



# UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA FACOLTA' DI AGRARIA

Corso di Laurea Magistrale in  
SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

## GLI APPARATI RADICALI NELLA SALVAGUARDIA E NEL RECUPERO DEGLI ALBERI MONUMENTALI

Relatore: Prof. Sergio Mutto Accordi

Correlatore: dott. Luigi Strazzabosco

Laureando: Dott. Nalin Giovanni

Matricola n° : 623165

ANNO ACCADEMICO 2012-2013



**INDICE**

---

**1 INTRODUZIONE**

## 1.1 PRECISAZIONI

## 1.2 Considerazioni preliminari a proposito degli alberi in ambienti antropizzati

**2 L'ALBERO MONUMENTALE**

## 2.1 L'INTERESSE ATTORNO AGLI ALBERI MONUMENTALI

## 2.2 PERCHE' GESTIRE GLI ALBERI MONUMENTALI

## 2.3 IL VERDE STORICO E LA QUESTIONE DELLA SALVAGUARDIA E DEL RESTAURO

## 2.4 TIPOLOGIE DI ALBERI MONUMENTALI

## 2.4.1 esemplari integri

## 2.4.2 esemplari in forma obbligata

## 2.4.3 esemplari ricostruiti

## 2.4.4 Forme intermedie

## 2.4.5 Esemplari mutilati o irreparabilmente danneggiati

## 2.5 L'ALBERO MONUMENTALE E IL SUO CONTESTO

## 2.6 DIFFERENZA FRA ECOSISTEMA FORESTALE E VERDE URBANO

## 2.6.1 Il suolo forestale

## 2.6.2 Il suolo in ambito urbano

## 2.6.3 Fattori che determinano la crescita, la forma e la dimensione della chioma

**3 UN POSSIBILE PROTOCOLLO PER LA VALUTAZIONE DI SALUTE E BENESSERE DELL'ALBERO MONUMENTALE**

## 3.1 INDAGINI MORFOLOGICHE

## 3.1.1 Apparato epigeo

## 3.1.2 Apparato ipogeo

## 3.2 INDAGINI FISIOLOGICHE

## 3.2.1 Apparato epigeo

## 3.2.2 Apparato ipogeo

## 3.3 STATO FITOSANITARIO DELL'APPARATO EPIGEO

## 3.3.1 Cambiamenti di colore della chioma

## 3.3.2 Disseccamenti di foglie, rami o branche

## 3.3.3 Comparsa di malformazioni

## 3.3.4 Necrosi di tessuti e di organi

## 3.3.5 Necrosi corticale

## 3.3.6 Presenza di essudati e incrostazioni

## 3.3.7 Variazioni di consistenza e struttura di tessuti ed organi

## 3.4 STATO FITOSANITARIO DELL'APPARATO IPOGEO

## 3.5 RESISTENZA MECCANICA DEI TESSUTI LEGNOSI

## 3.6 CONDIZIONI ENERGETICHE DELLA PIANTA

## 3.6.1 Variazione del livello energetico della pianta durante l'anno e "Askenasy's Potential Energy Curve"

## 3.6.2 Un metodo migliorato per la determinazione dell'amido nei tessuti legnosi

**4 PROBLEMATICHE FITOPATOLOGICHE DEGLI ALBERI MONUMENTALI**

## 4.1 L'ALBERO MONUMENTALE, L'INTERESSE, I PROBLEMI, LA SALVAGUARDIA

## 4.2 PROCESSI DI DEPERIMENTO NEGLI ALBERI IN RELAZIONE CON IL DECADIMENTO FUNGINO

## 4.3 LA CRESCITA DIAMETRALE DEL FUSTO CON L'ETA'

## 4.4 DECADIMENTO INDOTTO DA LESIONI

## 4.5 DECADIMENTO DELLE RADICI PRIMARIE

- 4.6 ALBURNO E DURAMEN NEGLI ALBERI MONUMENTALI
- 4.7 IL RUOLO DI SPECIE FUNGINE NEL DEPERIMENTO O NELLA SOPRAVVIVENZA DEGLI ALBERI MONUMENTALI
- 4.8 I MARCIUMI RADICALI
- 4.9 LA PERDITA DI FUNZIONALITÀ DEI TESSUTI VASCOLARI
- 4.10 MECCANISMI DI DIFESA ANTIMICROBICA NEL TESSUTO SECONDARIO
- 4.11 MECCANISMI CHIMICI DI DIFESA
  - 4.11.1 Le difese chimiche passive
  - 4.11.2 Le difese attive o inducibili
- 4.12 LA RESISTENZA INDOTTA
  - 4.12.1 La resistenza sistemica acquisita (SAR)
  - 4.12.2 La resistenza locale acquisita (LAR)
- 4.13 MECCANISMI DI DIFESA DELLE PIANTE ARBOREE A PATOGENI E INSETTI
  - 4.13.1 L'evidenza
- 4.14 EFFETTI DELLA RESISTENZA INDOTTA SULLA FITNESS DELLA PIANTA
- 4.15 I FULMINI
  - 4.15.1 Conseguenze dei fulmini sulla pianta arborea
- 4.16 CONFLITTI FRA ALBERO E ATTIVITÀ ANTROPICHE

## 5 STADI EVOLUTIVI DEGLI ALBERI

- 5.1 CAUSE DEL DECLINO
  - 5.1.1 Non ricostruzione, ma nuova produzione
  - 5.1.2 Alex Shigo e la teoria "CODIT"
  - 5.1.3 Distribuzione dell'energia tra chioma e radici
  - 5.1.4 "età anagrafica" ed efficienza funzionale

## 6 L'ALBERO CHE NON SI VEDE

- 6.1 LA VALUTAZIONE DELL'APPARATO RADICALE
- 6.2 FATTORI CHE INFLUENZANO LA CRESCITA E LO SVILUPPO DELLE RADICI
  - 6.2.1 Gli ormoni
  - 6.2.2 La crescita degli apparati radicali
- 6.3 LE MICORRIZE
- 6.4 DISTRIBUZIONE DELL'APPARATO RADICALE E MECCANICA DELLA PIANTA
- 6.5 LA RIZOSFERA
- 6.6 ORIGINE DELLE RADICI
  - 6.6.1 Basi teoriche e pratiche per l'analisi
- 6.7 NEL CONTESTO URBANO
- 6.8 CONDIZIONI CHE FAVORISCONO LA "RIGENERAZIONE" DELLE RADICI
  - 6.8.1 Il periodo più adatto alla rigenerazione delle radici
  - 6.8.2 L'ossigenazione

## 7 GLI ALBERI SECOLARI, IL DECLINO DEL SUOLO E LA STANCHEZZA DEL TERRENO

- 7.1 CONDIZIONI DEL TERRENO SEMPRE DIVERSE
  - 7.1.1 Sostanze allelopatiche
  - 7.1.2 Il "saldo energetico" della pianta
- 7.2 TIPI DI RADICE
- 7.3 ASSORBIMENTO RADICALE E TERRITORIO RADICALE - ecofisiologia dell'assorbimento
  - 7.3.1 I FAP
- 7.4 DISTRIBUZIONE DELLE RADICI
  - 7.4.1 Fase territoriale transitoria
  - 7.4.2 Dimensioni dell'apparato radicale
  - 7.4.3 Crescita delle radici
  - 7.4.4 Corona e cavità radicale

- 7.4.5 I FAS
- 7.4.6 Rinnovo del terreno e ricolonizzazione radicale
- 7.4.7 Macromigrazione radicale
- 7.4.8 Uso circolare della nicchia
- 7.4.9 Impatto dell'uso circolare della nicchia
- 7.4.10 Forma e attività dell'apparato radicale
- 7.4.11 Maturità riproduttiva e arresto dell'espansione radicale (residenzialità radicale)
- 7.4.12 Origine del rapporto allelopatico
- 7.4.13 Organizzazione del bioma e omeostasi dell'ecosistema
- 7.5 LA REALTA' URBANA
- 7.6 MANIFESTAZIONI DELLA STANCHEZZA SULLA PIANTA
- 7.7 METODI DI PREVENZIONE E RECUPERO DELLA STANCHEZZA
  - 7.7.1 I programmi di prevenzione

## **8 LE PROVE CONDOTTE SULLA FORMAZIONE DI NUOVE RADICI**

- 8.1 FORMAZIONE DELLA STRUTTURA ARBOREA E "MODELLO DELLA PIANTA A TUBI"
- 8.2 IL PARCO DI VILLA GIULIA
  - 8.2.1 Alcune note storiche
  - 8.2.2 Brevi considerazioni sulle condizioni del parco
  - 8.2.3 Le piante monumentali di Villa Giulia
- 8.3 RAPPORTO SUI PRELIEVI DEI CAMPIONI RADICALI E LE OPERAZIONI SUCCESSIVE
- 8.4 ESITI DEI RILIEVI E DELLA PROVA
  - 8.4.1 Grafici ed elaborazione statistica dei dati raccolti
  - 8.4.2 Documentazione fotografica
- 8.5 RAPPORTO SUI PRELIEVI SUCCESSIVI E LE RELATIVE OSSERVAZIONI
- 8.6 ESITI DEI RILIEVI E DELLA PROVA
  - 8.6.1 Grafici ed elaborazione statistica dei dati raccolti
  - 8.6.2 Analisi dell'indice di Correlazione di Pearson e Welch Two Sample t-test
- 8.7 LA PROVA IN ASSENZA DI OSSIGENO
  - 8.7.1 Fasi e particolari della prova
  - 8.7.2 Rilievi sui campioni posti a reagire
  - 8.7.3 Esito del trattamento
- 8.8 RAPPORTO SUI PRELIEVI DEL 4/05/12 E LE SUCCESSIVE OPERAZIONI
  - 8.8.1 Grafici ed elaborazione statistica dei dati raccolti
- 8.9 OSSERVAZIONI

## **9 CONTENUTO DI AMIDO E REITERAZIONE RADICALE**

- 9.1 ESITO DEI RILIEVI SU SEGMENTI DI RADICI DI MAGNOLIA G.
- 9.2 SCHEDE DI RILEVAMENTO - ANALISI
- 9.3 ESITO DELLA PROVA

## **10 LA GESTIONE DELL'ALBERO MONUMENTALE**

- 10.1 IL VALORE DELL'ALBERO MONUMENTALE
- 10.2 GESTIRE IL PATRIMONIO ARBOREO MONUMENTALE
  - 10.2.1 Buone regole per la conservazione di un grande albero
  - 10.2.2 Gli interventi a carattere preventivo
  - 10.2.3 Gli interventi curativi
  - 10.2.4 Buone pratiche di governo
- 10.3 IL CONSOLIDAMENTO
- 10.4 METODI ANALITICI DI VALUTAZIONE DI STABILITA' DEGLI ALBERI
  - 10.4.1 La valutazione biomeccanica e il Metodo OREBLA
- 10.5 LA GESTIONE

## 11 CONCLUSIONI

### LETTERATURA CITATA E BIBLIOGRAFIA

Abstract

Riassunto

*Ringraziamenti*

*a Mariangela, Francesco, Gianmarco e Margherita*

**ALBERO**

Albero,

*libertà dinamica,*

*imperio del silenzio creativo,*

*iperbole di linfe metaboliche,*

*ventre di fiori potenziali,*

*taciturno linguaggio laminato,*

*vertice d'ascensioni alate,*

*carisma sacro della terra,*

*gamete di mantelli protettivi.*

Albero,

*anima immacolata del foglio,*

*sacerdote vergato del sapere,*

*culla, letto, bara,*

*tavola conviviale d'amicizia,*

*fenditore di terra, d'onda e di cielo,*

*opulenta lussuria di fecondità,*

*interlocutore del vento,*

*simposio di vita collettiva,*

*stupefacenza biochimica*

*dell'azione e della controazione,*

*vertigine del'interdipendenza,*

*clava, alabarda, ruota,*

*greppia, madia, croce,*

*vessillo di albe,*

*stendardo di tramonti.*

Albero,

*cosmopolita bandiera purificatrice,*

*alito poliedrico di prodigiose rinascenze,*

Albero,

*rifugio e tabernacolo*

*di benedizioni propiziatricie,*

*esorcista magico di possibili sopravvivenze.*

Albero,

*beatitudine del suolo,*

*soprattutto per merito tuo,*

*il futuro del mondo può tingersi di verde.*

# 1 INTRODUZIONE

“Gli alberi sono esseri viventi; sono meravigliosi sistemi viventi! Sono gli esseri viventi più alti e longevi al mondo, ma non possono fare quello che noi facciamo: non possono correre, e per questo rimangono sul luogo in cui sono nati. Non hanno intelligenza; per questo possiedono capacità di difesa straordinarie ed efficaci”.

Con queste parole esordiva Padova, il 13 maggio 2000, presso l’aula Nievo, il prof. Alex Shigo, uno dei maggiori ricercatori al mondo sulla biologia degli alberi, i cui studi rappresentano un cardine della moderna arboricoltura.

Concetti apparentemente semplici, da sembrare quasi banali. Eppure sono la chiave di lettura, osservazioni da cui partire. Shigo però si affrettò a dire: “Più le cose sono semplici, e più è difficile farle capire agli altri”, consapevole delle incomprensioni e delle resistenze che vecchie convinzioni avrebbero generato.

Ma le sue convinzioni difficilmente possono essere smentite. Nascono dalla semplice (ma attenta e scrupolosa) osservazione della realtà. Ed egli stesso affermò: “Osservo le piante, e quello che vedo è spesso diverso da quanto riportato dai libri”.

Conoscevo Alex Shigo di fama, e sostenevo i suoi principi con convinzione. Quel giorno ero presente, ed emozionato. Mi annotai con diligenza le affermazioni che seguono, riportate in sintesi.

## (Sintesi delle affermazioni espresse nella relazione del prof. Alex Shigo.)

- Gli alberi sono esseri viventi; sono un meraviglioso sistema vivente! Sono gli esseri viventi più alti e longevi del mondo, ma non possono fare quello che noi facciamo: non possono correre, e per questo rimangono sul posto in cui sono nati.
- Non hanno intelligenza; per questo possiedono capacità di difesa straordinarie ed efficaci.
- Noi possiamo vivere perché le parti che muoiono vengono sostituite da parti che ricrescono. Le piante questo non lo possono fare. Negli animali c’è un **sistema rigenerativo**, che costruisce nuove parti nelle medesime posizioni. Nelle piante abbiamo il **sistema generativo**, che fa nascere parti nuove in nuove parti. Non si può far rinascere ciò che è morto.
- La pianta genera nuove parti in nuove posizioni. Ciò richiede energia.
- **Nessun sistema può rimanere ordinato se non ha energia disponibile. Così anche l’albero può mantenere un suo ordine solo finché ha energia.**
- Per noi l’energia viene dal cibo. L’albero non trova il cibo già fatto: l’albero se lo deve produrre.
- Quando un albero richiede energia, non può andarla a prendere, ma trovarla nel luogo in cui è. (I fertilizzanti non forniscono energia).

- Una macchina, anche in assenza di un solo componente può non funzionare; ma non per questo è da buttare. Anche il nostro organismo non è mai perfettamente sano, ma neanche completamente malato. Così un albero non è mai completamente malato, ma avrà parti sane e parti malate.
- Un albero ottiene l'immagazzinamento di energia convertendo il glucosio in amido (insolubile in acqua). Quando l'energia cala, le difese calano. Se le difese calano, gli agenti patogeni hanno il sopravvento. Nell'infezione un organismo si unisce a un altro organismo (di un'altra specie) con trasferimento di sostanze.
- Qualsiasi albero è infetto, con decine di migliaia di infezioni.
- Un albero è un organismo altamente compartimentato, capace di isolare gli organismi patogeni.
- Anche gli alberi prima o poi possono terminare la loro esistenza, come tutte le grandi cose. Quello che conta è la qualità del tempo vissuto, non la quantità.



Alex Shigo, Biologo e Fitopatologo, ha lavorato dal 1959 al 1985 presso il Servizio Forestale statunitense, come ricercatore a capo del progetto sperimentale sul decadimento del legno. Ha sezionato ed esaminato più di 15.000 alberi, in America e in tutto il mondo. È autore di numerosissime pubblicazioni scientifiche, ed ha ottenuto numerosi riconoscimenti ed attestati. Riteneva che gli alberi possano essere aiutati attraverso la ricerca sperimentale e la divulgazione delle nuove acquisizioni. Ha finito la sua carriera come docente e autore, ansioso di trasmettere le conoscenze e l'amore per gli alberi.

Il 6 ottobre 2006 si è spento nella sua casa di Barrington.

Sono affermazioni quasi telegrafiche, chiare, che però richiederebbero approfondimenti, ulteriori esemplificazioni, spiegazioni che quella mattina non avrebbe potuto fornire per limiti di tempo, ma che esprimono verità scaturite da una ricerca durata una vita. E che sta a noi comprendere e proseguire.

## 1.1 PRECISAZIONI

Il presente lavoro raccoglie contributi da varie ricerche per fare un po' il punto della situazione, un aggiornamento, su aspetti riguardanti in particolare biologia e fisiologia degli alberi, alla luce di recenti e meno recenti (ma non sempre conosciute) acquisizioni. L'obiettivo è di fornire riferimenti, e magari formulare un po' per volta un protocollo che consenta di intervenire con maggiore cognizione a salvaguardia del nostro patrimonio arboreo. Parlo in particolare di quello di maggior pregio, attualmente tutelato dalla legislazione alla stregua dei monumenti.



*Quercus macrolepis* (sin. *valleronea*) - Tricase (Le)

## 1.2 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI A PROPOSITO DEGLI ALBERI IN AMBIENTI ANTROPIZZATI

Le specie arboree si sono evolute nel corso di milioni di anni, molto prima che l'uomo comparisse sulla terra. Queste piante possono vivere in assenza dell'uomo, mentre l'uomo non potrebbe esistere senza la loro. Questa lapidaria osservazione non ci deve però far concludere che le piante non abbiano bisogno dell'intervento umano. Innanzitutto perché gli ecosistemi naturali in cui tali specie si sono evolute sono in buona parte scomparsi, o quanto meno sono alterati rispetto al passato. In secondo luogo perché le piante inserite in un contesto urbano o antropizzato, oltre a

vivere in condizioni diverse da quelle di un ecosistema naturale, devono assolvere precise funzioni, possibilmente senza procurarci problemi.

Negli ecosistemi naturali il fatto che una pianta compia il proprio ciclo e giunga prima o poi al termine della propria esistenza è un fatto normale. Il ciclo della sostanza organica si sostiene grazie a questo. La cosa importante è la sopravvivenza della specie più che dell'individuo. Nell'ecosistema urbano e nell'arboricoltura in genere, la morte, ma anche lo stato di sofferenza, danno luogo a una serie di problemi; e non solo di ordine estetico o produttivo, ma soprattutto di sicurezza per l'utenza e per le strutture.

Negli ambienti antropizzati, in definitiva, l'intervento umano, può trovare giustificazione. Nella semplificazione degli ecosistemi urbani e nelle condizioni ambientali spesso lontane da situazioni naturali, gli interventi manutentivi divengono necessari per cercare di mantenere un equilibrio che è artificiale e precario. È inoltre da considerare che l'uomo ha nei confronti dell'albero delle pretese (produzioni, miglioramento ambientale ed estetico, contributo alla biodiversità, ecc.), non sempre conciliabili con l'ambiente e le condizioni in cui vive e con la propria ecologia. Per questi ed altri motivi si interviene, in vario modo, ma non sempre appropriato.

Tra le diverse situazioni in cui le piante arboree possono trovarsi inserite vale la pena distinguere quelle che per caratteristiche ambientali più si avvicinano alle condizioni "naturali". È il caso, ad esempio, dei parchi "paesaggistici" del passato, ispirati proprio a situazioni agro-silvo-pastorali del paesaggio di una volta, che ora definiremo "ecocompatibili" e maggiormente "sostenibili". Per quanto artificiali ed artificiosi, questi "paesaggi costruiti" possiedono spesso una componente di naturalità che ne ha resa meno problematica la gestione. Le situazioni previste e create si sono con il tempo evolute in sistemi molto prossimi a quelli naturali anche nella complessità, perciò più facilmente gestibili. Non a caso, gli alberi monumentali di maggior pregio o in migliori condizioni li troviamo sovente in queste realtà.

Negli "ecosistemi urbani" le piante si trovano in condizioni anche molto diverse rispetto ad una situazione naturale. Nei nostri climi le piante arboree si troverebbero in natura associate in formazioni forestali: non esiste la pianta isolata col praticello attorno, o in filare monospecifico e il sesto d'impianto regolare. Lo sviluppo stesso delle piante arboree nelle nostre città assume quindi aspetto, caratteristiche, forme e dimensioni che non si avrebbero negli ecosistemi naturali. Oltre poi ad andare incontro a problematiche simili a quelle di una coltura agraria, quasi sempre senza il vantaggio delle cure colturali. Di qui la necessità di una gestione appropriata, per rimediare, o fare in modo di ottenere dagli alberi le molteplici utilità che ci possono fornire, evitando o limitando gli inconvenienti che le condizioni reali comportano.

## 2 L'ALBERO MONUMENTALE

Un grande albero è una pianta annosa, testimone del passato e di vicende che lo legano agli uomini e al paesaggio; più spesso lo associamo ad un esemplare pregevole, maestoso e imponente, oppure anche e semplicemente ad una bella pianta inserita in un contesto storico, artistico, architettonico o paesaggistico, così da esserne parte integrante. Si può per questo condividere l'affermazione secondo la quale un albero monumentale è: “un essere vivente che cessa di essere tale per divenire testimone del passato e della sua vita in relazione con gli uomini ed il paesaggio”. (Il termine monumento deriva dal latino “monere”, ossia ricordare).

Si riportano di seguito i due estratti dal Disegno di Legge, quello approvato in Senato della Repubblica l'11 aprile 2011 e quello approvato dalla Camera dei Deputati il 20 settembre 2011, che ne danno definizioni precise e condivisibili. Tale disegno è divenuto Legge nel dicembre 2012.

(testo approvato dal Senato della Repubblica)

**Art. 6** (*Disposizioni per la tutela e la salvaguardia degli alberi secolari, dei filari e delle alberate di particolare pregio paesaggistico, monumentale, storico e culturale*)

1. Agli effetti della presente legge e di ogni altra normativa in vigore nel territorio della Repubblica, per “albero monumentale si intendono:
  - a. L'albero ad alto fusto isolato o facente parte di formazioni boschive naturali o artificiali ricadenti in aree demaniali o pubbliche, proprietà private, aree rurali e centri urbani, che può essere considerato come raro esempio di maestosità e longevità, per età o dimensioni, o di particolare pregio naturalistico, per rarità botanica e peculiarità della specie, ovvero che reca un preciso riferimento ad eventi o memorie rilevanti dal punto di vista storico, culturale, documentario o delle tradizioni locali;
  - b. i filari e le alberate di particolare pregio paesaggistico, monumentale, storico e culturale, ivi compresi quelli inseriti nei centri urbani;
  - c. gli alberi di alto fusto inseriti in particolari complessi architettonici di importanza storica e culturale, quali ad esempio ville, monasteri, chiese, orti botanici.

(testo approvato alla Camera dei Deputati)

**Art. 8** (*Disposizioni per la tutela e la salvaguardia degli alberi **monumentali**, dei filari e delle alberate di particolare pregio paesaggistico, **naturalistico**, monumentale, storico e culturale*)

1. *Identico:*

- d. L'albero ad alto fusto isolato o facente parte di formazioni boschive o artificiali ovunque ubicate ovvero l'albero secolare tipico, che possono essere considerati come rari esempi di maestosità e longevità, per età o dimensioni, o di particolare pregio naturalistico, per rarità botanica e peculiarità della specie, ovvero che recano un preciso riferimento ad eventi o memorie rilevanti dal punto di vista storico, culturale, documentario o delle tradizioni locali;
  - a. *Identica*
  - b. *Identica*



PH. G. NALIN

*Taxodium distichum* - Giardino Mancini, Montagnana (PD)

## 2.1 L'INTERESSE ATTORNO AGLI ALBERI MONUMENTALI

Negli ultimi anni si è assistito ad una progressiva crescita di interesse nei riguardi degli alberi monumentali. Tale interesse è motivato da una ormai diffusa sensibilità estetica, storica e culturale verso la componente vegetale del paesaggio, in particolare per quella arborea.

Ma (al di là delle descrizioni che ne fa la legislazione) che cos'è esattamente un albero monumentale? In realtà già la stessa definizione di albero monumentale sfugge ad ogni criterio di rigosità scientifica; e non ci è d'aiuto associare al generico concetto di albero l'aggettivo "monumentale" che, pur se ricco di suggestione evocativa, non ha alcuna rilevanza di tipo biologico. Seguendo questo ragionamento dovremmo perciò concludere che un albero monumentale è tale soprattutto in ragione delle sue peculiarità esteriori ed immediatamente riconoscibili, ovvero essenzialmente le dimensioni e l'aspetto, cui siamo soliti attribuire una valenza estetica. Tuttavia, un albero è innanzi tutto un essere vivente; in questo senso il suo aspetto è il risultato di un processo biologico del quale, in estrema sintesi, le dimensioni, o meglio alcuni dei parametri biometrici, auxologici, dendrometrici corrispondono ad un'età avanzata.

Eppure un albero monumentale non è solo "un grande albero di bell'aspetto"; esso è soprattutto "un sopravvissuto", il relitto o la testimonianza di un paesaggio, di un ecosistema, di un uso del suolo e di una precisa fase della vita degli uomini che, attraverso le generazioni, l'hanno piantato, governato, accudito e ne hanno a vario titolo goduto i benefici. In altre parole cessa di essere "un albero" per divenire "l'albero" ovvero si carica di funzioni documentarie e culturali in senso lato, acquisendo una sua specifica individualità che spesso è testimonianza del nome o dell'appellativo che gli vengono attribuiti. Per questo la più compiuta definizione per un albero monumentale è quella di un esclusivo ed individuale interesse biologico, culturale, storico ed estetico; un ponte tra passato e presente.

## 2.2 PERCHE' GESTIRE GLI ALBERI MONUMENTALI

Se gli alberi monumentali sono riconosciuti come patrimonio, la loro gestione rappresenta innanzitutto un atto di salvaguardia dello stesso. Vista la natura assolutamente peculiare dell'oggetto cui si rivolge, tale gestione presenta implicazioni fitopatologiche, agronomiche ed arboricolturali che si discostano notevolmente dalle ordinarie pratiche di manutenzione del verde.

Il concetto di salvaguardia è un elemento fondante nella gestione degli alberi monumentali, poiché essi costituiscono, di fatto, un patrimonio difficilmente rinnovabile, per motivi che potranno facilmente comprendersi.

Alla luce dei recenti provvedimenti legislativi in materia, le Soprintendenze ai Beni Ambientali e il loro organo tecnico, il Corpo Forestale dello Stato, devono esprimere parere di competenza sugli interventi di salvaguardia degli alberi "Monumentali".

La modifica del codice “Urbani” prevede espressamente un tavolo di concertazione anche con le Università degli Studi; da qui trovano giustificazione questo ed altri lavori analoghi, alla ricerca di riferimenti tecnico-scientifici sempre più adeguati all’obiettivo di salvaguardia.

Il territorio italiano, pur notevolmente impoverito negli ultimi decenni, possiede un patrimonio vegetale significativo. Anche se qualcuno ha definito l’Italia come un “Paese ricco di foreste povere” (trattandosi spesso di “macchie”, soprattutto nella parte meridionale della penisola), la diversità delle situazioni, l’originalità dei luoghi e il contesto spesso storicamente o artisticamente rilevante divengono un tutt’uno con il patrimonio arboreo, componente paesaggistica imprescindibile.

Anche il Veneto possiede un patrimonio considerevole, spesso abbinato a quello delle ville storiche, e quindi dei parchi e dei giardini relativi. La villa non può essere separata dal proprio parco o giardino senza perderne identità, prestigio, giustificazione. Restaurare “la fabbrica” e trascurare il patrimonio culturale, di arte e di natura che il verde storico rappresenta, vuol dire rinunciarne a buona parte del valore e del significato. Purtroppo tale patrimonio non gode di buona salute. L’implacabile trascorrere del tempo, la speculazione, vecchie e nuove avversità parassitarie e mutate condizioni microclimatiche e pedologiche minano l’integrità del nostro verde storico. Però accade che si intervenga a tutela di questo patrimonio, a volte anche nel tentativo di recuperare o di restaurare. Ciò, purtroppo, rappresenta spesso un’ulteriore minaccia. La scarsità di risorse, o più spesso di conoscenze, di professionalità e della dovuta prudenza sono all’origine di interventi ingiustificati, o scorretti, o inopportuni. Anche le migliori intenzioni, insomma, si possono rivelare vere e proprie sciagure per le piante. Si vedano, ad esempio, le potature a carico delle alberate, sia in ambito pubblico sia in contesti privati. Gli operatori stessi, altrettanto spesso, non possiedono sufficienti conoscenze e competenze. Ammesso che vengano a loro richieste.

Gli interventi di salvaguardia e recupero devono essere preceduti da attente valutazioni delle condizioni di benessere degli esemplari arborei. Dopodiché si potranno stabilire i tempi, i modi e le tecniche più idonei al caso specifico.

Diviene indispensabile, perciò, riuscire a predisporre un quadro operativo, e prima ancora un protocollo per la valutazione e la sostenibilità dei possibili interventi. A questo proposito acquistano rilevanza la corretta valutazione dei parametri vitali della pianta (ipogei ed epigei) e la stima dell’effettiva possibilità di intervenire nella “rigenerazione” degli apparati radicali, e con essi dell’intero albero, con i presupposti necessari affinché le condizioni possano essere mantenute a livelli idonei.

## 2.3 IL VERDE STORICO E LA QUESTIONE DELLA SALVAGUARDIA E DEL RESTAURO

La gestione del verde storico implica non solo problematiche di carattere colturale ma anche questioni di tipo culturale. I beni ascrivibili al “verde storico” di cui gli alberi monumentali fanno parte, sono oramai giustamente (e finalmente) riconosciuti come patrimonio culturale del Paese. Questo però non può bastare a sollevarci da preoccupazioni. Già tanti altri capolavori dell’arte, pur sotto tutela, sono trascurati, mal gestiti, abbandonati a loro stessi. Vi è purtroppo sempre una situazione economica contingente (eterna giustificazione), per cui le risorse pubbliche e private vengono dirottate su obiettivi ritenuti più urgenti e gravi (e in Italia vi è sempre un’emergenza). Ma è anche vero che a riguardo della salvaguardia del patrimonio culturale la “corrente di pensiero” che sovente prevale è quella “non interventista”; ovvero, quella che considera la mancanza di interventi come la soluzione corretta, o da preferire piuttosto che intervenire con il rischio di falsare, alterare, o danneggiare. La verità probabilmente è un’altra, e tale tendenza maschera di frequente la più comoda ed economica delle soluzioni, ma non certo la migliore.

Anche per questo, probabilmente, si assiste ad un lento ma progressivo impoverimento e degrado del nostro patrimonio, compreso quello relativo al verde storico, che comprende esemplari arborei monumentali.

Per contro, può capitare anche che una pianta secolare venga difesa strenuamente, in maniera emotiva o per principio, a prescindere dal valore e dalle condizioni in cui versa. A volte può trattarsi di relitti, o di un lontano ricordo di quello che sono state, deturpate dagli eventi o da accanimenti terapeutici (o piuttosto da interventi improvvisati e senza alcun fondamento scientifico). Si spera nella buona fede, e rincuora riscontrare tale sensibilità.



Versailles: *les allées* con le piante perfettamente allineate e le chiome delle piante mantenute “in forma”.

Altre considerazioni sarebbero però opportune a riguardo di quegli elementi vegetali che sono funzionali ad un disegno paesaggistico preciso, come filari, carpinate, barriere vegetali, ma anche gruppi isolati e *solitaire*, i quali svolgono un ruolo scenografico importante, in virtù della forma, delle dimensioni e delle proporzioni, dell'aspetto. Nel nostro Paese capita di frequente che si tuteli l'esemplare in sé, svincolandolo dal contesto e a costo di falsare o snaturare l'idea progettuale, la quale è la vera espressione del genio artistico del progettista. Ma patrimonio insostituibile è anche il suo continuo evolversi; perciò potremmo constatare come il parco di Le Notre non esista più da tempo. Nel parco di Versailles ogni anno vengono sostituiti (ossia completamente rifatti) chilometri di viali, di siepi, di alberate, di parterre, ecc., nell'intento di mantenere intatto il disegno voluto da André Le Nôtre.

Le scelte su quando, dove e come intervenire devono essere dettate dalla piena consapevolezza di ciò che si ha davanti, attribuendo ad ogni cosa il giusto valore e il corretto ruolo. Però con l'obiettivo e la determinazione di intervenire effettivamente quando necessario, senza tentennamenti e giustificazioni, pretesti del comodo immobilismo.

## 2.4 TIPOLOGIE DI ALBERI MONUMENTALI

Come già detto gli alberi monumentali sono tali in ragione del riconoscimento di "monumentalità" che è loro attribuito dagli uomini; sono cioè monumentali "quando cessano di essere un semplice fenomeno biologico per caricarsi di significati storici e culturali". In questo senso, le diverse tipologie di albero monumentale discendono dai motivi che ne hanno giustificato l'impianto, dalle modalità di governo e dalla collocazione, sia questa pianificata o semplicemente "tollerata". Sostanzialmente gli alberi monumentali possono essere ricondotti a gruppi tipologici definiti in ragione della morfologia della chioma:

- Esemplari interi
- Esemplari in forma obbligata
- Esemplari ricostruiti
- Esemplari intermedi
- Esemplari mutilati o irreparabilmente danneggiati

### 2.4.1 Esemplari integri

Si intendono gli alberi monumentali che nel corso della loro vita hanno subito interventi di correzione e modifica architettonica di portata marginale. Per questo motivo la struttura della loro chioma si definisce "primaria". In genere, per questi alberi, vi è una sostanziale identità tra età anagrafica ed età biologica; in questo senso, il loro aspetto è il frutto di un naturale processo di crescita e regressione fisiologica. L'importanza è legata nella testimonianza della naturale morfologia ed il portamento della specie nel contesto nel quale è inserita. Normalmente gli esemplari effettivamente integri sono molto rari e relegati a contesti marginali, naturali o

naturaliformi, nei quali il loro sviluppo ha potuto procedere pressoché indisturbato. Un'eccezione significativa è rappresentata dagli alberi monumentali radicati in parchi o giardini, quindi fin dal loro impianto destinati ad uno scopo ornamentale, e che sono stati preservati nel corso dei secoli, proprio in ragione delle loro peculiarità morfologiche naturali.

#### 2.4.2 Esempari in forma obbligata

Gli alberi monumentali riconducibili a questa categoria morfologica hanno subito, durante la vita, ripetuti e pianificati interventi antropici nello specifico intento di modificare in modo permanente tanto la morfologia che la fisiologia. Queste modifiche sono chiaramente percepibili attraverso la lettura architettonica della chioma la cui struttura, non più naturale, è definita secondaria. Per questi esemplari è spesso riscontrabile un'effettiva discontinuità tra età anagrafica dell'albero ed età biologica, che può essere fatta risalire all'ultimo intervento eseguito, poiché la chioma, ricostruita in tutto o in parte, conserva peculiarità morfologiche specifiche. In particolare queste forme di conduzione prevedono un costante rinnovamento delle parti fogliate, che dopo uno o pochi anni di vita, vengono tagliate per essere sostituite da vegetazione neo formata.

Gli esemplari arborei in forma obbligata sono riconducibili essenzialmente ad un impiego produttivo in ambito agricolo o all'adozione di specifiche forme di allevamento a scopo ornamentale. In ogni caso le modalità tradizionali di impostazione e conduzione della forma obbligata, pur se profondamente invasive, non causavano danni gravi e permanenti all'albero trattato. L'importanza di questi alberi è ovviamente secondo il loro contesto, come testimonianza sia di un loro uso che di un gusto estetico proprio di epoche passate, di tecniche di "governo" arboricolturali che si sono andate progressivamente perdendo. La conservazione di questa categoria di alberi monumentali è minacciata, almeno nel contesto agrario, dalla modificazione delle condizioni socio economiche che giustificavano lo sfruttamento produttivo degli stessi e dalla profonda modificazione del paesaggio agrario nel quale gli elementi arborei costituiscono un limite alla meccanizzazione e alla razionalizzazione fondiaria.



Tigli secolari mantenuti in forma obbligata (Sirmione - BS).

Nel caso, invece, di alberi monumentali allevati in forma obbligata a scopo ornamentale, la loro permanenza è messa in discussione essenzialmente dalle modifiche del gusto estetico, che tendono a privilegiare l'aspetto naturaliforme degli alberi; ma anche dal già citato impoverimento del patrimonio tecnico di conoscenze e, non ultimo, dagli elevati costi gestionali che queste forme comportano, che conducono spesso ad abbandonare la forma obbligata per altre "soluzioni", o ad intervenire in tentativi di ricostruzione della chioma con tecniche spesso estemporanee od errate, con la conseguenza dell'insorgenza di gravi problemi.

### 2.4.3 Esempari ricostruiti



Antico castagno ("maronaro") dei Colli Euganei. L'esemplare monumentale è stato sottoposto ad interventi di risanamento e di ricostruzione della chioma (ph. G. Nalin)

Gli alberi di questa categoria sono esemplari che hanno subito nel passato una o più gravi mutilazioni, perlopiù dovute ad interventi antropici o ad eventi meteorologici estremi, verso i quali l'albero ha risposto con la produzione di nuova vegetazione che si è in seguito sviluppata senza disturbi. A questa categoria appartengono, ad esempio, gli esemplari sottoposti ad un intervento arboricolturale frequente nel passato, noto con il nome di "intestatura" o "impalcatura". Tramite questa operazione l'albero, ancora in età relativamente giovane, veniva privato della cima (e perciò dal controllo esercitato dalla gemma apicale) ad un'altezza arbitraria, così da determinare

la precoce e contestuale formazione della chioma a partire da vegetazione neo formata, grazie al contributo di alcuni assi principali concorrenti in un solo punto. Talvolta, quando pianificate, queste drastiche potature potevano essere ripetute in sedi diverse, spesso ad una quota superiore rispetto alle precedenti, conducendo a particolari strutture delle ramificazioni a coppa o candelabro, che testimoniano la ciclica alternanza tra drastici interventi di potatura e ricostruzioni. L'evento traumatico, per quanto lontano nel tempo, appare ancora chiaramente riconoscibile, avendo modificato permanentemente l'architettura dell'albero che l'ha subito. Per quanto già detto siamo di fronte ad un modello secondario che, pur simulando una condizione di naturalità, mostra uno sfasamento tra età anagrafica e fisiologica delle porzioni ricostruite. Infatti, essendosi formate dopo l'intervento cesorio, saranno più giovani dal punto di vista morfo-fisiologico. Tra gli alberi monumentali questa categoria è forse la più comune, in quanto difficilmente nel corso della loro lunga vita questi esemplari si sono preservati in totale integrità, indipendentemente dalla loro collocazione.

#### 2.4.4 Forme intermedie



Noci nella campagna presso la palladiana Villa Pojana (Pojana M. - VI); le piante sono allevate nella caratteristica forma "a capitozza alta", che prevede la periodica totale asportazione della chioma e la successiva ricostruzione. In questo modo si riduce l'ombreggiamento e la competizione in genere sulle colture, e se ne ricava legname (paleria).

Fra gli alberi monumentali, di fatto, si riscontrano “modelli” riconducibili a due o più tra le categorie descritte. In questo caso è necessario capire quali dei trattamenti o dei traumi subiti abbiano finito per condizionare maggiormente la forma e la fisiologia del singolo esemplare. Le forme di origine antropica fin qui descritte (e quelle ancora possibili) sono forme tradizionali di governo degli alberi. Al di là del possibile giudizio sul grado di invasività, queste forme rappresentano, o meglio rappresentavano (quando correttamente e assiduamente gestite) un accettabile compromesso tra esigenze della pianta e i motivi che ne giustificavano l’impianto e l’allevamento. Ad esempio, per quanto condizionanti dal punto di vista morfo-fisiologico, le potature all’origine delle diverse forme tradizionali non comportavano grosse lesioni meccaniche o ferite; d’altronde la ciclica sovrapposizione dell’intervento cesorio comporta una sorta di “educazione” dell’albero che, nel corso degli anni, finisce per raggiungere una sorta di equilibrio artificiale compatibile con il benessere dell’esemplare. Infatti, la formazione delle teste di gatto e/o teste di salice oltre che ad ottimizzare i processi di compartimentazione e difesa rappresentano siti di accumulo di amidi pronti e disponibili per l’accrescimento dei getti.

#### 2.4.5 Esempari mutilati o irreparabilmente danneggiati

Con questa definizione si intendono alberi che in tempi relativamente recenti hanno subito lesioni di origine antropica o naturale tali da compromettere in modo definitivo tanto il precedente e riconosciuto valore di testimonianza storico - culturale quanto la rilevanza estetica. Tali lesioni implicano una modificazione profonda e permanente della chioma, la cui struttura può essere definita “secondaria recente”. In termini generali, le mutilazioni all’origine di questi eventi sono meglio riconoscibili quando perpetrate a livello della chioma, ma possono ovviamente riferirsi anche alle porzioni ipogee dell’albero. In ogni caso ciò che appare più rilevante è che l’albero monumentale cessa di essere tale e, in questo senso la sua eventuale conservazione e gestione è giustificata dal solo intento di preservarne, per quanto biologicamente possibile, il ricordo.



Danni di origine antropica sono purtroppo piuttosto diffusi in ambiente urbano, e spesso non si tratta di danni accidentali ma di “interventi manutentivi”

## 2.5 L'ALBERO MONUMENTALE E IL SUO CONTESTO

L'attribuzione di un particolare e preminente valore agli alberi monumentali significa implicitamente che l'importanza di ogni singolo individuo dipende anche dal "contesto". Non necessariamente questo contesto è naturale; anzi, essendo l'albero monumentale legato almeno percettivamente all'attività dell'uomo, si tratta di un contesto antropizzato. Vista la sua importanza appare quindi necessario fornire una definizione di "contesto" applicabile agli alberi monumentali.

In questo senso potremo definire contesto di un albero monumentale l'insieme delle caratterizzazioni paesaggistiche, ecologiche, ambientali ed antropiche del sito di radicazione che permettono di comprendere la presenza di uno o più alberi in un dato luogo e le modalità con le quali sono stati gestiti negli anni. Si può dire pertanto che contribuisce alla compiutezza di fruibilità sia percettiva sia fisica dell'albero monumentale, incrementandone anche le potenzialità estetiche.

Per quanto detto la separazione di un albero monumentale dal suo contesto comporta un'irreparabile mutilazione e l'inevitabile impoverimento. Da ciò consegue necessariamente che la salvaguardia di un albero monumentale non può prescindere dalla tutela e della conservazione del contesto nel quale è inserito.

Per dare concretezza a tutto ciò sarebbe ovviamente necessario quantificare dimensionalmente il concetto di contesto, che tuttavia risulta evidentemente soggettivo dal punto di vista percettivo e non facile da identificare fisicamente. Molto più facile è il caso in cui il contesto corrisponda ad un parco o ad un giardino di cui la pianta monumentale è parte integrante, e quindi godano assieme dei medesimi vincoli legati ad obiettivi di salvaguardia e tutela.

Pertanto più praticamente può essere utile riferirsi ad un'accezione ristretta di "contesto", ovvero il contesto "vitale".

Con la definizione di "**contesto vitale**" si intende lo spazio minimo da sottoporre a controllo e tutela, necessario affinché possano rimanere invariate le condizioni generali della stazione di radicazione (condizioni chimico fisiche e microbiologiche del suolo, idrologiche e orografiche) che hanno permesso l'insediamento e lo sviluppo nel tempo e nello spazio di uno o più alberi monumentali. Per comprendere l'importanza del concetto del "contesto vitale" può essere utile ricordare che gli alberi sono esseri viventi "abitudinari" il cui declino in un ambiente antropizzato, è perlopiù riconducibile a modifiche indotte al sito di radicazione e non, come si potrebbe pensare, ad un danno diretto arrecato all'integrità fisica dell'esemplare arboreo in senso stretto. Chiaramente del contesto vitale è fuorviante stabilire parametri dimensionali di carattere universale ma devono essere dedotti da rilievi, indagini e approfondimenti necessari per la sua quantificazione. Stabilito il contesto vitale ogni intervento esterno dovrebbe essere accompagnato da una precisa valutazione delle conseguenze, a medio e lungo termine, che l'intervento stesso potrebbe avere sugli esemplari monumentali.

Un'ulteriore contrazione del concetto di "contesto" ci permette di definire lo "spazio minimo vitale" facendolo coincidere con il concetto di G.P.A. (zona di protezione dell'albero, o TPZ, *Tree Protection Zone*) ovvero di un'area fisica ben delineata. A questo proposito esistono molte interpretazioni, come ad esempio: "la distanza minima di sicurezza dalla base degli alberi, per gli scavi (per garantire la sopravvivenza della pianta) non può essere inferiore a una distanza pari a due volte la circonferenza della chioma". Il Professor Ian Richardson, esperto dei Kew Gardens inglesi, prevede addirittura distanze maggiori, corrispondenti ad una volta e mezzo l'altezza degli alberi; si arriva perciò ad una distanza di sicurezza di circa 35-37 metri di raggio, nel caso di alberi alti fra i 20 e i 25 metri. La distanza minima di rispetto nei confronti degli alberi rappresenta una zona di rispetto "sacra" atta a tutelare l'apparato radicale che conferisce stabilità strutturale all'albero. Le dimensioni della TPZ dovrebbero dipendere soprattutto dall'età dell'albero, dall'ampiezza della chioma e dalla sua altezza.

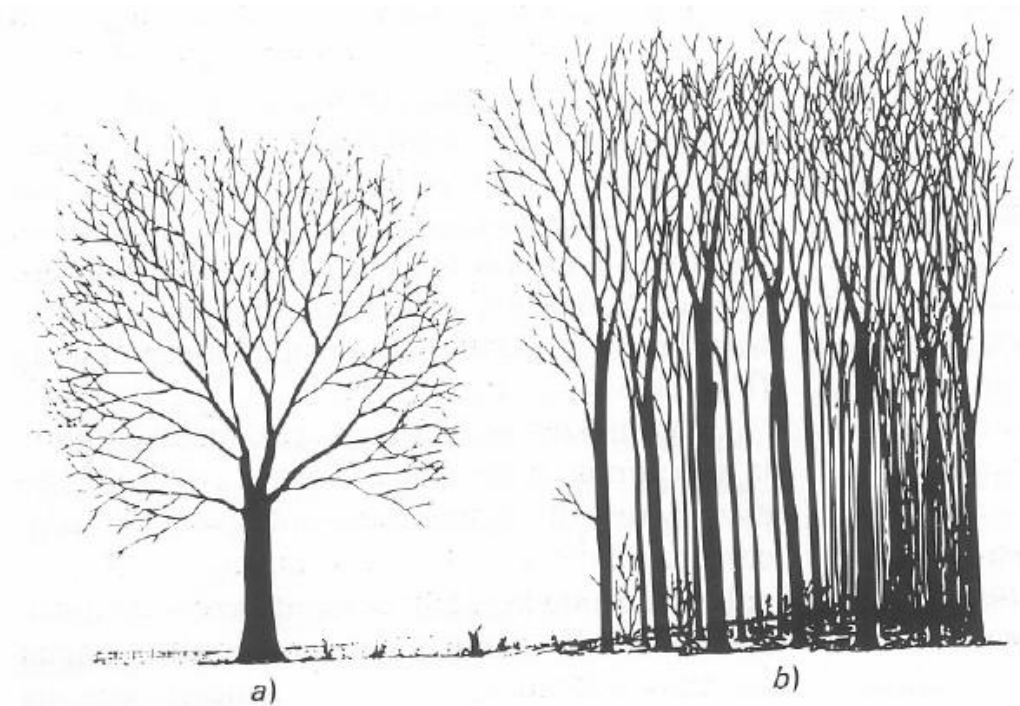
Alla luce di quanto invece spesso accade o delle reali possibilità, potrebbe essere accettabile (e stabilito per convenzione) che quest'area coincida con 1,5 volte la proiezione della chioma sul terreno e comunque non inferiore ad 8 metri dal colletto.

Non necessariamente questo spazio "minimo vitale" è costituito da terreno libero ed indisturbato; potrebbe essere una superficie sulla quale sono ospitati manufatti di varia natura. Se queste ingerenze sono storicizzate e caratterizzate da una lunga convivenza con l'individuo arboreo sono addirittura funzionalmente legati a questo, e la rimozione potrebbe determinare gravi alterazioni al pedoclima e danni all'albero stesso.



*Sophora japonica* monumentale (Parc de Schoppenwhir, Alsace - F -)

## 2.6 DIFFERENZA FRA ECOSISTEMA FORESTALE E VERDE URBANO



Le piante isolate (a), situazione tipica di ambienti antropizzati, hanno una conformazione della chioma diversa dalle piante che invece si accrescono in foresta (b), in virtù della competizione tra gli individui per la luce.



Differente tipo di accrescimento tra una pianta isolata e piante in bosco (immagine a sin.: farnia presso il Bosco della Fontana (Marmirolo -MN), e (a destra) noceto di *Juglans nigra* nella campagna padovana).

Esistono sostanziali differenze fra le due situazioni, che stanno poi alla base di molteplici problematiche riguardanti le condizioni generali delle piante e quindi la gestione del patrimonio arboreo. Limitandoci a considerare gli aspetti principali, potremmo innanzitutto distinguere la qualità dei diversi suoli, e i processi di selezione cui vanno incontro le specie arboree.

### **2.6.1 Il suolo forestale.**

I residui vegetali, le spoglie dei vari organismi (piante, alghe, artropodi, molluschi, anellidi, batteri, funghi) si accumulano nella lettiera, andando incontro a processi decompositivi, con umificazione, mineralizzazione e melanizzazione. Questi apporti e questi processi garantiscono l'instaurarsi di condizioni chimiche, fisiche e biologiche funzionali all'ecosistema forestale. Esistono numerosi tipi di suolo forestale, caratterizzati da diversi profili, in relazione alla profondità, alla matrice di origine e ai processi di alterazione subiti ed in corso, ai successivi apporti, alla vegetazione e alla relativa lettiera. La sostanza organica e l'humus possono avere diverse caratteristiche e diversa distribuzione lungo il profilo. Le condizioni climatiche hanno influenza sui diversi processi, dando luogo a suoli caratteristici. (T. Anfodillo - Suoli forestali - Atti del 48° corso di Cultura in Ecologia, Centro Studi per l'Ambiente Alpino, dip. TeSAF, Università di Padova).

### **2.6.2 Il suolo in ambito urbano.**

L'origine del suolo destinato alla messa a dimora di specie arboree in ambienti urbanizzati è spesso incerta. Sovente vengono impiegati ammendanti, allo scopo di garantire a livello ipogeo l'ossigenazione, con il verificarsi poi di frequenti eccessi e rapida decomposizione della sostanza organica. Vengono quasi sempre a mancare le lavorazioni, necessarie a garantire condizioni fisiche appropriate (struttura, sofficità), andando incontro a destrutturazione e compattamento. Sono sistematicamente asportati i residui vegetali (foglie, ecc.) con impoverimento di sostanza organica, di organismi e microorganismi utili per i processi che conducono all'umificazione e alla fertilità in senso lato.

Altri aspetti per cui i due ecosistemi si differenziano riguardano i processi di selezione genetica e di sopravvivenza dell'individuo e della specie.

Nell'ecosistema forestale (di solito molto complesso) il processo di sopravvivenza delle specie è assicurato da un'enorme produzione di semi, che garantisce la variabilità genetica; le piante germinano, radicano e si accrescono. Durante lo sviluppo la pressione ambientale esercita una selezione, con l'affermazione di (pochi) individui meglio adattati. Le piante più in difficoltà muoiono, cadono e si decompongono sul posto, lasciando spazio a nuovi individui. Nel tempo si assiste all'instaurarsi di un equilibrio stabile (omeostasi).

In un parco o in un ecosistema urbano, invece, le piante impiegate vengono scelte tra una disponibilità non sempre ampia, e di genotipo incerto. La forma di allevamento è spesso obbligata, o predeterminata dagli interventi in vivaio. Per favorire le piante allevate o ritenute più interessanti si evita la selezione naturale, e si interviene con fertilizzazioni, irrigazioni e cure. Inoltre, l'ecosistema è in genere semplificato al massimo, costituendo il più delle volte una monocoltura, come nel caso di filari.

Molti tra questi aspetti hanno risvolti diretti o indiretti sulla suscettibilità delle piante alle avversità parassitarie e alla capacità di adattamento alle condizioni ambientali in genere, e quindi sulla facilità o meno della gestione.

### 2.6.3 Fattori che determinano la crescita, la forma e la dimensione della chioma

Diversi fattori concorrono nel determinare la crescita, la conformazione e le dimensioni della chioma dell'albero; li potremmo distinguere tra fattori intrinseci e fattori estrinseci:

#### Fattori intrinseci

- Età dell'albero
- Tipo di ramificazione, habitus vegetativo, angolo di inserzione branche e rami (fattori genetici)
- Inibizioni correlative fra attività vegetativa e riproduttiva;

#### Fattori estrinseci

- Parametri pedo-climatici
- Eventuali cure o pratiche colturali al suolo (irrigazioni, gestione terreno, fertilizzazioni)
- Densità di piantagione e/o spazio disponibile (spazio ipogeo ed aereo disponibile per la pianta, interazioni o conflitti con altri vegetali, rocce, strutture, edifici, ecc.)
- Potature alla chioma o alle radici o traumi a seguito di eventi naturali o antropici (fulmini, frane, slavine, urti, ecc.)
- Eventuali alterazioni del quadro ormonale a seguito di interventi gestionali (potature), stress o traumi.



Ph. G. Nalin



## 3 UN POSSIBILE PROTOCOLLO PER LA VALUTAZIONE DI SALUTE E BENESSERE DELL'ALBERO MONUMENTALE

### 3.1 INDAGINI MORFOLOGICHE

Le indagini morfologiche che si eseguono sull'apparato epigeo e ipogeo possono essere effettuate attraverso semplici misurazioni di parametri dimensionali delle parti più rappresentative della pianta, utilizzando strumenti quali righello, metro, calibro, lenti o ingranditori, ecc.

Per fare ciò è indispensabile avere un termine di paragone riferito a piante della stessa specie, che vegetano in maniera ottimale in condizioni analoghe di terreno, umidità relativa, esposizione, ecc. a quelle nella quale si trova l'albero oggetto di studio.

In particolare per la chioma e le radici verranno analizzati i seguenti parametri:

#### APPARATO EPIGEO

- Allungamento dei getti apicali
- Dimensione delle foglie
- Presenza e dimensione dei rami epicormici
- Avanzamento del callo di cicatrizzazione
- Dendrocronologia

#### APPARATO IPOGEO

- Perdita delle radici
- Numero di ramificazioni laterali
- Lunghezza apparati radicali

##### 3.1.1 Apparato epigeo

**Allungamento dei getti apicali.** E' un criterio molto utile e di facile determinazione. Devono essere analizzati gli allungamenti dei getti apicali di un albero in un determinato settore ed esposizione, e paragonati con quelli di una pianta ritenuta normale o sana che ha la stessa età e vive nel medesimo ambiente, alla stessa esposizione di quella oggetto dell'indagine. Si prelevano i getti degli ultimi 8-10 anni, si misurano e si confrontano. Allungamenti dell'ultimo anno o degli ultimi anni molto ridotti rispetto a quello degli anni precedenti indicano evidentemente un declino o la presenza di un problema.

All'interno del ramo si individueranno, oltre le cicatrici periclinali, delle aree ben definite, che rappresentano il passaggio da una stagione vegetativa alla successiva. Si misurano le distanze tra un settore e l'altro e si ha l'accrescimento che si è verificato in quella stagione.

Sono poi possibili confronti tra medie semplici o elaborazioni più complesse per determinare la significatività statistica dei rilievi.

È bene tener presente che alcune specie, come il pioppo e il salice, emettono le foglie scalaramente durante le prime fasi della stagione vegetativa, mentre altre come castagno, olmo, querce solo al momento della germogliazione primaverile. Perciò è necessario porre la massima cura per non scambiare una foglia costituzionalmente piccola, con una appena emessa. E' indispensabile valutare strutture confrontabili, rami situati alla stessa altezza, appartenenti alla stessa branca, con analoga esposizione.

**Dimensione delle foglie.** E' un criterio utile, il cui esame è concettualmente semplice, anche se può indurre a facili errori di valutazione. È evidente, infatti, che molteplici fattori possono determinare variazioni nella dimensione fogliare, sia nella medesima pianta, che tra piante appartenenti alla stessa specie, pur in situazioni analoghe. Oltre al genotipo e alle condizioni ambientali, anche l'età della pianta, la forma di allevamento, le eventuali cure o altri interventi nei suoi confronti possono avere influenza, e fornirci indicazioni che possiamo male interpretare circa lo stato vegetativo e quello sanitario.

Devono essere osservate le foglie di un albero in un determinato settore e con la stessa esposizione, e confrontati con quelli di una pianta ritenuta "normale" o sana, della medesima età e presente in prossimità della pianta oggetto dell'indagine. Si andranno a prelevare foglie ben espanse che abbiano terminato l'accrescimento; vanno rilevate le due dimensioni maggiori (altezza e larghezza) e poi confrontate.

Nel caso di:

- **foglie palmate**, la larghezza si effettua perpendicolarmente alla nervatura centrale nella linea ideale che congiunge i due vertici più lontani;
- **piante sempreverdi**, si può fare un confronto tra la dimensione delle foglie dell'anno con quelle degli anni precedenti;
- **foglie composte**, il parametro più affidabile è quello della lunghezza.

**Presenza e stato dei rami epicormici.** Se una pianta, per qualsiasi ragione, perde parte dei germogli apicali, il numero delle foglie presenti sulla chioma diminuisce; ciò favorisce la penetrazione dei raggi solari in settori profondi della chioma. Nelle zone che vengono così raggiunte dalla luce, anche in conseguenza del mutato equilibrio ormonale e della perdita della funzione di cima, iniziano a germogliare gemme avventizie, le quali danno origine a **rami epicormici**. Se la chioma si richiude, perché la pianta ripristina le condizioni "normali", i getti epicormici vanno incontro a rapidi processi di degenerazione, fino a scomparire. Se l'alterazione continua, però, essi assumono maggior vigore e importanza, poiché l'albero affida loro parte della fotosintesi clorofilliana, indebolendo così le aree sovrastanti e incrementandone il declino. Bisogna quindi, in prima istanza, valutare la presenza di rami epicormici, tenendo sempre presente che è necessario confrontare rami situati alla stessa altezza, appartenenti alla stessa branca e con analoga esposizione. In presenza di rami epicormici è utile individuarne il momento della comparsa, analizzando il numero dei nodi e calcolandone l'età.

Anche il punto di inserimento dei getti epicormici è significativo: la loro presenza su branche principali o sul tronco, o addirittura al colletto, è indice di uno stadio avanzato di deperimento della pianta.

**Avanzamento del callo di cicatrizzazione.** Osservando il callo di cicatrizzazione di ferite più o meno recenti si possono notare ai margini delle costolature. Queste strutture costituiscono gli accrescimenti annuali del callo cicatriziale, che nelle piante vigorose può raggiungere le dimensioni di 1-3 centimetri l'anno. Dal loro incremento si può valutare perciò lo stato energetico della pianta. Anche in questo caso è indispensabile confrontare strutture analoghe, poste in porzioni e in posizioni equiparabili (es. stessa branca, stessa altezza del fusto, ecc.) ponendole a confronto con una pianta ritenuta normale che abbia subito il taglio alla stessa epoca.

**Dendrocronologia.** Per valutare le condizioni vegetative degli individui vengono impiegate tecniche di analisi dendrocronologiche, le quali effettuano lo studio degli incrementi legnosi annuali attraverso la misurazione delle grandezze anulari e dell'analisi dei loro caratteri fisionomici e morfo-anatomici. Tali indagini si compiono su carote legnose di 0,5 cm di diametro, prelevate dal fusto dell'albero con il *succhiello di Pressler*, a circa 80-90 cm dal suolo. I campioni così ottenuti vengono fissati su adeguati supporti (cartone ondulato, legno, ecc.), e levigati con carte abrasive con grana progressivamente più fine allo scopo di rendere più evidenti gli anelli di accrescimento. Effettuata questa operazione si passa alla misurazione della dimensione degli anelli, la quale può essere eseguita a mano con un righello provvisto di nonio o, nei casi in cui si richieda maggiore precisione, con un adeguato dispositivo ottico-meccanico collegabile a computer e provvisto di un software in grado di elaborare i dati.

Analizzando l'ampiezza annuale degli anelli si possono individuare le varie fasi dell'accrescimento e metterle in relazione con gli eventi che hanno prodotto stress alla pianta: andamenti climatici e ambientali sfavorevoli, scarsità di precipitazioni con carenze idriche, oscillazioni della falda superficiale, temperature avverse, squilibri nutrizionali, attacchi di patogeni, fenomeni competitivi, disturbi antropici di natura varia, inquinamento, ecc. Questa misura per essere significativa e interpretabile deve essere sempre abbinata ad indagini climatiche sugli anni corrispondenti. Dati di riferimento per simili analisi possono essere disponibili ed utilizzati tramite appositi programmi, e in grado di produrre dati precisi e riferibili a singole specie. (Nola P., Carrer M., Motta R., Urbinati C., 2005).

### 3.1.2 Apparato ipogeo

**Perdita delle radici e numero di ramificazioni laterali.** Spesso il declino della chioma è legato alla decadenza dei segmenti fini dell'apparato radicale. Per tale motivo è indispensabile conoscere oltre alla situazione dell'apparato epigeo anche quello delle radici ed in modo particolare dei segmenti fini. Osservando attentamente le radici di dimensioni comprese tra 0,2 e 30 millimetri infatti si possono evidenziare anticipatamente le situazioni di degrado.

La conformazione delle radici fornisce anche un'idea dello stato nutrizionale del terreno: la carenza di nutrienti, ad esempio comporta la formazione di radici con un minor diametro radicale;

le **radici fini** (diametro < a 2 mm) sono fondamentali per l'assorbimento di acqua e nutrienti. Le stesse radici fini sono una delle principali vie attraverso la quale i fotosintetati vengono rilasciati nel suolo. (Vogt, 1991). In genere anche la micorrizzazione è più intensa in terreni meno dotati, sopperendo così alla carenza con una più efficiente capacità di assorbimento. Per valutare lo stato dell'apparato ipogeo è necessario eseguire uno scavo in varie zone sotto l'area di insidenza della chioma, per mettere in luce e poter osservare direttamente le radici; va considerata la presenza di radici laterali e valutato lo stato di quelle fini assorbenti.

Qualora si volessero effettuare osservazioni più circostanziate si procede eseguendo scavi a distanze prestabilite dal fusto, escludendo i primi 3 cm di suolo ed effettuando prelievi di un volume noto di terreno contenente radici, sulle quali verranno eseguite in laboratorio analisi più accurate. Il campione dovrà essere posto in acqua corrente, lasciandolo riposare per due ore; successivamente le radici verranno lavate e quindi ritagliate in segmenti di pari dimensioni. Sui segmenti così ottenuti saranno contate allo stereovisore (da 30 a 40 ingrandimenti) le cicatrici conseguenti alla perdita di radici (che si evidenziano attraverso la formazione di una lesione circolare), e il numero delle ramificazioni laterali.

**Analisi della lunghezza radicale.** Questa misurazione difficilmente riesce a dare una valutazione assoluta sulla lunghezza degli apparati radicali, ma può servire per fornire un raffronto tra due entità: una sana e una deperente. Perché il confronto sia valido bisognerà analizzare due piante della stessa età, allevate in condizioni analoghe.

### 3.2 INDAGINI FISILOGICHE

Giudicare la vitalità delle piante utilizzando solamente i parametri morfologici è utile ma non sempre permette di interpretare correttamente lo stato di una pianta e la comparsa di sintomi iniziali premonitori di una malattia. In molti ambienti sia di ricerca sia legati al mondo operativo è nata quindi la necessità di avere a disposizione dei metodi facilmente utilizzabili per ottenere dati obiettivi sul comportamento delle piante e sulla loro vitalità.

Tra i metodi classici fino ad ora utilizzati l'analisi chimica del terreno e quella delle foglie sono in grado di dare dati attendibili sulla composizione chimica e sulla disponibilità delle sostanze nutritive; non riescono però a fornire utili ed accurate informazioni sulla fisiologia della pianta, la quale può essere influenzata oltre che dalle carenze nutritive anche dalla siccità, dal compattamento del suolo, dagli eccessi idrici, dall'inquinamento atmosferico, dal vento, ecc.

Si sono quindi nel tempo affermate tecniche che prendono in esame i fattori fisiologici ritenuti più importanti. Per l'apparato epigeo essi sono la **fotosintesi**, studiata attraverso il monitoraggio della riflettanza spettrale e della fluorescenza della clorofilla, oltre al **potenziale idrico** degli aghi e dei germogli. Per l'apparato radicale viene invece valutata la **perdita dei soluti**.

Anche la quantità di anidride carbonica incorporata fornisce indicazioni sull'efficienza fotosintetica. Tra gli strumenti più usati vi sono gli analizzatori di gas all'infrarosso (anche

portatili), in grado di misurare l'anidride carbonica assimilata da una determinata porzione di tessuto.

### 3.2.1 Apparato epigeo

**Test di fluorescenza della clorofilla.** La fluorescenza della clorofilla, studiata attraverso l'interpretazione del fotosistema II, fornisce risultati affidabili sullo stato di salute o di stress della pianta, di un tessuto o di singole cellule, poiché esso è considerato uno dei luoghi sensibili ad eventuali disfunzioni. Nelle indagini di campagna, dove maneggevolezza degli strumenti e rapidità delle operazioni sono opportune, si usa comunemente il PEA (*Plant Efficiency Analyzer*); si tratta di un "fluorimetro a eccitazione continua", che permette di misurare accuratamente la cinetica dell'induzione alla fluorescenza di un elemento fotosintetizzante sottoposto a una forte illuminazione dopo un periodo di adattamento al buio.

Lo strumento è in grado di fornire normalmente i parametri della fluorescenza:

**F0** - Fluorescenza al momento 0 [Quando il Qa (*Plastoquinone Electron Acceptor Pool*) è completamente ossidato] - E' il valore riferito all'inizio dell'illuminazione, che viene calcolato direttamente dallo strumento, tramite un algoritmo utilizzato per costruire la retta di regressione tra i punti registrati nei primi momenti di esposizione alla luce.

**Fm** - Fluorescenza massima - (Quando il Qa è completamente ridotto) - valore riferito al massimo della fluorescenza, che viene calcolato direttamente dallo strumento.

**Fv** - Fluorescenza variabile - valore riferito ai punti intermedi tra F0 e Fm della fluorescenza, che viene calcolato direttamente dallo strumento.

**Fv/Fm** - massimo di efficienza del fotosistema II.

I dati forniti direttamente dallo strumento possono essere elaborati, assieme alle tracce della fluorescenza comprese nei punti dell'intervallo di misura tra F0 e Fm, e attraverso appositi software è così possibile ottenere un **indice di vitalità**, le **fluttuazioni fenologiche**, ecc. E' poi possibile individuare l'indice della **performance fotosintetica (PI)** e il **test JIP** usando l'analisi **OJIP**.

(White A.J. Critchley C., 1999, Rapid light curves: a new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus).

**Potenziale idrico degli aghi o dei germogli.** L'acqua assorbita dalle radici viene trasportata sulle foglie dove traspira sotto forma di vapore. Ciò provoca una depressione che attira le colonne del liquido circolante che si muove verso l'alto, attraverso lo xilema. La soluzione assorbita si trova quindi sotto tensione; quando le radici non sono in grado di assorbire una sufficiente quantità di acqua tale tensione aumenta, provocando problemi all'interno della pianta.

Lo stato dell'acqua all'interno della pianta viene interpretato come **potenziale idrico**, che è la misura dell'energia libera dell'acqua presente nei vasi, in relazione a quella dell'acqua pura e

libera, ed è costituito dalla sommatoria del potenziale dovuto all'osmosi, allo stato delle pareti cellulari, alla pressione idrostatica e all'effetto della gravità.

$$\Psi_{TOT} = \Psi_s + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_g$$

$\Psi_s$  = deriva dal potenziale osmotico e dipende dal numero di molecole presenti in soluzione.

$\Psi_m$  = deriva dall'acqua che aderisce o viene adsorbita dalle pareti ed è perciò in relazione alle sostanze non solubili.

$\Psi_p$  = deriva dalla pressione idrostatica ed è posto in relazione alla pressione atmosferica e al turgore delle cellule.

$\Psi_g$  = deriva dall'effetto dovuto alla gravità che spinge l'acqua verso il basso.

Il potenziale idrico si misura in Mega Pascal MPa, e si ottiene dividendo l'energia per il volume di una mole di acqua:  $1 \text{ MPa} = 0.018 \text{ 1Mol}^{-1}$

L'acqua si muove dalle zone a più alto potenziale idrico verso quelle a minore potenziale.

Le differenze di potenziale tra il suolo, le radici, il sistema xilematico, le foglie, le pareti cellulari e gli spazi intracellulari sono relativamente basse e comprese in linea di massima nell'intervallo tra -0.3 MPa e -0.8 MPa.

Il potenziale idrico è invece di gran lunga maggiore nel passaggio tra gli stomi e l'atmosfera. In questo caso infatti raggiunge i -95.2 MPa, costituendo la maggiore fonte dell'energia necessaria per la traspirazione e l'assorbimento.

Il potenziale idrico di una pianta si misura attraverso la camera a pressione, nella quale si inserisce una foglia appena raccolta, alla quale è stato tagliato il picciolo con una lama affilata; viene applicata quindi una pressione fino a che non si verifica la fuoriuscita dell'acqua in corrispondenza del taglio. La tensione si esprime in valori negativi, ed è più alta quando maggiore è lo stress, ossia il deficit idrico dell'acqua presente nel tessuto. (Ackerson R.C., Krieg D.R., Sung F. J. M., 1980; Marsoni A., 1985).

### 3.2.2 Apparato ipogeo

**Perdita di soluti dalle radici.** Per eseguire la valutazione della perdita di soluti dalle radici è necessario avere un campione rappresentativo di 250-500 mg di radici fini. Queste devono essere state raccolte, lavate in acqua fredda e immediatamente riposte in recipienti chiusi contenti acqua distillata, che vanno poi mantenuti al buio a 20°C per ventiquattro ore e sottoposti ad agitazione. La salinità della soluzione viene testata con un conduttimetro.

Le radici verranno quindi poste in stufa a 110°C per 10 minuti, poi lasciate a raffreddare a temperatura ambiente e successivamente poste in acqua deionizzata nella quale effettuare poi ulteriori test di conduttività. Quest'ultimo dato fornirà la conduttività massima, e riportato a 100, mentre il valore della prima misurazione verrà espresso come percentuale di quest'ultima. Per una pianta è preferibile effettuare almeno quattro misurazioni.



Lavaggio del campione di radici con acqua fredda.

### 3.3 STATO FITOSANITARIO DELL'APPARATO EPIGEO

Le piante sono esposte alle condizioni ambientali ed agli effetti degli organismi presenti, e microorganismi in particolare, che in alcuni casi possono comportarsi da agenti di malattia.

Si definisce **malattia** la conseguenza all'intervento di un agente esterno, definito organismo **patogeno** (funghi, protozoi, batteri, micoplasmi, virus), il quale è causa di alterazioni delle normali funzioni, che possono portare al deperimento o alla morte di parte o dell'intera pianta. La malattia va distinta da altre avversità o **cause di alterazione o di danno** alla pianta, che possono essere provocate invece da altri organismi, quali artropodi (insetti, acari, ecc.), nematodi, ecc., o da fattori ambientali sfavorevoli (**fisiopatie**) .

I vegetali reagiscono normalmente alla presenza delle avversità parassitarie (malattie e agenti di danno) e alle condizioni ambientali sfavorevoli attraverso modificazioni, le quali possono comparire sulla chioma, sul tronco e sulle radici, e costituiscono le manifestazioni esteriori dell'alterazione e sono definite **sintomi**.

Le più comuni modificazioni si possono verificare attraverso:

- cambiamenti di colore della chioma;
- disseccamenti di foglie, rami o branche;
- morte di foglie o di porzioni di rami o branche;
- comparsa di malformazioni;
- deviazione dallo sviluppo normale ;
- necrosi corticali (cancro);
- necrosi di tessuti e di organi;
- presenza di essudati;
- variazioni della consistenza e della struttura di foglie, germogli, rami, branche, fusto, radici;
- variazioni della consistenza meccanica dei tessuti legnosi.

### 3.3.1 Cambiamenti di colore della chioma

Il cambiamento di colore è la caratteristica più evidente e compare più rapidamente tra tutti i sintomi che si verificano sulla chioma delle piante.

Tale modificazione è sostanzialmente aspecifica, si verifica in quasi tutte le alterazioni ed è paragonabile alla febbre per gli animali a sangue caldo.

Inoltre il cambiamento di colore delle foglie è fisiologico in autunno per conifere e latifoglie decidue, e in primavera per la perdita periodica dei pigmenti fotosintetizzanti nelle sempreverdi.

Dal punto di vista sintomatologico la denominazione ricorrente è quella di **clorosi**, e viene definita come la perdita del colore verde per mancanza o per distruzione della clorofilla. La decolorazione può assumere varie forme, e venire più specificatamente indicata con i termini di *albinismo*, *eziolamento*, *giallume*, *mosaico*, *screziatura*, secondo le particolari caratteristiche.

I cambiamenti di colore possono coinvolgere anche le porzioni non fotosintetizzanti del lembo fogliare; è il caso di sintomi quali *l'argentatura*, *la piombatura*, e gli arrossamenti.

### 3.3.2 Disseccamenti di foglie, rami o branche

Si definisce disseccamento il rapido irreversibile avvizzimento e di vaste zone del fogliame, dei germogli, che può interessare anche interi rami o branche o l'intera pianta. È causato dalla disidratazione completa di un organo, con necrosi dei tessuti. In casi gravi può estendersi a parti legnose, provocandone la morte. Il sintomo anche in questo caso ha un carattere fondamentalmente aspecifico e può avere origine locale o sistemica. Nel primo caso è legato alla necrosi corticale di rami o di branche; nel secondo caso è dovuto a fenomeni di trasporto idrico originatisi nell'apparato ipogeo o epigeo. Non ha quindi un carattere diagnostico specifico ma è utile per individuare il sito primario dell'alterazione che permetterà nella maggioranza dei casi di riconoscere l'agente causale della malattia.

Tipici sintomi che si possono inquadrare in questo raggruppamento sono, *l'apoplezia*, *l'allessatura*, *l'appassimento* (che può essere però reversibile), *l'avvizzimento*, *la filloptosi* (caduta precoce delle foglie), *l'oligofillia* e il *deperimento*.

### 3.3.3 Comparsa di malformazioni

Si definisce *malformazione* qualsiasi accrescimento di organi in forma anomala rispetto alle caratteristiche tipiche della specie; disfunzioni nella divisione o nella distensione cellulare possono dare origine a deformazioni degli organi, alla formazione di masse ipertrofiche o iperplastiche, anche con neoformazione di organi di varia forma o colore nelle parti ipogee od epigee della pianta. Malformazioni caratteristiche sono la *bollosità*, l'*ipertrofia*, il *nanismo*, il *gigantismo*, la *lenticellosi*, la *rosetta*, lo *scopazzo*, la *fasciazione*, il *tubercolo*, il *tumore*, le *galle*.

Possono essere dovute ad infezioni virali, batteriche, fungine, o causate da insetti, acari, nematodi, ecc. Particolare importanza possono avere in certe situazioni le malformazioni indotte da diserbanti ormonici, che con la loro azione provocano la totale modificazione della zona generatrice del lembo fogliare e di altre parti, le quali possono divenire irriconoscibili.

Malformazioni particolari sono quelle che si verificano a seguito dello svuotamento interno di branche o fusti causato dalla carie. Branche o fusto svuotati internamente dalla carie, possono assumere una conformazione di tipo tondeggianti o a botticella, come tentativo della pianta di sopperire ad una carenza strutturale. Tale aspetto contrasta con il normale sviluppo dell'organo colpito, orientando così la ricerca sulla causa della malformazione. È il caso tipico del *marciume basale* o della *carie* causata da funghi del genere *Heterobasidion*.

### 3.3.4 Necrosi di tessuti e di organi

Si riferisce alla comparsa di aree necrosate più o meno ampie conseguenti alla morte più o meno rapida delle cellule. Essa si può verificare su un complesso di cellule (localizzata) o su un intero organo (generalizzata).

Può essere provocata da svariatissime cause, come conseguenza di attacchi di funghi, batteri, virus, insetti, acari, nematodi, ecc. La necrosi può essere definita in vario modo in relazione:

- al sito in cui si localizza: germogli, midollo, gemme, nervature, corteccia, ecc.
- ai tessuti colpiti: collenchimatica, parenchimatica, vascolare, floematica.
- agli agenti patogeni che la provocano: batteri, funghi, insetti, o cause abiotiche come irraggiamento intenso, estremi termici (scottature), etc.

### 3.3.5 Necrosi corticale

Particolare rilevanza possono assumere le necrosi degli organi legnosi più esterni, quali la corteccia, il cambio e le prime porzioni dello xilema, che si manifestano con depressioni, disseccamento del tessuto, fessurazioni, distacco parziale del ritidoma, che normalmente prendono il nome di *cancro*. Il cancro può essere definito in vario modo, in relazione:

- all'entità del tentativo di cicatrizzazione e alla perdita di tessuto corticale: in "cancro aperto" o "cancro chiuso";

- all'organo colpito: cancro dell'innesto, dello stelo, corticale, rameale, radicale;
- alla pianta colpita: cancro del castagno, cancro del cipresso, cancro del larice, cancro del platano, ecc.;
- all'agente causale: fungino, batterico, ecc.
- al suo aspetto: cancro carbonioso, cancro nero, cancro colorato, cancro a bersaglio, cancro resinoso.

### 3.3.6 Presenza di essudati e incrostazioni

Le piante emettono degli essudati liquidi contenenti sostanze più o meno dense che normalmente si rapprendono quando giungono in contatto con l'aria. Tali emissioni sono caratteristiche di grandi gruppi di specie vegetali. Le conifere infatti emettono resina, le drupacee gomma, le fagacee derivati del tannino. Tali flussi sgorgano all'esterno attraverso soluzioni di continuità e derivano dalla lisi delle cellule parenchimatiche, provocata da cause biotiche quali funghi, batteri, artropodi, ecc., oppure abiotiche (in genere stress idrici o termici).

Essi possono comparire in molte parti della pianta e indicano la presenza di alterazioni in alcuni casi anche molto gravi, provocate ad esempio da tracheomicosi, cancri, marciumi radicali, o altri parassiti particolarmente aggressivi.

Anche la melata può essere considerata un essudato, anche se particolare; si tratta di una sostanza zuccherina prodotta da insetti (di solito Rincoti), oppure fisiologica per alcune specie vegetali, ed emesse in circostanze particolari, come eccessi di calore. Sulla melata si possono poi sviluppare altri organismi fungini che si accrescono saprofitariamente e provocano la comparsa di masse miceliari di aspetto fuliginoso (da cui il nome generico di "fumaggini"), che incrostano le foglie e le superfici degli organi aerei.

### 3.3.7 Variazioni della consistenza e della struttura di tessuti e organi

Una variazione (di solito diminuzione) della consistenza dei tessuti vegetali o di interi organi, che provoca il rammollimento degli stessi è chiamata in termini generali **marciume**. Il marciume è conseguente ad un'alterazione dei tessuti, le cui cause possono essere malattie comuni dovute in genere a funghi o a batteri. Eccone alcune, tra le più diffuse.

**Marciume molle:** è la perdita di consistenza di un tessuto che diviene molle ed umido; può interessare frutti, foglie, fusti, radici.

**Mummificazione:** modificazione di un frutto che disidratandosi assume minori dimensioni e una consistenza di tipo legnoso.

**Carie:** è il "decadimento" dei tessuti legnosi, tipicamente compatti, che si trasformano in elementi fragili, friabili e inconsistenti.

**Allessatura:** è una particolare variazione della consistenza dei tessuti fogliari o dei germogli dovuta a sbalzi termici particolarmente rilevanti, o anche a patogeni.

### 3.4 STATO FITOSANITARIO DELL'APPARATO IPOGEO

Si valuta prelevando campioni di radici a una profondità di circa 5-20 cm e a partire da una distanza dal colletto della pianta di circa 0,5 metri. Le radici vengono chiuse in sacchetti di plastica e al termine del rilievo in campo, immerse in acqua per sei ore, in modo tale da ammorbidire il terreno ed eliminarne i residui più grossolani. Esse vengono successivamente lavate lasciandole in acqua corrente, e successivamente poste in una soluzione di acido ossalico allo 0,3%; vengono quindi risciacquate e riposte nella medesima soluzione per altre dodici ore, con oscillatore a bassa velocità (per evitare rotture, danneggiamenti o perdite degli apici). Contemporaneamente si valuta l'eventuale presenza di patogeni, i quali potrebbero falsare i dati ottenuti. Le radici possono essere conservate in sacchetti di plastica su cui vengono praticati piccoli fori, e posti in frigorifero a 4°C, in contenitori riempiti con idoneo fissativo, fino al momento dell'osservazione.

### 3.5 RESISTENZA MECCANICA DEI TESSUTI LEGNOSI

Le piante monumentali, come ogni vivente, devono il loro aspetto alle caratteristiche tipiche della specie di appartenenza, all'ambiente in cui si sono accresciute, e alle vicende che le hanno coinvolte nel corso della loro lunga vita. Spesso tali alberi hanno dovuto superare condizioni difficili o avverse, e si sono affrancate sopportando o dominando l'ambiente e la competizione di altre specie, fino a raggiungere dimensioni e forme ragguardevoli. La notevole mole di taluni esemplari implica uno sforzo notevole che questi soggetti devono compiere, a costo di altrettanta energia per sostenere e sostentare la massa delle strutture aeree. Il peso proprio della chioma e la sua conformazione provoca di per sé delle tensioni che si scaricano a cascata sulle strutture sottostanti: dalle foglie ai rami, alle branche, al fusto fino alle radici. Tali tensioni si evidenziano normalmente con la comparsa di **legno di compressione** e di **trazione**. Le forze arrivano spesso ad un equilibrio, senza che vi siano danni o problemi alla stabilità dell'albero o di alcune sue parti. Altre volte, invece, per la particolare conformazione dell'organo (ad esempio grosse branche ad andamento orizzontale su cui gravano forze notevoli), o per la presenza di stati patologici fra i quali gioca un ruolo fondamentale la carie, gli equilibri si complicano, e le piante possono divenire instabili e pericolose.

E' quindi indispensabile disporre di mezzi con cui valutare la resistenza meccanica dei tessuti legnosi dell'albero, e che consentano di individuare con precisione la sua eventuale pericolosità. Esistono rilevanti problemi di responsabilità che spesso i proprietari non sanno come bene affrontare, e spesso sono "risolti" capitozzando le piante, con le conseguenze che ben conosciamo.

E' quindi necessario avere consapevolezza della reale condizione statica e di quella biomeccanica della pianta, ponendole in relazione con gli eventuali rischi di schianti e cedimenti strutturali, così da poter mettere in atto eventuali misure preventive o curative precise e mirate. In sintesi queste verifiche hanno lo scopo di:

- individuare alberi pericolosi, che richiedono monitoraggio periodico e frequente, e se necessario l'eliminazione.
- Individuare parti di pianta potenzialmente pericolose che necessitino di interventi di consolidamento o di messa in sicurezza, di cure e di costante controllo.

Per accertare la stabilità di un albero è necessario eseguire rilievi sui tessuti legnosi, che possono essere fatti visivamente o con strumenti anche rudimentali quali il “martello”; oppure utilizzando strumentazioni più sofisticate e tecnologiche (se ne parlerà nel capitolo dedicato alla gestione dell'albero monumentale).

### 3.6 CONDIZIONI ENERGETICHE DELLA PIANTA

Come avremo modo di vedere nei prossimi capitoli, le condizioni energetiche della pianta rappresentano una condizione basilare. L'albero necessita di continui apporti energetici, che gli derivano dall'attività fotosintetica, e che accumula nei propri tessuti, prevalentemente in forma di amido; l'energia è necessaria per il normale funzionamento delle attività vitali, l'omeostasi, e per far fronte alle richieste anche improvvise ed eccezionali, come nel caso di traumi o infezioni, e poter ripristinare le condizioni ottimali. Per difendersi dalle ferite l'albero richiede molta energia: la sintesi di composti con funzione difensiva ha un costo energetico elevato; e così la ricostruzione di un apparato fotosintetico, a seguito ad esempio di una defogliazione o di una potatura; ed è così anche quando la pianta deve ricostruire il sistema assorbente (radici), qualora risulti danneggiato o insufficiente alle esigenze della pianta. Poter valutare le condizioni energetiche della pianta significa poter stimare l'eventuale risposta della stessa anche ad un eventuale intervento ricostruttivo, come la generazione di nuove radici o la ricostruzione della chioma. Tutti i processi in cui è richiesta energia subiscono una riduzione di attività se non sufficientemente “alimentati”. A minacciare la vita di un albero è infatti la mancanza o, più spesso, l'insufficienza di energia. L'energia viene prodotta con la fotosintesi. In altre parole, l'energia che l'albero produce con la fotosintesi non può essere inferiore alle richieste della pianta. La pianta, altrimenti, è come se morisse di fame.

#### 3.6.1 Variazione del livello energetico della pianta durante l'anno e “Askenasy's Potential Energy Curve”.

Secondo quanto sostenuto dal ricercatore russo Askenasy, (Shigo, 1991) l'energia che la pianta immagazzina all'interno dei propri tessuti può essere considerata come energia potenziale. Il ricercatore statunitense Priestly ne ha studiato i mutamenti che si verificano durante l'anno in una pianta: gli studi confermano che il “sistema albero” mostra due periodi critici, ovvero di particolare difficoltà, dovuti a livelli energetici ridotti. Il primo periodo critico corrisponde alla primavera, e in particolare al momento in cui la pianta ha completato la distensione delle foglie; il secondo periodo critico corrisponde all'autunno, prima della dormienza. La “crisi” primaverile è comprensibile, essendo che la pianta ha destinato (= investito) tutte le proprie energie per predisporre ad una più efficiente attività fotosintetica; il secondo momento critico, invece, non si è ancora riusciti a spiegarlo: si potrebbe ipotizzare un cambiamento nel sistema elettrico della

pianta o la presenza di tantissime aree di abscissione delle foglie, in grado di sottrarre energia al sistema; oppure, l'instaurarsi di una nuova e notevole simbiosi micorriziale.

Queste informazioni rivestono un'importanza fondamentale, in quanto in questi momenti la pianta si rivela particolarmente vulnerabile a eventuali avversità e traumi (potature comprese).

### 3.6.2 Un metodo migliorato per la determinazione dell'amido nei tessuti legnosi

La determinazione del contenuto di amido all'interno dei tessuti può rappresentare una delle principali tecniche di diagnosi per valutare le condizioni energetiche della pianta, consentendo quindi individuare il momento migliore per un eventuale intervento e il tipo di trattamento più adatto. L'amido è localizzato nelle cellule viventi, sia nella parte aerea sia in quella radicale; è il carboidrato principale di riserva in tessuti legnosi (Gupta e Kaur, 2000), ma il suo contenuto è relativamente basso rispetto a prodotti quali alimenti e mangimi, essendo in genere compreso fra il 3 e l'8% su base secca. La maggior parte dei metodi per la determinazione del tenore di amido sono stati sviluppati su organi vegetali non lignificati, come frutta, porzioni di fiori o radici fini (Rodrigo, Rivas et al. 1997). Recentemente Chandra Bellasio<sup>1,\*</sup>, Alessio Fini<sup>2</sup>, Francesco Ferrini<sup>2</sup> hanno presentato un metodo migliorato per l'analisi dell'amido in legno, adoperando metodi commerciali (Sigma STA 20 e Megazyme K-TSTA), utilizzati nella determinazione del tenore di amido in altri prodotti.

Il protocollo usato ha dimostrato di essere veloce (fino a 35 campioni al giorno, con ulteriori miglioramenti fino a 50), più preciso e stabile rispetto ai metodi commerciali impiegati, ed ha recuperato il 27% e il 13% di amido in più senza aumento di interferenze. Il metodo proposto ha dimostrato una buona performance su standard in cui l'errore varia tra 0,16 e 0,35%. Un esempio di applicazione di questo tipo di determinazione è fornito dalla prova eseguita per valutare la correlazione tra contenuto di amido dei tessuti radicali e la risposta all'ossigenazione delle radici, di cui verrà trattato nel capitolo 8. L'analisi del contenuto di amido nei tessuti legnosi potrà poi essere messo in relazione con la colorazione assunta da tessuti dello stesso campione trattati con soluzioni coloranti a base di iodio. Il principio di base nell'impiego dello iodio come colorante consiste nel fatto che l'amido eventualmente presente nei tessuti legnosi si colora di violetto. Prove possono essere eseguite facilmente anche senza ricorrere all'estrazione dell'amido; il semplice confronto con tessuti di piante in piena vigoria e piante, invece, deperenti permetterà di costruirci una sorta di scala cromatica di riferimento.



Due sezioni di radice a confronto, le quali evidenziano un diverso contenuto di amido all'interno dei raggi parenchimatici (foto L. Strazzabosco).

Le gocce di colorante vanno poste su carote di legno (prelevate con il succhiello), oppure su sezioni trasversali di rami o radici: la colorazione viola più intensa indicherà un'alta presenza di amido nel legno; viceversa, una debole colorazione viola ne indicherà un minor accumulo. Quando il campione rimane del medesimo colore significa che vi è assenza di amido. Alcuni accorgimenti pratici nell'operare favoriscono un più chiaro esito dell'indagine. Ad esempio, la superficie del campione dev'essere perfettamente liscia, affinché il colorante non fornisca letture alterate. È importante quindi che gli attrezzi impiegati siano ben affilati.

<sup>1</sup> Department of Plant Sciences, University of Cambridge, Downing Street, Cambridge CB2 3EA, UK;

<sup>2</sup> Department of Plant, Soil and Environmental Science - University of Florence, viale delle Idee, 30, 50019, Sesto Fiorentino (FI), Italy;



Tiglio secolare (Versailles, Petit Trianon).

## 4 PROBLEMATICHE FITOPATOLOGICHE E ALTRE AVVERSITA' DEGLI ALBERI MONUMENTALI

### 4.1 L'ALBERO MONUMENTALE, L'INTERESSE, I PROBLEMI, LA SALVAGUARDIA

È significativa l'attenzione oggi rivolta alla sensibilizzazione e alla riscoperta del valore del patrimonio ambientale e paesaggistico nelle sue diverse espressioni e nei suoi vari aspetti; si riconosce sempre più il valore culturale, ecologico, paesaggistico, le molteplici funzioni che il "verde" svolge e le utilità che procura. Ed è comune la convinzione che tale patrimonio costituisca spesso un "relicto" di qualcosa di ben più consistente e prezioso, che invece è stato alienato, sacrificato, perduto in questi ultimi decenni di urbanizzazione eccessiva, spesso ingiustificata, e di pianificazione irrispettosa, "distratta" o miope.

Si segnalano perciò numerose iniziative, da parte di associazioni, movimenti, enti, volte alla salvaguardia e al recupero di questo patrimonio, oramai giustamente riconosciuto come culturale.

Attraverso varie recenti iniziative si scopre l'interesse anche per gli alberi monumentali. Del resto, la presenza spesso maestosa di questi monumenti della natura costituisce testimonianza storico-culturale di vicende umane e naturali. Di qui la definizione condivisibile di "alberi monumentali" a quegli esemplari che, carichi di anni, rimangono documento vivente, testimoni e archivi naturali del nostro passato.

Come i monumenti in pietra, essi emergono dal passato, meritando altrettanta attenzione conservativa, affinché non vada perduta la nostra stessa identità culturale. Tuttavia, non si tratta di materiali inerti, bensì di esseri viventi, segnati però dalla vetustà delle strutture legnose, su cui il tempo, gli eventi naturali ed antropici hanno lasciato il segno; occorre perciò dedicare loro cure ancora più sollecite e assidue per garantirne la sopravvivenza.

Sono alberi da ammirare, da studiare e da capire ma soprattutto da difendere. Sono grandi patriarchi botanici nei confronti dei quali ci dobbiamo sentire debitori. Si tratta solitamente di esemplari che costellano parchi di dimore nobiliari o gentilizie in genere o, talvolta, quali veri e propri monumenti, segnano e identificano crocevia, strade, piazze, contrade e borghi.

La loro "vecchiaia" è da tenere in debita considerazione quando se ne valutano gli aspetti patologici: le malattie più comuni del verde storico sono causate da funghi patogeni "di debolezza", ovvero da organismi la cui aggressività è connessa a fenomeni di sofferenza e di senescenza delle piante.

Da un punto di vista terapeutico, se da un lato si ha la necessità di mantenere le piante in vita il più a lungo possibile, dall'altro si è condizionati dal loro stato di deperimento e vincolati alle loro deboli risposte fisiologiche. Terapie adeguate e tempestive non sempre possono scongiurare la fine, o lo schianto della pianta "in difficoltà".

Talvolta la ferma intenzione di salvare un esemplare può trasformarsi in una sorta di “accanimento terapeutico”, non sempre condivisibile; l'albero, in quanto entità biologica, deve giungere prima o dopo alla fine del suo ciclo. Non potrà più essere un monumento se sottoposto a mutilazioni che ne snaturano l'aspetto, o se sostenuto da “stampelle” o protesi che per evitarne la caduta ne offendano la dignità.

Vengono di seguito prese in esame alcune malattie in grado di alterare il valore estetico delle piante monumentali o di comprometterne la stabilità.

#### **4.2 PROCESSI DI DEPERIMENTO NEGLI ALBERI IN RELAZIONE CON IL DECADIMENTO FUNGINO**

Lo sviluppo delle disfunzioni fisiologiche all'interno del legno di vecchi alberi è tra le principali caratteristiche dei processi di declino, assieme alla tendenza a divenire inabili a mantenere la funzionalità esterna dei tessuti vascolari.

La longevità di un albero e la resistenza ai processi di deperimento è peculiarità legata alla specie, ma anche a meccanismi di difesa comuni tra le specie arboree, che a loro volta si confrontano con le caratteristiche dell'agente fungino causa di danno ipocneuretico. L'espressione delle caratteristiche della specie è determinante nello sviluppo dei processi di invecchiamento in funzione anche dell'ecologia della stessa e del suo livello di successione.

La maggior parte degli alberi possiede un modello di crescita indefinita, caratterizzato dalla reiterazione cadenzata di nuove gemme, radici e incrementi legnosi radiali per tutta la durata della loro vita; ciò contrasta con gli organismi animali, i quali hanno un modello di crescita definito che termina al raggiungimento della maturità, cessando la crescita e limitando l'attività plastica alla sostituzione e riparazione di cellule danneggiate o logorate. Sebbene alcune specie possano incrementare la loro crescita durante tutta la loro vita, la riparazione e l'estensione di parti del loro corpo non può essere mantenuta in modo indefinito, così che prima o poi arriva la morte.

Al contrario gli alberi, che ad ogni stagione vegetativa rinnovano le loro strutture vegetative, si possono considerare potenzialmente immortali.

In pratica gli alberi hanno una vita meno predeterminata rispetto, ad esempio, a quella umana; la longevità è legata anche alla specie, all'inquadramento ecologico e allo stato di entropia.

Sebbene gli alberi siano fondamentalmente differenti da organismi con modelli a crescita definita, esistono però alcune analogie con questi ultimi, come ad esempio l'invecchiamento delle cellule. Normalmente le cellule hanno una vita limitata al massimo a poche stagioni di crescita.

Recenti ricerche eseguite su alberi secolari appartenenti a diverse specie, confermano il fatto che non vi è nessuna influenza fisiologica dovuta all'età della pianta, e che su una pianta secolare i tessuti neoformati non presentano segni di “senescenza”.

Alla luce di queste considerazioni, chiamare “vecchio” un albero annoso appare improprio. Altri aggettivi o termini potranno essere più convenientemente impiegati per esprimere lo stadio di sviluppo o le condizioni estetiche, vegetative e sanitarie della pianta arborea; perciò, d’ora in avanti i termini *vecchio* e *vecchiaia* verranno utilizzati meno possibile, ed eventualmente virgolettati.

Mentre invece è da ritenere che la longevità venga influenzata dall’accumulo di tessuti morti all’interno della struttura, in particolare gli strati più vecchi dell’alburno perdono la conducibilità idrica e le cellule del parenchima muoiono. Anche se dal punto di vista fisiologico non più vascolarmente funzionali, lo rimangono invece strutturalmente e meccanicamente.

I motivi per i quali un nucleo di legno non più vascolarmente funzionale tende a limitare la longevità di un albero, possono essere diversi e articolati; in modo particolare:

- Il diradamento e la progressiva attenuazione degli incrementi radiali del legno nuovo su circonferenze incrementali sempre più grandi;
- Il degrado nel legno non più vascolarmente funzionale, con due possibili conseguenze: lo schianto da rottura dell’albero o la compromissione dell’alburno causato dalla patogenità degli agenti ipnochereutici capaci di superare le difese dei tessuti ancora funzionali fisiologicamente;
- L’alterazione delle strutture in crescita con la limitazione delle condizioni ottimali, come il depauperamento dei nutrienti minerali che bloccano la crescita, l’alterazione del contenuto di umidità e soprattutto l’areazione del suolo nella rizosfera sempre più ampia che influisce sulla crescita e sui rapporti simbiotici delle radici con una regressione delle stesse;
- le spese energetiche per il mantenimento dei tessuti meccanici e funzionali vascolarmente per il mantenimento della crescita dei rami.

#### **4.3 LA CRESCITA DIAMETRALE DEL FUSTO CON L’ETA’**

Negli alberi il cilindro legnoso è costituito da xilema e floema secondari generati dalla periodica attività del cambio, responsabile dell’aumento diametrico del fusto, o della radice, con la formazione degli anelli di crescita.

I primi anni della vita di un albero sono caratterizzati da un comportamento da cui dipende la sopravvivenza e il futuro dello stesso. La strategia consiste nella colonizzazione dello spazio disponibile sia nell’accrescimento primario della parte epigea che della parte ipogea (*Raimbault*, 1995) col condizionamento esercitato dalla pressione ambientale e dalle caratteristiche genetiche.

Durante questa fase, che potremmo indicare sinteticamente “formativa e di esplorazione”, il volume dei successivi incrementi radiali tende ad aumentare, perché il volume della corona e quindi della capacità fotosintetica della pianta è in aumento (*White*, 1998).

La capacità fotosintetica cessa di aumentare quando l'albero raggiunge la maturità. Su questa base si possono distinguere tre fasi della vita di un albero: la formazione, la maturità e la senescenza. "Senescenza" non è però il termine adeguato per descrivere gli organismi a crescita indefinita come gli alberi, visto che ancora in questa fase si possono alternare momenti di iperattività nella crescita con momenti di degrado e regressione.

Rimbault ha descritto un numero di tappe intermedie secondo le modificazioni della corona della chioma. L'aumento del diametro del cilindro legnoso durante la fase matura fa sì che gli incrementi della crescita secondaria siano progressivamente più stretti. Questo è dovuto al fatto che la chioma, quando ha raggiunto la maturità, tende a produrre sempre la stessa quantità di fotosintetati ogni anno, pur con fluttuazioni legate alla pressione degli agenti abiotici e biotici; gli incrementi radiali del legno nuovo e della corteccia hanno quindi lo stesso volume, ma distribuiti su una circonferenza progressivamente più ampia.

Anche se gli incrementi radiali potrebbero in teoria formarsi per secoli o addirittura millenni, si può ipotizzare che questo processo sia turbato dalla diminuzione degli incrementi fino ad avere ripercussioni sui tessuti conduttivi e di riserva, influenzando la capacità di sostenere la corona della chioma e causandone regressione a causa dell'insufficiente energia per la crescita ed il consolidamento meccanico.

La diminuzione del sostegno fisiologico del sistema vascolare e di stoccaggio porta ad una conseguente diminuzione del sistema fotosintetico, con minori apporti al cambio, il quale non può che generare incrementi radiali progressivamente inferiori, più di quanto sia previsto per la geometria della pianta stessa. Quando un albero entra in questa fase mostra evidenti regressioni della corona che portano a perdite di tessuti vascolarmente funzionali nell'alburno.

Osservazioni fatte su alberi molto annosi, hanno dimostrato che tali sintomi sono evidenti anche superficialmente al tronco e alle branche primarie. Presenza di ampie necrosi sul legno che in alcuni casi possono interessare anche ampi settori della circonferenza del tronco fino ad arrivare al colletto, risultano essere funzionalmente collegate a regressioni di ampie porzioni dell'apparato radicale. È noto che su alberi molto "vecchi" danni alla chioma e alle radici portano alla necrosi di ampi settori del cambio funzionalmente collegato; ma è anche possibile che, viceversa, il degrado del cambio porti alla perdita di settori della corona e dell'apparato radicale, a partire dalla perdita di tessuto funzionale dell'alburno e del floema, avviando i processi di declino. Anche se le necrosi superficiali possono aumentare il tasso di decadimento, la riduzione del cambio funzionale a settori discreti della circonferenza del fusto può anche essere visto come una strategia di sopravvivenza per un albero che non può più "permettersi di mantenere" una struttura funzionale completa di alburno e corteccia.

#### **4.4 DECADIMENTO INDOTTO DA LESIONI**

Un albero sano presenta il cilindro protetto completamente dal ritidoma ed altri strati corticali, funzionali alla protezione. Quasi tutti gli alberi sono sensibili all'esposizione dei tessuti sottostanti

all'alterazione ambientale. In particolare l'alburno, se esposto, va incontro a disidratazione, con un conseguente aumento degli scambi gassosi (*Boddy e Rayner, 1983*). Questi cambiamenti portano ad una perdita della funzione fisiologica dei tessuti colpiti, e spesso si conclude con la compartimentazione del tessuto morto (*Shigo e Marx, 1977*). In alberi annosi tali modifiche sono accompagnate da processi di declino. In casi estremi, gli alberi possono perdere completamente la funzionalità vascolare e morire. Ciò è particolarmente probabile che si verifichi in alberi secolari, in cui sono molto ridotti lo strato di xilema e floema funzionali, sovrastante una cospicua massa di legno disfunzionale. In specie caratterizzate da duramen poco resistente è più probabile e rapida la eventuale colonizzazione da patogeni agenti di carie, i quali possono poi superare le difese dell'alburno.

L'eventuale rimozione completa della corona della chioma non costituisce di per sé la causa diretta della morte dell'albero, ma indiretta, per la successiva distruzione dei tessuti vascolari.

La perdita del fogliame riduce la capacità fotosintetica, determinando gravi perdite sulle riserve dei carboidrati e una conseguente compromissione dei processi attivi nella formazione di barriere difensive (*Shigo e Marx, 1977*); inoltre, l'alburno perde la sua capacità funzionale quando si isola dalla rete del simplasto, presente in tutta la pianta a partire dalle radici.

Un albero con vaste aree di necrosi superficiali può sopravvivere a condizione che il fusto conservi zone di legno funzionale tali da costituire dei canali di collegamento tra foglie e radici; tali collegamenti risultano fondamentali per la sopravvivenza di alberi secolari (*Lonsdale, 1996*).

Nella gestione di questi alberi può essere opportuno alleggerire il carico di rami pesanti, i quali possono essere più esposti a rischi di rotture; in questi casi è però necessario riconoscere e salvaguardare le connessioni di tessuto funzionale, mantenendo i rami legati a tali tessuti. In Gran Bretagna, ad esempio, si è visto che eccessive riduzioni della chioma e il non rispetto delle connessioni vascolarizzate hanno portato alla morte gli alberi secolari sottoposti a gestione.

In vecchi alberi la rottura o la riduzione delle branche principali porta ad un aumento di stress da siccità, con perdita di umidità del legno e con una maggiore esposizione diretta alla radiazione solare, e probabilmente anche al riscaldamento della superficie nel piatto radicale per la riduzione dell'ombreggiamento. D'altro canto, un eccessivo ombreggiamento può inibire lo sviluppo "sano" di nuovi germogli. La misura in cui l'ombreggiamento deve essere ridotto o mantenuto dipende dalla specie cui l'albero appartiene, distinguendo tra piante tolleranti l'ombra e non tolleranti; sono poi da considerare il clima locale e la stagione in cui si interviene, nonché le condizioni del terreno su cui insiste la pianta.

Se un albero perde gran parte del suo fogliame, la sua capacità di sopravvivenza dipende in larga misura dalla sua capacità di formare nuova superficie fotosintetizzante. Si è osservato che alberi molto annosi hanno una forte tendenza a produrre nuovi germogli epicormici ("reiterazione prolettica"). Se un ramo viene rotto o ridotto si riformano nuovi germogli mantenendo così la connessione con le parti associate al fusto principale. Questa capacità di produrre nuove gemme si differenzia da specie a specie. La capacità di produrre nuovi germogli da gemme dormienti è maggiore in rami accresciuti più lentamente, presentando più nodi per metro e quindi più gemme

dormienti (Leggi et al. 1996; Read, 2000). Si è osservato poi che in alcune specie (es. *Fraxinus excelsior*) le gemme avventizie si formano più facilmente lungo sbrancature piuttosto che su rami recisi meccanicamente.

Rami neoformati in corrispondenza di una lesione possono sopravvivere e quindi contribuire alla vitalità della pianta solo se diventano indipendenti dai tessuti precedenti, prima che questi vengano degradati da agenti ipnochereutici.

Una volta avvenuta la reiterazione, tale da produrre fotosintati sufficienti a sostenere la “rigenerazione” di radici e la produzione di nuovo legno funzionale, la sopravvivenza della pianta capitozzata può dirsi garantita, o almeno per questo aspetto.

In alcuni alberi monumentali si è potuto assistere a morti improvvise dopo prolungati periodi di sopravvivenza; ciò è da imputare in larga parte alla perdita di connessione di tessuti vascolari legati all'apparato radicale. Il degrado verificatosi può essere associato alla colonizzazione da parte di funghi patogeni. Talvolta, tuttavia, in presenza di radici superstiti, si possono verificare nuove reiterazioni epicormiche.

In genere un albero capitozzato subisce uno stress che lo porta più o meno rapidamente a morte. Ciononostante, alcune specie appartenenti al genere *Salix*, *Tilia*, *Populus*, il tasso (*Taxus baccata*), e il castagno (*Castanea sativa*), capaci di produrre nuovi germogli in seguito a capitozzatura, possono sopravvivere e vegetare; altre ancora possono rispondere bene alla mutilazione, aumentando la capacità di sopravvivenza purché una o più branche vengano conservate, come nel caso di *Ilex aquifolium*, *Carpinus betulus* e *Fraxinus excelsior*.

Alcune querce, compresa *Quercus robur* e *Q. petraea* spesso rispondono bene anche ad una riduzione totale della corona.

#### 4.5 DECADIMENTO DELLE RADICI PRIMARIE

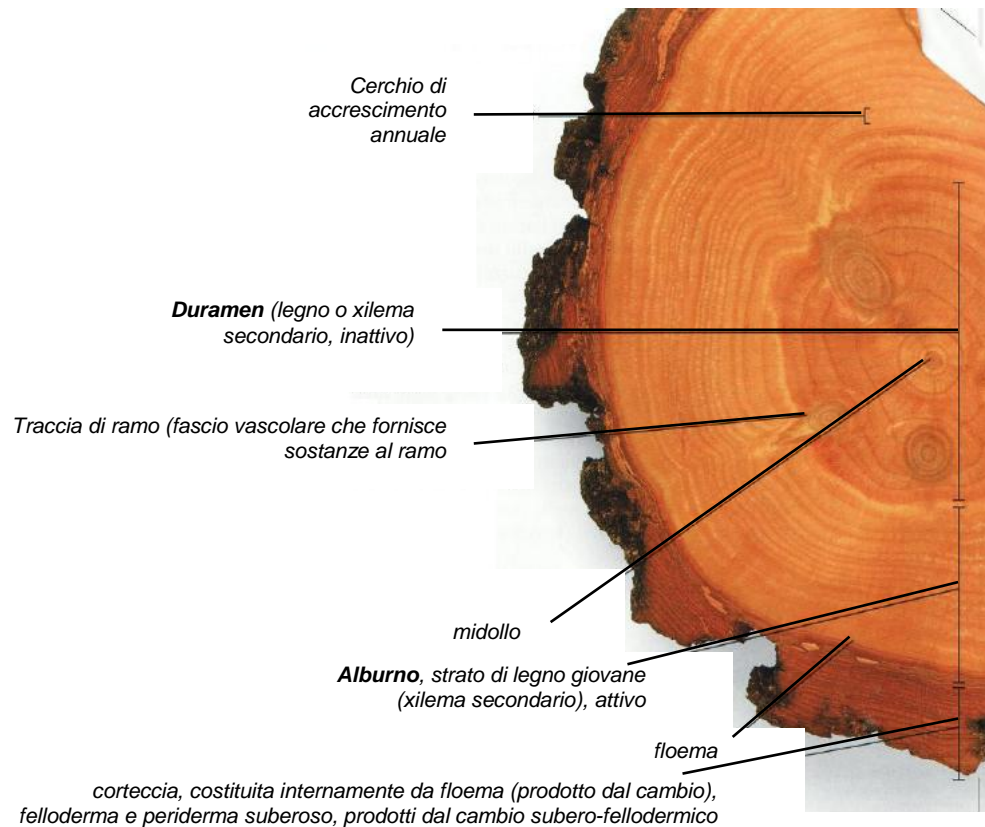
Il decadimento che si verifica nella rizosfera sembra essere una caratteristica comune di tutti gli alberi monumentali, qualora non siano già interessati da problemi ipnochereutici in conseguenza di ferite nella parte epigea.

La sede apparente del decadimento ipogeo è il fittone di origine embrionale (che però non è presente negli alberi ornamentali dopo il trapianto). Non è ben chiaro quando si origina o, facendo riferimento a quanto sostiene Raimbault, in quale fase queste radici di origine embrionale diventino disfunzionali. Certo è che la presenza di carie non è evidente all'esterno fino alla fase di post-maturità.

Le carie radicali possono svilupparsi anche in giovani alberi, qualora le radici vengano danneggiate, come a seguito di escavazioni. I funghi che colonizzano l'apparato radicale primario sono appartenenti alla classe dei Basidiomiceti, come *Armillaria spp.*, *Ganoderma spp.*, *Meripilus giganteus*, *Phaeolus schweinitzii* e l'ascomicete *Ustulina deusta* (Lonsdale 1999; Schwarze et al. 2000). Vasti decadimenti possono essere causati anche da *Inonothus* e *Grifola frondosa*, comuni

anche su querce. Questi funghi sembra si limitino ad attaccare il fittone, rispettando invece le radici fascicolate, e garantendo in questo modo una discreta stabilità alla pianta.

#### 4.6 ALBURNO E DURAMEN NEGLI ALBERI MONUMENTALI



Sezione trasversale di un fusto maturo di *Pinus muricata*; è evidente la differenza di colorazione fra il duramen (al centro del cilindro legnoso) e l'alburno; lo xilema secondario, ovvero il legno, è prodotto dal cambio cribro-vascolare, collocato appena sotto la corteccia (da: *le piante, vedere e conoscere*, GM editore).

L'alto contenuto di umidità dell'alburno e l'insufficiente quantità di ossigeno ostacolano la penetrazione dei funghi nell'alburno. Questa per la pianta rappresenta una forma di difesa passiva contro l'infezione fungina e il conseguente decadimento del legno (Boddy e Rayner, 1983). Anche se l'alterazione si dovesse sviluppare nell'alburno, in conseguenza a ferite o malattie, la stessa rimane compartimentata dai tessuti legnosi preesistenti; il legno quindi rappresenta un ulteriore baluardo di difesa passiva (Shigo e Marx, 1977).

Nel caso in cui la zona alterata subisca variazioni di volume (a seguito di mutamento del tenore di umidità), l'infezione è contrastata e bloccata dalla reazione dell'alburno, che aiuta a isolare i tessuti danneggiati. In questa reazione da parte della pianta, il lume cellulare e gli spazi intercellulari vengono impregnati con sostanze prodotte dalle cellule del parenchima; tra le possibili sostanze vi sono gomme, resine, suberina, nonché composti fenolici che inibiscono la

crescita dei funghi. Gli incrementi annuali che si formano successivamente all'infezione sono così ben protetti da una successiva colonizzazione. La capacità dell'alburno di rispondere alle lesioni si riduce però con l'età della pianta, perché le cellule del parenchima hanno una vita limitata.

In alcune specie come il faggio (*Fagus sylvatica*) il processo di declino delle cellule parenchimatiche avviene gradualmente, nel corso di alcuni decenni, riducendo così gradualmente la capacità di risposta alle invasioni fungine causate da danni e ferite.

Lo stesso vale per altre specie come *Aesculus hippocastanum* e *Fraxinus excelsior*, in cui è assente l'attività di difesa dell'alburno, mentre in specie come *Quercus robur* e *Q. petraea*, la trasformazione di alburno in duramen è contraddistinta dall'impregnazione di sostanze fenoliche che svolgono un ruolo di difesa passiva. Specie in cui il duramen è facilmente insediato da funghi, tendono a vivere di meno rispetto a specie con duramen resistente alla colonizzazione fungina.

La diversa capacità da parte dell'alburno di contrastare il patogeno agente di carie è probabilmente la causa della diversa velocità ed entità del decadimento del legno, e quindi della maggiore vulnerabilità di talune specie arboree. In specie con duramen resistente, come ad esempio in *Quercus robur*, il degrado causato dai funghi è spesso così lento che i danni meccanici sulla massa statica si evidenziano molto tardi, magari dopo secoli; e in ogni caso si assiste prima a una riduzione della corona. Va tenuto conto, comunque, che la crescita radiale può in qualche misura compensare lo sviluppo di carie.

#### **4.7 IL RUOLO DELLE SPECIE FUNGINE NEL DEPERIMENTO O NELLA SOPRAVVIVENZA DEGLI ALBERI MONUMENTALI**

Le diverse specie fungine differiscono notevolmente nella loro capacità di colonizzare gli alberi e incidono diversamente nel loro decadimento e nello sviluppo di carie (Rayner & Bloody, 1988; Schwarz et al., 2000). Queste differenze si riferiscono alla disuguale tolleranza alle condizioni interne del legno, come il contenuto di umidità il rapporto tra ossigeno e anidride carbonica, il contenuto di azoto e di varie sostanze di difesa, compresi i composti che formano le barriere fisiche, e le sostanze ad azione fungitossica o fungistatica (Pearce, 1998). La differente capacità di adattamento da parte del patogeno alle diverse condizioni determina il successo della colonizzazione della massa statica e della massa dinamica dell'albero, rispetto alle resistenze della pianta.

Le strategie di aggressione da parte dei patogeni fungini sono diverse e in relazione alle diverse modalità di difesa dell'albero.

Nella colonizzazione dell'alburno la velocità del patogeno nel penetrare prima che l'albero produca risposte di difesa è fondamentale per il successo della colonizzazione stessa; il patogeno sfrutta l'energia facilmente assimilabile di zuccheri. Così facendo, oltre anticipare la risposta di difesa dell'ospite, riesce a produrre le micotossine capaci di danneggiare e uccidere le cellule dello xilema e del parenchima. Funghi di questo tipo sono generalmente conosciuti come patogeni

da ferita del tronco e delle radici; sono specializzati nel penetrare in tessuti funzionali come l'alburno, ma non sono in grado di colonizzare vecchie ferite con legno non più funzionale.

Il più aggressivo tra i patogeni "da ferita fresca" è il *Chondrosterum purpureum*, non frequente in alberi adulti e monumentali. Ma ci sono altri funghi come lo *Stereum spp.* e la *Bjerkandiera adusta* capaci di insediarsi nell'alburno non più funzionale. Un altro fungo tipico di alberi deperenti, esposti a stress termici, è lo *Schizophyllum comune*.

In altri casi, colonie di patogeni fungini insediati nel duramen riescono a superare le difese e colonizzare l'alburno. In questa evenienza è facilmente compromessa la stabilità e la longevità delle piante monumentali eventualmente interessate dall'infezione.

Schwarze e Ferner hanno dimostrato che le specie di *Ganoderma* differiscono nella loro capacità di colonizzare l'alburno. Hanno osservato, ad esempio, che *G. adspersum* è stato in grado di superare la barriera difensiva tra legno funzionale e massa statica. *G. applanatum*, invece, non ha avuto questa capacità di penetrazione della barriera, ma ha prodotto carie più profonde nella massa statica.

All'interno del legno duramizzato e impregnato di sostanze antimicrobiche possono vivere solo specie in grado di tollerare queste condizioni. Si tratta di funghi in grado di provocare carie estese. Altri, invece, come *Laetiporus sulphureus*, tendono ad assumere comportamento endemico e svilupparsi lentamente, spesso coesistendo per decenni (in alcuni casi secoli) prima di determinare danni evidenti. La *Fistulina hepatica* è tra le specie più caratteristiche capaci di degradare prima i tannini e solo successivamente le pareti cellulari (Schwarze, 2000).

Altra importante strategia di colonizzazione è quella di alcune specie endofitiche, le quali non mostrano patogenità fino a quando un cambiamento dello stato fisiologico non li rende virulenti (Lonsdale, 1983).

Tutte le diverse specie fungine, agenti di decadimento del legno, sono comuni su larga parte delle latifoglie. In alberi monumentali secolari alcuni funghi come *Comedens*, *Vuilemina* e *Pheniophora quercina* svolgono un ruolo positivo nella degradazione di rami deperenti, favorendone l'autopotatura; in questo modo si evitano danni maggiori alla corona che possono essere provocati dalla caduta di branche di maggiori dimensioni (Boddy e Rayner, 1991).

Tra i patogeni endofiti, alcuni, come *Eutypa spinosa*, sono in grado di portare a morte alberi che ne abbiano subito l'attacco; una micotossina, l'eutipina, prodotta dal fungo stesso, gioca un ruolo fondamentale nel *mal dell'esca* della vite, causandone la morte.

La diversa capacità di sopravvivenza negli alberi monumentali dipende dal tipo di infezione in atto e dalla capacità di adattamento conservativo nella competizione. La principale distinzione è tra "degrado fragile" e "decadimento non fragile", anche se tra questi che rappresentano due estremi nella degradazione meccanica si riscontrano molte situazioni intermedie.

Il *Laetiporus sulphureus* produce carie bruna, degradando prevalentemente (in maniera selettiva) la cellulosa e lasciando praticamente intatta la lignina; il peso specifico rimane sostanzialmente invariato, lasciando però un legno assai fragile e di estrema rigidità, non in grado di sopportare la

flessione. Al contrario funghi causa di carie bianche degradano in maniera selettiva la lignina, lasciando intatta la cellulosa; in alcuni casi estremi come in infezioni di *Ganoderma* rimane così tanta cellulosa che il legno si può piegare senza spezzarsi.

Un decadimento relativamente fragile può essere prodotto da agenti di carie presenti simultaneamente. In questo caso viene degradata contemporaneamente sia cellulosa che lignina.

Altra forma di degrado del legno è rappresentata dal marciume molle; in questo caso sono degradate le pareti cellulari, che perdono così la loro rigidità, rendendo molli i tessuti. Il marciume molle è indotto da un'ampia gamma di specie come *Inonothus* (Schwarze, 1995), comune in vecchi esemplari di frassino maggiore.

Gli alberi modificano la loro capacità di crescita in funzione del loro modello indefinito. Questa convinzione è però basata più su osservazioni e ipotesi, che su dati di rigore scientifico.

Fra le maggiori cause predisponenti al decadimento del legno in alberi monumentali vi sono le condizioni cui è sottoposta la rizosfera, con particolare riguardo all'asfissia e all'eccesso di umidità. Frequenti sono, infatti, strati di suolo compattati e asfittici, caratterizzati da colorazione grigio-bluastro. A volte condizioni di asfissia si possono riscontrare anche in suoli ricchi di scheletro e apparentemente ben strutturati e con buona capacità di drenaggio. Probabilmente la causa è da imputare all'accumulo di CO<sub>2</sub> per la respirazione cellulare, qualora gli scambi gassosi con l'atmosfera siano ostacolati.

Anche se ci sono molte incertezze sulla reale incidenza del fenomeno è ormai convinzione comune che il rallentamento funzionale degli alberi monumentali sia in larga parte attribuibile a regressioni della rizosfera.

#### 4.8 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 a un settore delle radici: in tal caso la pianta colpita non muore, difficilmente manifesta sintomi sulla chioma, ma può schiantarsi, se sollecitata dal vento, divenendo precario 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 dell'intera pianta. Nelle latifoglie la chioma ingiallisce, perdendo progressivamente densità o, talvolta, disseccando all'improvviso.

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.

Nel genere *Ganoderma* vi sono specie certamente tra le più subdole tra i patogeni fungini; queste sono in grado di comportarsi sia come agenti di carie, rimanendo per anni nel tronco della pianta

senza indurre la manifestazione di sintomi esteriori, sia come agente di marciume radicale, passando dal fusto alle radici. Il genere *Ganoderma* è dotato di elevata potenzialità diffusiva, essendo in grado di infettare molte specie, come dimostrano le sempre più frequenti forme di deperimento segnalate su “vecchi” esemplari di platano, pioppo, acero, quercia, ippocastano, tiglio, ecc.

#### 4.9 LA PERDITA DI FUNZIONALITA' DEI TESSUTI VASCOLARI

La principale causa della perdita di funzionalità degli elementi vascolari è l'embolia gassosa, favorita dalla depressione che si viene a creare durante la traspirazione, quando l'acqua di traspirazione ha una pressione inferiore a quella atmosferica.

L'embolia degli elementi conduttori segna l'inizio della “senescenza” del legno. Alcune cause d'embolia possono essere la grave siccità, oppure ferite e infezioni da microrganismi. Durante il periodo di riposo invernale, quando la temperatura scende di almeno 1-2 gradi sotto lo zero, la soluzione negli elementi conduttori può gelare, aumentando di volume e producendo bolle gassose. Al disgelo molti elementi conduttori rimangono così embolizzati. L'evidenza sperimentale condotta indica che quanto è più piccolo il volume interno dell'elemento conduttore tanto più facile è la reversibilità dell'embolo al disgelo; per questo le tracheidi e i vasi autunnali sono meno soggetti a embolismo invernale rispetto ai vasi primaverili.

L'embolia da disgelo degli elementi vascolari è il motivo per cui in molte angiosperme arboree lo sviluppo delle foglie deve essere preceduto dalla generazione di nuovo cambio e di nuovo xilema funzionale. Si ritiene che i vasi primaverili perdano per primi la funzionalità, addirittura già al termine del primo anno, mentre i vasi autunnali e le tracheidi trasportano linfa ancora per qualche anno.

L'inizio del marcato incremento centripeto del contenuto d'aria del legno è tanto più anticipato quanto maggiore è la conduzione di acqua è affidata esclusivamente ai grossi vasi primaverili. Gli elementi embolizzati vengono isolati da quelli ancora sani attraverso vari meccanismi. Nelle conifere, ad esempio, attraverso l'aspirazione delle punteggiature e poi con il ritorno in posizione normale del toro e la sua saldatura ai bordi della cavità con sostanze che incrostanto la membrana. Nelle dicotiledoni gli elementi embolizzati sono chiusi con tulle e/o con versamenti di gomme. La formazione di tulle è possibile solo attraverso punteggiature di almeno dieci micron di diametro, che di regola segue e non precede l'embolia degli elementi conduttori.

Alla nostra latitudine, la comparsa di tulle entro vasi primaverili è osservabile già in ottobre, per completarsi in dicembre; i vasi autunnali, invece, rimangono funzionali per parecchi anni. I versamenti occlusivi di gomme possono essere fatti da cellule parenchimatiche peritracheali, attraverso le punteggiature. Alternativamente a questi meccanismi in certe piante l'occlusione è realizzata mediante suberificazione e /o lignificazione delle punteggiature.

(McCulloh K. A., Sperry J. S., 2005 - Pattern in hydraulic architecture and their implication for transport efficiency. *Tree Physiology*, 25: 257-267)

Tutti questi fenomeni occlusivi si evidenziano a partire dalla zona di transizione tra alburno e duramen; di conseguenza il duramen ha una capacità di trasportare acqua di gran lunga inferiore a quella dell'alburno.

La formazione del duramen, conseguenza della perdita di funzionalità

dello xilema secondario, è contraddistinta da un calo di tutti quei parametri che sono usati come marcatori dei processi vitali cellulari (es. la respirazione) e da trasformazioni degenerative delle cellule parenchimatiche, radiali e assiali, con comparsa di depositi di olii, resine, gomme, tannini e sali minerali.

Queste sostanze possono impregnare le pareti, riempire i lumi cellulari, gli spazi intercellulari o le tille già versate negli elementi vascolari. La loro deposizione può implicare o meno, a seconda della specie di appartenenza, un trasporto attivo centripeto attraverso i raggi midollari. La colorazione scura del duramen è di regola effetto della deposizione di lignina e di polifenoli.

#### 4.10 MECCANISMI DI DIFESA ANTIMICROBICA NEL TESSUTO SECONDARIO

Nelle piante legnose, passando alla struttura secondaria si assiste a un successivo notevole sviluppo dei tessuti secondari. Lo xilema secondario costituisce il legno, mentre floema, corteccia e peridermi formano la zona corticale, a protezione della parte interna. Infatti, oltre alle pareti suberificate che agiscono da barriere strutturali all'infezione, sono presenti sostanze a basso peso molecolare con proprietà antimicrobiche, tollerate solo da alcuni funghi.

La riparazione del periderma in corrispondenza del sito danneggiato, che viene isolato dal resto della pianta mediante una barriera suberificata duratura, è una comune risposta di difesa nei confronti di ferite ed infezioni microbiche, a livello dei tessuti corticali e floematici.

Nella corteccia e nel legno i meccanismi di difesa spesso devono rimanere efficaci per parecchi anni; a tal fine le difese strutturali sono più durature degli inibitori chimici, spesso facilmente diffusibili o chimicamente labili. In molte specie legnose la suberificazione dei tessuti xilematici, indotta da infezioni o ferite, riveste un ruolo importante nella difesa dell'ospite. Inoltre, considerando che la suberina è un etero polimero (alifatico e aromatico) completamente diverso dalle altre componenti della parete cellulare, è verosimile che la maggior parte dei funghi lignicoli sia sprovvista di mezzi adeguati per neutralizzarla. Infatti, finora solo in *Armillaria mellea* è stata evidenziata la capacità di degradare tale polimero (Zimmermann & Seemuller, 1984). Nelle piante la suberina costituisce una barriera di impermeabilità associata soprattutto alle ferite. Nell'alburno, la suberificazione può quindi limitare l'entità del danno al trasporto xilematico causato dalla colonizzazione microbica. Naturalmente altri meccanismi di difesa di tipo chimico sono di estrema importanza nelle prime fasi delle infezioni.

## 4.11 MECCANISMI CHIMICI DI DIFESA

### 4.11.1 Le difese chimiche passive

Comprendono una serie variamente diversificata di metaboliti secondari, assieme a composti di natura proteica avente attività biocida.

Le piante in mancanza di un sistema immunitario hanno esaltato, nel corso della loro evoluzione, il metabolismo secondario, con la sintesi di innumerevoli composti di difesa, come gli isoprenoidi. Alcuni tra questi composti sono prodotti già in forma biologicamente attiva; altri in forma di precursori inattivi, attivati da enzimi come le glicosidasi. La localizzazione di questi composti è spesso specifica; tuttavia è stato osservato che sono concentrati negli strati cellulari più esterni dei vari organi della pianta; in tale modo riescono ad interferire più facilmente con i vari patogeni.

I composti chimici preformati dotati di attività antifungina maggiormente studiati (escludendo le proteine da difesa) sono le saponine, i glucosidi cianogenetici, i glucosinolati, i polifenoli e i felpropanoidi. (Rosenthal G. A. - The chemical defense of higher plants; D. CARTWRIGHT \*, P. LANGCAKE \*, RJ PRYCE \*, DP LEWORTHY \* & JP RIDE - 1977 - Chemical activation of host defence mechanisms as a basis for crop protection).

### 4.11.2 Le difese attive o inducibili

Al riconoscimento del patogeno fa seguito una cascata di eventi a livello cellulare e biochimico, che induce la trascrizione di geni codificanti per "proteine da difesa". Queste proteine, definite "pathogenesis-related" (PR), sono state per la prima volta isolate nel tabacco infettato con virus TMV, e successivamente anche da altre piante sottoposte a vari tipi di stress. Le proteine PR sono state recentemente suddivise in diciassette famiglie sulla base della loro sequenza primaria, delle relazioni sierologiche e sulla base dell'attività enzimatica o biologica. Alcune di queste, in particolar modo quelle appartenenti alla famiglia PR-4, hanno ancora una funzione sconosciuta; altre sono dotate di un'attività enzimatica; altre ancora esercitano una azione di permeabilizzazione della membrana plasmatica. In generale, tutte mostrano comunque una più o meno spiccata attività antifungina nei confronti di numerosi fitopatogeni.

Le proteine PR sono principalmente indotte durante la risposta sistemica acquisita (SAR) e compaiono in tessuti della pianta distanti rispetto a quello infettato. In effetti, rispetto alle alterazioni caratteristiche che avvengono nell'ospite successivamente all'incontro con il patogeno, quello della trascrizione dei geni che codificano le proteine PR è un evento piuttosto ritardato. Questo, in un primo tempo, ha lo scopo di ridurre la grandezza ed il numero delle lesioni generate al sito di infezione, che determina la risposta ipersensibile (HR) e, in generale, blocca la diffusione del patogeno negli altri tessuti della pianta. L'espressione di queste proteine viene indotta da una serie di elicitivi che possono, ad esempio, originarsi dalla parete cellulare del patogeno e che includono frammenti di chitina e di glucano, peptidi e glicoproteine extracellulari secrete da alcune specie di funghi, oligosaccaridi e proteine di origine batterica. Oltre a questi, si è però

visto che anche sostanze prodotte dall'ospite, che servono come segnali secondari per attivare le difese della pianta, possono indurre l'espressione dei geni per le proteine PR. Tra queste ritroviamo, ad esempio, specie reattive all'ossigeno (ROS\*), acido salicilico (SA), etilene e giasmonato. Le proteine PR acide vengono principalmente espresse in risposta al rilascio di SA, mentre i geni che codificano per quelle basiche vengono trascritti in risposta alla produzione di etilene e giasmonato. Questi elicitori si pensa svolgano la loro azione interagendo con delle sequenze regolatorie che sono state identificate a livello del promotore di alcuni geni per le proteine PR.

Tra tutte le famiglie descritte la PR4 è tra le meno caratterizzate. Essa è costituita da proteine con una massa molecolare compresa tra i 13 kDa (classe I) ed i 20 kDa (classe II), caratterizzate da una spiccata attività antifungina nei confronti di numerosi funghi patogeni.

Le proteine appartenenti alla prima classe, sono caratterizzate da un dominio NH<sub>2</sub>-terminale ricco di cisteina di circa 5 kDa simile all'eveina, una piccola proteina antifungina che lega la chitina, e da un dominio C-terminale di circa 13 kDa. Anche se il meccanismo d'azione di tali proteine non è stato ancora completamente chiarito si è ipotizzato che le proteine PR4 di classe I, possedendo il dominio N-terminale eveina-simile, potrebbero legare la chitina in via di formazione sulla parete cellulare fungina, alterando la polarità cellulare e, di conseguenza, anche la crescita del fungo.

La seconda classe della famiglia PR4, invece, è contraddistinta da proteine prive del dominio N-terminale eveina-simile e caratterizzate esclusivamente dal dominio C-terminale di 13 kDa; di queste, ne sono state isolate alcune isoforme sia da dicotiledoni che da monocotiledoni.

\*ROS (*Reating Oxygen System*): le specie reattive all'ossigeno sono composti contenenti ossigeno altamente reattivo; questi danno origine a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (perossido di idrogeno) il quale esercita negli spazi intercellulari dei tessuti un'azione tossica nei confronti dei patogeni e svolge un ruolo di segnale per l'attivazione di geni di difesa.

(Saboki Ebrahim, K.Usha and Bhupinder Singh, 2012 - Pathogenesis Related (PR) Proteins in Plant Defense Mechanism; Labriola M., Rao R., 2004 - Biotecnologie per la difesa delle colture dagli insetti fitofagi).

## 4.12 LA RESISTENZA INDOTTA

L'induzione di resistenza è il fenomeno per cui la pianta acquisisce una sorta di immunità nei confronti di patogeni virulenti; essa può instaurarsi in seguito al contatto con un patogeno incompatibile, e quindi ad HR, o mediante trattamento con composti chimici.

### 4.12.1 La resistenza sistemica acquisita (SAR)

Gli aspetti di base e applicativi della resistenza indotta nelle piante, fenomeno descritto per la prima volta all'inizio del XX secolo, sono stati ampiamente studiati negli ultimi trent'anni. Due sono le forme di resistenza indotta: *systemic acquired resistance* (SAR) e *induced systemic resistance* (ISR), descritte come distinti fenomeni, sulla base degli induttori che le generano e delle vie metaboliche ad esse associate (*Walterse Heil, 2007*).

La SAR indotta biologicamente nelle piante si sviluppa in presenza di morte cellulare localizzata, principalmente quella causata da patogeni che inducono reazione di ipersensibilità.

Questa resistenza segue una via metabolica dipendente dall'acido salicilico ed è associata all'espressione di geni per le proteine della patogenesi (PR).

L'ISR è indotta invece da alcuni rizobatteri in grado di promuovere lo sviluppo delle piante; si manifesta attraverso l'attivazione di una via metabolica dipendente da etilene e acido jasmonico; essa non è associata all'espressione di geni PR.

SAR e ISR hanno un ampio spettro d'azione che si esplica nei confronti di virus, batteri, fitoplasmi, oomiceti, funghi e stress abiotici.

Mediante indagini genetiche e molecolari è stato possibile:

- chiarire molti aspetti delle vie di trasduzione di segnale che conducono all'espressione della resistenza indotta, soprattutto nella pianta modello *Arabidopsis thaliana*;
- ipotizzare alcuni meccanismi responsabili della resistenza.

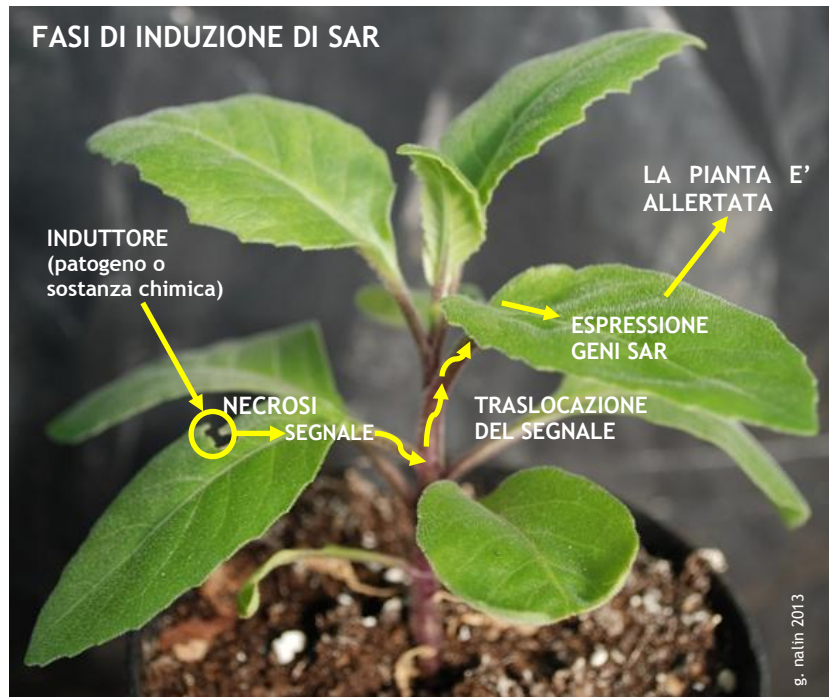
I risultati di tali ricerche hanno condotto tra l'altro alla scoperta di diversi induttori chimici di SAR (Schreiber e Desveaux, 2008), tra i quali l'acibenzolar-S-metile, un analogo funzionale dell'acido salicilico che risulta essere più efficace nella difesa delle malattie delle piante (Scarponi et al., 2000, Buonauro et al., 2002; Iriti e Faoro, 2003; Leadbeater e Staub, 2007; Faoro et al., 2008).

Nonostante l'intensa attività di ricerca di questi ultimi anni, molti aspetti della resistenza indotta rimangono ancora da chiarire. La ricerca di base, genomica, trascrittomica e soprattutto proteomica e metabolomica, potrà stabilire tra l'altro la natura del o dei segnale/i di lunga distanza che assicurano le proprietà sistemiche della resistenza, e fornire ulteriori informazioni sulle complesse intercomunicazioni esistenti tra le vie metaboliche della SAR e della ISR (Pieterse e Van Loon, 2007), un punto assai utile per sfruttare entrambi i tipi di resistenza, che come noto hanno in *Arabidopsis* spettri d'azione diversi. La ricerca applicativa, attraverso lo studio degli effetti di fattori climatici, edafici e delle pratiche colturali sull'espressione della resistenza potrà, ad esempio, permettere di spiegare la variabile efficacia degli induttori chimici di SAR osservata in pieno campo, un aspetto che rappresenta uno dei principali ostacoli allo sfruttamento nella pratica della resistenza indotta.

#### 4.12.2 La resistenza locale acquisita (LAR)

La resistenza sistemica acquisita (SAR) si manifesta verso un ampio spettro di patogeni, di natura fungina batterica e virale, ed è indotta da lesioni ad esito necrotico, comunque prodotte; ma più spesso di HR/SAR si manifesta dopo intervalli di tempo variabili ma relativamente ampi (1 e 2 giorni) anche in organi distali rispetto a quelli in cui è avvenuto il contatto con l'induttore. In questi ultimi si parla di resistenza locale acquisita (LAR).

Quando i tessuti della pianta sono danneggiati da ferite meccaniche, insetti, ecc., nelle cellule vicine alla ferita vengono attivati i geni di difesa. Questi codificano inibitori delle proteasi che rendono la pianta “indigesta” all’insetto e a erbivori.



Poiché la SAR rientra nella normale risposta di difesa dei binomi incompatibili, essa può essere artificialmente indotta mediante una preinoculazione con patogeni necrogeni, oppure usando degli induttori chimici di resistenza (alla stregua di un vaccino). Questi sono dei composti sintetici in grado di attivare le difese inducibili della pianta, comportandosi come elicitori. Tra i più noti, data l’alta efficacia, è il benzotidiazolo (BTH).

La resistenza indotta, nella sua accezione di SAR, può essere elicitata mediante il trattamento a base di composti, sia naturali che di sintesi, i quali al pari degli elicitori, stimolino la risposta di difesa della pianta.

I più importanti induttori di resistenza sono il benzotidiazolo (BTH), l’acido B-aminobutirrico (BABA) ed il chitosano.

Il BTH è un analogo funzionale di SA e pertanto come quest’ultimo, è in grado di attivare i meccanismi di resistenza legati a SAR.

Tuttavia, mentre il trattamento per via esogena di SA determina citotossicità ed induce una resistenza locale, BTH al contrario è ben tollerato dalle piante alle comuni dosi di impiego, attivando una difesa di tipo sistemico.

Inoltre è immediatamente metabolizzato e quindi non lascia residui ed ha impatto ambientale molto basso se non nullo.

BTH al pari e più efficacemente di SA, funge da attivatore di SAR, così come dimostrato dall'espressione di geni di PR ed è in grado di indurre SAR anche in piante che non accumulano SA senza che venga indotta morte cellulare.

Anche l'aminoacido non proteico BABA si è dimostrato efficace nei confronti di patogeni batterici, virali e fungini, e sembra inoltre avere efficacia curativa. Tuttavia l'intervallo di concentrazione tra la dose efficace e la soglia di citotossicità non è molto ampio. Sul suo meccanismo d'azione, ancora non completamente chiarito, sembra ci possa essere anche una risposta non solo legata all'ospite ma dall'interazione pianta-patogeno. Pertanto in alcuni casi, esso induce una resistenza mediata da SA con sintesi di PR, mentre in altre sembra agire indipendentemente da SA, JA o dall'etilene.

Il chitosano è un polimero naturale della de-acetilazione della chitina, il principale costituente della parete cellulare dei funghi; alcune specie fungine possiedono delle deacetilasi per compiere tale trasformazione, incorporando nei loro rivestimenti esterni una certa quantità di chitosano, al fine di eludere l'azione delle chitinasi.

Molteplici sono le malattie verso le quali il chitosano si è dimostrato efficace, il suo meccanismo di azione è mediato da una reazione di ipersensibilità HR con la conseguente sintesi di proteine di PR, di fitoalessine, di ribonucleasi e l'induzione finale di LAR e di SAR e stimolando la via del Jasmonato.

(CIAN F., 2009 - Resistenza delle piante agli insetti - [www.entom.unibo.it](http://www.entom.unibo.it) -).

#### **4.13 MECCANISMI DI RESISTENZA DELLE PIANTE ARBOREE A PATOGENI E INSETTI**

Per lungo tempo, e a tutt'oggi in molti casi, il principio di base per incrementare le difese naturali delle piante è stato quello di favorire il cosiddetto 'vigore', una misura piuttosto soggettiva del 'benessere' della pianta, quasi sempre equiparato all'aspetto e alle condizioni della chioma.

Non c'è dubbio che una certa visione antropocentrica sia una componente significativa di questo approccio. Per esempio, una delle raccomandazioni più comuni per aumentare la resistenza delle piante arboree, particolarmente in ambienti più controllati come quello urbano, è quella di fertilizzare le piante per renderle più resistenti. In realtà, vigore e resistenza sono condizioni spesso antitetiche o disgiunte.

##### **4.13.1 L'evidenza**

Nel caso degli insetti nocivi, una sintesi fornita da Koricheva et al., (1998) illustra questo punto molto bene. Secondo la cosiddetta "*plant stress hypothesis*" (PSH), le piante soggette a condizioni di stress sono più suscettibili ad attacchi d'insetti in quanto i tessuti diventano più nutritivi o le concentrazioni di fenoli si abbassano; tale ipotesi è diventata quasi paradigmatica, mentre nella realtà gran parte dell'evidenza a supporto della PSH è alquanto circostanziale.

La meta-analisi di settanta studi diversi dimostra che, in generale, non c'è relazione fra stress abiotico (idrico, da carenza di nutrienti, o inquinamento atmosferico) e tasso di crescita, fecondità, sopravvivenza o densità di colonizzazione di insetti nocivi appartenenti a diverse categorie funzionali: fitomizi, minatori, galligeni, defogliatori e xilofagi.

Gli autori hanno inoltre rilevato una grande variabilità nei risultati, associata soprattutto alle diverse categorie.

In termini di prestazioni, la meta-analisi dimostra che, in generale, gli insetti xilofagi e i fitomizi sono favoriti su piante stressate, mentre i defogliatori e gli insetti galligeni sono sfavoriti. In definitiva, lo studio conferma le ipotesi di Larsson (1989), secondo cui, in termini di prestazioni su piante stressate, le diverse categorie possono essere classificate come favorite da condizioni di stress dell'ospite come segue: xilofagi > fitomizi > minatori > defogliatori > galligeni. In situazioni sperimentali in cui più di due livelli di stress (piante stressate/non stressate) sono stati usati, è stato notato che spesso le prestazioni degli insetti aumentano con lo stress fino ad un livello soglia, per poi diminuire.

Ovviamente la situazione è complicata ulteriormente da interazioni fra l'ambiente, il genotipo della pianta ospite, e il background genetico della particolare popolazione dell'insetto.

In ogni caso, fra i defogliatori, un risultato molto interessante della meta-analisi è che questi insetti sembrano più favoriti dallo stress su piante a crescita rapida che non su piante a crescita lenta.

Anche questo risultato appare quindi in contrapposizione con il paradigma vigore = resistenza.

È comunque ovvio che per prevedere le risposte degli insetti a varie situazioni di stress, sia fondamentale capire quali siano le risposte fisiologiche della pianta alle varie situazioni di stress. Tra le cause di stress più comuni e importanti vi sono quello idrico e quello nutrizionale; quest'ultimo è spesso dovuto a carenze di azoto, l'elemento meno disponibile e più limitante alla crescita vegetale in ambienti più o meno naturali. Studi sugli effetti della disponibilità di azoto sono principalmente, e per necessità, incentrati su piante arboree in ambienti controllati, come ad esempio quello urbano.

Varie ipotesi hanno cercato di modellare la risposta della pianta alla disponibilità variabile di azoto. Praticamente tutte evidenziano una compensazione fra condizioni che favoriscono la crescita della pianta (per esempio alta fertilità azotata) e accumulo di sostanze di difesa contro insetti e patogeni (principalmente metaboliti secondari).

Fra le varie ipotesi con maggior credito, forse la più matura (Stamp, 2003) è la "growth-differentiation balance hypothesis" (GDBH), ovvero: ipotesi del bilancio crescita-differenziamento (Herms e Mattson, 1992).

In situazioni in cui il tasso netto di assimilazione (fotosintesi) ha raggiunto livelli stabili (di saturazione) la GDBH prevede una compensazione fra carbonio usato per il metabolismo primario (fondamentalmente, tasso di crescita relativa) e quello usato per il metabolismo secondario costitutivo. In effetti, Herms (2002) ha dimostrato che in quasi tutti i casi in cui è stata studiata, la

fertilizzazione azotata, pur rendendo gli alberi più vigorosi, non ha sortito effetto sulla resistenza, oppure gli alberi sono divenuti più suscettibili agli insetti nocivi.

Questo è vero anche per grandi esperimenti di fertilizzazione in bosco, che comunque in generale non sono attendibili perché caratterizzati da mancanza di replicazione a fini statistici.

Casi in cui la maggior vigoria di piante conduce a maggior suscettibilità a insetti sono stati documentati anche in situazioni di gradienti naturali di fertilità del suolo.

Recentemente è stato dimostrato un effetto in questa direzione anche nel caso dell'interazione fra *Pinus resinosa* e *Diplodia pinea*, agente di disseccamenti comune anche in Italia (Blodgett et al., 2005).

Resta comunque vero che, in generale, conifere in condizioni di stress moderato, anche nutrizionale, sono di solito più suscettibili ad insetti floematici come gli scolitidi.

Uno dei fatti più interessanti, venuti alla luce in studi recentemente condotti, evidenzia che l'eccessiva fertilità del suolo può portare anche a scompensi a livello di colonizzazione da parte di microrganismi benefici come i funghi micorrizici. Finora si era pensato che un eccesso di azoto o fosforo fosse direttamente inibitorio per questi funghi associati così intimamente al suolo; ma è senz'altro possibile che la depressione della colonizzazione micorrizica di piante soggette ad eccessiva fertilità sia dovuta anche a complessi meccanismi di feedback positivo attuati attraverso effetti incrociati a livello di metabolismo secondario. Kleczewski, Herms, e Bonello (non pubblicato) hanno infatti documentato, su *Betula papyrifera*, effetti della fertilità eccessiva a livello di apparato radicale che sono praticamente opposti a quelli evidenziati più sopra per la parte epigea della pianta.

Se, infatti, il metabolismo secondario a livello di foglie e floema secondario del fusto e dei rami tende a essere soppresso in condizioni di elevata fertilità (in correlazione negativa con i tassi di crescita del fusto e della chioma), a livello di radici primarie e secondarie la situazione è invertita, con ridotti tassi di crescita/espansione dell'apparato radicale, associati a maggiori livelli di metaboliti secondari (particolarmente lignine) e a una riduzione della colonizzazione micorrizica.

Come se non bastasse, la situazione si complica ulteriormente quando le piante sono contemporaneamente interessate da organismi diversi, per esempio un patogeno radicale e uno scolitide (una situazione comunissima nei soprassuoli forestali). Indipendentemente dalla comunità biotica nel suo complesso, la mera presenza di un patogeno può rendere una pianta più o meno suscettibile ad un insetto (e viceversa), a seconda di molti fattori, alcuni ambientali (tipo quelli esposti qui sopra), altri biotici.

Nel secondo caso, è sempre più chiaro che fenotipi attenenti a fenomeni di resistenza (o suscettibilità) sistemica indotta possono essere molto importanti nella definizione della resistenza di un albero. Studi hanno dimostrato, per esempio, che piante mature di *Pinus ponderosa*, inoculate in bosco con *Heterobasidion annosum* (agente di marciume radicale), diventano più resistenti all'attività trofica del coleottero scolitide *Ips paraconfusus* (McNee et al., 2003). Similmente, piante di pino di Monterey (*Pinus radiata*) inoculate in campo con *Fusarium*

*circinatum* (agente del cancro resinoso dei pini) diventano più resistenti ad inoculazioni successive con lo stesso patogeno (Bonello et al., 2001).

In entrambi i casi il fenomeno descritto viene definito come resistenza sistemica indotta (*systemic induced resistance* o SIR). Più recentemente abbiamo dimostrato che l'ospite, in questo caso il pino nero, è in grado di mediare interazioni fra un patogeno come *Diplodia pinea* e un insetto defogliatore come *Neodiprion sertifer* (comune in Italia). In particolare, inoculazioni con il patogeno possono rendere l'ospite ancora una volta più resistente a successivi attacchi, sia da parte dello stesso patogeno, sia dell'insetto, e viceversa (Eyles et al., 2007). Tali fenomeni di SIR sono stati dimostrati ripetutamente nel sistema *P. nigra* - *D. pinea*, a patto che l'induzione venga praticata nel floema secondario del fusto o di un ramo, e l'inoculazione successiva avvenga pure in un'area diversa del fusto o un ramo (Blodgett et al., 2007; Eyles et al., 2007).

In tutti questi casi, se si ritiene che l'inoculazione iniziale (l'induzione) sia un caso di stress biotico; allora nuovamente la contrapposizione fra vigore e resistenza appare lampante. D'altro canto però, abbiamo documentato casi in cui un'induzione da patogeno sul fusto stimola la suscettibilità sistemica indotta (*systemic induced susceptibility* - SIS) sui getti, sia allo stesso patogeno (Blodgett et al., 2007) sia a patogeni diversi, come nel caso di *H. annosum* - *P. nigra* - *D. pinea* (Bonello et al., 2008). Questi fenomeni hanno quasi sicuramente un significato ecologico, perché appare possibile che alberi interessati da stress biotico possano risultare più, e non meno, resistenti ad attacchi successivi. Tutto ciò sembra indicare che le piante esposte al patogeno diventino nel tempo più resistenti al patogeno stesso. Questo sembra un esempio convincente dell'espressione del fenomeno di SIR in bosco. Recentemente, tutti questi concetti sono stati usati per la formulazione della cosiddetta ipotesi SIR (Bonello et al., 2006).

#### 4.14 EFFETTI DELLA RESISTENZA INDOTTA SULLA FITNESS DELLA PIANTA

Un aspetto non trascurabile, correlato all'attivazione e all'induzione di SAR, riguarda il costo energetico che la pianta deve sostenere, e che potrebbe gravare sul suo stesso adattamento.

Di fatto, i vari meccanismi di resistenza indotti in seguito all'elicitazione, sia essa legata al riconoscimento di geni del patogeno che all'impiego di elicitori sintetici come il BTH, impongono all'organismo vegetale il dirottamento di parte delle proprie risorse genetiche verso quelle vie metaboliche secondarie responsabili della sintesi dei composti di difesa, quali le fitoalesine, la lignina ed altre sostanze impregnanti la parete della cellula, della sintesi proteica delle proteine da patogenesi PR. A questo bisogna aggiungere gli effetti auto-tossici; il tutto però deve essere valutato dalla compensazione della riduzione del danno da parte del patogeno.

In genere è stato osservato che l'influenza dell'induttore sulla fitness è legato a fattori delle singole specie, ma soprattutto dalle condizioni di equilibrio; in definitiva, dallo stato di salute come espressione di stato energetico ottimale.

In conclusione, è di fondamentale importanza capire che ogni singolo meccanismo di difesa non può da solo essere responsabile della resistenza a un determinato patogeno, anche nel caso in cui

determinati geni della pianta e del patogeno siano coinvolti in una resistenza di tipo gene per gene (*Ellingboe, 1981; Dixon&Lamb 1990 Gabriel&Rolfe, 1990; Minardi, 1995*).

Negli alberi la resistenza alle malattie deve essere piuttosto considerata come il risultato di diversi meccanismi di difesa operanti in modo complementare, e tra questi bisogna aggiungere quelli passivi operanti prima dell'infezione.

Diverse risposte di difesa vengono attivate dopo l'infezione, e la sequenza temporale con cui coinvolgono il sito di infezione è determinante per la resistenza alla malattia.

Valga, poi in proposito, quanto già riportato nel paragrafo 5.3, relativo all'accrescimento diametrico del fusto e le relative implicazioni, che potremmo sintetizzare come di seguito.

Durante i primi anni della sua vita le piante arboree concentrano ogni sforzo nel conquistare spazio disponibile all'accrescimento della parte epigea e di quella ipogea, in relazione alle caratteristiche tipiche della specie e delle condizioni ambientali (*Raimbault, 1995*). Durante le fasi definite formative e di esplorazione, gli incrementi radiali del fusto aumentano, in relazione all'incremento dell'attività fotosintetica (*White, 1998*). Tale capacità decresce quando l'albero raggiunge la maturità, fino a cessare con la successiva fase di senescenza.

A maturità raggiunta, la pianta tende a produrre sempre la stessa quantità di fotosintetati ogni anno (pur con fluttuazioni legate alla pressione degli agenti abiotici e biotici), che procurano accrescimenti diametrici via via decrescenti, man mano che aumenta la circonferenza del fusto. Questa situazione potrebbe protrarsi per lungo tempo. In realtà si assiste a diminuzioni degli incrementi fino ad avere ripercussioni sui tessuti conduttivi e di riserva, con conseguenze sulla capacità di sostenere l'apparato epigeo. Ciò è causa di regressione, per l'insufficiente energia disponibile per la crescita ed il consolidamento meccanico della struttura legnosa.

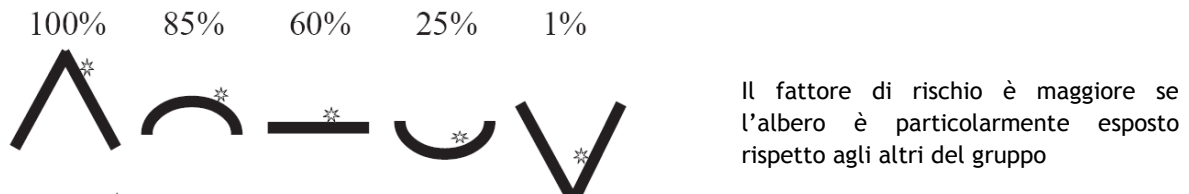
Un albero in questa fase mostra evidenti sintomi di regressione della corona che portano a perdite di tessuti vascolarmente funzionali nell'alburno e processi regressivi che si estendono a tutta la pianta, compresa la porzione ipogea. Tuttavia, la pianta attorno alle strutture funzionali può ristabilire un nuovo equilibrio, e questo "ridimensionamento" può essere visto come una forma di sopravvivenza.

## 4.15 I FULMINI

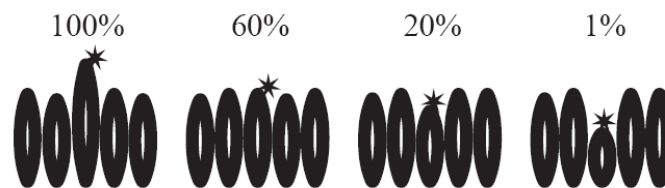
(Disegni e contenuti desunti da: *Statica delle strutture arboree - pratiche colturali*, di Luigi Sani - seminario all'Università di Padova 2012).

Le piante arboree sono elementi verticali che spesso emergono rispetto agli altri elementi del paesaggio. Gli alberi monumentali, in virtù della loro mole, sono oltremodo esposti al rischio costituito dai fulmini. Oltre all'altezza, si è visto che tale rischio varia secondo diversi fattori.

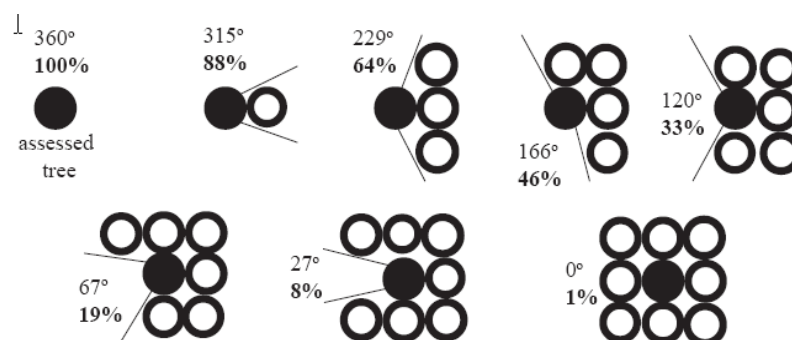
### Fattore di rischio 1: posizione topografica dell'albero



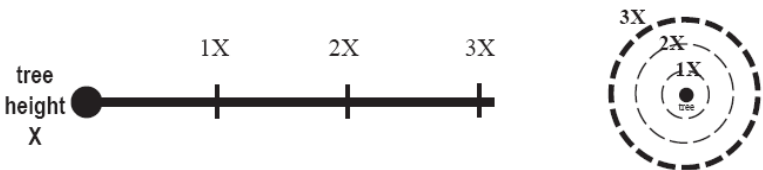
**Fattore di rischio 2:** altezza relativa della chioma dell'albero rispetto ai vicini; quanto più la chioma della pianta emerge rispetto alle chiome delle piante vicine tanto maggiore è il rischio.



**Fattore di rischio 3:** esposizione dell'albero (cerchio nero) rispetto ai vicini (cerchi vuoti).



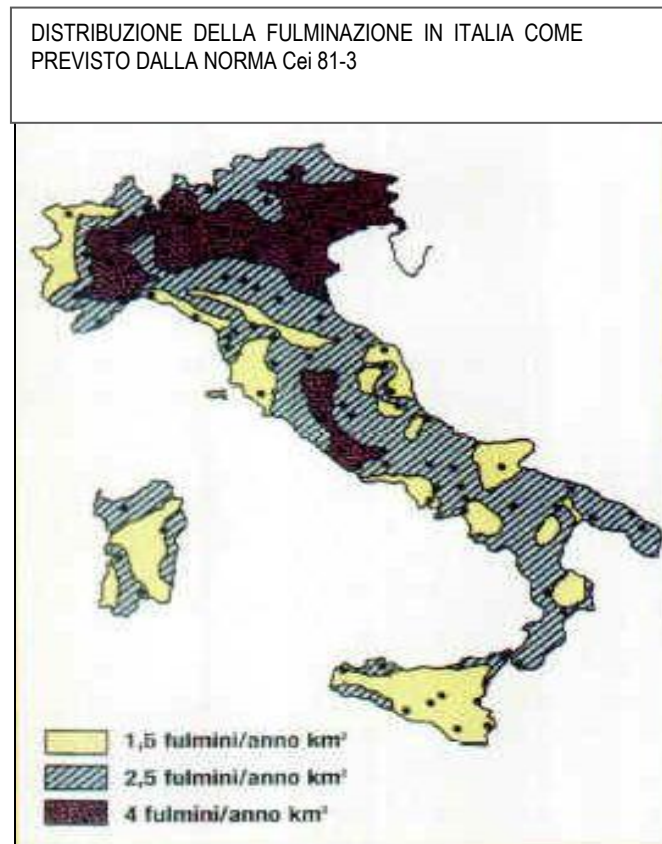
**Fattore di rischio 4:** altezza dell'albero rispetto alle strutture vicine, nell'ambito di uno spazio pari a tre volte l'altezza della pianta (maggiore è l'altezza dell'albero rispetto a quella delle strutture vicine e maggiore è la probabilità che un fulmine lo colpisca).

 <p>tree height X</p> <p>1X 2X 3X</p> <p>Altezza della più alta struttura /albero rispetto all'albero in esame nell'intorno</p>	Valore % attribuito
2.5 volte più alto	2
2.0 volte più alto	10
1.5 volte più alto	25
1.25 volte più alto	55
Stessa altezza	80
Più basso	100

**Fattore di rischio 5:** determinare la vicinanza di possibili obiettivi sensibili. Quando un fulmine colpisce un albero, possono verificarsi danni collaterali, per cui maggiore è la vicinanza a luoghi frequentati o a proprietà di valore, maggiore è la probabilità che il danno subito dall'albero si ripercuota su persone o cose di valore, e quindi maggiore è la necessità di proteggere l'albero.

Posizione dell'albero rispetto al target	Valore di riferimento %
tree as tall or taller, and touching	100
overhanging (target beneath crown)	95
within 1/2 tree height	90
within 1 tree height	8
within 2 tree heights	60
within 3 tree heights	25
beyond 3 tree heights	1

**Fattore di rischio 6:** determinare la probabilità annuale di accadimento dei fulmini della zona in cui l'albero vegeta.



Se l'albero è a rischio e il suo aspetto lo merita, sarebbe ragionevole proporre l'installazione di un parafulmine.

#### 4.15.1 Conseguenze dei fulmini sulla pianta arborea

Da quanto visto finora appare giustificato il fatto che non siano infrequenti i casi in cui fulmini colpiscono esemplari arborei monumentali. In effetti, i fulmini sono causa di danno e morte di numerosissimi alberi ogni anno. Le conseguenze sono, purtroppo, altrettanto spesso serie e a volte fatali, anche se una parte delle piante non riporta danni evidenti. Lo stress a cui le piante colpite sono sottoposte a seguito di un fulmine può essere di varia intensità, e si traduce in un abbassamento delle difese nei confronti delle infezioni. I danni maggiori derivano dall'onda d'urto sonora irradiata dal percorso del fulmine; ulteriori danni derivano dal surriscaldamento dell'acqua e da esplosioni di vapore nei tessuti dell'albero e dalla distruzione elettrica delle cellule vive.

I danni provocati dai fulmini agli alberi variano secondo il tipo di fulmine e della specie arborea. Più frequenti sono le fenditure e le scortecciature in lunghe strisce; il passaggio del fulmine è comunque evidente sia sul "corpo" della pianta che sul terreno. Le crepe sul tronco si sviluppano longitudinalmente, a volte per tutta la lunghezza del fusto. Il fulmine spesso segue le fibre del legno. Non sempre, comunque, queste lesioni portano a morte la pianta. Molto più spesso muoiono i rami più esterni e giovani della pianta, su cui si accumula la corrente del fulmine, provocando scoppi sulla superficie della corteccia. Il punto nel percorso del fulmine in cui la corrente comincia

a uscire si trova di solito a circa l'80 % dell'altezza dell'albero; i rami posti al di sopra di questo punto, se interessati dal passaggio della corrente, subiranno la distruzione elettrica delle cellule, surriscaldamento e sfaldamento della struttura; ciò è causa di danno enorme se non di morte. Gli incendi non sono da noi tanto frequenti; soltanto un ridotto numero di fulmini possiede un carico di corrente adeguato a provocare un incendio. Molto più dannosa risulta l'onda d'urto derivante dal surriscaldamento dell'aria e che si scarica sull'albero, con effetti sul fusto e sulle branche. La forte compressione su corteccia e legno provoca lo strappo dei tessuti. Nelle parti centrali del fusto, nelle branche più vecchie e nodose, nelle cavità della pianta secolare le compartimentazioni interne concentrano la spinta meccanica generando una forza esplosiva. Frammenti di legno e scorza possono essere scagliati anche a decine di metri di distanza. I rami che vengono colpiti all'interno dal fulmine possono essere spezzati e danneggiati, con progressivo decadimento e successiva morte.

I **danni alle radici** possono essere gravi ma risultano di difficile diagnosi; il suolo attorno può mostrarsi esplosivo e scavato in linee rette. I rami collegati alle branche radicali danneggiate spesso muoiono. L'indebolimento dell'apparato radicale espone maggiormente la pianta all'azione del vento, rendendola più vulnerabile.

I danni indiretti non sono meno gravi. A seguito delle lesioni e dello stress a cui la pianta è sottoposta, trovano più facile gioco parassiti animali (insetti xilofagi, ecc.) e fungini, agenti di carie. Non sempre la pianta riesce a compartimentare tali infezioni, specie se interessano vaste aree. Le conseguenze sono il progressivo decadimento del legno per effetto delle comunità fungine che si avvicendano nel processo cariogeno.

#### **4.16 CONFLITTI FRA ALBERO E ATTIVITA' ANTROPICHE**

L'uomo e le attività umane costituiscono probabilmente le maggiori minacce per gli alberi, e in particolare (data la maggiore vulnerabilità e "l'ingombro") per gli esemplari monumentali.

Al di là dei danni indiretti, dovuti ad ambienti sempre più lontani da situazioni di naturalità e da condizioni favorevoli, danni diretti alle piante arboree sono frequenti e caratteristici, come ad esempio:

- Danni causati da macchine per la manutenzione dell'area verde (falciatrici, rasaerba, ecc.) sulle radici superficiali (lesioni, ferite, ecc.);
- Danni causati da urti alla base del fusto (da macchine, falciatrici, decespugliatori, escavatori, auto);
- Danni a seguito di escavazioni in prossimità della pianta (con lesioni, tagli, danneggiamenti alle radici);
- Danni da eccessi di irrigazione;
- Danni da sversamento di sostanze inquinanti (accidentali o volute);

- Danni da costipamento e compattamento del suolo (per transito occasionale o frequente di mezzi sul suolo interessato dalle radici);
- Danni da ricarico di terreno o a seguito della creazione di pavimentazioni sul suolo interessato dalle radici;
- Danni da limitazione dello spazio a disposizione della pianta (per costruzione di strutture, strade, marciapiedi, piste ciclabili, fognature, servizi tecnologici interrati, ecc.);
- Danni alla chioma dovuti al transito (occasionale o frequente) di mezzi ingombranti.

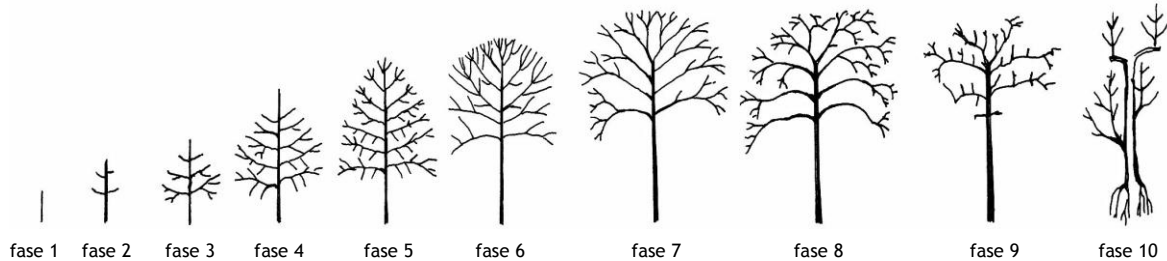
Oltre a questi vanno aggiunti, purtroppo, i danni derivanti da cattiva gestione del patrimonio arboreo, tra cui la potatura (quella errata) è tra le maggiori minacce.

Anche il taglio delle radici (*lopping*) è particolarmente pericoloso per la pianta; in base all'entità del taglio, dell'età e delle condizioni dell'albero, le conseguenze possono avere diverso impatto; in particolare il taglio delle radici interferisce con l'assorbimento di acqua e nutrienti, con la mobilitazione delle sostanze di riserva, vi è perdita di riserve energetiche ed incremento della instabilità; la pianta subisce inoltre uno squilibrio ormonale e la perdita dei simbionti radicali, esponendosi facilmente ad attacchi da patogeni fungini favoriti dalle ferite praticate. (Balder, 2008).

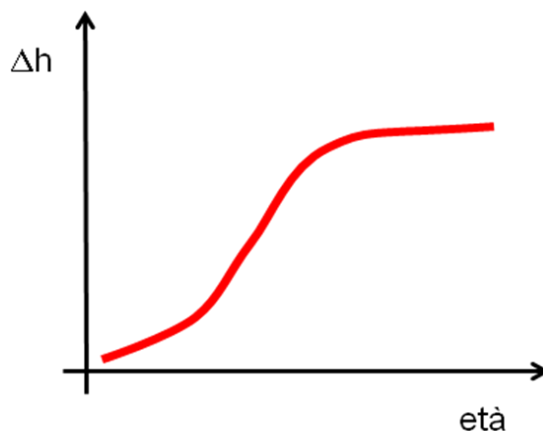


## 5 STADI EVOLUTIVI DEGLI ALBERI

### Fasi fisiologiche e morfologiche dello sviluppo della parte aerea dell'albero



Nella vita di una pianta arborea lo sviluppo della parte epigea può essere distinto nelle dieci fasi raffigurate nello schema. A loro volta, queste 10 fasi possono essere raggruppate: in un periodo giovanile (da fase 1 a fase 5), in cui la pianta incrementa sensibilmente la propria altezza e successivamente il volume, mantenendo una certa dominanza del fusto rispetto alle ramificazioni laterali; un periodo di “pienezza” e successiva maturità (fasi da 6 a 8), in cui termina progressivamente il controllo esercitato dal fusto sulle branche e la pianta va incontro ad incrementi dimensionali via via più contenuti; infine, vi è una fase regressiva (da 9 a 10), in cui la pianta, non più supportata da apporti energetici sufficienti, ridimensiona la propria struttura.



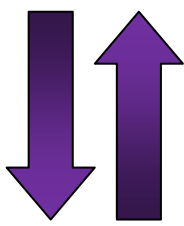


Accrescimento in altezza in funzione dell'età stagionale:

grazie alla dominanza apicale, nelle fasi giovanili la pianta si accresce in altezza, in modo da avvantaggiarsi sui potenziali competitori.

Il concetto di “senescenza” riferito a un albero è sicuramente improprio e di difficile definizione. Il rischio frequente è quello di paragonare la biologia dell'albero a quella animale, e umana in particolare, associandolo a quello equivalente alla nostra vecchiaia. In realtà, talune specie arboree possono considerarsi potenzialmente immortali. La longevità tipica di alcune di queste può in qualche modo fornire l'impressione che in assenza di gravi disturbi, esse possano vivere

all'infinito, in virtù della capacità di rinnovare, di stagione in stagione, la loro struttura vegetativa. Un albero, in definitiva, “costruisce ogni anno un albero nuovo sopra quello vecchio”. (Shigo A., 1989). La parte vitale e strettamente funzionale è dunque quella esterna. Emarginare le “vecchie” parti interne consente all'albero anche di limitare notevolmente i fabbisogni energetici. “Vecchi” alberi caratterizzati da ampie cavità al tronco ne sono di esempio: la parte che viene a mancare corrisponde a tessuti legnosi che da tempo hanno perduto la funzionalità. La compartimentazione consente alla parte vitale (spesso limitata al solo alburno) di sopravvivere e garantire una certa stabilità alla chioma.

Con il trascorrere delle stagioni vegetative l'albero deposita strati sopra strati di tessuti, incrementando le dimensioni. Ma non è solamente un aumento diametrico: tutta la pianta si accresce, estendendo la chioma e la parte ipogea. Tutto questo comporta dei vantaggi, ma anche delle conseguenze.

SVILUPPO DELLA PIANTA			
	crescita vegetativa	equilibrio vegetativo/ riproduttivo	insenilimento
CHIOMA			
RADICE			

Lo scambio dei fattori aerei e radicali varia nel corso della vita della pianta, ed è massimo nella giovanità, spiegando la forte capacità di espansione e di rinnovo in questo stadio (da Zucconi, 1996).

Aumentando le proprie dimensioni una pianta migliora la competizione nei confronti di altri soggetti arborei vicini, estendendo il proprio spazio vitale. Nei tessuti legnosi vengono stoccate grandi quantità di riserve energetiche, funzionali alle richieste “normali” della pianta, e ad eventuali necessità straordinarie, come nel caso di temporanee situazioni di stress.

Ma quali sono i benefici ed i costi per un albero dovuti all'aumento delle dimensioni? E poi, perché gli alberi muoiono?

A queste domande non è ancora possibile dare risposte certe (Midgley, 2003). Molte ricerche sono state condotte e si stanno conducendo a riguardo (Shigo A.L., 1986; Shigo A.L. 1989; Bond, 2000; Mencuccini et al. 2005; Korner, 2003; Korner, 2005). Alcuni studi hanno approfondito le relazioni tra età, dimensioni e aumento di biomassa a scala di popolamento; altre invece a scala di singolo individuo. È corretto però tenere ben separate le due scale di analisi, in quanto i processi coinvolti

sono diversi. A scala di popolamento, ad esempio, va considerata la competizione degli individui per le risorse, la dinamica di selezione tra gli alberi e la differenziazione nella posizione sociale.

Le valutazioni che oggi si possono fare a riguardo, in relazione al singolo individuo, debbono partire dalla considerazione che ogni albero può raggiungere una data altezza massima (caratteristica della specie e condizionata dall'ambiente). Ma quale sarà la ragione per cui, ad un certo punto, si assiste ad una riduzione dell'incremento in altezza e quindi ad una stabilizzazione dell'incremento di massa cormometrica nelle piante molto grandi (o molto "vecchie")?

Bond (2000) riporta che nelle piante annose rispetto a quelle giovani si osserva di frequente una diminuzione dell'assimilazione netta, e quindi della capacità della piante di produrre sostanza organica. Più recentemente Koch et al. (2004), osservando ciò che avviene sulle piante più alte del pianeta (sequoie "giganti"), hanno dimostrato che le foglie delle parti più alte della chioma rispetto a quelle poste in basso hanno assimilazione minore, e minore discriminazione del carbonio "pesante". Gli autori ritengono che queste due risposte siano essenzialmente da collegare alla difficoltà della pianta nel trasportare l'acqua contro il gradiente gravitazionale fino alla cima dell'albero. In altre parole, l'efficienza complessiva del sistema di trasporto dovrebbe avere un ruolo primario nel determinare la massima dimensione dei singoli individui. Peraltro, bisogna anche considerare che gli individui più alti sono di norma anche quelli più annosi, per cui potrebbe essere lecito chiedersi se i bassi tassi di assimilazione delle piante grandi siano in qualche modo collegati a processi di "senescenza" meristemica (ossia dipendenti intrinsecamente all'età dell'individuo); oppure siano determinati da fattori estrinseci (come ad esempio una limitazione idraulica, dipendente solo dalla dimensione dell'individuo). A questa importante domanda hanno voluto rispondere Mencuccini et al. (2005), con prove in cui hanno confermato che l'età della pianta non determina variazioni sulla performance di rametti qualora questi venissero prelevati e fatti vegetare indipendentemente. In sostanza, sembra plausibile rifiutare l'ipotesi della senescenza meristemica nelle piante, anche se, come gli autori sottolineano, alberi di età maggiore rispetto a quelli campionati potrebbero dimostrare sintomi di senescenza. Per cercare di risolvere anche questo dubbio posto degli autori è possibile discutere quanto viene riportato in lavori sul medesimo argomento. Connor & Lanner (1990) e Lanner & Connor (2001) hanno cercato di valutare possibili sintomi di senescenza in piante tra le più vecchie del pianeta, ossia in esemplari di *Pinus longaeva* (4713 anni) rispetto a piante "giovani" della stessa specie (circa 200 anni). Sono stati analizzati molti parametri che in genere si associano alla senescenza, come vitalità pollinica, germinabilità dei semi, peso dei semi e anche altri come struttura dello xilema e del floema, lunghezza dei getti annuali. In nessuno di questi parametri si sono potute osservare variazioni determinate dall'età degli individui. Lanner & Connor (2001) concludono, quindi, che il concetto di senescenza dei meristemi apicali o cambiali non si può applicare nel caso della specie indagata perché nessun tipo di degenerazione funzionale è stata osservata.

In sostanza, se possiamo ritenere le osservazioni su *Pinus longaeva* generalizzabili e in linea con quanto osservato da Mencuccini et al. (2005) potremmo rispondere alla domanda iniziale (perché gli alberi muoiono) con la seguente risposta: **Probabilmente non muoiono perché sono "vecchi"!**

I lavori sul *Pinus longaeva* sono estremamente importanti anche perché si contrappongono idealmente a quelle osservazioni di "breve periodo" del forestale-selvicoltore (1-2 secoli) che hanno fatto evolvere il concetto di *age related decline* (o, invece, *size-related decline* come suggerito da Mencuccini et al. (2005) e condiviso da Bond (2000). Questo approccio sostanzialmente sostiene che gli alberi, dopo alcuni decenni di vita, cadano irrimediabilmente in uno status di stress progressivo, con effetti deleteri sul tasso di assimilazione; quindi sulla produttività e, in prospettiva, sulla sopravvivenza dell'individuo. Non sembrano essere compatibili con questa ipotesi né le osservazioni di Connor & Lanner (1990) né i recenti lavori di Körner (2003) e Körner et al. (2005) che sostengono che l'assimilazione per se non sembra essere fattore limitante la crescita degli alberi adulti dato che nessun effetto si riscontra sull'accrescimento in condizioni di alta CO<sub>2</sub>. Un'ipotesi che invece pare compatibile con i sopracitati dati sperimentali potrebbe essere delineata in base ad alcune delle conseguenze che derivano dal modello di West et al. (1999), verificato empiricamente da Anfodillo et al. (2006), e da alcuni lavori collegati (Enquist; 2002; Enquist, 2003).

Al concetto di *size-related decline* (ossia stress progressivo in funzione della dimensione) si potrebbe aggiungere o sostituire il concetto di "*optimal adjustment*", ossia di permanenza in uno status fisiologico ottimale durante la crescita, il quale viene realizzato con modificazioni strutturali del sistema di conduzione (rastremazione degli elementi di conduzione) atte a mantenere una conduttanza fogliare specifica praticamente costante. Gli alberi, man mano che aumentano le proprie dimensioni, manterrebbero una struttura di trasporto dell'acqua sempre ottimale (quando sono in fase giovanile, di crescita molto attiva) o al limite dell'ottimalità (quando hanno raggiunto l'altezza massima). In questo stato limite, che in natura è oscillante a seconda delle condizioni d'ambiente (concetto analogo a quello ecologico della numerosità di una popolazione animale arrivata alla capacità portante), la conduttanza specifica fogliare potrebbe anche diminuire leggermente (e così la fotosintesi) in accordo con quanto osservato in piante alte (Koch et al., 2004) rispetto a quelle piccole (Ryan et al., 2005). Una volta raggiunta la loro dimensione massima gli alberi potrebbero mantenere questo status sub-ottimale virtualmente per un tempo infinito (come sembra voler dimostrare il *Pinus longaeva*) senza, quindi, essere soggetti ad un progressivo declino. Similmente, le piante arrivate alla loro altezza massima (al limite dell'ottimizzazione del sistema di trasporto) non hanno alcun beneficio se "fertilizzate" in CO<sub>2</sub>, dato che non è la mancanza di carbonio a limitare l'*optimal adjustment*. Questo induce a domandarsi cosa conduca la pianta al limite nella possibilità di mantenere un sistema di trasporto ottimizzato (ossia: cosa determini l'altezza massima degli individui).

Molti alberi monumentali hanno potuto raggiungere tale condizione grazie all'intervento di conservazione operato dall'uomo (molti degli esemplari censiti si sono conservati in quanto ubicati in giardini e parchi pubblici o per il loro valore affettivo o funzionale); in altri casi è proprio l'uomo il responsabile della scomparsa di questi monumenti e a costituirne la vera fonte di minaccia. Potature errate, traumi al tronco e alle branche principali, danni agli apparati radicali, conflitti con impianti tecnologici, manufatti e pavimentazioni sono infatti le principali cause della prematura morte di molti grandi alberi.

Appare perciò fondamentale tutelare e proteggere i grandi alberi non tanto con interventi semplicemente vincolistici ma, piuttosto, con programmazioni degli interventi di cura e corretta gestione dell'albero in tutte le sue fasi di sviluppo; soprattutto nel caso degli alberi che convivono con noi nell'ambiente urbano. È a questo fine che si ritiene utile approfondire argomenti quali la gestione degli alberi maturi e i "meccanismi" che regolano il funzionamento di un albero.

Un fondamentale compito degli arboricoltori è quindi, quello di sviluppare programmi di gestione e governo degli alberi; si tratta di un compito particolarmente complesso a causa del numero di specie presenti e della diversità delle condizioni ambientali possibili. Inoltre le esigenze e la biologia dell'albero variano in funzione dell'età, tanto che l'albero maturo non può ricevere né sopportare gli stessi trattamenti riservati all'albero giovane ma, anzi, richiede cure colturali profondamente diverse.

### 5.1 CAUSE DEL "DECLINO"

In cosa consiste il processo di "invecchiamento" negli alberi e quando possiamo considerare "maturo" un albero? È possibile mantenerlo in questa condizione ritardandone l'inevitabile processo di deperimento e la morte?

Cerchiamo alcune risposte valutando alcuni aspetti riguardanti la biologia e la fisiologia dell'albero. Concentrandosi sull'attività fotosintetica di una pianta, potremo dire che qualora questa subisca una riduzione, all'albero verrebbero a diminuire gli apporti di sostanze di riserva, costringendo la pianta ad attingere dalle riserve, con progressivo indebolimento. Qualora da una pianta venissero asportati rami o branche, o comunque perdesse quantità significative di tessuto vivo, all'albero sarebbero sottratte le riserve energetiche in esse contenute. Ma mentre l'albero giovane, formato per la maggior parte da tessuti fotosintetici, è in grado di ristabilire in breve tempo le proprie riserve, quello maturo sarà costretto ad abbassare temporaneamente il livello delle proprie difese; un nuovo fattore di stress potrebbe spingerlo in una spirale dalla quale sarebbe difficile uscire. Un albero adulto sopporta quindi molto meno di uno giovane trattamenti scorretti e variazioni ambientali.

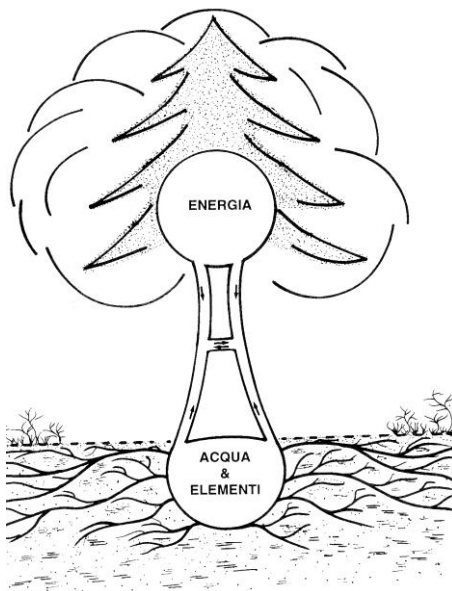
In sostanza, la gestione di un patrimonio arboreo adulto va impostata sul mantenimento di un ambiente stabile; il che vuol dire che anche gli interventi di cura e manutenzione costituiscono un beneficio purché impostati e mantenuti secondo programmi a lungo termine: interventi "una tantum" sono generalmente inefficaci (per il tipo di "risposta" che un albero adulto è in grado di dare) o sono addirittura dannosi quando comportano variazioni improvvise nell'equilibrio e nell'ambiente a cui l'albero si era adattato. Considerando applicazioni pratiche: decidere di irrigare o concimare un albero adulto, al di fuori di una programmazione pluriennale, può comportare reazioni nell'albero che rischiano di comprometterne l'equilibrio energetico; se poi l'albero è sofferente o addirittura in declino (caso tipico in cui si interviene in maniera emotiva irrigando e concimando) stimolare la vegetazione può comportare, nell'immediato, una diminuzione delle riserve energetiche a disposizione per la difesa; non va poi dimenticato che anche i patogeni - tra cui gli agenti di marciumi radicali - traggono particolare beneficio da questo

tipo di pratiche colturali. Per quanto riguarda la potatura, va ricordato che questa pratica, oltre ad influire direttamente sulla crescita e sulla fonte energetica dell'albero (l'apparato fogliare) è causa di ferite e può quindi facilitare i processi di decadimento (ad es. malattie ipnochereutiche); specialmente se eseguita in modo scorretto. Essa andrà invece praticata nel rispetto delle difese naturali dell'albero, a cominciare da quando l'albero è giovane; gli alberi nei primi anni di vita possono sopportare anche potature drastiche, se utili per correzioni o per impostare la forma di allevamento voluta. Un esempio estremo ci è fornito dall'arte Bonsai, nella quale gli interventi si limitano all'eliminazione dei seccumi e a leggere potature di mantenimento e rinnovamento una volta che la pianta è stata impostata ed ha raggiunto la maturità.

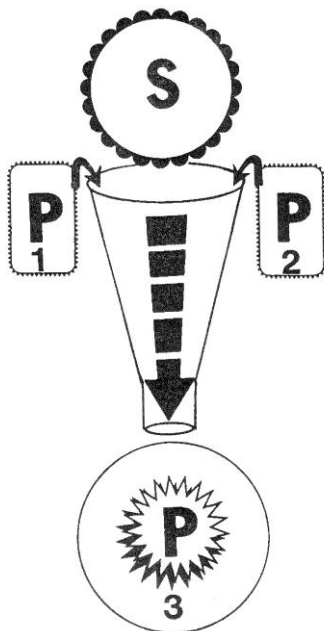
La riduzione del tasso di crescita e l'aumentata suscettibilità a parassiti e a stress ambientali, assieme alla capacità di produrre fiori e frutti, sono gli indici più evidenti del passaggio dell'albero dalla fase giovanile a quella adulta. Questi evidenti cambiamenti riflettono una serie di trasformazioni di natura fisiologica che avvengono all'interno dell'albero. Ogni sistema, per il proprio funzionamento, richiede energia. L'energia ottenuta durante il processo di fotosintesi è in parte destinata al mantenimento delle funzioni vitali (metabolismo, crescita) e la riproduzione; la restante sarà conservata nelle cellule vive del legno, nel tronco e soprattutto nelle radici. Questa energia di riserva verrà utilizzata dall'albero durante la fase critica della ripresa vegetativa e servirà inoltre per mantenere attivo il sistema difensivo. Per difendersi in caso di ferite l'albero consuma molta energia: le sostanze di riserva, immagazzinate principalmente sotto forma di amido nelle cellule vive del legno, sono trasformate in composti con funzione difensiva (fenolici nelle latifoglie, terpenici nelle conifere), con un "costo" energetico di circa il doppio rispetto alla formazione di nuovo legno. Pertanto, quando un albero "invecchia", aumenta molto il suo consumo di energia: per la crescita, per la riproduzione, per la difesa, per il mantenimento della massa in continua crescita. Aumenta quindi anche il rapporto tra massa ed energia.

### **5.1.1 La seconda legge della termodinamica.**

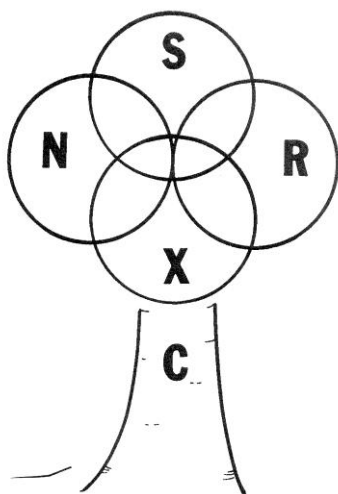
E a proposito di energia, è proprio quella che è considerata tra le più importanti leggi della Scienza, la Seconda Legge della Termodinamica, a fornirci la spiegazione. Questa legge si dimostra sempre vera quando è in funzione un sistema fisico, chimico o biologico. Tutti i processi in cui è richiesta energia, come quelli chimici, fisici, ecc., subiscono una riduzione di attività se isolati e se non vi sono nuovi apporti energetici. Questo esaurimento di un sistema, o aumento di entropia, significa: per quanto sia organizzato e complesso un sistema, esso si esaurirà in un certo lasso di tempo, e risulterà meno organizzato e complesso. Quindi a minacciare la vita di un albero è la mancanza o, più spesso, l'insufficienza di energia. E l'energia è quella prodotta attraverso la fotosintesi.



Gli alberi possono essere paragonati ad un'enorme pompa vivente. Per mantenere un elevato grado di funzionamento in un sistema vivente è necessaria una continua somministrazione di energia. Un elevato grado d'ordine nel sistema vuol dire salute. (Da: *The modern arboriculture*, di A. Shigo, nella traduzione italiana a cura di D. Zanzi, 1995).



**Il sistema.** Un sistema S è una sequenza ordinata di parti (P1) e di processi (P2) che genera un prodotto o servizio predeterminato (P3). L'albero e i suoi associati costituiscono un sistema vivente. La sopravvivenza di ogni sistema vivente dipende da 8 fattori: energia, programmazione genetica, spazio, acqua, elementi essenziali, temperatura, tempo e concentrazione di fattori (Da: *The modern arboriculture*, di A. Shigo, nella traduzione italiana a cura di D. Zanzi, 1995).



**Mantenimento dell'ordine in un sistema.** Più un sistema è ordinato, più esso è stabile e sano, e maggiore è l'energia richiesta per mantenerlo tale. Salute significa capacità di resistere ad una alterazione. Per alterazione intendiamo una condizione irreversibile causata da un eccesso di stress. Lo stress è una condizione reversibile ed è la situazione in cui il sistema lavora vicino al limite per cui è stato costruito. (Da: *The modern arboriculture*, di A. Shigo, nella traduzione italiana a cura di D. Zanzi, 1995).

### 5.1.2 Non ricostruzione, ma nuova produzione

Lo statunitense Alex Shigo individua dettagliatamente il processo dinamico con cui l'albero forma delle barriere che si oppongono alla diffusione di organismi patogeni che aggrediscono il legno causandone il decadimento ("carie"). A differenza degli animali, quindi, gli alberi non sono in grado di "cicatrizzare" e guarire le ferite ricostruendo i tessuti danneggiati, ma isolano i tessuti lesionati producendo nuovi tessuti in nuove posizioni. (Shigo A.L., 1986; Shigo A.L., 1989).

### 5.1.3 Distribuzione dell'energia tra chioma e radici

Le radici ricevono l'energia di cui abbisognano da foglie e parti verdi della pianta. Le foglie, a loro volta, ricevono acqua e nutrienti dalle radici. L'efficienza dell'apparato radicale diviene perciò essenziale. Qualora l'energia per alimentare una parte della pianta, ad esempio un ramo, fosse insufficiente, quest'ultimo subirebbe un ridimensionamento, perdendo "pezzi". Nell'abscissione le sostanze vengono in parte recuperate e riciclate nelle parti ancora vive. Lo stesso accade nel legno. Nel processo di abscissione si forma una zona di protezione. Per tale processo, e così pure il riciclo dei materiali, sono necessari tempo ed energia. Potremmo considerare questi processi come fasi del progressivo "invecchiamento" dell'albero, che può concludersi con la morte. Le parti "risparmiate" servono alla sua sopravvivenza.

Su alberi maturi l'asportazione di branche o rami vivi, e peggio ancora, la capitozzatura comportano una rapida morte delle parti asportate, senza che vi sia la possibilità del riciclo dei materiali. Vi è quindi differenza fra la "morte naturale" e "l'uccisione" praticata con l'asportazione di parti vive. A risentirne per prime sono le radici, le quali sono private di importanti apporti. Questo si traduce in un automatico e proporzionale ridimensionamento dell'apparato radicale.

### 5.1.4 "Età anagrafica" ed efficienza funzionale

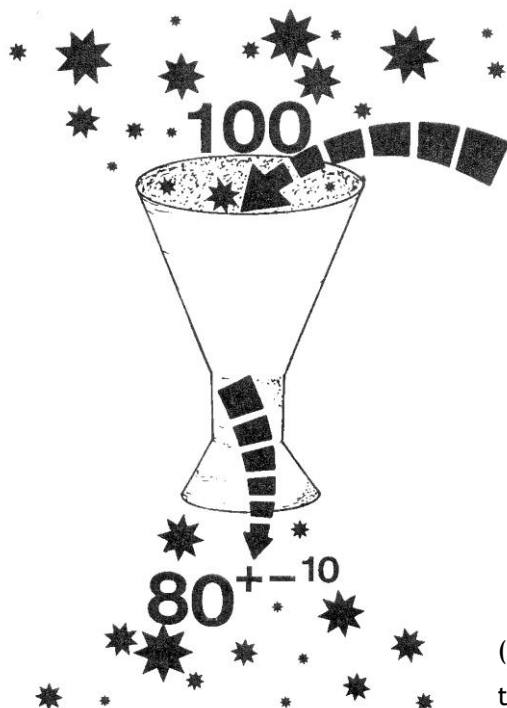
La semplice attribuzione di un'età anagrafica a un albero è priva di significato se non in termini puramente statistici, concettualmente potremmo quindi immaginare, secondo l'esemplificazione di Alex Shigo (1989) che ogni anno un albero nuovo va a ricoprire quello preesistente, poiché negli alberi non vi sono specifici meccanismi genetici che presiedono a un progressivo e ineluttabile processo di "invecchiamento" (in altre parole, non vi è una programmazione distruttiva dei tessuti).

**Poiché le funzioni biologiche dell'albero sono le stesse per tutta la durata della vita, con il concetto di "senescenza" o "vecchiaia" (termini impropri), quindi, s'intende sostanzialmente una riduzione dell'efficienza di tali funzioni che comporta un rallentamento della realtà metabolica dell'albero e infine un minore accumulo di biomassa.**

Il concetto sopra esposto è maggiormente comprensibile se noi pensiamo all'albero come un sistema energetico. L'energia immagazzinata, paragonabile all'"energia potenziale", funge da

motore per garantire la sopravvivenza, cioè alla situazione di equilibrio metabolico. Parte di questa energia è trasformata in energia cinetica e spesa per far fronte ai fattori causa di stress. Quando il bilancio energetico è negativo (per la minor efficienza dell'attività fotosintetica o per eccessiva richiesta da parte della pianta) si intaccano le riserve della pianta, con progressivo esaurimento, raggiungendo un livello energetico in cui la pianta non è più in grado di garantirne l'efficienza. Si assiste in pratica a un calo della resistenza, che porta l'albero ad essere maggiormente suscettibile agli stress. (Shigo, 1989).

Le cause che conducono a questo collasso energetico sono molto complesse e non molto chiare. Si immagina che l'albero, superata la condizione di equilibrio, ad un certo punto diminuisca il suo incremento dimensionale (crescita spaziale) ed entri in una fase di mantenimento di questa condizione ideale. Questa condizione di equilibrio non è statica ma caratterizzata dalla dinamicità per i continui adattamenti a condizioni di progressivo impoverimento del substrato, e al successivo calo dell'energia disponibile. La struttura anatomica cresce in complessità, riducendo l'efficienza del meccanismo di conduzione. In generale l'albero monumentale si caratterizza per una specifica condizione morfofisiologica che lo rende particolarmente vulnerabile e suscettibile alle più diverse modifiche delle condizioni ambientali, siano esse di origine biotica o abiotica, che conducono ad uno stato di stress la cui irreversibilità è strettamente connessa alle condizioni generali dell'albero.



(Da: *The modern arboriculture*, di A. Shigo, nella traduzione italiana a cura di D. Zanzi, 1995).

Non esiste alcuna macchina, compreso il nostro organismo, che possa produrre tanta energia quanta ne viene somministrata. L'energia deve costantemente entrare nel sistema per mantenere l'ordine.



## 6 L'ALBERO CHE NON SI VEDE



“La ricerca botanica studia molto più estesamente le parti aeree della pianta. Ecco perché conosciamo molto meno le radici. Le radici crescono prevalentemente sotto terra, il che le rende molto più difficili da studiare. Gli studi di ricerca sulle radici, direttamente nel loro naturale ambiente sotterraneo, sono un’impresa complessa. Molti esperimenti sono di conseguenza eseguiti in laboratorio, in condizioni artificiali”. (da: *Roots, Bulbs and Co.* , Gardens of Trauttmansdorff, Merano 2012).

Le radici sono una parte di fondamentale importanza per la pianta per le funzioni che svolgono, ma spesso insufficientemente considerata. La loro condizione è strettamente legata alla salute degli alberi; ma a differenza della chioma, le radici non sono facilmente controllabili. E il loro declino anticipa quello dell’intera pianta.

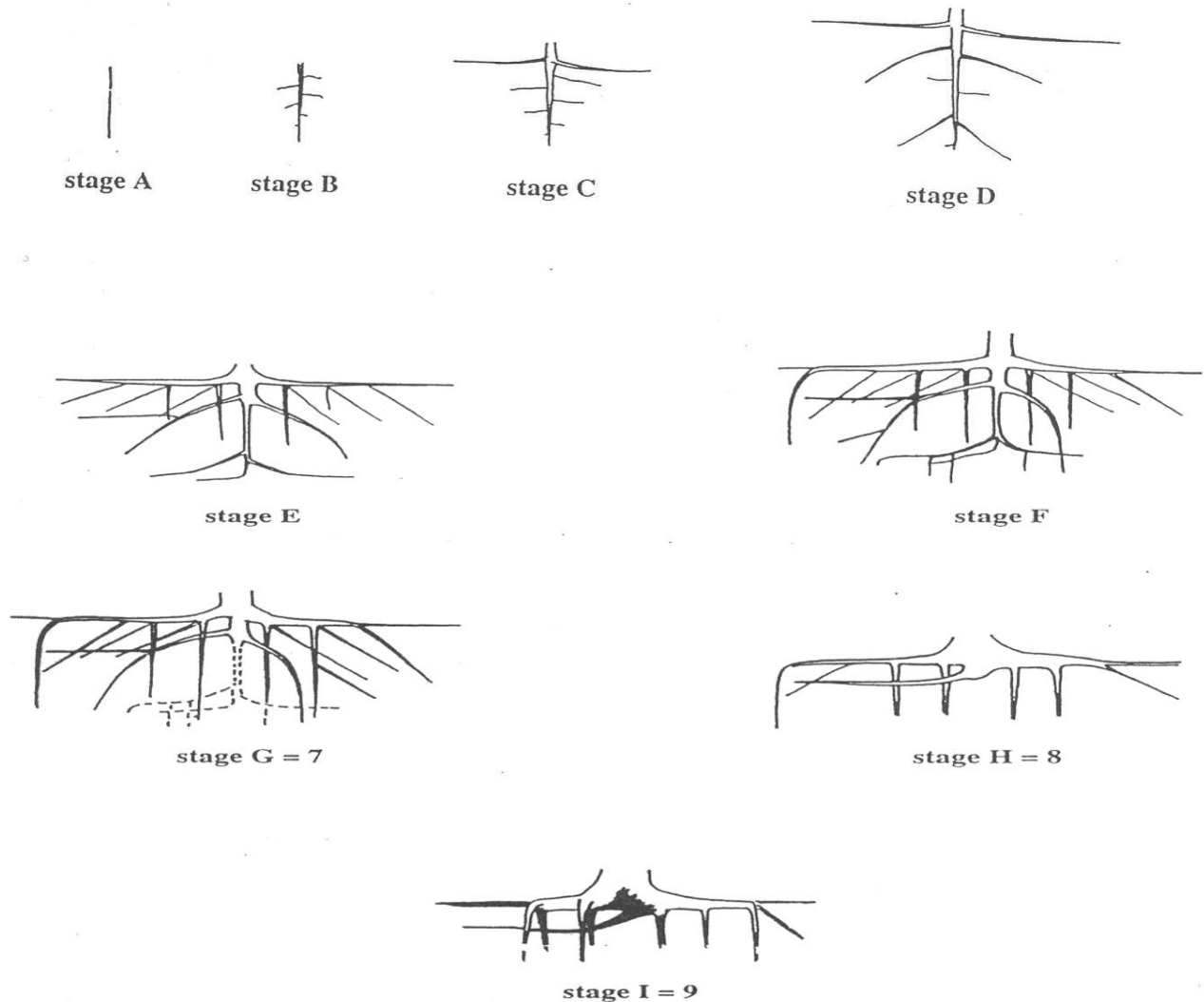
Esse rappresentano circa il 15-25% della biomassa totale dell’albero, e si concentrano in prossimità del colletto; sono generalmente comprese nell’area della proiezione orizzontale della chioma, anche se in alcune situazioni raggiungono una maggiore estensione. Hanno un comportamento opportunistico e perciò si accrescono nel suolo in direzione verticale e orizzontale nelle zone in cui le condizioni sono più favorevoli al loro accrescimento.

Il loro portamento e la distribuzione sono in parte legati alla specie, in quanto funzione del corredo genetico, ma dipendono anche dalle caratteristiche e dalla qualità del terreno.

L’apparato radicale è una struttura molto complessa, costituita da segmenti che svolgono funzioni diverse e che in linea schematica possono essere suddivise in tre grandi gruppi: radici con funzione di ancoraggio, radici esploratrici e radici di assorbimento, che per semplicità definiamo “radici

fini”; queste ultime hanno diametro inferiore a 2 millimetri e terminano con migliaia di apici, mediante la quale la pianta assorbe acqua e nutrienti.

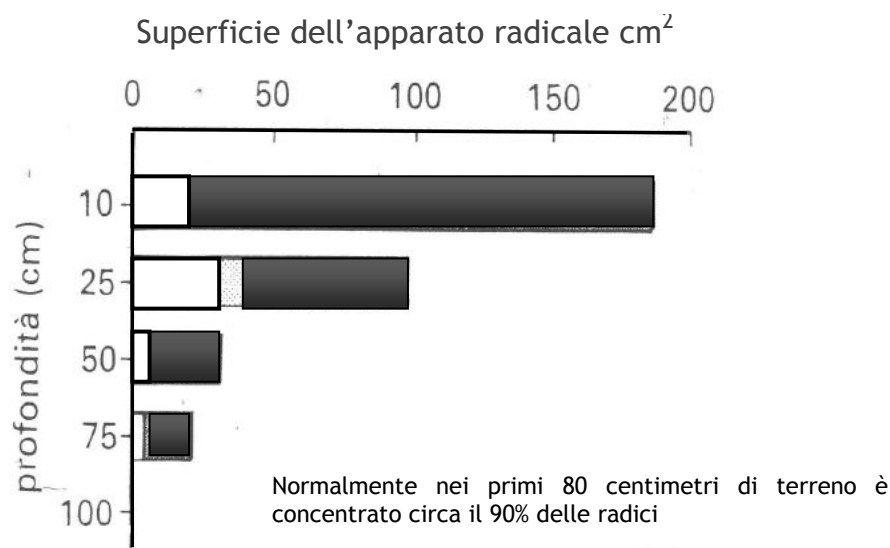
### STADI DI SVILUPPO DI UN APPARATO RADICALE MODELLO



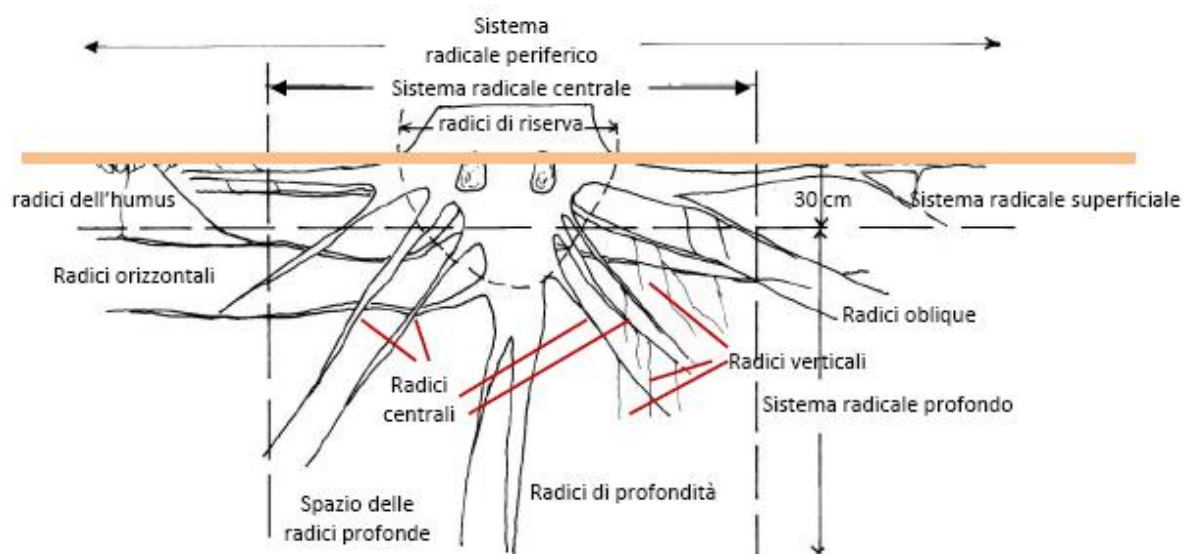
La sequenza delle immagini schematiche evidenzia l'evoluzione “architettonica” del sistema radicale, dalla fase giovanile a quella di declino; inizialmente le radici, di origine embrionale, hanno conformazione fittonante (comportamento pressoché analogo si evidenzia nella chioma in fase giovanile, in cui il germoglio apicale prevale sulle branche laterali); via via le branche radicali, inserite sul fittone, divengono prevalenti, fino alla degenerazione e scomparsa del fittone stesso; nelle fasi finali vi è una regressione del sistema radicale, con riduzione della massa complessiva, parallelamente ad un ridimensionamento dell'apparato aereo.

Il sistema delle radici principali e secondarie è composto per la maggior parte da segmenti cilindro-conici, i quali si collocano in direzione orizzontale preferenzialmente nei primi strati del terreno, compresi prevalentemente tra i 5 e i 75 centimetri, e la cui funzione principale è il trasporto della linfa. Esse agiscono come un intreccio di cavi che legano il suolo, sostengono la pianta permettendole di rimanere in posizione verticale. In situazioni meteorologiche avverse,

quali forti venti, nevicate, ecc., le radici e la massa del suolo che esse inglobano costituiscono la contro spinta per sostenere la pianta.



Gli apparati radicali degli alberi subiscono come la parte aerea il condizionamento del genotipo, ma anche dei fattori ambientali quali la natura del suolo e le condizioni fisiche (struttura e tessitura) che possono fortemente influenzare lo sviluppo centripeto della radice. Nelle piante si può riconoscere un apparato radicale di tipo fittonante, caratterizzato dalla presenza di una grossa radice che si sviluppa in direzione verticale, e da altre più piccole che vi si inseriscono e si accrescono con andamento orizzontale; oppure l'apparato radicale è di tipo fascicolato, costituito da più radici di dimensioni simili e ad andamento orizzontale.



Schema di un sistema radicale adulto, in cui si evidenziano la diversa distribuzione, la diversa conformazione e i diversi ruoli delle radici.

La radice verticale può degenerare o deviare direzione e permettere così la formazione di un apparato ipogeo fascicolato; in questo caso si accrescono con grande rapidità delle radici secondarie con andamento pressoché orizzontale e superficiale e che costituiscono la parte assorbente. (In genere gli alberi ornamentali perdono la radice verticale, ovvero il fittone, dopo il primo trapianto).

## 6.1 LA VALUTAZIONE DELL'APPARATO RADICALE

Le piante di grossa mole, come sono spesso gli esemplari monumentali, sono particolarmente esposte a rischi di cedimenti strutturali o di schianto o sradicamento. Per questo motivo possono divenire di prezioso supporto alcune osservazioni e tecniche di valutazione dell'apparato radicale. Queste possono riguardare:

segni imminenti del cedimento, come:

- Il sollevamento della zolla sopravento, con fuoriuscita di radici, e abbassamento sottovento;
- La progressiva inclinazione del fusto;
- La comparsa di cretti nel terreno in prossimità del fusto.

La valutazione della propensione al cedimento, come:

- Il movimento della zolla;
- L'inclinazione del fusto non corretta;
- La presenza di cretti concentrici;
- L'alterazione delle dimensioni della zolla dovuta a scavi;
- La presenza di carie basali.

Le tecniche di valutazione, come:

- L'analisi visiva (sempre consigliata);
- La verifica mediante scavo o "messa in luce" delle radici superficiali mediante zappino o "air spade";
- La valutazione strumentale (in particolar e per la carie);
- L'impiego della modellistica (verifica al ribaltamento);
- La prova di trazione.

I cedimenti dell'apparato radicale possono essere di tipo molto diverso. Potremmo infatti avere:

- Cedimento per rottura delle radici;
- Cedimento per ribaltamento della zolla intera;
- Cedimento per scivolamento della zolla intera su un piano inclinato;
- Cedimento per sfilamento delle radici dovuto a perdita di coesione nell'interfaccia terreno-radici;
- Riduzione della resistenza al taglio del terreno.

Le dimensioni e conformazione della zolla sono tipiche della specie e dipendono dall'età della pianta, dalle condizioni del suolo, dagli interventi antropici, ecc. Da tali dimensioni e caratteristiche dipende la stabilità della pianta.



Foto. 1 e 4: cedimento per ribaltamento della zolla intera; 2: presenza di creti nel suolo in prossimità del fusto; 3: inclinazione anomala del tronco; 5: cedimento per sfilamento delle radici dovuto a perdita di coesione del terreno; 6: cedimento per rottura delle radici (foto L. Sani).

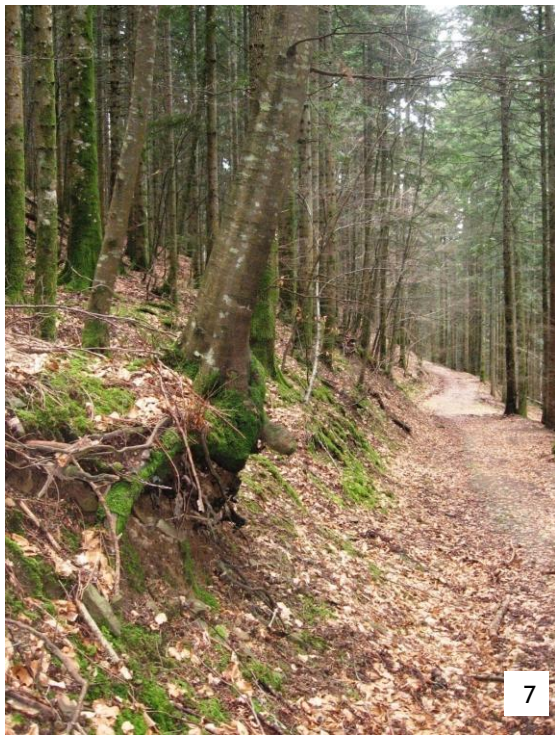


Foto. 7 e 8: cedimento per scivolamento della zolla intera su un piano inclinato (foto L. Sani).

## 6.2 FATTORI CHE INFLUENZANO LA CRESCITA E LO SVILUPPO DELLE RADICI

La funzionalità degli apparati radicali si esplica al massimo nei terreni ben strutturati, come quelli forestali, che possiedono elevata resistenza al compattamento, disponibilità e capacità di trattenere aria, acqua ed elementi nutritivi. Tali caratteristiche sono direttamente legate alla natura del suolo, alle caratteristiche fisico-chimiche in particolare. La presenza di sostanza organica e i processi di umificazione e mineralizzazione contribuiscono alla fertilità migliorandone l'abitabilità per le radici, il potere assorbente e quello adsorbente, la capacità di scambio, tamponando pH anomali carenze ed eccessi di salinità. In generale, hanno influenza diretta o indiretta sulla crescita radicale i seguenti fattori:

- gli ormoni
- i nutriliti minerali
- il rapporto tra calcio, cationi totali e pH
- l'aerazione del suolo
- la frazione solubile della sostanza organica
- la compattezza del terreno
- l'umidità del suolo
- la temperatura del suolo
- la comunità microbica della rizosfera

Ne vediamo in particolare alcuni.

### 6.2.1 Gli ormoni

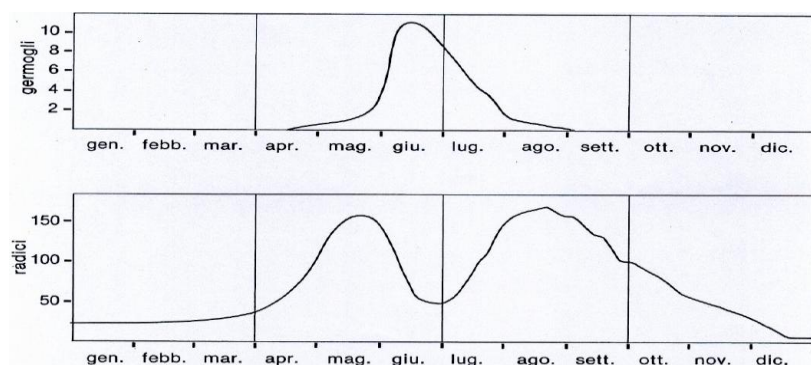
Le radici sono anche un importante organo o sito di sintesi ormonale. I fitormoni sono implicati nella crescita e nel metabolismo delle radici stesse e dell'intera pianta, con funzioni pleiotropiche regolate dagli equilibri fra le diverse sostanze con funzione ormonale. Le radici sono organo di sintesi dell'**acido abscissico** (come le foglie mature e i semi). Questa sostanza aumenta in risposta a numerose situazioni di stress, fra i quali quello idrico. In questo caso la risposta si traduce in un effetto inibitorio sull'allungamento della radice, con la promozione della formazione di radici laterali e peli radicali; l'assorbimento radicale viene favorito, mentre, a livello epigeo, viene regolata la funzionalità stomatica. Il trasporto (assieme a quello delle citochinine) avviene per via xilematica, dalle radici alla parte aerea. Un percorso inverso è invece quello delle **auxine**, sintetizzate dai germogli e dalle foglie giovani. Le auxine hanno influenza sullo sviluppo radicale, oltre che su quello fogliare; lo sviluppo è promosso da basse concentrazioni. In genere trattamenti ormonali mediante soluzioni a basse concentrazioni di auxine sintetiche vengono effettuati per stimolare proprio la formazione di radici avventizie, come nel caso di taleaggi o di "rigenerazioni".

Il controllo ormonale sulla crescita delle radici si esplica come risposta alle condizioni ambientali, non solo relative alla dotazione minerale, ma anche ad aspetti fisici. Ad esempio, l'inibizione all'allungamento delle radici, dovuta alla compattezza del suolo, provoca un aumento significativo dell'auxina nella zona apicale della radice, favorendo la formazione di radici laterali.

Grande rilevanza assumono perciò i fitormoni e i delicati equilibri che tra questi si instaurano; e quindi le alterazioni a seguito del deteriorarsi delle condizioni pedo-ambientali o di interventi quali la potatura a carico della parte epigea o di quella ipogea.

### 6.2.2 La crescita degli apparati radicali

La crescita delle radici varia in funzione alla specie e alle condizioni ambientali. Spesso presenta due picchi annuali, uno tardo primaverile e uno autunnale, più importante, come mostra il grafico sotto. La presenza di fruttificazioni ha grande influenza sullo sviluppo delle radici (così come per la parte aerea); con scarsa fruttificazione si osservano maggiori incrementi nello sviluppo radicale. (Williamson and Coston. J. Amer. Soc. Hort. Sci 114: 180-183.1989).



Crescita dei germogli (sopra) e delle radici (sotto) nel corso dell'anno.

Oltre al genotipo, I fattori che regolano la crescita delle radici sono:

- la temperatura
- la disponibilità di riserve e/o fotosintetati
- la disponibilità idrica
- gli interventi colturali (potature, lavorazioni, fertilizzazioni).

La distribuzione delle radici è influenzata anche dal tipo di suolo (di questo aspetto si tratterà in un successivo paragrafo).

### 6.3 LE MICORRIZE

Gli apparati radicali delle piante arboree sono assoggettati a complesse relazioni con i microorganismi del suolo. Tra queste, probabilmente le più importanti sono quelle mutualistiche con i funghi micorrizici. Si tratta di relazioni simbiotiche, da cui traggono benefici entrambi i soggetti.

La micorrizzazione è di particolare importanza per le piante che vivono in ambienti estremi, su terreni poveri di nutrimento. L'importanza delle micorrize non si riduce soltanto all'ottimizzazione dell'assorbimento di acqua e nutrienti dal terreno a vantaggio della pianta. Le ectomicorrize, ad esempio, interferiscono positivamente sulla salute della pianta; il loro interesse è perciò crescente anche nell'ambito della patologia vegetale.

Nella medesima pianta si possono normalmente riscontrare oltre venti diversi morfotipi micorrizici, nonché popolazioni batteriche (es. azotofissatori) e in diverso stadio di sviluppo.

Ogni pianta, interagendo contemporaneamente con numerose specie fungine, non solo simbiotiche, ma anche saprofitiche e parassitiche, deve essere in grado di riconoscere e differenziare la propria risposta. Nel caso della simbiosi micorrizica le interazioni pianta-fungo sono meno specifiche e meno studiate rispetto a quello tra pianta e funghi patogeni. Tuttavia, alcuni aspetti risultano oggi meglio conosciuti.

L'instaurarsi di un rapporto ectomicorrizico prevede reciproche trasformazioni, codificate geneticamente, che coinvolgono il rilascio e il riconoscimento di segnali chimici e la regolazione nella produzione di proteine ed enzimi. La struttura diviene così complessa ed integrata, conseguenza di una sequenza programmata di modificazioni nella parete radicale o nell'organizzazione cellulare del fungo e della pianta; è favorito, così, l'affermarsi di un nuovo modello metabolico regolato geneticamente. Lo sviluppo dell'ectomicorrizzazione è regolato inizialmente da molecole che si trovano nella rizosfera e che vengono escrete sia dal fungo che dalle radici fini. Si tratta di segnali specifici, cioè caratteristici di determinate specie botaniche e fungine. E' conosciuta, ad esempio, la capacità di alcune specie fungine di sintetizzare fitormoni (auxine); queste sostanze stimolano la produzione di un maggior numero di apici radicali, e quindi avvantaggiano la penetrazione del simbiote nella radice. In altri casi, si è dimostrato che essudati

radicali sono in grado di favorire la germinazione di spore fungine, l'accrescimento e la modificazione delle ife.

A loro volta, le ife fungine sono in grado di interagire con batteri "associati", che favoriscono la simbiosi e la colonizzazione della radice ospitante ("helper bacteria").

Un sistema radicale micorrizzato presenta evidenti differenze rispetto a radici non micorizzate. Le "ife emananti" si sostituiscono in parte alle radici assorbenti della pianta, estendendosi e addentrandosi nel terreno in maniera capillare, spesso spingendosi ben oltre la rizosfera. Ne è così accresciuta la capacità di assorbimento e di mobilitazione di acqua e nutrienti, a beneficio dell'accrescimento della pianta che diviene anche meno suscettibile all'attacco di patogeni e meno esposta a stress.

Ai fini pratici, ciò che avviene normalmente nei suoli forestali potrebbe essere favorito anche nei suoli interessati dalle piante impiegate per il verde pubblico e privato. E in parte, già qualcosa già si è iniziato a fare. Di seguito si riporta un elenco con le specie fungine oggi maggiormente utilizzate per inoculare artificialmente le giovani piante.

- *Laccaria laccata*
- *Pisolithus tinctorius*
- *Hebeloma crustuliforme*
- *Suillus bovinus*
- *Tuber sp.*
- *Cantarellus sp.*
- V.A.M. (*Glomus sp.*) - per piante da frutto o ornamentali o medicinali

In definitiva, i vantaggi ottenibili dalla micorrizzazione sono i seguenti:

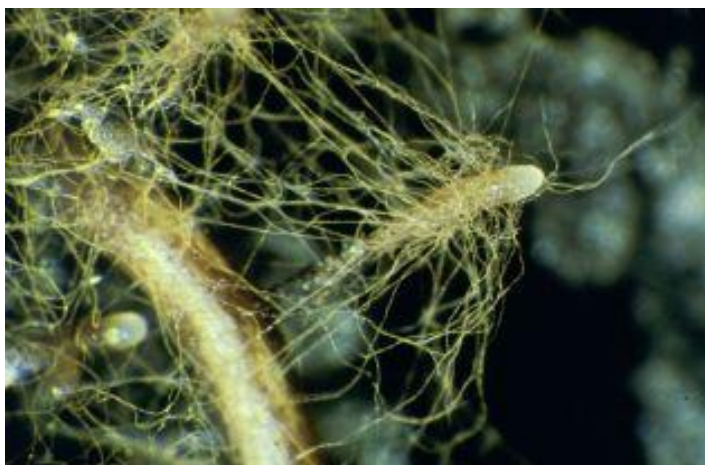
- acquisizione di nutrienti presenti in forme normalmente non disponibili per le piante (ad esempio azoto e fosforo nei composti organici);
- capacità di abbattere la presenza di sostanze inquinanti o tossiche (es.composti fenolici e metalli) del suolo;
- protezione dagli stress idrici;
- protezione nei confronti di funghi parassiti e nematodi;
- produzione di fitormoni;
- contributo al miglioramento della struttura del terreno;
- influenza nella popolazione microbica del suolo;
- benefici dovuti alla produzione di fitormoni;
- accumulazione di nutrienti;
- costituzione di reti nutrizionali;
- supporto per i semenzali fornito dalle reti di ife nel terreno;
- trasferimento di nutrienti dalle piante morte a quelle vive;
- influenza sulla successione ecologica dei vegetali;
- maggiore attecchimento nei trapianti, con riduzione dello stress post-trapianto.

Il fungo simbionte trae dalla pianta carboidrati e essudati radicali, e la possibilità di sopravvivere. Queste specie fungine, infatti, in genere non possiedono la capacità di vivere autonomamente: non sono capaci di aggredire e degradare la sostanza organica vivente, come invece i funghi parassiti, e nemmeno la sostanza organica morta, come i saprofiti. Si tratta di un rapporto antichissimo, non molto diverso da quello presente nei licheni.

Le specie fungine, oltre ad essere più o meno legate ad alcune specie o famiglie botaniche, sono sensibili alle condizioni fisiche e soprattutto chimiche del terreno, in particolare al pH. Nella maggior parte dei casi prediligono ambiente acido o sub acido, ambienti in genere diffusi a livello della rizosfera. Ma la presenza delle varie comunità micorriziche è fortemente condizionata dalla copertura vegetale, divenendo ottimale in condizioni di media copertura e buona ossigenazione della rizosfera.

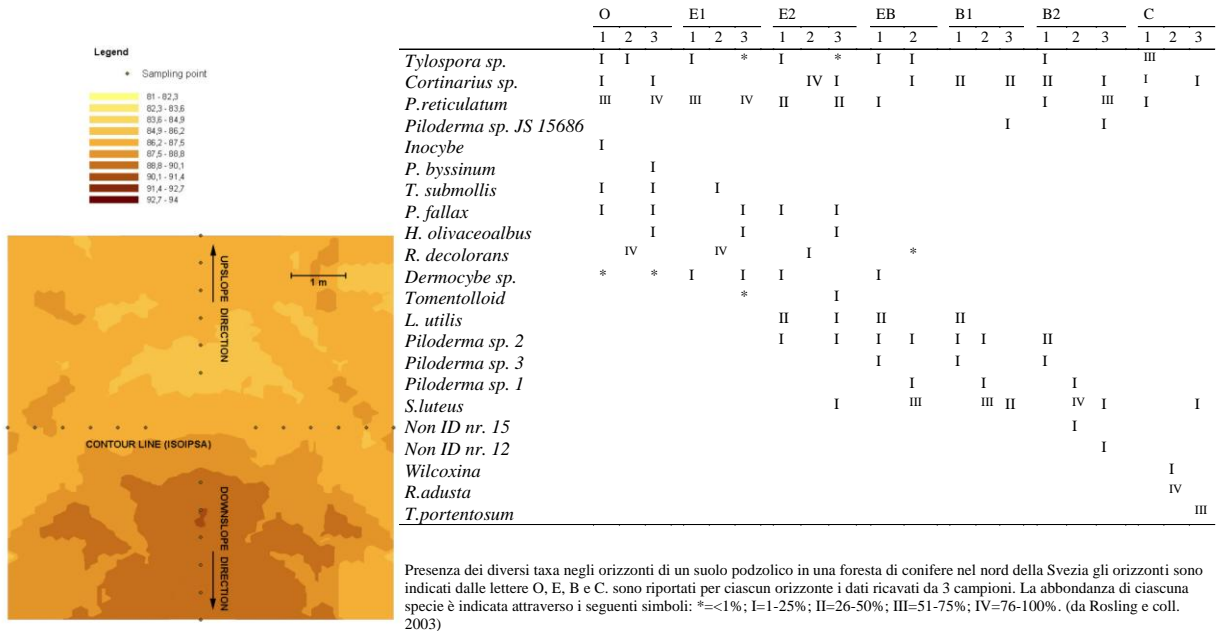
### PRESENZA DI MICORRIZE IN FUNZIONE DELLA COPERTURA VEGETALE

SPECIE	% copertura				
	6%	12%	23%	49%	76%
<i>Pino silvestre</i>	Molto scarsa	Scarsa	Media	Massima	decescente
<i>Abete rosso</i>	Molto scarsa	Scarsa	Media	Massima	decescente



Apici radicali micorrizzati

Le diverse specie micorriziche hanno anche una varia distribuzione spaziale, come desumibile dalla tabella che segue (da: Scattolin, Bolzon, Montecchio, 2008):



E, inoltre, varia nel tempo, durante le stagioni:

SPECIE	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
<i>Cortinarius anomalus</i>	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
<i>Lactarius quietus</i>	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
<i>Byssocorticium atrovirens</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
<i>Cenococcum geophilum</i>				✓	✓		✓	✓	✓	✓
<i>Tomentella sp.</i>				✓	✓			✓	✓	✓
<i>Piloderma sp.</i>				✓						
<i>Hebeloma sp.</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Laccaria amethystina</i>										✓
<i>Russula nigricans</i>										✓
<i>Clavulina cristata</i>	✓	✓	✓							✓
<i>Boletus sp.</i>		✓	✓	✓	✓					✓

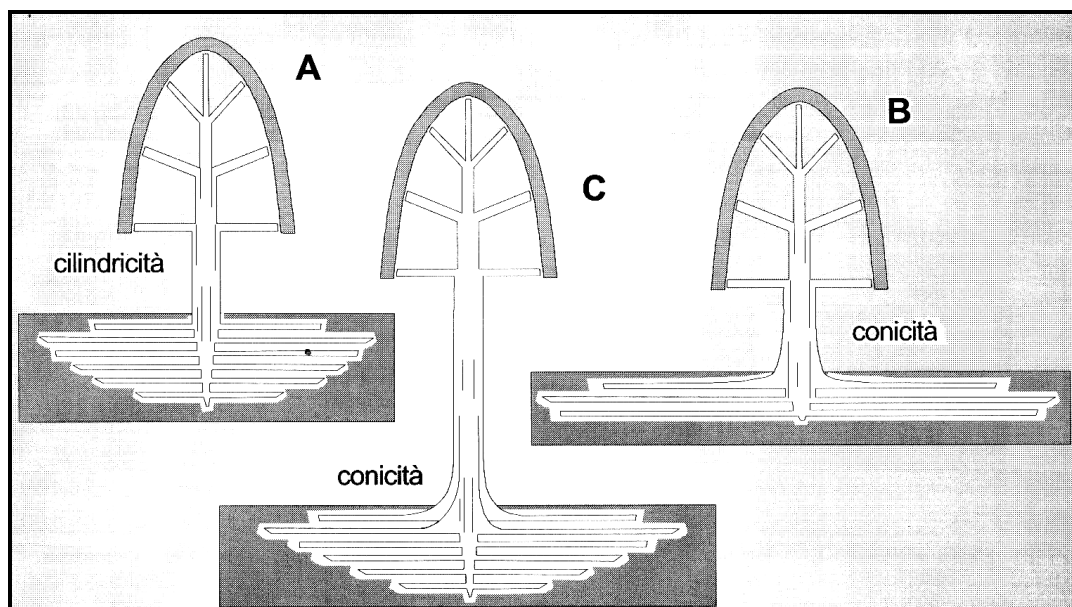
Anche l'efficienza della simbiosi varia nel tempo. Recenti ricerche hanno messo in evidenza la valenza della comunità micorrizica quale indicatore della salute delle piante in ambito forestale (L. Montecchio, E. Motta, S. Mutto Accordi, 2008).

Nel caso di deperimenti, specie ectomicorriziche utili e competitive, ma meno resistenti anche a bassi livelli di stress possono venire sostituite da specie via via più tolleranti, ma meno competitive, innescando un circolo vizioso che porta la pianta ad un progressivo deperimento.

L'adozione di questo tipo di indagini richiede però modalità di campionamento condivise, e la capacità di riconoscere le specie presenti, tra cui molte non ancora descritte. Le prospettive circa l'impiego di questo tipo di analisi potranno permettere comunque una più completa ed oggettiva valutazione dello stato fitosanitario della pianta, come integrazione alle valutazioni dei parametri ecologici e fisiologici.

#### 6.4 DISTRIBUZIONE DELL'APPARATO RADICALE E MECCANICA DELLA PIANTA

L'espansione centrifuga della pianta è anche esigenza di supporto meccanico/ancoraggio della pianta. Cilindricità o conoidità della base del tronco sono capaci di rivelare l'entità dell'approfondimento o dell'estensione dell'apparato radicale: la formazione di raccordi conoidali alla base del tronco indica la presenza di un apparato radicale superficiale, oppure di una chioma che esercita una leva che non è controbilanciata dal fittone radicale.



(Da: Zucconi - Brunzini, 1996)



*Sequoiadendron giganteum* (Parc de Château de Cheverny -F-) ; la conicità alla base del tronco (formazione di raccordi conoidali con il tronco) è caratteristica della specie, ma anche funzione diretta della lunghezza relativa della leva (fusto) e inversa rispetto alla controleva determinata dal fittone radicale (Zucconi, 1996).

## 6.5 LA RIZOSFERA

La rizosfera è l'interfaccia suolo-radice; si può considerare come un ecosistema complesso in cui si sviluppano le radici, che presenta caratteristiche fisiche (contenuto idrico, temperatura, sostanze minerali, ecc.) importanti per l'attività radicale delle piante. È la parte del suolo immediatamente attorno alle radici di una pianta, dove si diffondono gli escreti radicali (sostanze organiche e inorganiche escrete dalle radici), sede di importanti interazioni tra pianta e microflora del suolo.

La rizosfera è caratterizzata da gradienti di:

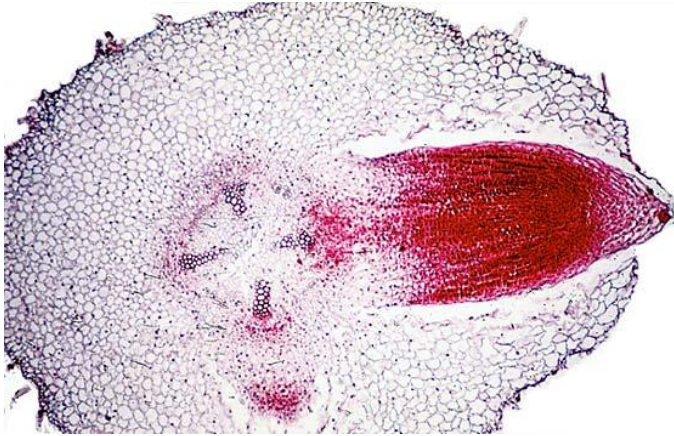
- concentrazione per svuotamento o accumulo di ioni alla superficie radicale
- pH
- Potenziale di ossidoriduzione per consumo di ossigeno e rilascio di idrogeno da parte delle radici
- Essudati radicali (liberi, mucillagini, spoglie radicali).
- Attività microbica
- Micorrize

Tali gradienti variano a seconda della distanza dalla superficie esterna della radice. Potremmo per questo distinguere una zona a immediato contatto con la radice, che va da 0 a 2 mm (*close*); una zona che va da 2 a 4 mm (*loose*) e una zona che dista almeno 4 mm dalla superficie radicale (*bulk*).

All'interno della rizosfera si verificano condizioni e conseguenti azioni che influenzano la mobilità dei nutrienti, grazie anche all'opera degli acidi organici e ai composti fenolici; si instaurano relazioni con comunità batteriche e fungine (micorrize), con effetti sull'assorbimento dei nutrienti, ma anche sulla protezione da eventuali eccessi.

## 6.6 ORIGINE DELLE RADICI

La formazione di radici avviene non solo dietro l'apice radicale, oltre la zona di distensione, ma anche su tessuti secondari. Uno studio recente ha confermato che la formazione di radici primarie su strutture secondarie rappresenta un evento comune, in condizioni normali (American Journal of Botany 89(9): 1361-1372. 2002. *“the formation of adventitious roots on root axes is a widespread occurrence in field-grown dicotyledonous plants”* di DOMINICK J. PAOLILLO, JR. AND RICHARD W. ZOBEL).



Sviluppo di radice laterale su radice in struttura primaria, per proliferazione delle cellule del periciclo, in corrispondenza di un'arca xilematica.

Lo studio riguarda la diagnosi delle caratteristiche anatomiche delle radici “avventizie” su 22 specie dicotiledoni appartenenti a 12 famiglie diverse e nove ordini distanti filogeneticamente tra di loro. Queste radici svolgono un ruolo importante per il metabolismo della pianta.

Studi recenti e meno recenti (Jones, 1943; Reynolds, 1975; Burke and Raynal, 1994; Fahey and Hughes, 1994; Eissenstat, Wells and Yanai, 2000; Gill and Jackson, 2000; Norby and Jackson, 2000; Baker et al., 2001) ribadiscono il concetto che una larga parte delle radici laterali del sistema radicale è normalmente perso senza contribuire alla ulteriore crescita del sistema radicale. Le radici in struttura primaria compongono la parte assorbente del sistema radicale. Con la crescita vi è il passaggio alla struttura secondaria, in cui avvengono mutamenti anatomici (Esaù, 1965) che ne riducono la capacità di assorbimento dal suolo (Kramer, 1983; Mac Fall, Johnson e Kramer, 1991; Escamilla e Comerford, 2000).

La produzione di nuove radici avviene dunque dai meristemi apicali principali e dal periciclo di quelli secondari, in corrispondenza della traccia di vecchie radici esistenti nel tessuto primario.

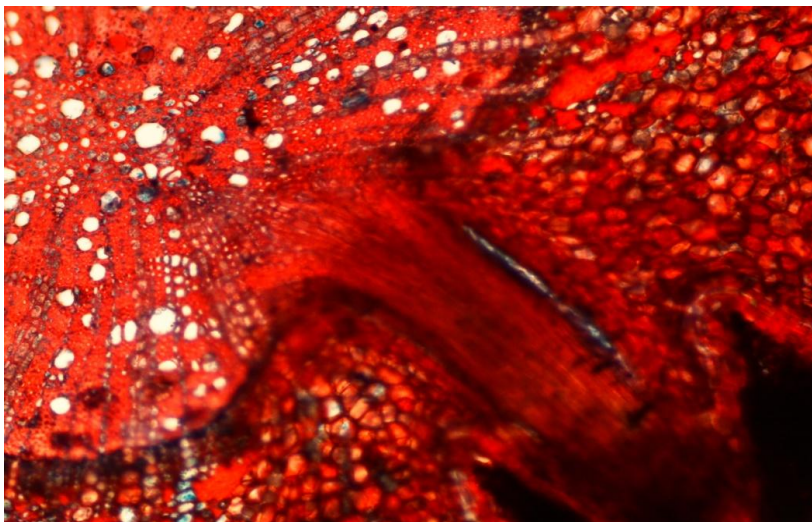
Si tratta di radici queste ultime che potremmo chiamare avventizie. L'importanza di queste radici diviene cruciale per la comprensione della “strategia” di reiterazione del sistema radicale. È

fondamentale stabilire se la popolazione di radici assorbenti (idrotropiche) dipenda dalla proliferazione di meristemi apicali in struttura primaria, da porzioni in struttura secondaria o da entrambi. È ritenuto che le radici avventizie che si originano su assi in crescita secondaria siano una condizione comune a molte specie nel loro habitat naturale. La letteratura sottolinea la presenza di radici avventizie durante la rigenerazione dell'apparato radicale, dopo allagamento e conseguente necrosi per ipossia dell'apparato assorbente (Kozlowsky, 1984) o a seguito di potatura (Wilcox, 1955; Bogar e Smith, 1965). Quindi si tratta di una reazione, come nel tentativo di ripristinare la funzionalità radicale, dopo che l'apparato radicale stesso ha subito un danneggiamento. Ma la reiterazione radicale su assi in struttura secondaria è diffusa anche in condizioni in cui non vi sia ipossia.



Anche il taglio delle radici produce come risposta la produzione di nuove radichette, come tentativo da parte della pianta di ripristinare la funzionalità radicale dopo aver subito un danneggiamento.

Uno degli obiettivi del presente lavoro è proprio di verificare la rigenerazione di radici su assi in crescita secondaria e confermare come la loro presenza possa essere diagnosticata utilizzando interpretazioni anatomiche.



formazione di radici avventizie: radice di ciliegio con traccia inserita nel tessuto vascolare parentale secondario, con aggiunta di tessuti xilematici. (foto di A. Crivellaro e L. Strazzabosco).

La radice laterale si forma nel periciclo della radice parentale; l'inserimento dell'asse della radice laterale penetra nel cilindro legnoso dell'asse "dei genitori".

### 6.6.1 Basi teoriche e pratiche per l'analisi

La possibilità di “rigenerazione” di radici avventizie può essere meglio compresa descrivendo le caratteristiche anatomiche del sistema radicale.

Quando si forma una radice laterale la traccia può essere osservata fino allo xilema da dove si è originata (Esaù, 1965; Byrne, Pesacreta e Fox, 1997; Fahn, 1990). Quando una radice laterale è inserita sull'asse parentale il suo sistema vascolare confluisce con il sistema vascolare di origine (Byrne, Pesacreta e Fox, 1977). Pertanto la stratificazione di una nuova crescita mantiene inalterato il collegamento con il cambio vascolare secondario originario. L'inserimento della radice laterale (sullo xilema secondario del cambio vascolare parentale visto in sezione) è a forma di V, e si estende fino alla regione xilematica di origine.

Una traccia di radice laterale persiste per un lungo periodo di tempo su una radice legnosa; l'asse parentale in crescita secondaria estende nella crescita la connessione con la traccia; ciò avverrà in relazione all'intensità e alla durata della vita della vecchia radice laterale sul cambio vascolare parentale; con la parziale distruzione dello xilema della radice laterale la traccia sarà riparata (ingrossandosi) con continue aggiunte di elementi vascolari, compensando così la distruzione. (Thibault, ancora nel 1946, ha osservato e descritto queste fasi nella radice di carota).

Le tracce ingrossate delle radici laterali rimangono di solito intatte, e sono connesse nello xilema secondario di origine. Nelle tracce ingrossate all'interno dei tessuti parentali è evidente una crescita in relazione con l'espansione radicale dei tessuti secondari di origine (Thibault 1946).

Nuovi elementi dello xilema vengono aggiunti lungo la traccia, la quale mantiene la connessione sul cambio parentale secondario; inoltre elementi aggiunti nella parte distale della traccia originano una deformazione.

Se una radice avventizia possiede una sua traccia, i suoi elementi xilematici sono collegati con il sistema vascolare parentale.

In *Pastinaca sp.* e in *Daucus carota* è stato riferito che le tracce formate nel periciclo parentale persistono nonostante la perdita delle radici laterali. Queste tracce persistenti delle radici avventizie che si formano superficialmente al sistema vascolare parentale, sono tese e riparate durante la crescita secondaria dell'asse parentale.

Inoltre quando si trovano tracce ingrossate, che originariamente servivano una radice formata nel periciclo, il collegamento con lo xilema parentale rimane visibile.

Una traccia ingrossata che serve più radici verrà indicata come **traccia complessa**; in questa traccia diviene evidente la distruzione e la sostituzione degli elementi vascolari e la formazione di più di un primordio radicale nella parte distale della traccia.

Nelle 22 specie prese in considerazione nel lavoro di DOMINICK J. PAOLILLO, JR. AND RICHARD W. ZOBEL, la maggior parte delle radici osservate possono essere correlate come radici fini, del diametro di circa 0,5 millimetri; tuttavia è stato osservato che su radici legnose possono svilupparsi lateralmente avventizie che possono raggiungere lo sviluppo delle radici parentali,

anche se le proporzioni di tali radici e la loro persistenza non è stata valutata (PAOLILLO e ZOBE, 2002).

Le radici avventizie rivelano chiaramente l'inserimento su tracce di precedenti radici.

Sulle 22 specie analizzate è stata valutata dunque la profondità dell'inserimento sulle vecchie tracce, fino all'osservazione delle stesse sul tessuto secondario parentale. Nelle analisi effettuate si sono evidenziate più radici laterali attraverso le sezioni di tracce diverse che penetrano i diversi strati dello xilema secondario di origine. La comparsa di tracce che danno origine a più radici laterali è una caratteristica delle radici non legnose. Sono stati osservati diversi gradi di deformazione nei componenti dello xilema con tracce che si trovano in prossimità una dell'altra, suggerendo che si tratta di radici di diversa età. Tra le tracce delle radici perse, alcune sono collegate ai tessuti vascolari secondari parentali; alcune mostrano interruzione dei tessuti di conduzione non compensata, con l'aggiunta di nuovi tessuti, indicando che è trascorso un periodo relativamente lungo dalla perdita della radice laterale senza che sia avvenuto lo stimolo di elaborazione di tessuti all'interno della traccia. L'immagine di una radice legnosa laterale ha fornito un modello per la diagnosi anatomica: una radice laterale in origine allineata con un raggio dell'asse parentale è legata all'asse parentale da una larga base; questa situazione contrasta con la forma a V dell'inserimento di una traccia costituita nel periciclo parentale.

Wilcox (1968) segnala la reiterazione di radici avventizie su cicatrici di radici laterali di *Pinus resinosa*. Bogart e Smith riferiscono che dalla rimozione di una radice laterale di *Pseudotsuga menziesii* si sono formate, sopra e sotto le cicatrici di abscissione, nuove radici su assi Secondari.

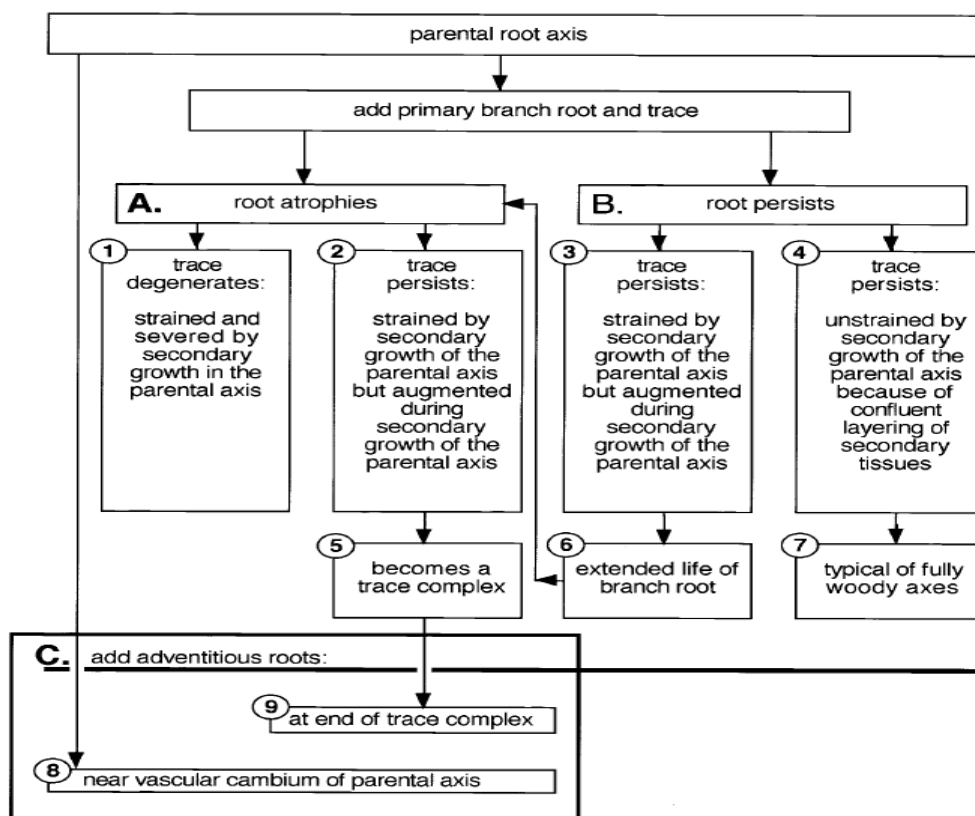


Diagramma di flusso generalizzato dello sviluppo delle ramificazioni dall'asse radicale principale; si mostrano gli alternativi destini delle radici e delle loro tracce, e la relazione del loro sviluppo all'originarsi di radici avventizie (S. Mutto Accordi).

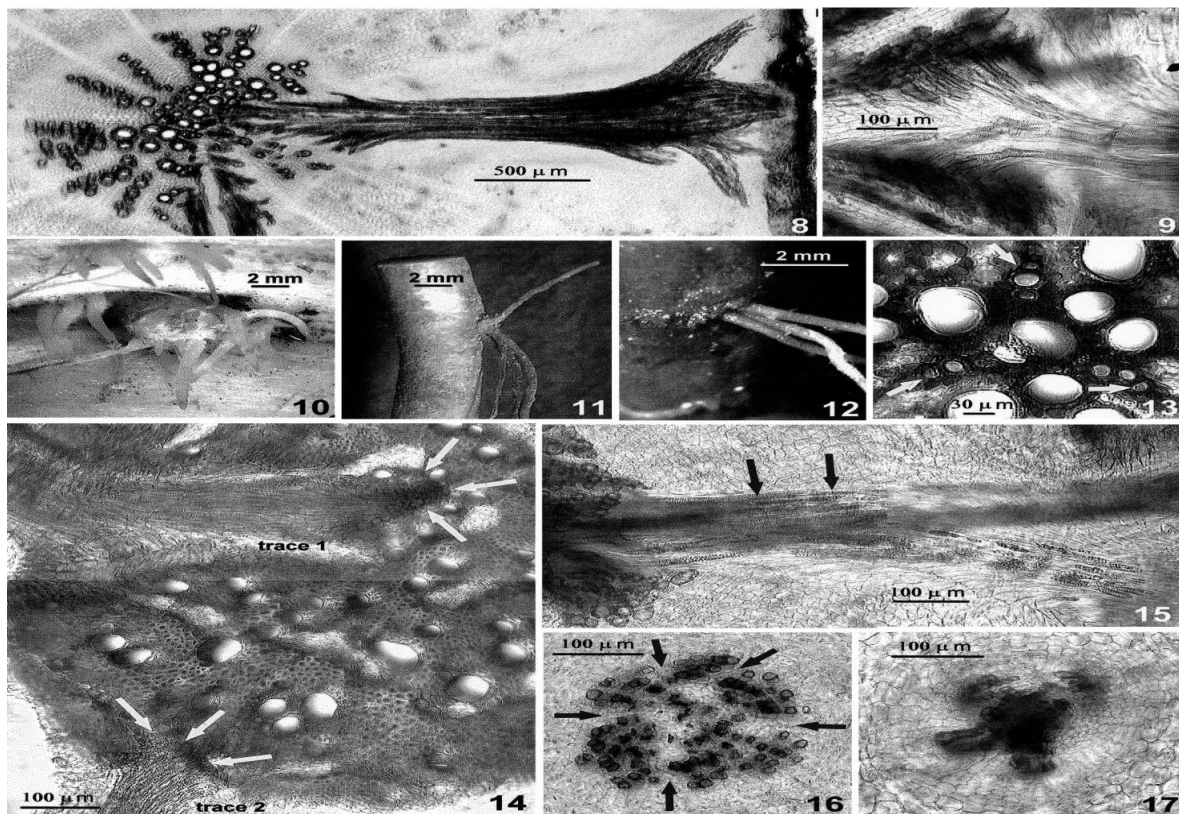
**Radici avventizie associate a tracce complesse.** Dalle immagini proposte successivamente si potrà osservare come tracce complesse di vecchie radici laterali si siano ramificate alle estremità distali per formare fasci vascolari; tracce che sono entrate nelle radici avventizie reiterate sulla parte distale della traccia parentale. Alcune di queste tracce si sono mostrate interrotte perché le presunte tracce della radice abscissa non sono più funzionali. Le caratteristiche anatomiche per tracce complesse si sono rinvenute anche in tracce che non si sono ingrossate e ramificate. Lo xilema di molte tracce complesse può essere seguito fino allo xilema parentale. La perdita di elementi degradati dello xilema non più funzionale in una traccia rende incerta l'identificazione tranne che il collegamento allo xilema parentale. Con il tempo si aggiungono elementi vascolari lungo la traccia complessa, partendo dalla periferia fino al sistema vascolare secondario parentale, unendo così le parti periferiche al sistema vascolare parentale (fig.8/9). I primordi delle radici osservate nel corso di questo studio erano posti sia nella zona esterna adiacente al cambio vascolare parentale, o appena sotto il periderma.

Questi eventi confermano che una radice accidentale ha una traccia unica, che il suo primordio si è formato nel cambio vascolare e che la formazione di più radici all'estremità è compatibile con una localizzazione della radice con i primordi pertinenti.

**Relazioni spaziali tra le radici avventizie.** Si potrebbe dedurre che tracce preesistenti abbiano influenzato la posizione di nuove tracce. Bogar e Smith (1965) riferiscono che i raggi sono importanti per la formazione di radici avventizie, originatesi in risposta alla potatura delle radici. Di conseguenza si potrebbe concludere che l'associazione dei raggi e tracce laterali costituiscano un coordinamento durante lo sviluppo di radici avventizie. La formazione di radici multiple da una traccia singola potrebbe essere condizionata da situazioni endogene (ormonali) ed esogene (ossigenazione).

**Una panoramica sulla formazione delle radici avventizie.** La letteratura sulle reiterazioni di radici avventizie su assi radicali offre sufficienti elementi per indagare il fenomeno (Esaù, 1954; Kozlowski). È molto diffusa in situazioni di ipossia temporanea e di potatura di radici. In definitiva si ribadisce che molte nuove radici si possono sviluppare da cicatrici di radici abscisse. Una traccia formata su una radice persistente può essere convertita in una traccia complessa alla perdita della radice laterale; e una traccia complessa può produrre più radici ripetutamente. Pertanto l'asse parentale può formare radici accidentali continuamente, utilizzando il cambio vascolare esterno per formare primordi radicali con o senza tracce complesse in radici legnose o semilegnose. Le tracce di radici avventizie possono sparire o persistere ed essere convertite in tracce complesse.

In radici legnose l'aumento di una traccia di radici laterali si realizza nel cambio vascolare, integrato al cambio vascolare parentale così che la traccia presenta soluzione di continuità. **La capacità diffusa nelle radici di reiterazione di nuove radici laterali può esser quindi considerata innata per la generazione reiterativa di tessuti.**



(foto J. Paolillo).

Le immagini mostrano la formazione di radici da assi secondari, in cui sono evidenti le tracce del ramo laterale e i complessi traccia. In particolare, l'immagine n° 8 mostra un notevole sviluppo del complesso traccia (visto in sezione trasversale) con sviluppo dell'asse della radice laterale. La ramificazione cospicua del complesso traccia nella parte distale (a destra) continua in sezioni adiacenti. Le proiezioni del complesso traccia verso il centro dell'asse parentale sono disposte in modo che le parti più periferiche del complesso traccia si leghino ai più giovani strati di xilema secondario. Il complesso traccia è inserito per buona parte all'interno del floema secondario dell'asse parentale. La foto n°9 mostra una sezione trasversale di radice di erba medica con attaccamento di nuove tracce alla periferia dello xilema secondario dell'asse dei parentale. Nel particolare n°10 sono evidenti due gruppi di radici laterali sulla superficie della radice parentale. Nella 11. Radici ramificate sulla superficie della radice parentale di erba medica. Nella 12: radici laterali in gruppo sulla superficie della radice parentale di dente di leone. Foto 13: sezione trasversale della corona in *Vicia sativa*, con xilema primario esarca incorporato in xilema secondario; i tre poli protoxylema sono indicati da frecce. Foto n°14: Sezione trasversale di un settore della radice parentale, in cui è indicata la traccia 1 che penetra verso il centro dell'asse, e la traccia 2 alla periferia. Le frecce indicano il termine distale delle tracce, come confermato nelle sezioni. Immagine n°15: gruppo di tracce in sezione trasversale dell'asse parentale di dente di leone; sono evidenti i diversi gradi di tensione accumulata; gli elementi xilematici della traccia in alto nella foto sono intatti, mentre quelle nella traccia diretta in basso a destra nella foto sono in gran parte distrutte. Quest'ultima traccia serviva una radice, e la distruzione della traccia non veniva compensata con l'aggiunta di nuovi elementi xilematici. Immagine n°16: traccia complessa

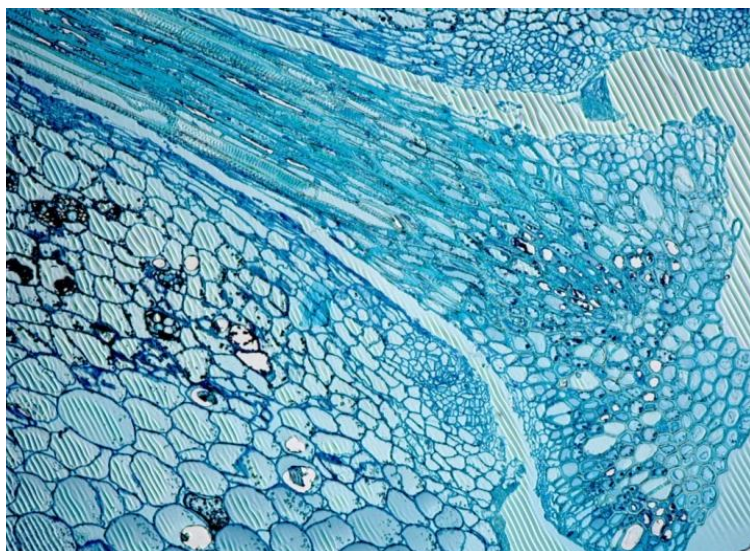
nella sezione tangenziale dell'asse parentale di Pastinaca, che mostra disposti a raggiera gli elementi tracheali e i tessuti circostanti. È presente un sistema rudimentale di raggi (frecce). Le sezioni seriali verso l'interno mostrano che i settori dello xilema si dipartono come unità che si collegano a vari strati di xilema secondario dell'asse parentale. Immagine n° 17: aumento della traccia nella sezione tangenziale dell'asse parentale. L'organizzazione dei tessuti traccia è simile a quella in figura. 16. In questa sezione i segmenti della traccia xilematica si legano a diversi strati di xilema secondario dell'asse parentale.

La radice avventizia reiterata sul callo di abscissione di una precedente radice può diventare persistente e legnosa; le radici avventizie svolgono un ruolo importante per il sostegno, la sostituzione e ampliamento di radici fini nel suolo. Pritehard e Roger (2000) sottolineano l'importanza di radici laterali nella dinamica della popolazione delle radici.

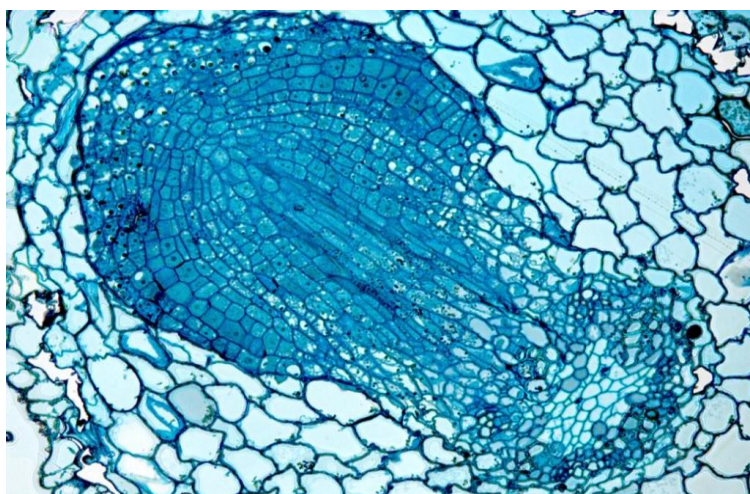
**In genere i fattori ambientali stimolano la reiterazione e sono influenzati dai processi termici, disponibilità di nutrienti, stress salini, stress da pascolo, e dalla concentrazione di CO<sub>2</sub> ( Snapp e Shennon, 1992; Smucker, 1993; Fahay e Hughes, 1994; Dawson Greystom e Paterson, 2000; Eissenstat, Pozzi e Yanai, 2000; Gill e Jackson, 2000; Narby e Jackson, 2000; Pritehard e Roger, 2000). I meccanismi cellulari alla base della produzione di radici laterali rispondono a fattori ambientali (Pritehar e Roger, 2000). Chiaramente i fattori che influenzano invece la crescita sono fattori ormonali, che risentono delle disponibilità di risorse. Va osservato inoltre che la rigenerazione e l'estensione della massa radicale non richiedono cambiamenti catastrofici, né la perdita di radici.**

**E' chiaro però che situazioni che consentono o provocano la formazione di radici laterali devono essere diffuse nel suolo. La crescita di nuove radici avviene a spese della fitness degli apparati radicali, e la risposta qualitativa e quantitativa dipende dalle riserve della pianta. Una radice accidentale può diventare persistente e consentire alla pianta di ristrutturare il proprio apparato radicale.**

**Conclusioni.** Concludendo, la capacità di reiterazione di radici laterali è presente e diffusa; la si può considerare una capacità innata della pianta. La radice reiterata avventizia può diventare persistente e legnosa, svolgendo un ruolo importante per l'ampliamento e la sostituzione delle radici idrotropiche nel suolo. La persistenza delle radici reiterate è legata alla permanenza nella rizosfera delle condizioni ottimali.



Magnolia grandiflora: emissione di una nuova radice da una radice ramificata dal tessuto secondario su traccia di abscissione di radice laterale (L. Strazzabosco, J. Franchin).



Primordio radicale non ancora emerso con origine nel cambio vascolare (L. Strazzabosco, J. Franchin).



Segmento di radice con rigenerazione radicale in risposta all'ossigenazione; i primordi radicali si originano da ferite di abscissione di precedenti radici assorbenti (L. Strazzabosco).

## 6.7 NEL CONTESTO URBANO

Le piante inserite in ambito urbano, pur potendo riconoscere all'interno di queste situazioni anche molto diverse, sono esposte in genere a condizioni che predispongono le piante stesse a problemi più o meno gravi (cause predisponenti). Ne vediamo di seguito le più diffuse:

- presenza di suoli inadatti
- compattamento
- ristagni idrici
- concorrenza esercitata dal prato o da altre piante sottostanti la chioma
- impianti troppo fitti (sesti di impianto inadeguati)
- impianti monospecifici

Queste situazioni inducono negli anni anche al manifestarsi di altri problemi tipici, che vanno ulteriormente ad aggravare la situazione, conosciuti come “**stanchezza del terreno**” o **declino del suolo**; a tale argomento verrà dedicato il successivo capitolo.

Analizzando le varie voci, potremmo attribuire al compattamento del suolo queste diverse cause:

- Presenza di suoli inadatti (per granulometria, struttura, carenza di sostanza organica e di colloidali minerali e organici)
- Azione battente delle piogge
- Calpestio (da persone, animali, mezzi di trasporto e macchine)
- Vibrazioni causate dal traffico
- Danni da cantieri (frequenti).

Il compattamento del suolo si verifica con una certa frequenza, comportando la riduzione della macroporosità. La pianta reagisce in genere con:

- Lenticellosi
- Perdita delle radici fini
- Aumento della predisposizione ai marciumi radicali.

La diminuzione della quantità di aria nel suolo, a seguito di compattamento o costipamento, comporta una diminuzione della capacità di espansione delle radici, la degenerazione degli apici radicali micorrizzati e la progressiva perdita delle radici fini, fino all'asfissia radicale. Tali condizioni si rivelano spesso cause predisponenti o scatenanti l'aggressione da parte di parassiti di debolezza.

Il ristagno idrico, a sua volta è conseguenza di condizioni fisiche inadeguate del suolo (e/o del sottosuolo) interessato dall'apparato radicale della pianta. Il terreno permane per lungo periodo saturo di acqua, con progressiva diminuzione dell'ossigeno e accumulo di CO<sub>2</sub>. Quando la concentrazione di ossigeno scende al di sotto del 12% si assiste dapprima ad un arresto dello

sviluppo radicale; con valori inferiori al 10% si verificano danni alle radici. Al di sotto del 3% i simbionti micorrizici cessano di crescere e vengono devitalizzati.

La permanenza di condizioni di eccesso idrico può manifestarsi anche “esternamente”, con sintomi che appaiono sulla chioma, quali la clorosi diffusa, anomalie nell’accrescimento e filloptosi anticipata. Il ristagno idrico causa una maggiore predisposizione ai marciumi radicali.

## 6.8 CONDIZIONI CHE FAVORISCONO LA “RIGENERAZIONE” DELLE RADICI

Appurato che la pianta possiede innate le capacità di “rigenerare” gli apparati radicali, diviene fondamentale individuare quali siano le condizioni necessarie o quelle meglio predisponenti a tale attività. In particolare, le domande a cui vorremmo risposta riguardano:

- Il periodo più adatto per effettuare una “rigenerazione” delle radici;
- Se l’ossigenazione è effettivamente la condizione necessaria alla “rigenerazione”;
- Come e quanto le condizioni energetiche della pianta influiscono sulla “rigenerazione”.

### 6.8.1 Il periodo più adatto alla “rigenerazione” delle radici

Studi effettuati dal Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF) dell’Università di Padova presso l’Orto Botanico di Padova, (Prof. re Sergio Mutto Accordi) hanno evidenziato che la maggiore crescita dell’apparato radicale avviene alla fine dell’estate (agosto-settembre). La reiterazione radicale in risposta all’ossigenazione, che si verifica su assi laterali in struttura primaria e su assi parentali in struttura secondaria, non sembra invece risentire più di tanto della stagionalità, avendo dimostrato differenze poco apprezzabili nelle prove effettuate in diversi periodi dell’anno.

### 6.8.2 L’ossigenazione

L’ossigenazione appare di forte stimolo alla reiterazione radicale di un albero, per quanto sia comunque legata alle sue riserve metaboliche. Negli interventi eseguiti nell’intento di stimolare la “rigenerazione” radicale su piante secolari, l’ossigenazione è conseguente alla lavorazione, oppure alla rimozione e sostituzione di strati o volumi più o meno significativi di terreno interessato dalle radici; operazioni che comportano inevitabilmente lesioni o traumi al sistema radicale. Ben sapendo che anche la potatura delle radici stimola la risposta rigenerativa radicale, c’è da chiedersi: è davvero l’ossigenazione in sé a scatenare la rigenerazione, o è piuttosto un insieme di cause? O, addirittura: sono altre le vere cause, come ad esempio la sostituzione del terreno, la potatura, le ferite e i traumi, ecc.?

In precedenza si è infatti accennato al fatto che gli alberi reagiscono a condizioni di ipossia conseguenti a ristagno idrico, con produzione di nuove radici; questo potrebbe suscitare qualche dubbio in proposito.

A fugare tale incertezza è valsa la prova eseguita nel maggio 2012 (L. Strazzabosco e G. Nalin), in cui si è valutata la risposta “rigenerativa” su porzioni di radice di magnolia poste a radicare in assenza di ossigeno. L’esito, ovviamente atteso, ha confermato la giusta opinione che in **assenza**

**di ossigeno non avviene riscontro rigenerativo da parte delle radici.** Ma di questa e delle altre prove eseguite dal sottoscritto, con la supervisione e collaborazione del dott. Strazzabosco, si darà ampio spazio nei capitoli successivi.

Altri parametri e altre condizioni hanno sicuramente influenza diretta o indiretta sulla capacità da parte della pianta di generare un nuovo sistema assorbente. Tra queste vi sono le condizioni energetiche della pianta stessa. E a questo proposito, indagini e prove sperimentali sono ancora in corso presso il dipartimento TeSAF con il dott. Luigi Strazzabosco e collaboratori, e la direzione del prof. Sergio Mutto Accordi.

Resta però ancora un aspetto da chiarire, che rappresenta un punto chiave della questione, e che introduco con la seguente domanda: **ma perché, pur esistendo nella pianta la capacità di rigenerare le radici, tal evento spesso non si verifica?**

Una risposta convincente la fornisce il prof. Franco Zucconi, attraverso le importanti ricerche condotte sul declino del suolo e la stanchezza del terreno.



Giardino Giusti - Verona

## 7 GLI ALBERI SECOLARI, IL DECLINO DEL SUOLO E LA STANCHEZZA DEL TERRENO

(Contenuti desunti da: *Declino del suolo e stanchezza del terreno*, F. Zucconi - Pitagora Ed., Bologna)

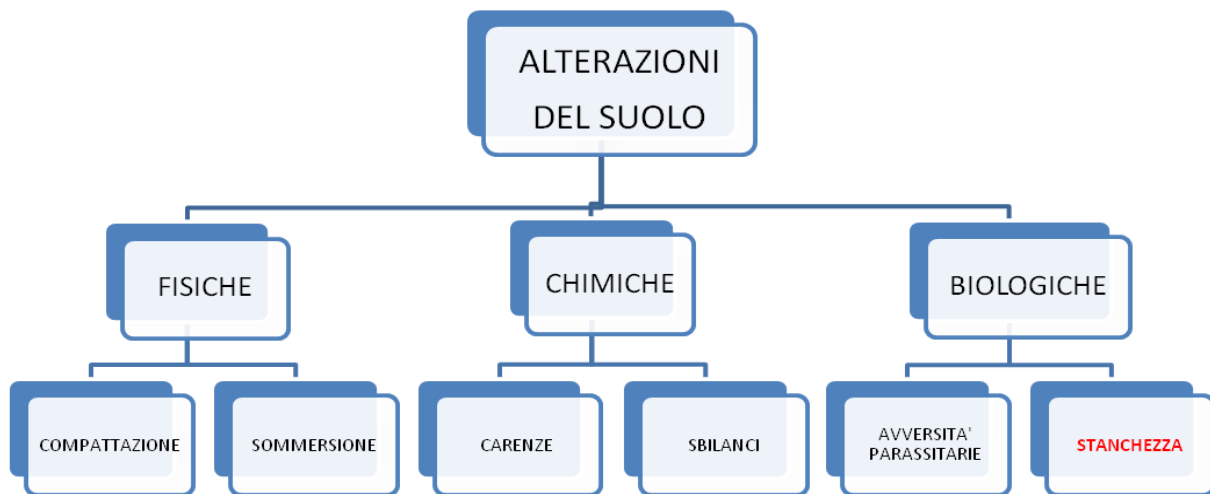
Questo capitolo è dedicato ad aspetti spesso ignorati o sottovalutati, ma purtroppo cruciali per la vita della pianta arborea. La pubblicazione del prof. Zucconi, relativa al problema conosciuto più o meno propriamente come “stanchezza del terreno”, propone concetti che ritengo fondamentali per comprendere correttamente i fenomeni e i problemi che riguardano le piante annose. Di seguito, quindi, ne propongo alcuni contenuti significativi che vi ho “estratto”.

Soprattutto in ambiente urbano i problemi più frequenti “al piede” e negli strati interessati dalle radici degli alberi riguardano le cattive condizioni fisico-meccaniche del suolo, dovute a compattazione, a ristagno idrico, impermeabilizzazione dello strato superficiale (asfaltatura, pavimentazione, cementificazione ...); ma anche aspetti chimici e biologici, come la presenza di sostanze inquinanti, l’impoverimento di sostanza organica, di flora microbica e di nutrienti. Ma per le piante annose, anche in contesti più favorevoli, si assiste comunque ad un progressivo **degrado del suolo**, più spesso conosciuto come “**stanchezza del terreno**”.



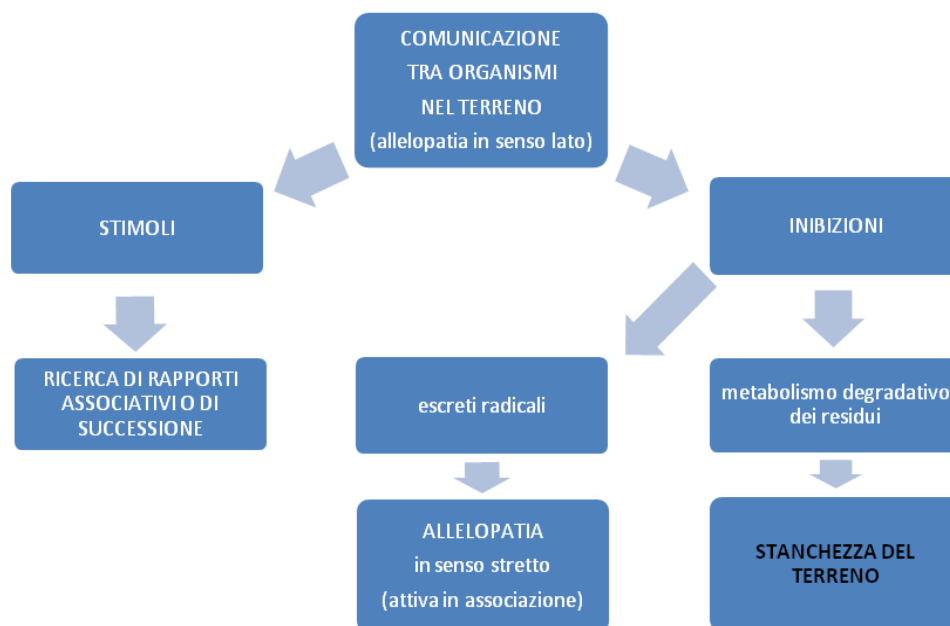
*Carpinus betulus* plurisecolare (Parc de Château de Cheverny -F-).

In realtà la stanchezza del terreno è solamente parte di una più generale alterazione del suolo, che può manifestarsi o meno sulla pianta, e che implica eventi diversi e non necessariamente correlati.

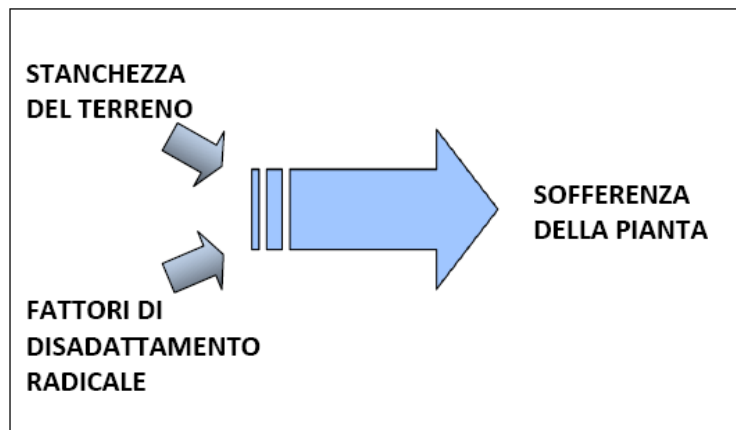


(da Zucconi - Brunzini 1996, modificata).

La stanchezza del terreno è componente di un più globale sistema di comunicazione allelopatica tra organismi, e rappresenta una condizione di inospitalità del terreno correlata all'accumulo di residui della pianta.



(Da: Zucconi - Brunzini - '96, modificata)



(Da: Zucconi - Brunzini - '96, modificata)

L'esistenza di stanchezza del terreno rappresenta una condizione necessaria ma non sufficiente affinché la pianta ne soffra; quando ciò avviene è per il concorso di fattori di disadattamento radicale (Zucconi, 2001).

## 7.1 CONDIZIONI DEL TERRENO SEMPRE DIVERSE

L'apparato radicale è comunque un sistema tutt'altro che statico e indifferenziato: è caratterizzato piuttosto da complessità, plasticità e dinamicità ben maggiori a quella dell'apparato epigeo della pianta.

L'assorbimento radicale esaurisce rapidamente gli elementi nutrizionali disponibili, riducendo l'utilizzabilità del substrato. Gli elementi nutritivi si diffondono ad una velocità inferiore a quella dell'assorbimento radicale, per cui le radici si devono muovere incessantemente alla loro ricerca; da qui la formazione di nuove radici assorbenti, e l'abbandono di quelle obsolete.

Le condizioni del terreno sono sempre diverse, fisicamente e chimicamente (stratificazioni, matrice pedologica, posizione della falda e umidità, contenuto di nutrienti, di ossigeno e CO<sub>2</sub>, ecc.), con continue variazioni nello spazio e nel tempo.

UNA SIMILE VARIABILITA' AMBIENTALE RICHIEDE QUINDI UNA DIFFERENZIAZIONE CONTINUA DELLE CARATTERISTICHE E DEL FUNZIONAMENTO DELLE RADICI, PERCHE' ESSE POSSANO RISULTARE EFFICIENTI (...). (Zucconi 2003).

### 7.1.1 Sostanze allelopatiche

Una componente fondamentale della difformità del terreno è la presenza di sostanze allelopatiche, responsabili delle relazioni tra radici, e capaci di influenzarne l'organizzazione territoriale e la ricerca di substrati. Queste sostanze influenzano anche il controllo dei patogeni e dei parassiti, la divisione dei territori tra diverse specie e loro rizocenosi (...); infine, le allelopatie permettono di ricordarci alla stessa stanchezza del terreno, che ne rappresenta un caso particolare, associato ai cambiamenti biomici indotti nel terreno dal processo colturale.

### 7.1.2 Il “saldo energetico” della pianta

Va tenuto conto però che il rinnovo radicale è un processo dispendioso. Tutto ciò si traduce in un costo energetico per la pianta. A sua volta “il rinnovo invecchia il suolo”, generando distrofia per la radice e aumentando l’esigenza di terreno nuovo in cui “operare”.

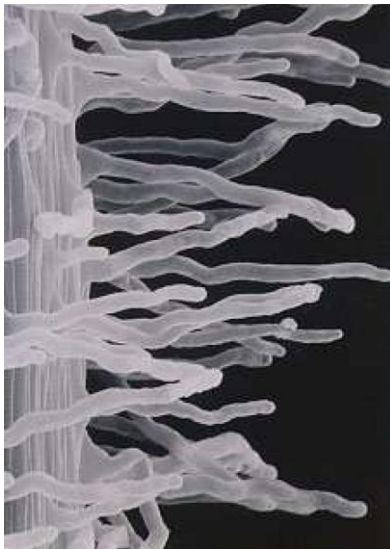
## 7.2 TIPI DI RADICE

L’apparato radicale presenta una differenziazione morfologica motivata dalle diverse attività che nell’insieme svolge: assimilazione, trasporto e sostegno.

Possiamo così distinguere più tipi di radici, che Zucconi (2003) così denomina:

- **radici assorbenti**, responsabili dell’acquisizione e dell’assimilazione dei nutrienti;
- **radici esploratrici**, con il compito di individuare nuovi spazi in cui poter assorbire;
- **radici portanti**, che raccordano le estremità assorbenti tra loro (radici di supporto) e con la chioma (radici scheletriche), sostenendo la pianta.

### Le radici assorbenti



Hanno un ruolo paragonabile a quello delle foglie rispetto a rami e branche, dovendo posizionare le superfici attive in modo efficace e in relazione all’ambiente. È doveroso ricordare che il capillizio radicale si deve sviluppare in un mezzo solido microporoso, che ne condiziona la geometria.



Radici portanti superficiali, messe a nudo durante un intervento di rigenerazione, mediante un getto di aria compressa (*air spade*).

**Le radici esploratrici.** Spesse circa 2 mm, e caratterizzate da rapido accrescimento, una volta individuata una nicchia di terreno favorevole ramificano rapidamente, producendo radici assorbenti. L'esaurimento delle riserve nutrizionali stimola la formazione di nuove radici, con un continuo ricambio delle reti assorbenti.

Si può quindi osservare che solo una minima parte delle radici (e della pianta) divengono permanenti; tra queste vi sono le componenti con funzione scheletrica.

Geometrie e strategie relative sono comuni tra la chioma e le radici, e prevedono la presenza di un asse centrale (fusto - fittone) che forma e controlla le strutture laterali.



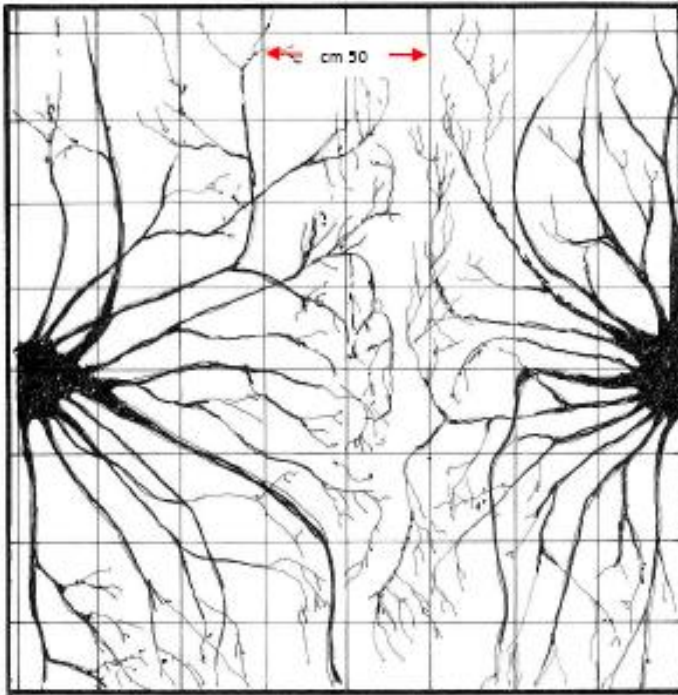
Nuove radici sviluppatasi rapidamente a seguito di ossigenazione e rinnovamento del terreno, e quindi con ripristino di condizioni favorevoli (L. Strazzabosco).

### **7.3 ASSORBIMENTO RADICALE E TERRITORIO RADICALE: ecofisiologia dell'assorbimento**

Le radici assorbenti occupano in maniera esclusiva un territorio discreto di terreno (nicchia) che possono condividere con microorganismi rizosferici, ma non con altre radici.

La delimitazione tra apparati radicali, anche in monoculture, è evidente ("fase territoriale", in cui vi è uno sfruttamento esclusivo del proprio territorio).

Il comportamento diviene particolarmente critico per le piante adulte, il cui apparato radicale si trova confinato per decenni tra spazi occupati da altre piante limitrofe.



(Da: Baldini 1976, adattato e ridisegnato).

### 7.3.1 I FAP

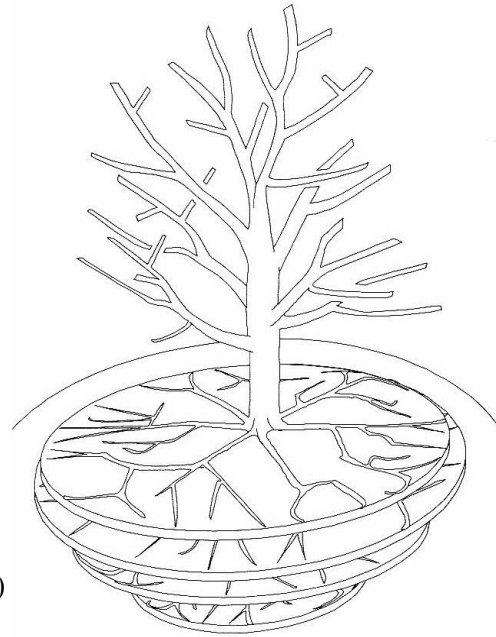
Ciò è reso possibile da una “marcatura chimica”, dovuta ad emissione di escreti radicali, capaci di segnalare ad altri organismi la presenza. Questo sistema di comunicazione allelopatica è dovuta a fattori definiti primari (Fattori Allelopatici Primari o FAP).

Ciò evita inutili competizioni e genera ordine nell’assorbimento (le competizioni tra radici per l’occupazione del substrato sono comunque intense, ma si esercitano nell’appropriazione del territorio).

Questi messaggi forniscono indicazioni per percorsi diversi, e comporta una migliore efficacia nello sfruttamento del suolo.

## 7.4 DISTRIBUZIONE DELLE RADICI

L'uso "ordinato" del suolo è dovuto ad un sistema radicale organizzato, semplice e autonomo, che massimizza l'efficienza nell'uso del terreno, evitando spazi vuoti e sovrapposizioni. Il risultato è un geometrismo architettonico (Zucconi, 2003), con distribuzione tendenzialmente lineare, radiale, monoplanare delle radici scheletriche. Tale essenzialità strutturale è capace di garantire la massima superficie assorbente con minimo supporto scheletrico.



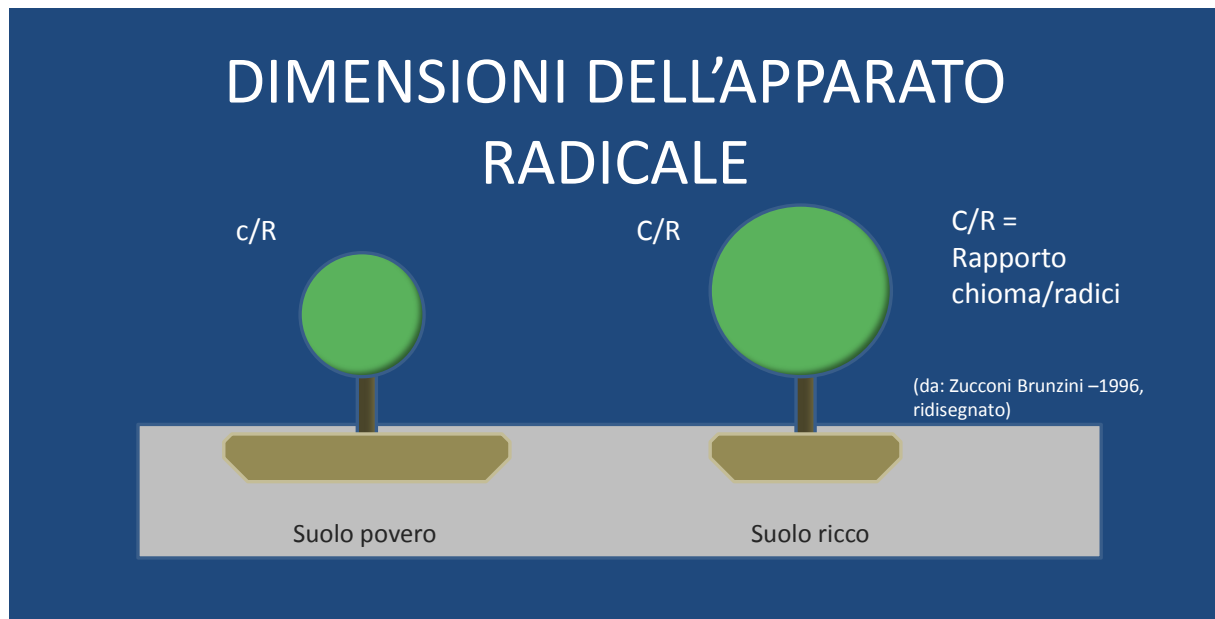
(Da: Zucconi, 2003)

### 7.4.1 Fase territoriale transitoria

Il processo di assorbimento invecchia il territorio, creando condizioni repulsive per le radici stesse, che non possono proseguire in esso attività assorbente. Per cui si assiste ad una temporaneità del "comportamento territoriale", definita "fase territoriale transitoria". Tale evento aggiunge ulteriori input al comportamento radicale.

### 7.4.2 Dimensioni dell'apparato radicale

Le dimensioni dell'apparato radicale possono variare in rapporto alle difficoltà e alle opportunità che esso incontra. Si può assistere, perciò, ad una "crescita compensativa" delle radici, per garantire una adeguata e costante funzione anche in condizioni non ottimali del suolo.



Crescita compensativa delle radici, in grado di bilanciare le disponibilità delle risorse del suolo. Ne consegue un rapporto aereo/radicale direttamente proporzionale alla fertilità (da Zucconi, 1996, ridisegnato).

### 7.4.3 Crescita delle radici

**La micro - migrazione radicale.** Quando una radice esploratrice entra in un territorio libero, vi genera una rete di capillari assorbenti. L'estensione delle superfici assorbenti consente alla pianta di assorbire i nutrienti presenti in concentrazioni limitate e in forme non sempre solubili. Da qui la necessità di una grande efficienza nell'assorbimento e di una elevata mobilità. La continua estensione dei terminali assorbenti, guidata dalla sensibilità chemiotropica della radice stessa, costituisce una millimetrica migrazione (micro - migrazione). Tale migrazione è più evidente e significativa in terreni poveri, mentre si riduce in suoli ben dotati o concimati.

La progressione migratoria è proporzionale all'assorbimento richiesto dalla chioma, ed è massimo nella pianta in crescita.

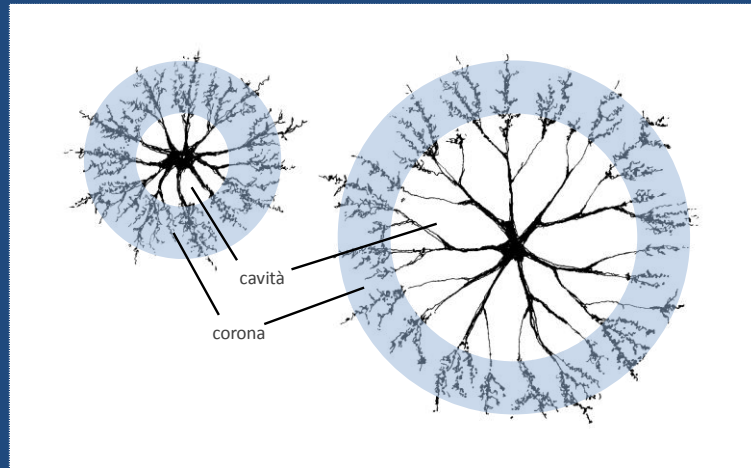
### 7.4.4 Corona e cavità radicale

La micro - migrazione conduce alla formazione di una "corona" di radici assorbenti, collegate al fusto mediante una raggiera di radici scheletriche, con distribuzione che ricorda quella della chioma. Lo stesso processo genera una cavità priva di radici assorbenti all'interno dell'apparato radicale (cavitazione). Questa progressione contribuisce a creare un ancoraggio (supporto meccanico) sempre più esteso.

Nella cavità che si viene a formare, cessato l'assorbimento radicale, un po' alla volta viene ripristinato il livello di nutrienti minerali, grazie ad equilibri di scambio e alla mineralizzazione dei residui organici. Tale rinnovata disponibilità non è però accompagnata da un ritorno dei terminali

assorbenti dell'apparato radicale medesimo, i quali continuano la loro progressione verso l'esterno. Si tratta, in definitiva, di una estensione unidirezionale (centrifuga).

## CORONA E CAVITA' RADICALE



(Da: Zucconi - Brunzini - 95, ridisegnato)

La “propulsione centrifuga” della corona risponde infatti ad una sua incompatibilità ad assorbire nei territori precedentemente utilizzati (repulsione di origine allelopatica). (Da: Zucconi - Brunzini 1995, ridisegnato).

### 7.4.5 I FAS

L'escrezione da parte della radice di vari prodotti, i residui radicali abbandonati (accumulo di residui) e la massa microbica che si sviluppa, liberano cataboliti che pervadono l'ambiente, con attività tossica per le radici (funzione allelopatica indiretta), che cresce in rapporto al loro accumulo e si esercita attraverso i prodotti del loro catabolismo, definiti Fattori Allelopatici secondari (FAS); i FAS si aggiungono agli escreti radicali (FAP) responsabili della esclusività dell'uso della nicchia.

FAP e FAS sono prodotti complementari, che si caratterizzano in fasi successive del rapporto radici/ suolo e per le loro azioni.

#### 7.4.6 Rinnovo del terreno e ricolonizzazione radicale

La presenza di FAS comporta l'inutilizzabilità del proprio territorio all'interno della cavità (inutilizzazione), invasa dai propri residui. (In effetti, nessun organismo vivente sopporta i propri residui).

N.B.: il rinnovo del terreno all'interno della cavità favorisce infatti la ri-colonizzazione da parte delle radici della pianta stessa.

La centrifugia della corona assorbente non rappresenta, dunque, una tendenza predeterminata della radice: la pianta potrebbe formare radici assorbenti in qualunque territorio, purché favorevole.



Formazione di nuove radici, all'interno della cavità radicale, a seguito della asportazione del terreno e della sostituzione con substrato poroso.

**N.B. il termine “rigenerazione” radicale (a volte usato) è improprio: come già ricordato, la pianta, come tutti i vegetali, non è in grado di rigenerare, ma di generare nuove radici.**

#### 7.4.7 Macromigrazione radicale

Radici esploratrici attraversano distanze più o meno grandi per superare i territori occupati da altre radici, senza assorbire in essi. Ciò richiede energia e “potenzialità rigenerativa”.

In natura la pianta manifesta una condizione fisiologica di giovanilità e di esplorazione del territorio. La trasmigrazione (o macro-trasmigrazione radicale) termina quando incontra una nicchia favorevole.

#### 7.4.8 Uso circolare della nicchia

In seguito all'abbandono, la nicchia può venire ricolonizzata da altre specie (compatibili); ma sarà una occupazione temporanea, con successivo abbandono, e una nuova colonizzazione da parte di altre specie a loro volta compatibili. Si assiste, insomma, ad una successione di colonizzazioni e

abbandoni, cioè ad un uso sequenziale della nicchia, conferendo al territorio radicale caratteristiche allelopatiche sempre diverse. Questo, ovviamente, potrà avvenire in un ambiente naturale, o in condizioni in cui possa assumere caratteristiche prossime a quelle presenti in natura (es. parco paesaggistico con elevata biodiversità).

#### 7.4.9 Impatto dell'uso circolare della nicchia

Il ritorno ciclico di una specie nella stessa nicchia significa che ciclicamente vi sono disponibili territori sempre nuovi nel raggio dell'apparato radicale, con possibilità di ricambio radicale anche in piante mature; ciò spiega la longevità di piante collocate in cenosi naturali, e anche il rapido declino delle monocolture o delle piante inserite in spazi troppo limitati.

**Una elevata umificazione riduce l'effetto marcante e quello tossico dei residui.**

In presenza di una elevata diversità vegetale esiste anche una maggiore varietà saprofitica, capace di accelerare e migliorare i processi di umificazione.

#### 7.4.10 Forma e attività dell'apparato radicale

In condizioni naturali si ha lo sviluppo di un apparato radicale esteso e disperso. In condizioni artificiali, invece, è più facile la formazione del "vaso allelopatico", con assenza di macro-trasmigrazioni radicali ("fitotipo agrario").

#### 7.4.11 Maturità riproduttiva e arresto dell'espansione radicale (residenzialità radicale).

E' un comportamento passivo da parte delle radici delle piante mature, confinate all'interno di spazi definiti, non potendosi muovere se non limitatamente. (In questo modo si riduce anche il livello di tossine prodotte).

	PIANTA		
	GIOVANE	RIPRODUTTIVA	INSENILENTE
COMPORAMENTO RADICALE	Territorialità transitoria ↕ ↕ trasmigrazione	Residenzialità con ridotto ricambio	Ricambio insufficiente anche alla residenzialità
ASSORBIMENTO PREVALENTE	intercettazione	Flusso idrico di massa	Diffusione e flusso ionico di massa
DISPONIBILITA' DEL FATTORE AEREO	Molto elevata	Ridotta	Molto ridotta

(da Zucconi - Brunzini - 1996, ridisegnata.)

#### 7.4.12 Origine del rapporto allopatico

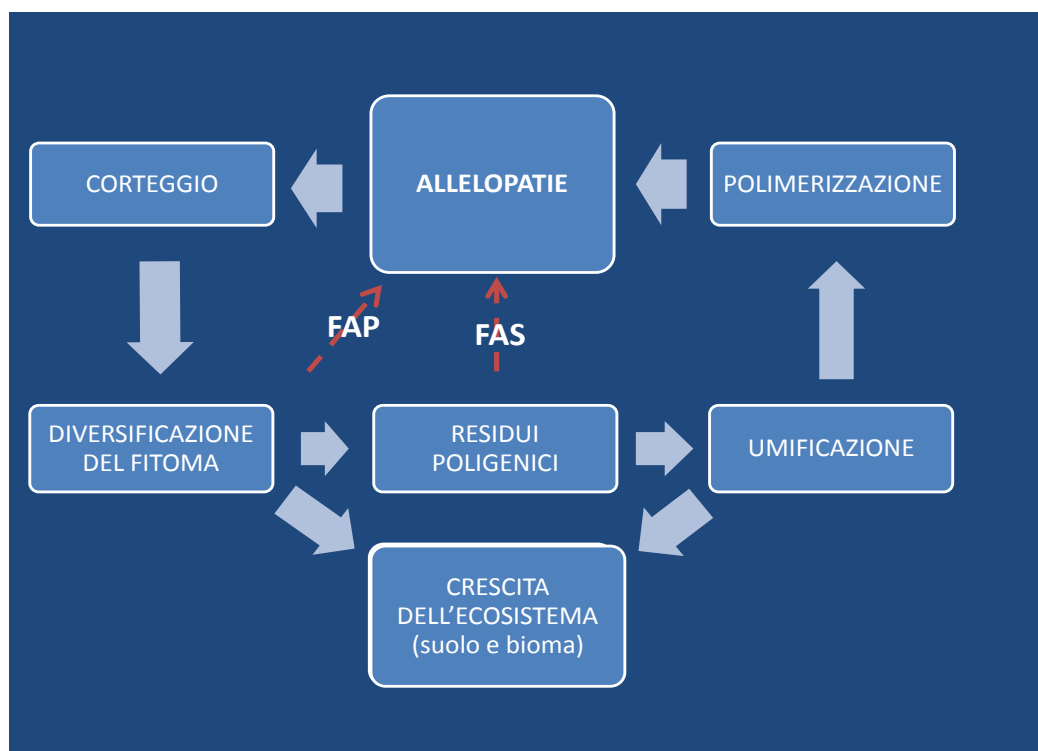
L'allelopatia è un meccanismo di relazione tra organismi basato sullo scambio di segnali chimici (sostanze chimiche o allelosostanze), che costituisce un sistema di comunicazione e organizzazione del bioma. Ne deriva un sistema comunicativo che ciascun organismo è in grado di interpretare, riconoscendo tramite i segnali la propria posizione e quella degli altri organismi, e la correlabilità delle funzioni reciproche.

Ciascun organismo cambia comportamento in rapporto alle condizioni che percepisce dagli altri, e a seguito di ciò varia anche i messaggi che emette, inserendosi nella dinamica globale di un sistema capace di uno sviluppo integrato di funzioni correlative.

I microorganismi tellurici sono parte integrante di questo sistema di comunicazione, in cui si inseriscono comportandosi in accordo ai segnali della pianta ed emettendone essi stessi (es. FAS).

#### 7.4.13 Organizzazione del bioma e omeostasi dell'ecosistema

L'esistenza contemporanea di eupatie e di dispatie organizza il corteggio (l'associazione delle cenosi). Questo avvantaggia l'umificazione, che è favorita dalla diversità della provenienza dei residui, e permette al processo complessivo di raggiungere un livello avanzato di organizzazione omeostatica, con stabilità per l'intero sistema.



(Da: Zucconi - Brunzini, 1996, ridisegnato)

## 7.5 LA REALTA' URBANA



Spesso però la pianta è inserita in un contesto artificiale o “artificioso” (qualora si cercasse di ricreare, almeno apparentemente e parzialmente, condizioni “ispirate” a quelle naturali). Tali presupposti sono comunque distanti da quelli di un suolo naturale. Nel caso, ad esempio, degli alberi dei viali, essi possono essere considerati quasi sempre alla stregua di **monocolture a ciclo medio - lungo**. A differenza delle colture agrarie, però, non godono delle ordinarie cure agronomico-colturali.

## 7.6 MANIFESTAZIONI DELLA STANCHEZZA SULLA PIANTA

Nella pianta i sintomi possono essere osservati a livello della chioma e a livello delle radici.

- **Parte aerea:** sviluppo stentato al germogliamento, ritardo nella crescita, scarsa ramificazione e irregolarità. A questi si possono aggiungere: scolorimenti delle foglie, con manifestazione di carenze non specifiche (Savory, 1967). Inoltre: ritmi di crescita delle piante inferiori alle norme, ciclo vegetativo più breve, filloptosi precoce.
- **Parte radicale:** imbrunimenti diffusi delle radici assorbenti (nei casi più lievi), fino a perdita di intere reti radicali. La morte dei terminali radicali determina una crisi nell'assorbimento (distrofia) che spiega i sintomi della parte aerea e di altre manifestazioni tipiche della stanchezza (disidratazione e avvizzimento dei germogli, necrosi marginali nelle foglie e generale arresto dello sviluppo).

N.B.: la pianta reagisce alla perdita di tessuti assorbenti concentrando le proprie energie nella ricostruzione dell'apparato radicale e nel renderlo più resistente.

Il nuovo apparato radicale mostra radici più spesse e poco ramificate (Rainaldi e Zucconi, 1967), intermedie tra assorbenti e trasmigratrici. In tutti i casi la pianta forma radici “esploratrici” capaci di crescere rapidamente, trasmigrando alla ricerca di territori favorevoli.

I comportamenti della radice in un suolo stanco sono relativamente comuni a tutte quelle situazioni in cui l'elasticità del substrato impedisce un normale insediamento radicale, inclusa l'asfissia, la compattazione del suolo o la salinità.

## **7.7 METODI DI PREVENZIONE E RECUPERO DELLA STANCHEZZA**

La stanchezza va quindi considerata come un segnale, capace di indicare la perdita di certi equilibri biologici minimali, e l'esigenza di evitare che proceda verso maggiore degrado. In particolare, quando si tratta di una coltura monospecifica (es. filare), la differenza da una vegetazione differenziata e cenosica è notevole, perdendo tutti i vantaggi che in un ecosistema naturale si avrebbero, in termini di autonomia, equilibri e livello di risorse. La monocoltura, in particolare, altera il rapporto fra radice e microflora, e cambia il ciclo della sostanza organica e il suo equilibrio biologico basato sull'umificazione e sull'humus.

In queste condizioni le manifestazioni di distrofia radicale che accompagnano le prime fasi della stanchezza rappresentano un indicatore importante delle condizioni metaboliche e biologiche esistenti nel terreno. Ma questi sono anche segnali di una condizione che precede fenomeni di declino maggiori, legati all'espansione di patogeni e parassiti. Tale evoluzione se non arrestata, può progredire divenendo gradualmente più complessa e difficile da controllare e da recuperare.

In considerazione della natura del problema, il contrasto della stanchezza può essere operato su tre fondamentali livelli:

1. Impedendo l'insediamento della stanchezza, mantenendo elevati gli equilibri biologici nel terreno attraverso specifici programmi di prevenzione.
2. Cercando di recuperare un adeguato livello di equilibrio, qualora la stanchezza si fosse insediata, attraverso specifiche cure al terreno;
3. Intervendendo sulla pianta, in modo da facilitare l'adattamento radicale ad un ambiente meno favorevole.

Gli interventi relativi ai tre livelli richiedono mezzi diversi e producono impatti ecologici differenti.

### **7.7.1 I programmi di prevenzione**

Secondo Zucconi (2003) il fattore che appare di gran lunga più determinante nella prevenzione dei fenomeni di decadimento e stanchezza del suolo è la presenza di humus e dei processi di umificazione. Humus e umificazione garantiscono elevati livelli di risorse che conferiscono alla pianta un cospicuo margine di autonomia e di sostenibilità al sistema. Nella pratica si tratta di programmare la presenza di adeguati volumi di sostanza organica al suolo, mediante apporti esterni di ammendanti, assicurando le condizioni necessarie a garantire l'efficienza umificativa della sostanza organica. Ciò include la presenza di condizioni di microaerobiosi nel terreno, un substrato organico differenziato (poligenico) e una flora varia (cenotrofica), capace di attività efficiente.

Tra le condizioni necessarie a garantire la decomposizione dei residui organici, nonché della sostanza organica eventualmente apportata, l'aerobiosi rappresenta la condizione spesso limitante, ma imprescindibile. Essa condiziona infatti le cenosi saprofitiche e un elevato grado di umificazione dei prodotti della decomposizione in humus. Il raggiungimento di adeguate condizioni di aerobiosi si ottiene ottimizzando la porosità del terreno e migliorandone la struttura per uno spessore adeguato. L'intervento delle lavorazioni è comunque considerato poco economico e non sempre praticabile, perciò da limitare a situazioni specifiche e contingenti (es. necessità di interrimento di sostanza organica, concimazioni di fondo, rimescolamento degli strati di terreno).

La struttura, ovvero lo stato di aggregazione delle particelle di terreno, è una condizione dinamica, che risente positivamente della presenza di humus (colloidi organici) e di microfauna (lombrichi, ecc.). In definitiva, l'arricchimento organico del suolo rappresenta la soluzione che permette di raggiungere maggiori benefici. Il livello di humus non dovrebbe scendere per questo al di sotto del 3-5%, sia in suoli sabbiosi che argillosi.

Anche le lavorazioni esercitano un effetto migliorativo in merito alla struttura, elevando temporaneamente la porosità, in particolare le macroporosità, anche se favorisce in questo caso il consumo di humus. Perciò le lavorazioni andrebbero abbinate agli apporti di sostanza organica, per non favorirne l'impoverimento.

Un altro aspetto legato all'impoverimento generalizzato del suolo attorno all'albero è l'erosione superficiale, dovuta al ruscellamento e al vento. Nei terreni nudi tali eventi hanno maggiore incidenza, contribuendo a rendere instabile il suolo ed esponendolo maggiormente.

Non va trascurata poi l'opportunità di mantenere a livello radicale un buon "franco di coltivazione", ovvero uno spessore relativamente elevato di suolo in cui possa penetrare e diffondersi l'ossigeno. Se ne avvantaggiano l'espansione radicale e l'attività umificatoria. (La verifica delle condizioni "al piede" delle piante arboree ha anche questo obiettivo, cioè di rilevare eventuali problemi di ristagno idrico o di falda troppo superficiale). All'occorrenza si può intervenire con drenaggi, canalizzazioni o semplicemente ripristinando l'assetto idrico originario; il deterioramento dell'assetto idrico è un evento che si riscontra purtroppo sovente in vecchi parchi, a seguito della trascuratezza o dell'abbandono.

**Commenti.** Quanto rilevato da Zucconi, e qui riassunto in maniera forse troppo sintetica e schematica, va a confermare acquisizioni e convinzioni che costituiscono la base da cui partire negli interventi di recupero e di gestione degli esemplari arborei vetusti. L'impiego di ammendanti e di sostanza organica, di sistemi di protezione della superficie del terreno (pacciamatura), e prima ancora, il ripristino dell'assetto idraulico del suolo interessato e le lavorazioni, fanno parte delle tecniche che normalmente si adottano o si dovrebbero adottare. Di questo e di altre pratiche, utili nel recupero di esemplari arborei sarà trattato in un apposito capitolo.



Intervento di rimozione dello strato superficiale del terreno mediante getto d'aria supersonico (*air spade*) per consentirne l'ossigenazione e la sostituzione con substrato apposito (in genere a base di terricciati di torba ed argilla espansa).



Sostituzione del terreno asportato con substrato poroso (*Agrileca*), dopo avere provveduto ad eventuali disinfezioni e cure.

## 8 LE PROVE CONDOTTE SULLA FORMAZIONE DI NUOVE RADICI

Dai precedenti capitoli, e dall'ultimo in particolare, si comprende come gli interventi atti a stimolare la formazione di nuove radici su piante "senescenti" non abbiano significato se non sono preventivamente rimosse le cause che stanno alla base del decadimento del suolo e quindi delle difficoltà della pianta (cause predisponenti). Se in un suolo forestale le condizioni possono mantenersi accettabili, in virtù della complessità ecosistemica e delle condizioni che favoriscono il mantenimento di un livello sufficiente di humus, non si può dire altrettanto per una buona parte dei luoghi in cui sono presenti piante monumentali.

Il ripristino delle condizioni favorevoli a livello radicale, comporta interventi particolari, di cui si è già fatta in parte menzione.

**Le prove condotte dal sottoscritto, presso il dipartimento TeSAF dell'Università di Padova hanno voluto accertare che la reiterazione radicale possa avvenire avvalendosi della naturale predisposizione da parte delle radici in accrescimento secondario, stabilendo quali realmente siano le condizioni predisponenti e quali quelle necessarie.**

### 8.1 FORMAZIONE DELLA STRUTTURA ARBOREA E "MODELLO DELLA PIANTA A TUBI"

L'albero si forma per accrescimento della struttura secondaria, mediante apposizione annuale di materiale prodotto dal cambio; si ottiene in questo modo un accrescimento ipsometrico (allungamento) ed un accrescimento diametrico, osservabile negli anelli annuali di accrescimento. Questo accrescimento è in parte regolato geneticamente e in parte determinato dalle condizioni morfo-strutturali dell'albero, oltre che dalle condizioni ambientali.

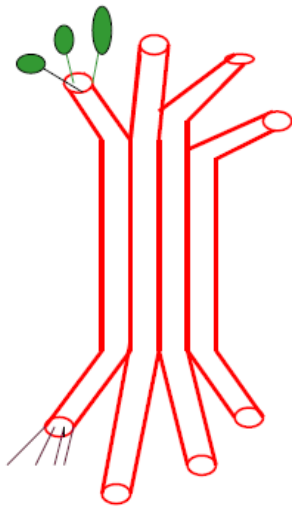
Vi sono diverse teorie a proposito di accrescimento, di cui 3 principali:

- *Needle mass theory* (accrescimento biometricamente condizionato);
- *Constant stress theory* (accrescimento meccanicamente condizionato);
- *Pipe model theory* (accrescimento idraulicamente condizionato).

Quest'ultimo modello, che potremmo tradurre "modello della pianta a tubi" e proposto nel 1967 da Shinozaki, ci viene in soccorso nel giustificare gli interventi di ripristino della funzionalità radicale. Prima di descrivere le fasi della prova se ne illustrano brevemente i principi.

## “Pipe model”

(Shinozaki et al. 1964)

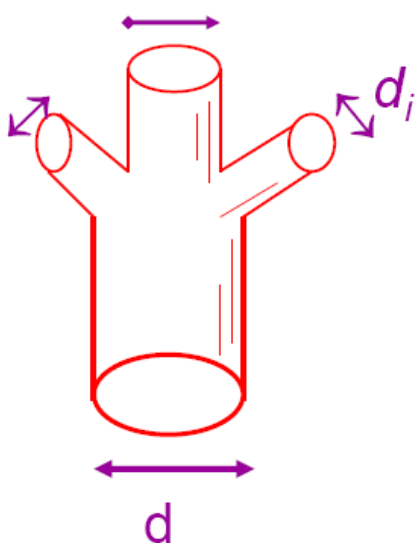


Secondo il modello della “pianta a tubi” (*Unit pipe model of plant form*) l’albero è visto come un insieme di unità elementari a forma di tubo, ognuna delle quali sostiene una unità di foglie (Shinozaky et al.1964).

Secondo questo modello una pianta può permettersi una certa massa di foglie a patto di avere sistemi di assorbimento e di conduzione adeguati.

In pratica, se si vogliono ripristinare le condizioni di salute e benessere di una pianta “in difficoltà”, è dalle radici che occorre cominciare.

Rimanendo al modello della pianta a tubi, è interessante considerare una regola importante, che riguarda il rapporto tra le sezioni delle ramificazioni rispetto al fusto; tale regola (risalente ancora agli studi di Leonardo da Vinci) può così tradursi: nelle ramificazioni la sommatoria dei quadrati delle sezioni di ogni ramificazione deve essere pari al quadrato del diametro della sezione originaria (“invarianza della sezione piatta”):  $d^2 = \sum d_i^2$



$$d^2 = \sum d_i^2$$

Regola di Leonardo

(Leonardo da Vinci, 1452 -1519)

Questo rapporto è garanzia di efficienza del sistema di conduzione.

A proposito del concetto di “*optimal adjustment*”, ossia di permanenza in uno status fisiologico ottimale durante la crescita (di cui si è parlato nel precedente capitolo 5), si è detto che tale condizione si realizza con modificazioni strutturali del sistema di conduzione (rastremazione degli elementi di conduzione), così da mantenere una conduttanza fogliare specifica praticamente costante. Gli alberi, man mano che aumentano le proprie dimensioni, manterrebbero così una struttura di trasporto dell’acqua sempre ottimale.

## **8.2 IL PARCO DI VILLA GIULIA**

Le prove sono state eseguite su radici prelevate da piante monumentali presenti all’interno del parco ottocentesco di Villa Giulia, a Loreggia (PD). Il parco e la villa sono entrambi oggetto di restauro. Gli interventi di salvaguardia e recupero del patrimonio arboreo prevedono preliminari rilievi e analisi a carico dei singoli esemplari, come approccio alla corretta definizione degli interventi da eseguire.

### **8.2.1 Alcune note storiche.**

Il Parco di Villa Giulia rappresenta un interessante e significativo esempio di giardino costruito secondo i canoni di quello stile diffusosi in tutta Europa dall’Inghilterra a partire dal XVIII secolo; stile, che ha avuto in Veneto una sua originale interpretazione, grazie al dibattito sorto tra le personalità di spicco della cultura nella metà dell’800. La proprietà e la villa, appartenute in origine alle famiglie veneziane dei Giustinian prima e dei Venier poi, in seguito alla caduta della Serenissima passarono in mano a famiglie ebraiche, ultima delle quali fu la Ascoli. La villa prese il nome di Giulia, come la figlia di Ludovico, dalla quale nacque Irma Angeli, sposata Bonsembiante. Non vi sono notizie certe sulla data di realizzazione del parco. Probabilmente la prima creazione risale ai primi decenni dell’800, quando proprietari erano i Venier. La fisionomia definitiva si deve probabilmente a un intervento della seconda metà del medesimo secolo. L’impianto è di chiara impronta japelliana. L’esistenza di un altro parco all’interno dello stesso Comune, attribuito a Giuseppe Japelli, e le notevoli analogie stilistiche e compositive sembrano fugare ogni dubbio in questione all’attribuzione.

### **8.2.2 Brevi considerazioni sulle condizioni del parco.**

Lo stile “informale” e ispirato al paesaggio agro-silvo-pastorale, in voga nell’epoca in cui in Europa prevaleva il gusto romantico presenta, rispetto ai giardini formali, il vantaggio di sopportare una manutenzione meno impegnativa, senza che ne vengano alterati visibilmente l’assetto e l’aspetto. Le situazioni ricreate sono ispirate ad ambienti naturali o seminaturali idealizzati, che una volta insediati hanno maggiori possibilità di “sostenersi”, senza necessità di interventi assidui e gravosi. In definitiva, in parchi con questa fisionomia si vengono facilmente a ricreare condizioni prossime a quelle di un ecosistema naturale. Tali condizioni rendono meno frequenti e acuti i problemi

ascrivibili al declino del suolo, come ho già avuto modo di commentare. Effetti negativi potrebbero invece verificarsi in conseguenza di una compromissione dell'assetto idraulico, con variazioni delle condizioni idrometriche del suolo interessato dagli apparati radicali. È per questo che tra i primi interventi eseguiti nel parco compare proprio il ripristino dei percorsi d'acqua e dei bacini, e del corretto livello delle falde.

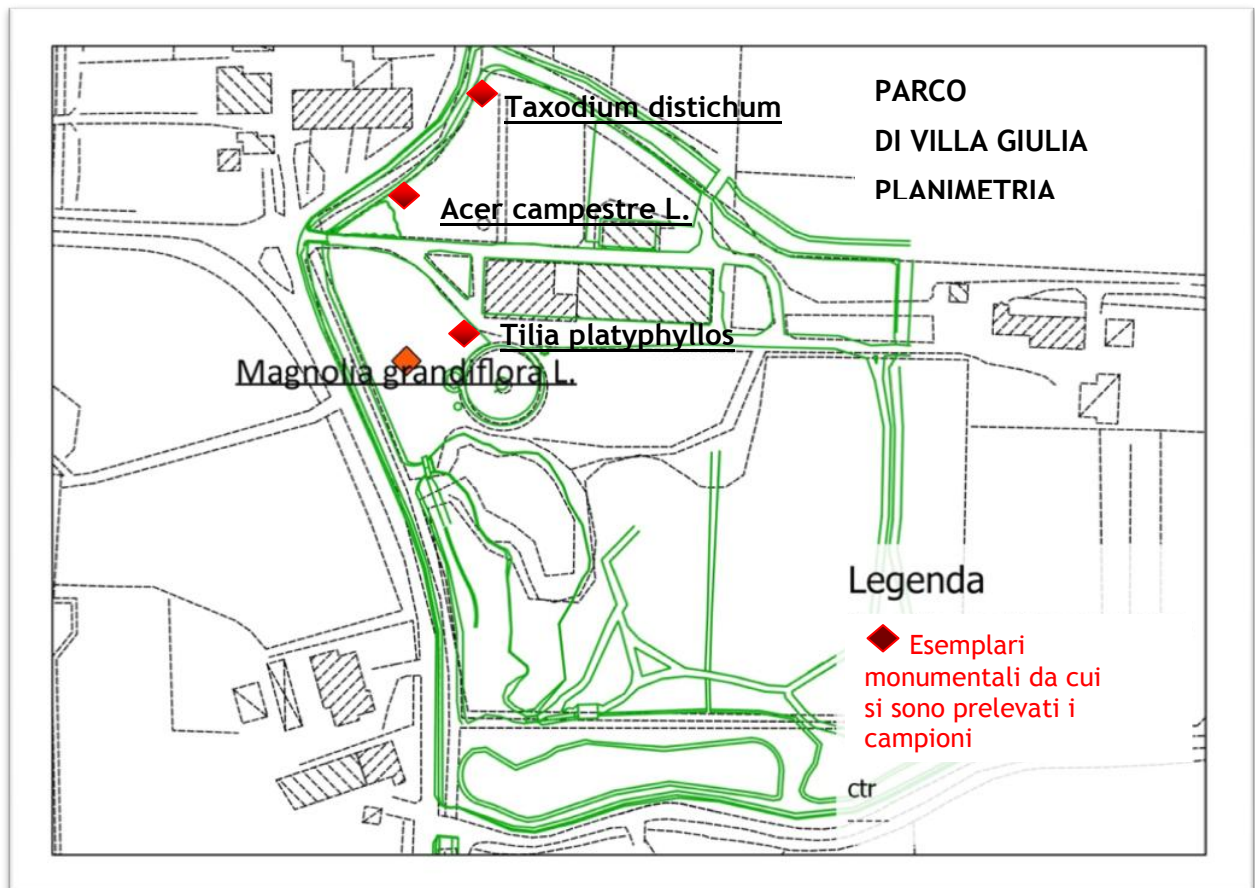


Scorcio della villa dall'interno de parco (foto F. Avesani)

### 8.2.3 Le piante monumentali del Parco di Villa Giulia.

Le piante incluse tra quelle monumentali, presenti all'interno del parco della Villa sono numerose. Tra queste compaiono tre tassodi (*Taxodium distichum* Richard), una *Magnolia grandiflora* L., un tiglio (*Tilia platyphyllos* Scop.), un *Cedrus atlantica* Carrière e due maestosi Aceri campestri (*Acer campestre* L.). Di seguito: immagini delle piante da cui si sono prelevati i campioni. (Ph. F. Avesani).





Planimetria del parco con evidenziate le posizioni degli esemplari monumentali da cui si sono prelevati i campioni di radice.

### 8.3 RAPPORTO SUI PRELIEVI DEI CAMPIONI RADICALI E LE OPERAZIONI SUCCESSIVE

Le prove sono state eseguite su radici di *Taxodium d.*, di *Magnolia g.*, di *Acer c.* e di *Tilia p.*

I prelievi sono stati eseguiti in tre momenti successivi: il 26 novembre 2011, il 16 dicembre 2011 e il 4 maggio 2012. In quest'ultimo caso si sono raccolti campioni di radice solamente dall'esemplare di *Magnolia grandiflora*.

I campioni sono stati prelevati a una distanza dal fusto compresa fra i 2 e i 4 metri (distanza ampiamente inclusa nella proiezione della chioma). La profondità cui sono state prelevate le radici è variata da un minimo di cinque a un massimo di 12 cm.

**Campionamento del 26 novembre 2011.** Il suolo al momento del prelievo si presentava in stato di tempera; sotto l'esemplare di magnolia il suolo risultava, privo di vegetazione legnosa o erbacea, con residui di foglie in diverso grado di decomposizione, soffice nell'orizzonte organico e in quelli immediatamente sottostanti. Nel caso dell'Acero campestre, collocato su un lieve rialzo del suolo e a pochi metri dal fosso perimetrale, il suolo si presentava coperto da edera. Essendovi nelle immediate vicinanze altre piante (abeti, bambù, ecc.) si è prestata attenzione a non prelevare porzioni di radice appartenenti a queste ultime specie. Il terreno si presentava discretamente

soffice, ma con un contenuto di sostanza organica apparentemente inferiore a quello della magnolia.

Il tassodio da cui si sono prelevate le radici è prossimo all'esemplare di acero, anch'esso adiacente al fosso perimetrale a nord. Al momento del prelievo il terreno al piede si presentava ricoperto da uno strato di foglie e rametti e all'apparenza soffice, con tenori di argilla e di sostanza organica superiori a quelli dei casi precedenti.

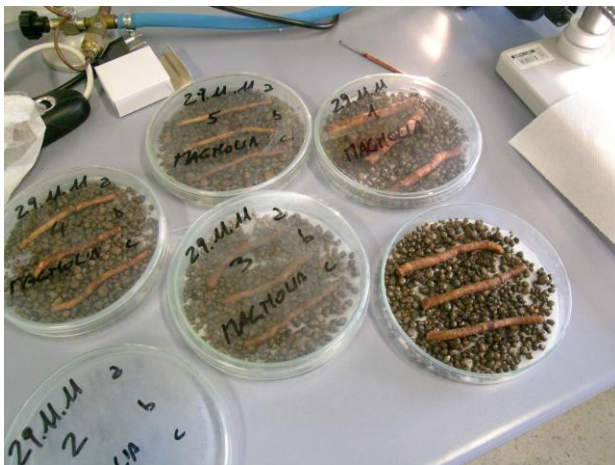
I campioni di radice sono stati lavati in acqua corrente fredda, e conservati in frigorifero alla temperatura di circa 4 °C, fino al 29 novembre, giorno in cui si sono eseguite le osservazioni e si sono posti a reagire i campioni.

**Osservazioni e preparazione dei campioni alla reazione.** Il successivo 29 novembre i campioni sono stati nuovamente lavati, al fine di allontanare eventuali residui rimasti. Si sono poi isolate porzioni radicali di diametro compreso mediamente fra i 4 e gli 8 millimetri e della lunghezza di 8 centimetri. Per ciascuna specie si sono preparate cinque scatole Petri (sei per il *Taxodium*), ognuna con 3 porzioni di radice. In seguito i campioni sono stati sottoposti ad accurate osservazioni, eseguite all'ingranditore stereoscopico, per valutarne la presenza di cicatrici di abscissione su vecchie ferite originatesi a seguito della morte di precedenti radici assorbenti, nonché la presenza di primordi di nuove radici.

N.B. i campioni prelevati dal taglio sono stati successivamente esclusi dalla prova, e usati solo per valutare eventuali significativi discostamenti nel comportamento all'ossigenazione.

I campioni sono stati poi preparati per la reazione ("rigenerazione"). Per favorire la permanenza di condizioni di umidità, e contemporaneamente evitare il contatto troppo diretto con l'acqua, il fondo delle scatole è stato ricoperto da due fogli di carta bibula e un sottile strato di laterlite (*Agri-leca*), inumidita. Le scatole, sigillate con *Parafilm*, sono state poste in ambiente privo di luce, alla temperatura di 20 °C.

**I rilievi sui campioni posti a reagire.** Sui medesimi campioni si sono in seguito eseguite le osservazioni in due distinti momenti: il primo in data 7 dicembre, il secondo in data 14 dicembre.



I campioni di radice preparati per la prova di rigenerazione radicale a seguito di ossigenazione.

## 8.4 ESITI DEI RILIEVI E DELLA PROVA

Campioni raccolti il 26/11/2011 - messi a reagire il 29/11/11

SPECIE	N° scatola	diam. mm	Radici	n° ferite + abbozzi radicali	1° + 2° rilevamento
<b>Taxodium disticum</b>	1	a	5,0	8	7
		b	5,5	4	1
		c	5,4	15	7
	2	a	5,5	7	8
		b	5,3	7	4
		c	5,1	10	8
		d	5,0	10	4
	3	a	3,5	12	8
		b	3,4	7	1
		c	4,1	6	3
	4	a	4,3	20	1
		b	4,1	19	3
		c	3,8	14	3
	5	a	5,2	26	4
		b	5,5	30	7
		c	5,6	20	14
	6	a	6,0	22	7
		b	5,0	15	2
		c	5,5	17	5

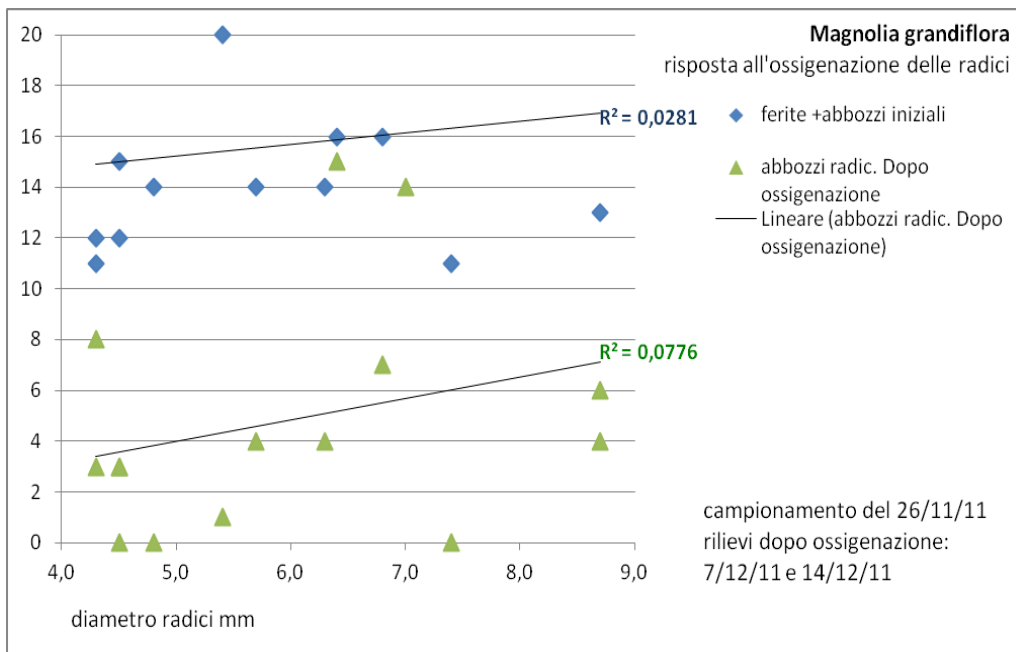
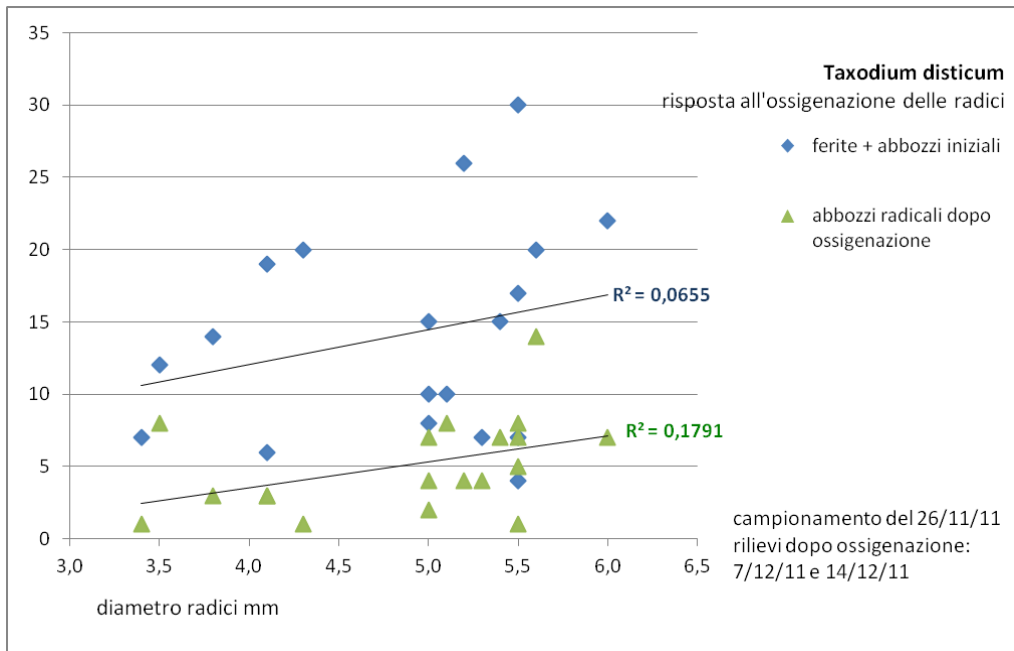
campioni raccolti il 26/11/11 - messi a reagire il 29/11/11

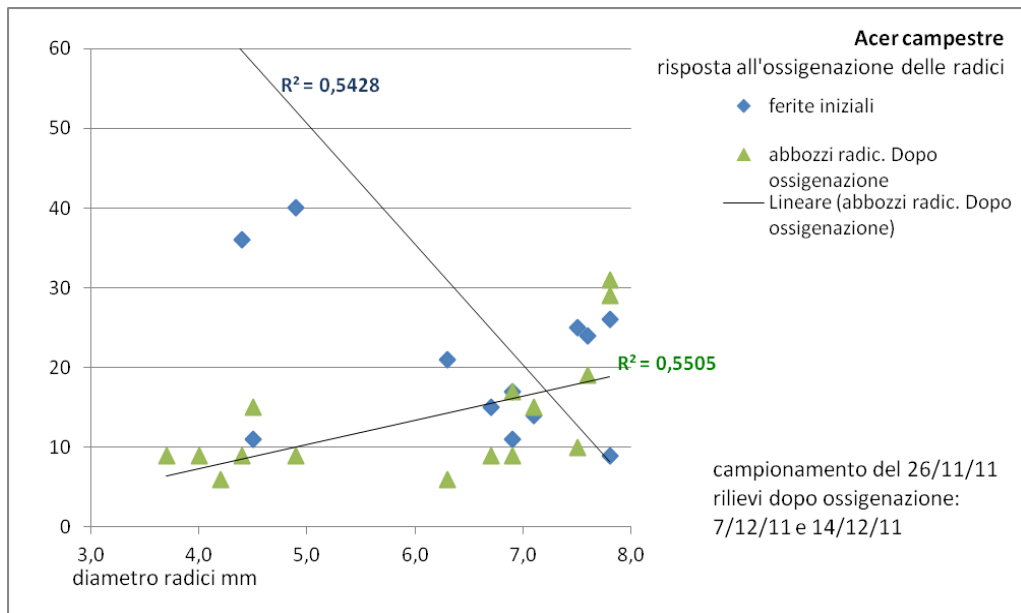
SPECIE	N° scatola		diam. Radici mm	n° ferite + abbozzi radicali	1° + 2° rilevamento
<b>Magnolia grandiflora</b>	1	a	7,4	11	0
		b	8,7	21	6
		c	8,7	13	4
	2	a	7,0	22	14
		b	6,8	16	7
		c	6,4	16	15
	3	a	6,3	14	4
		b	5,7	14	4
		c	5,4	20	1
	4	a	4,3	12	8
		b	4,8	14	0
		c	4,5	12	0
	5	a	4,3	11	3
		b	4,5	15	3
		c	4,5	24	3

campioni raccolti il 26/11/11 - messi a reagire il 29/11/11

SPECIE	N° scatola		diam. Radici mm	n° ferite + abbozzi radicali	1° + 2° rilevam.
<b>Acer campestre</b>	1	a	7,8	9	29
		b	7,1	14	15
		c	6,9	11	9
	2	a	6,9	17	17
		b	6,7	15	9
		c	6,3	21	6
	3	a	7,5	25	10
		b	7,8	26	31
		c	7,6	24	19
	4	a	4,9	40	9
		b	4,4	36	9
		c	4,5	11	15
	5	a	4,2	81	6
		b	4,0	107	9
		c	3,7	92	9

### 8.4.1 Grafici ed elaborazione statistica dei dati raccolti





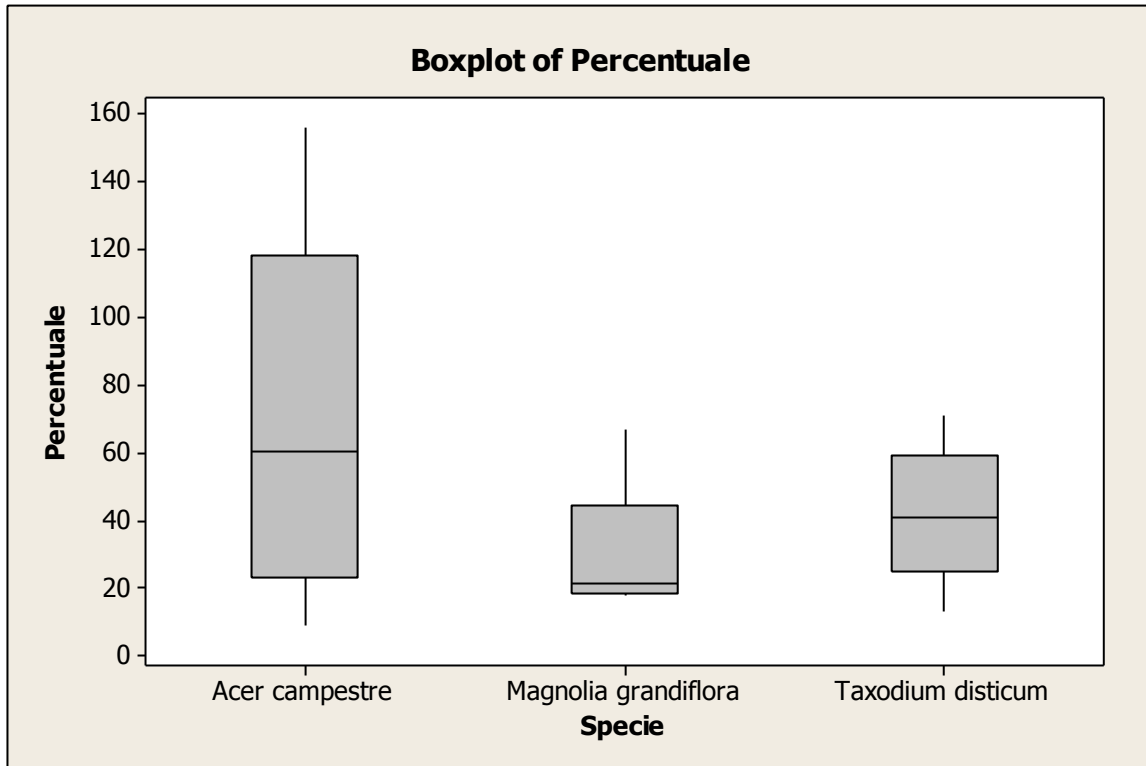
**Osservazioni.** La risposta all'ossigenazione appare non proporzionale al diametro delle radici o, perlomeno non lo è in modo significativo. Non vi è neppure una relazione tra la presenza di cicatrici di abscissione + abbozzi radicali iniziali e lo sviluppo successivo di primordi radicali; addirittura, su *Acer c.* la relazione risulta inversa.

Al fine di una più approfondita analisi dei dati potremmo valutare la percentuale di risposta all'ossigenazione riferita alla somma delle ferite + gli abbozzi radicali presenti inizialmente: vedremo confermato che non vi è correlazione; non vi è correlazione neppure fra la media dei diametri radicali e la produzione di nuove radici; nelle tre diverse specie a confronto non vi è differenza significativa in quanto a risposta.

Specie	Diametro medio radici	Ferite + abbozzi radicali iniziali	Abbozzi radicali generati	Percentuale risposta
Taxodium disticum	5,30	27	15	<b>55,56</b>
	5,23	34	24	<b>70,59</b>
	3,67	25	12	<b>48,00</b>
	4,07	53	7	<b>13,21</b>
	5,43	76	25	<b>32,89</b>
	5,50	49	14	<b>28,57</b>
Magnolia grandiflora	8,27	45	10	<b>22,22</b>
	6,73	54	36	<b>66,67</b>
	5,80	48	9	<b>18,75</b>
	4,53	38	8	<b>21,05</b>
	4,43	51	9	<b>17,65</b>
Acer campestre	7,27	34	53	<b>155,88</b>
	6,63	53	32	<b>60,38</b>
	7,63	75	60	<b>80,00</b>
	4,60	87	33	<b>37,93</b>
	3,97	279	24	<b>8,60</b>

GRAFICI e analisi della regressione mediante MINITAB

Boxplot of percentuale



ANOVA. Domanda: la media delle percentuali di abbozzi (y) varia in funzione della specie (x)?

One-way ANOVA: Percentuale versus Specie

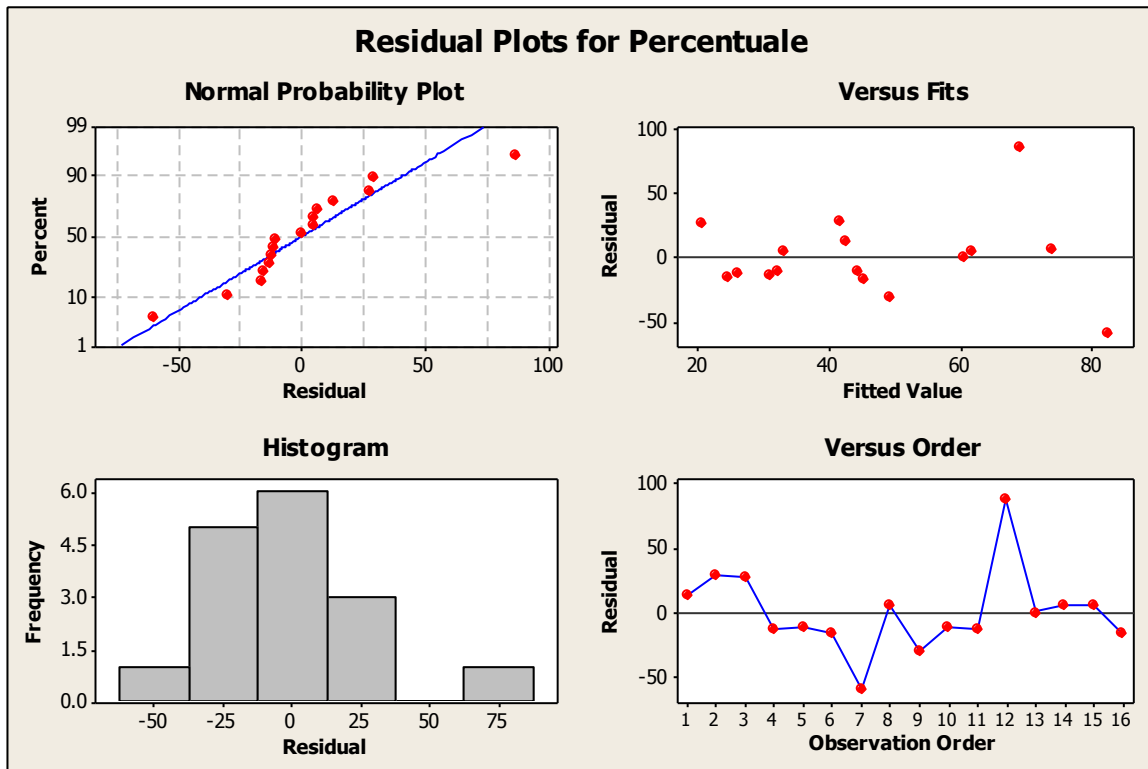
Source	DF	SS	MS	F	P
Specie	2	4067	2034	1.63	0.234
Error	13	16245	1250		
Total	15	20312			

S = 35.35 R-Sq = 20.02% R-Sq(adj) = 7.72%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Acer campestre	5	68.56	55.58	(-----*-----)
Magnolia grandiflora	5	29.27	20.98	(-----*-----)
Taxodium disticum	6	41.47	20.63	(-----*-----)

Pooled StDev = 35.35

Poichè p value > 0.05, non vi è differenza tra le medie delle ferite in funzione delle specie.



Controlliamo le assunzioni del test: I residui sono abbastanza buoni, quindi l'analisi è valida.

**Regression.** Domanda: esiste una relazione fra la Percentuale di abbozzi e il Diametro radici?

(Nota: non consideriamo le specie)

**Regression Analysis: Percentuale versus Diametro radice**

The regression equation is  
 Percentuale = - 28.7 + 13.4 Diametro\_radice

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-28.72	34.95	-0.82	0.425
Diametro_radice	13.445	6.104	2.20	0.045

S = 32.8243 R-Sq = 25.7% R-Sq(adj) = 20.4%

**R2 molto basso, quindi non vi è regressione**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	5228	5228	4.85	0.045
Residual Error	14	15084	1077		
Total	15	20312			

Unusual Observations

Obs	Diametro_radice	Percentuale	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	8.27	22.22	82.43	18.41	-60.21	-2.22R
12	7.27	155.88	68.99	13.23	86.90	2.89R

R denotes an observation with a large standardized residual.

#### 8.4.2 Documentazione fotografica



cicatrici su ferite di abscissione su porzione di radice di *Acer campestre*.



Abozzi radicali emersi da precedenti ferite di abscissione, dopo due settimane dall'ossigenazione.

## 8.5 RAPPORTO SUI PRELIEVI del 16/12/11 E LE OPERAZIONI SUCCESSIVE

### Campionamento del 16.12.11.

Eseguito il secondo prelievo, a carico delle medesime piante arboree.

I campioni di radice sono stati prelevati:

- da c.a 2,5-4 m dal colletto per la magnolia
- da c.a 2 a 3 m dal colletto per l'acero c.
- da c. 2 a 3,5 m dal colletto per il tassodio.

Profondità delle radici estratte: da 3 a 12 cm c.a.;

Condizioni del terreno: quasi ottimale per la magnolia (umido, ma non fangoso), fangoso, adesivo per l'Acero c., umido ma non fangoso per il tassodio.

I campioni sono stati lavati in acqua corrente e conservati in frigorifero (a 4 ° C fino al 20.12.11). Successivamente sono stati analizzati (osservazioni all'ingranditore stereoscopico) e sottoposti a medesimo trattamento, per la prova di "rigenerazione". Altri campioni preparati allo stesso modo sono stati posti a temperatura ambiente (esterna), in luogo riparato, cioè in condizioni di temperatura analoghe a quelle delle radici delle piante in parco (testimone).



In laboratorio, fase dell'osservazione allo stereovisore della presenza di cicatrici su precedenti ferite di abscissione e di eventuali primordi di nuove radici.

## 8.6 ESITI DEI RILIEVI E DELLA PROVA

campioni raccolti il 16/12/11 - messi a reagire il 20/12/11

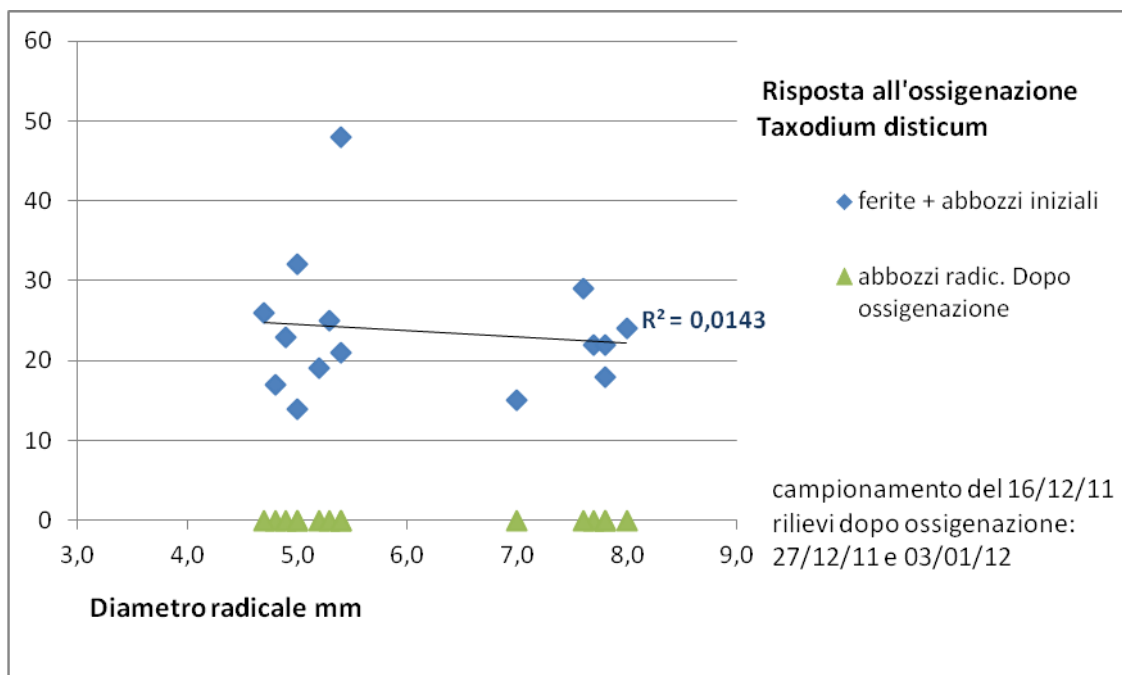
SPECIE	N° scatola		diam. Radici mm	n° ferite + abbozzi iniziali	abbozzi dopo ossigenazione
<b>Taxodium disticum</b>	1	a	7,7	22	0
		b	8,0	24	0
		c	7,8	18	0
	2	a	5,0	32	0
		b	4,8	17	0
		c	4,9	23	0
	3	a	5,0	14	0
		b	5,2	19	0
		c	4,7	26	0
	4	a	7,6	29	0
		b	7,0	15	0
		c	7,8	22	0
	5	a	5,4	21	0
		b	5,3	25	0
		c	5,4	48	0

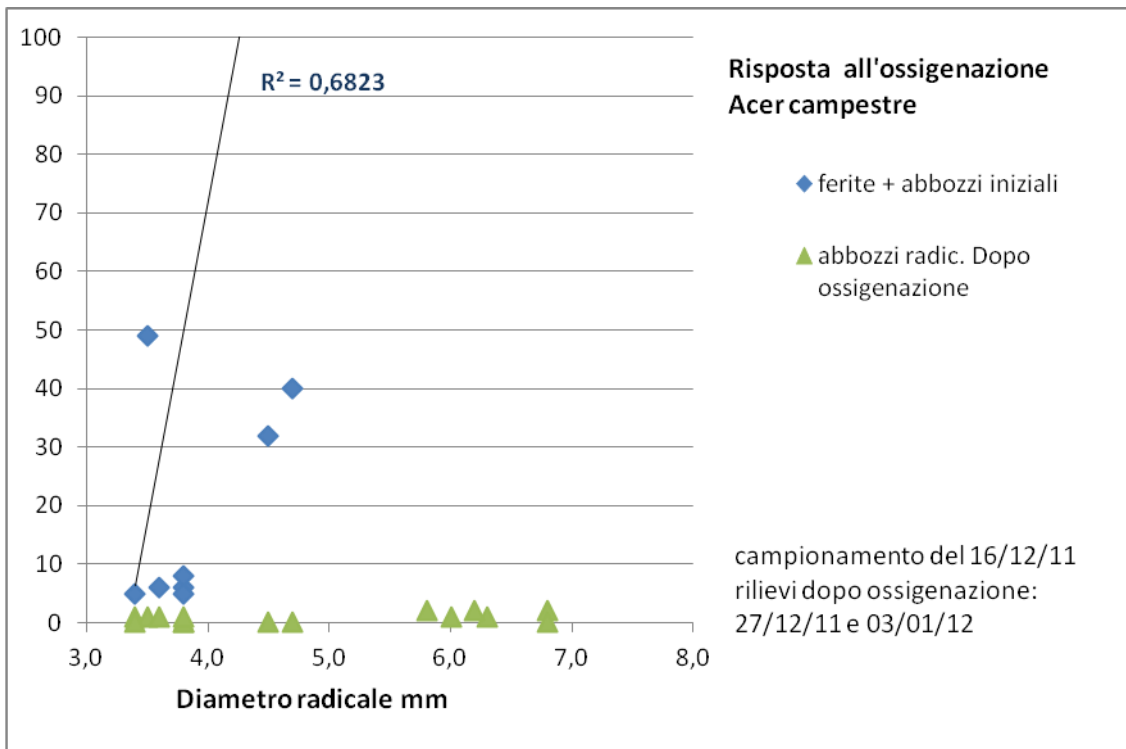
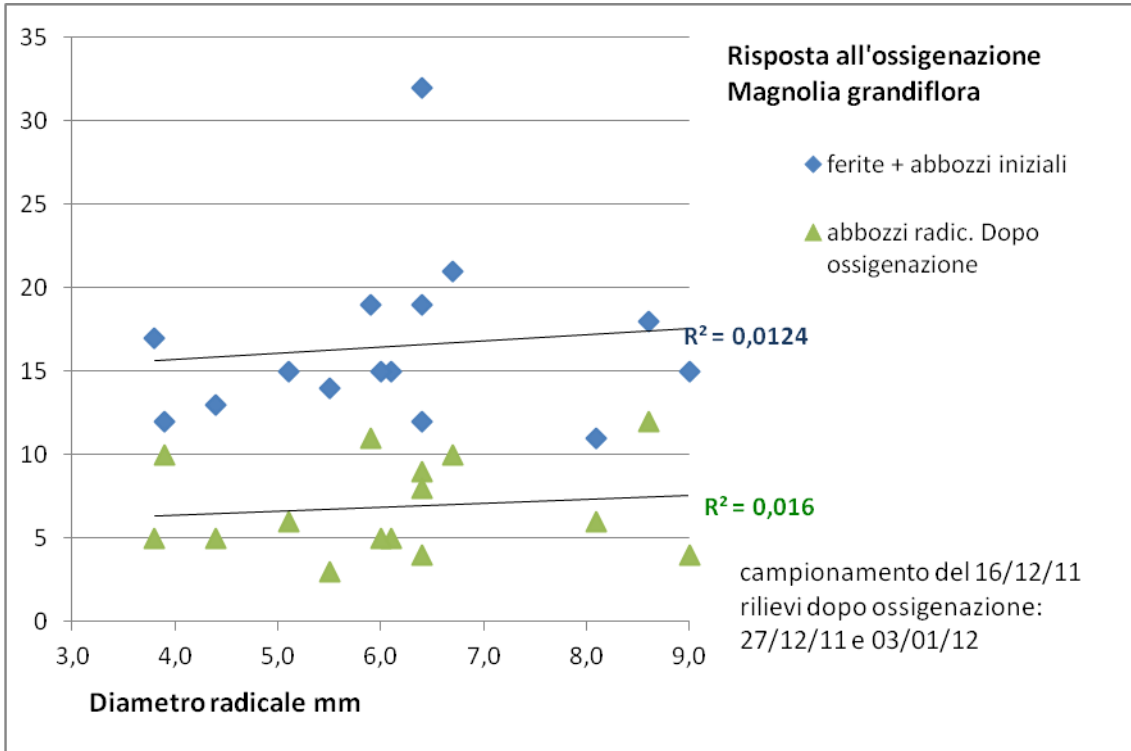
SPECIE	N° scatola		diam. Radici mm	n° ferite + abbozzi iniziali	abbozzi dopo ossigenazione
<b>Magnolia grandiflora</b>	1	a	3,8	17	5
		b	4,4	13	5
		c	3,9	12	10
	2	a	6,4	32	9
		b	5,1	15	6
		c	5,5	14	3
	3	a	6,4	12	4
		b	6,1	15	5
		c	6,0	15	5
	4	a	8,1	11	6
		b	9,0	15	4
		c	8,6	18	12
	5	a	6,4	19	8
		b	6,7	21	10
		c	5,9	19	11

**campioni raccolti il 16/12/11 - messi a reagire il 20/12/11**

SPECIE	N° scatola		diam. Radici mm	n° ferite + abbozzi iniziali	abbozzi dopo ossigenazione
Acer campestre	1	a	3,4	156	1
		b	3,8	6	0
		c	3,5	49	1
	2	a	3,4	5	0
		b	3,8	8	0
		c	3,6	6	1
	3	a	6,3	356	1
		b	6,0	360	1
		c	6,8	390	2
	4	a	6,2	400	2
		b	5,8	450	2
		c	6,8	175	0
	5	a	3,8	5	1
		b	4,7	40	0
		c	4,5	32	0

**8.6.1 Grafici ed elaborazione statistica dei dati raccolti**





### 8.6.2 Analisi dell'Indice di Correlazione di Pearson e Welch Two Sample t-test

I risultati sono stati inoltre analizzati con il coefficiente di correlazione di Pearson  $R^2 = r^2$ ; sull'asse delle X è stato posto il diametro delle radici da 3 a 8-10 mm e sulle Y la risposta all'ossigenazione.

Sulla prima analisi, effettuata il 26-11-2011 non si è osservata correlazione significativa (correlazione molto debole) tra il diametro e la risposta all'ossigenazione:

$R^2 = 0,0136$  per *Taxodium disticum*,

$R^2 = 0,0567$  per *Magnolia grandiflora*

$R^2 = 0,0092$  per *Acer campestre*.

La seconda analisi effettuata il 27-12-2011 ha dato un risultato simile:

$R^2 = 0,0077$  per *Taxodium disticum*,

$R^2 = 0,0076$  per *Magnolia grandiflora*,

$R^2 = 0,1894$  per *Acer campestre*.

**Osservazioni.** Anche se effettuato su un test poco potente possiamo affermare che: **la relazione continua tra diametro e risposta non è correlabile; non è neppure correlabile la risposta riferita al numero di ferite e di abbozzi radicali iniziali.** Sembra evidente, invece, che questo periodo invernale), rispetto al precedente (tardo autunnale) produca una risposta molto più limitata, se non addirittura assente (come nel caso del *Taxodium*) in quanto a reiterazione radicale; la specie che meglio risponde è la *Magnolia* (*Magnolia g.*).

## 8.7 LA PROVA IN ASSENZA DI OSSIGENO

Può sorgere però il dubbio che la risposta rigenerativa da parte delle radici possa essere provocata non dall'ossigenazione, ma piuttosto dalla stimolazione costituita dallo stress conseguente al taglio delle radici. Poi, il fatto che si verifichi una risposta da parte di apparati radicali anche in seguito a periodi di sommersione, ovvero di ipossia, possono legittimare ulteriori dubbi in proposito. Per fugare ogni incertezza si è così deciso di effettuare una prova in assenza di ossigeno, ovvero ponendo i campioni di radice in ambiente saturo di CO<sub>2</sub>.

Si è così effettuata una valutazione con tre repliche in blocchi contrapposti. Il campione di radici della medesima pianta è stato suddiviso in due parti: una parte da destinare all'ossigenazione e una parte da sottoporre ad ambiente saturo di CO<sub>2</sub>.

### 8.7.1 Fasi e particolari della prova

La prova è avvenuta il 4 maggio 2012, dopo aver prelevato i campioni di radici unicamente dall'esemplare monumentale di *Magnolia grandiflora* (una delle tre piante da cui si erano prelevati campioni nelle precedenti occasioni). Portati al laboratorio dell'Istituto di Patologia dell'Università, si è prontamente provveduto alle fasi preparatorie e alla prova.

Previo lavaggio in acqua fredda corrente, si è preparato il campione, costituito da segmenti di radice di 8 cm. Il campione è stato poi suddiviso in due sub-campioni: il primo da destinare all'ossigenazione (testimone), il secondo da sottoporre ad ambiente anossico.

Anche in questo caso, su ogni segmento di radice si sono effettuate le preliminari osservazioni per verificarne la presenza di cicatrici su ferite di abscissione di precedenti radici assorbenti.

Il campione per l'ossigenazione è stato quindi posto, come nei precedenti casi, in scatole Petri, con substrato costituito da *Agarileca* inumidita (n° 3 ripetizioni, con n° 5 porzioni di radice ciascuna).

Le porzioni di radice da sottoporre alla prova in assenza di ossigeno sono state invece messe in bottiglie PET trasparenti da 1,5 litri (n° 5 segmenti di radice per ogni bottiglia). Sul fondo di ognuna delle 3 bottiglie si è sistemata la *laterlite* e c.a 300 ml di acqua distillata. Dalle bottiglie si è poi fatta fuoriuscire quanta più aria possibile, mediante schiacciamento delle stesse. Di seguito è stata introdotta la CO<sub>2</sub>. Questa fase merita una particolare descrizione.

**Descrizione del procedimento.** Per rendere possibile l'introduzione della CO<sub>2</sub> ed il mantenimento del volume di gas all'interno di ogni bottiglia, si è ideato e realizzato un apposito "tappo-valvola": nei tappi di ogni bottiglia si è praticato un foro, della dimensione adatta per inserirvi una valvola recuperata da camere d'aria di bicicletta. Mediante la vite che sta alla base di ognuna delle valvole, e impiegando del comune nastro di *Teflon* (Tetrafluoroetilene), si è assicurata poi la perfetta tenuta del tappo-valvola. Le bottiglie sono state, in pratica, "gonfiate" con CO<sub>2</sub> a circa 2 Atm, pressione corrispondente a circa 5,2 grammi di CO<sub>2</sub> per bottiglia. La CO<sub>2</sub> è stata insufflata

mediante una bomboletta dotata di apposito erogatore regolabile. Tutti i campioni sono stati posti al buio, a temperatura pressoché costante di c.a 20°C.

### **8.7.2 Rilievi sui campioni posti a reagire.**

Il primo rilievo è stato eseguito a una settimana dal prelievo e trattamento, in data 11/05/12. Dalle osservazioni si è potuto constatare un progresso nella proliferazione di nuovi tessuti radicali sui campioni con funzione di testimone, mentre nei campioni posti in CO<sub>2</sub> non si è notato alcun segnale in questo senso. Sono state aperte due delle tre bottiglie, al fine di poter osservare gli sviluppi a distanza di più giorni sulla terza bottiglia. Gli abbozzi preformati, presenti in suddetti campioni, hanno evidenziato addirittura una regressione. All'apertura delle bottiglie si è avvertito odore di alcol, segno delle fermentazioni in atto.

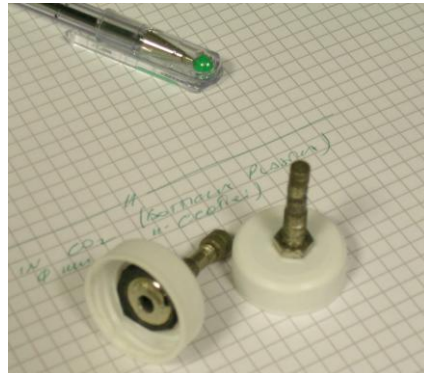
Il secondo rilievo è stato eseguito il 25 maggio. Nella bottiglia rimasta chiusa i campioni si presentavano imbruniti, con tessuti all'apparenza molli; dalla bottiglia esalava un caratteristico odore di alcol. Gli abbozzi radicali preesistenti sono apparsi bloccati o regrediti. Non vi si sono rilevate tracce di sviluppi fungini (ambiente anaerobico). Nelle bottiglie aperte (e poi richiuse) nella precedente occasione, si è notato, invece, sviluppo di micelio fungino.

Nelle scatole Petri i segmenti di radice (testimone) hanno, invece confermato una reazione positiva all'ossigenazione, con un significativo sviluppo di abbozzi radicali.

Segue documentazione fotografica.



Campioni (segmenti) di radice: a sinistra una delle scatole con il testimone; a destra, una delle tre bottiglie con il campione in CO<sub>2</sub>.

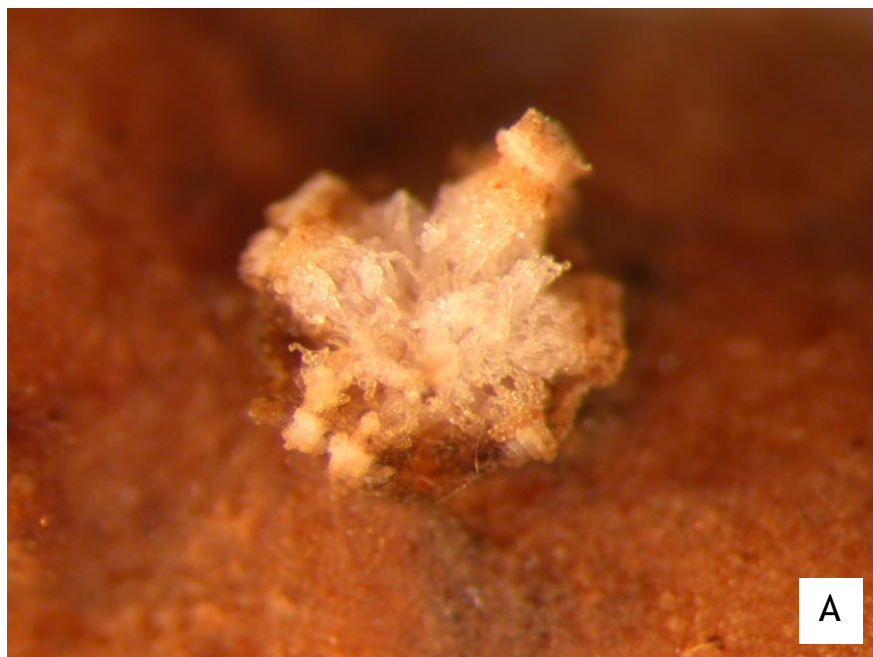


Particolare dei tappi modificati ad hoc per consentire di chiudere in modo sicuro le bottiglie, e di inserirvi la CO<sub>2</sub>



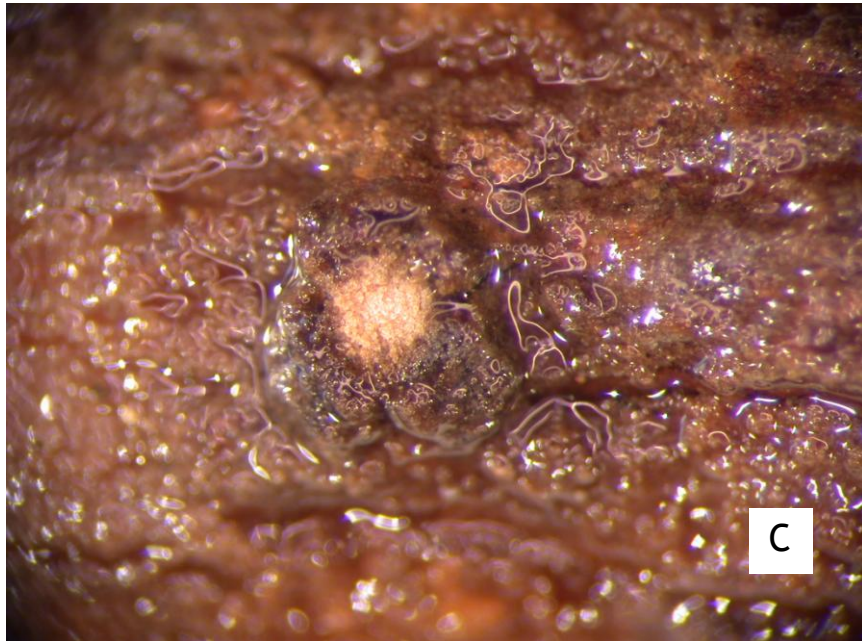
Alle bottiglie schiacciate (per fare fuoriuscire l'aria) è stata insufflata la CO<sub>2</sub>, mediante una bomboletta e apposito erogatore regolabile.

### 8.7.3 Esito del trattamento



**Esito del trattamento: A = campione in ossigenazione; B= campione in CO<sub>2</sub>**

Dalle immagini: a sette giorni dal trattamento, nel campione A si osserva il progresso nella proliferazione dei nuovi tessuti radicali, sviluppatasi a partire da una cicatrice di abscissione di vecchia radice assorbente; Nel campione B, un abbozzo preformato, con visibili le cellule delle radichette, è rimasto “bloccato” o, in altri casi, si è avuta regressione.



**Dopo 21 giorni, su campioni posti in assenza di ossigeno (= in CO<sub>2</sub>);**

L'immagine C mostra un particolare di un abbozzo preesistente sul campione aperto il 25 maggio (a 21 giorni dal trattamento): non vi è risposta "rigenerativa"; i primordi sono fermi o in regressione, mentre i tessuti della radice mostrano segni di disfacimento.

Nell'immagine D, si vede una porzione di radice posta in CO<sub>2</sub>, e successivamente esposta all'aria (per il controllo) e richiusa in bottiglia: Il micelio fungino invade l'intero segmento.

## 8.8 RAPPORTO SUI PRELIEVI del 4/05/2012 E LE SUCCESSIVE OPERAZIONI

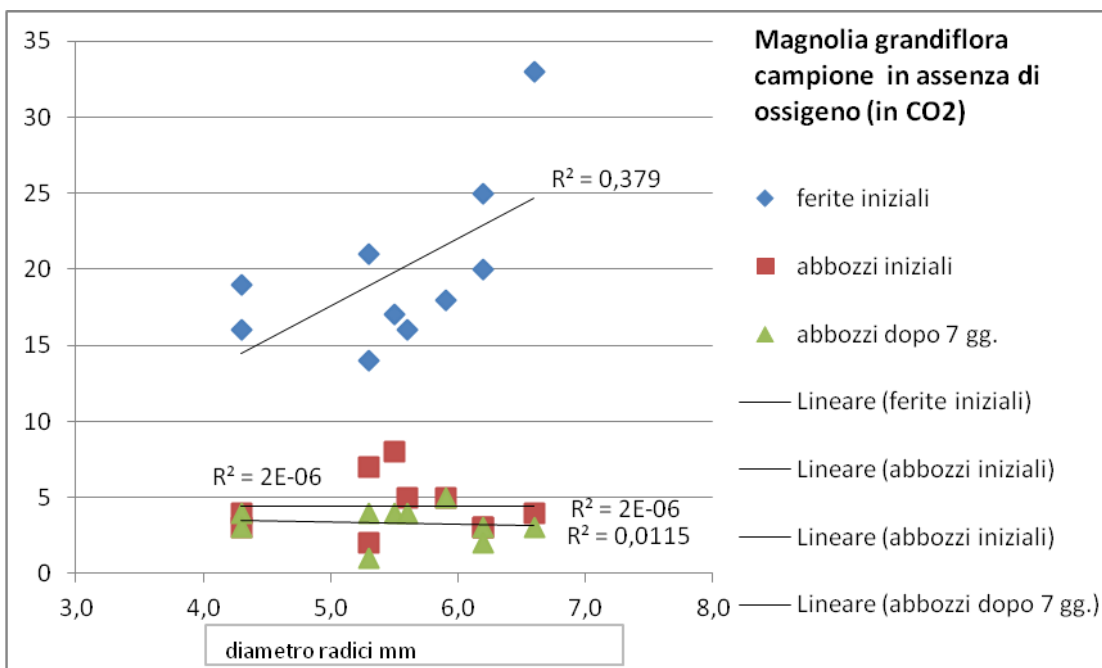
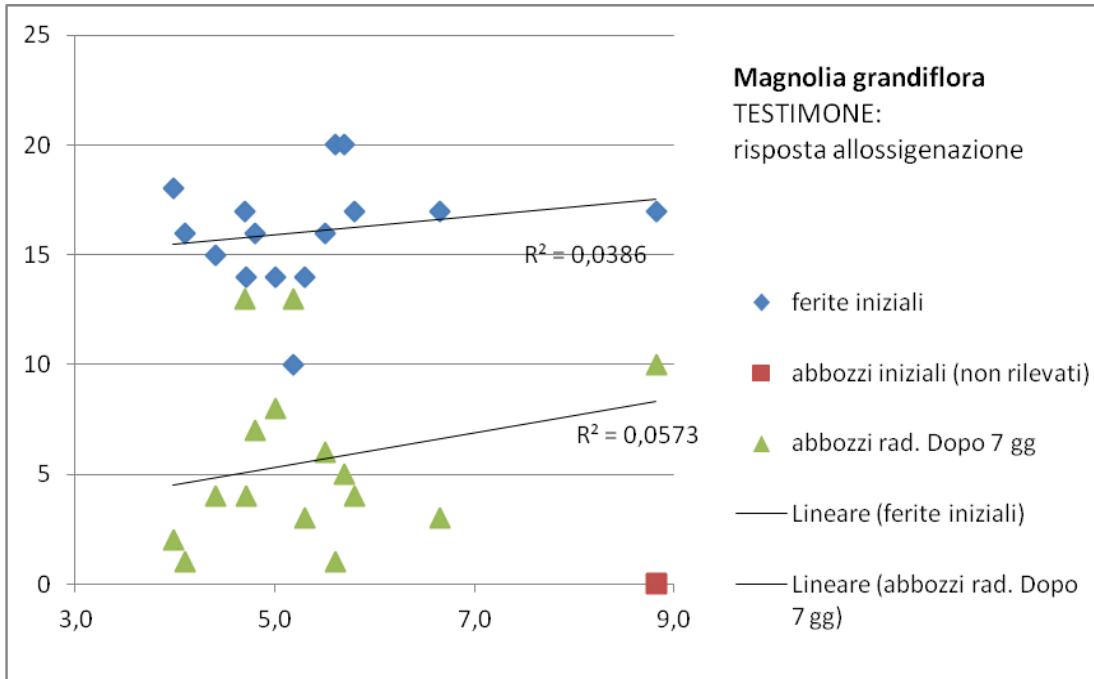
Campioni a confronto, con evidenziata (ultima colonna) la percentuale di risposta in termini di abbozzi radicali sviluppati

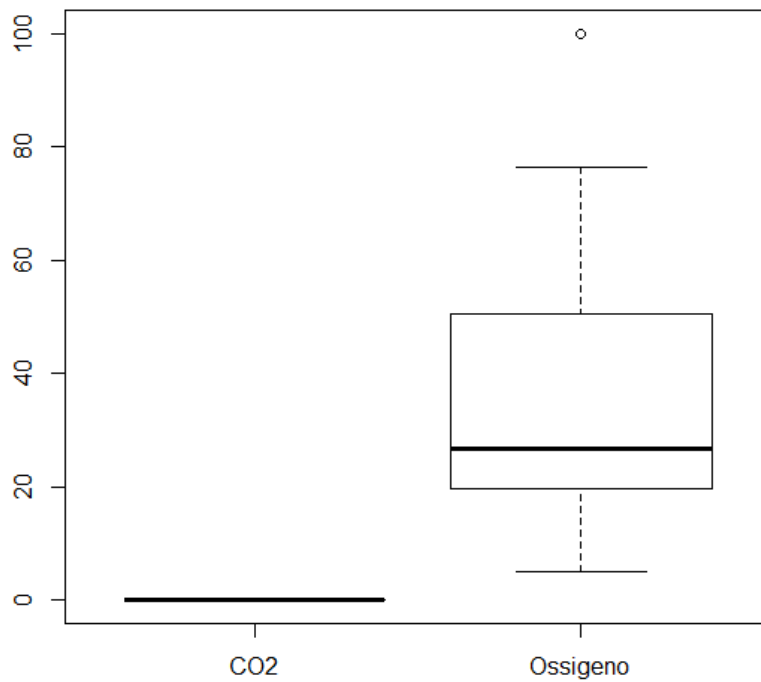
Trattamento	N° scatola/bottiglia	diam. Radici mm	n° ferite radici precedenti	n° primordi di radice	1° rilevam. 11/05	Percentual e abbozzi effettivi
Ossigeno	1	8.8	17		10	58.8
Ossigeno	1	5.6	20		1	5
Ossigeno	1	6.7	17		3	17.6
Ossigeno	1	4.0	18		2	11.1
Ossigeno	1	5.2	10		13	130
Ossigeno	2	5.7	20		5	25
Ossigeno	2	4.7	14		4	28.57
Ossigeno	2	5.0	14		8	57.1
Ossigeno	2	4.4	15		4	26.6
Ossigeno	2	4.1	16		1	6.25
Ossigeno	3	4.8	16		7	43.75
Ossigeno	3	5.3	14		3	21.4
Ossigeno	3	4.7	17		13	76.47
Ossigeno	3	5.5	16		6	37.5
Ossigeno	3	5.8	17		4	23.5
CO2	1	4.3	16	4	4	0
CO2	1	5.9	18	5	5	0
CO2	1	4.3	19	3	3	0
CO2	1	5.3	14	2	1	0
CO2	1	5.5	17	8	4	0
CO2	2	6.6	33	4	3	0
CO2	2	6.2	25	3	3	0
CO2	2	6.2	20	3	2	0
CO2	2	5.3	21	7	4	0
CO2	2	5.6	16	5	4	0
CO2	3	7.3	24		0	0
CO2	3	6.5	26		0	0
CO2	3	5.3	20		0	0
CO2	3	5.0	19		0	0
CO2	3	5.3	17		0	0

**NOTE.** I campioni di radice sono stati raccolti il giorno 04/05/12; entro due ore dalla raccolta sono stati lavati, analizzati e posti a reagire.

L'analisi dei dati conferma la mancanza di relazione tra il diametro radicale e la risposta generativa da parte delle radici. (Nel campione in CO2 non vi è alcuna risposta); l'unica relazione, appena significativa, appare la presenza di ferite iniziali su segmenti di radici del campione posto in CO2, in proporzione diretta al diametro radicale.

8.8.1. Grafici ed elaborazione statistica dei dati raccolti





### Welch Two Sample t-test

data: Percentuale abbozzi by Trattamento

$t = -5.1555$ ,  $df = 14$ ,  $p\text{-value} = 0.000146$

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-50.87197 -20.98019

sample estimates:

mean in group CO2 mean in group Ossigeno

0.00000 35.92608

Poiché  $p < 0.05$  le due medie sono significativamente diverse.

## 8.9 OSSERVAZIONI

La risposta si è avuta dunque solo nell'ossigenazione, mentre nessuna risposta si è osservata nelle bottiglie sature di CO<sub>2</sub> (R2 = 2E-06 conferma il risultato). Anche in questo caso non sembra esservi significativa correlazione fra risposta all'ossigenazione e diametro delle radici.

**La prova dà dunque conferma che la presenza di ossigeno è condizione necessaria alla reiterazione radicale.**

Sono quindi escluse queste variabili dipendenti ed è confermato il ruolo dell'ossigenazione nella generazione di nuove radici; l'esito è per altro compatibile con il nostro progetto di ricerca, che vuole dimostrare come la **risposta della reiterazione radicale sia piuttosto da correlare al livello di amidi nelle radici.**

Probabilmente altri fattori condizionano la risposta generativa all'ossigenazione (oltre, ovviamente, alla presenza dell'ossigeno e alle riserve energetiche che il contenuto di amido costituisce). Fra questi si potrebbero ipotizzare, ad esempio:

- La specie (predisposizione legata a caratteristiche genetiche)
- La stagione (si è già vista, infatti, l'influenza della stagionalità)
- La temperatura del suolo e quella dell'aria
- Il tipo di suolo e la presenza di sostanze umiche, ecc.
- La posizione della radice rispetto la superficie
- La posizione della radice rispetto alla pianta (distanza dal fusto e dalle branche principali)

Sulla **valutazione dello stato energetico** della pianta e della radice (contenuto in riserve metaboliche, cioè prevalentemente amido), e le possibili correlazioni con la risposta da parte della pianta agli stimoli rigenerativi si sono poi concentrate le successive ricerche.



Particolare ingrandito di primordi di radice (*Magnolia g.*) su asse in struttura secondaria, a seguito di ossigenazione, sviluppatasi in corrispondenza di cicatrici di precedenti radici.

## 9 CONTENUTO DI AMIDO E REITERAZIONE RADICALE

Tenuto conto dell'importanza che riveste il contenuto di amido nei tessuti legnosi, in quanto correlato alla condizione energetica della pianta, si è deciso di affrontare questo aspetto ricercando un metodo idoneo alla determinazione. È stato così costituito un gruppo di ricerca formato da Chandra Bellasio, Alessio Fini, Luigi Strazzabosco, Francesco Ferrini e Sergio Mutto Accordi. Il metodo è stato adattato per condurre prove su radici legnose. L'obiettivo della ricerca è stato anche quello di individuare un protocollo di valutazione su base colorimetrica. In altre parole, tenendo conto della colorazione che l'amido contenuto nei tessuti legnosi assume a seguito di trattamento, mettere in relazione tale contenuto con la risposta all'ossigenazione. In questo modo, associando un intervallo cromatico alla quantità di amido presente, è poi possibile misurare il consumo di amido in conseguenza ad una risposta rigenerativa da parte delle radici. Una tale prova si presterebbe idealmente anche per determinazioni "in campo".

La prova è stata condotta su una sola specie, *Magnolia grandiflora*, presente in numerosi esemplari vetusti nel doppio filare che accompagna Viale Camerini, nel Comune di Piazzola sul Brenta. Da piante diverse dello stesso filare sono state scelte 20 repliche. Si sono prelevate porzioni di radici in struttura secondaria da ognuna delle piante individuate, mantenendo la stessa distanza dal colletto e lo stesso orientamento; le radici sono state "portate alla luce" mediante l'impiego dell'*air spade*. Ogni porzione di radice prelevata da ogni pianta è stata suddivisa in 3 segmenti. Di queste tre porzioni:

- una parte in sezione radiale è stata colorata con soluzione di iodo-ioduro di potassio (e fotografata);
- una parte, congelata a - 15° C, è stata tagliata in segmenti di c.a 1 cm; il campione è stato poi spedito al Department of Plant Sciences della University of Cambridge (UK)\* per la determinazione dell'amido;
- Una parte è stata sottoposta a ossigenazione in scatole Petri (in modo analogo alle precedenti prove), per valutare la risposta in termini di formazione di nuove radici (tenendo conto delle cicatrici di abscissione presenti in ognuno dei segmenti);

\*La consegna al Department of Plant Sciences dell'Università di Cambridge è stata effettuata mediante corriere, in meno di 12 ore; il campione congelato è stato posto in scatola termica provvista di ghiaccio.

**9.1 ESITO RILIEVI SU SEGMENTI DI RADICI DI MAGNOLIA G.****Campione di n° 20 piante - 26/10/2012**

<b>N° campione</b>	<b>Diam. (mm)</b>	<b>Lungh. (cm)</b>	<b>n° cicatrici</b>	<b>n° ferite</b>	<b>rigenerazione</b>	<b>%</b>
1a	11	10,1	23	60	23	38
1b	7	10,2	20			
1c	12	10	17			
2a	6	10	19	62	13	21
2b	5	10,1	19			
2c	11	11,3	24			
3a	7	10,5	14	58	27	47
3b	6	12,4	25			
3c	11	12,1	19			
4a	6	9,1	16	51	35	69
4b	11	12	17			
4c	10	9,5	18			
5a	3	9,1	19	88	46	52
5b	10	12	27			
5c	5,5	9,5	42			
6a	7	11	21	58	13	22
6b	6	10,2	18			
6c	6	11	19			
7a	6	9,2	12	47	34	72
7b	6	10	17			
7c	11	9,2	18			
8a	10	11,2	19	78	53	68
8b	10	10,4	46			
8c	5	11,3	13			
9a	10	10,2	6	29	23	79
9b	10	9,3	13			
9c	5	10,4	10			
10a	5	10,2	7	34	9	26
10b	5	11,2	14			
10c	5	8,6	13			

(segue)

## ESITO RILIEVI SU SEGMENTI DI RADICI DI MAGNOLIA G. - Campione di n° 20 piante - 26/10/2012

N° campione	Diam. (mm)	Lungh. (cm)	n° cicatrici	n° ferite	rigenerazione	%
11a	11	10	9	27	21	78
11b	7	10,2	14			
11c	8	9,4	4			
12a	9	9,4	12	32	7	22
12b	7	10,9	8			
12c	7	11,1	12			
13a	5	11,3	20	53	19	36
13b	6	12,4	17			
13c	10	10,5	16			
14a	5	12,1	16	45	36	80
14b	8	9,5	16			
14c	8	10,1	13			
15a	6	10,4	28	53	23	43
15b	7	10,3	16			
15c	6	8,8	9			
16a	5	9,4	19	50	19	38
16b	5,5	10,4	20			
16c	9	11,7	11			
17a	7	10,3	17	57	16	28
17b	6	10,8	20			
17c	6	11,1	20			
18a	5	9,4	25	44	30	68
18b	4	9,5	8			
18c	4	9,2	11			
19a	9	9,7	14	43	36	84
19b	5	9,8	17			
19c	8,5	9,2	12			
20a	9	8,8	13	45	37	82
20b	6	9,3	11			
20c	5,5	9,5	21			

## 9.2 SCHEDE DI RILEVAMENTO - ANALISI

Si propongono, di seguito, tre fra le schede di rilevamento e successive analisi, relative a tre rispettive piante di magnolia.



SISTEMA INFORMATIVO - SCHEDA DEI SOGGETTI ARBOREI

Codice 01

**DATI RILEVAMENTO** Rilevatore Luigi Strazzabosco Data 26/10/2012  Nuovo  Aggiornamento

**LOCALIZZAZIONE SOGGETTO**

Tipo di area verde Verde pubblico stradale  Centrale  Periferica Tipo di impianto  Isolato  Gruppo  Filare

**CARATTERISTICHE DEL SOGGETTO**

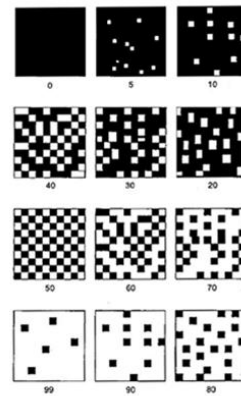
Specie (comune) Magnolia Specie (scien.) *Magnolia grandiflora* L.  
 Diametro Ad 1,30 M (cm) 74,5 Altezza (m) 18,5 Altezza 1° Palco (m) 3 Diametro della chioma (m) 8 Governo  Monocormico  Policormico  
 Posizione Sociale  Dominante  Codominante  Dominato  Sottoposto Struttura  Forma naturale  Forma obbligata  Pianta capitozzata

**TRASPARENZA DELLA CHIOMA**



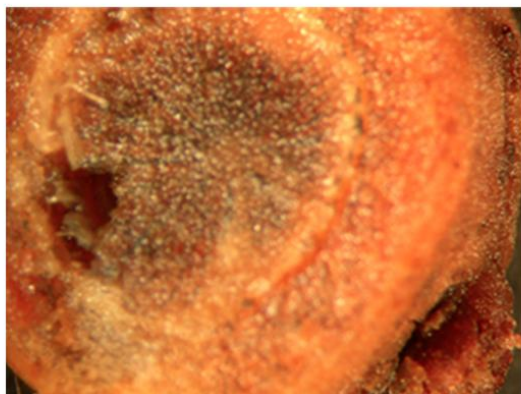
Trasparenza chioma rilevata  
 = 10 %

Metodo di valutazione adottato:  
 Schema guida per la stima della trasparenza del fogliame (da Eichhorn et al., 1998).



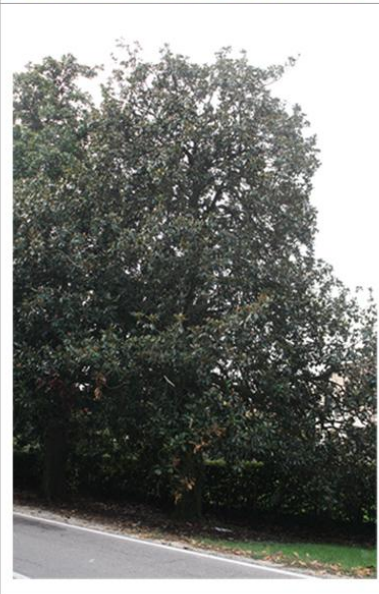
**ANALISI DI LABORATORIO**

Prova di colorazione all'amido



Risposta all'ossigenazione (%)  
 = 38 %

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



**NOTE**

[Empty box for notes]



SISTEMA INFORMATIVO - SCHEDA DEI SOGGETTI ARBOREI

Codice 05

**DATI RILEVAMENTO** Rilevatore Luigi Strazzabosco Data 26/10/2012  Nuovo  Aggiornamento

**LOCALIZZAZIONE SOGGETTO**

Tipo di area verde Verde pubblico stradale  Centrale  Periferica Tipo di impianto  Isolato  Gruppo  Filare

**CARATTERISTICHE DEL SOGGETTO**

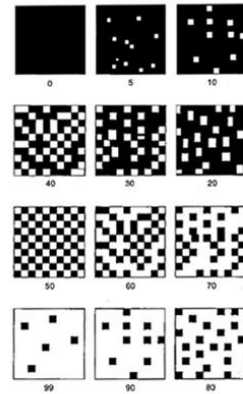
Specie (comune) Magnolia Specie (scien.) *Magnolia grandiflora L.*  
 Diametro Ad 1,30 M (cm) 63,5 Altezza (m) 18,5 Altezza 1° Palco (m) 4 Diametro della chioma (m) 6 Governo  Monocormico  Policormico  
 Posizione Sociale  Dominante  Codominante  Dominato  Sottoposto Struttura  Forma naturale  Forma obbligata  Pianta capitozzata

**TRASPARENZA DELLA CHIOMA**



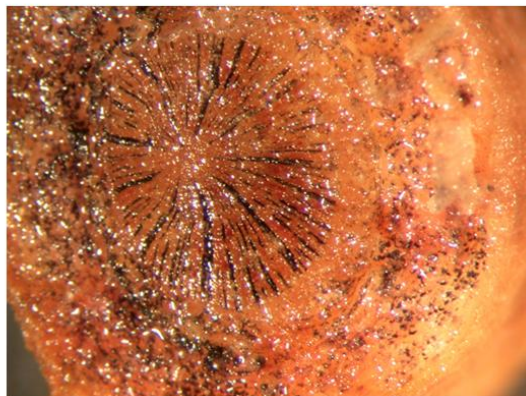
Trasparenza chioma rilevata  
= 20 %

Metodo di valutazione adottato:  
Schema guida per la stima della trasparenza del fogliame (da Eichhorn et al., 1998).



**ANALISI DI LABORATORIO**

Prova di colorazione all'amido



Risposta all'ossigenazione (%)  
= 52 %

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



**NOTE**

Empty box for notes.



SISTEMA INFORMATIVO - SCHEDA DEI SOGGETTI ARBOREI

Codice 14

**DATI RILEVAMENTO** Rilevatore Luigi Strazzabosco Data 26/10/2012  Nuovo  Aggiornamento

**LOCALIZZAZIONE SOGGETTO**

Tipo di area verde Verde pubblico stradale  Centrale  Periferica Tipo di impianto  Isolato  Gruppo  Filare

**CARATTERISTICHE DEL SOGGETTO**

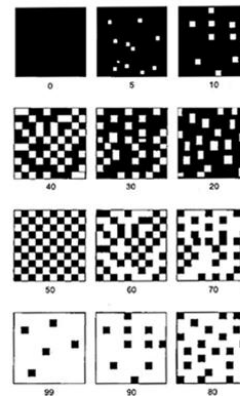
Specie (comune) Magnolia Specie (scien.) *Magnolia grandiflora* L.  
 Diametro Ad 1,30 M (cm) 77 Altezza (m) 19 Altezza 1° Palco (m) 4,5 Diametro della chioma (m) 6 Governo  Monocormico  Policormico  
 Posizione Sociale  Dominante  Codominante  Dominato  Sottoposto Struttura  Forma naturale  Forma obbligata  Pianta capitozzata

**TRASPARENZA DELLA CHIOMA**



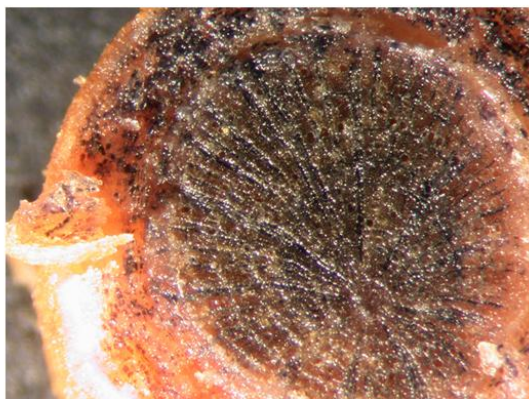
Trasparenza chioma rilevata  
 = 13 %

Metodo di valutazione adottato:  
 Schema guida per la stima della trasparenza dei fogliame (da Eichhorn et al., 1998).



**ANALISI DI LABORATORIO**

Prova di colorazione all'amido



Risposta all'ossigenazione (%)  
 = 80 %

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



**NOTE**

Empty text box for notes.

### 9.3 ESITO DELLA PROVA

La prova vuol porre in evidenza la relazione diretta fra la risposta all'ossigenazione, apprezzabile dalla emissione di nuovi abbozzi radicali, ed il contenuto di amido. In attesa del riscontro di laboratorio sull'effettivo contenuto di amido dei campioni, la prova si è basata solo su base colorimetrica, abbinandola alle condizioni vegetative della pianta.

Dalle immagini contenute nelle schede di rilevamento e le analisi, il contenuto di amido appare ben evidenziato dalla colorazione più o meno intensa del cerchio della sezione. Il colorante utilizzato (iodo-ioduro di potassio) imprime una colorazione progressivamente più scura, proporzionalmente all'aumento del contenuto di amido nei parenchimi della radice. Sarebbe evidente, quindi, che una pianta dotata di riserve energetiche adeguate è in grado di affrontare meglio un intervento di ossigenazione, ottenendo una migliore risposta in termini di reiterazione radicale. (Va comunque ricordato che lo stato energetico di una pianta, definito da Askenasi come "energia potenziale della pianta", varia nel corso dell'anno, come dimostrato da Priestly, con picchi critici che corrispondono al termine della fogliazione (primavera) e alla caduta delle foglie autunnale.

Nel rilievo sono state riportate ulteriori informazioni, relative a dati dendrometrici e alle condizioni della chioma, riferite alla "trasparenza" della stessa; quest'ultimo parametro può essere in qualche modo rapportabile alle condizioni vegetative della pianta; tale indagine, come già ricordato, può fornire indicazioni sulle condizioni di benessere e salute di una pianta, qualora correlate e affiancate ad altri parametri vitali.

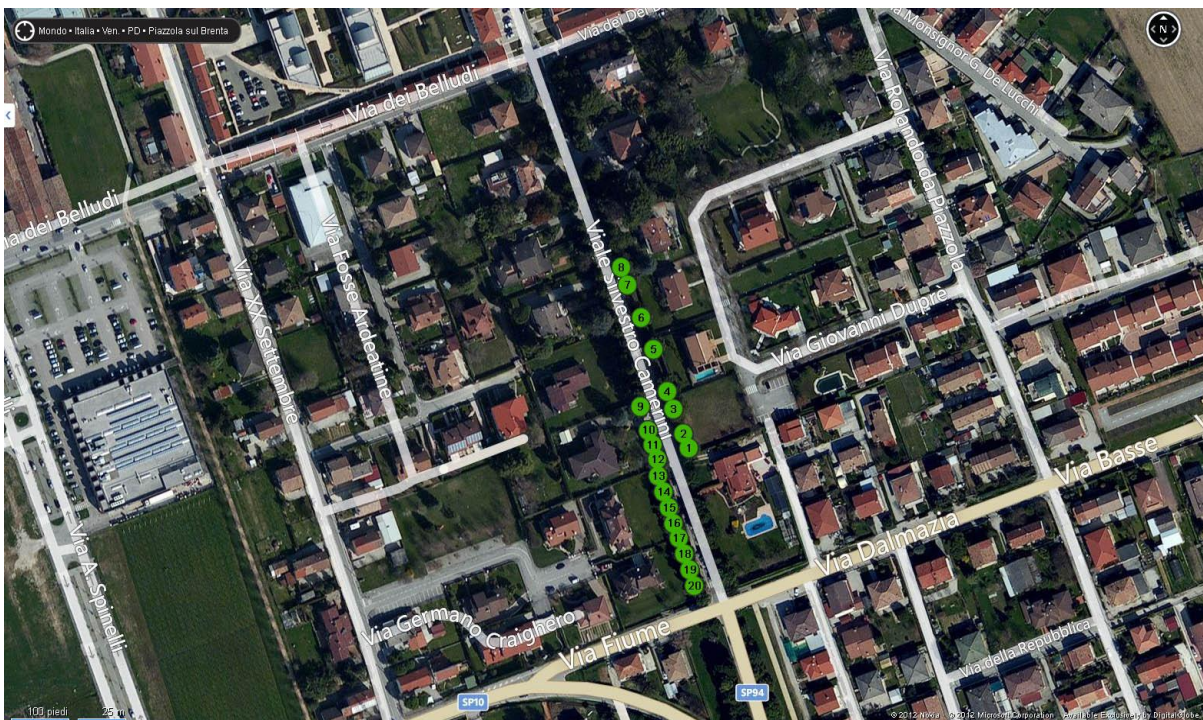


Immagine aerea che mostra il doppio filare di *Magnolia grandiflora* con le piante da cui si sono prelevati i campioni di radice (Piazzola sul Brenta - PD).



## 10 LA GESTIONE DELL'ALBERO MONUMENTALE

### 10.1 IL VALORE DELL'ALBERO MONUMENTALE



Esemplare di *Ginkgo biloba* monumentale (Parc de Schoppenwhir - Alsace - F)

Il concetto di salvaguardia è questione cruciale nella gestione degli alberi monumentali in quanto essi costituiscono di fatto un patrimonio non rinnovabile: un albero di 100 anni ha impiegato (sembra banale!) 100 anni per accrescersi, e una pianta non vale l'altra. L'individualità di ogni esemplare rende ognuno di essi un "pezzo unico" e irripetibile. Una pianta di 100 anni non corrisponde a 100 piante di 1 anno, o 20 da 5 anni; sono cose diverse. Anche il tentativo di attribuirne un valore è un tentativo vano: non si tratta di valutarne l'utilità e le funzioni svolte (per quanto riconosciute), o il valore ottenibile da computi sui costi di acquisto e gestione nel corso degli anni di vita. Gli alberi monumentali, alla stregua dei beni culturali a cui sono oramai giustamente paragonati, sono senza valore, perché un valore monetario non è loro attribuibile. Non sono beni economici, il loro valore non è stimabile (non sono oggetto di compravendita). Ma possiamo anche dire che il loro valore è inestimabile; sono un patrimonio di tutti, della comunità o dell'umanità intera.

In quanto "relitti", sopravvissuti a vicissitudini e mutamenti, possiedono un valore biologico eccezionale. La variabilità genetica, di fatto, rappresenta un patrimonio nella ricostruzione ambientale; il loro genoma diviene perciò prezioso. Da questo punto di vista assume un valore importante la scelta di *Veneto Agricoltura* (Regione Veneto) di moltiplicare e clonare gli alberi monumentali del proprio territorio.

## 10.2 GESTIRE IL PATRIMONIO ARBOREO MONUMENTALE

Dopo quanto riportato nei capitoli iniziali diviene automatico osservare che la gestione degli alberi monumentali preveda, a seconda dei casi, interventi di salvaguardia o di recupero. Vista la natura assolutamente peculiare dell'oggetto a cui si rivolge, tale gestione presenta implicazioni fitopatologiche, agronomiche ed arboricolturali che si possono poco o tanto discostare dalle ordinarie pratiche di manutenzione del verde.

### 10.2.1 Buone regole per la conservazione di un grande albero

Ecco una sorta di decalogo, per evitare danni agli alberi monumentali e ricordarci che questo ambito di studio e lavoro richiede conoscenze, competenze e abilità che non sono di facile e rapida acquisizione.

1. Si evitino potature improvvisate e ci si affidi alle indicazioni di un tecnico specializzato.
2. Si evitino scavi o modifiche del livello del suolo in un'area pari ad almeno alla proiezione della chioma, maggiorata di 2-3 metri.
3. Si evitino concimazioni o pratiche agronomiche non giustificate da attente valutazioni delle condizioni, possibilmente corredate da dati analitici.
4. Si evitino brusche modifiche delle condizioni ambientali in prossimità dell'albero, come ad esempio pavimentazioni impermeabili, compattazioni, semina di tappeto erboso o la realizzazione di impianti tecnologici (irrigazione, illuminazione, ecc.).
5. Eseguire periodiche ispezioni all'albero al fine di individuare per tempo eventuali sintomi di patologie o di danni (rami secchi, anomalie nella colorazione o dimensione del fogliame, danni meccanici a seguito di temporali, presenza di parassiti o patogeni, ecc.).
6. Qualora sorgano sospetti, o alla eventuale prima comparsa di sintomi indiziali, si interpellino un tecnico specializzato per una precoce diagnosi e un tempestivo intervento.
7. Si eviti l'impiego di fitofarmaci, diserbanti o altri prodotti chimici sulla chioma o alla base dell'albero senza prescrizioni di un tecnico abilitato (e realmente preparato).
8. Evitare l'impiego di cicatrizzanti, mastici, cemento, poliuretano o altre sostanze inadatte su ferite e cavità (su ferite fresche da taglio possono casomai essere giustificati normali disinfettanti).
9. Evitare di praticare fori di drenaggio in corrispondenza di cavità, o di effettuare "pulizie" a parti morte o malate, rimuovendo o intaccando tessuti vitali.
10. Non inserire o applicare protesi, sostegni o ancoraggi a fusti o branche (lasciare eventualmente il compito a tecnici ben preparati ed attrezzati).

Su questi punti varrebbe la pena di fare alcune precisazioni, in quanto non forniscono i necessari chiarimenti e giustificazioni: in pratica dicono quello che non si dovrebbe fare e non quello che invece si può o si deve fare. Queste potremmo considerarle come delle buone regole, basate sul buon senso e la prudenza; esistono ovviamente pratiche di prevenzione e di cura a cui è possibile ricorrere. Va comunque ribadito il concetto che ogni intervento dovrebbe essere programmato, e perciò inserito in uno specifico piano di gestione (che potremo chiamare “**Piano di Salute e Benessere**”); tanto più se si tratta di individui arborei secolari o comunque con carattere monumentale.

Una seria programmazione inizia da una precisa ricognizione, da cui possa scaturire una completa diagnosi o informativa sulle reali condizioni di salute e benessere della pianta in oggetto. Le indagini e i rilievi (morfologici, fisiologici e sanitari), di cui si è parlato nel capitolo 4 possono fornire un quadro sufficientemente completo da consentire l'impostazione di un programma di prevenzione ed eventuale cura, nell'immediato, nel breve, o nel medio e lungo periodo (visto che si tratta di piante annose, e da mantenere in vita il più a lungo possibile).

Tutto ciò è sicuramente condivisibile e auspicabile, ma non costituisce, purtroppo, prassi diffusa. Facciamo l'esempio delle amministrazioni pubbliche (comunali, in particolare), che spesso detengono la custodia del bene monumentale): esse sono soggette ad avvicendamenti frequenti delle giunte o nelle direzioni e, sempre più, sono alle prese con bilanci economici che rendono difficili investimenti di questo tipo. Parlare di investimenti e non di costi, nel caso specifico, è da considerarsi corretto, in quanto si tratta di salvaguardare un bene (patrimonio), cioè preservarlo dall'alienazione e magari valorizzarlo. Molto spesso gli interventi divengono veramente costi senza un utile ritorno, ovvero sprechi, quando anziché preservare sono causa di danneggiamento, di compromissione del bene stesso, con conseguenti ulteriori costi per risanamenti, messa in sicurezza, fino all'abbattimento e sostituzione.

Di seguito si farà dunque cenno ad alcune pratiche e tecniche adottabili in ambito sia preventivo che curativo, e rivolte in special modo agli apparati radicali, componente a cui questa trattazione si è in particolar modo rivolta.

### 10.2.1 Gli interventi di carattere preventivo

Delle buone pratiche o situazioni che in qualche misura preservano o mettono in condizioni favorevoli l'esemplare arboreo abbiamo già fatto menzione. È anche vero che sono spesso le condizioni ambientali non idonee a divenire cause predisponenti, scatenanti o concorrenti all'insediamento di un patogeno o di un parassita. Per cui **ogni buona cura va accompagnata dalla rimozione di queste cause** e dalla creazione di condizioni favorevoli per la pianta.

**L'arieggiamento.** Si è già detto (e le prove sperimentali condotte lo ribadiscono) come le condizioni energetiche della pianta, e quindi quelle vegetative e sanitarie, siano strettamente legate alla qualità del suolo, intesa anche e soprattutto come contenuto in ossigeno. In pratica devono essere garantiti gli scambi gassosi tra suolo (rizosfera) e atmosfera. La presenza di ossigeno

consente la respirazione cellulare e quindi di ottenere energia dalle riserve metaboliche. Le pratiche atte a favorire la presenza di ossigeno a livello rizosferico possono consistere:

- Nella rimozione-eliminazione del cotico erboso (ove presente);
- Nella rimozione di eventuali strati superficiali impermeabili o poco permeabili, pavimentazioni, ecc.;
- In lavorazioni superficiali (con attenzione a non danneggiare le radici in superficie);
- Nell'insufflazione di aria mediante getti ad alta pressione;
- Nell'escavazione/rimozione di volumi più o meno significativi di suolo compattato e sostituzione con substrato drenante;
- Nell'impiego di ammendanti per favorire la creazione e il mantenimento della struttura (colloidi organici o minerali);
- Nell'inserimento di dreni, atti a facilitare e a mantenere la circolazione di aria (utili anche per eventuali irrigazioni di soccorso) e l'allontanamento di acque meteoriche o di falda in eccesso;
- Nella rimozione di strati sotterranei impermeabili, qualora favoriscano il ristagno idrico e condizioni di asfissia;
- Nella salvaguardia dal compattamento del suolo interessato dalle radici mediante impiego di materiale pacciamante permeabile sulla superficie;
- Nella protezione dal calpestamento e conseguente compattamento del suolo interessato dalle radici mediante limitazione dell'accesso (recinzione-delimitazione dell'area).



Ph. G. Nalin

Situazione non rara in ambiente urbano: gli alberi spesso mostrano capacità di sopravvivenza a situazioni difficili; (queste piante non potranno comunque diventare "monumentali").

Ogni intervento deve essere eseguito limitando il più possibile danni o stress alla pianta, altrimenti andrebbero vanificati gli obiettivi dell'intervento stesso. È buona pratica, qualora si debba intervenire o transitare nell'area interessata dalle radici con mezzi meccanici, preservare il suolo dal costipamento mediante l'apposizione di tavole, assi, griglie metalliche per il tempo necessario all'esecuzione dei lavori, evitando il ricarico di terreno.

Per la creazione di condizioni più favorevoli all'interno della massa di terreno che ospita le radici si possono anche impiegare pali iniettori, con i quali iniettare aria a forte pressione, con l'effetto di rompere le zolle compatte. Questo tipo di intervento può risultare dirompente e "brutale", e provocare la rottura delle radici fini. Più tollerabile risulta l'eliminazione dello strato più superficiale del terreno mediante "air spade", oppure con getto d'acqua a forte pressione. In questi casi il suolo asportato potrà essere sostituito da substrato appositamente studiato. Inoltre, la messa in luce delle radici e del colletto consente di verificare la presenza di eventuali patologie a carico delle radici o del colletto, e di intervenire con asportazioni e cure appropriate.

Il terreno interessato dalle radici della pianta possiede in genere una capacità di opporsi ai cambiamenti di tipo fisico, chimico e biologico. Si tratta di una sorta di "potere tampone", che però risulta negativo qualora la situazione sia sfavorevole e vi sia la necessità di curare la pianta. In questo caso è necessario modificare questo equilibrio, a vantaggio di una situazione nuova e più favorevole per la pianta. La sostituzione del terreno diviene dunque la soluzione più razionale.



Apparato radicale (radici superficiali) messo "in luce" mediante getto ad aria compressa "air spade" (L. Strazzabosco).

Gli scavi possono anche essere localizzati, e non interessare l'intero piatto radicale; in questo caso si scavano delle trincee o dei fori, che possono avere dimensioni e distribuzione diversa. L'intervento è meglio se viene eseguito non su tutta la proiezione della chioma, ma a settori, per non compromettere la stabilità della pianta e la funzionalità dell'apparato radicale; in questa maniera si riduce anche l'impatto che l'intervento produce sulla pianta; l'opera in questo caso va

completata nel giro di due o più stagioni vegetative, consentendo alla pianta di sopportare meglio l'intervento, qualora si presenti in condizioni tali da non tollerare stress eccessivi. Trincee o fori vanno praticati a partire da circa 50 cm dal fusto, per una profondità che in genere va dai 40 ai 50 centimetri. Il terreno asportato va sostituito con un substrato appositamente preparato, in considerazione delle specifiche problematiche della pianta e delle caratteristiche della specie. Si impiegano substrati costituiti da una percentuale significativa di materiale drenante, come la laterlite (*Agrileca*), oppure lapillo vulcanico o pomice, da miscelare a torba di sfagno, compost, sabbia grossa e terra di coltivo. Alla miscela così preparata possono essere aggiunti, o impiegati per irrorazioni, stimolanti e fertilizzanti (fitormoni, acidi umici, concimi organici e minerali, in particolare fosfatici). Eventuali trattamenti disinfettanti e curativi vanno eseguiti prima dell'interramento. Successivamente la zona di intervento va protetta con pacciamatura, per limitare l'esposizione eccessiva delle radici e garantire un più prolungato mantenimento delle condizioni favorevoli. Si presta bene la corteccia di conifere, ma vanno altrettanto bene anche geostuoie o geotessuti, purché di spessore sufficiente a garantirne efficacia e durata. Le epoche più favorevoli in cui intervenire sono la primavera e il primo autunno, prima della più intensa attività radicale. Soprattutto per gli interventi eseguiti in primavera è necessario prevedere frequenti controlli ed irrigazioni di soccorso (in particolare nel periodo estivo), in quanto la pianta è più esposta ai rischi conseguenti alla carenza idrica.



Segmento di 17 centimetri di radice sottoposta a ossigenazione (sostituzione del terreno con substrato drenante, fertilizzanti e stimolanti), da cui si sono sviluppate oltre 100 nuove radici in corrispondenza di calli di abscissione di "vecchie" radici assorbenti (foto L. Strazzabosco).

La protezione alla pianta può essere completata delimitando la *Zona di Rispetto Assoluto* (ZRA), ovvero l'area interessata dal sistema radicale, maggiorata di almeno 2-3 metri oltre la proiezione della chioma. La delimitazione potrà essere ottenuta con recinzioni, staccionate o altri ostacoli efficaci e compatibili con il contesto.



Semplice protezione alle branche radicali superficiali e al terreno alla base di una quercia monumentale, costituita da una catena sorretta da pilastri in metallo (Isola Madre, Lago Maggiore).

### 10.3 IL CONSOLIDAMENTO

Gli alberi monumentali spesso, per la loro mole e per le condizioni di stabilità compromesse da diverse vicissitudini possono richiedere interventi che fanno riferimento a tecniche e strumenti diversi. Lo scopo è quello di fornire un sicuro sostegno della pianta, o di ridurre sollecitazioni provocate da carichi dovuti al peso della pianta stessa, o che si aggiungono a seguito di neve e vento, che possono essere causa di schianti o rotture. Anche potature oculate possono contribuire al medesimo scopo; in genere potatura e consolidamento vengono abbinati. Interventi di questo tipo possono rendersi necessari a seguito di operazioni di risanamento e “rigenerazione” del sistema radicale, in cui la funzione di sostegno sia temporaneamente compromessa; oppure, per limitare sollecitazioni alla zolla durante la formazione di nuove radici. Ne vediamo brevemente le diverse tecniche adottabili, a seconda dei casi.

**Il sostegno (*bracing*).** Consiste nella infissione di barre o anelli metallici nel fusto o nelle branche. Si applica ad alberi che presentano gravi danneggiamenti oppure biforcazioni ad inserzione debole, o dove vi siano spaccature conseguenti a gelate, ecc.; l’obiettivo è quello di impedire un divaricamento ulteriore. Vanno però evitati elementi e soluzioni che possono rivelarsi invasivi (come viti passanti) o che possono favorire la rottura o la degradazione del legno, ed è comunque necessario eseguire frequenti controlli e “aggiustamenti”.

**Ancoraggio (*guying*).** Consiste nel sostenere l'albero mediante tiranti collegati al suolo, limitando così i movimenti e scaricando le tensioni. Si applicano temporaneamente su giovani piante poste a dimora (tutoraggio) o su alberi monumentali instabili o inclinati. Divengono elementi antiestetici, e possono costituire pericolo per gli utenti. La scelta della precisa tecnica di ancoraggio e degli elementi strutturali non sono aspetti trascurabili. In genere vanno attentamente valutati i punti di posizionamento dei tiranti sul fusto e al suolo mediante calcoli che tengono conto della stima della massa arborea, della spinta del vento, del baricentro e dell'inclinazione della pianta, e di eventuali ostacoli o interferenze presenti sul posto o che si vanno a creare.



Ancoraggio e consolidamento del monumentale *Cupressus cashmeriana* dell'Isola Madre (Lago Maggiore), a seguito del ribaltamento della zolla; i tiranti collegano i fusti principali al suolo.

**Puntellamento (*propping*).** Consiste nella posa in opera di sostegni allo scopo di evitare il cedimento di grosse branche o di fusti fortemente inclinati o sbilanciati. Il sostegno statico appoggia stabilmente al suolo, formando un'unica struttura con l'albero.



Puntellamento (London, St. James's Park)

**Consolidamento vero e proprio (*cablin e sling*).** Consiste nel collegamento di fusti o branche deboli a fusti o branche solide mediante cavi. Attualmente si ricorre a cavi costituiti da fibre sintetiche. L'obiettivo è di assicurare parti deboli della pianta a parti più sicure, così da limitarne il movimento e fornire un sostegno. A seconda della tecnica e della necessità, il sostegno può essere statico o dinamico. Quest'ultima soluzione consente l'autoriparazione del difetto. Il sostegno non è definitivo, ma soggetto ad usura; perciò dovrà essere controllato e all'occorrenza sostituito.

**Problematiche del consolidamento.** Il consolidamento non risolve il problema strutturale; inoltre, la struttura impiegata richiede periodiche verifiche e manutenzione; non sono poi infrequenti problemi conseguenti alla presenza di cavi, che comportano necessità di cure alla pianta. Le installazioni sono comunque possibili purché vi siano fusti o branche sufficientemente solidi; in alternativa rimane la potatura. Abbinare al consolidamento la potatura diviene spesso la soluzione più razionale. In genere, è preferibile potare in alberi giovani e nel caso la potatura non comprometta l'aspetto strutturale ed estetico della pianta. Vanno valutati anche i costi degli interventi, nel breve e nel lungo periodo, in considerazione del valore dell'esemplare.

#### 10.4 METODI ANALITICI DI VALUTAZIONE DI STABILITA' DEGLI ALBERI

La scelta del tipo di intervento e della tecnica da adottare segue una attenta analisi valutativa della stabilità dell'albero. Il metodo di valutazione più diffuso e conosciuto è il metodo VTA (*Visual Tree assessment*). Si tratta comunque di un metodo che si limita alla valutazione visiva, con tutti i limiti derivanti dalla mancanza di riscontri analitici. Per questo si ricorre a successive indagini analitiche. I metodi analitici oggi in uso per la valutazione di stabilità degli alberi possono però risultare troppo semplicistici, come l'indice t/r (Mattheck e Breloer, 1998) o il SIA (Wessolly e Erb, 1998), oppure troppo complessi per essere utilizzati nell'arboricoltura pratica.

##### 10.4.1 La valutazione biomeccanica e il Metodo OREBLA: un metodo analitico per la valutazione di stabilità degli alberi.

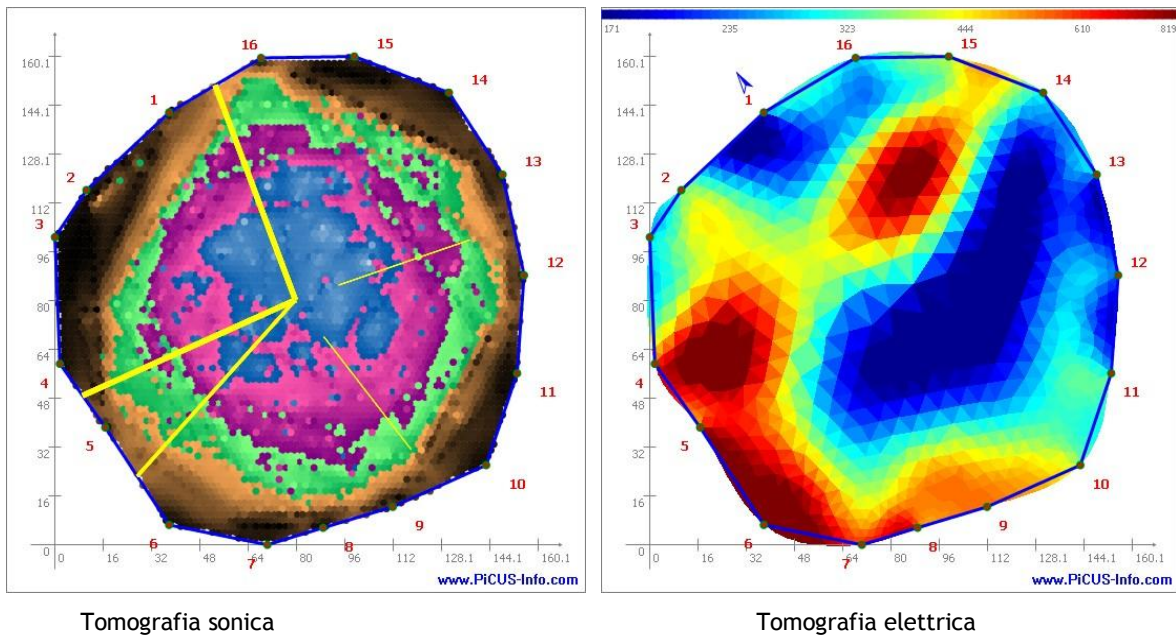
Attualmente tra le facoltà di agraria dell'Università di Padova e quella di Firenze si sta testando un nuovo metodo di valutazione della stabilità, di cui vale la pena accennare. Tale metodo, denominato "OREBLA", è stato costruito proprio con l'obiettivo di fornire un aiuto nel processo diagnostico che sta alla base della valutazione di stabilità, e come strumento utile per verificare l'opportunità e l'efficacia delle scelte colturali perseguibili. *Orebla* cerca di riprodurre la situazione reale in cui si trova l'albero, mediante una modellazione di forma e dimensioni dei vari organi, per poi utilizzare un approccio biomeccanico per la stima di alcune variabili significativamente correlate con la propensione al cedimento. Tale approccio integra la valutazione visuale e strumentale dell'albero eseguita con i metodi tradizionali oggi in uso (Sani, 2008; Sani, 2011; Strazzabosco, 2012), per verificare con modalità diverse la presenza e l'estensione di difetti strutturali o di patologie degenerative nel legno.

Il software OREBLA è in grado di selezionare tre tipologie di "zolla radicale efficace" (ovvero, quella porzione di terreno e radici delimitata dalla zona in cui avviene il processo di ribaltamento e che quindi a questo si oppone in via prioritaria); queste sono selezionate in funzione delle dimensioni dell'albero e delle principali proprietà geomeccaniche del terreno, come pure dei limiti fisici determinati dalla presenza di ostacoli o scavi effettuati in prossimità dell'albero.

L'analisi modellistica, tramite una stima delle sollecitazioni esercitate in casi concreti, permette una individuazione orientativa del fattore di sicurezza "reale", mediante il rapporto fra variabili significative dal punto di vista biomeccanico.

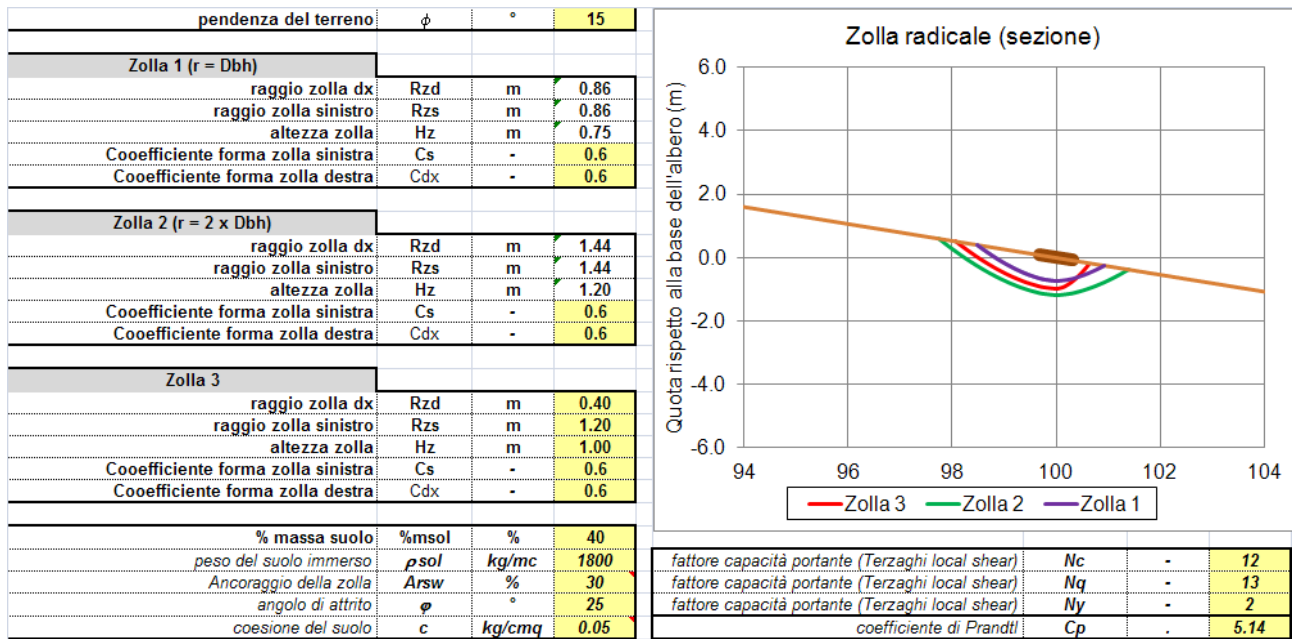
Nell'estate del 2012, all'interno del Parco storico villa Bolasco di Castelfranco Veneto (TV) di proprietà dell'Università di Padova, su alcuni alberi "fondatori" del parco sono state effettuate analisi strumentali per costruire un modello di valutazione della riduzione del fattore di sicurezza del tronco da attribuire sul modello *Orebla*, per la valutazione della propensione al cedimento. È stato usato un tomografo Picus® a 8/16 sensori e un tomografo elettrico: *Treetric®* a 24 sensori. Sovrapponendo i dati ottenuti e riducendo il coefficiente di errore in tal modo su una griglia si è valutata la riduzione del fattore di sicurezza da imputare al modello. Un'altra variabile correlata al cedimento è la misura della rottura da taglio del terreno; all'interno dello stesso parco di Villa

Bolasco si è impiegato così il “VANE TEST” (procedura tra le più usate per la valutazione della resistenza al taglio del terreno coesivo).

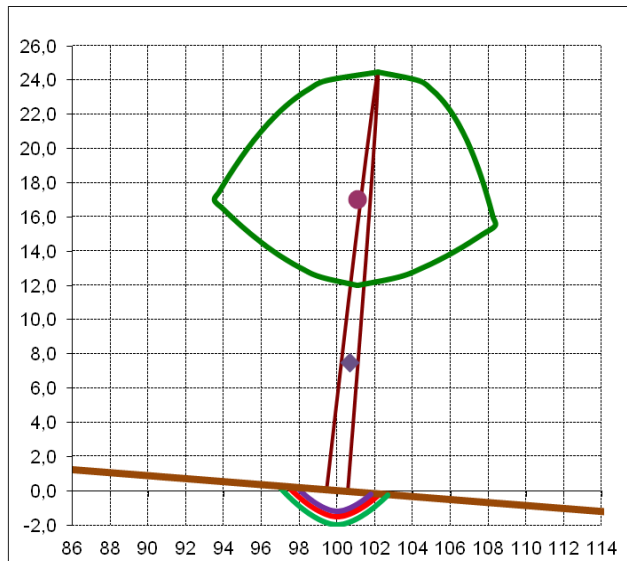


Differentemente dalla valutazione di stabilità visuale e strumentale classica, che individua la presenza di difettosità o anomalie morfologiche più o meno direttamente connesse con la propensione al cedimento degli alberi, l’analisi modellistica studia l’albero nel suo complesso, cercando di individuare quali siano le condizioni critiche al contorno che possono determinarne il cedimento. In particolare ci si focalizza sulla stima della velocità del vento critico e del carico di neve. In altre parole, se il modello individua una velocità o un carico critico che può verificarsi nel luogo dove l’albero vive, si consiglia l’abbattimento o la riduzione delle dimensioni del soggetto arboreo con interventi culturali appropriati; diversamente, l’eventuale cedimento è da ascrivere ad un evento eccezionale e fortuito, quindi non dovuto alla responsabilità del valutatore e del proprietario.

È perciò opportuno individuare la ventosità ed il carico di neve critico per la zona di vegetazione dell’albero esaminato e questi possono essere ricostruiti ricorrendo a tecniche specifiche (Sani, 2008; Sani, 2009). Con tutte le informazioni fin qui conseguite è infine possibile formulare alcune verifiche di stabilità.



Simulazione di tre diverse zolle efficaci in Orebla, viste in sezione radiale, ed elenco delle principali variabili geomeccaniche in un caso di esempio



Simulazione della forma dell'albero in Orebla

In OREBLA l'albero viene modellato ricorrendo ad un insieme di funzioni di profilo, sia per il tronco che per la chioma, in modo tale che, mediante il ricorso a poche variabili facilmente misurabili (diametro a petto d'uomo, altezza totale, altezza di base della chioma, altezza di massima espansione, raggi della chioma, inclinazione del tronco) o stimabili (coefficienti di forma), è possibile "costruire" un albero virtuale il più possibile fedele a quello oggetto di indagine. In particolare, la forma e dimensione della chioma determina la quantità di vento che si riflette sugli organi di sostegno dell'albero per cui, a favore della sicurezza, è opportuno considerare la superficie della chioma nella sua massima esposizione e cioè assumendo che la situazione critica (in termini di intensità del vento) si manifesti ortogonalmente alla superficie più ampia che la chioma può offrire.

## 10.5 LA GESTIONE

Attraverso una tabella riassumiamo i possibili interventi che caratterizzano un piano di gestione; essi comprendono indagini, operazioni di tipo colturale, di carattere preventivo o terapeutico; a seconda del tipo, ogni operazione può avere una diversa frequenza e distribuzione nel corso dell'anno o degli anni; alcuni hanno carattere straordinario.

TIPO DI INTERVENTO	PERIODICITA'/FREQUENZA	NOTE
Irrigazione	Stagionale	A seconda dell'andamento stagionale e delle condizioni della pianta
Irrorazione radicale	Stagionale	A seconda dell'obiettivo, con fertilizzanti, fitofarmaci, ormoni, biostimolanti
Curettatura carie	Mensile	Controllo tecnico
Scerbatura	Stagionale	Su terreno nudo o inerbito spontaneamente
Diserbo chimico sottochioma	Stagionale (a seconda del prodotto impiegato)	Su terreni inerbiti spontaneamente, salvo controindicazioni
Posa/sostituzione telo o tessuto pacciamante	Triennale	A seconda del tipo di materiale
Stesa/risarcimento materiale pacciamante	Annuale	A seconda del materiale (es. lapillo, vulcanite, corteccia di conifere, cippato, ecc.)
Trattamenti chimici su chioma e radici/endoterapia	Stagionali	A seconda dell'avversità da combattere
Potatura di rimonda	Ogni 2-3 anni	Estiva o invernale
Potature curative	Straordinarie o annuali	A seconda del caso (es. a seguito di lesioni e successive infezioni); Interventi oculati a cura di tecnici preparati
Potature di ringiovanimento	Straordinarie	Solo su determinate specie ed individui idonei; Interventi oculati a cura di tecnici preparati
Potature per alleggerire o riequilibrare la chioma	Straordinarie	Solo su determinate specie e per individui idonei; Interventi oculati a cura di tecnici preparati
Indagini/verifica stabilità	Da semestrali a annuali	A seconda della gravità del caso
Tomografia assiale/altre indagini strumentali	Annuale	Controllo tecnico
Analisi radici	Semestrale	Controllo tecnico
Insufflazione aria/arieggiamento zona radicale	Triennale	A seconda del caso e dei metodi
Consolidamento	Straordinaria, con controlli e adattamenti periodici	A seconda del tipo di consolidamento e del caso
Sostituzione localizzata substrato	Straordinaria	A seconda del caso e dell'entità della sostituzione
Parafulmine	Straordinaria	Verificate le probabilità



## 11 CONCLUSIONI

Salvaguardare e recuperare individui arborei di grande pregio è un dovere, per tutto quello che essi rappresentano. La ricerca ha la responsabilità di fornire utili indicazioni in proposito; le università sono espressamente chiamate quali referenti privilegiati.

Questa trattazione, per quanto parziale e limitata, vuol fornire un'idea delle effettive possibilità per intervenire in loro favore: innanzitutto preservando i “monumentali” da quelli che abbiamo visto essere le più frequenti cause di “malessere”. La più recente ricerca ha fornito (e continua a fornire) preziosi strumenti di diagnosi, e utili indicazioni per intervenire terapeutamente. Certe specie arboree si possono considerare potenzialmente immortali; però vanno comunque incontro a processi di decadimento. Ma ora tali processi li possiamo meglio interpretare, con la prospettiva di prevenirli o limitarli.

Analizzando correttamente ogni aspetto che può contraddistinguere un albero e il suo contesto da altre situazioni, è possibile constatare come le problematiche siano complesse. Esse riguardano la specie di appartenenza, la tipologia di pianta e la gestione; riguardano l'ambiente in cui la pianta è inserita, e in particolare la qualità del suolo. Su quest'ultimo aspetto ci si è soffermati per evidenziare le differenze fra una situazione “naturale” ed una invece artificiale, individuando nei processi di decadimento del suolo molte delle cause del declino anche delle piante. Le alterazioni e le deviazioni dei suoli di ambienti urbani rispetto ai suoli forestali, riguardano condizioni sia fisiche che chimiche che biologiche. Lo stato fitosanitario degli apparati radicali ne è direttamente condizionato. Ma lo è anche la vitalità della pianta, e quindi la possibilità da parte della stessa di reagire e sopravvivere. Sopravvivenza che prevede la ciclica reiterazione dell'apparato assorbente.

Le prove effettuate hanno voluto apportare un piccolo contributo in questa direzione: individuare le condizioni che favoriscono (ma anche quelle che ostacolano) la generazione di nuove radici assorbenti.

La pianta arborea mantiene la capacità di produrre nuove radici anche negli assi in crescita secondaria. Si è osservato che ciò avviene normalmente, e di frequente in corrispondenza di cicatrici di abscissione di precedenti radici assorbenti. Ad ostacolare questa risposta sono solitamente le condizioni inadeguate di ossigenazione, il decadimento del suolo, le condizioni energetiche della pianta.

È quindi assodato (ed è apparso evidente dalle prove condotte) che la reiterazione radicale non può prescindere dalla presenza di ossigeno. È altrettanto chiaro (gli esami tutt'ora in corso cercano di quantificarlo) che le riserve metaboliche della pianta sono determinanti. Attraverso indagini analitiche messe a punto di recente, si cerca di attribuire al contenuto di amido nei tessuti radicali una corrispondente risposta generativa: la verifica della rispondenza porterà ad ottenere uno strumento utile e pratico di stima. Staremo a vedere. Ma conosciamo la rilevanza che riveste la corretta valutazione anche degli altri parametri vitali della pianta (ipogei ed epigei). Tutto ciò può restituirci una più chiara stima dell'effettiva possibilità di intervenire nella “rigenerazione” degli apparati radicali, e con essi

dell'intero albero, con i presupposti necessari affinché le condizioni possano essere mantenute a livelli idonei.

Ma a Padova si sta lavorando su più fronti: il nuovo metodo di valutazione della stabilità, denominato "OREBLA", nasce da una proficua collaborazione con l'Università di Firenze.

È ragionevole pensare che tanto vi sia però ancora da comprendere e scoprire sulla straordinaria biologia delle piante arboree. Forse il limite più grande è la presunzione di aver compreso tutto, o quanto basta per operare. Di fatto, la gestione del "verde", e a volte dei grandi alberi, è da noi frequente appannaggio di chi crede di sapere.

L'approccio con una pianta arborea di grande valore dovrebbe invece avvenire con umiltà, ma allo stesso tempo liberi da condizionamenti e preconcetti; e che nessun particolare sia trascurato. Un approccio interdisciplinare, olistico, capace di raccogliere da ogni esperienza, da ogni conoscenza, elementi utili alla comprensione e alla risoluzione del problema. Le piante sanno reagire, sanno difendersi. Dobbiamo consentire loro di farlo.



"Maronaro" monumentale - Colli Euganei (ph. G- Nalin)

**BIBLIOGRAFIA E LETTERATURA CITATA**

- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. 1998. An ordinal classification for the families of flowering plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 85: 531–553.
- BAKER, III, T. T., W. H. CONNER, B. G. LOCKABY, J. A. STANTURF, AND M. K. BURKE. 2001. Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in South Carolina. *Soil Science Society of America Journal* 65: 545–556.
- BARLOW, P. W. 1986. Adventitious roots of whole plants: their forms, functions and evolution. In M. B. Jackson [ed.], *New root formation in plants and cuttings*, 67–110. M. Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands.
- BARLOW, P. W. 1994. The origin, diversity and biology of shoot-borne roots. In T. D. Davis and B. E. Haissig [eds.], *Biology of adventitious root formation*, 1–23. Plenum Press, New York, New York, USA.
- BLAKESLEY, D. 1994. Auxin metabolism and adventitious root formation. In T. D. Davis and B. E. Haissig [eds.], *Biology of adventitious root formation*, 143–154. Plenum Press, New York, New York, USA.
- BOGAR, G. D., AND F. H. SMITH. 1965. Anatomy of seeding roots of *Pseudotsuga menziesii*. *American Journal of Botany* 52: 720–729.
- BRUDI E., 2002. Trees and statics: an introduction. *Arborist News*, 11:28-33
- BOKE, N. H. 1979. Root glochids and root spurs of *Opuntia arenaria* (Cactaceae). *American Journal of Botany* 66: 1085–1092.
- BURKE, M. K., AND D. J. RAYNAL. 1994. Fine-root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil* 162: 135–146.
- BUSHAMUKA, V. N., AND R. W. ZOBEL. 1998a. Maize and soybean tap, basal and lateral root responses to a stratified acid, aluminum-toxic soil. *Crop Science* 38: 416–421.
- BUSHAMUKA, V. N., AND R. W. ZOBEL. 1998b. Differential genotypic and root type penetration of compacted soil layers. *Crop Science* 38: 776–781.
- BYRNE, J. M., T. C. PESACRETA, AND J. A. FOX. 1977. Development and structure of the vascular connection between the primary and secondary root of *Glycine max*. *American Journal of Botany* 64: 946–959.
- CHEN, J., D. WU, F. H. WITHAM, C. W. HEUSER, AND R. N. ARTECA. 1996. Molecular cloning and characterization of auxin-regulated genes from mungbean hypocotyls during adventitious root formation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121: 393–398.
- DAWSON, L. A., S. J. GRAYSTON, AND E. PATERSON. 2000. Effects of grazing on the roots and rhizosphere of grasses. In G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, and F. Carvalho [eds.], *Grassland ecophysiology and grazing ecology*, 61–84. CAB International 2000, Wallingford, Oxon, UK.
- DE KLERK, G.-J., W. VAN DER KRIEKEN, AND J. C. DE JONG. 1999. The formation of adventitious roots: new concepts, new possibilities. *In Vitro Cellular and Developmental Biology—Plant* 35: 189–199.
- DELL, B., J. KUO, AND G. J. THOMSON. 1980. Development of proteoid roots in *Hakea obliqua* R. Br. (Proteaceae) grown in water culture. *Australian Journal of Botany* 28: 27–37.
- DREW, M. C. 1975. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. *New Phytologist* 75: 479–490
- ESAU, K. 1965. *Plant anatomy*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, New York, USA.
- ESAU, K. 1940. Developmental anatomy of the fleshy storage organ of *Daucus carota*. *Hilgardia* 13: 175–226.
- ESCAMILLA, J. A., AND N. B. COMERFORD. 2000. Phosphorous and potassium uptake by woody roots of twelve-year-old slash pine trees. *Forest Ecology and Management* 129: 153–166.
- FAHEY, T. J., AND J. W. HUGHES. 1994. Fine-root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook Experimental Forest. *Journal of Ecology* 82: 533–548.

- FAHN, A. 1990. Plant anatomy. Pergamon Press, Oxford, UK.
- FERNANDEZ, G., 1999. La parola agli alberi. Claudio Gallone Editore - Milano
- FINI A., AND SANI, L. 2011, 2012. La valutazione di stabilità degli alberi. ACER 1/2011 43-47, ACER 5/12 87-89, ACER 6/2012 75-76.
- FINI A., 2011. Le micorrize: tipi e funzioni. Il Verde Editoriale, Milano ACER 4:95-97
- FRANCO, A. C., AND P. S. NOBEL. 1990. Influence of root distribution and growth on predicted water-uptake and interspecific competition. *Oecologia* 82: 151–157.
- GILL, R. A., AND R. B. JACKSON. 2000. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist* 147: 13–31.
- GREGORY P.J., 2006. Plant Roots. Growth, Activity and Interaction with Soil.
- HAISSIG, B. E., T. D. DAVIS, AND D. E. RIEMENSCHNEIDER. 1992. Researching the controls of adventitious rooting. *Physiologia Plantarum* 84: 310–317.
- HAYWARD, H. E. 1938. The structure of economic plants. Macmillan, New York, New York, USA.
- HUCK, M. G., G. HOOGENBOOM, AND C. M. PETERSON. 1987. Soybean root senescence under drought stress. In H. M. Taylor [ed.], *Minirhizotron observation tubes: methods and applications for measuring rhizosphere dynamics*, 109–121. American Society of Agronomy Special Publication no. 50. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- HUTCHISON, K. W., P. B. SINGER, S. MCINNIS, C. DIAZ-SALAZ, AND M. S. GREENWOOD. 1999. Expansins are conserved in conifers and expressed in hypocotyls in response to exogenous auxin. *Plant Physiology* 120: 827–831.
- JACKSON, M. B. [ED.]. 1986. *New root formation in plants and cuttings*. M. Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands.
- JACKSON, M. B., AND M. C. DREW. 1984. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In T. T. Kozłowski [ed.], *Flooding and plant growth*, 47–128. *Physiological ecology*. Academic Press, Orlando, Florida, USA.
- JONES, F. R. 1943. Growth and decay of the transient (noncambial) roots of alfalfa. *Journal of the American Society of Agronomy* 35: 625–634.
- KAUSCH, W. 1965. Beziehungen zwischen Wurzelwachstum, Transpiration und CO<sub>2</sub>-Gaswechsel bei einigen Kakteen. *Planta* 66: 229–238.
- KEVERS, C., J. F. HAUSMAN, O. FAIVRE-RAMPANT, D. EVERS, AND T. GASPAR. 1997. Hormonal control of adventitious rooting: progress and questions. *Journal of Applied Botany* 71: 71–79.
- KOZŁOWSKI, T. T. 1984. Responses of woody plants to flooding. In T. T. Kozłowski [ed.], *Flooding and plant growth*, 129–163. *Physiological ecology*. Academic Press, Orlando, Florida, USA.
- KRAMER, P. J. 1983. *Water relations of plants*. Academic Press, New York, New York, USA.
- LAUENROTH, W. K., O. E. SALA, D. G. MILCHUMAS, AND R. W. LATHROP. 1987. Root dynamics of *Bouteloua gracilis* during short-term recovery from drought. *Functional Ecology* 1: 117–124.
- LOGAN, W. B. 2008. La quercia, storia sociale di un albero
- MACFALL, J. S., G. A. JOHNSON, AND P. J. KRAMER. 1991. Comparative water uptake by roots of different ages in seedlings of loblolly pine (*Pinus taeda*, L.). *New Phytologist* 119: 551–560.
- Marsoni A., 1985 – Effetto della rimozione di sink produttivi sulla resistenza stomatica e sul potenziale idrico fogliare di piante di vite.
- MATTEK C., BRELOER H., 1994. The body language of trees: a handbook for failure analysis. *Research for amenity trees* 4, HMSO, Londra.

- MATTEK C., BRELOER H., 1998. La stabilità degli alberi. Fenomeni meccanici e implicazioni legali dei cedimenti degli alberi. Il verde editoriale, Milano.
- MATTEK C., BETHGE K., TESARI I., 2006. Shear effect on failure of hollow trees. *Trees – structure and Function*, 20(3):329-333
- (McCulloh K. A., Sperry J. S., 2005 – Pattern in hydraulic architecture and their implication for transport efficiency. *Tree Physiology*, 25: 257-267).
- NALIN, G., 1998. “*L’ambiente, il paesaggio, il giardino*”, *lezioni di ecologia, botanica e gestione del verde* – F.lli Corradin Ed.
- NIKLAS, K. J., F. MOLINA-FREANER, C. TINOCO-OJANGUREN, AND D. J. PAOLILLO, JR. 2002. The biomechanics of *Pachycereus pringlei* root systems. *American Journal of Botany* 89: 12–21.
- NOBEL, P. S. 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- NOBEL, P. S. 1994. Root-soil responses to water pulses in dry environments. In M. M. Caldwell and R. W. Pearcy [eds.], *Exploitation of environmental heterogeneity by plants*, 285–304. Academic Press, San Diego, California, USA.
- NOBEL, P. S., AND J. SANDERSON. 1984. Rectifier-like activities of roots of two desert succulents. *Journal of Experimental Botany* 35: 727–737.
- Nola P., Carrer M., Motta R., Urbinati C., 2005) - *Ricerche dendrologiche dalle Alpi all’Aspromonte* - *Informatore Botanico Italiano*, vol. 37.
- NORBY, R. J., AND R. B. JACKSON. 2000. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist* 147: 3–12.
- OLIVER, M. J., I. MUKHERJEE, AND D. M. REID. 1994. Alteration in gene expression in hypocotyls of sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings associated with derooting and formation of adventitious root primordia. *Physiologia Plantarum* 90: 481–489.
- PRITCHARD, S. G., AND H. H. ROGERS. 2000. Spatial and temporal deployment of crop roots in CO<sub>2</sub>-enriched environments. *New Phytologist* 147: 55–71.
- REID, D. M., AND K. J. BRADFORD. 1984. Effects of flooding on hormone relations. In T. T. Kozlowski [ed.], *Flooding and plant growth*, 195–219. *Physiological ecology*. Academic Press, Orlando, Florida, USA.
- REYNOLDS, E. R. C. 1975. Tree rootlets and their distribution. In J. G. Torrey and D. T. Clarkson [eds.], *The development and function of roots*, 163– 177. Academic Press, London, UK.
- Saboki Ebrahim, K.Usha and Bhupinder Singh, 2012 - *Pathogenesis Related (PR) Proteins in Plant Defense Mechanism*.
- SANI L. 2011. *Non c’è due senza tre*. *ACER* 1:43-47
- SHIGO A.L., 1989. *Trees pruning: a worldwide photo guide*. Shigo and Trees Associates, Durham, NH.
- SHIGO A. L., 1989. *A new tree biology*
- SHIGO, A. I., 1991. *La moderna arboricoltura, compendio, uno studio dei sistemi di cura degli alberi e dei loro associati* (ed. italiana a cura di ISA Italia).
- SHIGO, A. I., 1989. *New Tree Health*.
- SMUCKER, A. J. M. 1993. Soil environment modifications of root dynamics and measurement. *Annual Review of Phytopathology* 31: 191–216.
- SNAPP, S. S., AND C. SHENNAN. 1992. Salinity effects on root growth and death dynamics of *Lycopersicon esculentum*. *New Phytologist* 121: 71– 79.
- SOLTIS, D. E., ET AL. 2000. Angiosperm phylogeny inferred from 18S rDNA, rbcL, and atpB sequences. *Botanical Journal of the Linnean Society* 133: 381–461.

- THIBAUT, M. 1946. Contribution à l'étude des racines de carotte. *Revue Générale de Botanique* 53: 434–460.
- VON GUTTENBERG, H. 1941. Der primäre Bau der Gymnospermenwurzel. In K. Linsbauer, G. Tischler, and A. Pascher [eds.], *Handbuch der Pflanzenanatomie*. Band 8. II. Abteilung, 3. Teil: Samenpflanzen. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Germany.
- WALTERS, D. & HEIL, M. (2007) – Costs and trade-offs associated with induced resistance. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 71, 3-17.
- WARNING, W. C. 1934. Anatomy of the vegetative organs of the parsnip. *Botanical Gazette* 96: 44–72.
- WATSON G., 2008. Discoloration and decay in severed tree roots. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(4): 260-264.
- WEINHOLD, L. 1967. Histogenetische Studien zum Grenzwurzelproblem. *Beiträge zur Biologie der Pflanzen* 43: 367–454.
- WILCOX, H. E. 1955. Regeneration of injured root systems in noble fir. *Botanical Gazette* 116: 221–234.
- WILCOX, H. E. 1968. Morphological studies of root of red pine *Pinus resinosa*. I. Growth characteristics and patterns of branching. *American Journal of Botany* 55: 247–254.
- ZUCCONI, L. 2003. *Declino del suolo e stanchezza del terreno* – Pitagora ed. Bologna.

## ABSTRACT

Nowadays, monumental trees are a cultural heritage recognized also by law. We have seen what “monumental tree” means and the great value represented by big trees from a biological, environmental, historical and cultural point of view.

Actually, not many patriarchs have survived throughout history and come to us in acceptable conditions. The laws and the sensitivity of public opinion are not sufficient to reassure us and to preserve this heritage. What we need are treatments and, above all, correct and planned prevention. The threats are many: the land consumption (deforestation, urbanisation, etc.) that often confines monumental trees to “Indian reservations”. Moreover, the conditions for their existence have nowadays changed from the original ones: environmental and pedo-environmental changes, microclimatic variations, pollutions, old and new parasitic adversities, often more aggressive than they were in the past, and ... mankind, who, directly or indirectly, represents the main threat.

In the present excursus we collect some significant recent findings related to the biology and physiology of arboreal plants, to the energy and degenerative processes that are connected with them, to the causes that predispose or trigger adversities or that cause damage or disease. We also highlight some proofs of what plants can do to defend themselves, since for millions of years before us they have been on the planet and often had to live in difficult situations.

The present treatise addresses the root system in particular, a less evident part of the tree which, for this reason, is also less known and considered. We analyse the possible causes of disease and illness for the plant: it is clear that, before giving any treatment, such causes should be removed or reduced as much as possible.

Some tests were carried out at the University of Padua to search for proofs and indications about the factors and the conditions that positively influence the “regeneration” of root systems, and the most suitable procedures and times for an intervention. The test carried out by Mr. Luigi Strazzabosco and I ascertained the positive and essential influence of oxygenation on root reiteration. More tests were carried out at the University of Padua - in cooperation with the University of Florence and the Department of Plant Sciences of Cambridge University (UK) - in order to analyse the relation that exists between the plant's metabolic reserves and the extent of its generative response at root level, in order to develop an analysis protocol. This provides precious indications about the possibility of recovering old arboreal specimens showing precarious but not serious conditions. It has been ascertained that the generative system of arboreal plants does not include the possibility of death due to “old age”, since plants renew themselves during every vegetative cycle; therefore, once what threatens the plants has been sought and identified, an intervention plan can be scheduled according to the most suitable way to proceed, so that the plants can survive for a long time.

The treatise ends with a short overview of the ways of conserving and defending big trees, in particular by intervening on their root systems.

## RIASSUNTO

Gli alberi monumentali sono un patrimonio culturale oramai riconosciuto anche dalla legge. Si è visto cosa si intende per “albero monumentale” e il grande valore che rappresentano i grandi alberi dal punto di vista biologico, ambientale, paesaggistico, storico, culturale ...

Non sono molti, in realtà, i patriarchi sopravvissuti agli eventi, e giunti a noi in condizioni accettabili. Non bastano certo le leggi, la sensibilità dell'opinione pubblica a rassicurarci e a tutelare questo patrimonio. Si rendono necessarie cure, e più ancora prevenzione, corretta e pianificata. Le minacce sono tante: il consumo di territorio (deforestazione, urbanizzazione, ecc.) che costringe sovente i “monumentali” in “riserve indiane”. E le condizioni per essi sono oramai alterate rispetto a quelle originarie: i cambiamenti ambientali e pedoambientali, (micro)climatici, gli inquinamenti, avversità parassitarie vecchie e nuove, spesso più aggressive che in passato, e ... l'uomo, che direttamente o indirettamente costituisce la maggior minaccia.

In questo escursus sono raccolte alcune significative e recenti acquisizioni inerenti la biologia e la fisiologia delle piante arboree, i processi energetici e quelli degenerativi che le riguardano, le cause che predispongono o che scatenano le avversità o sono causa di disagio o di danno. Vengono messe in evidenza anche alcune conferme su quello che i vegetali sono in grado di fare per difendersi, dato che da molti milioni di anni prima di noi sono presenti nel pianeta e costretti a convivere con situazioni spesso difficili.

La trattazione è rivolta in modo particolare all'apparato radicale, parte dell'albero meno evidente e per questo meno conosciuta e considerata. Sono analizzate le possibili cause di malessere e di malattia per la pianta: è evidente che prima di intervenire con eventuali cure, queste vanno rimosse o il più possibile ridotte.

Prove condotte presso l'università di Padova cercano conferme e indicazioni su quali siano i fattori e le condizioni che interferiscono positivamente con la “rigenerazione” degli apparati radicali, e le modalità e i tempi più idonei per intervenire. Nella prova condotta dal dott. Luigi Strazzabosco e dal sottoscritto, si è accertata l'influenza positiva ed essenziale dell'ossigenazione nella reiterazione radicale. Altre prove condotte dall'Università di Padova - in collaborazione con L'università di Firenze e il Department of Plant Sciences dell'Università di Cambridge (UK) - cercano di valutare la relazione tra le riserve metaboliche della pianta e l'entità della sua risposta generativa a livello radicale, cercando di formulare un protocollo di analisi. Tutto questo fornisce preziose indicazioni sulla possibilità di recuperare esemplari arborei annosi che presentino condizioni precarie ma non gravi. È appurato che il sistema generativo delle piante arboree non prevede la morte per “vecchiaia”, poiché la pianta rinnova sé stessa ad ogni ciclo vegetativo; una volta ricercato ed individuato ciò che minaccia queste piante, possiamo quindi pianificare un programma di interventi, con la maniera più idonea per agire, così da mantenerle ancora a lungo.

La trattazione termina con una breve panoramica sui modi per preservare e difendere i grandi alberi, con particolare a riguardo agli apparati radicali.

## RINGRAZIAMENTI

*Questo lavoro raccoglie e in qualche modo assembla contenuti, appunti e testi forniti dal docente, prof. Sergio Mutto Accordi, dal dott. Luigi Strazzabosco, correlatore e tutor, e altro materiale scientifico da fonti e autori diversi, debitamente citati, oltre ai dati delle prove sperimentali condotte presso l'Istituto di Patologia del dipartimento TeSAF della Facoltà di Agraria dell'Università di Padova.*

*Sono riconoscente al prof. Mutto Accordi e al dott. Strazzabosco per gli insegnamenti, per la generosa disponibilità nei miei confronti e per la passione che continuano a coltivare e trasmettere.*

*Considero questa tesi come il compimento di un percorso formativo iniziato tanto tempo fa, con gli studi superiori presso l'ITAS di Lonigo, e attraverso il maturare di una sensibilità inconsciamente acquisita "frequentando" sin da piccolo i grandi amici vegetali della campagna dove sono cresciuto. La mia "molto" personale formazione, attraverso esperienze formative diverse, ha potuto compiersi però grazie ai corsi frequentati nel triennio universitario del corso di Laurea in "Paesaggio, Parchi e Giardini", e nel successivo biennio magistrale del Corso di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Le acquisizioni e i concetti appresi in questo percorso si fondono e confondono con le conoscenze che bene o male ho accumulato in tanti anni, da studente (quale rimarrò), da insegnante negli istituti agrari, da appassionato, da tecnico e da arboricoltore.*

*Un caro pensiero e un ringraziamento vanno infine a Marco Raja, indimenticato maestro e "missionario della causa degli alberi", che egli ha definiti come: "lo sforzo della Terra di avvicinarsi al Cielo". Marco ha voluto condividere con me convinzioni, passioni finanche emozioni, con la generosità di un padre e nell'esempio di Pietro Porcinai, con cui ha collaborato per anni. Valga per Lui la certezza di aver lasciato "tracce verdi" nel suo cammino. Riporto di seguito una sua poesia, che per me rappresenta un manifesto e un'eredità preziosa e impegnativa.*

Giovanni Nalin



TRACCE VERDI

*Lasciai tracce verdi  
sulle piste delle mie fatiche;  
clorofille esterrefatte,  
smeraldi triturati.*

*Sui cementi del lucro  
le aureole delle fronde  
hanno scritto  
il loro trionfo  
di speranze.*

(Marco Raja, da: Tracce Verdi - Res  
Editrice Milano 1985)