



**Dottore Forestale Emiliano Sanfilippo**

Via A. Nardini Desp. Mospignotti n. 42 – 57125 Livorno

Tel. e fax 050.577072 – cell. 334.3335923

Email: e.sanfilippo74@gmail.com

PEC: e.sanfilippo@conafpec.it

C.F. SNFMLN74S03E625L - P.I. 02271670503

Iscrizione O.D.A.F. Provincia di Pisa n. 817



## ALLEGATO 2

### INDAGINI STRUMENTALI MEDIANTE TOMOGRAFIA SONICA ED ELETTRICA SU N. 19 TIGLI VEGETANTI NELL'ALBERATA STRADALE DI VIA SARZANESE

Committente:

Comune di Pietrasanta

Piazza Matteotti n. 29 – 55049 Pietrasanta (LU)

Tecnico incaricato:

Dottore Forestale Emiliano SANFILIPPO

Livorno, luglio 2023

## ALLEGATO 2

### INDAGINI STRUMENTALI MEDIANTE TOMOGRAFIA SONICA ED ELETTRICA SU N. 19 TIGLI VEGETANTI NELL'ALBERATA STRADALE DI VIA SARZANESE

#### 1. ANALISI STRUMENTALE MEDIANTE TOMOGRAFIA – METODOLOGIA

##### - *Tomografia sonora*

L'analisi strumentale viene eseguita mediante l'utilizzo di un tomografo sonico Argus® Picus® a 12 sensori, allo scopo di rilevare la presenza e l'estensione di difetti interni del tronco.

Il tomografo sonico rileva le differenze nella capacità del legno di trasmettere le onde sonore. Quando un'onda sonora, generata alternativamente su diversi sensori, si propaga attraverso il legno, la sua velocità ( $V$ ) è strettamente legata al modulo di elasticità ( $E$ ) e alla densità del legno ( $\rho$ ).

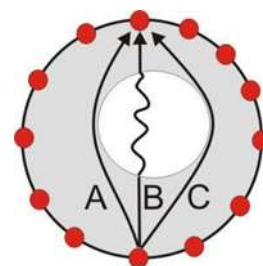
$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

I dati relativi alle velocità di diffusione acustiche vengono elaborati dall'algoritmo del software in dotazione allo strumento, che restituisce un'immagine della sezione del fusto evidenziando la presenza di difetti e quantificandone l'estensione. Si tratta di un'analisi indiretta, in cui la riduzione delle velocità tra i sensori viene correlata alla presenza di difetti interni, quali decadimento del legno, crack, inclusioni ecc..

Il modulo di elasticità ( $E$ ) e la densità ( $\rho$ ) vengono alterati nei processi di decadimento del legno, così da alterare la velocità di diffusione delle onde sonore all'interno del fusto.

Nei primi stadi del decadimento determinati da funghi agenti della delignificazione selettiva (carie bianca), la rigidità del legno viene ridotta contro una modesta riduzione della densità (*Schwarze e Fink, 1994; Schwarze et al., 1995*), determinando una riduzione della velocità di diffusione sonora.

Nei casi di decomposizione dei tessuti determinati da funghi agenti della carie bruna, del marciume simultaneo (carie bianca) o del marciume soffice, in cui il modulo di elasticità e la densità si riducono in modo simile, la riduzione della velocità del suono è causata da un tempo di transito più lungo, determinato dalla deviazione del percorso dell'onda sonora intorno al difetto piuttosto che al lento passaggio attraverso la zona cariata (*Schwarze, 2008*).

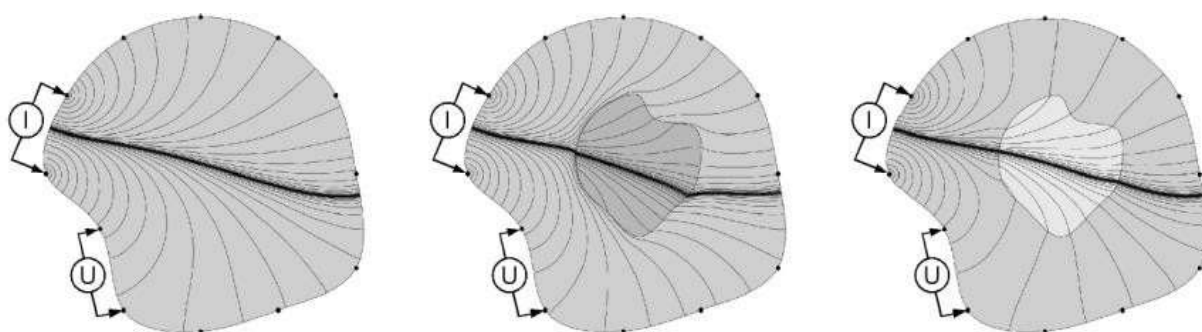


Un caso a parte è rappresentato dal decadimento determinato da *Kretzschmaria deusta*, che provoca un piccolo cambiamento delle velocità di diffusione sonora tra i sensori (*Schwarze et al., 1995*)

In sostanza, non è possibile determinare il percorso delle onde acustiche e la qualità del legno viene stimata dall'analisi delle velocità apparenti che mostrano la capacità del legno di trasmettere il suono.

#### - **Tomografia elettrica**

La tomografia a resistenza elettrica deriva dalla geofisica, utilizza la tensione e la corrente



elettrica per misurare la resistività del legno interno che può essere influenzata dal contenuto di acqua, dalla struttura cellulare, dalla concentrazione di ioni e da altri fattori ambientali in grado di influenzare i processi biologici (temperatura, umidità ecc.).

La resistenza elettrica e la sua reciproca conduttività elettrica sono proprietà fisiche che consentono di trarre conclusioni sulla struttura degli oggetti indagati, in particolare per determinare la distribuzione della resistenza spaziale in modo non distruttivo. Per esempio, una bassa resistenza può indicare un aumento del contenuto di umidità, mentre le strutture cave hanno elevati livelli di resistenza.

Le misurazioni si basano su elettrodi puntuali (chiodi) installati lungo la circonferenza del fusto. La corrente viene applicata sequenzialmente per ciascuna coppia di elettrodi, il campo elettrico risultante dipende dalla distribuzione della resistenza e viene misurato a coppie dagli altri elettrodi per ottenere una differenza di potenziale (tensione). La figura seguente, a sinistra, mostra il potenziale elettrico per una distribuzione di conducibilità omogenea su legno integro. Nei casi in cui vi è un'anomalia (al centro), le linee potenziali vengono spostate verso l'esterno e osserviamo un incremento della tensione attorno alla periferia, mentre se l'anomalia è più conduttiva della matrice (a destra), le linee potenziali vengono attratte e vedremo una resistività inferiore.

Il tomografo sonico fornisce informazioni sulla proprietà di trasmissione dell'onda sonora, la cui velocità è determinata dalla relazione tra il modulo di elasticità e la densità del legno. Poiché sia il MOE che la densità sono strettamente correlati alla solidità del legno, la velocità sonora è un buon indicatore dei problemi interni negli alberi. Tuttavia, in alcune situazioni l'indagine sonora

è alterata dalla struttura interna del legno e risulta necessario prendere in considerazione l'utilizzo di un metodo di ispezione aggiuntivo che si basa su altri aspetti. Combinando la tomografia sonora con quella elettrica otteniamo due diversi tipi di informazioni sul legno. La tomografia elettrica fornisce informazioni sulle proprietà chimiche del legno, soprattutto circa il contenuto di umidità. L'utilizzo di informazioni sia di tipo sonico che di resistenza consente di effettuare un'analisi più approfondita di un albero e della natura del difetto (fessura, cavità, decadimento).

In particolare, quando si studiano gli alberi con processi di decadimento, la tomografia elettrica fornisce una previsione dello sviluppo futuro, oltre ad identificare, su sezioni che appaiono integre dalla tomografia sonora, le prime fasi dell'infezione. Inoltre, rispetto al tomografo sonico, che restituisce informazioni su una sezione, la tomografia elettrica è influenzata da un volume di legno pari a circa il diametro del fusto a livello dell'indagine, per cui analisi eseguite nella porzione basale dell'albero possono fornire informazioni nei riguardi di processi di decadimento diffusi più in profondità.

#### - **Analisi modellistica biomeccanica**

L'analisi modellistica biomeccanica, che rappresenta un valido supporto per il tecnico valutatore nel processo diagnostico, non deve essere considerata come un surrogato dell'analisi visiva, bensì come una sua integrazione, finalizzata a determinare l'opportunità e l'efficacia di cure colturali per la conservazione degli alberi.

Il software (*Sanfilippo, 2020*) è un modello analitico che prende in considerazione le variabili necessarie per la stima del fattore di sicurezza alla rottura del tronco a livello della sezione oggetto dell'indagine, analizzata mediante tomografia sonora. Si tratta di un'analisi statica, in cui l'albero viene modellizzato secondo le proprie variabili dendrometriche facendo ricorso ad alcune approssimazioni correlate alle caratteristiche biomeccaniche della struttura legnosa e alla complessa interazione con la dinamica del vento, e valutato nei confronti di una sollecitazione di tipo flessionale causata da una forzante eolica. La forzante eolica può essere immessa arbitrariamente o determinata attraverso la procedura dell'Eurocodice (EN 1991-1-4:2005). Altre variabili proposte, tra le quali la resistenza a rottura (MOR) e il coefficiente aerodinamico, sono state desunte dalle tabelle disponibili in letteratura e possono essere modificate dall'utilizzatore.

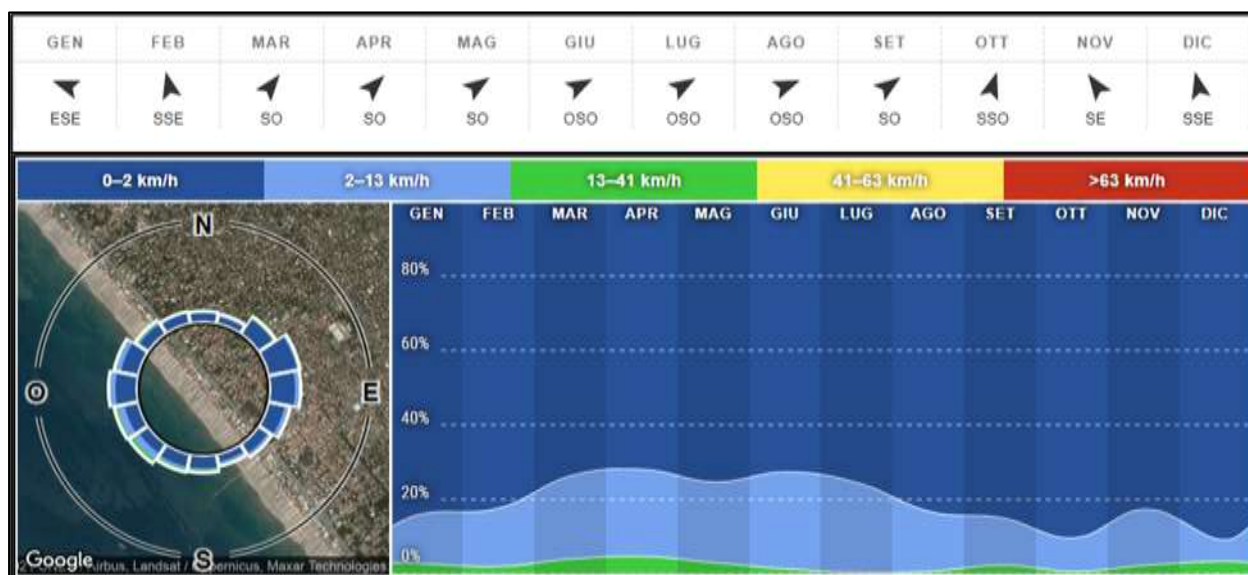
Il software restituisce anche la variazione del fattore di sicurezza con l'aumentare della velocità del vento e con la diminuzione del modulo di resistenza della sezione rispetto alla sezione intatta, la determinazione del  $t/R$  medio, l'andamento del modulo di resistenza della sezione oggetto dell'indagine e la stima della direzione cardinale in cui l'albero è soggetto alla massima sollecitazione.

## 2. ANALISI DELLA STAZIONE

L'alberata è situata ai margini delle colline a sud di Pietrasanta, ad un'altitudine media di 10 m s.l.m. e una distanza di circa 4 km dalla linea costiera. L'intorno ambientale compreso in un raggio di 100 metri è caratterizzato da pochi fabbricati e vegetazione arborea che supera raramente i 15 metri di altezza, caratteristiche che permettono di definire il sito di vegetazione degli alberi parzialmente esposto ai venti ma non soggetto a turbolenze.



Riguardo l'analisi del vento, effettuata con la metodologia dell'Eurocodice 1, le velocità del vento di progetto risultano pari a 90 km/h la media e 115 km/h quella di picco. Dall'analisi storica i venti dominanti soffiano da sudovest e ovest-sudovest, con eventi più significativi da sudovest. La velocità media del vento supera frequentemente i 40 km/h, corrispondenti a velocità di raffica di circa 55 km/h.



### 3. REFERTI TOMOGRAFIE SONICHE ED ELETTRICHE

**Albero C139 – *Tilia x vulgaris* Hayne**

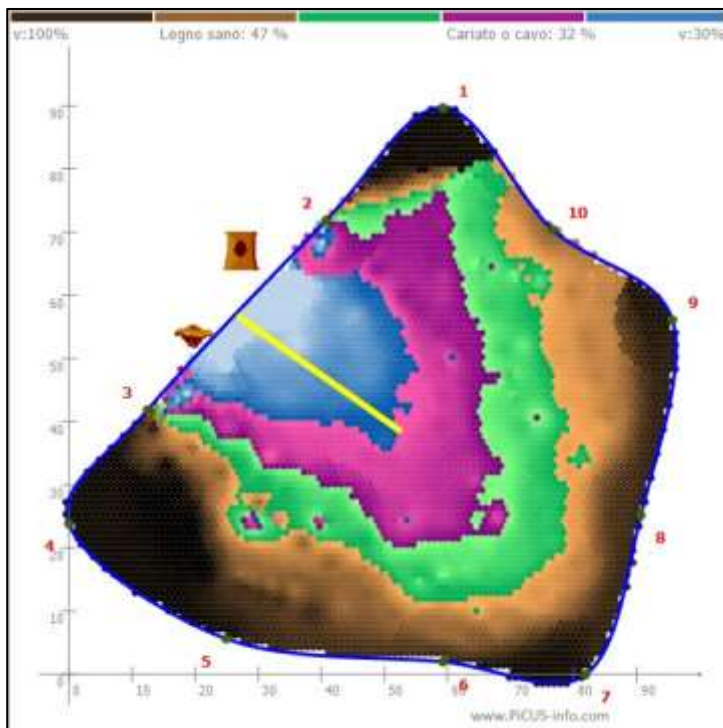
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – colletto

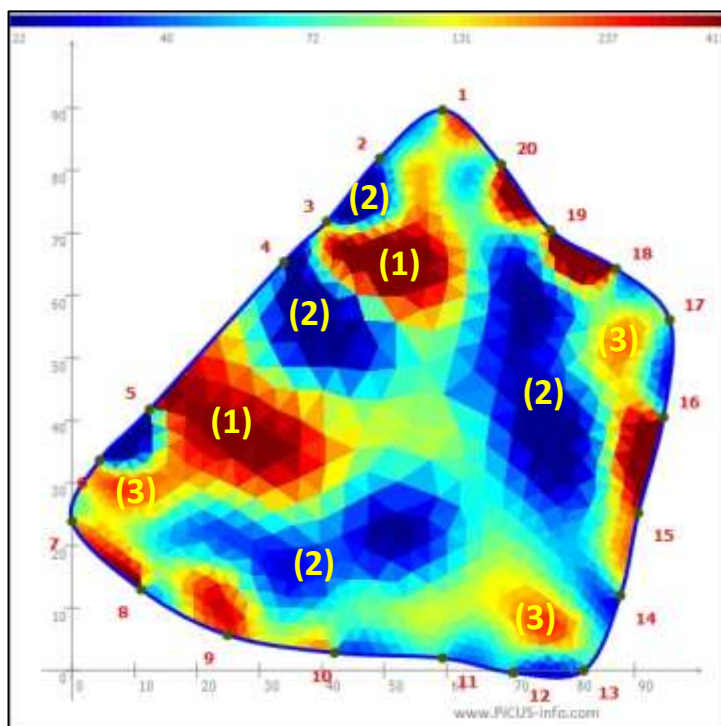
### Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra un'ampia area centrale caratterizzata da bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia) che raggiunge la pozione periferica tra i sensori 2 e 3, attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie in stadio molto avanzato, circonscritta da aree a velocità sonora alterata (colore verde). Il resto della sezione evidenzia elevata velocità di trasmissione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano con ottime capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto si estende per il 32% della sezione.



### Referto tomografia elettrica

La tomografia elettrica eseguita ad un'altezza di 20 cm e il confronto con la sonora (numeri in giallo) mostra in (1) porzioni caratterizzate da elevata resistività, attribuibili a porzioni di legno ormai degradate o a cavità, mentre in (2) aree caratterizzate da elevata conducibilità, compatibili con processi di carie in fase incipiente o presenti al di sotto del livello di indagine. Le aree indicate con (3) rappresentano l'alterazione della struttura cellulare che caratterizza i tessuti strutturali. Le ristrette aree periferiche in colore azzurro possono rappresentare l'alburno conducibile, mentre le porzioni in rosso le aree funzionali inattive.



**Albero S012 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

**Documentazione fotografica**

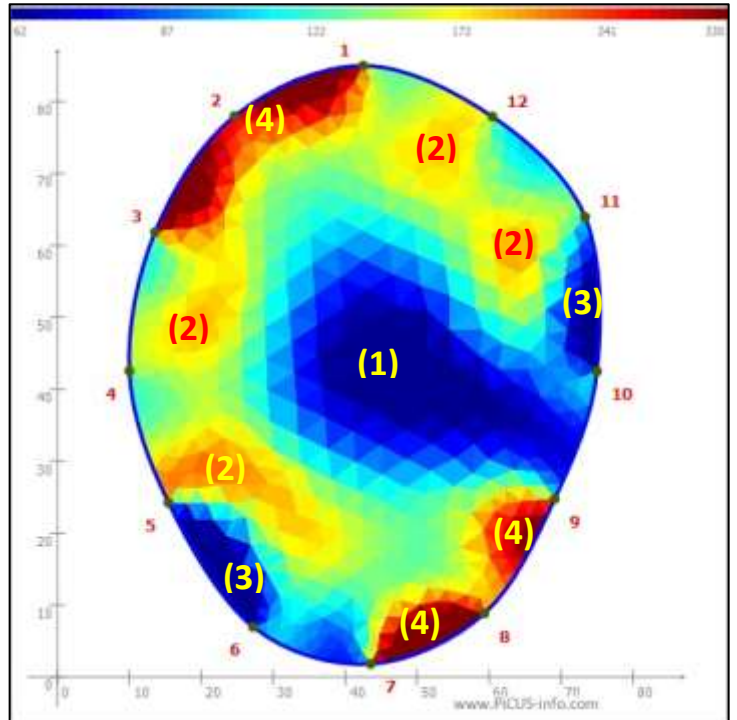




## SEZIONE N. 1 – colletto

### *Referto tomografia elettrica*

La tomografia elettrica eseguita ad un'altezza di 15 cm mostra un'area centrale caratterizzata da elevata conducibilità (1) che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 9 e 10, compatibile con processi di carie in risalita dall'apparato radicale centrale e fascicolato, circoscritta da un anello resistivo (2), attribuibile a legno sano. Le porzioni periferiche che manifestano maggiore conducibilità sono coerenti con quelle deputate principalmente al trasporto della linfa (3), mentre quelle più resistenti (4) ai tessuti con modifiche nella composizione e nella struttura delle pareti cellulari caratteristica del legno con funzione strutturale



**Albero S013 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

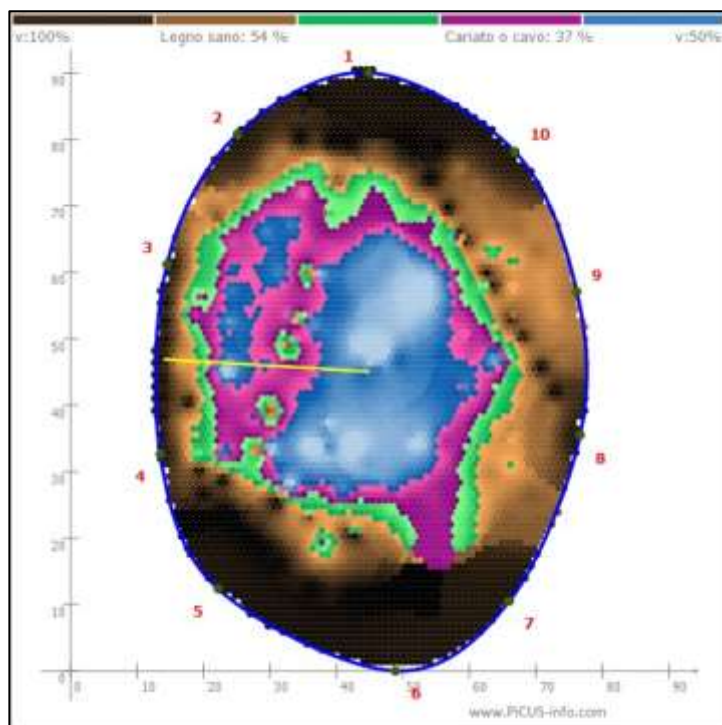
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – castello

### **Referto tomografia sonora**

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 220 cm (a destra) mostra bassa velocità di conduzione dell'onda sonora nella porzione centrale (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie in stadio avanzato, circoscritta da ristrette aree a velocità sonora alterata (colore verde). Il resto della sezione mostra elevata capacità di trasmissione del suono (colore marrone), che può essere associata a legno sano con buone caratteristiche di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto appare esteso per il 37% della sezione. Le linee in giallo rappresentano discontinuità nella trasmissione dell'onda sonora, e possono essere riconducibili a fessurazioni interne.



**Albero S016 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

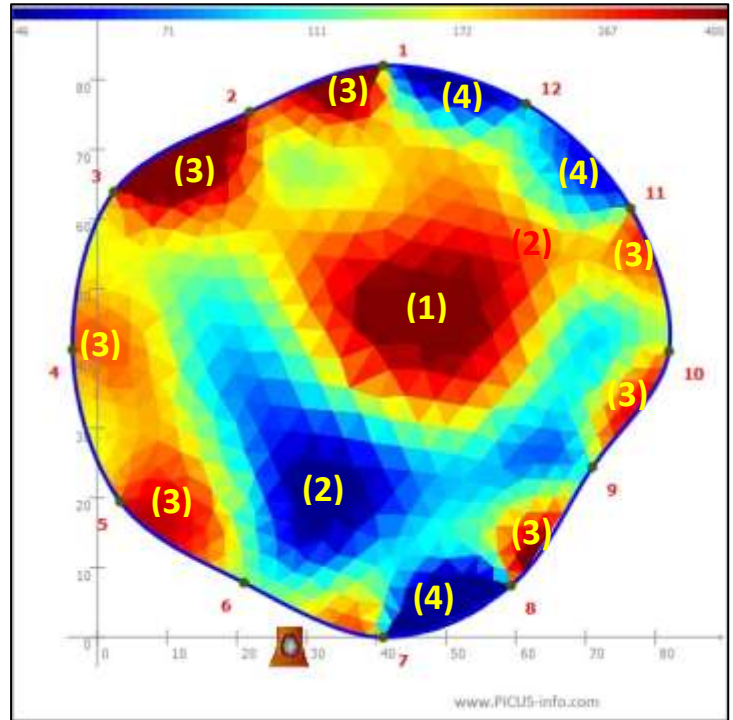
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – colletto

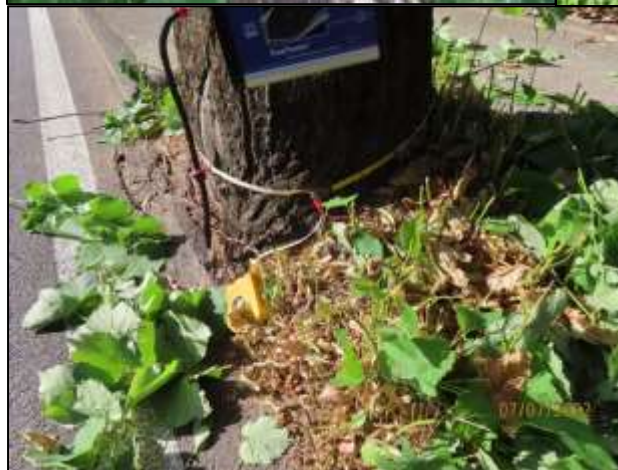
### *Referto tomografia elettrica*

La tomografia elettrica eseguita ad un'altezza di 20 cm è caratterizzata in parte da un'area centrale con elevata resistività (1), attribuibile a legno sano, in parte ad alta conducibilità (2), coerente con processi di carie incipiente in risalita dall'apparato radicale fascicolato. Le porzioni periferiche manifestano per lo più elevata conducibilità, caratteristica del legno strutturale, mentre quelle più condubbili (4) sono coerenti con tessuti deputati per lo più al trasporto della linfa.



**Albero S018 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

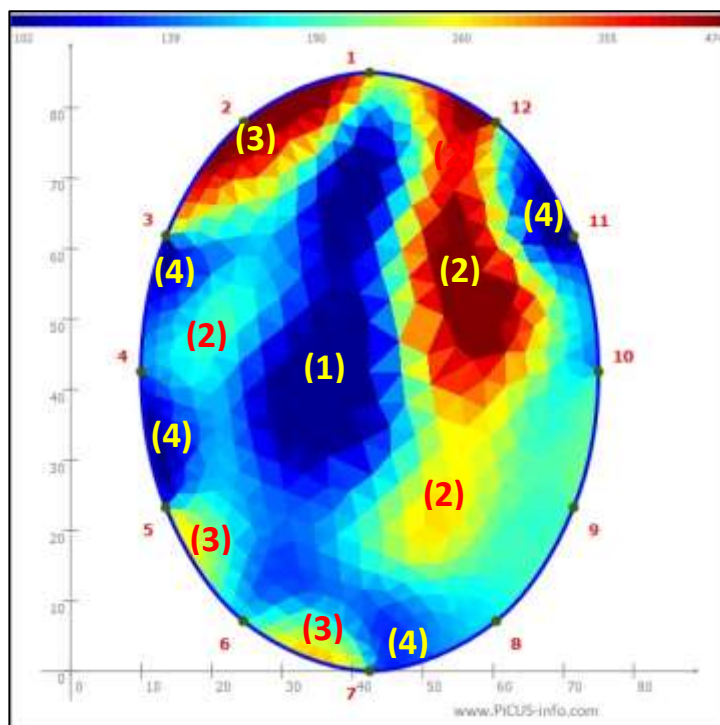
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – colletto

### *Referto tomografia elettrica*

La tomografia elettrica eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra un'area centrale caratterizzata da elevata conducibilità (1), compatibile con processi di carie in risalita dall'apparato radicale centrale e che si stanno diffondendo verso le porzioni periferiche, circonscritta in parte da porzioni resistive (2), in parte da tessuti le cui alterazioni nella composizione e nella struttura delle pareti cellulari caratterizzano il legno con funzione strutturale (3). Le porzioni periferiche che manifestano maggiore conducibilità sono coerenti con quelle deputate principalmente al trasporto della linfa (4).



**Albero S019 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

**Documentazione fotografica**

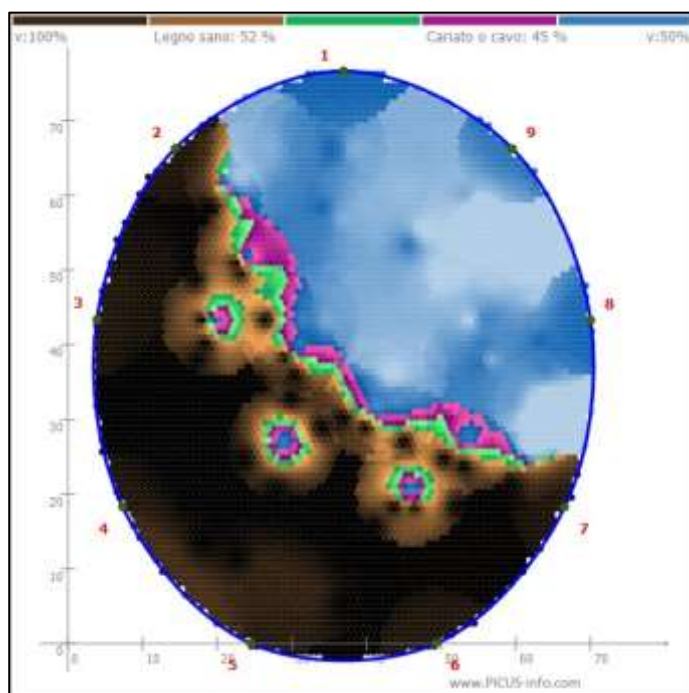




## SEZIONE N. 1 – fusto

### **Referto tomografia sonora**

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 230 cm mostra l'area periferica tra i sensori 7 e 2 caratterizzata da bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie in stadio molto avanzato. Il resto della sezione evidenzia elevata velocità di trasmissione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano con ottime capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto si estende per il 45% della sezione



**Albero S021 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

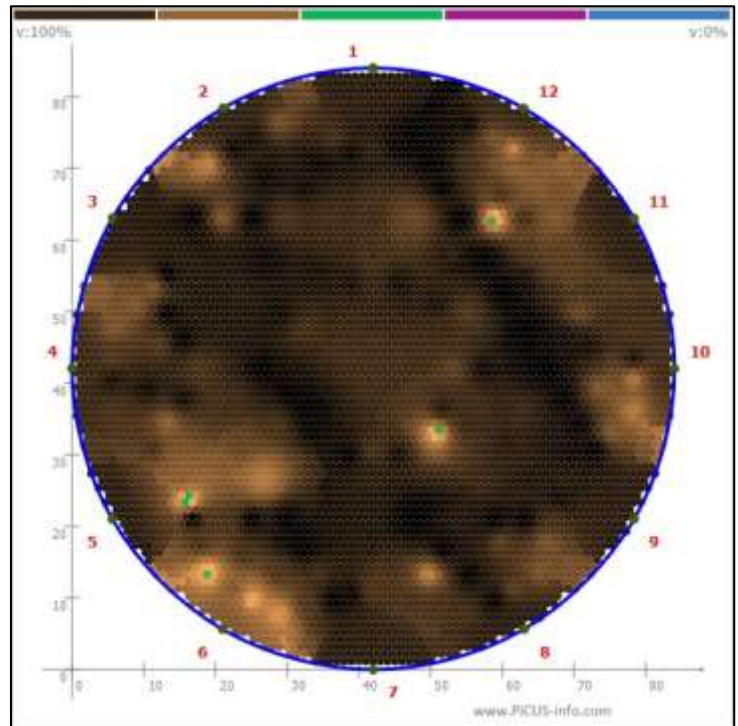
**Documentazione fotografica**



### SEZIONE N. 1 – colletto

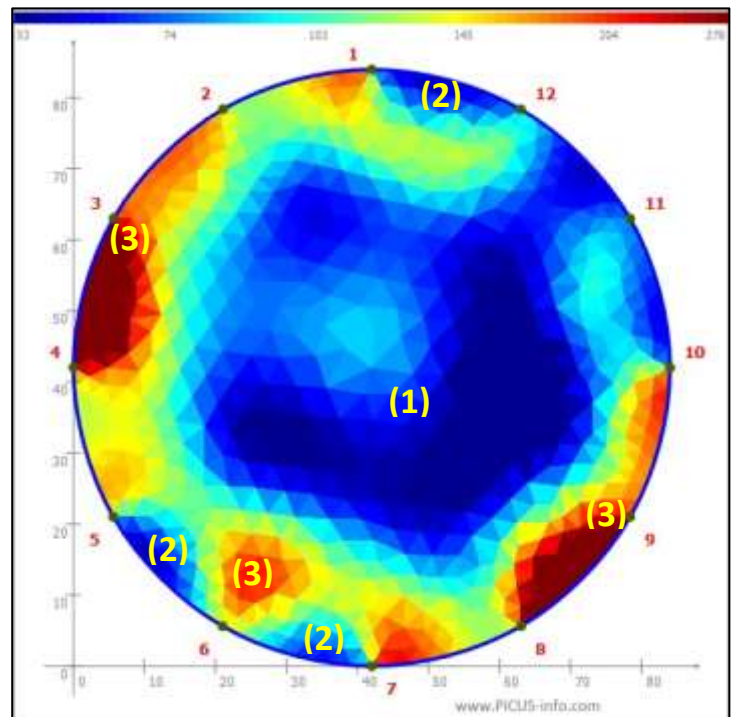
#### **Referto tomografia sonora**

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 10 cm mostra elevata velocità di diffusione sonora su tutta la sezione (colore marrone), attribuibile a legno sano con ottime caratteristiche di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione.



#### **Referto tomografia elettrica**

Il tomogramma elettrico, mostra un'ampia area centrale conduttrice (1) attribuibile a processi di carie incipiente o in risalita dall'apparato radicale centrale, che raggiungono la porzione periferica tra i sensori 11 e 12 coerente con l'alterazione rilevata visivamente. Le porzioni periferiche più conduttrici (2) sono deputate principalmente al trasporto della linfa, mentre quelle più resistenti (3) svolgono principalmente una funzione strutturale.



**Albero S022 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

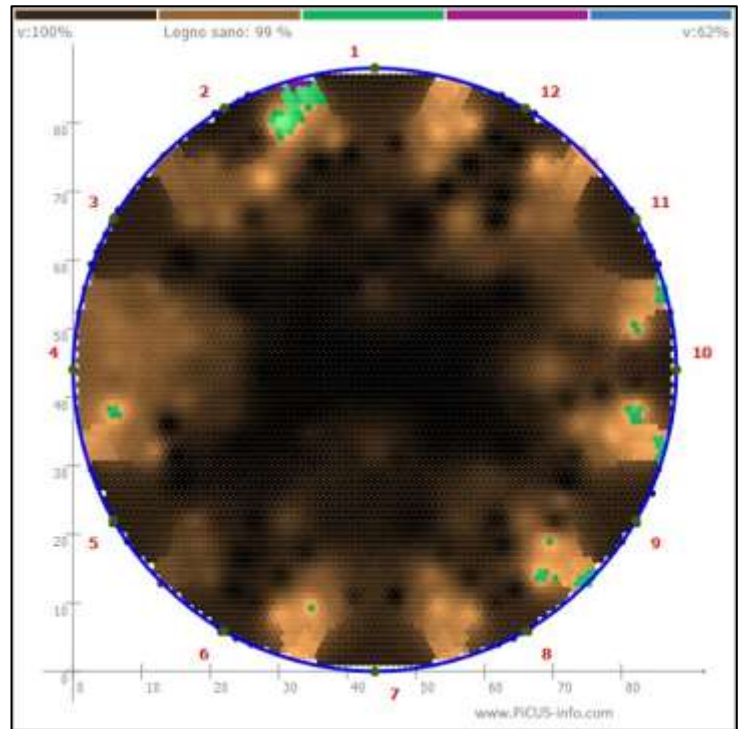
**Documentazione fotografica**



### SEZIONE N. 1 – colletto

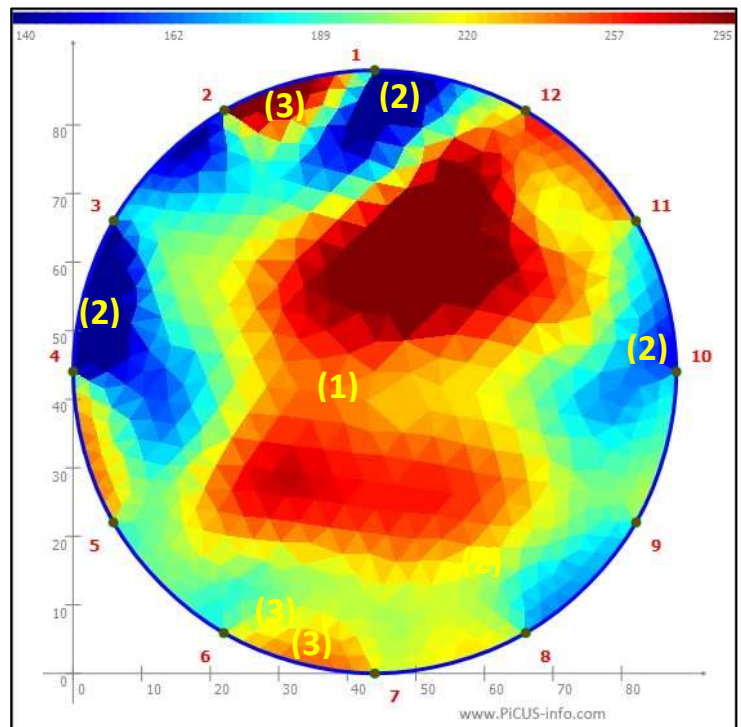
#### **Referto tomografia sonora**

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 30 cm mostra elevata velocità di diffusione sonora su tutta la sezione (colore marrone), attribuibile a legno sano con ottime caratteristiche di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione.



#### **Referto tomografia elettrica**

La tomografia elettrica è coerente con quella di un albero sano e va a corroborare quanto evidenziato nella sonora, con valori di resistività elevati nella porzione centrale (1). Le porzioni periferiche più conduttibili (2) si differenziano da altre più resistenti (3) in relazione alla composizione e alla struttura delle pareti cellulari dei tessuti.



**Albero S023 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

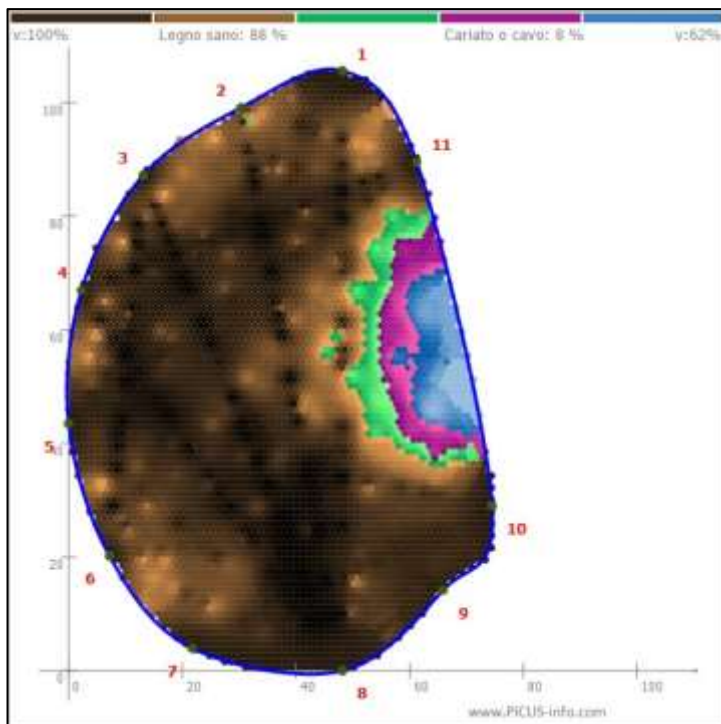
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – fusto

### **Referto tomografia sonora**

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 50 cm mostra l'area periferica tra i sensori 10 e 11 caratterizzata da bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie in stadio intermedio e favorito da danni meccanici. Il resto della sezione evidenzia elevata velocità di trasmissione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano con ottime capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto si estende per l'8% della sezione



**Albero S029 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

**Documentazione fotografica**

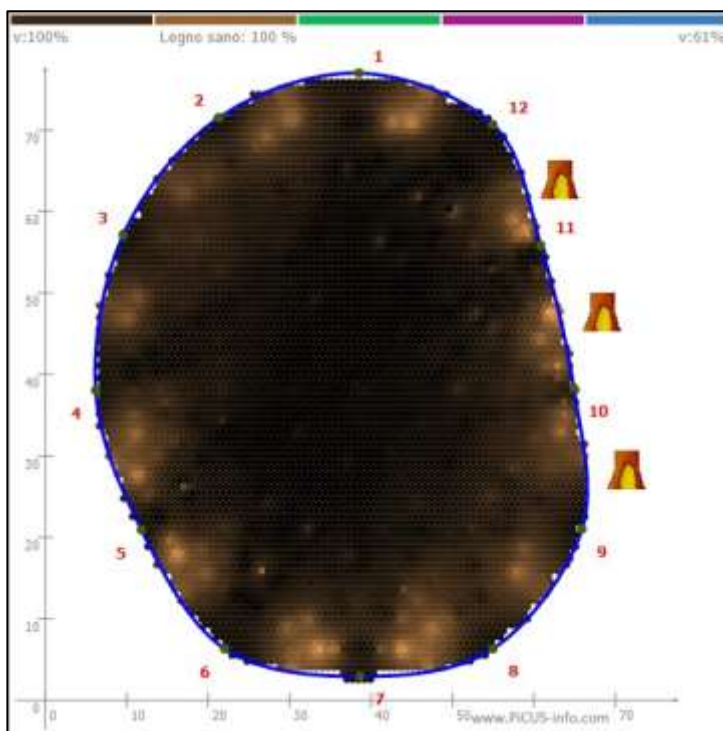




**SEZIONE N. 1 – colletto**

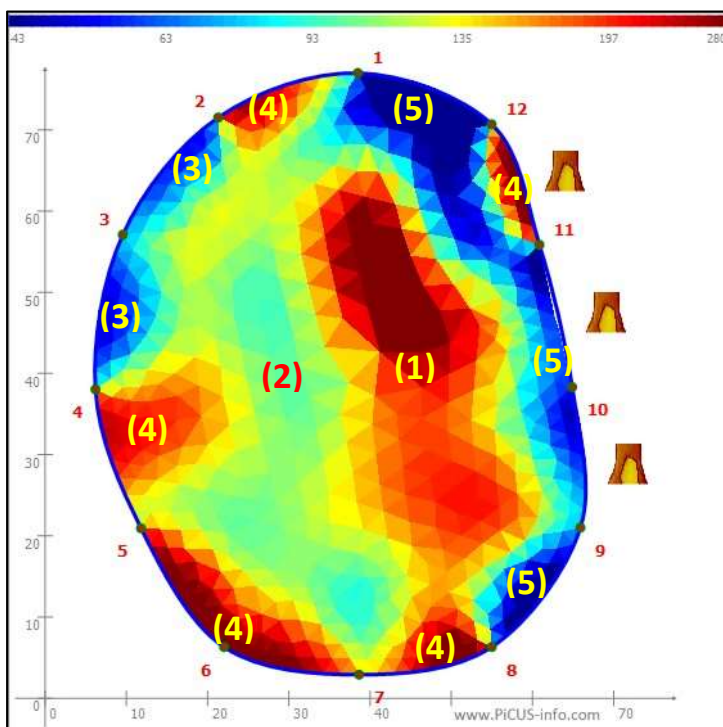
**Referto tomografia sonora**

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 30 cm mostra elevata velocità di diffusione del suono (colore marrone) su tutta la sezione, attribuibile a legno sano dotato di elevata capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione.



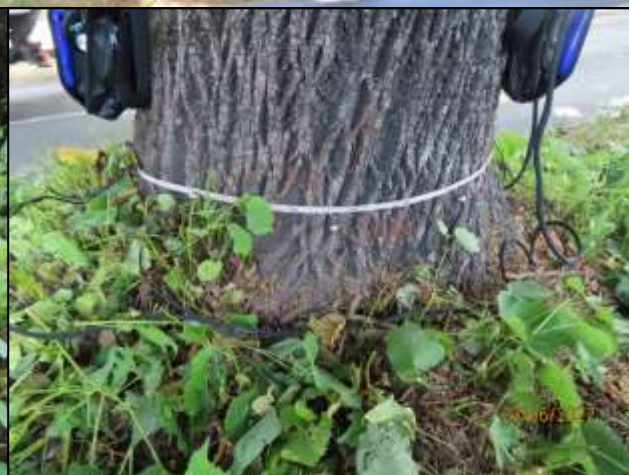
**Referto tomografia elettrica**

Il tomogramma mostra il cilindro centrale in parte resistivo (1), attribuibile a legno sano, in parte più conducibile (2), compatibile con processi di carie in stadio incipiente in risalita dall'apparato radicale centrale. La porzione periferica più conducibile (3) può essere associata a tessuti con prevalente funzione di trasporto della linfa, mentre quelle resistenti (4) con funzione strutturale. Le aree conducibili in corrispondenza di legno disfunzionale (5) stanno ad evidenziare processi di decadimento in stadio incipiente.



**Albero S030 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

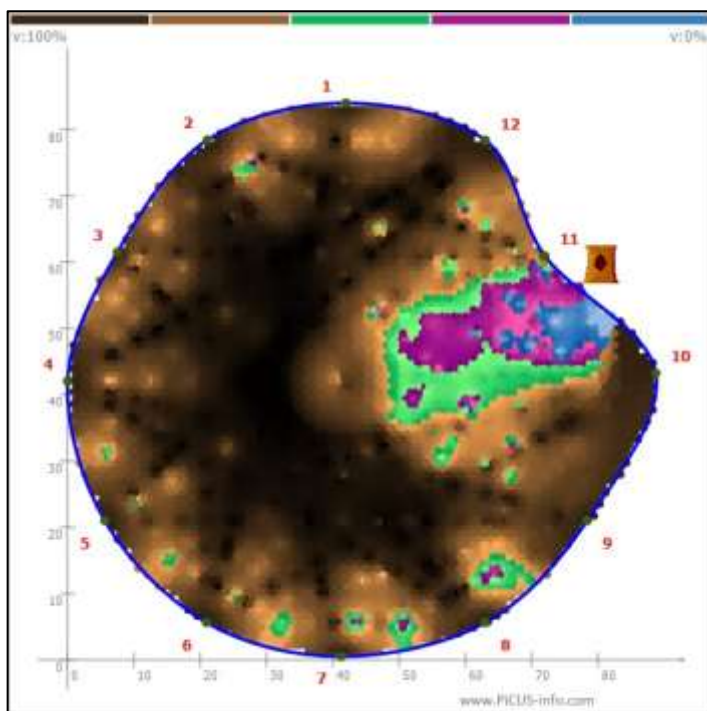
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – colletto

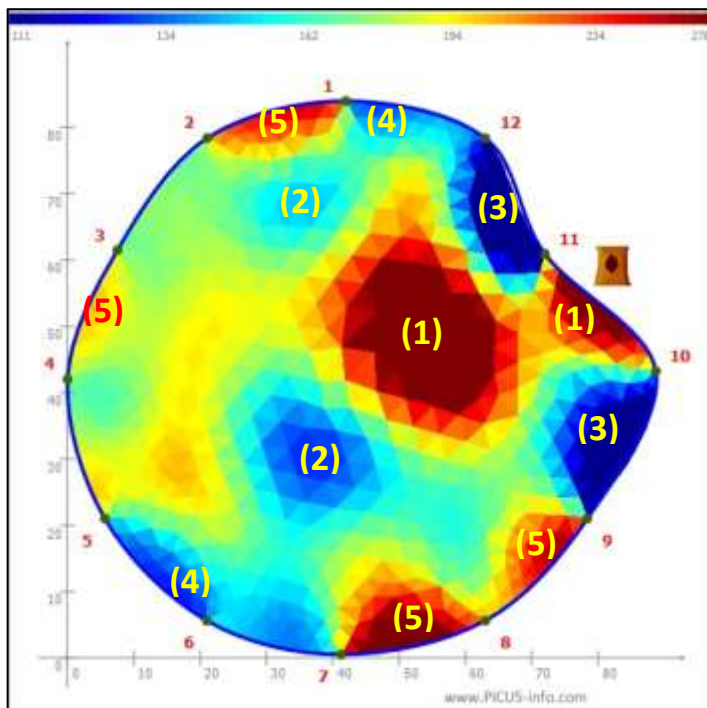
### Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 30 cm mostra un'area periferica caratterizzata da bassa capacità di trasmissione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie, circoscritta da aree a velocità sonora alterata (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione, caratterizzato da elevata velocità di diffusione del suono, è coerente con legno sano. Le porzioni periferiche a velocità alterata non rappresentano un difetto, bensì la differenza nella modalità di trasmissione del suono in direzione radiale e tangenziale determinata dall'anisotropia del legno. Il difetto appare esteso per il 6% della sezione.



### Referto tomografia elettrica

Il tomogramma elettrico è formato in parte da un'area molto resistiva (1) che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 10 e 11, coerente con la cavità interna visibile dall'apertura, in parte da piccoli lembi più o meno conducibili (2) coerenti con processi di carie attiva. Ai lati dell'apertura, le porzioni che appaiono molto conducibili (3) vengono attribuite a processi di carie incipiente o in risalita dall'apparato radicale fascicolato, che si differenziano dalle porzioni deputate al trasporto della linfa (4). Lungo la circonferenza, le porzioni più resistive (5) sono attribuibili a legno con funzione strutturale.



(2)

(2)

**Albero S032 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

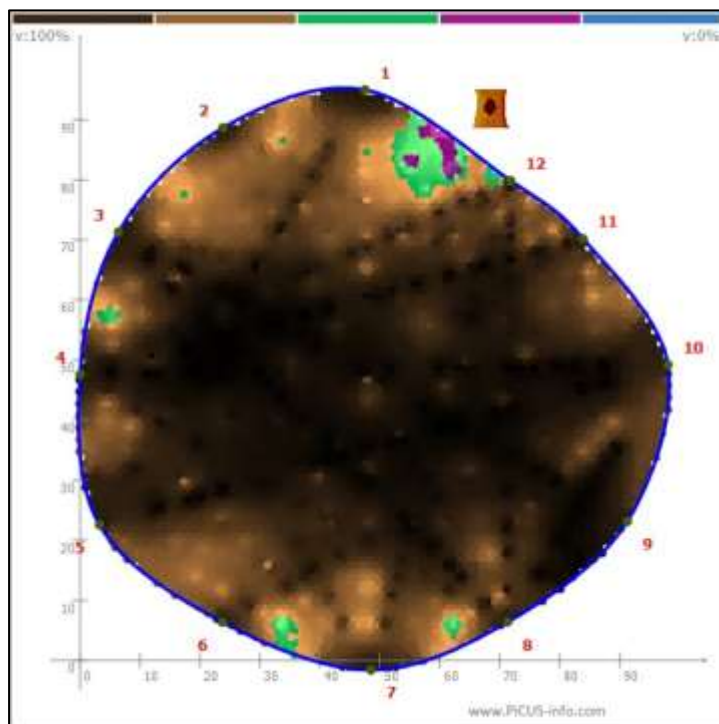
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – colletto

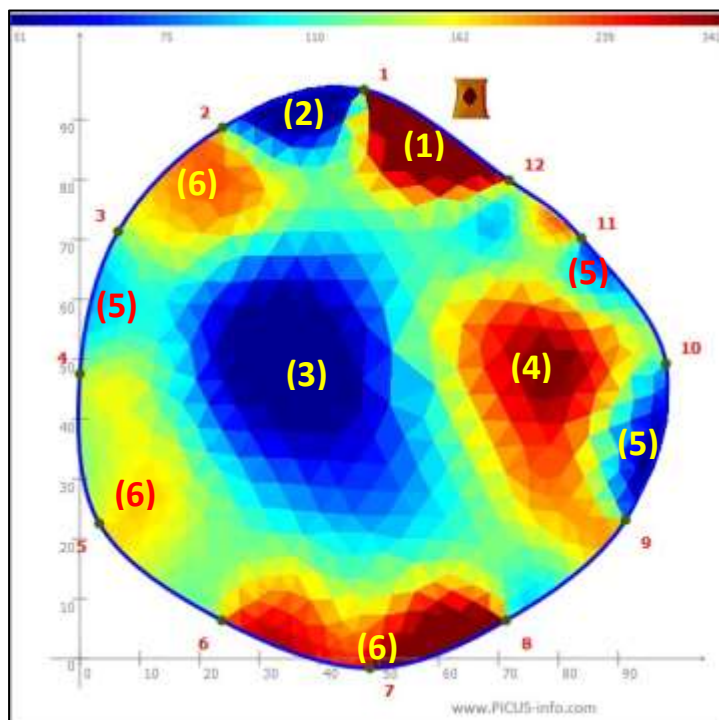
### **Referto tomografia sonora**

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 25 cm mostra una piccola area periferica tra i sensori 12 e 1 caratterizzata da bassa velocità di diffusione del suono, coerente con l'apertura visibile dall'esterno. Il resto della sezione manifesta elevata velocità di trasmissione dell'onda sonora, compatibile con legno sano con elevata capacità di resistenza meccanica per sollecitazioni di tipo flessionale. Il difetto appare esteso per il 2% della sezione.



### **Referto tomografia elettrica**

La tomografia elettrica mostra, in corrispondenza del difetto rilevato dalla sonora, un lembo resistivo tra i sensori 12 e 1 (1), coerente con la cavità aperta, e uno conducibile tra i sensori 1 e 2 (2), che può essere determinato da una carie incipiente. Il cilindro centrale è caratterizzato da un'ampia area ad elevata conducibilità (3), compatibile con processi di carie incipiente o in risalita dall'apparato radicale, e una dotata di alta resistività (4), attribuibile a legno integro. Le aree periferiche più conducibili sono da attribuirsi ai tessuti con prevalente funzione di trasporto della linfa (5), mentre quelli resistivi a funzioni strutturali (6).



**Albero S086 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

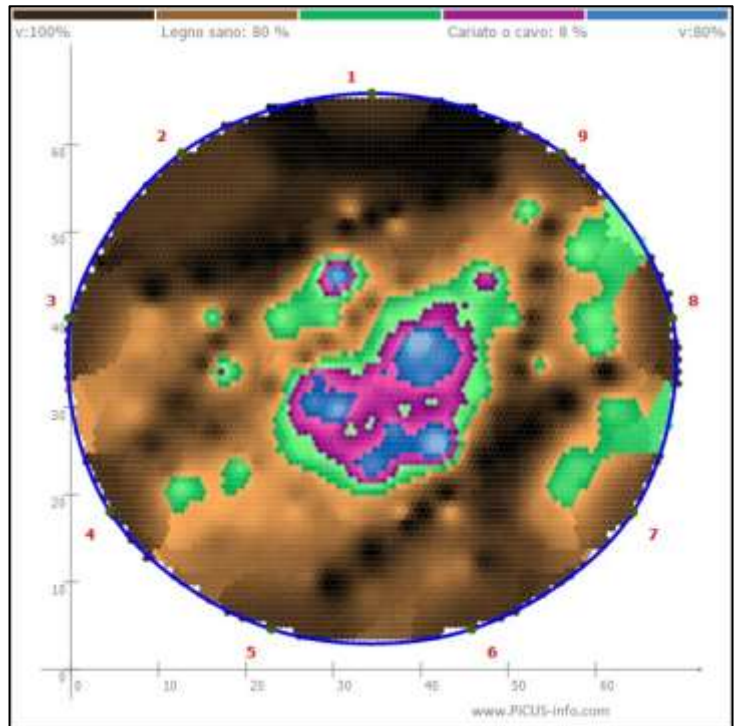
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – colletto

### *Referto tomografia sonora*

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 70 cm mostra una piccola area centrale con bassa velocità di diffusione del suono (colore blu e fucsia) circoscritta da aree a capacità di trasmissione sonora alterata (in verde) più o meno estese in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Piccoli lembi a velocità alterata lungo la circonferenza non possono essere attribuiti a difetti ma all'anisotropia del legno. Il resto della sezione è caratterizzato da elevata capacità di conduzione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano dotato di elevata capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di tipo flessionale.



**Albero S087 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

**Documentazione fotografica**

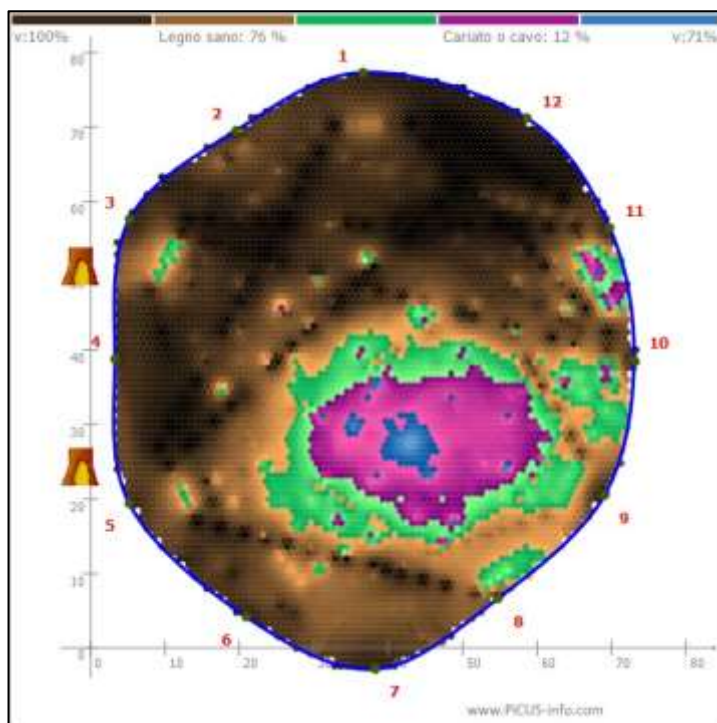




## SEZIONE N. 1 – colletto

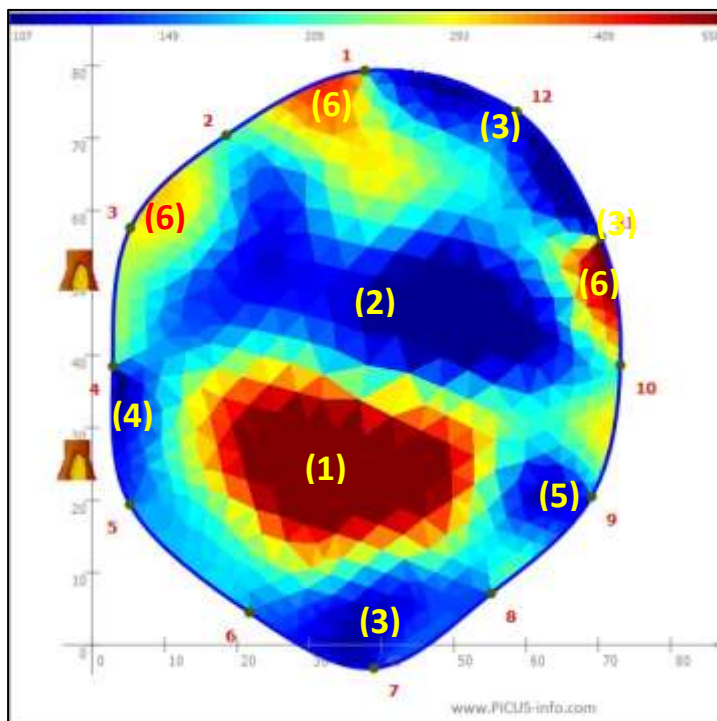
### Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 15 cm mostra un'area decentrata caratterizzata da bassa capacità di trasmissione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie, circoscritta da ampie aree con velocità del suono alterate (in verde) ad evidenziare una scarsa capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione evidenzia elevata velocità di diffusione del suono, compatibile con legno resistente. Il difetto appare esteso per il 12% della sezione.



### Referto tomografia elettrica

Il tomogramma elettrico mostra elevata resistività nella porzione dotata di bassa velocità di diffusione del suono (1), compatibile con una cavità o legno ormai degradato. Il resto del cilindro centrale evidenzia elevata conducibilità, attribuibile a processi di carie incipiente o in risalita dall'apparato radicale centrale (2); tali processi sembrano diffusi anche nell'apparato radicale fascicolato in corrispondenza dei sensori 7 e 12 (3), oltre alla porzione di legno disfunzionale (4). Le aree periferiche più conduttibili sono da attribuirsi ai tessuti con prevalente funzione di trasporto della linfa (5), mentre quelli resistivi a funzioni strutturali (6).



**Albero S102 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

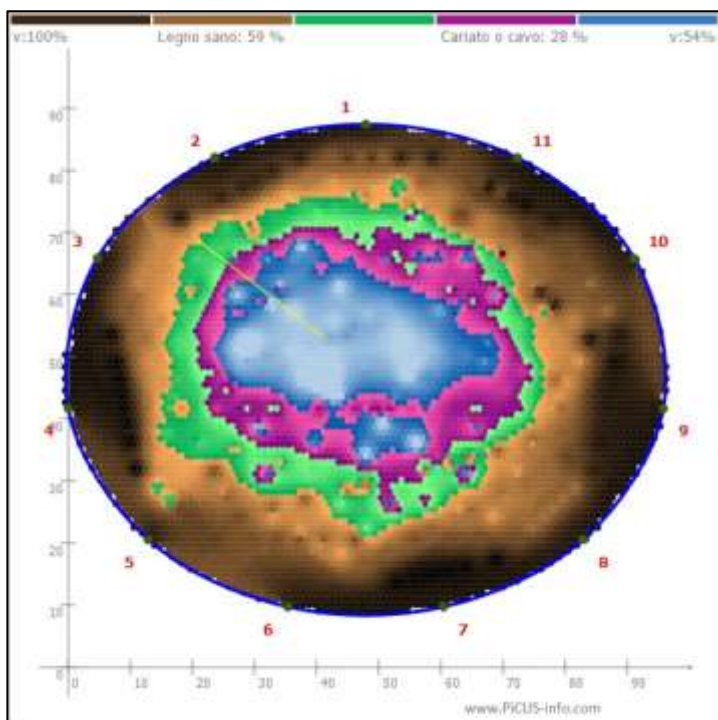
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – fusto

### *Referto tomografia sonora*

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 60 cm evidenzia un'ampia area centrale caratterizzata da bassa capacità di trasmissione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie in stadio avanzato, circondata da aree con velocità del suono alterata (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione mostra elevata velocità di diffusione dell'onda sonora, compatibile con legno resistente. Il difetto appare esteso per il 28% della sezione.



**Albero S114 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

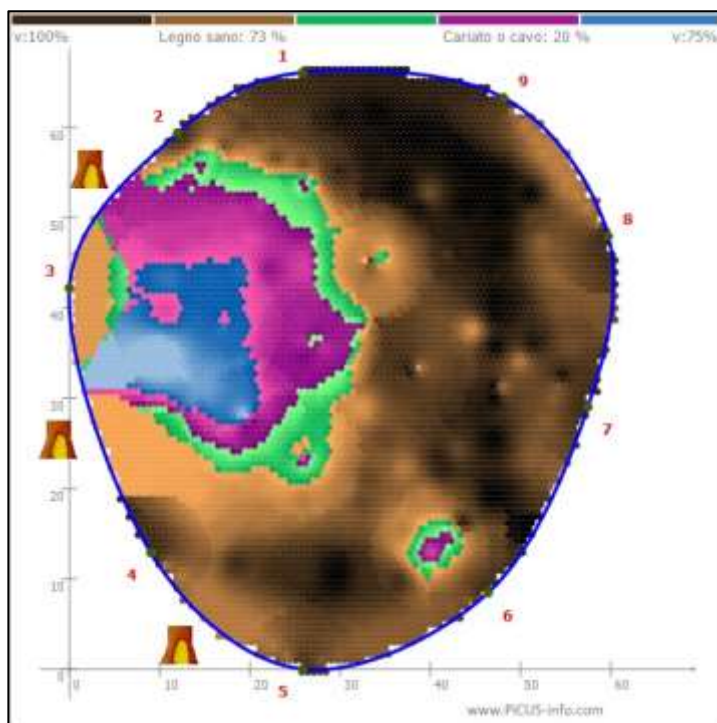
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – colletto

### *Referto tomografia sonora*

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 40 cm mostra un'area periferica con bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in stadio intermedio, circoscritta da aree a velocità sonica alterata più o meno ampie in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione manifesta elevata capacità di trasmissione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano dotato di elevata capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto appare esteso per il 20% della sezione.



**Albero S120 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

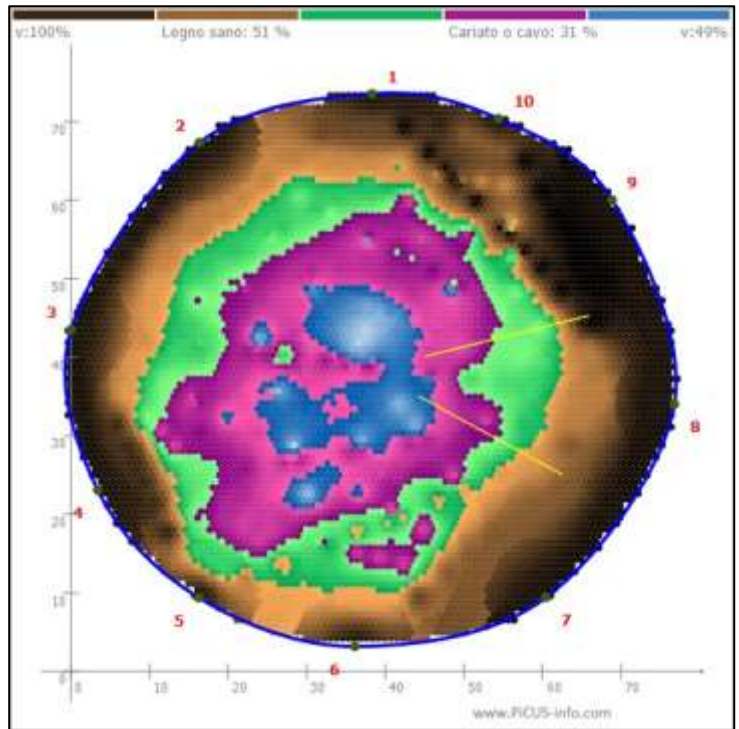
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – fusto

### *Referto tomografia sonora*

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 200 cm mostra un'ampia area centrale caratterizzata da bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in stadio avanzato, circoscritta da aree con velocità del suono alterata (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione mostra elevata velocità di trasmissione del suono, compatibile con legno dotato di elevata capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di tipo flessionale. Il difetto appare esteso per il 31% della sezione



**Albero S122 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

**Documentazione fotografica**

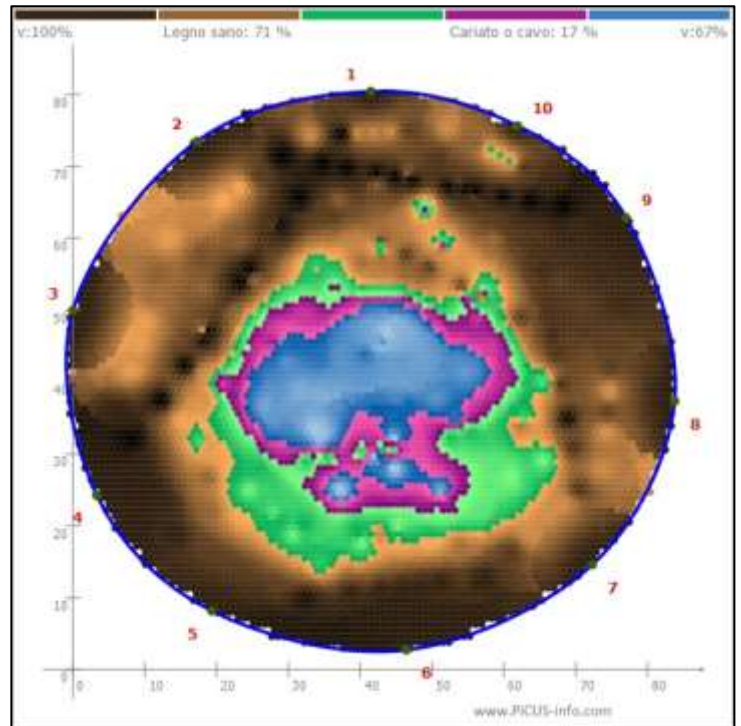




## SEZIONE N. 1 – fusto

### *Referto tomografia sonora*

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 230 cm evidenzia un'area centrale caratterizzata da bassa capacità di trasmissione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie in stadio intermedio, circoscritta da aree con velocità del suono alterata (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione mostra elevata velocità di diffusione dell'onda sonora, compatibile con legno resistente. Il difetto appare esteso per il 17% della sezione.



**Albero S123 - *Tilia x vulgaris* Hayne**

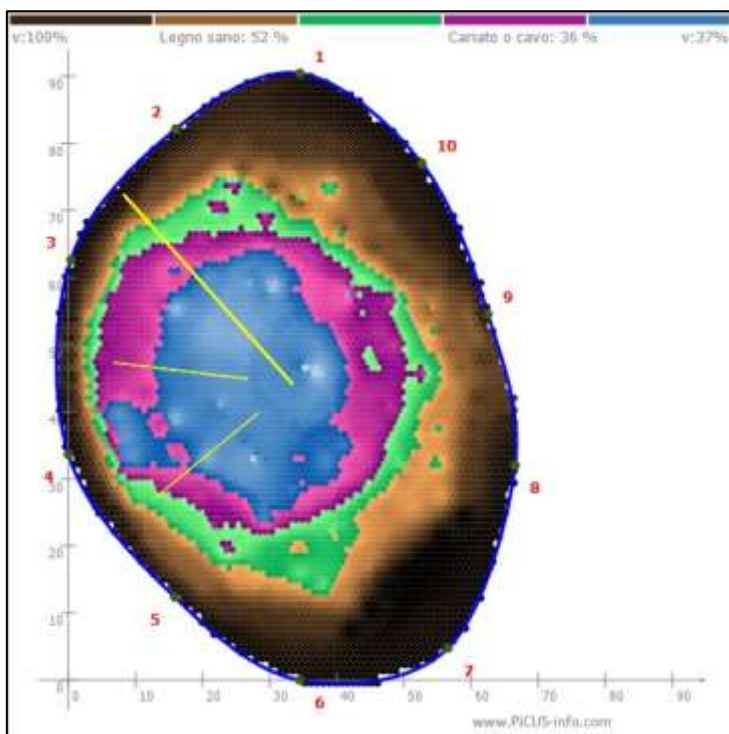
**Documentazione fotografica**



## SEZIONE N. 1 – castello

### *Referto tomografia sonora*

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 200 cm evidenzia un'ampia area centrale caratterizzata da bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in stadio avanzato, circondata da aree con velocità del suono alterata (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione mostra elevata velocità di trasmissione del suono, compatibile con legno dotato di elevata capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di tipo flessionale. Il difetto appare esteso per il 36% della sezione



#### 4. DIAGNOSI E CONCLUSIONI

Le indagini strumentali mediante tomografia sonica hanno talvolta evidenziato, per velocità del vento coerenti con quelle di progetto, criticità rilevanti nella propensione al cedimento a livello delle sezioni indagate per sollecitazioni di tipo flessionale, e più precisamente i tigli n. S019 e C139, che mostrano segni e sintomi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie in stadio molto avanzato.

Modesti appaiono i processi di carie a livello del fusto, talvolta significativi a livello del castello, che tuttavia possono essere contenuti attraverso l'adozione di sistemi consolidamento.

Significativa appare l'incidenza delle alterazioni nella modalità di distribuzione della resistenza elettrica attribuibili a processi di carie incipiente in risalita dall'apparato radicale centrale e/o fascicolato, certamente determinati dai lavori di scavo eseguiti nel tempo per la manutenzione o la posa in opera di sottoservizi.

Resto a disposizione per ulteriori chiarimenti e approfondimenti.

In fede.

dottore forestale Emiliano SANFILIPPO

The image shows a handwritten signature in black ink, which appears to read 'E. Sanfilippo'. Overlaid on the signature is a circular professional stamp. The stamp contains the text: 'DOTTORI AGRONOMI E DOTTORI FORESTALI' around the top edge, 'Dottore Forestale' in the center, 'EMILIANO SANFILIPPO' below that, and 'n° 817' at the bottom. The bottom edge of the stamp also includes 'ORDINE - PISA - TIVOLI'.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- ARBORETE, a cura di Sani L., 2020 – *Valutazione e gestione del rischio arboreo – Manuale Operativo* - anichelli
- Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2009 – *Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010 – *UNI EN 1991-1-4:2010 Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento.*
- Gardiner B., Peltola H., Kellomaki S., 2000 – *Comparison of two model for predicting the critical wind speed required to damage coniferous tree.* Ecological Modelling 129: 1-23
- Hale, S.E., B.A. Gardiner, A. Wellpott, B.C. Nicoll, and A. Achim. 2010. *Wind loading of trees: Influence of tree size and competition.* European Journal of Forest Research 131(1):203–217
- James, K. R., 2010. *A dynamic structural analysis of trees subject to wind loading.* PhD thesis, Melbourne School of Land and Environments, The University of Melbourne.
- James, K.R., C. Hallam, and C. Spencer. 2013. *Measuring tilt of tree structural root zones under static and wind loading.* Agricultural and Forest Meteorology 168 (January):160–167
- La Marca O., 2004 – *Elementi di dendrometria.* Patron editore
- Lobis V., Brudi E., Maresi G. Ambrosi P., 2002 – *Valutazione della stabilità degli alberi. Il SIA (Static Integrated Assessment) e il metodo SIM (Static Integrated Method).* Scherwood 78: 41-46
- Mattheck C., Breloer H., 1998 – *La stabilità degli alberi. Fenomeni meccanici e implicazioni legali dei cedimenti degli alberi.* Il Verde Editoriale
- Niklas KJ, 2014 – *Basi di biomeccanica degli alberi.* Italus Hortus 21(2):67-78.
- Niklas KJ., Spatz HC., 2012 – *Plant Physycs .* The University of Chicago Press
- Peltola H., Kellomaki S., 1993 – *A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scots pines at stand edge.* Silva Fennica 27: 99-111.
- SANFILIPPO E., 2020 – *Stima del fattore di sicurezza alla rottura del tronco di una sezione indagata mediante tomografia sonora* - Arbor 3–2020: 5-16
- SANI L., 2017 – *Statica delle strutture arboree per la valutazione di stabilità.* Gifor.
- SANI L., BLOTTA V., FRONTINI R., SANFILIPPO E., 2020 – *L'inclinazione dell'albero, questa sconosciuta. Significato e metodologie di rilievo.* Sherwood 245: 37-42.
- SCHWARZE F.W.M.R., 2008 – *Diagnosi e prognosi dello sviluppo del decadimento del legno degli alberi in città.* ARICOCCHI.
- SMILEY E.T., MATHENY N., LILLY S., 2010 – *Norme di buona pratica – valutazione del rischio connesso alla presenza di alberi* - SIA
- Sterken, P., 2005 – *A guide for tree-stability analysis.*