



COMUNE DI FIRENZE

Consiglio di Quartiere 4

Assessorato alla Partecipazione Democratica,  
ai Rapporti con i Quartieri, Nuovi Stili di Vita e Consumo Critico

In collaborazione con ARSIA  
e Laboratorio congiunto Università Impresa GEMMA VERDE

# Macchine per la manutenzione del verde

Firenze 7 - 8 maggio 2009

Limonaia di Villa Strozzi - Via Pisana, 77

Con il contributo di:



Atti pubblicati da



*Macchine per la manutenzione del verde*

# **Applicazione della diagnostica per immagini per la valutazione della stabilità delle alberature**

[Elisa Pellegrini](#), Cristina Nali, Giacomo Lorenzini

*Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "Giovanni Scaramuzzi"*

*Università di Pisa – [epellegrini@agr.unipi.it](mailto:epellegrini@agr.unipi.it)*

## San Giuliano Terme (PI)



# Vicopisano (PI)



**Si possono sfruttare a pieno tutte le opportunità che si creano dal verde pubblico solo a condizione che lo stato sanitario del patrimonio arboreo sia sufficientemente sicuro**

**Altrimenti l'albero può costituire un serio pericolo per l'incolumità dell'uomo**



**Ma quali sono le cause?**



Uomo



Ambiente

Patogeni





**La vita in città per un albero è molto difficile; le condizioni ambientali a cui è sottoposto sono estreme**

**Le radici non trovano spazio per espandersi nel terreno, che spesso presenta pessime caratteristiche fisico-chimiche**



**Anche l'asfaltatura delle strade mette a dura prova la loro sopravvivenza; basti pensare che per gli scambi gassosi e idrici viene lasciata libera solo una piccola porzione attorno al colletto**



I danni meccanici agli apparati radicali risultano insidiosi e difficili da riparare da parte dell'albero stesso. Il costipamento del terreno dovuto al traffico veicolare, lo rende praticamente privo di  $O_2$



Il fusto ed il colletto sono spesso soggetti a ferite e danneggiamenti da operazioni di parcheggio o da manovre di macchine operatrici



**Le chiome vengono troppo spesso assoggettate a drastici interventi cesori, finalizzati a renderle compatibili con le facciate degli edifici**



# **INFEZIONI E CAUSE DI INSTABILITA' DELL'ALBERO**

**Le malattie più temibili sono quelle che alterano l'integrità delle strutture legnose: anche se non pregiudicano la sopravvivenza, possono causare crolli o schianti di vario tipo**



**MARCIUME  
RADICALE**



**CARIE**

A queste si devono aggiungere le tracheomicosi, in particolare quelle malattie causate da *Ophiostoma ulmi* e *Cerastocystis fimbriata* f.sp. *platani*, che hanno portato alla quasi totale scomparsa dell'olmo dai parchi storici ed ad una forte riduzione del platano in numerose aree geografiche



# EFFETTI DELLE MALATTIE SULLE PIANTE ORNAMENTALI

- ✓ **Compromissione della stabilità**
- ✓ **Aspetti quantitativi della crescita**
- ✓ **Aspetti qualitativi (estetici)**
- ✓ **Riduzione della longevità**
- ✓ **Disturbo/fastidio al cittadino**
- ✓ **Effetti secondari (minore resistenza ad altri *stress*)**
- ✓ **Prestazioni fisiologiche ridotte (assorbimento di inquinanti e di rumore, produzione di O<sub>2</sub>)**

# RISPOSTA DELLA PIANTA

Shigo ha identificato un modello di difesa contro la carie, detto **CODIT**

(**CO**mpartmentalisation of **D**ecay in **T**rees)

L'albero produce 4 barriere:

- ✓ Le barriere I-II-III (dette **ZONE DI REAZIONE**) sono già esistenti nel legno e vengono rafforzate dalla pianta
- ✓ La barriera IV (detta **ZONA DI BARRIERA**) si crea solo in seguito all'insorgere dell'infezione

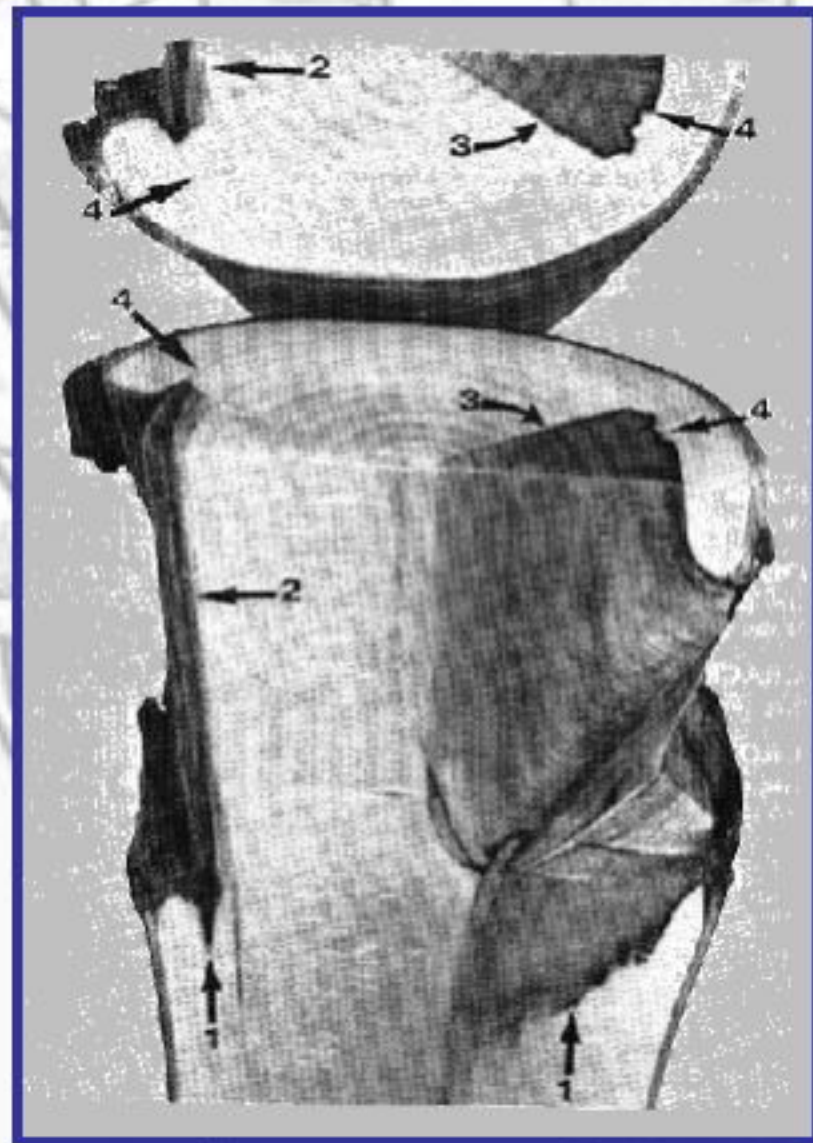
Queste circoscrivono le infezioni, in seguito sia al rafforzamento di comparti esistenti (pareti cellulari, cerchi annuali, raggi midollari) sia attraverso suberificazioni, lignificazioni, depositi di sostanze inibenti, sia – infine – mediante la creazione di nuove barriere fisiche (tessuti cicatriziali, tulle, depositi di gomme o resine, strati suberificati o lignificati) e chimiche (sostanze inibenti)

**Barriera 1** - chiusura sopra e sotto la lesione degli elementi vascolari per contrastare la diffusione verticale

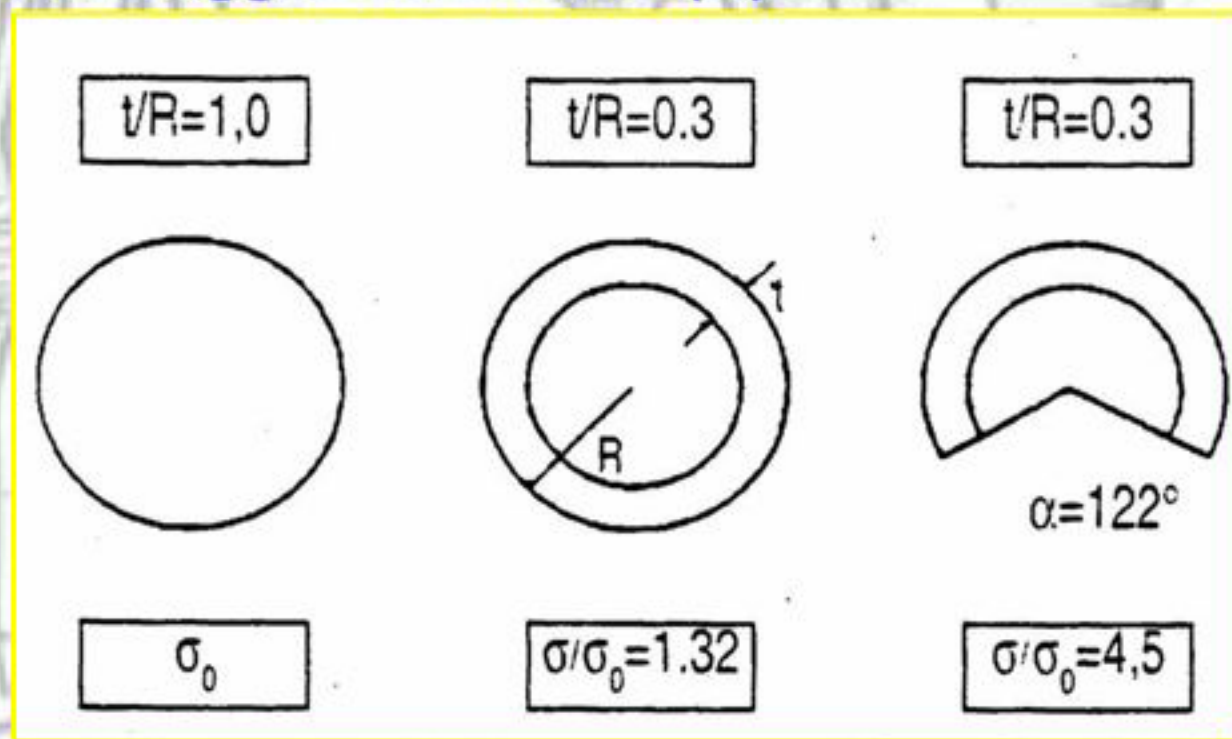
**Barriera 2** - viene limitato lo sviluppo dell'infezione verso l'interno

**Barriera 3** - i raggi midollari si oppongono alla diffusione tangenziale

**Barriera 4** - zona di reazione xilematica con modificazione dell'anello di crescita, a contrastare il movimento verso l'esterno

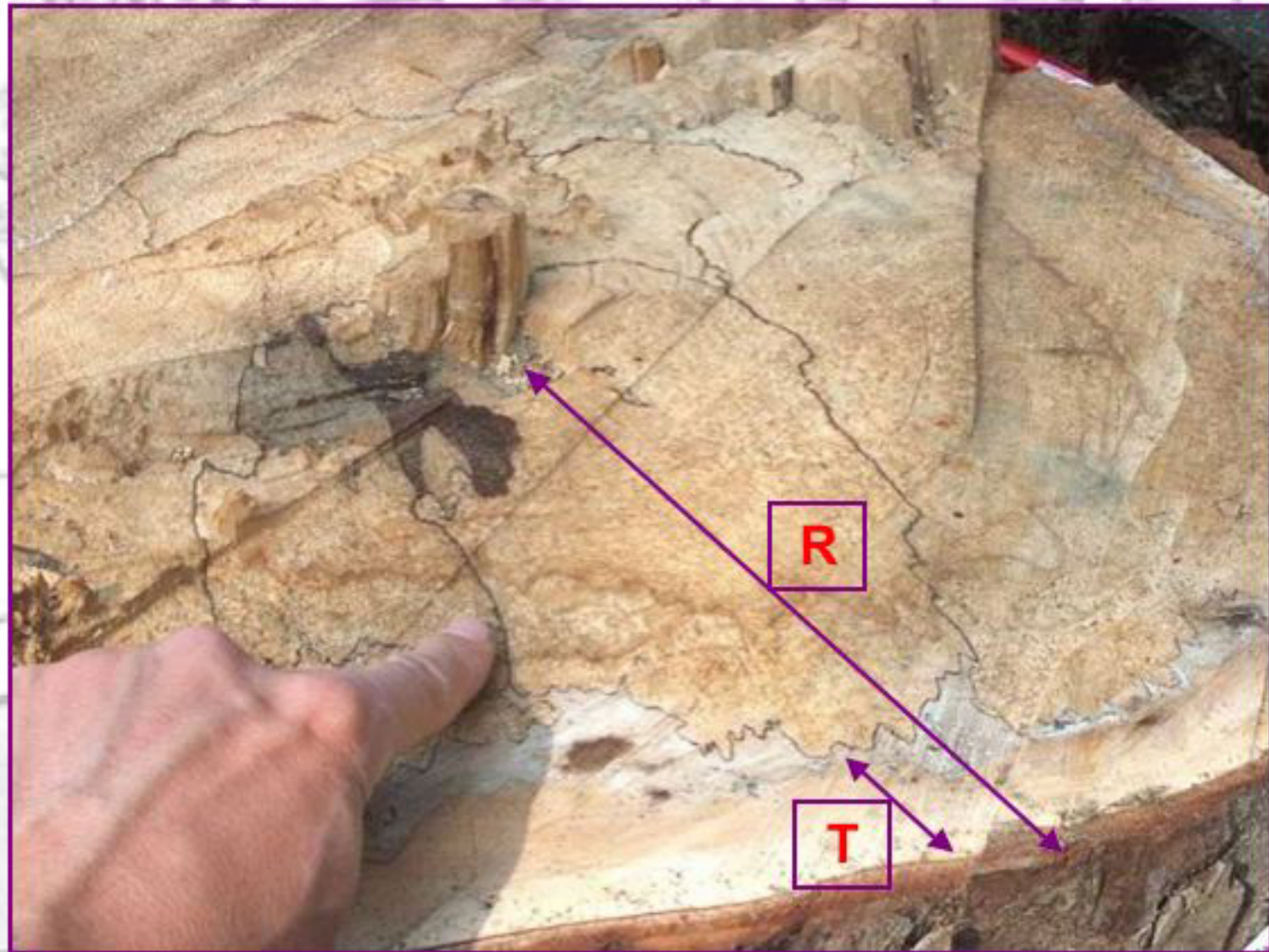


Negli ultimi anni, studi come quelli di Mattheck hanno evidenziato una soglia di riferimento valida per tutti gli alberi, analizzando il rapporto tra la porzione di legno sano ( $t$ ) ed il raggio del tronco ( $R$ )



**FATTORE DI SICUREZZA**

# BARRIERE DI COMPARTIMENTAZIONE SU SEZIONE DI ACERO ABBATTUTO PER T/R GRAVEMENTE INSUFFICIENTE







**AL MOMENTO ATTUALE LA TECNICA PIU'AFFIDABILE,  
SPERIMENTATA E UNIVERSALMENTE RICONOSCIUTA E'  
QUELLA DEL VTA  
(Visual Tree Assessment)**

**Essa permette di individuare all'interno di una popolazione arborea, quegli individui che manifestano sintomi di probabili anomalie a carico dei tessuti interni**

**Sul singolo albero consente di osservare quei punti critici su cui effettuare un'analisi strumentale in grado di misurare la porzione residua del legno sano**

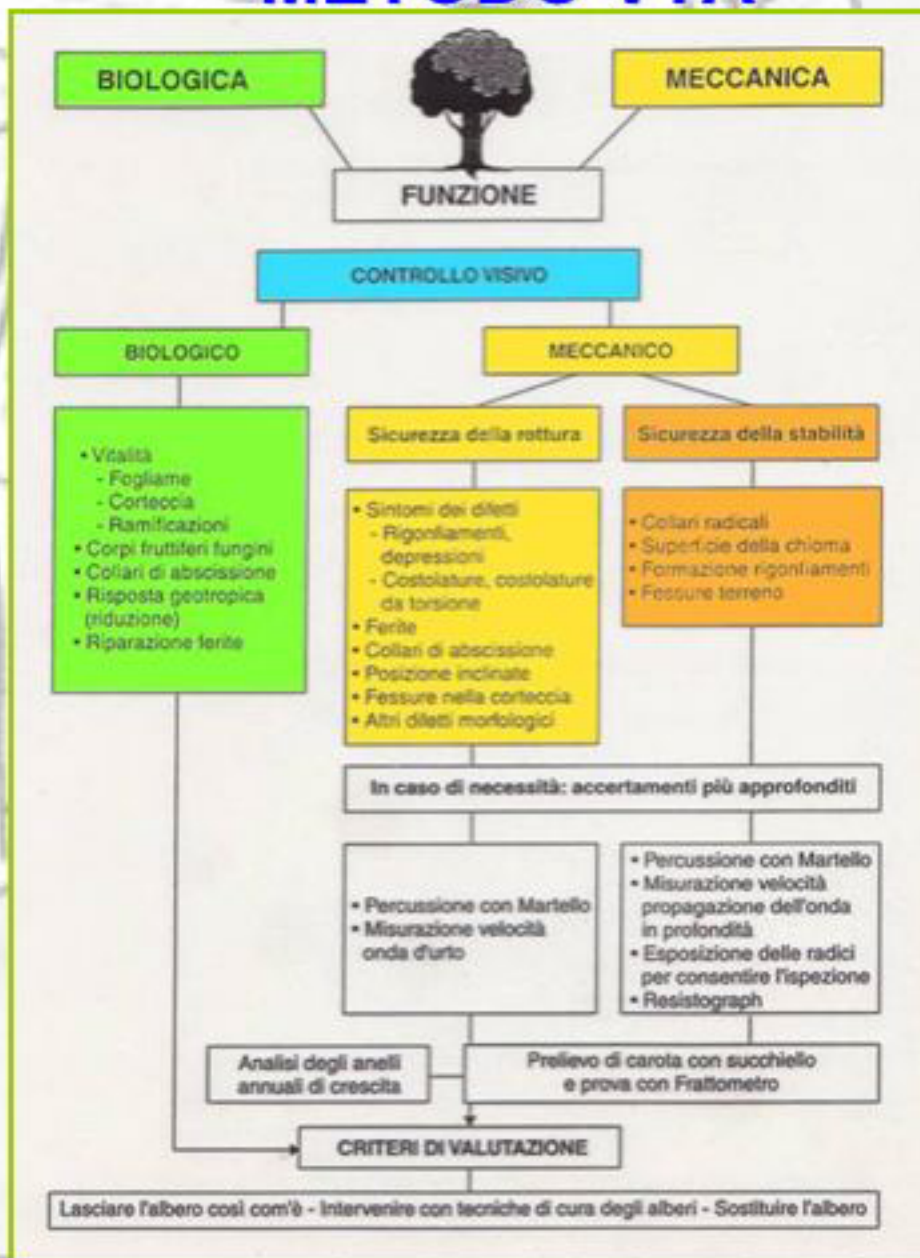
**Il metodo si fonda sul fatto che i difetti statici interni di un albero sono correlati a specifici sintomi visibili esternamente**



## Fasi principali del VTA

- ✓ Analisi visiva dei difetti esteriori
- ✓ Indagine strumentale
- ✓ Determinazione della categoria di rischio predefinita, **FRC** (*Failure Risk Classification*)

# PROCEDURA PER LA VALUTAZIONE CON IL METODO VTA



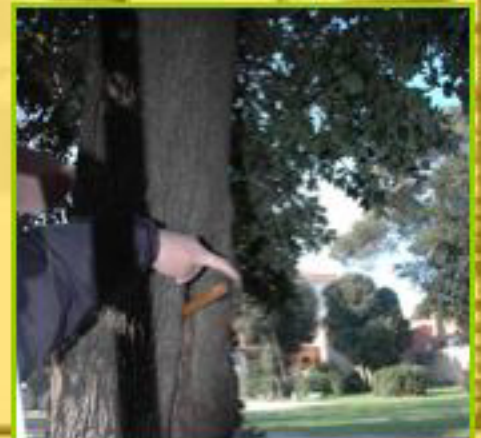
# ANALISI VISIVA

Ha lo scopo di:

✓ esaminare le caratteristiche e lo stato generale della pianta



✓ evidenziare la presenza di manifestazioni esterne di sofferenza meccanica del fusto, dei rami e della zolla radicale



✓ valutare l'entità e la gravità dei singoli difetti e le loro ripercussioni sulla stabilità dell'intera struttura



**Apparato  
radicale**



**Chioma**

**E' necessario  
prendere in  
considerazione  
tutti gli  
apparati  
dell'albero**



**Colletto**



**Fusto**

**I segnali esterni durante l'indagine includono:**



**VITALITA'**



**STATO  
SANITARIO**



**SINTOMI DI DIFETTI MECCANICI**



## L'ANALISI VISIVA CONSENTE DI INDIVIDUARE

- ✓ principali caratteristiche biologiche (più facile durante la stagione vegetativa)
- ✓ principali caratteristiche meccaniche in relazione al contesto di crescita
- ✓ difetti o delle anomalie strutturali sulle 3 porzioni dell'albero (radici, fusto, branche)

## **ANALISI STRUMENTALE**

**... INIZIA CON L'INDIVIDUAZIONE DI UNA SEZIONE CRITICA O DI UN PUNTO CRITICO, ossia la parte o le parti di pianta dove sono più alte le probabilità di cedimento meccanico che possono recare danno**

- ✓ **Sezione critica basale**
- ✓ **Sezione critica su fusto**
- ✓ **Sezione critica su castello-fusto**
- ✓ **Sezione critica su branca**



## Sezione critica basale



**Esemplare di tiglio, 16 m  
circa di altezza e 56 cm di  
diametro posto lungo via  
Lante a Vicopisano (PI)**



## Sezione critica su fusto



**Esemplare di tiglio, 11 m  
circa di altezza e 42 cm di  
diametro posto lungo via  
Lante a Vicopisano (PI)**

## Sezione critica su castello-fusto

**Esemplare di platano, 12 m circa di altezza e 44 cm di diametro posto nel viale Martiri di Niccioleta di Massa Marittima (GR)**



## Sezione critica su branca



**Esemplare di leccio, 14 m circa di altezza e 58 cm di diametro posto nel parco di Villa Fabbricotti (LI)**



## **Punti critici sia alla base sia sulle parti alte della pianta**



**Esemplare di leccio, 14 m circa di altezza e 79 cm di diametro posto nel parco di Villa Fabbricotti (LI)**

## **L'ANALISI STRUMENTALE PERMETTE DI:**

- ✓ **descrivere, a livello quantitativo, i danni o le lesioni presenti**
- ✓ **ottenere una diagnosi esauriente e ripetibile, a discrezione del rilevatore, in numero necessario e sufficiente**

**CRITERIO:  
MINIMO DANNO PER  
L'ALBERO  
(Protocollo ISA)**

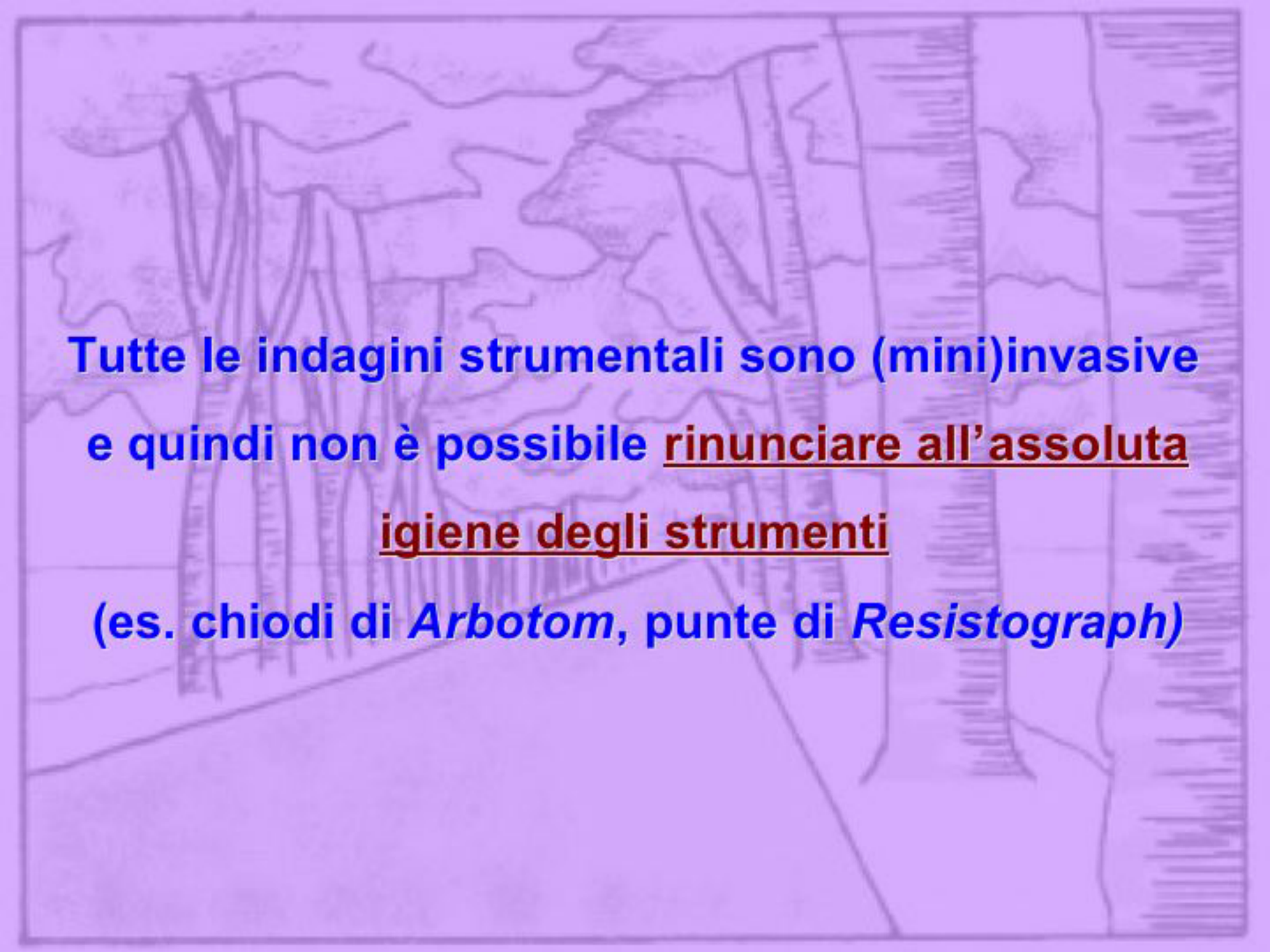
## DIAGNOSI STRUMENTALE /a

- ✓ Metodologie penetrometriche (resistenza alla penetrazione di una punta/ago):  
*Decay Detecting Drill, Resistograph*  
(= dendrodensimetro, trapano)
- ✓ Shigometer: Ohmetro da campo: misura resistenza elettrica in fori trasversali, in funzione dell'umidità = carie, ma anche legno sano a basso contenuto di umidità
- ✓ Frattrometro (elastometro): prelievo di una carota con succhiello e valutazione della resistenza alla rottura

## **DIAGNOSI STRUMENTALE /b**

- ✓ **Metodologie soniche (le onde sonore si espandono + velocemente nel legno sano): martello ad impulso elettronico (velocità di propagazione di un'onda di carico); Arbotom, Metriguard, Sylvatest, oscilloscopio + geofono, mutate dall'ingegneria strutturale**
- ✓ **Metodologie radar geofisiche (non distruttiva, fusto circondato dall'antenna radar - immagine video)**





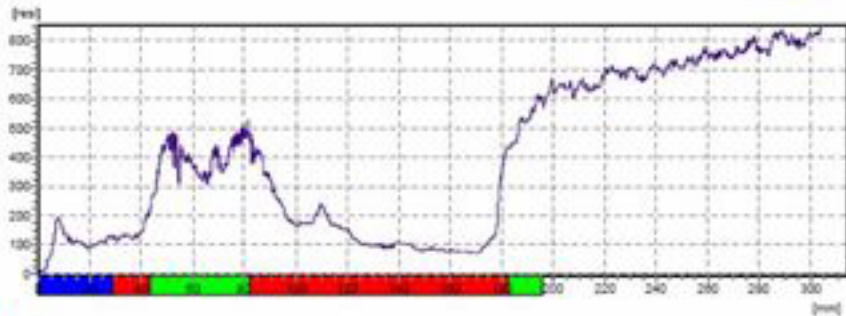
**Tutte le indagini strumentali sono (mini)invasive  
e quindi non è possibile rinunciare all'assoluta  
igiene degli strumenti  
(es. chiodi di *Arbotom*, punte di *Resistograph*)**

## Resistograph

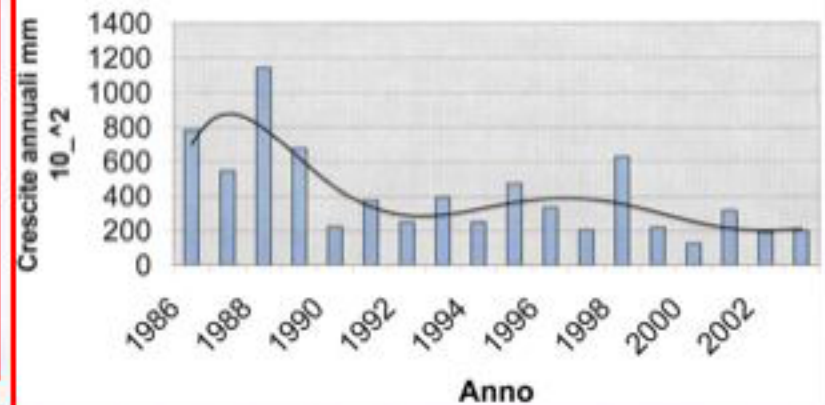
- ✓ Misura resistenza del legno perforandolo con una microtrivella
- ✓ Più misurazioni per quantificare porzione legno sano (t)
- ✓ Valore  $t/r$



# RESISTOGRAPH



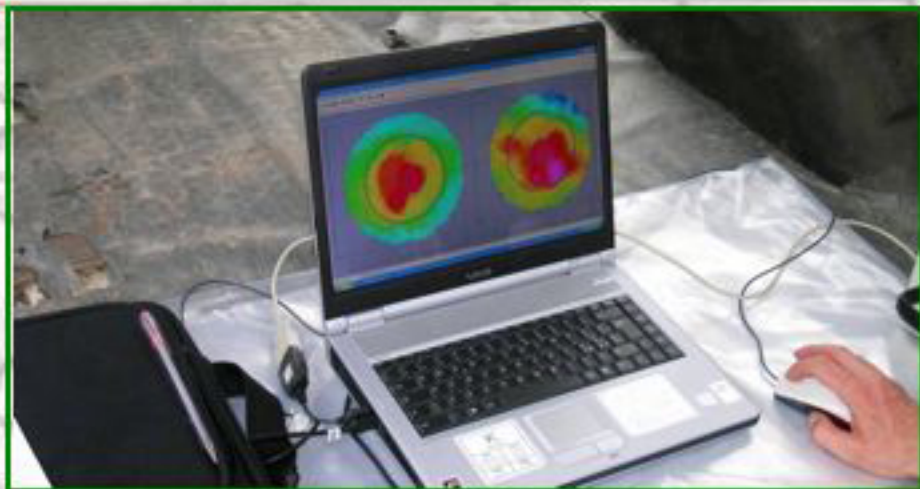
## Valutazioni dendrocronologiche



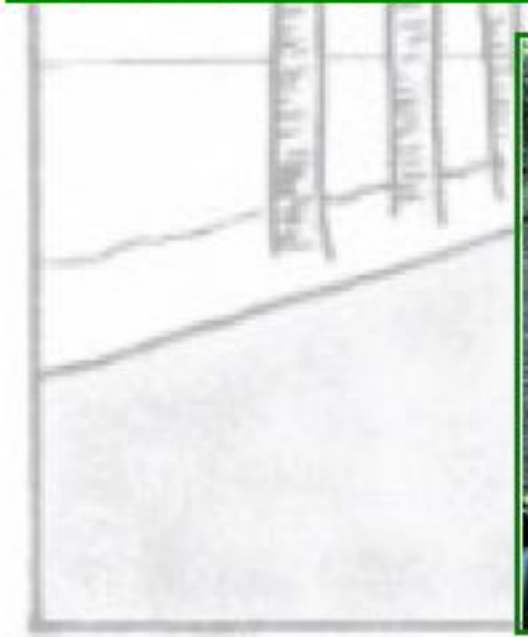
## **VANTAGGI DELLA TOMOGRAFIA SONICA**

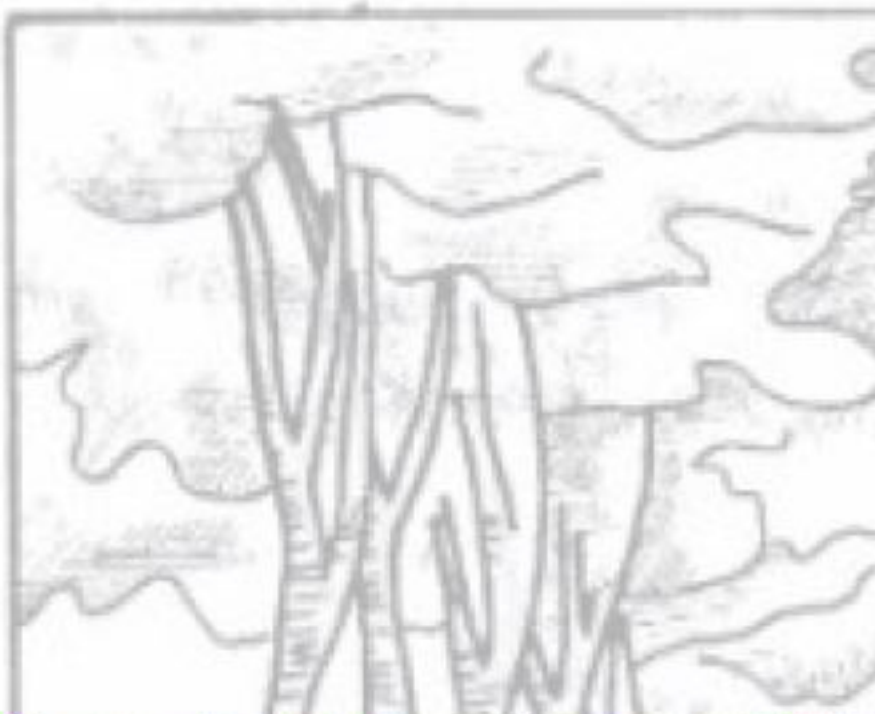
- ✓ **VISUALIZZAZIONE COMPLETA DELLA SEZIONE CRITICA**
- ✓ **BASSA INVASIVITÀ DELL'ANALISI**
- ✓ **FORNISCE INFORMAZIONI SULLE CARATTERISTICHE SONICHE DI OGNI TIPO DI ALBERO, IN RELAZIONE ALLA DENSITA' ED AL MODULO DI ELASTICITA' DEL LEGNO**
- ✓ **SI BASA SUL PRINCIPIO CHE UN LEGNO INTEGRO è MIGLIOR CONDUTTORE DI ONDA SONICA RISPETTO A QUELLO DETERIORATO**

# Arbotom

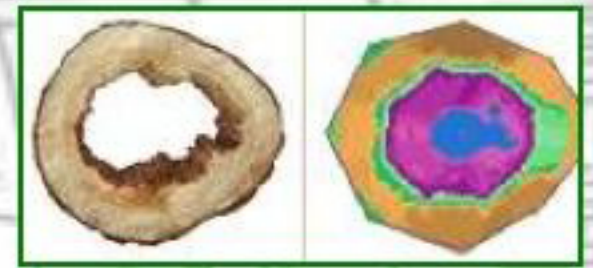






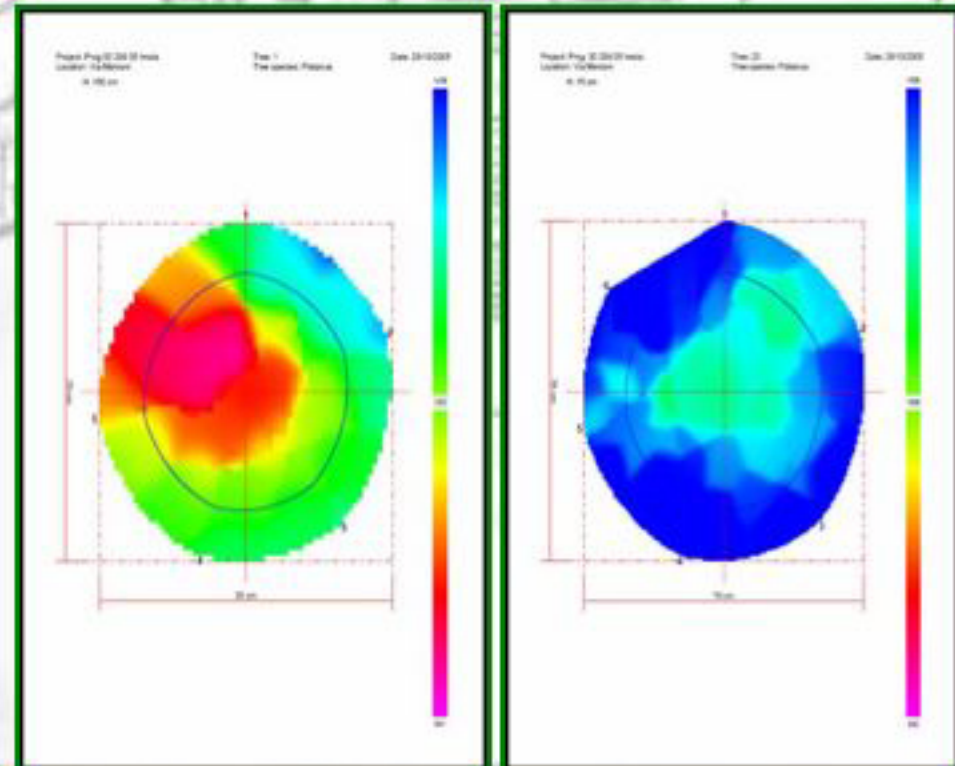


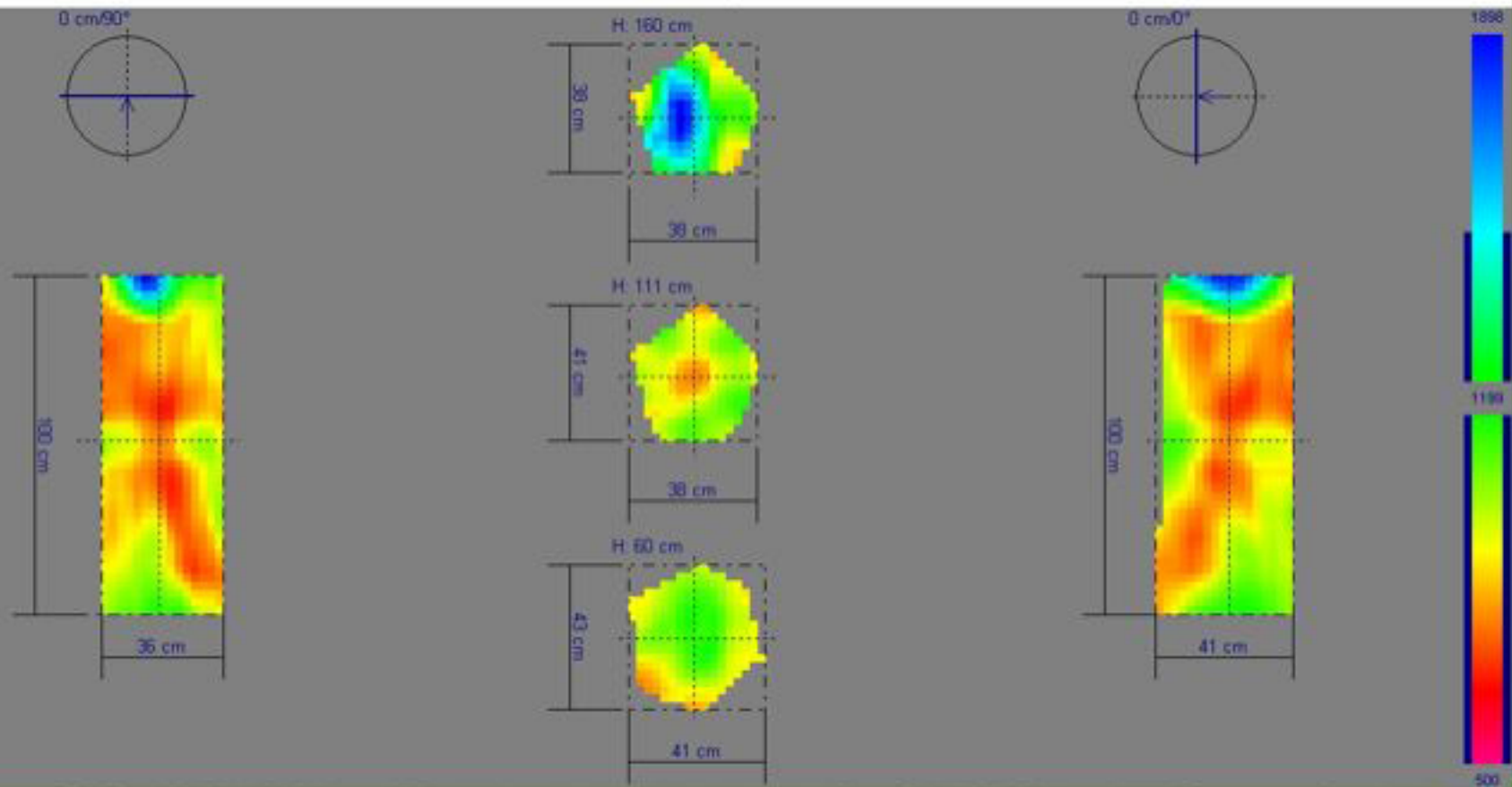




**Si registra la geometria della sezione e la distanza tra i punti considerati**

**Adeguati programmi di interpolazione consentono di ricavare immagini a colori, evidenziando eventuali non-conformità**





**Le procedure descritte sono totalmente computerizzate e l'intera operazione è decisamente rapida (circa 20 minuti)**



**Pericolo di schianto +  
Dimensioni parti +  
Valutazione del bersaglio =**  

---

**VALUTAZIONE PERICOLO**

**SOLUZIONI**

- 1. Rimozione o consolidamento parti pericolanti**
- 2. Rimozione del bersaglio (transenne)**
- 3. Rimozione dell'albero**

INTERNATIONAL SOCIETY  
OF

**ARBORICULTURE**

SEZIONE ITALIANA



## **“Protocollo ISA sulla Valutazione della Stabilità degli Alberi ©“**

1. OGGETTO E SCOPO DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEGLI ALBERI
2. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI VISIVA
3. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI STRUMENTALE
4. RESTITUZIONE DEI DATI AL COMMITTENTE
5. DURATA DELLE ANALISI E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI
6. NOTE OPERATIVE PER LA MESSA IN SICUREZZA
7. LIMITI APPLICATIVI NELLE PROCEDURE DI VERIFICA DI STABILITÀ.

Grazie per l'attenzione





## “Protocollo ISA sulla Valutazione della Stabilità degli Alberi ©”

1. OGGETTO E SCOPO DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEGLI ALBERI
2. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI VISIVA
3. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI STRUMENTALE
4. RESTITUZIONE DEI DATI AL COMMITTENTE
5. DURATA DELLE ANALISI E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI
6. NOTE OPERATIVE PER LA MESSA IN SICUREZZA
7. LIMITI APPLICATIVI NELLE PROCEDURE DI VERIFICA DI STABILITÀ.



***“L’albero deve essere chiaramente ed inequivocabilmente identificabile (cartellinatura, posizionamento planimetrico ecc.)”***

***...“le analisi visive prendono in considerazione l’albero nei suoi diversi apparati, al fine di individuare (screening visivo) quali piante necessitino di indagini più approfondite di tipo strumentale”***





**“Protocollo ISA sulla Valutazione della Stabilità degli Alberi ©”**

1. OGGETTO E SCOPO DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEGLI ALBERI
2. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI VISIVA
3. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI STRUMENTALE
4. RESTITUZIONE DEI DATI AL COMMITTENTE
5. DURATA DELLE ANALISI E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI
6. NOTE OPERATIVE PER LA MESSA IN SICUREZZA
7. LIMITI APPLICATIVI NELLE PROCEDURE DI VERIFICA DI STABILITÀ.



***...“sugli alberi su cui sono stati individuati “punti critici” si effettuano approfondimenti strumentali con lo scopo di descrivere a livello quantitativo i danni o le lesioni presenti”...***

***...“gli strumenti dovranno fornire dati ripetibili e direttamente o indirettamente correlabili alle caratteristiche fisico-meccaniche delle porzioni anatomiche prese in considerazione”...***

**IL CRITERIO DOVRA' SEGUIRE QUELLO  
DEL MINIMO DANNO POSSIBILE**







**“Protocollo ISA sulla Valutazione della Stabilità degli Alberi ©”**

1. OGGETTO E SCOPO DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEGLI ALBERI
2. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI VISIVA
3. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI STRUMENTALE
4. RESTITUZIONE DEI DATI AL COMMITTENTE
5. DURATA DELLE ANALISI E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI
6. NOTE OPERATIVE PER LA MESSA IN SICUREZZA
7. LIMITI APPLICATIVI NELLE PROCEDURE DI VERIFICA DI STABILITÀ.

**Classi di stabilità FRC**  
**(Failure Risk Classification)**

Classe	Descrizione
A	Soggetti che <i>non manifestano né difetti di forma degni di nota riscontrabili con il VTA né significative anomalie rilevabili strumentalmente</i> ; i rischi di schiantamento e caduta sono legati ad eventi statisticamente non prevedibili. <i>Controlli visivi annuali.</i>
B	Soggetti sui quali l'osservazione visiva e l'indagine strumentale hanno rilevato <i>lievi difetti di forma e piccole anomalie strutturali</i> ; i rischi di schiantamento e caduta sono riconducibili a quelli del gruppo A, tenendo presente che <i>i lievi processi degenerativi e le anomalie morfologiche possono aggravarsi nel tempo</i> . <i>Controllo minuzioso con cadenza annuale.</i>
C	Soggetti con <i>significativi difetti di forma e/o strutturali verificati strumentalmente</i> ; il rischio è rappresentato da un ulteriore aggravamento nel breve periodo delle anomalie riscontrate, con il passaggio ad una classe di rischio più elevata. <i>Controllo visivo e strumentale con cadenza annuale.</i>
C-D	Soggetti che presentano <i>gravi difetti a livello morfologico e/o strutturale</i> ; l'abbattimento può essere evitato intervenendo con opportune operazioni urgenti finalizzate alla messa in sicurezza (riduzione della chioma, consolidamento, ecc.), in mancanza delle quali si ha il passaggio in classe D. <i>Controllo strumentale a cadenza annuale.</i>
D	Soggetti che presentano <i>difetti morfologici e strutturali molto gravi, con alto rischio di caduta e schiantamento</i> ; la prospettiva di vita è gravemente compromessa ed ogni intervento di



**“Protocollo ISA sulla Valutazione della Stabilità degli Alberi ©”**

1. OGGETTO E SCOPO DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEGLI ALBERI
2. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI VISIVA
3. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI STRUMENTALE
4. RESTITUZIONE DEI DATI AL COMMITTENTE
5. DURATA DELLE ANALISI E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI
6. NOTE OPERATIVE PER LA MESSA IN SICUREZZA
7. LIMITI APPLICATIVI NELLE PROCEDURE DI VERIFICA DI STABILITÀ.

***“Verrà concordato in anticipo con il Committente se tali note debbano essere indicate. Non dovranno essere “demolitive” nei confronti dell’albero che dovrà per, quanto possibile, conservare un portamento ed una fisionomia naturali....***

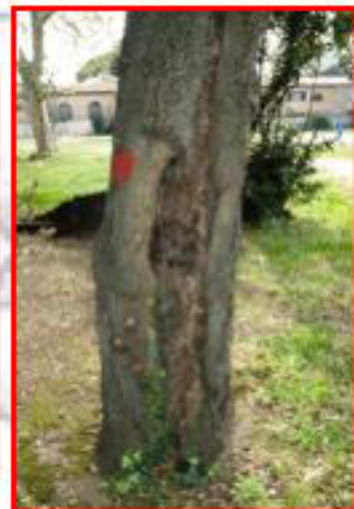
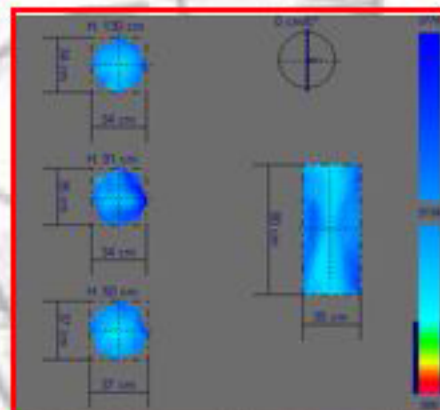
***Dovranno essere documentate e motivate da criteri riconosciuti dalla moderna arboricoltura oltre che traducibili operativamente in termini qualitativi e quantitativi.***

***È auspicabile che contengano le linee guida per la gestione degli interventi manutentivi futuri complessivi per la stabilità dell’alberata...”***



**“Protocollo ISA sulla Valutazione della Stabilità degli Alberi ©”**

1. OGGETTO E SCOPO DELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEGLI ALBERI
2. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI VISIVA
3. PROCEDURE DI MASSIMA DELL'ANALISI STRUMENTALE
4. RESTITUZIONE DEI DATI AL COMMITTENTE
5. DURATA DELLE ANALISI E CLASSIFICAZIONE DEI RISCHI
6. NOTE OPERATIVE PER LA MESSA IN SICUREZZA
7. LIMITI APPLICATIVI NELLE PROCEDURE DI VERIFICA DI STABILITÀ.



***Ogni metodologia di ispezione è da considerarsi limitata e dinamica.***

***Non è possibile predire se un albero esaminato potrà schiantarsi oppure no, ma se ha o non ha le caratteristiche biomeccaniche e strutturali idonee a garantirne la stabilità sulla base delle conoscenze attuali.***

***Le indagini di stabilità possono al momento riguardare l'albero. I piccoli rami o le ramificazioni di modesta importanza non sono oggetto di indagine. Non fanno parte dei giudizi esprimibili nell'ambito delle indagini di stabilità, quelli basati su criteri estetici.***