua anisotropia, occorre mettere in relazione la direzione di propagazione della perturbazione con le tre direzioni principali del materiale, in quanto tali velocità sono sensibilmente diverse: e maggiore lungo un asse, e minore lungo un quadrante e sarà intermedia radialmente, nel senso in cui le misure sono solitamente effettuate.

Bisogna anche considerare che per il legno la massa volumica, inversamente proporzionale alla velocità di propagazione, può presentare valori molto diversi e che la stessa umidità dei tessuti legnosi introduce un'ulteriore indeterminazione.

4.3.3 Il martello ad impulsi

Il martello ad impulsi sonori è il primo strumento che viene normalmente utilizzato in quanto misura la velocità di propagazione del suono all'interno di una sezione dell'albero. Utilizza un impulso misto a bassa frequenza prodotto da un colpo del martello sopra una vite di legno inserita nel legno. Il dispositivo misura il periodo di transito dell'impulso attraverso il campione fino ad una seconda vite fissata nel legno, dal lato opposto alla prima, e fornisce una lettura della velocità basata su un diametro conosciuto. Per la maggior parte delle specie di alberi esiste una velocità caratteristica del suono che si riduce nel caso di presenza di difetti.

Nelle latifoglie la velocità di propagazione del suono oscilla normalmente tra 1440-1200 m/s (Pestalozza, 1998).

A volte il marciume radicale può progredire ascendendo lungo il tronco, con il martello ad impulsi il decadimento può essere diagnosticato precocemente. E' anche possibile rilevare punti di discontinuità in indagini ipogee su cordoni radicali, operando in senso longitudinale alle fibre. Con il martello elettronico però non si riesce a misurare l'entità del danno interno e lo spessore della porzione residua del tronco. Quindi se si riscontrano dei difetti nel legno, dopo questo tipo di indagine, si rende necessario localizzare e quantificare l'entità dei danni rilevati con l'analisi resistografica.

4.3.4 Il Tomografo

L'**ARBOTOM^R** è un tomografo ad impulsi sonici, sviluppato per l'analisi e la valutazione dello stato interno degli alberi. Esso è basato sul principio della velocità di propagazione di un impulso sonoro nei materiali che attraversa.

Con l'applicazione dei sensori, da 2 a 24, sul tronco si è in grado di registrare la velocità degli impulsi indotti con un martello nelle varie direzioni. Ogni sensore è infatti dotato di un vibrometro e di una regolazione elettronica per l'analisi in tempo reale degli impulsi provenienti dagli altri sensori. È sufficiente stimolare ogni sensore con un martello per creare un impulso e così generare un'onda che si propaga nel legno. Il tempo di attraversamento dell'onda viene registrato e permette di ricavare la velocità dell'impulso.

I dati ottenuti vengono raccolti e rielaborati da un apposito software: le velocità di ogni singolo impulso vengono inserite in un'apposita matrice, consentono di ricavare, tramite un'interpolazione, una rappresentazione grafica costituita da linee o da superfici. In funzione del numero e della posizione dei sensori del tomografo, si può ottenere una scansione bidimensionale o tridimensionale. Con la restituzione bidimensionale è possibile visualizzare le aree interne con evidenti stati di decadimento o le cavità, mentre con la restituzione tridimensionale è possibile visionare sezioni trasversali, radiali e tangenziali del fusto.

4.4 Altri metodi e strumenti diagnostici

4.4.1 Il succhiello di Pressler e il Frattometro

Il succhiello di Pressler (Foto 4.1) è un trapano ad incremento consistente in un tubo vuoto con un filetto della vite ad un'estremità; può essere avvitato in un albero per produrre delle carote di circa 5 mm di diametro che possono essere esaminate per rilevare la presenza di deperimenti lungo la sezione trasversale del legno stesso. È uno strumento molto invasivo in quanto lascia delle ferite sul punto di indagine che possono anche oltrepassare le barriere di compartimentazione, che l'albero ha formato per arrestare il suo deperimento, e peggiorare ulteriormente la situazione creando una porta d'accesso per agenti patogeni.

Il frattometro è un piccolo calcolatore tascabile in cui viene inserita la carota, prelevata con il succhiello di Pressler, e successivamente caricata, mediante un dispositivo meccanico, analogamente al carico cui sarebbe sottoposto l'albero se fosse esposto al vento. L'apparecchio e

suddiviso in due parti, la parte fissa superiore e la parte mobile inferiore. Fra le due parti si trova una molla meccanica a spirale che attraverso i movimenti rotatori viene caricata fino alla rottura. La misura della resistenza del legno può essere letta da una scala all'esterno dell'involucro del frattometro, dove sono riportate anche informazioni riguardo all'angolo di flessione che ha portato alla rottura (Foto 4.2). I due valori ricavati, momento di flessione ed angolo di flessione che misurano la rigidità dei tessuti legnosi e consentono di effettuare la valutazione statica degli alberi.

Importante, per queste indagini, è che la carota venga inserita in modo tale che le fibre siano parallele alla parte superiore dell'apparecchio, perché tale è anche il carico del tronco. I valori del frattometro sono caratteristici per le diverse specie. Nella cavità di marciume, tanto la resistenza alla

pressione assiale che quella alla flessione radiale diminuiscono. Questi sono quindi indicatori utili per determinare la presenza di marciumi. In assenza di marciumi il frattometro dà importanti informazioni riguardanti la presenza di legno di reazione sia di tensione che di compressione.

Laddove si sono determinate delle alte resistenze, si avranno anche le maggiori tensioni.

È questa una prova di capacità dell'albero di migliorare la resistenza ed anche la qualità del proprio legno.



Foto 4.1: succhiello di pressler

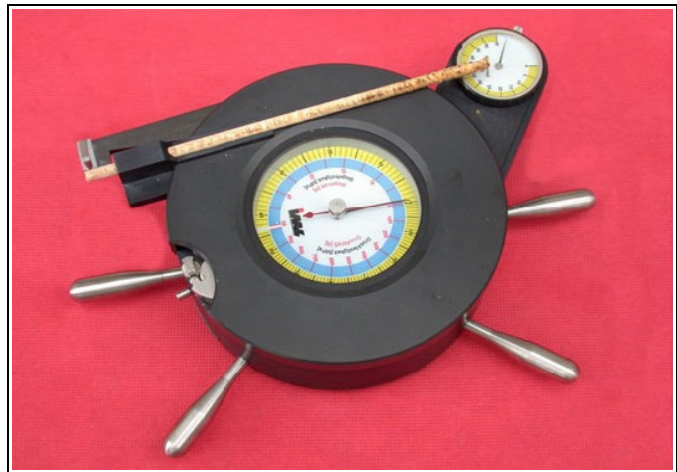


Foto 4.2: frattometro

4.4.2 Shigometer®

Si tratta di un tester elettronico, ormai non più utilizzato su larga scala, che trasporta la corrente pulsata attraverso una sonda e ne misura la resistenza dei tessuti di legno. Lo stato del legno alla punta della sonda è determinato dal modello della misura visualizzato sul tester digitale.

Nel legno sano, soltanto i leggeri cambiamenti si presentano quando è inserita la sonda. Quando la punta della sonda passa dal legno sano al tessuto scolorito o decaduto, un cambiamento brusco si presenta nella lettura digitale. La grandezza di cambiamento nella lettura indica il grado di deterioramento nel tessuto mentre la profondità di inserzione indica il limite dei danni del tessuto.

4.5 Introduzione alle analisi termiche

Le tecniche basate sulle analisi termiche sono importanti per determinare le proprietà fisiche e chimiche di materiali polimerici sia sintetici che naturali (es. lignina) (Reeves *et al.*, 1993; Keiserberger *et al.*, 1997.). Possono essere definite come un insieme di metodiche usate per caratterizzare i più diversi materiali osservandone i cambiamenti fisici e chimici indotti da sollecitazioni termiche.

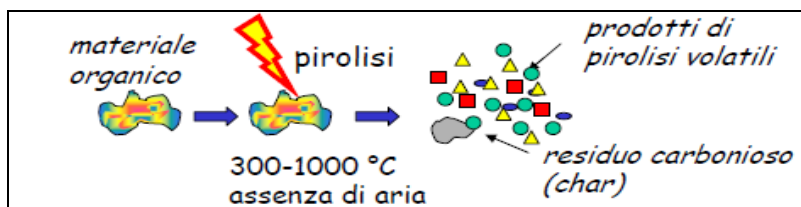
Nei metodi termici di analisi, o si misura la variazione di temperatura o la temperatura viene fatta variare in modo da produrre il parametro che si vuole misurare. La termogravimetria (TG), l'analisi termica differenziale (DTA), la calorimetria differenziale a scansione (DSC) e la pirolisi analitica (Py) sono i 4 metodi più importanti che implicano la variazione di temperatura come variabile indipendente, inoltre tali tecniche possono essere combinate a vari metodi spettroscopici e in particolare alla spettrometria di massa (MS).

La termogravimetria implica la misura in continuo della perdita di peso di un campione all'aumentare della sua temperatura; la risposta è costituita da un grafico in cui si rappresenta la perdita in peso in funzione della temperatura e che permette di valutare la stabilità termica del campione, le velocità di reazione di decomposizione, i processi di reazione e la composizione del campione.

L'analisi termica differenziale si basa sulla misura della differenza tra la temperatura del campione e quella di un composto di riferimento, in funzione della temperatura imposta

dall'esterno.

La **pirolisi** è un processo di degradazione termica in assenza di aria. Una sostanza sottoposta all'azione del calore, a temperatura superiore a 300°C, in presenza di un gas inerte (azoto o elio), può subire trasformazioni chimiche in grado di generare nuovi composti, i **prodotti di pirolisi**.



4.5.1 Pirolisi Analitica

La **pirolisi analitica** è la caratterizzazione di un materiale per mezzo di reazioni di degradazione termica indotte dall'energia termica, in atmosfera inerte (*Compendium of Analytical Nomenclature*, IUPAC, 1997).

In base al tipo di riscaldamento si possono distinguere essenzialmente due tipi di pirolisi.

Nella maggior parte dei casi, si sottopone la sostanza in esame a riscaldamento istantaneo (da frazioni di millisecondi a qualche millisecondo), a temperature comprese tra 500 e 900°C e in atmosfera inerte. Durante questo breve tempo di riscaldamento, il campione si scinde in molecole più piccole e più volatili (Meier e Faix, 1992) utilizzando l'energia termica per scindere i legami chimici più deboli. Le molecole prodotte in questo processo sono tali da poter essere analizzate con tecniche come la spettrometria di massa o la gascromatografia. In particolare, l'interfacciamento del pirolizzatore con un gascromatografo e uno spettrometro di massa combinati (Py-GC/MS) permette di ottenere sia la separazione dei frammenti molecolari generatisi per pirolisi, sia i relativi spettri di massa; da quest'ultimi è poi possibile procedere all'identificazione delle varie componenti. In questo caso si realizza la condizione di pirolisi/gascromatografia-spettrometria di massa *on-line*, perché il pirolizzatore è collegato direttamente all'iniettore del gascromatografo.

In alternativa, il riscaldamento e la conseguente degradazione del campione possono essere realizzati secondo un gradiente di temperatura preventivamente impostato (tra 5 e 10°C/min). In

questo caso si ottiene una pirolisi a temperatura programmata (TPPy, Temperature Programmed Pyrolysis) che può anch'essa essere combinata con tecniche separative e spettroscopiche (Montaundo *et al.*, 1992; Xie *et al.* 2001.; Nakamura *et al.*, 2001.).

Si può avere anche una pirolisi *off-line* la quale prevede che il campione venga sottoposto a pirolisi, rapida o a gradiente, e solo in un secondo momento i prodotti di pirolisi precedentemente raccolti vengano recuperati e introdotti in un sistema GC/MS.

Esistono numerose tecniche di pirolisi a seconda di quale tipo di pirolizzatore venga utilizzato. Oggi sono disponibili in commercio quattro principali tipi di pirolizzatore:

- (a) Pirolizzatore a fornace (fig. 6.1) (Schulten *et al.*, 1987);
- (b) Pirolizzatore a filamento (Boon, 1989);
- (c) Pirolizzatore a punto di Curie (Genuit *et al.*, 1987);
- (d) Pirolizzatore laser (Van der Hage *et al.*, 1994; Greenwood *et al.*, 2002).

Il pirolizzatore a fornace (figura 4.1), a differenza di quelli a punto di Curie e laser, permette di scegliere la temperatura di pirolisi in un intervallo praticamente continuo dalla temperatura ambiente a 900°C.

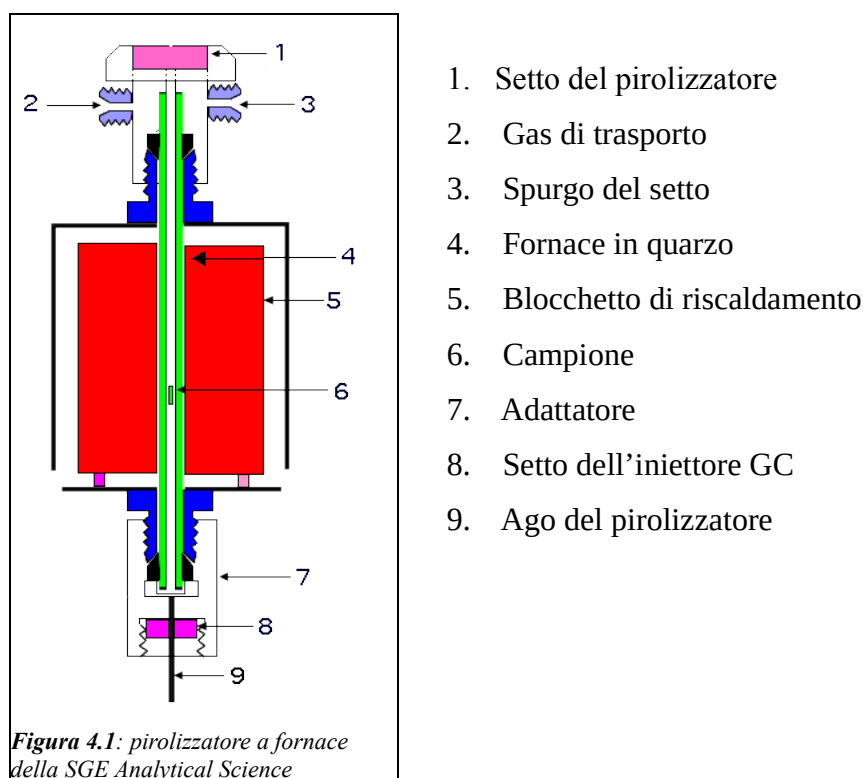
Tale caratteristica consente inoltre, se il modello di pirolizzatore lo permette, di utilizzare la fornace stessa, oltre che per effettuare pirolisi rapida accoppiata ad un sistema GC/MS (Suzuki *et al.*, 1997), anche per realizzare studi di degradazione termica del campione mediante riscaldamento a temperatura programmata (TPPy-MS) (Izumi *et al.*, 1997; Nakamura *et al.*, 2001.; Sato *et al.*, 1997).

Tra le tecniche che utilizzano la pirolisi istantanea, la Py-GC/MS è particolarmente adatta per lo studio della struttura della lignina, della cellulosa e, in generale, dei biopolimeri vegetali.

Con tale metodica, infatti, è possibile determinare le quantità relative dei singoli composti prodotti dalla pirolisi dopo averne identificato la struttura ed inoltre è possibile distinguere i prodotti di degradazione termica provenienti dalla frazione cellulosica da quelli provenienti dalla frazione ligninica (Meier e Faix, 1992).

Il materiale pirolizzato produce un miscuglio di semplici fenoli, risultanti dalla scissione dei legami C-O-C e dei legami C-C tra unità fenoliche della lignina.

I fenoli che si formano mantengono gli schemi di sostituzione che avevano nel polimero e possono essere distinti in tre tipi di struttura: *p*-idrossifeniliche (**H**), *p*-guaiaciliche (**G**) e *p*-siringiliche (**S**).



Quindi, quantificare le abbondanze relative dei singoli prodotti di decomposizione termica, rappresenta un efficace metodo per caratterizzare il tipo, la provenienza ed eventuali cambiamenti strutturali subiti dalla lignina (del Rio *et al.*, 2001.2002; Galletti *et al.*, 1995; Terron *et al.*, 1995.).

La pirolisi a temperatura programmata permette invece di effettuare un'analisi dei gas svolti (EGA) in funzione della temperatura e di caratterizzare qualitativamente la miscela gassosa prodotta dalla degradazione termica. Ciò si può realizzare mediante un sistema strumentale costituito dalla combinazione di un di un pirolizzatore a temperatura programmabile con uno spettrometro di massa (TPPy-MS) oppure con un sistema gas cromatografico/spettrometrico di massa (TPPy-GC/MS). In quest'ultimo caso, l'accoppiamento on-line è realizzato con l'ausilio di valvole campionatrici opportunamente collegate che permettono di prelevare ed inviare alla colonna separativa o allo spettrometro di massa piccole aliquote dei gas sviluppati durante il riscaldamento del campione.

Le analisi termiche sopra descritte sono spesso utilizzate per confrontare le caratteristiche chimiche di legni integri e legni colpiti da degrado fungino (carie), ed evidenziare eventuali modificazioni strutturali (Pillinger *et al.*, 1995; Camarero *et al.*, 2000). Inoltre, esse sono molto utili per caratterizzare sia diverse specie di legno sia, più in generale, matrici vegetali di varia provenienza e origine.

Capitolo 5

Materiale e Metodi

5.1 Preparazione dei campioni

Sono stati presi in esame 32 campioni di legno provenienti da diverse specie e generi. Tre campioni provenivano da durame o alburno di piante situate in ambiente urbano, sottoposte a VTA e successivamente abbattute per netta presenza di fenomeni cariogeni. Altri tre campioni di durame provenivano da legni di interesse commerciale e non presentavano alterazioni.

I rimanenti 26 campioni sono stati prelevati dalle cortecce di altrettante piante e analizzati per caratterizzarne la composizione molecolare con particolare riguardo per la ricerca della componente suberinica.

5.1.1 Campioni d'interesse urbanistico e commerciale

Dei sei campioni di durame/alburno studiati, tre rivestono interesse urbanistico ambientale (*Platanus acerifolia*, *Quercus ilex*, *Magnolia grandiflora*) e tre sono d'interesse commerciale (*Ochroma pyramidale*, *Juglans nigra*, *Populus alba*).

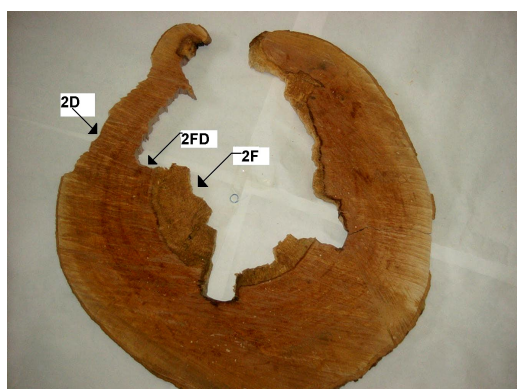


Foto 5.0: rotella di platano cariato con identificazione delle zone di campionamento



Foto 5.1: leccio attaccato da carie



Foto 5.2: magnolia attaccata da carie

Per quanto riguarda le specie “urbane” i campioni sono costituiti da rotelle ricavate a diverse altezze del tronco delle tre specie arboree sopra elencate, sottoposte precedentemente a VTA ed abbattute (Foto 5.0-5.1-5.2). Queste tre specie provengono tutte da ambienti urbani delle due città di Roma e Viterbo. In ogni rotella sono

state individuate 3 zone, a diverse distanze dalla corteccia, identificate con delle sigle che stanno ad indicare il livello di degradazione fungina, valutato visivamente, presente in quel punto del tronco (Foto 5.0). Dalle ciascuna delle tre zone di legno sono stati asportati, attraverso l'utilizzo di una lima a grana grossa, circa 10-15 g di legno, che sono stati successivamente ridotti in polvere mediante mulino "Cyclotec Tecator 1093" Sample Mill P.B.I, producendo così una polvere molto fine filtrata con un setaccio con diametro 0,5 mm. Pochi milligrammi (1,5-2,0 mg) del materiale ottenuto sono stati introdotti direttamente nella fornace del pirolizzatore per mezzo della siringa per solidi (Pelletiser P3 figura 5.0).

I campioni di legno delle tre specie d'interesse commerciale sono stati prelevati da tavole pronte all'uso reperite in falegnameria e preparati secondo le modalità precedentemente descritte. Questi campioni non presentavano alcun difetto strutturale né sintomi di degradazione indotta da agenti patogeni.

5.1.2 Campioni di corteccia

Per la caratterizzazione molecolare della corteccia di specie produttrici di sughero, da ciascuna delle 26 piante sono state estratte delle porzioni cilindriche (Foto 5.3) mediante un fustello, avente un diametro opportuno e adatto alle dimensioni del tronco da campionare. Il fustello viene utilizzato in associazione ad un martello per effettuare delle incisioni sul tronco della pianta; sono stati così ricavati campioni di circonferenza e spessore pressoché uniformi. Una volta estratti dalla corteccia, i campioni sono stati essiccati in stufa a 105°C fino a scomparsa di perdita di peso, ridotti in piccole scaglie mediante un'apposita lima a maglie standard e macinati secondo le modalità precedentemente descritte per la preparazione dei campioni di legno. Pochi milligrammi di campione così ottenuto sono stati introdotti direttamente nel pirolizzatore per mezzo della consueta siringa. La lista completa dei campioni analizzati è presente in tabella n°1 (per le schede botaniche vedi allegato).

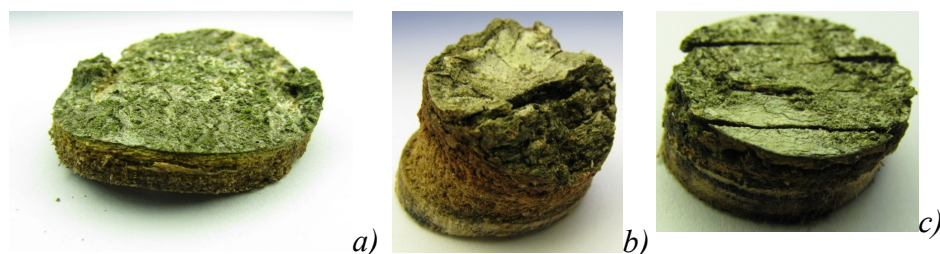
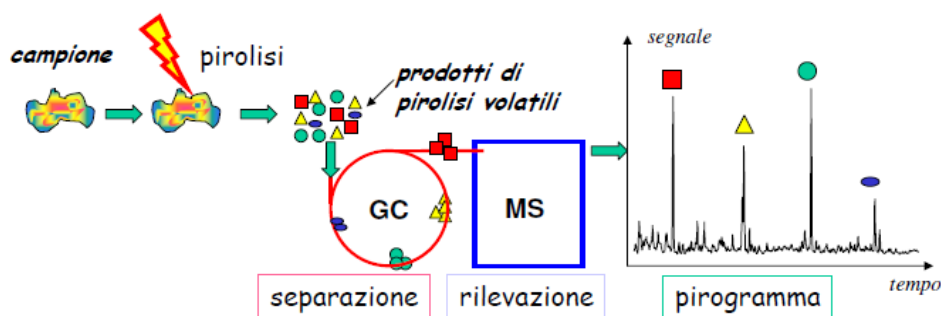


Foto 5.3: tappi di corteccia; a)leccio,b) roverella, c)castagno.

Specie	Famiglia	Provenienza	Sughero	Raccolta	Analisi Py- GC/MS
<i>Quercus suber</i>	Fagaceae	Montescudaio (PI)	Si	X	X
<i>Quercus suber</i>	Fagaceae	Assemini (CA)	Si	X	X
<i>Quercus suber</i>	Fagaceae	Gambarussa (CA)	Si	X	X
<i>Quercus cerris</i>	Fagaceae	Montescudaio (PI)	No	X	X
<i>Quercus crenata</i>	Fagaceae	Montescudaio (PI)	Intermedio	X	X
<i>Quercus fontanesii</i>	Fagaceae	Corleone (PA)	Intermedio	X	X
<i>Q. acutissima</i>	Fagaceae	Korea	Si	X	X
<i>Q. variabilis</i>	Fagaceae	Korea	Intermedio	X	X
<i>Q. Ilex</i>	Fagaceae	Viterbo	No	X	X
<i>Q. robur</i>	Fagaceae	Rocca Priora (RM)	No	X	X
<i>Q. pubescens</i>	Fagaceae	Volterra (PI)	No	X	X
<i>Q. mongolica</i>	Fagaceae	Korea	No	X	X
<i>Q. aliena</i>	Fagaceae	Korea	No	X	X
<i>Q. serrata</i>	Fagaceae	Korea	No	X	X
<i>Castanea sativa</i>	Fagaceae	Viterbo	No	X	X
<i>Fagus sylvatica</i>	Fagaceae	Viterbo	No	X	X
<i>Betula sp.</i>	Betulaceae	Viterbo	Poco	X	X
<i>Acer campestre</i>	Aceraceae	Castel di Lucio (ME)	Poco	X	X
<i>Ulmus minor</i>	Ulmaceae	Volterra	Si	X	X
<i>Celtis australis</i>	Ulmaceae	Cagliari	Si	X	X
<i>Sambucus nigra</i>	Caprifoliaceae	Viterbo	Poco	X	X
<i>Phellodendron chinense</i>	Rutaceae	Orto Botanico Firenze	Si	X	X

Tabella n 1. Tabella riassuntiva di tutte le specie analizzate

5.2 Py-GC/MS



La pirolisi analitica è stata eseguita mediante un pirolizzatore Pyrojector II SGE (pirolizzatore a fornace verticale. (figura 4.1) interfacciato con un sistema gascromatografico/spettrometrico di massa costituito da un cromatografo HP 5890 con colonna capillare BPX5 (30m x 0.25mm ID, spessore film 0.25 μ) (del Rio *et al.*, 2000, 2002, 2003.) ed uno spettrometro di massa magnetico ad alta risoluzione (VG AutoSpec).

La pirolisi è stata effettuata a 500°C in atmosfera di elio. Il campione (1,2-1,6 μ g), viene inserito in un'apposita siringa (figura 5.0) e quindi iniettato nella fornace del pirolizzatore, preriscaldata alla temperatura di pirolisi.

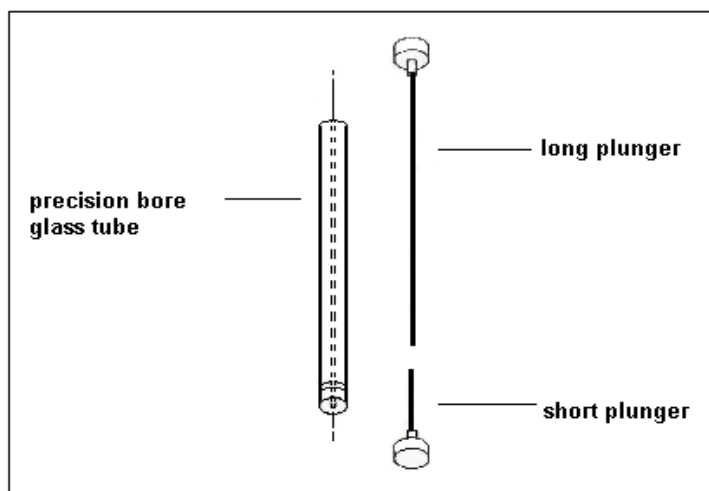


Figura 5.0: Pelletiser P3

Dopo una serie di prove di messa a punto si è riusciti a stabilire le migliori condizioni per l'analisi sia di campioni di legno che di sughero.

5.2.1 Py-GC/MS (legno)

I campioni esaminati provenivano da ambienti urbani (platano, leccio, magnolia) e da tavole commerciali (balsa, pioppo, noce) e sono stati analizzati nelle medesime condizioni operative:

Le condizioni di utilizzo sono le seguenti:

❖ Gas-cromatografo HP 5890:

- Gas di trasporto: elio
- Pressione in testa alla colonna: 100 kPa.
- Iniezione split.
- “Rapporto di splittaggio” 20:1.
- Temperatura iniettore: 280°C.
- Programma di temperatura del forno: 40°C per un minuto, gradiente di 6°C/min fino a 250°C mantenuti per 5 min.

• Pirolizzatore SGE:

- Gas di trasporto: elio.
- Pressione: 133 kPa.
- Quantità di campione: 1,5-2,0 mg.
- Temperatura della fornace: 500°C.

❖ Spettrometro di massa VG AutoSpec:

- (e) Sorgente ad impatto elettronico (EI) a 70 eV.
- (f) Temperatura della sorgente: 180°C.
- (g) Frequenza di scansione: 2 scansione/secondo.
- (h) Intervallo di massa: 50-500 u.m.a.
- (i) Acquisizione in corrente ionica totale (TIC).

5.2.2 Py-GC/MS (sughero)

I campioni di corteccia sono stati analizzati in condizioni operative analoghe a quelle utilizzate per i campioni legnosi. L'unica differenza si riscontra nella temperatura finale del programma di temperatura del forno che è stata aumentata fino a 280°C.

L'analisi dei risultati è basata sull'individuazione di picchi caratteristici nei pirogrammi dei

campioni e nell'assegnazione di una struttura chimica ad ogni picco. Si è proceduto quindi all'interpretazione degli spettri di massa con l'ausilio della biblioteca digitale (NIST 1992) e con dati presenti in letteratura. In alcuni casi è stato necessario ricorrere ad una identificazione dell'analita basandosi su meccanismi di frammentazione, anch'essi descritti in letteratura. Sono stati ignorati i picchi attribuibili ad impurezze o la cui assegnazione era così incerta da non renderli significativi ai fini dell'identificazione dei campioni.

Il confronto quantitativo dei profili pirolitici (figura 5.1) è stato basato sulle aree percentuali dei picchi rispetto all'integrale totale dei componenti identificati. Inoltre per tutti i campioni è stato calcolato il rapporto *S/G* tra la somma delle quantità relative (aree percentuali) dei composti derivati del siringolo e la somma di quelle dei composti derivati del guaiacolo presenti nei prodotti di pirolisi.

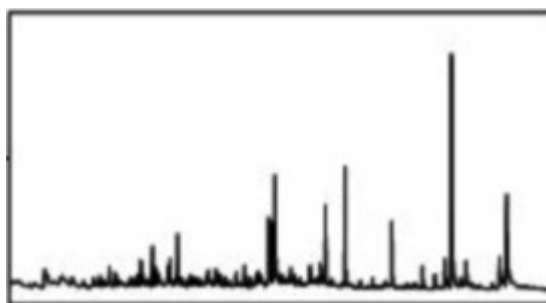
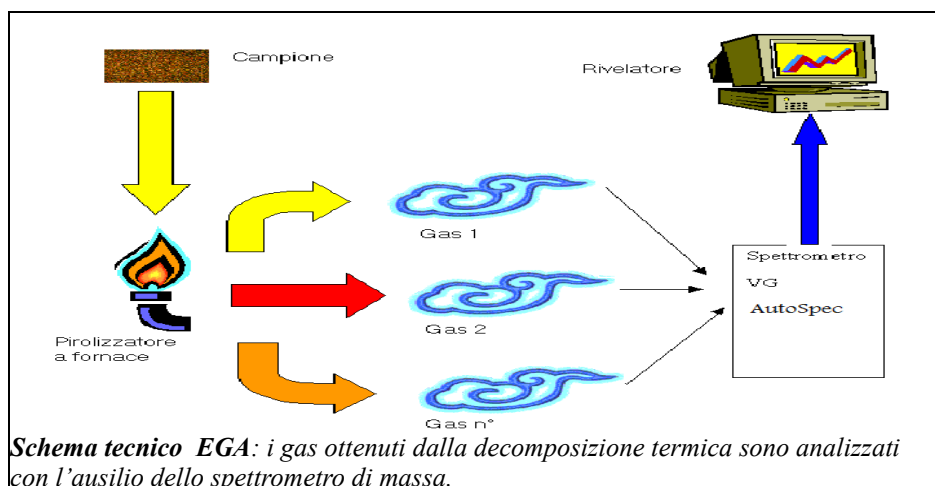


Figura 5.1: pirogramma ottenuto con la tecnica Py-GC/MS

I dati ottenuti, calcolando le aree relative dei picchi identificati, sono stati elaborati mediante “Cluster analysis” (CA) e “Analisi delle componenti principali” (PCA) utilizzando rispettivamente i programmi “S-PLUS 2000” e “R package” versione 4.0 sviluppato da Philippe Casgrain e Pierre Legendre. – Dipartimento di Scienze biologiche, Università di Montreal .

<http://www.fas.umontreal.ca/BIOL/legendre/>.

5.3 Analisi dei gas svolti (TPPy-GC/MS)



5.3.1 TPPy-GC/MS: condizioni operative

L'analisi dei gas svolti è stata effettuata per i campioni di interesse urbano-ambientale e commerciale.

L'apparecchiatura è costituita dalla stessa strumentazione utilizzata per la Py-GC/MS, alla quale sono state apportate alcune modifiche sostanziali. Essa era così composta: pirolizzatore a fornace modificato, rendendolo programmabile; gascromatografo HP 5890, nel quale sono state alloggiate due valvole campionatrici a sei vie, una colonna separativa e un tubo capillare di trasferimento ("trasfer line"); spettrometro di massa magnetico ad alta risoluzione (VG AutoSpec), sorgente ad impatto elettronico (EI) 70 eV.

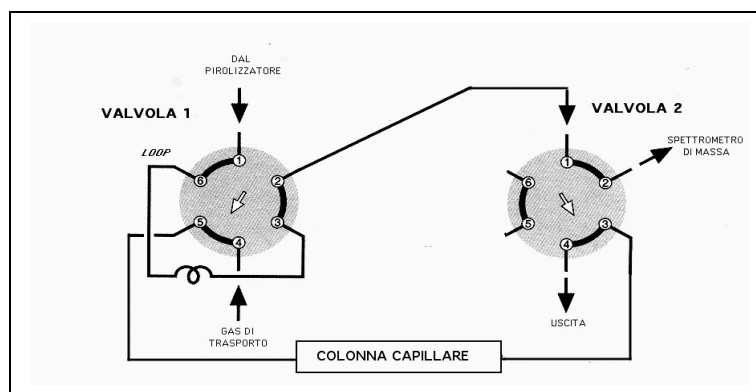


Figura 5.2: schema del sistema pneumatico costituito da due valvole VICI a sei vie per il campionamento dei gas in continuo.

La presenza delle valvole permette di usare l'apparecchiatura secondo due diverse modalità che forniscono due tipi di informazione:

Modalità TPPy-MS (figura 5.2): i prodotti di degradazione che si formano all'aumentare della temperatura sono costantemente inviati, attraverso il “trasfer line” mantenuto a 280°C, alla sorgente dello spettrometro di massa. Al termine della scansione, si ottiene un grafico che riporta in ascisse il tempo di scansione e la temperatura corrispondente ed in ordinata l'intensità del segnale (TIC) dipendente dalla quantità di prodotti volatili formatisi ad ogni determinata temperatura.

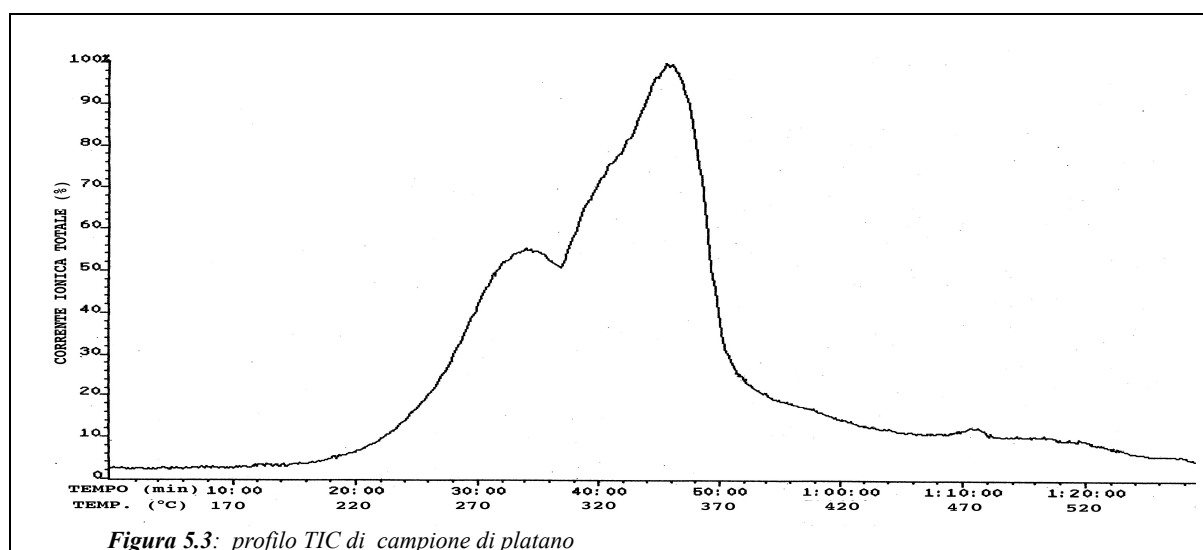


Figura 5.3: profilo TIC di campione di platano

Ad ogni punto della curva TIC corrisponde uno spettro di massa i cui frammenti sono riconducibili alle strutture molecolari presenti nella miscela gassosa a quella data temperatura (figura 5.3). Si può in teoria risalire, dallo spettro di massa, alla composizione della miscela gassosa, anche se, nella pratica, la sovrapposizione di segnali di diverse specie presenti contemporaneamente rende possibile l'identificazione solo in casi di particolare semplicità. (figura 5.3).

Pochi milligrammi (1.5-2.0 mg) di campione di legno macinato sono stati introdotti, con le stesse modalità seguite per la pirolisi, nel pirolizzatore a fornace. In questo caso, però la camera di decomposizione è inizialmente mantenuta a temperature più basse per poi essere riscaldata secondo un gradiente di temperatura prestabilito (Zerioush *et al.*, 1995).

Le condizioni operative, nel campionamento in continuo, sono di seguito descritte:

(j) Pirolizzatore:

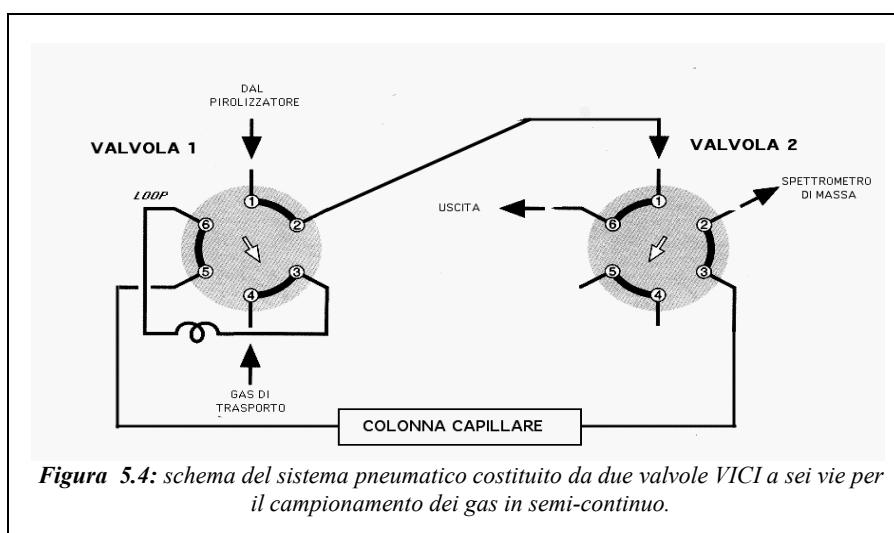
- ❖ Gas di trasporto: elio
- ❖ Pressione = 133 kPa.
- ❖ Programma di temperatura della fornace: gradiente lineare di 5°C/min da 120 a 620°C.

▪ Spettrometro di massa VG AutoSpec:

- Sorgente ad impatto elettronico (EI) a 70 eV.
- Temperatura della sorgente: 180°C.
- Frequenza di scansione: 2 scansioni/secondo.
- Intervallo di massa: 50-500 u.m.a.
- Acquisizione in corrente ionica totale (TIC).

Il pirolizzatore a fornace (figura 4.1.) è collegato, per mezzo di un tubo di trasferimento in silice fusa disattivata (5m x 0.32mm ID) mantenuto a 280°C, allo spettrometro di massa.

Modalità TPPy-GC/MS (figura 5.4): la seconda configurazione del sistema pneumatico ci consente di prelevare i gas prodotti ad una determinate temperatura ed inviarli ad una colonna separativa per avere un migliore e più facile interpretazione dei gas prodotti.



Ottenendo così un profilo caratterizzato dalla presenza di due finestre di “campionamento” (figura 5.5), caratteristiche dei gas analizzati alle temperature prescelte di campionamento.

Con questa metodica di analisi sono state utilizzate due tipi di colonne per effettuare la separazione cromatografica. Una colonna utilizzata è stata la BPX5 (30m x 0.25mm ID, spessore film 0.25 μ) per analizzare i composti semivolatili (fenoli) prodotti dai processi di degradazione termica. L'altra colonna capillare utilizzata è una speciale colonna di separazione per analisi contemporanea di gas permanenti e vapori prodotti dalla degradazione termica (Varian select permanent gases/ CO_2 MolSieve Porabond Q in parallelo).

Lo scopo dell'indagine è stato quello di mettere in evidenza, che campioni di legno con diverso grado d'infezione fungina, mostrano differenti comportamenti quando sottoposti a degradazione termica.

Tale metodica è stata utilizzata sia per l'analisi dei composti semivolatili e di gas leggeri prodotti alle temperature di massima produzione di gas.

Durante queste analisi le condizioni sperimentali rimangono le stesse per il pirolizzatore, ma variano per il sistema GC/MS. Sia per l'analisi dei composti semivolatili, sia per analisi dei gas leggeri, perché nell'analisi delle due frazioni si utilizzano anche due diversi tipi di colonne cromatografiche.

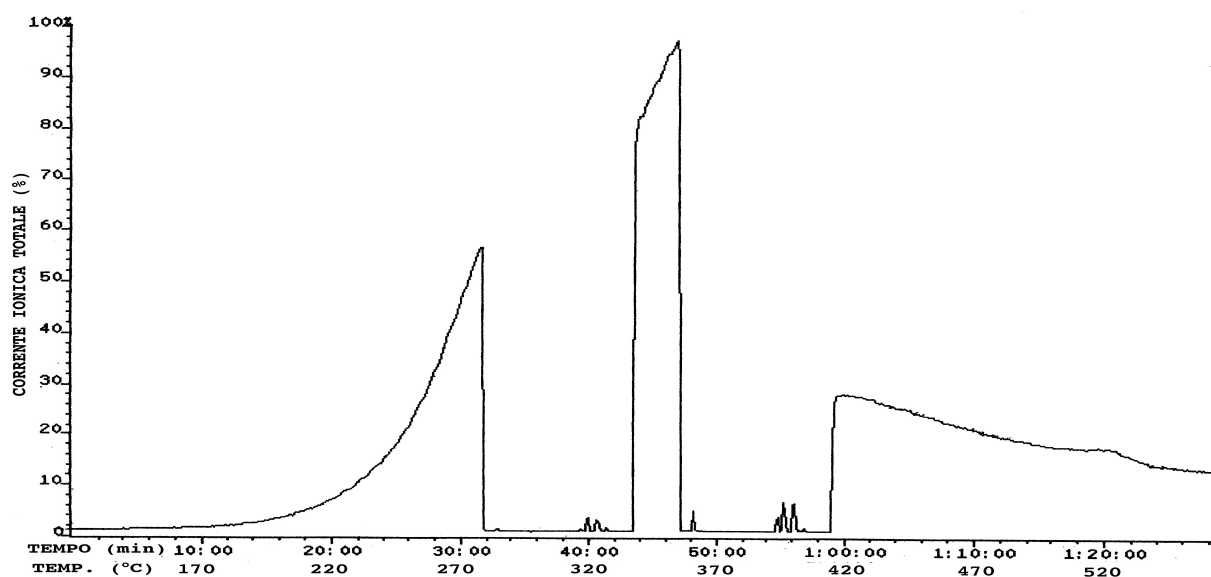


Figura 5.5: profili tic con campionamento semi-continuo

Al termine della scansione, si ottiene un grafico che riporta in ascisse il tempo di scansione e la temperatura corrispondente ed in ordinata l'intensità del segnale (TIC) dipendente dalla quantità di prodotti volatili formati ad ogni determinata temperatura.

Ad ogni punto della curva TIC corrisponde uno spettro di massa i cui frammenti sono riconducibili alle strutture molecolari presenti nella miscela gassosa a quella data temperatura (figura 5.3). Si può in teoria risalire, dallo spettro di massa, alla composizione della miscela gassosa, anche se, nella pratica, la sovrapposizione di segnali di diverse specie presenti contemporaneamente rende possibile l'identificazione solo in casi di particolare semplicità.

♦ Condizioni operative (fenoli):

- Colonna capillare:
 - × SGE BPX 5 (30 m x 0,25 mm i.d.)
- Programma GC:
 - × 120°C (2 minuti), salita fino a 220°C seguendo una rampa termica di 10°C/min.
- Intervallo di massa:
 - × 60-300 u.m.a

♦ Condizioni operative (gas leggeri):

- Colonna capillare:
 - × Varian select permanent gases/CO₂ (Molsieve e Porabond Q in parallelo)
- Programma GC:
 - × isoterma a 105°C
- intervallo di massa:
 - × 11-110 u.m.a.

Capitolo 6

Risultati e Discussioni

6.1 Py-GC/MS (legno)

Il metodo della pirolisi accoppiato alla GC/MS ci ha fornito informazioni utili a caratterizzare il legno di platano soggetto a biodegradazione fungina.

La figura 6.0 mostra un tipico pirogramma, ottenuto effettuando la pirolisi a 500°C. Il pirogramma è costituito da una gran quantità di picchi alcuni dei quali parzialmente risolti; si possono, comunque, inizialmente distinguere due zone principali nelle quali sono presenti i picchi corrispondenti rispettivamente ai prodotti di pirolisi provenienti da cellulosa ed emicellulosa (carboidrati) e a quelli provenienti da lignina (Terron *et al.*, 1995; del Rio *et al.*, 2001; Yokoi *et al.*, 1999).

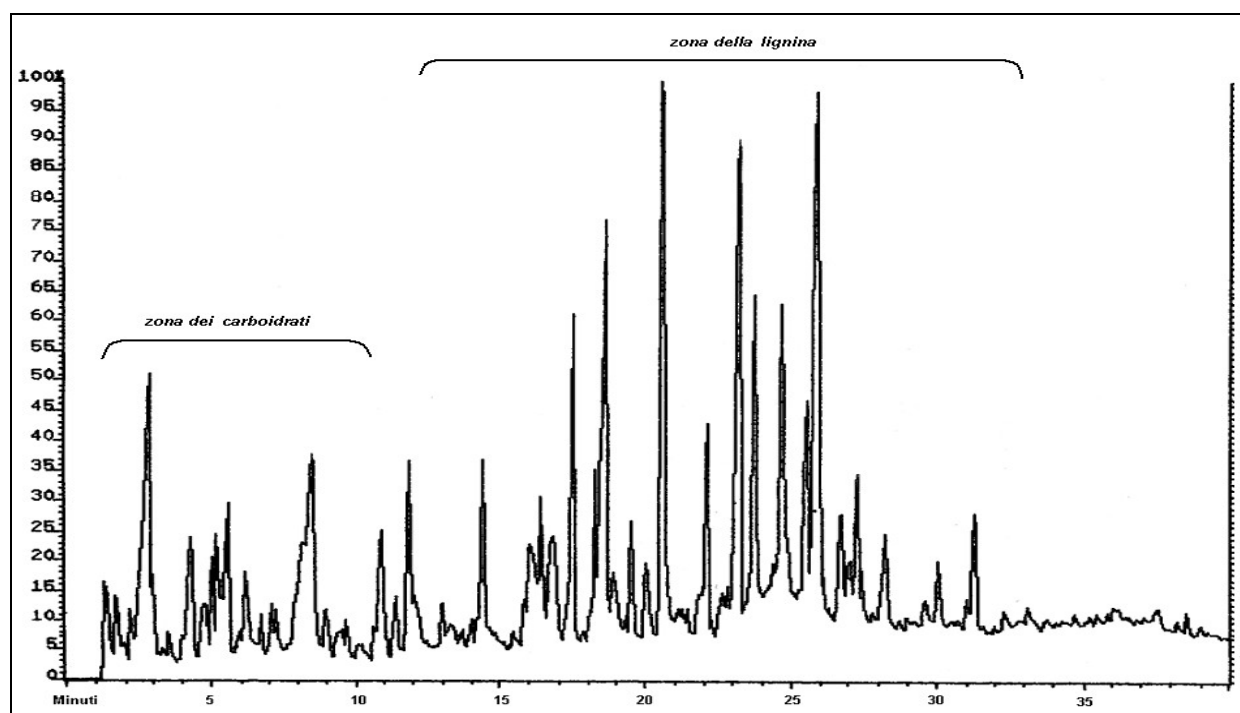


Figura 6.0. Pirogramma di platano ottenuto a 500°C, suddiviso in due zone: carboidrati e lignina

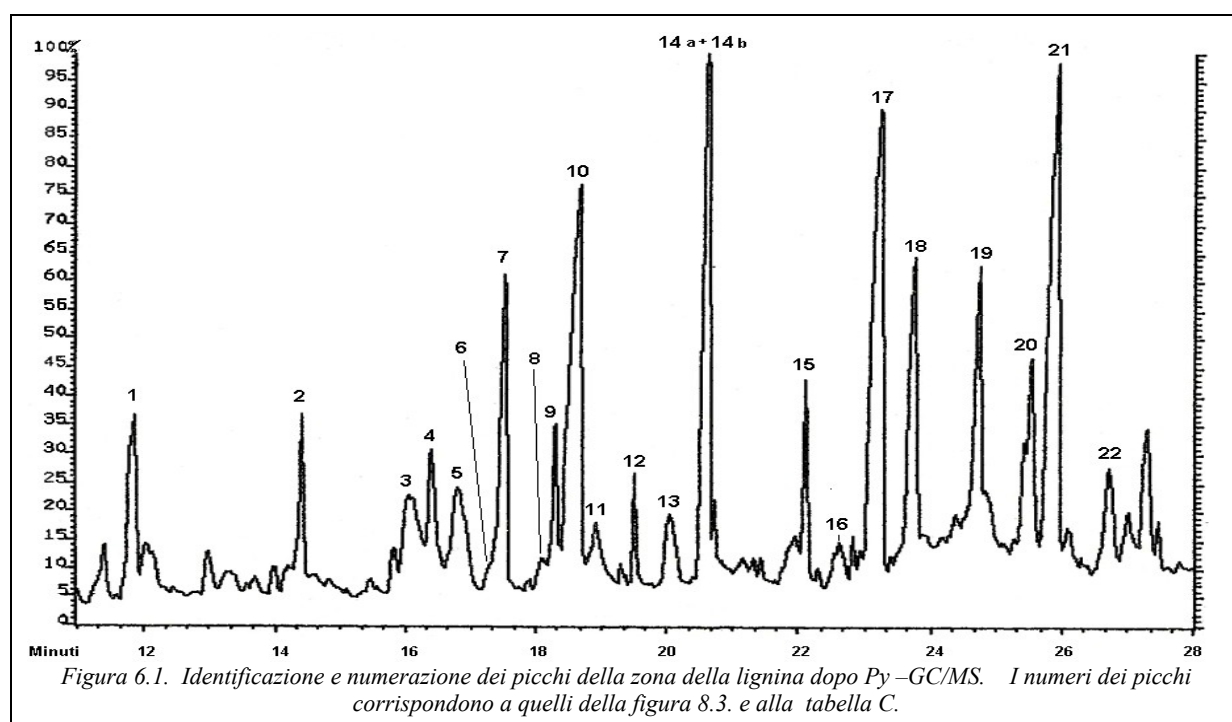
La nostra attenzione si è concentrata sui composti derivanti dalla lignina: mediante l'uso della biblioteca di spettri (NIST) e mediante studi di frammentografia, sono stati identificati 23 prodotti di pirolisi (figg. 6.0 e 6.1).

Tutti i pirogrammi effettuati sui campioni provenienti dalle tre specie arboree di interesse urbano-ambientale mostrano per lo più la presenza degli stessi picchi con intensità relative a

volte molto diverse. Risulta, però, impossibile trovare una correlazione tra la composizione dei prodotti di pirolisi e il grado di degradazione fungina del legno. I prodotti di pirolisi della lignina possono essere distinti in derivati del siringolo (**S**) e derivati del guaiacolo (**G**) (fig 6.2.).

Questa distinzione è risultata molto utile per caratterizzare lignine provenienti da diversi tessuti vegetali, perché, al variare dei tessuti, tende a variare proprio il contenuto relativo in **G** e **S**. In particolare, il rapporto quantitativo tra la somma dei prodotti **S** e la somma dei prodotti **G** denominato **S/G**, viene utilizzato sia per chiarire la struttura della lignina stessa (Choi *et al.*, 2001; Yokoi *et al.*, 1999; Rodrigues *et al.*, 1998 e 2000; Reale *et al.*, 2004), sia per mettere in evidenza variazioni strutturali della lignina provocate da diversi fattori degradativi (Martinez *et al.*, 2001; Terron *et al.*, 1995; del Rio *et al.*, 2001, 2002 e 2003; Camarero *et al.*, 2001).

E' stata effettuata, quindi, un'indagine semiquantitativa calcolando le aree dei picchi dei derivati fenolici di tipo **S** e **G** di ciascun pirogramma e normalizzando questi valori in modo da ottenere per ognuno dei picchi la corrispondente "area relativa". Con le aree relative ricavate si è realizzata una tabella (tabella 2) dove sono riportati anche i rapporti **S/G**, ottenuti per ciascun pirogramma.



Esaminando la tabella (tab 2) si vede come per ciascun campione, si evidenzia una netta tendenza del rapporto **S/G** a diminuire all'interno di ogni singola rotella all'aumentare del grado di infezione fungina.

Una diminuzione del rapporto **S/G** viene già osservata in zone dove ha luogo una parziale

biodegradazione fungina (zona di transizione). Quindi, si può notare che tra la zona sana è quella più o meno malata si ha una diminuzione del rapporto *S/G* compresa tra il 30 e il 20%. Simili corrispondenze tra *S/G* e il livello di biodegradazione sono state osservate anche in altri lavori effettuati mediante depolimerizzazione alcalina con CuO, di lignina derivata da materiale lignocellulosico degradato da differenti funghi a carie bianca (white-rot) (del Rio *et al.*, 2001 e 2002; Martinez *et al.*, 2001)

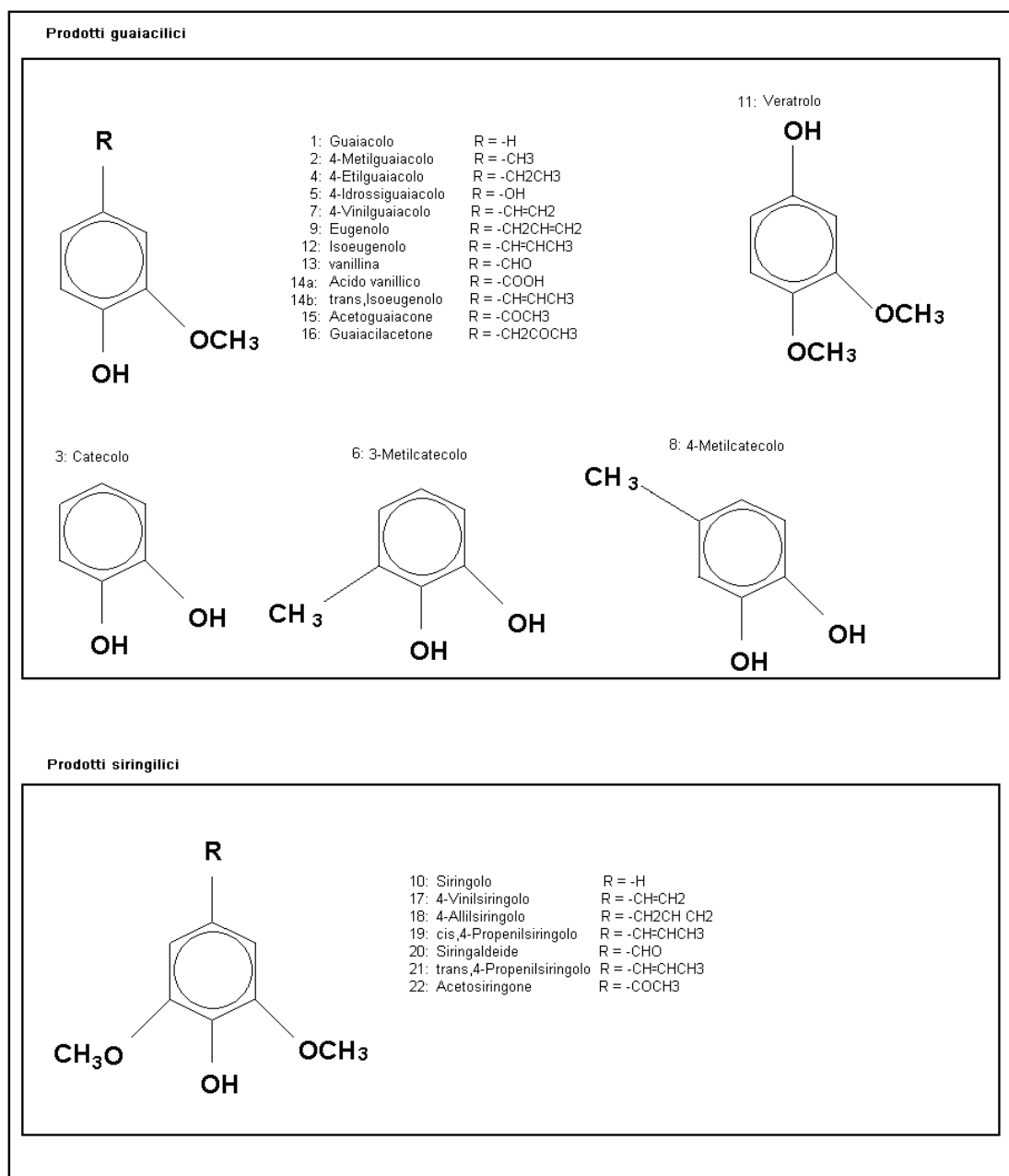


Figura 6.2: formule strutturali identificate per i differenti composti aromatici formati per Py-GC/MS e raggruppati in prodotti G e S.

La diminuzione del rapporto *S/G* in funzione dell'aumento della biodegradazione è causata principalmente dalla più favorevole rimozione, da parte dell'agente patogeno, di derivati del

siringolo (**S**) rispetto ai derivati del guaiacolo (**G**); questo comportamento è attribuibile al più basso potenziale redox di unità **S** nelle quali la presenza di un secondo gruppo metossile donatore di elettroni in posizione C5 provoca un aumento della densità elettronica sull'anello aromatico. Inoltre la maggiore degradazione fungina del gruppo **S** è dovuta anche al più basso grado di condensazione di queste unità, perché la presenza del gruppo metossile in posizione C5 impedisce la formazione di legami 5-5' con altre unità fenoliche. Al contrario, i derivati fenolici di tipo **G** sono più recalcitranti nei confronti della biodegradazione fungina, perché essi mostrano sia un più alto potenziale redox che un maggior grado di condensazione (Martinez *et al.* 2001).

<i>Specie</i>	Platanus acerifolia			Quercus ilex			Magnolia grandiflora		
<i>Grado d'infezione</i>	Sano	Zona di trans.	Fungo	Sano	Zona di trans.	Fungo	Sano	Zona di trans.	Fungo
Ratio S/G	1,59	1,34	1,11	2,66	2,13	1,52	2,13	2	1,9

tabella 2: rapporto S/G per ciascun campione trattato

Tra i metodi di studio della lignina basati sull'analisi dei suoi prodotti di depolimerizzazione, la Py-GC/MS offre qualche vantaggio rispetto ai metodi chimici (ad es. degradazione alcalina). Essa, infatti, genera una più estesa rottura dei legami eteri C-O-C rispetto ai legami C-C tra due anelli aromatici e produce, quindi, un maggior numero di singole unità. In tal modo è possibile caratterizzare con maggior precisione la struttura di partenza della lignina ed anche eventuali modificazioni biologiche che essa può aver subito (Martinez *et al.*, 2001).

Considerando i pirogrammi ottenuti dalla pirolisi dei tre campioni di legno sano proveniente da specie di interesse commerciale, è possibile identificare 31 fenoli di cui 14 derivati del siringolo (**S**) e 17 derivati del guaiacolo (**G**) (tabella 3).

Anche per questi campioni sono stati calcolati i rapporti S/G con il medesimo procedimento. I valori calcolati per tutti i 6 campioni (urbanistico-ambientali e commerciali) sono riportati nella tabella 4. Tale rapporto ci consente di caratterizzare e classificare le diverse specie prese in esame.

Derivati del guaiacolo				Derivati del siringolo			
n.	tipo	formula bruta	mw	n.	tipo	formula bruta	mw
1	G	C ₇ H ₈ O ₂ (=G)	124	1	S	C ₈ H ₁₀ O ₃ (=S)	154
2	G	G-CH ₃	138	2	S	S-CH ₃	168
3	G	G-CH ₂ CH=CH ₂	164	3	S	S-CH ₂ CH ₃	182
4	G	G-CH ₂ CH ₃	152	4	S	S-CH=CH ₂	180
5	G	G-OH	140	5	S	S-CH ₂ CH=CH ₂	194
6	G	G-CH=CH ₂	150	6	S	S-CH ₂ CH ₂ CH ₃	196
7	G	G-CH=CHCH ₃ (E)	164	7	S	S-CH=CHCH ₃ (Z)	194
8	G	G-CH ₂ CH ₂ CH ₃	166	8	S	S-(CO)H	182
9	G	G-CH=CHCH ₃ (Z)	164	9	S	S-CH=CHCH ₃ (E)	194
10	G	G-(CO)H	152	10	S	S-(CO)CH ₃	196
11	G	G-CH ₂ CH=CH ₂	164	11	S	S-CH ₂ (CO)H	196
12	G	G-(CO)CH ₃	166	12	S	S-CH ₂ (CO)CH ₃	210
13	G	G-CH ₂ (CO)H	166	13	S	S-(CO)CH ₂ CH ₃	210
14	G	G-(CO)CH ₂ CH ₃	180	14	S	S-CH=CH(CO)H	208
15	G	G-CH=CHCH ₂ OH(Z)	180				
16	G	G-CH=CHCH ₂ OH(E)	180				
17	G	G-CH ₂ CH ₂ (CO)H	180				

Tabella 3: prodotti di pirolisi identificati attraverso il metodo della Py-GC/MS dai 6 campioni analizzati.

	SPECIE					
	MAGNOLIA	PLATANO	LECCIO	BALSA	NOCE	PIOPPO
S/G ratio	2,13	1,59	2,66	3,06	1,73	1,52

Tabella 4: rapporto S/G delle 6 specie prese in esame

6.2 Py-GC/MS (corteccia)

Il metodo della pirolisi accoppiato alla GC/MS ci ha fornito informazioni utili per caratterizzare la molecola della suberina, quando presente, nei campioni di corteccia esaminati. Per il nostro studio questa tecnica si è rivelata vantaggiosa perché ci ha permesso di analizzare i campioni senza effettuare particolari trattamenti estrattivi che possono alterare la struttura del polimero, e che, in ogni caso, richiedono tempi di lavorazione più lunghi.

Poiché i campioni in esame provenivano da specie appartenenti a generi anche filogeneticamente molto distanti tra loro, è stato molto interessante il confronto tra i loro prodotti di pirolisi e la ricerca di analogie e differenze nella loro composizione.

La figura 6.4 mostra un tipico pirogramma di una specie sugherosa (*Quercus suber* L.), ottenuto effettuando la pirolisi a 500°C. Il pirogramma è costituito da una gran quantità di picchi alcuni dei quali parzialmente risolti; si possono, comunque, distinguere due zone principali nelle quali

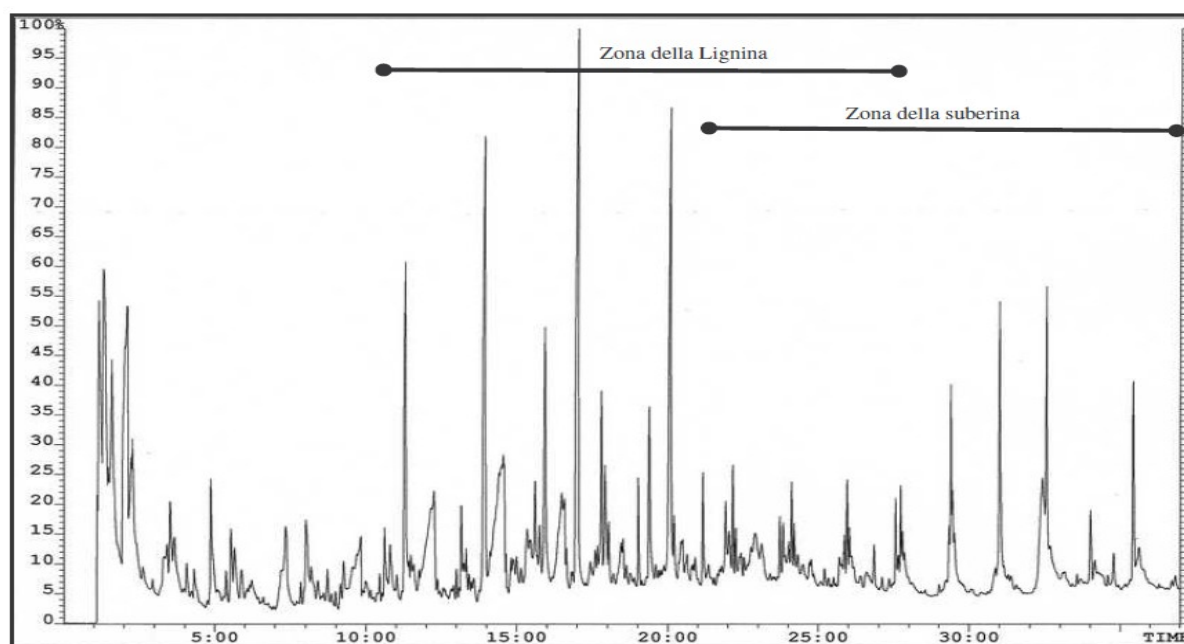


Figura 6.4. Pirogramma di corteccia di *Quercus suber* L. ottenuto a 500°C, suddiviso in due zone: lignina e suberina

sono presenti i picchi corrispondenti rispettivamente ai prodotti di pirolisi provenienti da lignina e quelli provenienti da suberina. Nella zona iniziale del pirogramma sono presenti i picchi derivanti da cellulosa ed emicellulosa (carboidrati) che però non sono diagnostici ai fini del nostro studio (Terron *et al.*, 1995; del Rio *et al.*, 2001; Yokoi *et al.*, 1999).

La nostra attenzione, come detto, si è rivolta sui prodotti derivanti dalla lignina e dalla suberina.

La figura 6.5 rappresenta un pirogramma di *Quercus suber* L. dove è stata evidenziata la zona della suberina. Mediante l'uso della biblioteca di spettri (NIST) e mediante studi di frammentografia, sono stati identificati 9 prodotti di pirolisi appartenenti alla classe degli idrocarburi monoinsaturi che rappresentano una serie omologa che va da 16 a 24 atomi di carbonio.

La presenza di questi composti, la cui intensità si è rivelata essere piuttosto variabile tra le specie sugherose, rappresenta una chiara indicazione della presenza, nel campione in esame, della suberina, la cui struttura, come spiegato nel capitolo 2.4, è caratterizzata da un dominio ligninico e da uno idrocarburico.

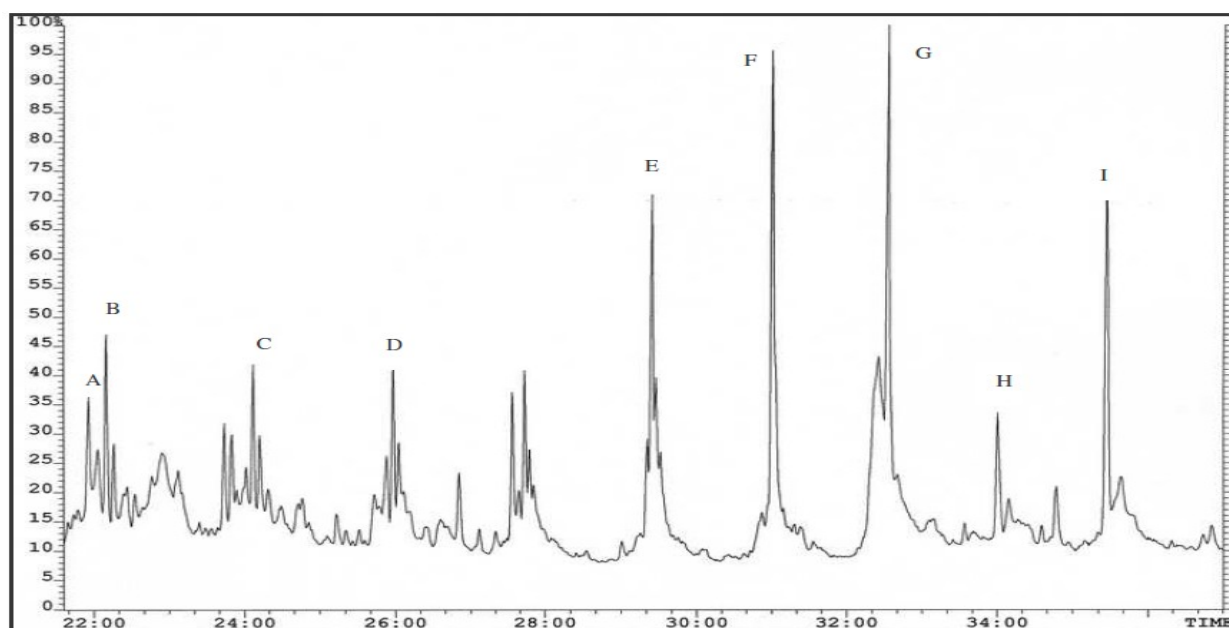


Figura 6.5: Identificazione e numerazione dei picchi della zona della suberina dopo Py–GC/MS. I numeri dei picchi corrispondono a quelli della tabella numero 1.

Una volta identificati i picchi corrispondenti agli idrocarburi si è proceduto al calcolo delle loro aree, normalizzando questi valori in modo da ottenere per ognuno dei picchi la corrispondente “area relativa”. Successivamente è stata realizzata la sommatoria di tutte le componenti idrocarburiche.

Sempre con la stessa procedura (NIST+frammentografia) sono stati identificati 23 prodotti di pirolisi (figura 6.6) presenti nella zona della lignina. Confrontando la zona della lignina dei programmi di tutte le specie analizzate, questi mostrano per lo più la presenza degli stessi picchi con intensità relative molto variabili.

E’ stata effettuata, quindi, un’indagine semiquantitativa calcolando le aree dei picchi dei derivati fenolici di tipo *S* e *G* di ciascun pirogramma e normalizzando questi valori in modo da ottenere per ognuno dei picchi la corrispondente “area relativa”.

Picco	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Formula Bruta	C16H32	C17H34	C18H36	C19H38	C20H40	C21H42	C22H44	C23H46	C24H48
P. Molecolare	224	238	252	266	280	294	308	322	336

Tabella 5: Tabella rappresentante i picchi della zona della suberina, con relativo peso molecolare e formula bruta

Con le aree relative ricavate abbiamo realizzato una tabella (tabella 6) dove sono riportati: i rapporti *S/G* di tutte e 22 le specie, le quantità relative di idrocarburi e la loro sommatoria, il rapporto $\Sigma_{idroc.}/\Sigma(S+G)$ che mette in relazione la componente idrocarburica con quella ligninica.

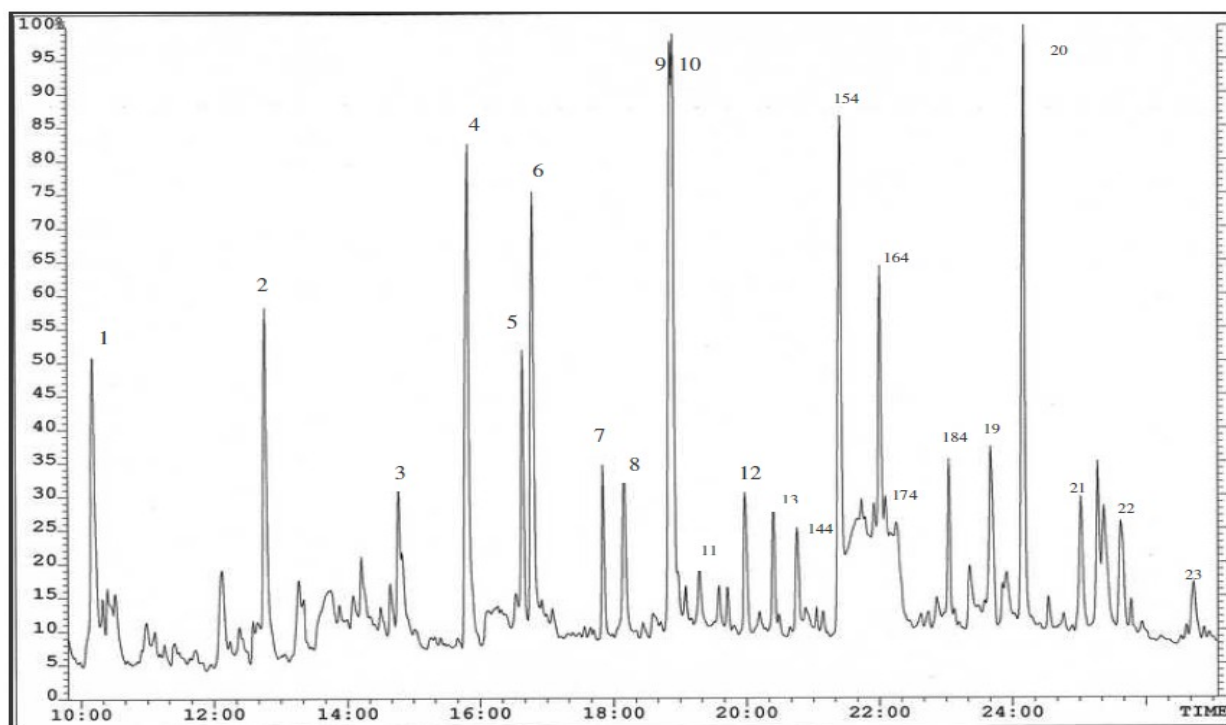


Figura 6.6.: Identificazione e numerazione dei picchi della zona della lignina dopo Py-GC/MS. I numeri dei picchi corrispondono a quelli della tabella sottostante

Specie	Ratio S/G	Σ idroc.	Σ idroc./ Σ (S+G)
Sughera	0,03	98,77	0,27
Crenata	0,16	63,52	0,21
Cerro	0,53	31,66	0,05
Roverella	0,36	11,22	0,02
Olmo	0,11	14,14	0,03
Assemini	0,15	81,44	0,2
Gambarrussa	0,23	125,71	0,26
Mongolica	0,77	X	0
Serrata	0,13	6,76	0,02
Aliena	0,08	X	0
Variabilis	0,07	34,92	0,11
Acutissima	0,15	3,85	0,01
Q. robur	0,53	10,8	0,02
Fontanesii	0,47	87,5	0,15
Betulla sp	0,7	6,53	0,01
A.campestre	0,52	38,66	0,05
Castagno	0,53	X	0
Sambuco	0,33	X	0
Leccio	0,69	X	0
Celtis australis	0,84	86,39	0,14
Phellodendron	0,32	224,62	0,38
Faggio	1,16	X	0

Tabella 6: 22 specie analizzate e relativi risultati ottenuti.

Osservando i valori della Σ idroc. si nota che quelli più elevati si riscontrano in cortecce che appaiono molto spesse e leggere, come il sughero. Questo si verifica per le specie sughera,

assemmini, gambarussa, tutte querce da sughero, e per le specie fontanesii e crenata che sono molto vicine alla quercia da sughero.

Valori altrettanto elevati si riscontrano in specie non europee che sono note per produrre grandi quantità di sughero, come *Phellodendron chinense* (“l'albero del sughero asiatico”) e *Celtis australis* appartenente alla famiglia delle *Ulmacee*. Valori intermedi di ***Σidro.*** si riscontrano in altre querce che notoriamente non producono sughero o ne producono in piccole quantità, come cerro, roverella, *variabilis* (una quercia coreana) e in specie non appartenenti al genere *Quercus*, ma che mostrano una corteccia suberosa come olmo e *Acerus campestris*. Infine, valori bassi o non determinabili sono associati a cortecce che non presentano alcuna caratteristica del sughero. Per quanto riguarda i valori dei rapporti ***S/G*** si può riscontrare una certa correlazione tra un valore alto di ***S/G*** e assenza di idrocarburi, il faggio (*Fagus sylvatica* L.) ad esempio ha il valore più alto di ***S/G*** e non possiede alcun prodotto di pirolisi riconducibile ad idrocarburi. La sughera, che è la specie più ricca di picchi nella zona della suberina, ha il valore di ***S/G*** più basso: appena 0,03. La crenata, pur avendo una corteccia suberosa conserva un valore di ***S/G*** piuttosto elevato che potrebbe essere spiegato dalla natura stessa della specie, ibrido tra *Q.suber* e *Q. cerris*, la cui corteccia può variare da molto suberosa a poco suberosa a seconda dell'individuo e della zona di provenienza.

6.3 Analisi dei gas svolti (TPPy-GC/MS)

Le analisi dei gas svolti (EGA) eseguite secondo la tecnica della pirolisi a temperatura programmata/spettrometria di massa (TPPy/MS) sono state effettuate sui campioni di legno di interesse ambientale-urbano e commerciale. Riguardo quelli di interesse urbano, le indagini hanno fornito risultati preliminari utili per differenziare il livello di degradazione fungina del legno. Per quanto riguarda, invece, i campioni di interesse commerciale sono state ottenute utili indicazioni per la caratterizzazione e l'individuazione della specie di provenienza. La figura 6.7 mostra, a titolo di esempio, l'andamento dei gas svolti durante la decomposizione termica di campioni di platano provenienti da una pianta colpita da carie fungina. In particolare, i grafici descrivono la variazione della corrente ionica totale registrata in funzione del gradiente termico. I profili EGA dei tre diversi campioni risultano sensibilmente differenti, soprattutto se si confrontano le temperature alle quali si verifica il massimo sviluppo di gas. Il campione di legno sano (fig. 6.7a) subisce la massima degradazione termica alla temperatura di 385°C, mentre, ben più basse sono le temperature degli altri due campioni più o meno attaccati da agenti fungini. Questi ultimi, infatti, subiscono decomposizione termica completa, rispettivamente a 328°C (Fig. 6.7b) e 305°C (Fig. 6.7c). Si può quindi ipotizzare l'esistenza di una correlazione inversa tra la temperatura di massima decomposizione termica e il grado di biodegradazione fungina. Nella figura 6.8 sono illustrati gli spettri di frammentazione riferiti alle zone di massimo sviluppo di gas (nelle zone di 385°, 328° e 305°C). Pur essendo piuttosto complessi, in quanto provenienti dalla frammentazione in impatto elettronico di miscele di composti, da un'attenta analisi dei picchi più intensi è possibile identificare quali siano i componenti più abbondanti in ogni miscela (tabella 7). Osservando lo spettro di massa del campione di durame sano (fig. 6.8a) e la relativa tabella 7 si nota che i segnali dei frammenti che hanno origine dalla lignina sono piuttosto intensi rispetto a quelli originati dai carboidrati. Nel caso degli altri due campioni (figg. 6.8b e 6.8c e relativa tabella 7), al contrario, i segnali più intensi sono dovuti a frammenti originati dai carboidrati, mentre quelli dei fenoli, derivanti dalla lignina, appaiono generalmente meno intensi. Da queste osservazioni si può dedurre che il contenuto di lignina diminuisce all'aumentare del tasso di degradazione del legno. E' interessante sottolineare che, mentre il campione di carie F appare visivamente colonizzato e quindi estremamente degradato, il campione FD, prelevato nella zona di separazione tra parte sana e parte completamente degradata, possiede ancora la compattezza e l'aspetto di un legno sano.

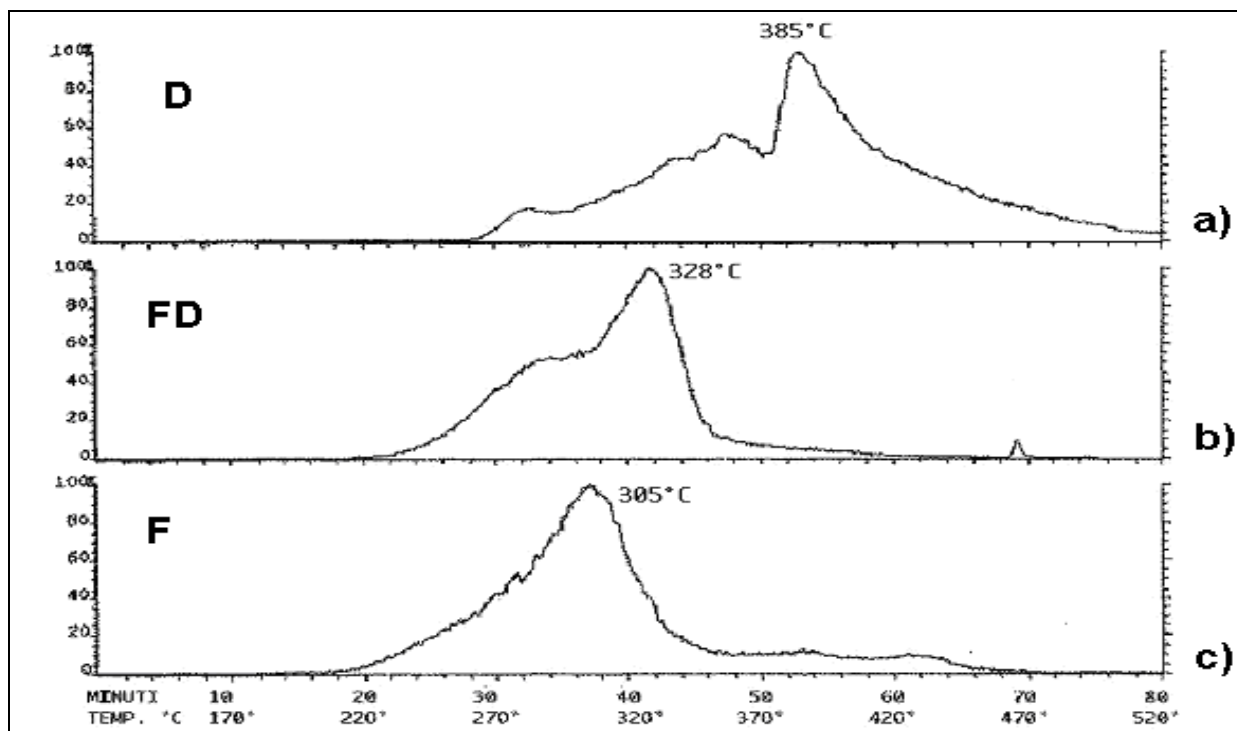


Figura 6.7.: Profilo EGA degli ioni totali ottenuti (a) dal durame sano D, (b) zona di separazione tra durame sano e durame colonizzato dal fungo FD (c) dal durame colonizzato dal fungo F.

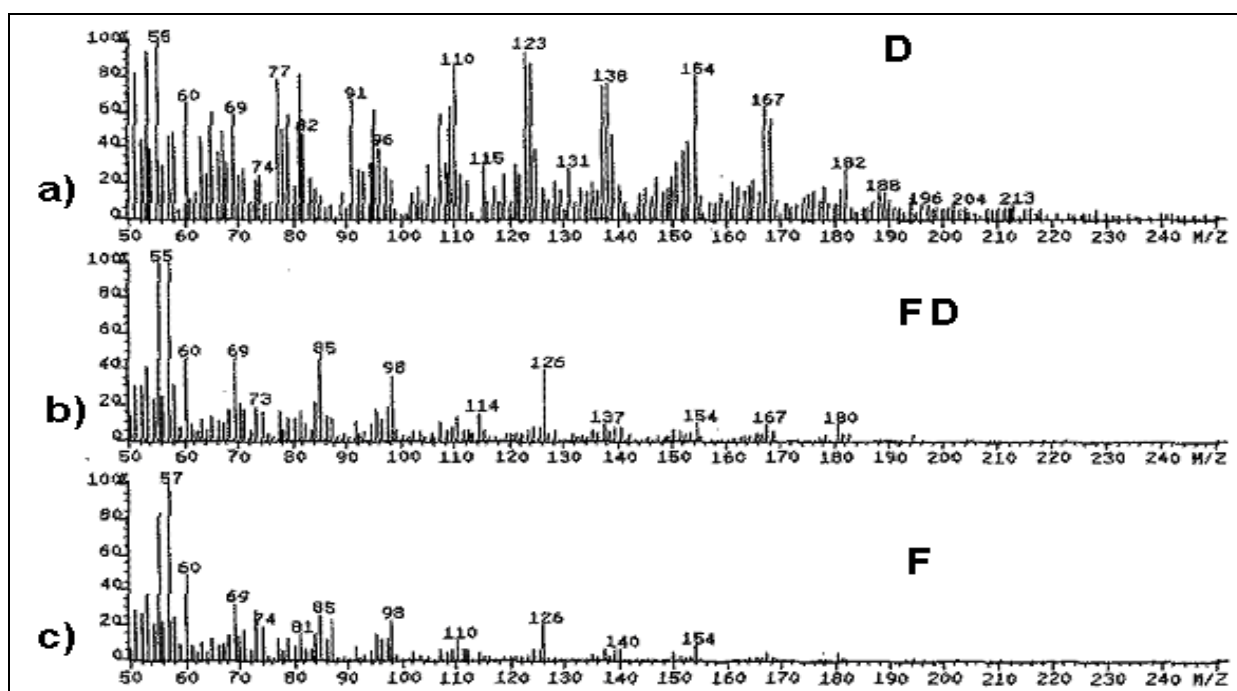


Figura 6.8.: Confronto degli spettri di frammentazione riferiti alle zone di massima decomposizione termica dei profili EGA (fig 7.1). a) zona a 385°C, b) zona a 328°C, c) zona a 305°C.

Da questi risultati si può quindi stabilire che:

- ❖ L'attacco fungino è attribuibile a basidiomiceti ligninolitici (a carie bianca).
- ❖ La biodegradazione da funghi, che come noto, produce instabilità meccanica, è correlabile anche ad una minore stabilità termica.

- ❖ Il campione FD pur risultando visivamente molto simile al campione di legno sano D, mostra, nella composizione chimica, evidenti differenze rispetto ad esso e qualche similitudine rispetto al campione di carie F.

MW	Nome	Origine	Intensità relative (%)		
			D	FD	F
60	Acido acetico	carb	65	45	50
77	ione fenilico	-	80	15	12
82	1,4-Pentadiene-3-one	carb	47	10	5
84	(2H)-Furan-3-one	carb	17	22	15
85	ione Tetraidrofuran-3-one	carb	13	48	25
86	Tetraidrofuran-3-one	carb	5	12	24
91	ione Tropilico	-	67	12	9
95	ione 2-Furaldeide	carb	62	19	16
96	2-Furaldeide	carb	40	12	12
98	2-Metil-2,3-diidrofuran-3-one	carb	22	37	25
110	Catecolo	G-lig	85	15	12
114	4-Idrossi-5,6-diidro-(2H)-piran-2-one	carb	5	15	5
123	ione Guaiacolo	G-lig	95	7	4
124	Guaiacolo	G-lig	88	8	7
126	5-Idrossimetil-2-furfuraldeide	carb	15	40	22
137	ioni 4-Etilguaiacolo	G-lig	75	10	5
138	4-Metilguaiacolo	G-lig	80	7	2
154	Siringolo	S-lig	82	12	10
167	ione 4-Metilsiringolo	S-lig	60	10	5
168	4-Metilsiringolo	S-lig	55	5	1
182	Siringaldeide	S-lig	27	4	1

Tabella 7. Intensità relative negli spettri di massa di differenti campioni in diversi stadi di degradazione. carb = carboidrati, G-lig = unità guaiaciliche della lignina, S-lig = unità siringiliche della lignina. D = durame sano, FD = zona di transizione tra D e F, F = durame colonizzato. I frammenti sono stati assegnati osservando i dati di letteratura Terron 1995, Izumi 1995 e del Rio 2001.

6.4 TPPY-GC/MS (gas leggeri)

Le analisi dei gas svolti (EGA) eseguite secondo la tecnica della TPPy accoppiata alla gascromatografia-spettrometria di massa sono state eseguite sui campioni di platano.

Utilizzando il sistema di valvole precedentemente illustrato è stato possibile ottenere sia una curva TIC continua ottenuta inviando i gas svolti direttamente e continuamente allo spettrometro di massa, sia una curva più complessa che presenta un andamento molto simile al

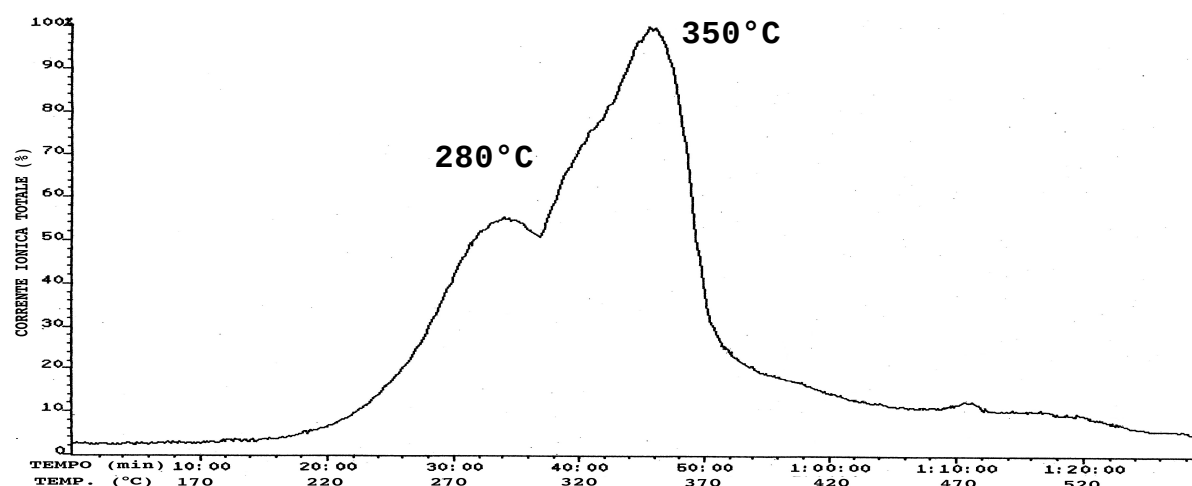


Figura 6.9: profilo TIC di un campione di platano fortemente attaccato da carie

precedente, ma con la presenza di due “finestre” di campionamento che mostrano i cromatogrammi ottenuti dalla separazione gascromatografica delle miscele gassose prelevate

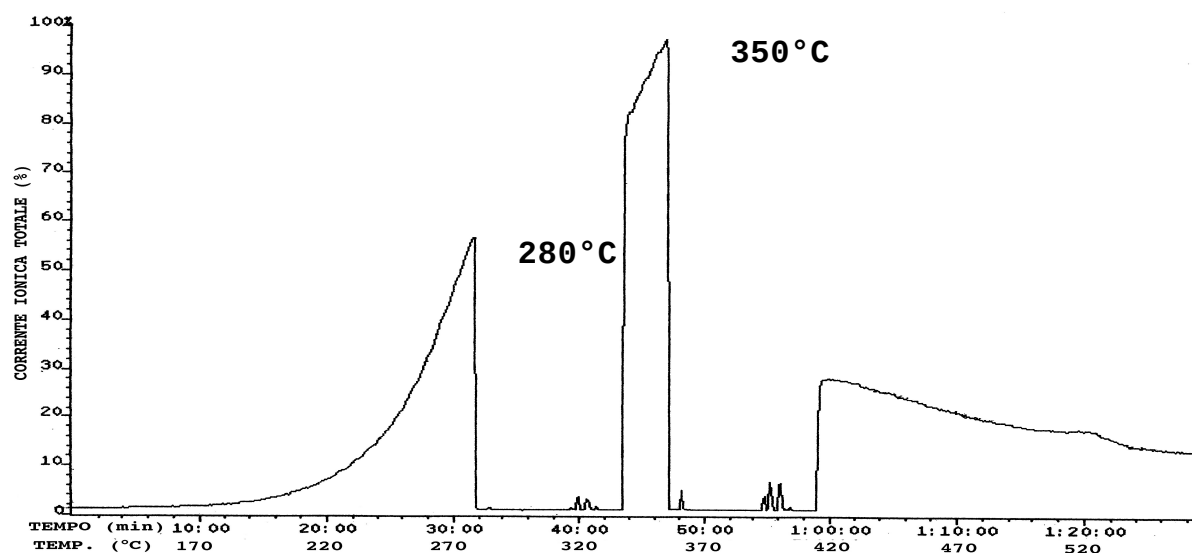


Figura 6.10: stesso profilo della figura 6.9 con caratteristiche finestre di campionamento.

alle temperature corrispondenti a massimi di produzione di gas. Le figure 6.9 mostrano un tipico profilo di un campione di platano fortemente degradato (fig 6.9) e lo stesso profilo ottenuto per

lo stesso campione, ma con le due finestre di campionamento (6.10).

I due cromatogrammi (fig 6.11).sono sempre ottenuti da analisi GC/MS e quindi è possibile identificare i picchi separati dalla colonna.

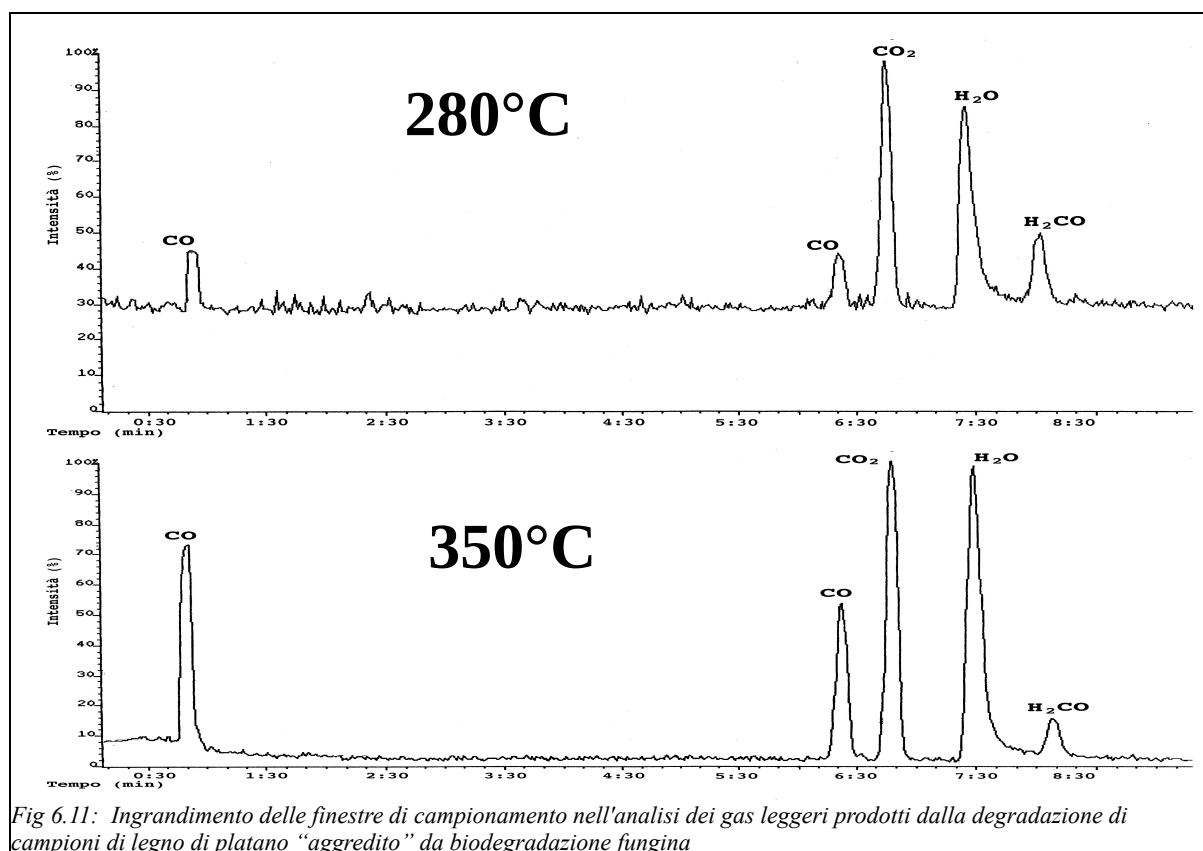


Fig 6.11: Ingrandimento delle finestre di campionamento nell'analisi dei gas leggeri prodotti dalla degradazione di campioni di legno di platano "agredito" da biodegradazione fungina

La presenza di due segnali attribuiti a CO è dovuta al fatto che la separazione viene effettuata mediante due colonne in parallelo contemporaneamente. (Varian select permanent gases/CO₂ - Molsieve e Porabond Q in parallelo). I tre campioni di platano a diverso livello di degradazione, D (sano), FD (zona di transizione), F (fungo) sono stati sottoposti a questo tipo di indagine per determinare la composizione delle miscele gassose prodotte a 280 e 350°C.

Da un esame dei dati (figura 9.5) si nota che i campioni D e FD presentano un andamento qualitativo molto simile tra loro: in particolare, in ambedue i campioni si ha una maggiore produzione di gas a 350°C piuttosto che a 280°C. Si noti, inoltre, come dalla degradazione termica del campione FD si formino piccole quantità di azoto dovuto probabilmente alla presenza di materiale proteico proveniente dal metabolismo del fungo.

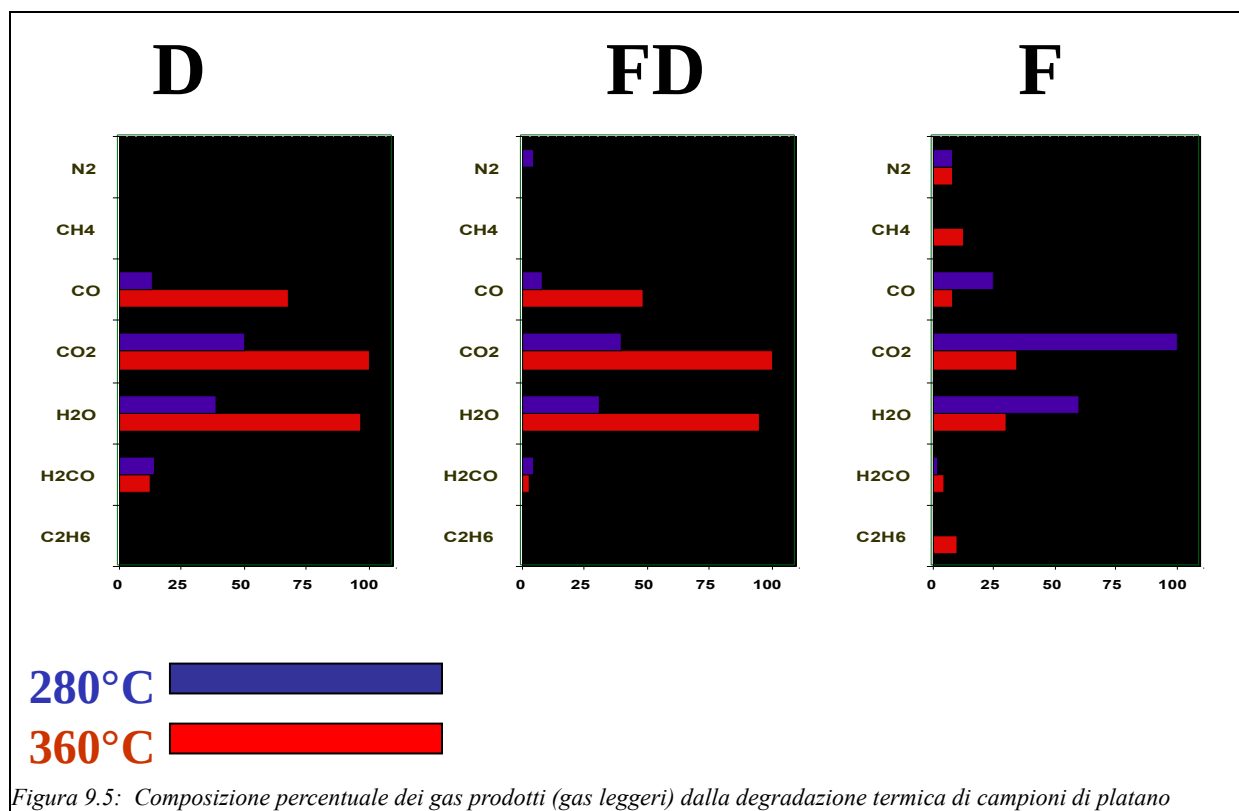


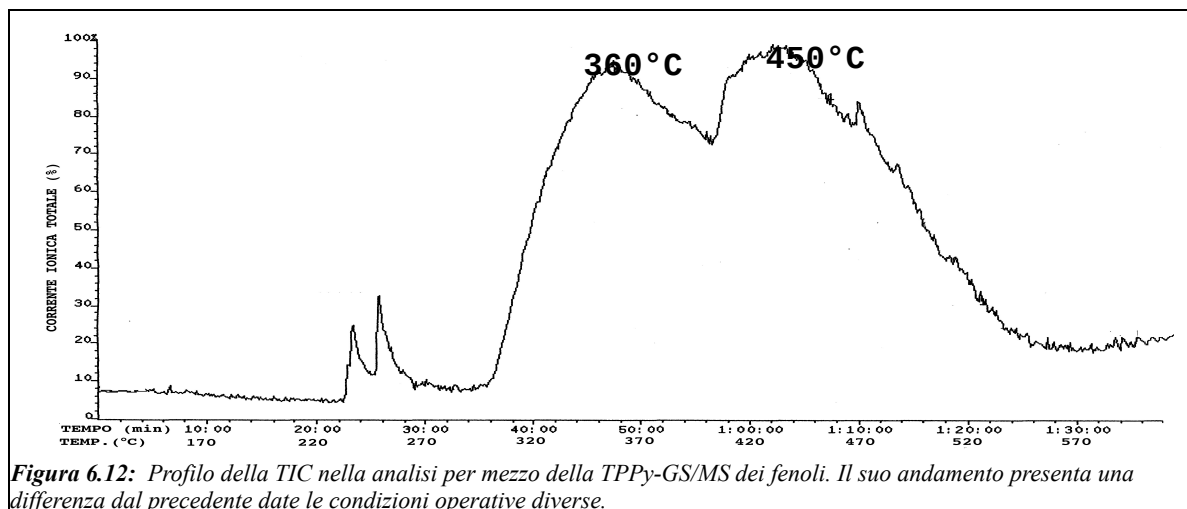
Figura 9.5: Composizione percentuale dei gas prodotti (gas leggeri) dalla degradazione termica di campioni di platano

Invece il campione F (legno degradato) mostra una grande produzione di gas già a 280°C in quanto caratterizzato da una minore capacità di resistere ai fenomeni termici.

Tra i prodotti di degradazione termica del campione F, soprattutto a temperature più alte, c'è anche la presenza di idrocarburi come metano (CH₄) ed etano (C₂H₆); questi composti rivelano la formazione di pece e si formano generalmente quando il campione ha subito una degradazione termica quasi completa.

6.5 TPPy-GC/MS (fenoli)

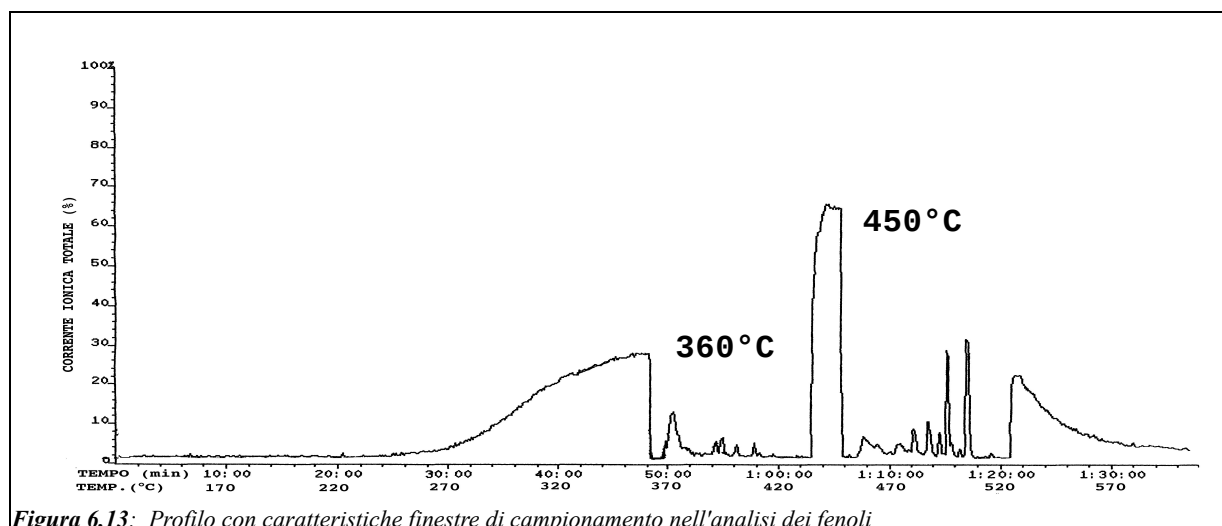
Gli stessi campioni (D, FD e F) sono stati sottoposti ad analisi TPPy-GC/MS utilizzando una colonna separativa adatta alla separazione di composti semivolatili.



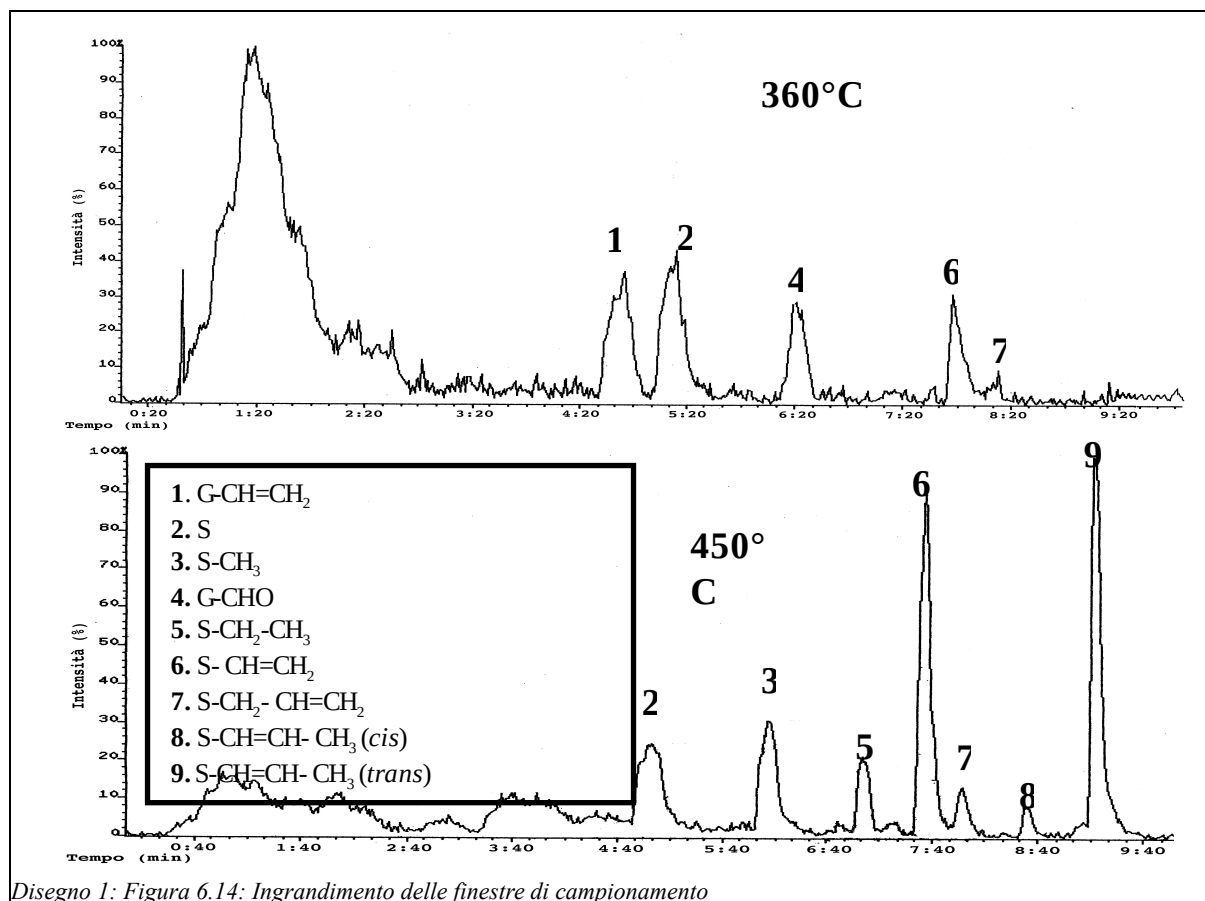
In tal modo si è voluto determinare la composizione delle miscele fenoliche prodotte dalla degradazione dei campioni, così da caratterizzare la struttura della lignina in essi contenuta.

In figura 6.12 è mostrato il profilo della corrente ionica totale prodotta in funzione della temperatura di degradazione, utilizzando le condizioni operative precedentemente illustrate.

Effettuando il campionamento dei gas prodotti alle temperature di 360°C e 450°C, ed inviandoli alla colonna separativa si otterrà il profilo con le due finestre di campionamento (fig 6.13).



Quindi, nelle due finestre avremo due profili GC/MS caratteristici dei gas prelevati alle temperature di massima produzione (fig 6.14.).



In questo caso, sono state determinate la composizioni percentuali delle miscele gassose sviluppate a 360 e 450°C (fig 6.15). Dopo un esame dei dati si possono fare le seguenti osservazioni:

- i campioni D, FD e F mostrano un graduale aumento della produzione di fenoli, alla temperatura di 360°C, in funzione del livello di degradazione.
- i fenoli con sostituzione S- prevalgono a temperature più' alte mentre quelli con sostituzione G- prevalgono a temperature più' basse.
- il campione F presenta scarsa produzione di fenoli a causa dell'elevato stato di degradazione della lignina.

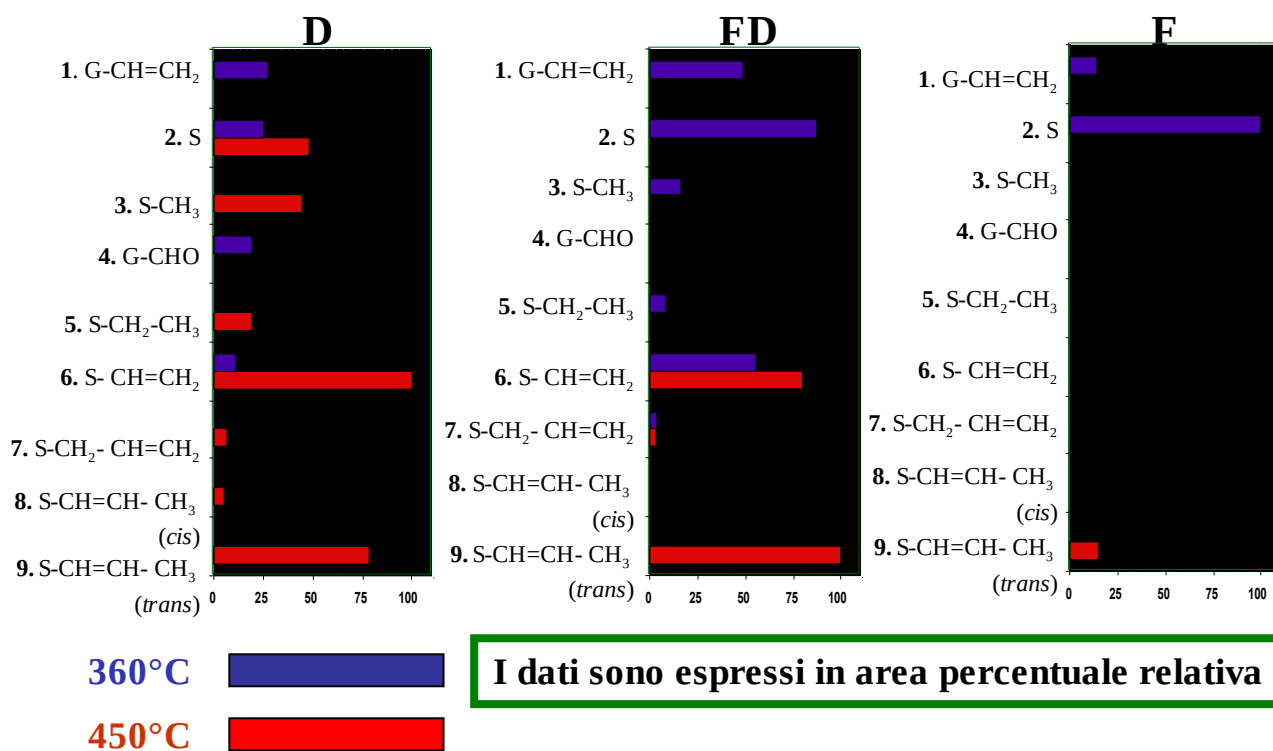


Figura 6.15: Composizione percentuale dei gas prodotti (fenoli) dalla degradazione termica di campioni di platano

6.6 Statistica

6.6.1 Analisi delle Componenti Principali (PCA) applicata a campioni di *Platanus acerifolia* colpito da infezione fungina.

L'analisi delle componenti principali (PCA) è stata eseguita sui valori delle aree relative dei vari campioni considerando tutti i 22 picchi identificati (tabella C). Si è cercato di trovare una relazione di somiglianza tra campioni di legno con simile livello di degradazione fungina. Le due componenti principali cumulate (PC1, PC2) descrivono il 64,22% della varianza totale; in particolare, la prima componente contribuisce per il 44,20% mentre la seconda per il 20,02%. La figura 6.16 mostra le correlazioni esistenti tra i diversi composti fenolici prodotti dalla pirolisi (descrittori): la PC1 (asse X) è correlata positivamente con la maggior parte dei derivati fenolici del tipo **G** (G, C, 4EtG, 4VinG, Van, GAc, AcG, 4AlG, AcVan+t4Pe, c4PenG) e negativamente con tutti i derivati fenolici del tipo **S** (4AlS, S, 4VinS, c4PenS, AcS, t4PenS, Sald). Per la quasi totalità dei composti, si ha, invece, una correlazione negativa con la PC2 (asse Y) tranne che per i composti C, GAc, c4PenS, AcS, t4PenS, Sald.

Queste correlazioni suggeriscono che il processo di degradazione fungina del legno di platano può essere spiegato determinando la produzione di composti derivati della lignina che si sviluppano dalla pirolisi del legno stesso.

La figura 6.17. mostra, invece, la distribuzione dei campioni di legno, in funzione delle componenti principali: una separazione in due gruppi tra i campioni non colpiti da agenti cariogeni (**D**) e quelli più o meno biodegradati (**FD** e **F**) è abbastanza evidente.

L'esito dell'analisi multivariata (PCA) conferma, in buona parte, i risultati ottenuti dall'interpretazione dell'andamento del rapporto **S/G** in funzione del grado di biodegradazione del legno. Infatti, come mostrato in figura 7.7., i valori di **S/G** associati a ciascun gruppo di campioni risultano simili tra loro.

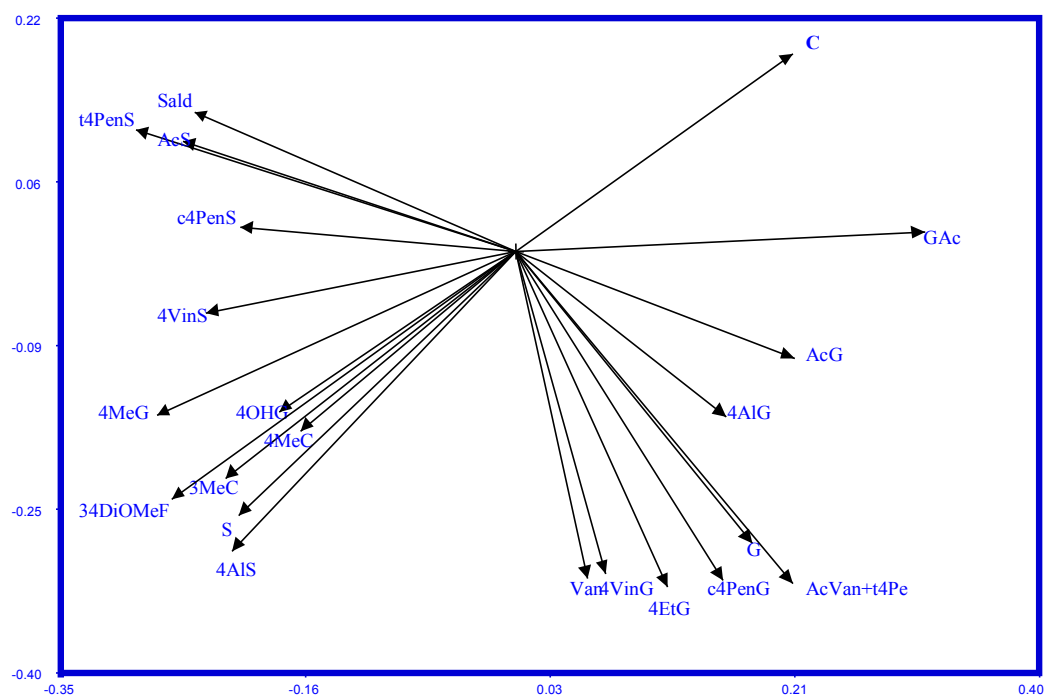


Figura 6.16. Analisi delle componenti principali (descrittori) dei prodotti del legno di platano (*Platanus acerifolia*). Guaiacolo (G), 4-Metilguaiacolo (4MeG), Catecolo (C), 4-Etilguaiacolo (4EtG), 4-Idrossiguaiacolo (4OHG), 3-Metilcatecolo (3MeC), 4-Vinilguaiacolo (4VinG), 4-Metilcatecolo (4MeC), Eugenolo (4AlG), Siringolo (S), Veratrolo (34DiOMeF), Isoeugenolo (c4PenG), Vanillina (Van), Acido vanillico + trans,Isoeugenolo (AcVan+t4Pe), Acetoguaiacone (GAc), Guaiacilacetone (GAc), 4-Vinilsiringolo (4VinS), 4-Allilsiringolo (4AlS), cis,4-Propenilsiringolo (c4PenS), Siringaldeide (Sald), trans,4-Propenilsiringolo (t4PenS) e Acetosiringone (AcS)

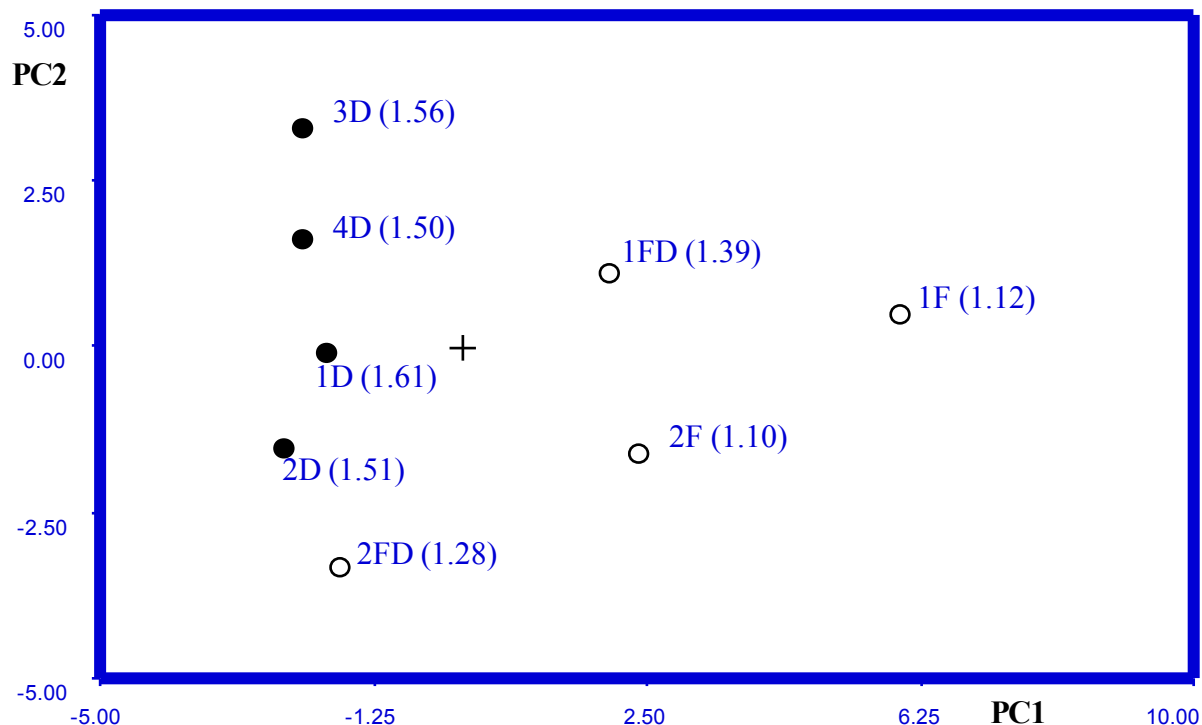


Figura 6.17. Distribuzione dei campioni di legno lungo le due componenti principali raggruppati in tre classi di identificazione. Codici: durame sano (D pallino nero), zona di separazione tra D e F (FD pallino bianco nero), durame colonizzato dal fungo (F pallino bianco). In parentesi sono riportati i corrispondenti valori si S/G.

	ROTELLA 1			ROTELLA 2			ROTELLA 3	ROTELLA 4
	D	FD	F	D	FD	F	D	D
(1) Guaiacolo (G)	23	28,7	32,6	19	36,9	42	19	25,6
(2) 4-Metilguaiacolo (G)	10	6,91	4,62	16	18,7	7,51	12,6	15,1
(3) Catecolo (G)	6,3	44,2	29,6	14	9,69	28,2	21,9	21,4
(4) 4-Etilguaiacolo (G)	6,2	6,24	14,4	9,3	16	8,28	4,95	6,52
(5) 4-Idrossiguaiacolo (G)	14	12	n.d.	16	20,4	26,2	17,4	18,1
(6) 3-Metilcatecolo (G)	1,7	0,88	n.d.	2,7	1,66	2,02	1,33	1,45
(7) 4-Vinilguaiacolo (G)	53	61,1	45,9	42	66,7	62	38,5	44,9
(8) 4-Metilcatecolo (G)	3,5	1,01	1,91	3,2	2,58	1,36	1,97	1,62
(9) Eugenolo (G)	7,2	11,8	10,4	10	8,62	8,96	5,39	8,63
(10) Siringolo (S)	70	98,7	100	84, 9	100	100	56,8	56,9
(11) 3,4-Dimetossifenolo (G)	5,1	2,83	1,17	5,2	4,98	3,41	3,05	3,92
(12) Isoeugenolo (G)	7,9	8,28	8,15	7,5	7,82	8,01	4,27	6,58
(13) Vanillina (G)	7,1	4,63	10,1	9,3	10,5	10,2	7,19	7,8
(14°) Ac.Vanillico+(14b) t, isoeugenolo(G)	64	62,6	59	86	89,7	68,8	74,5	71,1
(15) Acetoguaiacone (G)	3,4	3	11,3	7,9	3,63	9,36	4,54	3,31
(16) Guaiacilacetone (G)	2,5	8,1	11,6	3,8	2,74	8,98	3,61	3,04
(17) 4-Vinilsiringolo (S)	100	100	55,6	94	97,5	87,5	94,1	86,5
(18) 4-Allisiringolo (S)	37	29,5	21,9	43	38	30,2	24,8	33,9
(19) cis-4-Propenilsiringolo (S)	25	28,4	18,3	23	28,1	22,1	26,4	25,4
(20) Siringaldeide (S)	10	8,26	2,62	25	16,8	2,94	23,9	37,3
(21) trans-4-propenilsiringolo (S)	95	93,5	63,5	100	90,8	73,5	100	100
(22) Acetosiringone (S)	12	6,36	7,87	13	14,1	10,5	17,8	18,5
S/G ratio	1,6	1,39	1,12	1,5	1,28	1,1	1,56	1,5

6.6.2 Cluster analysis (CA) applicata a campioni di corteccia provenienti da 22 latifoglie.

Sulla base dei risultati ottenuti applicando un'analisi delle componenti principali (PCA) ai valori delle aree relative dei vari campioni analizzati, sono state scelte le variabili più significative per effettuare una “cluster analysis” e produrre i relativi dendrogrammi. In questi grafici, i campioni esaminati sono raggruppati e collegati in modo da minimizzare la “lontananza logica” interna a ciascun gruppo e di massimizzare quella tra i gruppi.

Il dendrogramma (figura 3) prodotto riguarda l'insieme di tutti i campioni analizzati.

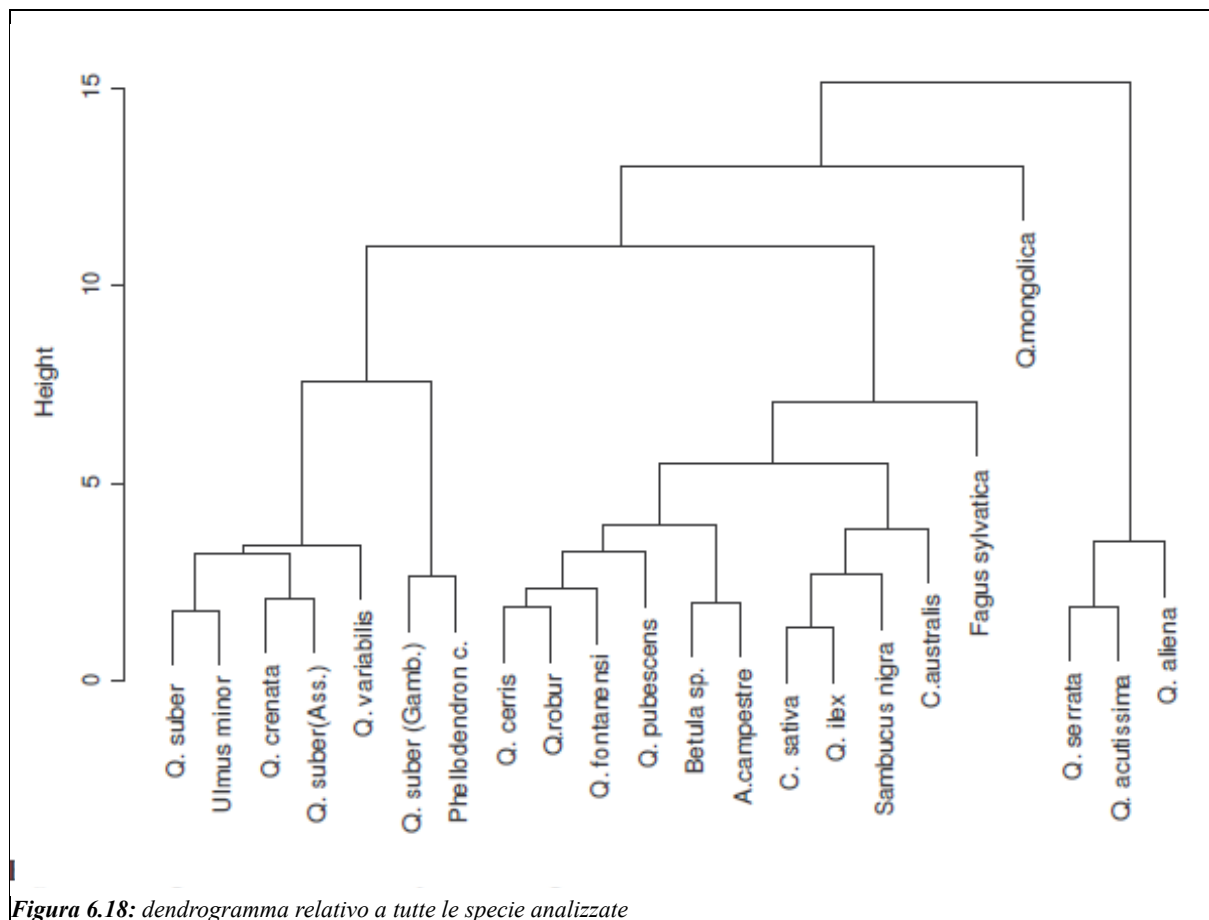


Figura 6.18: dendrogramma relativo a tutte le specie analizzate

Nel dendrogramma elaborato, si considera un sistema di assi cartesiani in cui in ascisse si pongono le unità statistiche e in ordinata i livelli di distanza che caratterizzano le aggregazioni delle diverse partizioni.

Come ribadito più volte il lavoro si basa essenzialmente sulla identificazione della molecola di suberina nel sistema *Q. suber*-*Q. cerris*-*Q. crenata*. *Q. suber* che è la specie principale, la *Q. crenata* che ne deriva come ibrido, e *Q. cerris* che è l'altro genitore e che non produce sughero. Queste tre specie sono strettamente imparentate dal punto di vista evolutivo, ecologico e genetico. Nel dendrogramma sono poi rappresentate anche le cinque specie coreane; *Q. variabilis* è equiparabile a

Q. suber (viene chiamata localmente “la quercia da sughero cinese”) e *Q. acutissima* sembrerebbe equiparabile a *Q. crenata*. Tutte le altre querce italiane e l’insieme delle specie coreane che non producono sughero sono state scelte ai fini di una più precisa determinazione dei prodotti della lignina e della suberina nelle querce. A queste sono state aggiunte altre specie arboree in base a questo criterio: alcune che sono riportate in letteratura come produttrici di una qualche forma di sughero, altre che non producono assolutamente sughero.

Il dendrogramma si può suddividere essenzialmente in tre tronconi; le specie sugherose sono raggruppate nello stesso insieme e sono separate dalle specie che hanno poco o niente sughero (tranne l’olmo). Le tre querce coreane sono isolate da tutte le altre specie e sono raggruppate nello stesso insieme. *Q. variabilis* equiparabile a *Q. suber* è invece nel gruppo delle specie sugherose. Partendo dal primo grande troncone si può vedere che la sughera è accoppiata con l’olmo (*Ulmus minor*), che pur essendo filogeneticamente molto distante, ha una corteccia molto sugherosa (riportata anche in letteratura). La crenata (*Q. crenata*), che contiene sughero in maniera variabile a seconda dell’esemplare, è messa nello stesso clade della sughera sarda. Il phellodendron (*Phellodendron chinense*), che è evolutivamente molto distante dalla quercia da sughero europea, produce sughero in maniera massiccia (è anche chiamato “l’albero del sughero asiatico”), ed è inserito nello stesso clade del “sugherone” (sughero grezzo) sardo.

Nell’altro troncone delle specie non sugherose l’accoppiamento cerro-robur rispecchia esattamente la natura di queste due specie, infatti entrambe hanno una corteccia legnosa.

Q. fontanensis, che è un presunto endemismo siciliano molto prossimo al cerro, presenta una corteccia prevalentemente legnosa, e si colloca poco distante dal cerro vero, così come fa la roverella con la robur. Infatti, la roverella che non contiene sughero è collocata leggermente più distante da queste ultime tre specie. Tra tutte queste specie non sugherose il faggio è collocato al di fuori del gruppo (outgroup), la sua collocazione è in accordo con la morfologia della corteccia e con la teoria filogenetica che lo pone come l’antenato di tutte le Fagaceae europee.

L’altro subclade raccoglie specie diverse tra loro dal punto di vista tassonomico e della morfologia della corteccia.

Tra queste si evidenzia l’accoppiamento betulla-acero, perché entrambe sono riportate in letteratura come capaci di produrre sughero (in poche quantità), tuttavia, un articolo recente (Pinto *et al*, 2008) dimostra come il sughero della betulla è chimicamente molto diverso da quello di *Quercus suber*. Il nostro risultato è in accordo con questo e probabilmente anche il sughero dell’acero è come quello della betulla. Al di fuori di tutte le specie sugherose e non sugherose ci sono tutte le querce coreane, indicando la probabile influenza dell’evoluzione o dell’adattamento alle condizioni di un altro continente (tranne per la *Q. variabilis*).

Capitolo 7

Conclusioni

La caratterizzazione chimica del legno si presenta come un problema complesso che fino ad oggi è stato affrontato secondo criteri e approcci molto diversi tra loro. Un ampio numero di indagini si basano sullo studio della struttura chimica dei composti polimerici in esso contenuti, in particolar modo la lignina.

Nel presente lavoro di dottorato di ricerca è stato, sviluppata di una metodologia adatta per la caratterizzazione di tessuti legnosi di varie specie, utilizzate sia nell'arredo urbano, sia per usi commerciali.

I metodi sviluppati, basati sulla decomposizione termica, consentono di realizzare in tempi relativamente brevi una soddisfacente caratterizzazione chimica di legno e cortecce provenienti da varie specie arboree; inoltre, ambedue le tecniche utilizzate (Py-GC/MS e TPPy-GC/MS), permettono di distinguere tessuti legnosi provenienti da diverse specie e di evidenziare le differenze strutturali tra legno attaccato da funghi ligninolitici e legno sano.

Quindi tali metodi consentono di realizzare non solo studi tassonomici, ma anche di stabilire se un albero sia malato o meno. L'uso della spettrometria di massa con le quali si identificano i costituenti caratteristici del materiale preso in esame, ci dà la possibilità di individuare le chimico-strutturali tra le varie specie e tra tessuti colpiti da fenomeni di degradazione fungina.

La pirolisi accoppiata alla GC/MS (Py-GC/MS), configurazione più diffusa, è stata applicata con successo a campioni di legno e corteccia provenienti da numerose specie arboree.

La caratterizzazione strutturale della lignina di campioni di legno di interesse commerciale ha permesso, tra l'altro, di ipotizzare la messa a punto di una metodica che sia in grado di individuare il genere della pianta di provenienza.

Per quanto riguarda i campioni di corteccia, la loro caratterizzazione chimica mediante Py-GC/MS, ha fornito indicazioni utili per l'individuazione della presenza di suberina.

Inoltre consente un'efficace analisi dei dati sia individuando parametri semplici, come il rapporto S/G, sia effettuando trattazioni statistiche multivariata, come la PCA e la CA, che confermano e rafforzano i risultati sopra descritti.

Una considerevole parte del lavoro è stata spesa per la messa a punto di un sistema per effettuare l'analisi dei gas svolti (EGA): sono state apportate modifiche tecniche su apparecchiature commerciali tali da rendere possibile l'identificazione dei prodotti di degradazione termica del legno

in condizioni di riscaldamento a gradiente. Seppur raramente applicata, probabilmente a causa della difficile messa a punto e della mancanza di strumentazioni commerciali, questa metodica ha prodotto dati complementari a quelli ottenuti dalla Py-GC/MS contribuendo ad una più ampia caratterizzazione dei tessuti legnosi.

La tecnica dell'analisi dei gas svolta da noi applicata (TPPy-GC/MS), pur necessitando di tempi di analisi più lunghi, offre un'interpretazione più immediata e più semplice dei risultati, i quali si sono mostrati in accordo con quelli ottenuti applicando la Py-GC/MS.

Generalmente parlando, le tecniche analitiche utilizzate risultano non particolarmente semplici da utilizzare, sia per la presenza di apparecchiature complesse, sia per il non immediato ottenimento delle condizioni operative ottimali. Dal punto di vista pratico la preparazione del campione è in ogni caso è semplice e rapido: non è necessario estrarre la lignina dai campioni in esame, ma è sufficiente un'unica operazione per ridurre i campioni di legno in polvere fine ed omogenea.

I metodi analitici sviluppati presentano un'elevata potenzialità e versatilità in quanto possono essere applicati anche ad altri polimeri (naturali e sintetici), dopo aver opportunamente calibrato la strumentazione

La possibilità di effettuare le indagini su piccole quantità di campione (1,5-2 mg) e di poter risolvere miscele complesse, rende questo metodo utilizzabile in molteplici campi applicativi dove i metodi classici di identificazione non riescono a dare risultati certi. Si può pertanto ipotizzare una valida applicazione in campo archeologico nel caso in cui si voglia identificare e distinguere reperti di origine vegetale ma anche per ottenere informazioni sullo stato di degrado di manufatti legnosi.

Ringraziamenti

Questi tesi è il frutto del lavoro di diversi mesi durante il quale ho ricevuto l'appoggio di molte. In primo luogo desidero ringraziare il Dott. Vittorio Vinciguerra, mio principale relatore, per la libertà che mi ha lasciato nel portare avanti il progetto e per il suo appoggio durante tutto il periodo di lavoro e per la fiducia che a riposto in me.

Vorrei ringraziare il Prof. Felice Grandinetti, mio tutor di dottorato, per avermi dato la possibilità di seguire questi tre anni studi impegnativi.

Per ultimi, ma di certo non per importanza, ringrazio la mia famiglia che mi è stata molto vicina in tutti questi anni “da studente”, che oltre ad avermi sempre “supportato” mi hanno soprattutto “sopportato”. Mi auguro che tutti i sacrifici spesi siano in questo modo, almeno in parte, ripagati.

Dico grazie ad *Elisa*, che con estrema pazienza ha sopportato i miei sbalzi di umore e le mie paranoie quando, sotto stress, mi sfogavo in modo particolare con lei. Se ho raggiunto questo traguardo lo devo anche alla sua continua presenza, non facendomi mancare mai nulla, incoraggiandomi a “non mollare mai”.

Letteratura citata

Izumi A e Keoda K. 1997. *Pyrolysis-Mass Spectrometry Analysis of Dehydrogenation Lignin Polymers with Varius Syringyl/Guaiacyl Ratios*. Rapid Communication in Mass Spectrometry **11**: 1709-1715.

Bernards M. 2002 Can. J. Bot. 80, 227

Bernetti G. Selvicoltura speciale. (1995). UTET.

Bernicchia A. e Padovan F., 1990 – Il verde in città: le alterazioni micotiche del legno. Monti e Boschi, **3**: 27-38.

Boon J.J., 1989. An introduction to pyrolysis mass spectrometry of lignocellulosic material: Case studies on barley straw corn steam and *Agropyron*. In: Chesson A., Orskov E.R., editors. Physico-chemical characterization of plant residues for industrial and feed use. Amsterdam: Elsevier. pp 25-49

Bradshaw A., Hunt B., Walmsleytim 1995. Trees in the urban landscape, principles and practice. E & FNSPON, 219 pp

Browning B. L., 1975. The chemistry of wood. Robert E. Publishing Company.

Camarero S., Bocchini P., Galletti G.C., Martinez M.J. e Martinez A.T., *Compositional Changes of wheat lignin by a fungal peroxidase analyzed by Py-GC/MS*. J. Anal. Appl. Pyrolysis. **58-59** (2001) 413-423.

Choi J.W., Faix O. e Meier D., 2001. *Characterization of residual lignins froms chemical pulps of spruce (Picea abies L.) and beech (Fagus sylvatica L) by analytical pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry*. Holzforschung, **55**: 185-192.

Conti G., Fisiopatologia. Clessav 1987.

Del Rio J.C., Guterrez A., Martinez M.J., Martinez A.T., 2001. *Py-GC/MS study of Eucalyptus globulus wood treated with different fungi*. J. Anal. Appl. Pyrolysis. **58-59**:441-452.

Del Rio J.C., Guterrez A., Martinez M.J., Martinez A.T. e Speranza M., 2002. *Lignin attack during eucalypt wood decay by selected basidiomycetes: A Py-GC/MS study*. J. Anal. Appl. Pyrolysis. **64**:421-431.

Faix O., Meier D., Fortman I. 1990. Holz. Roh-Werkst. **48** 281.

Ferrari M., Menta A., Marcon E. e Contermini A. Malattie e parassiti delle piante da fiore, ornamentali e forestali. (tomo I). 1999. Ed agricole.

Galletti G.C. e Bocchini P., 1995. *Pyrolysis/gas chromatography/ mass spectrometry of lignocellulose*. Rapid Commun Mass Spectrom **9**:815-826.

Gellini R. Grossoni P., 1997 Botanica Forestale II Angiosperme, Cedam edizioni Padova.

Genuit W., Boon J.J. e Faix O., 1987. *Characterization of beech milled wood lignin by pyrolysis-gas chromatography-photoionization mass spectrometry*. Anal. Chem **59**:508-513.

Gil A., Lopes M., Rocha J., Neto C., Int. 1997 J. Biol. Macromol.,20, 293.

Gil L., Jimenez P., Diaz-Fernandez P.M. 1997 Characterisation of marginal populations of *Quercus Suber* in Spain. *Quercus suber* Network. Report of the third and fourth meetings. IPGRI, Rome, Italy.

Graca J., Pereira H. 1997, Holzforschung, 51, 225.

Graca J., Pereira H. 1999 Holzforschung, 53, 397.

Graca J., Pereira H. 2000 Phytochem. Anal. 11, 45

Graca J., Pereira H. 2000 Agric. Food Chem, 48, 5476.

Greenwood P.F., van Heemst J.D.H., Guthrie E.A. e Hatcher P.G., 2002. *Laser micropyrolysis*

GC-MS of lignin. J Anal Appl Pyrolysis. **62**:365-373.

Johnson H. Gli alberi. (1974). Arnoldo Mondadori Editore.

Kaiserberger E. e Post E., 1997 *Practical aspects for the coupling of gas analytical methods with thermal-analysis instruments*. Thermochemica Acta. **95**: 73-93.

Kolattukudy P., Kronman K., Poulse J. 1975 Plant Physiol.,55, 567

Kolattukudy P. 2002 Suberin From Plants, in Biopolyesters I, Y. Doi, A. Steinbuchel, Eds.,Wiley-VCH, Weinheim, 41.

Reale S., Di Tullio A., Spreti N. e De Angelis F., 2004.*Mass Spectrometry in the Biosynthetic and Structural Investigation of Lignin*. Mass Spectrometry Reviews **23**, 87-128.

Martinez A.T., Camarero S., Gutierrez A., Bocchini P. e Galletti G.C., 2001. *Studies on wheat lignin degradation by Pleurotus species using analytical pyrolysis*. J. Anal. Appl. Pyrolysis. **58-59** 401-411.

Matteck C. e Breloer H. 1994. *Field guide for visual tree assessment (VTA)*. Arboric. J. **18**:1-23.

Matteck C. e Breloer H. La stabilità degli alberi. Verde editoriale 1998.

MATTHECK C., BETHGE K. 1998. The mechanical survival strategy of trees. Arboricultural Journal 22, 369-386

McPherson E.G., 1992. Monitoring urban forest health.USDA Forest service, northeastern forest experiment station. pp.165-174.

McPherson E.G., Nowak D., Heisler G., Grimmond S., Souch C.; Grant R. e Rowntree R., 1997. *Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project*. Urban Ecosystems, **1**: 49-61.

Meier D. e Faix O., 1992. Pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry. In: Lin SY, Dence CW, editors. Methods in lignin chemistry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. pp 177-199.

Nicolotti G., Miglietta P. 1998. Using high-technology instruments to assess defect in trees. Journal of Arboriculture 6, 297-302.

Migliorini F., Verde urbano – Milano 1989.

Montaudo G. e Puglisi C., 1992. Thermal degradation of condensation polymers. In: Aggarwal AL, Russo S., editors. Comprehensive polymer science . London: Pergamon Press. pp 227-251.

Nakamura S., Takino M. e Daishima S., 2001. *Analysis of waterborne paints by gas chromatography-mass spectrometry with a temperature-programmable pyrolyzer*. J.Chromatogr. A. **912**: 329-334.

Nicolotti G., Socco L.V., Martinis R. e Sambuelli L., 2003. *Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees*. J. Arboric. **29**(2):66-78.

Pellerano A. 2002. La stabilità degli alberi nella gestione del verde urbano. Atti del convegno "Verde urbano e sviluppo sostenibile 2002". 20 Settembre Bari

Pereira H. (1988) Wood Sci. Technol. 22, 211

Pestalozza A. 1998. Applicazione del Visual Tree Assessment VTA per la valutazione delle condizioni strutturali di un esemplare monumentale di *Populus alba* affetto da patogeni fungini cariogeni. Informatore Fitopatologico, 6, 60-64

Pestalozza A. 2001. Vita da alberi a Milano. Acer, 5, 57-60

Pillinger JM., Gilmour I. e Ridge I., 1995. *Comparison of antifungal activity of brown-rotted and white-rotted wood and in situ analysis of lignin*. J Chem Ecol **21**:1113-1125.

Pollunin. Guida agli alberi e arbusti d'Europa. (1987). Zanichelli.

Prince R. C. e Stiefel E.I., 1987. Lignin degradation. TIBS 12: 334-335

Reeves J. B. III e Galletti G. C., 1993. *The potential of composite Pyrolysis Gas Chromatographic Mass Spectra in the Study of Lignocellulosic*. Org. mass spect. **28**:647-655.

Reid I. D., 1995. *Biodegradation of lignin*. Can. J. Bot. **73** (Suppl. 1): 1011-1018.

Rodrigues J., Meier D., Faix O., e Pereira H., 1998. *Determination of tree to tree variation in syringyl/guaiacyl ratio of Eucalyptus globulus wood lignin by analytical pyrolysis.* J. Anal. Appl. Pyrolysis **48**:121-128.

Rodrigues J., Graca J. e Pereira H., 2000. *Influence of tree eccentric growth on syringyl/guaiacyl ratio in Eucalyptus globulus wood lignin assessed by analytical pyrolysis.* J. Anal. Appl. Pyrolysis **58-59**: 481-489.

Saiz-Jimenez C. e de Leew J.W., 1984. Org. Geochem. **6** (1984) 417.

Sato H., Kondo K., Tsuge S., Ohtani H. & Sato N. 1997. *Polymer Degradation and stability.* Polym. Degrad. Stab. **62**: 41-48.

Schirone B., Schirone A., Romagnoli M., Angelaccio C., Bellarosa R. 1990. Considerazioni preliminari sulla tassonomia di *Quercus crenata* Lamk.. Atti 3° Colloquio su “Approcci metodologici per la definizione dell’ambiente fisico e biologico mediterraneo”. Pp. 423-452.

Schulten H-R., Simmleit N. e Mueller R. 1987. *High-temperature, high-sensitivity pyrolysis field ionization mass spectrometry.* Anal Chem **59**: 2903-2908.

Semenzato P., Un piano per il verde – Pianificare e gestire la foresta urbana; Signumpadova 2003.

SHIGO A. 1993. A new tree biology. Facts, photos, and philosophies on trees and their problems and proper care. Shigo and Trees Associated, Durham, New Hampshire, 618 pp

Sitte P. 1955 Mikroskopie 10, 178.

Sitte P. 1962 Protoplasma 54, 555

Suzuchi S., Lam T.B.T. e Iiyama K., 1997. *5-Hydroxy guaiacyl nuclei as aromatic constituents of native lignin.* Phytochemistry, **46**: 695-700.

Terron M.C., Fidalgo M.L., Galletti G.C. e Gonzalez A.E. 1995. *Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry of milled wood lignin of two Chilean woods naturally decayed by Ganoderma*

australe, Phlebia chrysocrea, and a brown-rot fungus. J. Anal. Appl. Pyrolysis **33**:61-75.

Toussaint A., Baudoin JP., Campanella B., Paul R. 2004. The impact of resistograph on tree decay. The trees of history. Protection and exploitation of veteran tree. Proceeding of the International Congress, Torino 1-2 aprile 2004.

Xie W. e Pan P., 2001. *Thermal characterization of materials using evolved gas analysis. J. Therm. Anal. Cal.* **65**: 669-685.

Yokoi H., Ishida Y., Othani H., Tsuge S., Sonoda T. e Ona T., 1999. *Charatterization of whitin-tree variation of lignin components in Eucalyptus camaldulensis by pyrolysis-gas chromatography. Analyst.* **124**: 669-674.

Valentin Lobis ([www tree-consult.it](http://www.tree-consult.it)).

Van der Hage E.R.E, Boon J.J., Steenvoorden R.J.J.M. e Weeding T.L., 1994. *Resonance-enhanced multiphoton ionization mass spectrometric analysis of lignin using laser pyrolysis with entrainment into a supersonic jet. Anal. Chem* **66**:543-550.

Vidler A., Le scene della strada: 1750-1981, in “Strade” – Bari 1982.

Zeriouh e Belkbir., 1995. *Thermal decomposition of aMaroccon wood under nitrogen atmosphere. Termochimica acta* **258**:243-248.

Zimmermann W., 1990. *Degradation of lignin by bacteria. Journal of Biotechnology* **13**: 119-130.

www.cnr.it

www.eurogreen.net

Allegato

Schede botaniche delle specie analizzate

Balsa (*O. pyramidale*)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Malvales
- Famiglia: Bombacaceae
- Genere: Ochroma
- Specie: *O. pyramidale*

La **balsa** (*Ochroma pyramidale*) è un albero dell'america centro meridionale. Il suo legno essendo molto leggero (densità media è di circa 160 kg/m³) è impiegato per la costruzione di aeromodelli.

Tale essenza di provenienza ecuatoriana, grazie alle caratteristiche climatiche e geofisiche del territorio in cui cresce (una fascia subequatoriale a ridosso della cordigliera Andina e nei pressi dell'Oceano Pacifico), è il legno più leggero conosciuto al mondo.

Il legno di Balsa, ha una fibra spugnosa, omogenea, fragilissima e morbida, che gli permette però di essere lavorato e plasmato con molta facilità, modellato con stampi di metallo; nonostante il basso peso specifico (150-160 Kg/m³), ha una resistenza alla compressione di oltre 100 Kg/cm² ottenibile grazie alla struttura alveolare del legno stesso: ha dei canali linfatici molto grandi che permettono all'albero una velocissima crescita (in 5 anni una pianta è matura per l'abbattimento). Oltre a essere il più leggero dei legni è anche il più stabile e il meno soggetto a deformazioni.

Quercus serrata



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q.serrata*



Figura 4.: Corteccia di *Quercus serrata*.

Un albero deciduo di altezza tra i 15 m e i 20 m; fiorisce nel mese di aprile, fino a maggio, ed i semi maturano a partire da ottobre-novembre. La corteccia (figura 4) è liscia e lucida e con il trascorrere del tempo si fessura profondamente. I fiori sono monoici, con esemplari di sesso maschile e femminile che possono essere trovati sulla stessa pianta; vengono impollinati dal vento. Il seme è lungo circa 15 mm e può essere asciugato e frantumato così da ottenere una polvere che viene utilizzata come condimento in stufati, o misto con i cereali per produrre il pane; il seme arrostito è un sostituto del caffè. La pianta preferisce terreni argillosi medi e pesanti, acidi, neutri e basici (alcalini). Può svilupparsi in sottobosco; tollera i forti venti ma non l'esposizione marittima. E' una quercia che nasce e si propaga nell'Est Asia - Cina, Giappone, Korea, Himalaya. In particolare si trova nelle foreste decidue tra i 100 e i 2000 metri.

Quercus Aliena



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q.aliena*

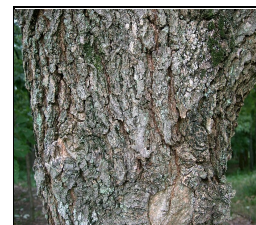


Figura 5.: Corteccia di *Quercus aliena*.

Un albero deciduo di altezza tra i 15 m e i 20 m; fiorisce nel mese di aprile, fino a maggio, ed i semi maturano a partire da settembre-ottobre. I fiori sono monoici, con esemplari di sesso maschile e femminile che possono essere trovati sulla stessa pianta; vengono impollinati dal vento. Il seme è lungo circa 25 mm e può essere asciugato e frantumato così da ottenere una polvere che viene utilizzata come condimento in stufati, o misto con i cereali per produrre il pane; il seme arrostito è un sostituto del caffè. La pianta preferisce terreni argillosi medi e pesanti, acidi, neutri e basici (alcalini). Può svilupparsi in sottobosco; tollera i forti venti ma non l'esposizione marittima. E' una quercia che nasce e si propaga in Asia orientale - Cina, Giappone, Korea; in particolare si trova nelle foreste mesofile miste da 100 a 2700 nella Cina orientale.

Quercus mongolica



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q.mongolica*



Figura 6.: Corteccia di *Quercus mongolica*.

E' un albero deciduo di medie dimensioni, che può raggiungere i 30 metri di altezza, presenta una chioma piuttosto irregolare in età matura ed una corteccia (figura 6) molto spessa con ricche fenditure. Fiorisce a partire da maggio-giugno ed i semi maturano a ottobre -novembre. I fiori sono monoici, con esemplari di sesso maschile e femminile che possono essere trovati sulla stessa pianta; vengono impollinati dal vento. Il seme è lungo circa 2cm e può essere asciugato e frantumato così da ottenere una polvere che viene utilizzata come condimento in stufati, o mista con i cereali per produrre il pane. La pianta preferisce terreni argillosi, medi e pesanti, acidi, neutri e basici (alcalini). Può svilupparsi in sottobosco; tollera i forti venti ma non l'esposizione marittima. E' una quercia che nasce e si propaga in Asia orientale - Cina, Giappone, Korea-; in particolare nelle regioni più fredde del Giappone e nelle foreste mesofile miste da 200 a 2500 nella Cina del Nord ed orientale.

Quercus variabilis



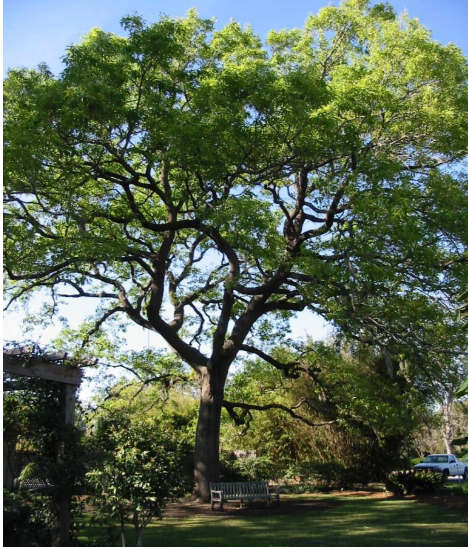
- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q. variabilis*



Figura 7.: Corteccia di *Quercus variabilis*.

Viene chiamata “Chinese cork oak” ,ovvero, Quercia da sughero cinese, a causa di un ritidoma particolarmente suberoso che ricorda da molto vicino quello della sughera europea; la corteccia (figura 7) è molto spessa con fenditure profonde, contrassegnata da creste sinuose. E’ una Quercia decidua di medie dimensioni, può raggiungere i 25-30 metri di altezza. Le foglie sono semplici, acuminate, variabili nella forma, - 8/20 cm di lunghezza, e in 2-8 cm di larghezza-, con margine seghettato e con la venatura che termina con un dente; sono verdi sopra e sotto argentee con una pubescenza piuttosto densa. I fiori vengono impollinati dal vento e maturano circa 18 mesi dopo impollinazione; il frutto è una ghianda globosa, con diametro di 1.5-2 cm. È coltivato in Cina per la produzione del sughero, benché il rendimento è più basso di quello della quercia da sughero nostrana; viene occasionalmente utilizzata come albero ornamentale. L’areale di distribuzione comprende una vasta zona dell’Asia orientale, Cina, Giappone e Corea. Predilige terreni medi e pesanti di natura argillosa, tollera i venti, ma non l’esposizione marittima.

Quercus Acutissima



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q.acutissima*



Figura 8.: Corteccia di *Quercus acutissima*.

E' una pianta decidua con un fusto diritto, e solitamente dominante sopra i rami laterali che formano una figura piramidale durante i primi anni; è di media taglia, – può raggiungere i 25-30 m di altezza – il diametro del fusto può arrivare a misurare 1,5 m. Le foglie sono simili al castagno e hanno una colorazione giallo-verde piuttosto attraente, hanno una lunghezza di 8-20 cm e una larghezza di 3-6 cm. La corteccia (figura 8) è di colore grigio-marrone, e presenta numerosi solchi. il frutto è una ghianda, che matura in 18 mesi dopo impollinazione, essendo molto amare sono scarsamente appetibili; vengono solitamente mangiate dai piccioni, e dagli scoiattoli soltanto quando altre fonti di alimento sono esaurite. Il legno ha le stesse caratteristiche di altre Querce, ma è molto incline alle crepe. E' originaria dell'est Asia, - Cina, Korea e Giappone ne sono particolarmente ricche-, attualmente si può trovare anche in nord America. *Quercus Acutissima* predilige un suolo molto drenante e acido, ma può benissimo adattarsi alla maggior parte dei terreni, tranne che a quelli molto alcalini.

Il Phellodendron (*Phellodendron chinense*)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Sapindales
- Famiglia: Rutaceae
- Genere: Phellodendron
- Specie: *P.chinese*



Figura 9.: Corteccia di *Phellodendron chinense*.

Il *Phellodendron* in Asia viene chiamato “cork tree” proprio per la sua caratteristica spessa corteccia (figura 9) suberosa, morfologicamente equiparabile a quella della sughera europea. E’ un albero deciduo. Fiorisce a giugno ed i semi maturano a partire da settembre-ottobre. I fiori sono molto profumati; il *Phellodendron* non si auto feconda. Si trova nel nord-est del continente asiatico, e in particolare nella Cina centrale. La pianta preferisce i terreni leggeri (sabbiosi), medi (argillosi), e pesanti (argillosi), i terreni acidi, neutri e basici (alcalini); può svilupparsi in terreni molto alcalini. Richiede comunque un buon livello di umidità per crescere bene. Il *Phellodendron* è una specie che conosce un’importanza fondamentale nell’erboristeria cinese, tanto da essere considerato tra le 50 erbe fondamentali, la pianta è utile come; antibatterico, amaro, diuretico, espettorante, oftalmico, vasodilatatore.

Il sambuco (*Sambucus nigra* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Discales
- Famiglia: Caprifoliaceae
- Genere: Sambus
- Specie: *S.nigra*

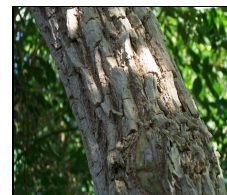


Figura 10.:
Corteccia di
Sambus nigra.

Il sambuco è un arbusto caducifoglio ramificato o un piccolo albero alto 5-8 m; è costituito da un tronco eretto che spesso si ramifica partendo dalla base. La corteccia (figura 10) risulta verde nelle piante giovani, con l’invecchiamento si screpola e assume una colorazione grigio brunastra. Caratteristiche sono le numerose lenticelle presenti sulla superficie della corteccia. I rami sono provvisti di un abbondante midollo centrale tenero, bianco e spugnoso. Le foglie del sambuco, sono imparipennate lunghe 10-30 cm, formate da 5-7 foglioline opposte ellittiche, con apice acuminato, margine seghettato e di odore sgradevole se vengono strofinate. Esse hanno la caratteristica di essere caduche e unite ai rami mediante un lungo picciolo; il colore è verde scuro nella parte superiore, mentre risulta più chiaro sulla pagina inferiore. I fiori sono di colore bianco-latte, intensamente profumati e raccolti in grandi corimbi con diametro di 10-20 cm. Quando maturano contengono tre semi ovali e bruni, mentre gli assi dell’infruttescenza sono di colore rosso porpora. A maturazione i frutti sono pendenti. Le drupe sono molto sugose; il succo ha un colore rosso scuro in quanto contiene antociani chiamati sambucina e crisantemina. Un tempo il succo

serviva come sostanza colorante per il cuoio. I frutti sono ricchi di zuccheri, potassio e vitamina C. I semi sono ricchi di oli grassi. La dispersione dei frutti avviene tramite gli uccelli, soprattutto merli, storni e capinere, ma anche i mammiferi aiutano la disseminazione. E' una pianta che di solente viene utilizzata per scopi ornamentali.

Il bagolaro (*Celtis australis* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Urticales
- Famiglia: Ulmaceae
- Genere: Celtis
- Specie: *C. australis*



Figura 11.: Corteccia di *Celtis australis*.

Il bagolaro è un albero deciduo che può raggiungere 20-25 metri di altezza, il fusto è massiccio, breve e scanalato da adulto, con la chioma ampia e globosa spesso suddivisa in alcuni lobi. La corteccia (figura 11) è grigio-cenere e rimane liscia ed intera per tutta la vita della pianta. Le foglie anche esse portate distiche sono lunghe 5-15 cm, hanno base cuneata o arrotondata, a volte anche leggermente asimmetrica; hanno forma ellittico-oblunga con l'apice fortemente appuntito e il margine denticolato per quasi tutta la loro lunghezza.

I Il bagolaro è una specie eurimediterranea con baricentro nella zona orientale. In Italia è sporadicamente presente nei boschi di latifoglie decidue termofile del *Lauretum* e del *Castagnetum* di tutto il territorio anche se più frequentemente nella regione prealpina. E' una specie che predilige i terreni freschi subacidi, ricchi di scheletro e mediamente ricchi di elementi nutritivi; il suo optim termico è sulle pendici soleggiate e calde collinari, quando è in dormienza sopporta bene anche le basse temperature.

Olmo (*Ulmus minor* M.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Rosales
- Famiglia: Ulmaceae
- Genere: Ulmus
- Specie: *U. minor*



Figura 12.: Corteccia di *Ulmus minor*.

L'olmo può raggiungere dimensioni che arrivano a 30-40 metri di altezza e 1,5-2 metri di diametro, quando le condizioni ambientali sono difficili, acquista e mantiene un portamento nettamente arbustivo potendo però ancora fruttificare. E' longevo e a crescita rapida fino all'età avanzata, il fusto è diritto e leggermente sinuoso, i rami principali sono lunghi e slanciati e con l'età tendono a divenire penduli verso l'esterno, la chioma è tondeggiante e pendula. La corteccia (figura 12) inizialmente liscia e grigio-nerastra diventa poi spessa, suberosa, e di colore bruno scuro, e si fessura profondamente con stretti solchi longitudinali; in questa versione suberosa i rami hanno salienti creste longitudinali di sughero. Le foglie sono alterne, semplici, decidue con i margini doppiamente dentati, forma e dimensioni sono molto variabili sia fra gli individui sia tra la stessa pianta; la lamina varia da 2 a 9 (11) cm ed ha la forma da obovata a lanceolata. La pagina superiore è scabra o liscia, è verde intenso più o meno lucente con radi peli, mentre quella inferiore è opaca e discretamente pelosa. Il legno dell'olmo è di facile lavorazione e di buon lavoro, viene utilizzato per mobili, attrezzi, ebanisteria, liste per pavimenti. *U. minor* è specie dell'Europa centrale e meridionale, dell'Asia Minore settentrionale e dell'Asia del nord; in Italia è presente in tutte le regioni, comprese le isole, nei boschi e nelle siepi dal piano basale fino a 1000 metri di altitudine.

Acero campestre (*Acer campestre* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Betullaceae
- Genere: Betula
- Specie: *Betula* L.



Figura 13.: Corteccia di *Acer campestre*.

L'acero campestre è di norma un albero di dimensioni molto contenute, con altezze che variano da 7-12 m (può raggiungere anche i 20 metri). Ha un tronco spesso contorto e chioma rotondeggiante non molto densa; la crescita è lenta e la specie non è longeva (120 anni, raramente di più). La corteccia (figura 13) del tronco è brunastra e si fessura in placche rettangolari persistenti; i rametti sono sottili, bruni, finemente pubescenti, qualche volta sono muniti di creste longitudinali suberose. Le foglie sono piccole (4-7 cm, al massimo 12) con (3) 5 lobi ottusi; il lobo mediano, e a volte anche la coppia superiore sono a loro volta trilobati; il colore è verde scuro superiormente, più chiaro (anche glaucescente) e pubescente di sotto; il picciolo, che secerne lattice, è lungo più o meno quanto la lamina. I fiori sono in corimbi terminali spesso poligami; si sviluppano contemporaneamente alle foglie (aprile-maggio), gli 8 stami sono al centro del disco; i sepali e i petali sono giallo-verdi, calice e peduncolo pubescenti. Il legno dell'acero viene utilizzato per manici, giocattoli, calci di fucile, ed è un ottimo combustibile. Ha un vasto areale che comprende la maggior parte dell'Europa centrale e meridionale e che raggiunge ad est Vistola e il Don. In Italia è diffuso e comunissimo nei boschi mesofili, soprattutto nei querceti caducifogli di tutte le regioni, dal livello del mare fino ai lembi inferiori della zona del faggio.

La betulla (*Betula L.*)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Betullaceae
- Genere: *Betula*
- Specie: *Betula L.*



Figura 14.: Corteccia di *Betula L.*

Il genere comprende 35-40 specie arboree o arbustive, alcune specie possono superare i 25-30 metri di altezza, quelle a portamento arboreo hanno un tronco slanciato, sinuoso; non sono specie particolarmente longeve. La corteccia (figura 14) è liscia, bianca o giallastra, ma anche bronzia, bruna o addirittura nerastra, caratterizzata da lunghe lenticelle orizzontali, il ritidoma si distacca in strisce molto sottili spesso anulari, si fessura tardivamente mantenendo però la separazione ad anelli. Le foglie sono alterne, spiralate, decidue, lungamente picciolate, con apice acuto più o meno allungato. La betulla è una specie distribuita nell'emisfero settentrionale fra il 30° e il 72° parallelo. Sono piante eliofile; per lo più sono fortemente igrofile ma alcune specie possono vivere anche in terreni poveri e aridi; sopportano molto bene le temperature molto basse. Il bel legno di alcune betulle viene utilizzato per impiallaccature, per mobili e lavori di rifinitura, è inoltre un ottimo combustibile.

Il faggio selvatico (*Fagus sylvatica* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: *Fagus*
- Specie: *C.sylvatica*

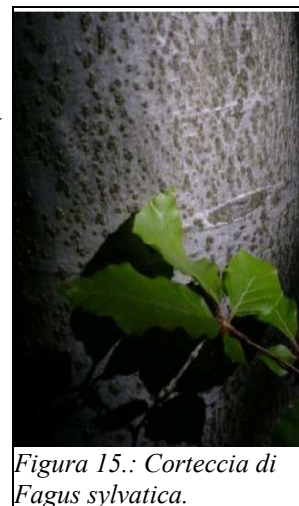


Figura 15.: Corteccia di *Fagus sylvatica*.

Il faggio selvatico è una pianta che raggiunge i 25-30 metri di altezza. La corteccia (figura 15) è grigiastra e liscia e in inverno sviluppa caratteristiche gemme allungate protette da una capsula di colore rosso-violaceo. Presenta fogliame denso e foglie ovali e glabre, più chiare nella pagina inferiore; sono disposte sul ramo in modo alterno, lucide su entrambe le facce, con margine ondulato, ciliato da giovani. In autunno assumono una caratteristica colorazione arancio o rosso-bruna. Ha una chioma massiccia, molto ramificata e con fitto fogliame, facilmente riconoscibile a distanza perché molto arrotondata e larga, con rami della porzione apicale eretti verticali. Il faggio viene coltivato in boschi cedui per la produzione di legna da ardere, tuttavia negli ultimi anni si è avuta una conversione da ceduo a fustaia per soddisfare l'interesse commerciale. Nelle coltivazioni a fustaia si effettuano tagli ogni 90-100 anni, dai quali si ricavano 400-500 metri cubi di legname a taglio. Come legname viene impiegato nella costruzione di mobili, giocattoli, utensili da cucina ed è adatto alla tornitura. Grazie alla sua compattezza viene inoltre apprezzato nella costruzione di sedie, mazzuoli, pavimenti e ripiani di banchi da lavoro. L'areale naturale di distribuzione della specie va dalla Svezia meridionale (con popolazioni più rade in Norvegia) a nord fino all'Italia centrale e alla Penisola Iberica nella parte centro-settentrionale a sud e ad est si estende fino alla Turchia nord-occidentale dove si mischia con il *Fagus orientalis*. In Italia è presente sulle Alpi e sugli Appennini, su questi ultimi giunge fino al limite vegetazionale. È una pianta sciafila che si aggrega facilmente con altre essenze, soprattutto conifere. Si adatta a qualsiasi terreno.

Il castagno (*Castanea sativa* M.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Castanea
- Specie: *C.sativa*



Figura 16.: Corteccia di *Castanea sativa*.

Il castagno è un albero molto longevo, può superare agevolmente i 500 anni di portamento maestoso; è alto in media una ventina di metri ma può raggiungere anche i 30-35 metri di altezza e soprattutto può arrivare a dimetri eccezionali di 4-6 metri. Il fusto è diritto ma massiccio, si ramifica presto e la chioma diventa ampia e tondeggiante. La corteccia (figura 16) è dapprima liscia e di colore grigio olivastro con le tracce delle lenticelle che persistono a lungo raggiungendo un'ampiezza anche di 1 cm; dopo 20-25 anni inizia a fessurarsi formando un ritidoma grigio bruno, con cordoni longitudinali lievemente spiralati, grossi, rilevati e molto allungati. Le foglie sono semplici, alterne, caduche e spiralate, ma apparentemente distiche per torsione del picciolo; sono lunghe 12-20 (25) cm, larghe 3-6 cm, con nervature nettamente rilevate e consistenza coriacea; la forma è ellittico-lanceolata con la base rotondata-cuneata. Il legno del castagno è mediamente pesante, di colore marrone chiaro, è utilizzato soprattutto per infissi, mobili, travature. Attualmente il castagno è molto diffuso in tutta l'Europa meridionale cisalpina; in parecchi casi l'areale del castagno è stato fortemente modificato dall'uomo che da tempi remoti ha coltivato e diffuso questa specie negli ambienti disponibili. In Italia vegeta in tutto il piano medio montano dell'Appennino e nel piano basale delle Alpi e delle Prealpi; la sua diffusione è limitata dalle basse temperature e dalla siccità.

La roverella (*Quercus pubescens* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q. pubescens*



Figura 17.: Corteccia di *Quercus pubescens*.

Fra tutte le querce europee la roverella è la più polimorfa; è un albero di taglia inferiore alla farnia e alla rovere, e raramente raggiunge i 25 metri di altezza, i diametri possono arrivare fino a 2-2,5 metri; è anche essa una quercia longeva. Il fusto è breve, non particolarmente diritto, con branche sinuose e rami sottili e divergenti che vanno a formare una chioma ampia, cupoliforme, emisferica, irregolare, non molto densa. La corteccia (Figura 17) è grigio-bruna, inizia a fessurarsi in età molto giovane con solchi longitudinali e trasversali che formano delle scaglie a profilo trasversale trapezoidale, rugose, più alte che larghe e molto dure. Le gemme sono ovoido-appuntite, pubescenti specie ai margini delle perule, grigie lunghe 8-12 (15) mm, disposte a spirale. Le foglie sono alterne, semplici, ovato-allungate, lunghe (3) 5-10 cm, ottuse all'apice, brevemente cuneate o cordate alla base. La lamina è di forma variabile, spesso asimmetrica, con meno di 8 coppie di nervature secondarie che decorrono non parallele e che divergono con un angolo di 45° dall'asse principale, con 5 o 6 lobi interi o sublobati e acutamente dentati; essa è verde, glabra superiormente, grigiastra o biancastra sulla pagina inferiore perché fittamente pubescente. Il legno ha un aspetto molto simile a quello del rovere, è duro e resistente ma, rispetto a quello di rovere e farnia è molto più pesante e di difficile lavorazione. Viene utilizzato per traverse ferroviarie, ed è ottimo come legna da ardere e per carbone. L'areale della roverella, seppur vasto, gravita principalmente nella parte meridionale del continente europeo; in Italia è presente in tutte le regioni principalmente nella sottozona calda del *Castagnetum*, e in ambienti molto diversificati, grazie al suo polimorfismo ecologico. E' la tipica specie eliofila, termofila e xerofila. Essendo molto simile alla rovere, ha nella pubescenza del ramo dell'anno un elemento che ne permette la distinzione.

La farnia (*Quercus robur* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q. robur*



Figura 18.: Corteccia di *Quercus robur*.

“Robur” è il sostantivo usato dai Romani per indicare le querce che producevano legname da opera. La farnia è un albero di grandi dimensioni alto fino a 30-35 metri, con diametri fino a 2 m e molto longevo. Il tronco è robusto e tende presto a ramificarsi, la chioma è ampia, irregolarmente ovata, leggera e mai densa. La corteccia (figura 18) è inizialmente liscia e grigia; dopo 20-30 anni il ritidoma diviene marrone scuro e si fessura profondamente in solchi longitudinali, paralleli, abbastanza profondi e raccordati da fessure trasversali; le costolature del ritidoma sono spesse, a sezione trasversale prevalentemente triangolare o trapezoidale. Le foglie sono caduche, ovate o ovato-oblunghe, strette alla base ma asimmetriche per l’ineguale sviluppo dei due piccoli lobi basali; sono più larghe nella parte superiore e hanno 5-7 paia di lobi ampi e separati da seni arrotondati.

Il legno della farnia è di lunga durata ed è utilizzato per molteplici usi: serve per costruzioni navali ed edili, per travature ed immobili, per doghe per botti, per parquet. La farnia ha l’areale più vasto fra le querce europee: dalla Scandinavia meridionale e dalla Russia, praticamente lungo il °60 parallelo, si estende a sud fino al Mediterraneo europeo, e asiatico; a ovest arriva alla foce del Douro. In Italia è presente in tutte le regioni, eccezione fatta per la Sardegna, cresce soprattutto nelle pianure alluvionali o lungo valli e vallecole umide; è molto esigente in luce e in calore estivo.

La crenata (*Quercus crenata* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q.crenata*



Figura 19.: Corteccia di *Quercus crenata*.

Questa quercia, pur diffusa in maniera sporadica, è presente in tutta l'Europa meridionale dalla Francia meridionale a tutta l'Italia e alle regioni costiere della penisola balcanica fino all'Albania; viene segnalata qua e là anche in Spagna. La sua sporadicità in un areale molto vasto e il suo polimorfismo non ben definito hanno fatto sì che a seconda degli autori essa venisse autonomamente codificata con nomi diversi. Si tratta di un taxon che viene considerato un ibrido tra *Q.cerris* e *Q. suber* (viene infatti chiamato cerro-sughera) che ha trovato la sua nicchia che non corrisponde necessariamente alla sovrapposizione fra ambienti del cerro e ambienti della sughera. Infatti molte delle segnalazioni riguardano zone dove una delle due supposte specie parentali non cresce, oppure dove è stata introdotta in tempi recenti. E' un albero generalmente di 10-20 (30)m di altezza con tronco diritto e diametri anche superiori al metro; le grosse branche sono molto espanse per cui la chioma tende ad allargarsi; la corteccia ricorda quella della sughera ma è meno spessa e meno suberosa. La sua corteccia (figura 19), benché suberosa, non può essere sfruttata come quella della sughera perché il fellogeno non si riforma.

Le foglie sono semipersistenti, coriacee, di dimensioni variabili (lunghe 3-7 cm) lanceolate o avato-lanceolate, cuneate o arrotondate alla base e con margine crenato (da cui il nome specifico) formato da 4-6 coppie di brevi lobi triangolari e mucronati; la pagina superiore è glabra, lucida, verde scura; quella inferiore è coperta da uno strato liscio di cere amorfe.

In Italia è presente in tutto il territorio ad eccezione della Sardegna: le segnalazioni la localizzano in prevalenza nel Piemonte, lungo le colline e le basse montagne dall'Emilia al Circeo soprattutto in boschi misti o puri di cerro; è segnalata anche nella parte meridionale della penisola e in Sicilia. L'ipotesi ibridogena si basa soprattutto sulle caratteristiche macromorfologiche che sono intermedie fra quelle del cerro e quelle della sughera; i risultati di prime indagini microscopiche e biochimiche sembrerebbero avvalorare questa origine (Schirone *et al.* 1990); essendo fertile, la crenata è capace di riprodursi autonomamente.

Il cerro (*Quercus cerris* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q.cerris*



Figura 20.: Corteccia di *Quercus cerris*.

Quercus cerris (da “*cerrus*” sostantivo latino per il cerro) è l’ultima delle querce decidue italiane di rilevante importanza. Il cerro generalmente non longevo come le precedenti querce è un grande albero che può raggiungere 30-35 metri di altezza e diametri di oltre 1 metro, ha il tronco diritto e slanciato e la chioma ovaleggiante e di media compattezza. Il ritidioma è liscio e grigiastro nelle piante giovani; dopo 10-12 anni inizia a fessurarsi divenendo poi duro, spugnoso, di color da grigio a quasi nero, fessurato profondamente in stretti solchi verticali ed orizzontali di color rosso salmone con costolature a profilo embricato (figura 20). Le foglie sono tardivamente caduche, molto variabili nella forma, ma generalmente oblunghie o obovate, troncate o arrotondate alla base; sono lunghe 6-11 cm e larghe 4-6 cm con un picciolo di 5-15 mm; tomentose finché giovani diventano in seguito coriacee e superiormente scabre per la presenza di brevi peli stellati; la pagina inferiore rimane più o meno pubescente. Il cerro si estende principalmente nell’Europa centro-meridionale e orientale: è raro in Francia dove cresce solo nei distretti più a ridosso dell’Italia è invece diffuso in buona parte della penisola italiana e in quella balcanica. E’ diffuso nella bassa collina fino a 800 metri di altitudine potendo però raggiungere anche quote superiori (1200 metri di altezza) nelle esposizioni soleggiate. Ubiquitario nei confronti del terreno, non disdegna nemmeno quelli argillosi purché dotati di una certa umidità; l’optimum è rappresentato dai suoli di origine vulcanica. Oltre che come specie forestale viene utilizzato anche come pianta ornamentale in parchi e giardini. Il legno del cerro è un legno pesante, non durevole, viene utilizzato per traverse ferroviarie per doghe da botti, raggi da ruote, paleria..etc.

La sughera (*Quercus suber* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: Quercus
- Specie: *Q.suber*



Figura 21.: Sughero maschio

La quercia da sughero o sughera, (il significato dell'epiteto specifico deriva dal latino "suber", sostantivo con cui i romani indicavano sia il sughero sia la quercia da sughero) è un albero che raggiunge i 20 m di altezza e diametri di 1,50 m; è abbastanza longevo (250-300 anni), purché non sfruttato. Il tronco difficilmente è diritto, si ramifica presto e porta rami disposti irregolarmente che formano una chioma poco simmetrica ampia ma piuttosto rada, e di un verde meno intenso di quella del leccio. La caratteristica più evidente di questa specie è il notevole sviluppo in spessore del ritidoma, che non si distacca mai dalla corteccia, formando un rivestimento suberoso detto in termine commerciale sughero (figura 21). Inizialmente la corteccia è liscia e grigiastra, dopo pochi anni si ispessisce formando appunto un ritidoma spugnoso, rugoso, fortemente screpolato e solcato da profonde fessure longitudinali, di colore biancastro esternamente e rossastro all'interno, spesso 3-5 (7) cm e che persiste per tutta la vita dell'albero. Dopo la decorticazione il felloderma appare inizialmente rosso, poi imbrunisce con il tempo a causa della produzione di tannini e della loro successiva ossidazione. Dopo diversi anni (15-20 anni) il sughero forma una copertura irregolare e Dopo la rimozione del sughero maschio, il fellogeno produce ogni anno nuovi strati di tessuto suberoso che formano un rivestimento più compatto e più regolare, detto sughero femmina o gentile, con una fitta screpolatura prevalentemente longitudinale e meno profonda, questo avviene generalmente dopo 8-10 anni dalla prima decorticazione. Le foglie durano 2 o 3 anni ma alcuni biotipi hanno foglie semipersistenti, sono verdi e coriacee intere ai margini oppure ornate da 4-7 denti acuti (la denticolazione si attenua con l'età), lunghe 3-7 cm e larghe 1,5-3 (4) cm, generalmente piccole negli ambienti secchi, più grandi in quelli più freschi; tomentose sulla pagina inferiore. Sono brevemente picciolate e hanno una lamina di forma variabile da ovata a oblunga. La fioritura avviene in primavera avanzata, fra aprile, maggio e giugno, oppure dopo il periodo di

aridità estiva. Il frutto è una ghianda ovale di colore verde quando è immatura, bruna a maturità, lunga fino a 3 cm con apice molto breve. *Q. suber* è una specie eurimediterranea con corologia occidentale: è diffusamente coltivata in buona parte della penisola iberica ove arriva a nord fino alla Cordillera Cantabrica (Spagna e Portogallo forniscono il 75% della produzione di sughero mondiale), si trova frequentemente nei settori tirrenico e ionico della penisola italiana, in particolare è presente in Liguria, diviene frequente in diverse zone costiere della Toscana e del Lazio, della Calabria e della Puglia: è estesamente coltivato in Sicilia e in Sardegna.

Pioppo (*P. alba*)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Salicales
- Famiglia: Salicaceae
- Genere: Populus
- Specie: *P. alba*



Figura 22.: Corteccia di *Populus alba*.

È una specie centro europea meridionale, nativa della Spagna e del Marocco, il cui areale arriva fino all'Africa settentrionale e all'Asia centrale. In Italia si trova dalla pianura fino a circa 1500 m. s.l.m. È alto fino a 30 metri (40), con un'ampia chioma arrotondata. Tra le numerose specie e varietà di pioppo questa è la più sana e longeva, anche se raggiunge raramente il centinaio d'anni d'età; esistono, tuttavia, prove documentate di alcuni individui in Parchi storici vissuti eccezionalmente oltre 180 anni. La sua corteccia grigio chiaro (figura 22), simile a quella della betulla, rimane per lungo tempo liscia e punteggiata da piccole lenticelle suberose a forma di rombo; invecchiando diviene più scura e solcata longitudinalmente dalla base dell'albero e progressivamente diventa ruvida e molto scura.

Le foglie, sorrette da un picciolo depresso lateralmente lungo fino a 5 cm, hanno una forma ovale o rotondeggiante, ma talvolta irregolarmente lobata (4-8 cm). La pagina fogliare superiore è lucida, di colore verde scuro, mentre quella inferiore, come gli interi getti giovani, è ricoperta da una fitta peluria biancastra (tomento), da cui il nome comune della pianta. Come tutte le altre salicaceae, il pioppo bianco è una pianta dioica con i fiori unisessuali riuniti in amenti, che compaiono prima

delle foglie. . Gli amenti maschili sono cilindrici, quelli femminili corti con fiori ascellanti su una brattea pelosa. Anche la dispersione dei semi, contenuti in capsule, è affidata al vento grazie alla presenza su questi di filamenti pelosi il cui insieme è detto pappo. Il pappo pur costituito di finissima cellulosa provoca sempre fastidio a occhi e naso con spesso reazioni allergiche. In giardinistica diventa, quindi, indispensabile raccomandare l'uso di piante di sesso maschile pretendendole ai vivaisti che le possono ottenere per talea.

Il legno è leggero e viene impiegato nella produzione di cellulosa, compensati, mobili di poco pregio.

Noce (*J. nigra*)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Juglandaceae
- Genere: Juglans
- Specie: *J. Nigra*



Figura 23.: Corteccia di *Juglans nigra*.

Il noce nero è un albero di prima grandezza in quanto può raggiungere un'altezza di 30 metri. Il tronco è eretto e la chioma è ampia, globosa ed espansa. La corteccia è di colore bruno-grigiastro e negli esemplari adulti appare incisa longitudinalmente. Le foglie sono caduche, lunghe 40-50 cm, alterne, composte da 10-22 o 11-23 foglioline lunghe 3-8 cm, paripennate o imparipennate (con fogliolina terminale); la lamina è ovoidale, lanceolato-acuminata con margine dentato o finemente seghettato, più stretta e affusolata rispetto al noce europeo. Le foglie sono di colore verde chiaro, glabre sulla pagina superiore e leggermente pelose sulla pagina inferiore.

Il noce presenta fiori unisessuali riuniti in infiorescenze (albero monoico). I fiori maschili sono raccolti in infiorescenze ad amento, pendule, di colore verdastro e della lunghezza di 6-12 cm;

quelli femminili, meno visibili, formano piccoli grappoli (racemi), di 3-5 fiori. La fioritura si ha tra aprile e giugno.

I frutti sono drupe singole o appaiate di circa 4 cm di diametro, più tonde rispetto a quelle del noce europeo; all'esterno presentano uno strato carnoso (mallo) che avvolge il guscio più duro. Il colore è inizialmente verde e diventa quasi nero a maturità.

Il noce nero detto anche noce americano, è stato introdotto attorno al 1630 in Europa in seguito ad un inverno molto freddo che aveva decimato i noci nostrani. È un albero resistente al freddo, longevo (fino a 200 anni), a rapida crescita, che si adatta ai diversi terreni, anche se predilige suoli argillosi e profondi senza ristagni idrici. Viene utilizzato sia per il buon legno color rosso scuro e duro, resistente agli insetti, sia come pianta ornamentale, ma le sue radici producono una sostanza tossica, lo juglone, che può avvelenare le altre piante.

Le noci sono commestibili, ma hanno un guscio molto duro ed uno scarso gheriglio. Dai semi si può estrarre un olio commestibile che però è utilizzato normalmente nell'industria delle vernici e dei saponi.

Magnolia (*M. grandiflora* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Magnoliales
- Famiglia: Magnoliaceae
- Genere: Magnolia
- Specie: *M. grandiflora*

La Magnolia è originaria dell'America settentrionale ed anche di parte del suo stesso territorio centrale. In Italia non è presente allo stato naturale, ma solo come essenza ornamentale, per lo più impiegata isolata o a gruppi nel giardino e, in alcuni casi, per alberare viali.

Albero che può raggiungere fino a 20-25 mt. La ramificazione, del tipo monopodiale si presenta già dalla base del tronco, conferendo alla pianta un regolare aspetto conico-piramidale e una fitta chioma. La Magnolia grandiflora è una latifoglia sempreverde, con foglie semplici, ovate o ellittiche (5x15 cm), a margine intero, di color ruggine al rovescio e verde-scuro e lucide sulla pagina

superiore, inserite in modo alterno su rametti brunastri e lisci.

I fiori sono ermafroditi, bianchi, profumati, larghi 20 cm circa, di antica struttura, con parti disposte a spirale su di un asse conico-allungato a guisa di uno strobilo di conifera. Gli organi sessuali, costituiti entrambi di numerosi elementi, appaiono gialli. La fioritura avviene durante i mesi estivi di giugno-luglio e l'impollinazione è entomofila.

Le foglie di questa sempreverde rimangono sui rami per almeno due anni e, unitamente ai fiori molto decorativi, conferiscono alla pianta bellezza ed eleganza. La pianta è stata introdotta in Europa nel 1737 e, da allora, si è molto utilizzata a scopo ornamentale. Ama climi miti, tollerando gelate non troppo intense; è per questo motivo che deve essere posta in luoghi esposti al sole riparati dal vento. Il legno consistente, robusto e piuttosto resistente, ne caratterizza l'impiego in molti lavori di falegnameria. Infine dobbiamo ricordare che questa specie e le magnoliacee in genere sono piante di remotissima antichità (reperti fossili ne indicano l'appartenenza al Cretacico).

Leccio (*Quercus ilex* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Fagales
- Famiglia: Fagaceae
- Genere: *Quercus*
- Specie: *Q.ilex*



Figura 24.: Corteccia di *Quercus ilex*.

Il leccio è un albero molto longevo (500-1000 anni) che può raggiungere 25 metri di altezza e diametri molto superiori al metro; in situazioni di stress ambientale può assumere portamento arbustivo. Il tronco non è diritto e si ramifica piuttosto presto; la chioma è molto densa, di color verde scuro, dapprima ovaleggiante e quindi subsferica o emisferica.

La corteccia (figura 24) è liscia e grigia da giovane, diviene quindi dura, scura (nerastra), spessa qualche millimetro, finemente screpolata in piccole placche, pressoché quadrate e persistenti.

Il ramo dell'anno è grigio e tomentoso, poi diviene grigio-verdastro e glabro; le gemme sono piccole, tomentose, arrotondate, con poche perule; il leccio è pol ciclico e può produrre anche 2 o 3 cacciate all'anno.

Le foglie persistono 2-3 (4) anni sono spesse e coriacee, con un breve piccolo peloso, lineari o oblunghie e caduche, sono verde scuro lucente di sopra, bianche o grigiastre e coperte da una fitta pubescenza sulla pagina inferiore; la lamina è molto variabile nelle dimensioni e nella forma : da lanceolata ad ellittica, è lunga 3-7 (8) cm e larga 1-2,5 (3,5) cm, con la parte basale cuneata o arrotondata.

Anche il leccio, come la sughera ha foglie giovanili eteromorfe. Il leccio matura le ghiande nell'autunno dello stesso anno della fioritura. I fiori maschili hanno perianzio esalobato e 6-8 stami; sono riuniti in amenti cilindrici, lunghi 5-7 cm, tomentosi, lassi e penduli, portati alla base del ramo dell'anno. I fiori femminili hanno perianzio esalobato, (3) 4 stigmi e sono in spighe di 6-7 fiori con un asse peloso.

Le ghiande sono portate in gruppi di 1-5 (7) su un peduncolo, sono variabili nelle dimensioni e hanno una colorazione castano scura. Il leccio ha un areale circummediterraneo mancando solo in Egitto, la specie è molto più diffusa nel settore occidentale.

In Italia è diffuso maggiormente nelle isole e nelle regioni costiere tirreniche e ioniche; sul versante adriatico i popolamenti diventano discontinui e sporadici anche se si possono trovare formazioni estese in Puglia, Abruzzo e Marche.

Il leccio è la tipica specie dei querceti sempreverdi mediterraneo-occidentali e rappresenta l'elemento che più caratterizza la vegetazione della fascia mediterranea temperata. E' specie moderatamente igrofila, ma nello stesso tempo molto xerotollerante ed è relativamente termofila. Rispetto alla sughera si dimostra più resistente al freddo, alle basse intensità luminose, alle brusche variazioni di temperatura ed è meno esigente in fatto di suolo. Il leccio è un legno pregiato come combustibile e per produrre carbone, viene utilizzato anche per manici per aratri, e per pezzi per torchi.

Il Platano (*Platanus acerifolia* L.)



- Regno: Plantae
- Divisione: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordine: Hamamelidales
- Famiglia: Platanaceae
- Genere: *Platanus*
- Specie: *P.acerifolia*



Figura 25.: Corteccia di *Platanus acerifolia*.

Il Platano (*Platanus hybrida* Brot = *Platanus acerifolia* L.) appartiene alla famiglia delle Platanaceae alla quale appartengono 14 specie nel mondo, ritenuto un ibrido tra il *Platanus orientalis* (specie dell'Asia Anteriore e dell'India) e il *Platanus occidentalis* (specie americana) oppure di una forma coltivata del *Platanus orientalis* (Bernetti, 1995). Il suo vigore è tipico degli ibridi, è un albero dal rapido accrescimento, alto fino a 30-40 metri.

Tollera bene le condizioni di pesante inquinamento delle città e delle aree industriali, ha uno spiccato adattamento ai diversi tipi di suolo (preferendo quelli argillosi, non eccessivamente calcarei).

La corteccia è di colore bianco grigiastro, divisa in placche che staccandosi lasciano grandi macchie giallastre (Figura 25.). Le foglie sono di colore verde intenso, palmato lobate, incise fino a meno

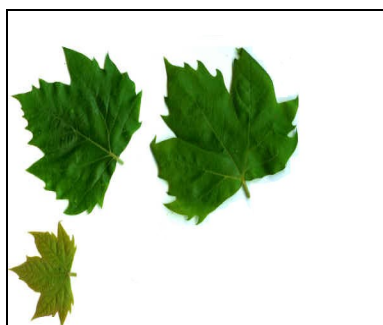


Figura 26.: Vari formati di foglie di platano

della metà, con cinque lobi appuntiti e un picciolo alla base (Figura 26.). Pianta monoica con fiori tutti unisessuali sessili, sono riuniti in capolini globosi, portati da un unico peduncolo. La fioritura avviene in genere in tarda primavera. A maturità, i capolini si trasformano in frutti composti (achenosi) dalla forma sferica e di colore bruno di 3-4 cm, costituiti da nucule (piccoli acheni). Gli achenosi rimangono sull'albero tutto l'inverno e poi in primavera si

spaccano liberando i singoli acheni. Le gemme sono coniche di colore rosso. Viene di solito propagato per talea, perché per lo più il seme non giunge a maturazione.