



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. 33 TIGLI VEGETANTI NELL'ALBERATA STRADALE DI VIALE APUA LATO MONTE

Committente:	Comune di Pietrasanta Piazza Matteotti n. 29 – 55049 Pietrasanta (LU)
Tecnico incaricato:	Dottore Forestale Emiliano SANFILIPPO 
	Livorno, dicembre 2023

ALLEGATO 2

INDAGINI STRUMENTALI MEDIANTE TOMOGRAFIA SONICA ED ELETTRICA SU N. 33 TIGLI VEGETANTI NELL'ALBERATA STRADALE DI VIALE APUA LATO MONTE

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 (ρ).

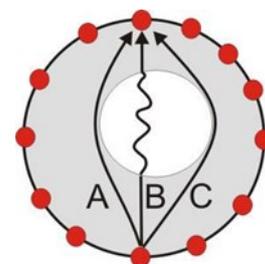
$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

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 (ρ) 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*).

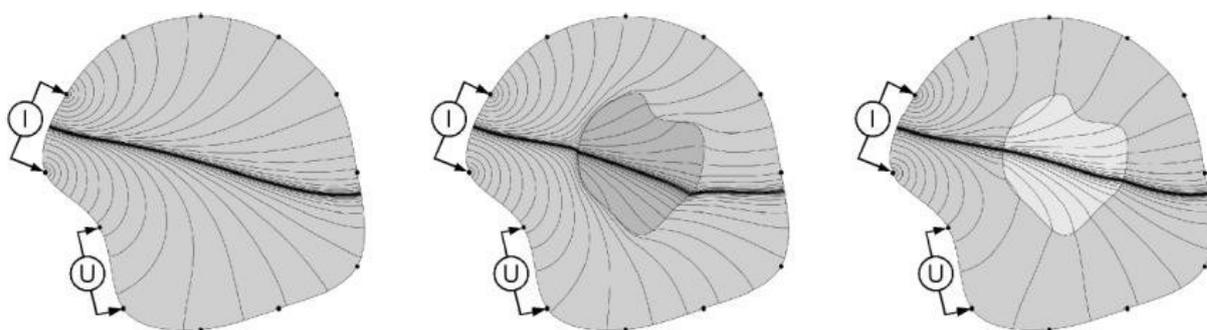


Un caso a parte è rappresentato dal decadimento determinato da *Kretzschmaria deusta*, che provoca un piccolo cambiamento delle velocità di diffusione sonora tra i sensori (*Schwarze et al., 1995*)

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.

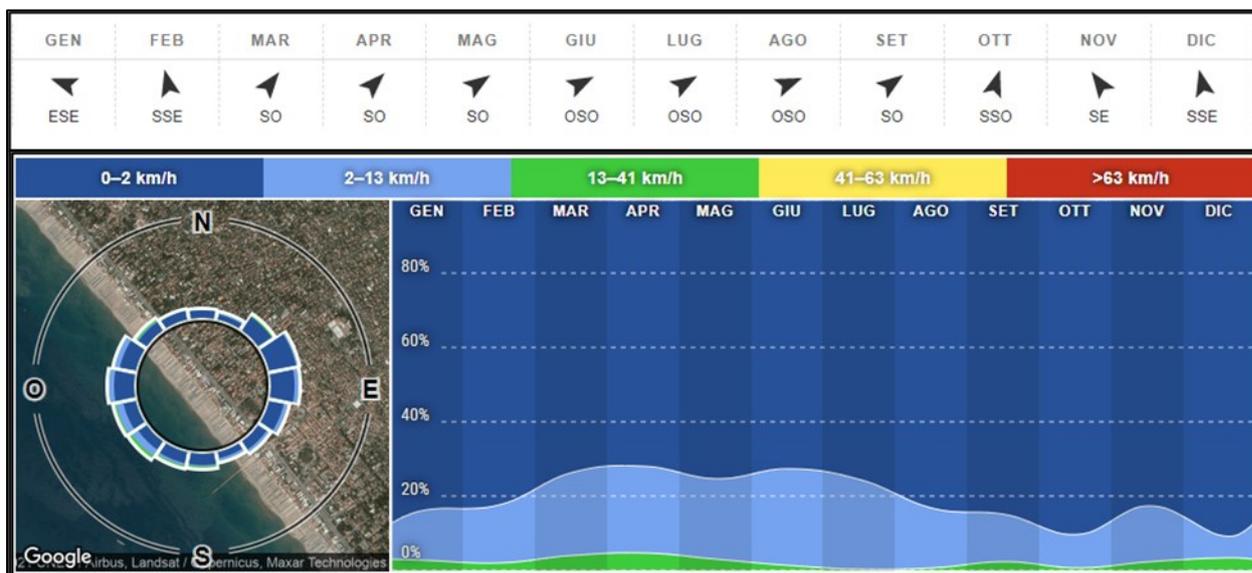
Il software restituisce anche la variazione del fattore di sicurezza con l'aumentare della velocità del vento e con la diminuzione del modulo di resistenza della sezione rispetto alla sezione intatta, la determinazione del t/R medio, l'andamento del modulo di resistenza della sezione oggetto dell'indagine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

2. ANALISI DELLA STAZIONE

L'alberata è situata lungo il viale che collega Pietrasanta ai viali a mare, ad un'altitudine media di 5 m s.l.m. e una distanza massima di 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 001 – *Tilia x vulgaris* Hayne

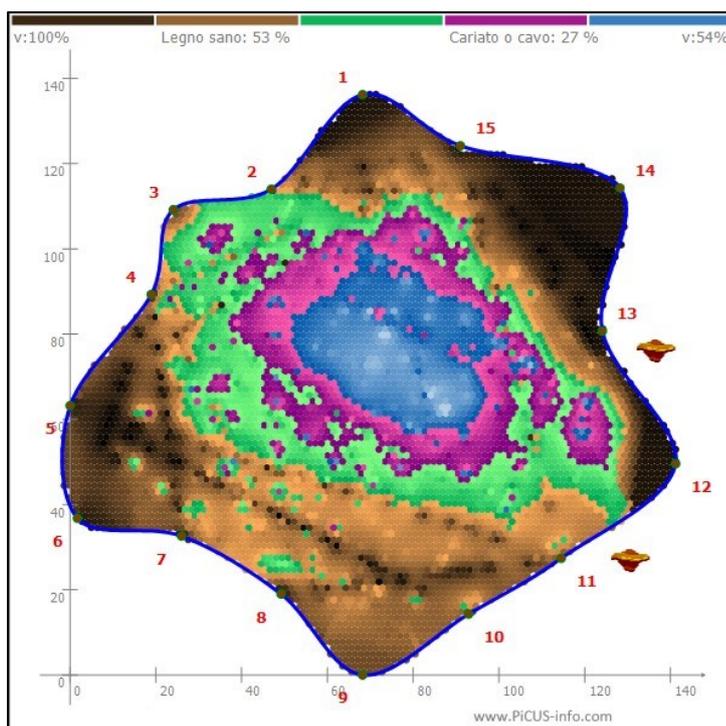
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

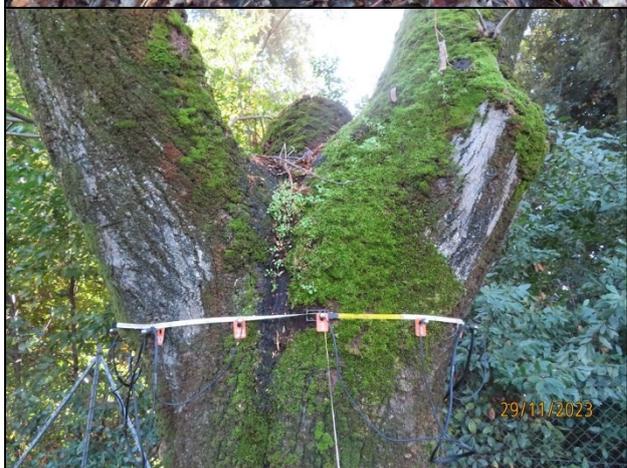
Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 10 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, 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 27% della sezione.



Albero 008 – *Tilia x vulgaris* Hayne

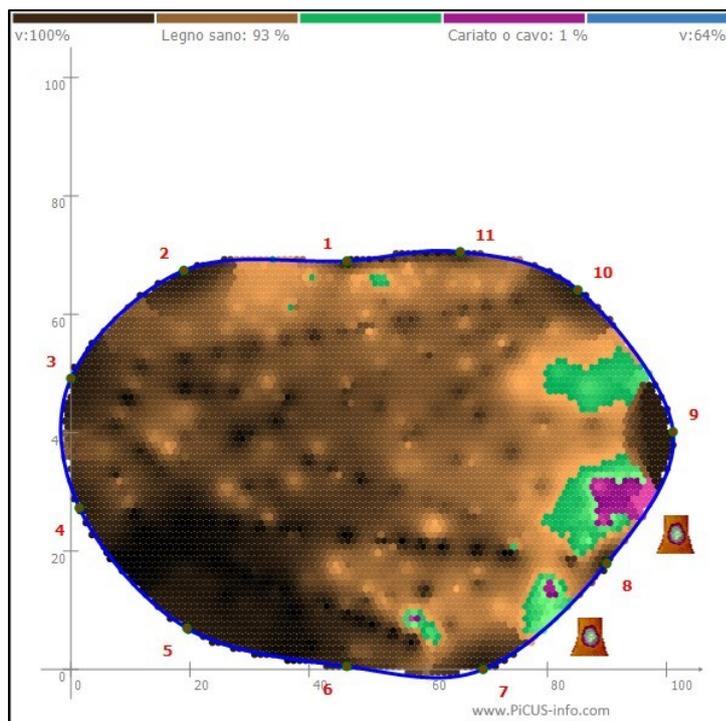
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – castello

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 210 cm mostra ristrette aree periferiche tra i sensori 7 e 10 caratterizzate da velocità di diffusione del suono da basse ad alterate, coerenti con processi di carie in discesa dallo sbrancamento pregresso. 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 l'1% della sezione.



Albero 009 – *Tilia x vulgaris* Hayne

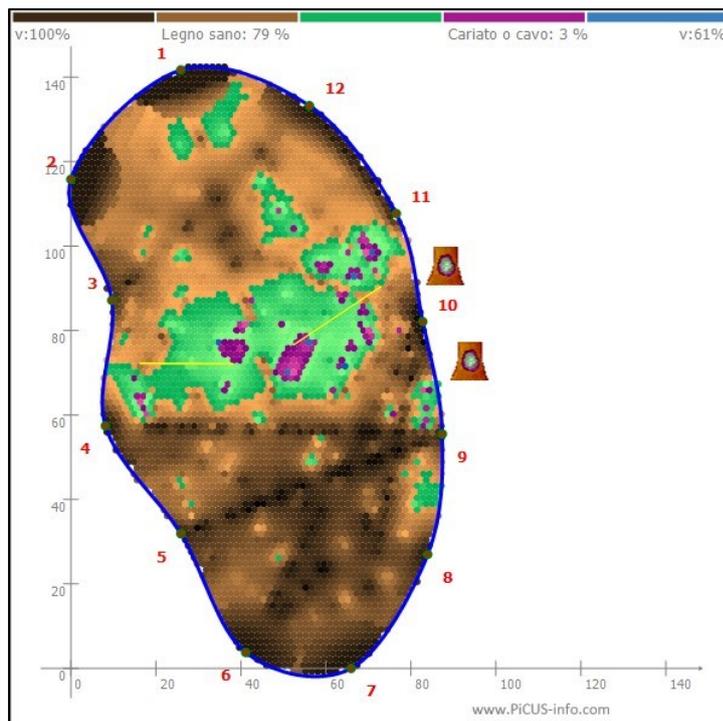
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – castello

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 210 cm mostra la porzione centrale caratterizzata da una matrice non omogenea con velocità di diffusione del suono da basse ad alterate, coerenti con inclusioni di corteccia. Il resto della sezione manifesta elevata velocità di conduzione dell'onda sonora, coerente con legno sano con alta capacità di resistenza meccanica per sollecitazioni di flessione.



Albero 013 – *Tilia x vulgaris* Hayne

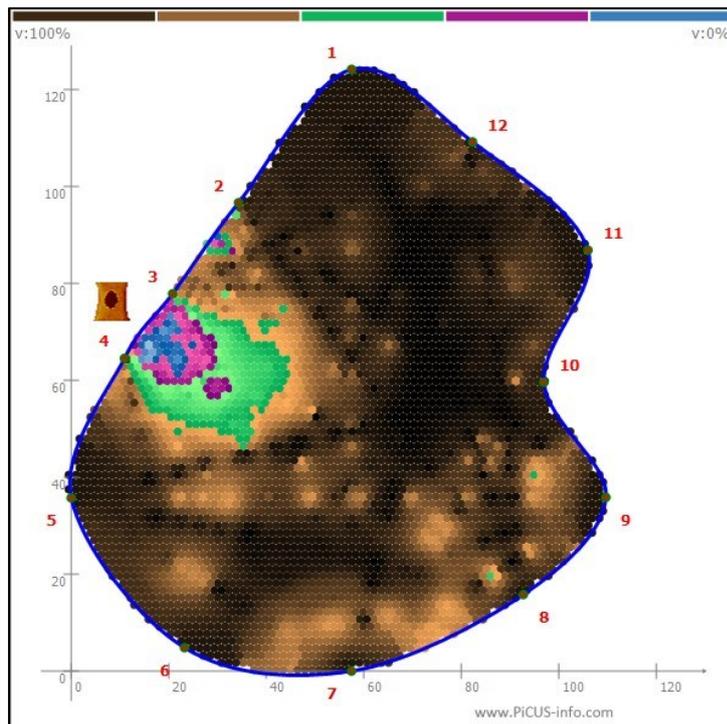
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra l'area periferica tra i sensori 3 e 4 caratterizzata da bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), coerente con la cavità visibile e attribuibile a processi di decadimento del legno ad opera di funghi agenti della carie. 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 4% della sezione



Albero 025 – *Tilia x vulgaris* Hayne

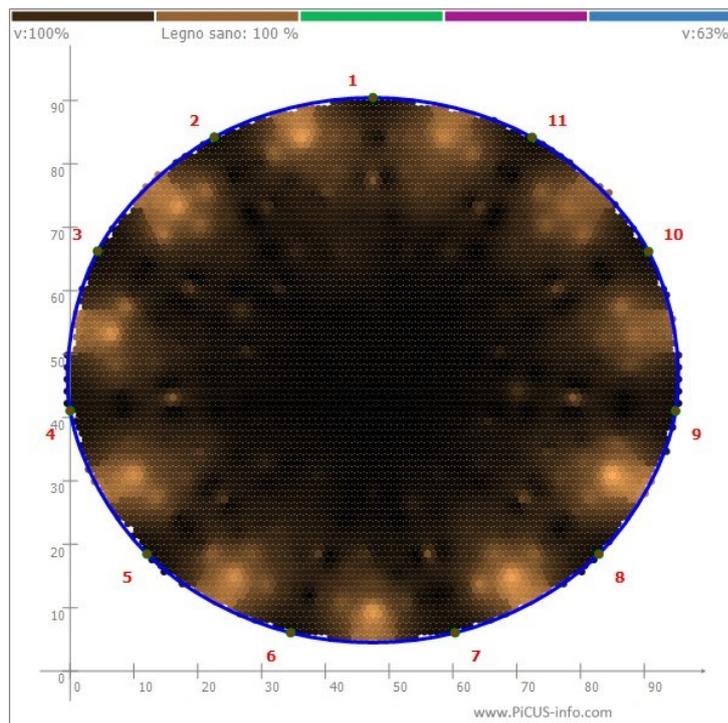
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – fusto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 70 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.



Albero 363 – *Tilia x vulgaris* Hayne

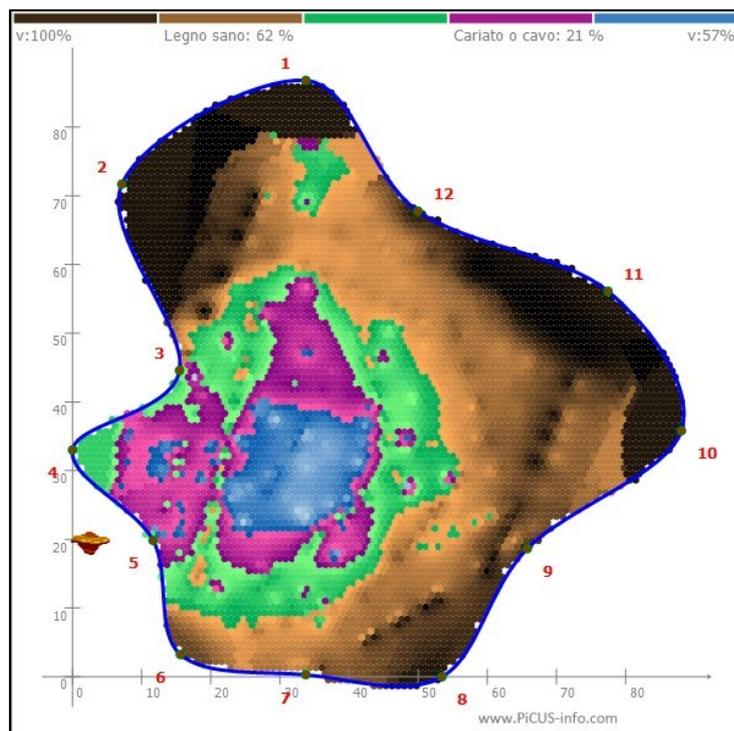
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

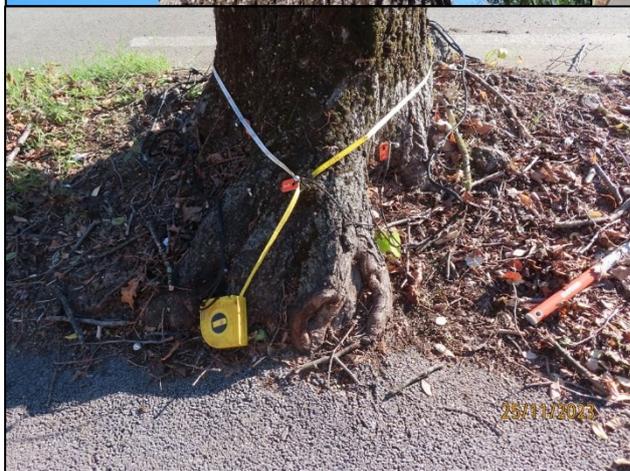
Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 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, che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 3 e 6, 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 21% della sezione.



Albero 364 – *Tilia x vulgaris* Hayne

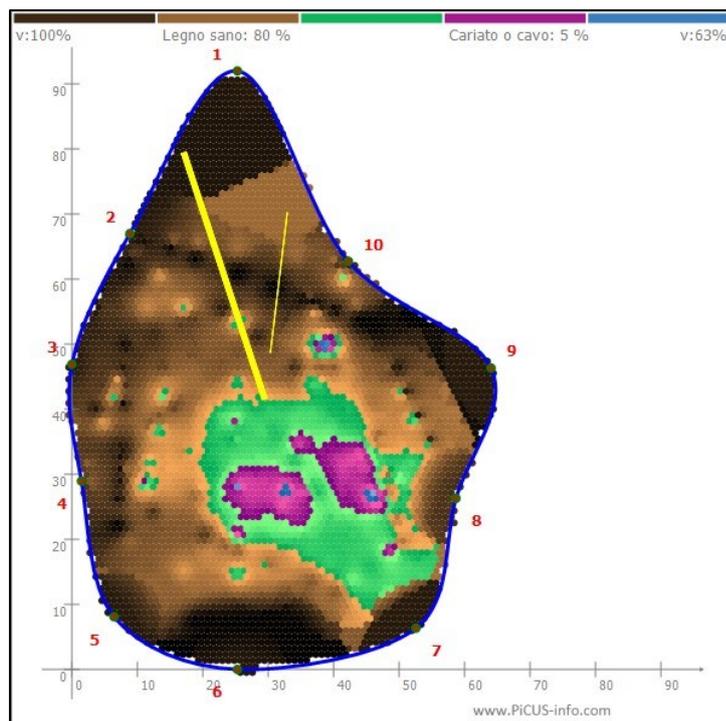
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra una piccola area centrale con bassa velocità di diffusione del suono (colore blu e fucsia) circonscritta da aree a capacità di trasmissione sonora alterata (in verde) più o meno estese in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. 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. Il difetto appare esteso per il 5% della sezione.



Albero 367 – *Tilia x vulgaris* Hayne

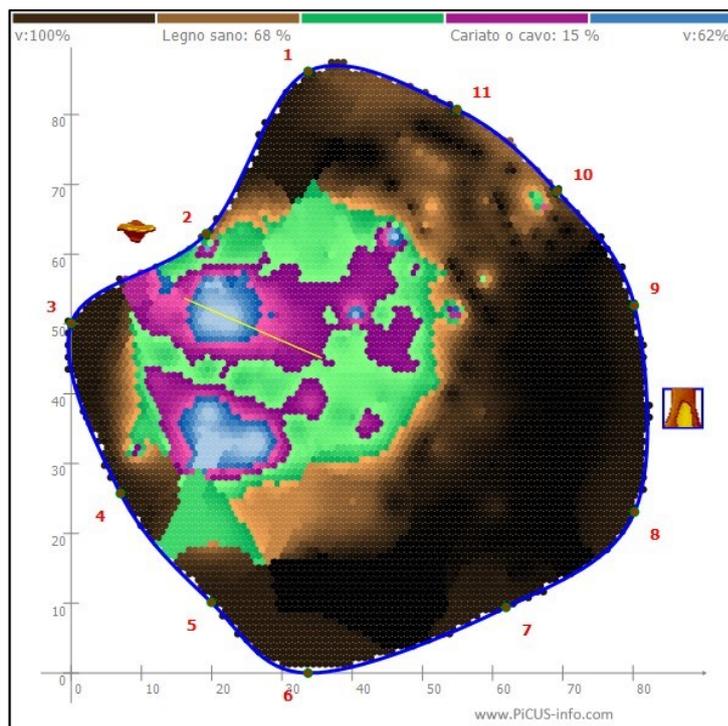
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm (a destra) mostra una porzione decentrata con bassa velocità 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 avanzato, che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 2 e 3, circoscritta da ristrette aree a velocità sonica 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 si presume esteso per il 15% della sezione.



Albero 370 – *Tilia x vulgaris* Hayne

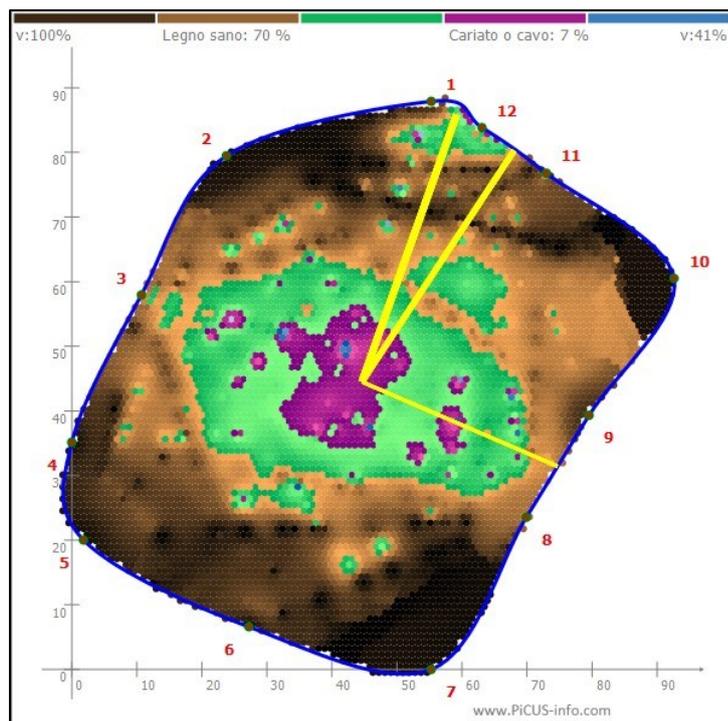
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra una piccola area centrale con bassa capacità di conduzione del suono (colore blu e fucsia) circonscritta da aree a capacità di trasmissione sonora alterata (in verde) più o meno estese in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. Il resto della sezione è caratterizzato da elevata velocità di diffusione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano dotato di elevata capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di tipo flessionale. Le linee in giallo evidenziano discontinuità nella trasmissione del suono all'interno della sezione e possono essere ricondotte a fessurazioni interne o inclusioni di corteccia. Il difetto appare esteso per il 7% della sezione.



Albero 433 – *Tilia x vulgaris* Hayne

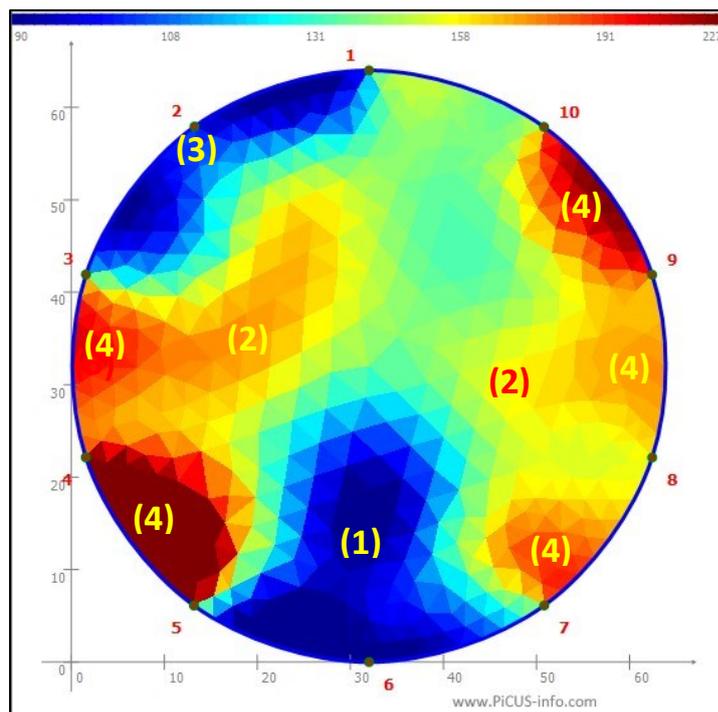
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – fusto

Referto tomografia elettrica

La tomografia elettrica eseguita ad un'altezza di 240 cm mostra in corrispondenza del difetto rilevato al castello un lembo conducibile, coerente con processi di carie attiva e apparentemente ben compartimentati da tessuti resistivi (2). Le aree periferiche più conducibili sono da attribuirsi ai tessuti con prevalente funzione di trasporto della linfa (3), mentre quelli resistivi a funzioni strutturali (4).



Albero 434 – *Tilia x vulgaris* Hayne

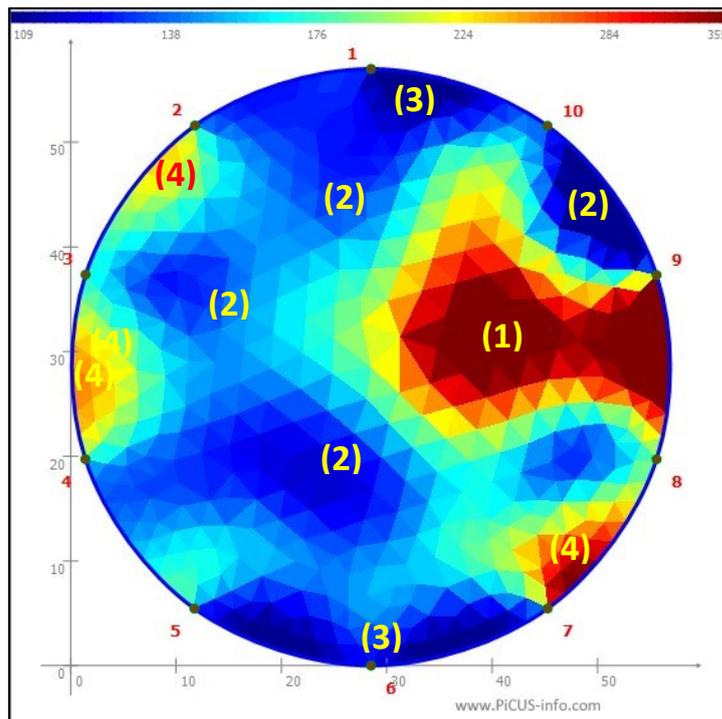
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – fusto

Referto tomografia elettrica

La tomografia elettrica eseguita ad un'altezza di 240 cm mostra in corrispondenza del difetto rilevato al castello un lembo resistivo (1), coerente con la cavità interna, circoscritto da tessuti conducibili nella porzione centrale che possono essere attribuiti a processi di carie attiva (2). Le aree periferiche più conducibili sono da attribuirsi ai tessuti con prevalente funzione di trasporto della linfa (3), mentre quelli resistivi a funzioni strutturali (4).



Albero 442 – *Tilia x vulgaris* Hayne

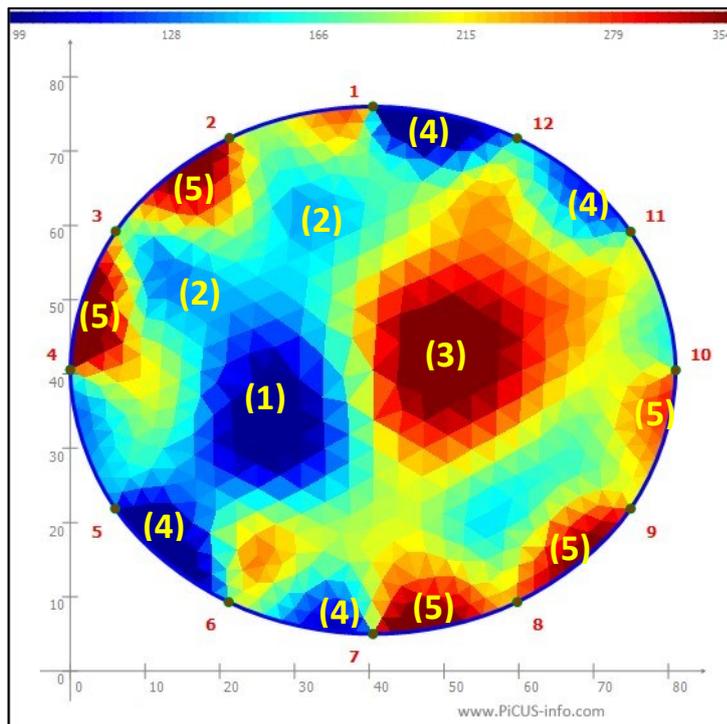
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – fusto

Referto tomografia elettrica

La tomografia elettrica eseguita ad un'altezza di 40 cm mostra la porzione centrale suddivisa in un lembo conduttibile (1) coerente con processi di carie attiva in risalita dall'apparato radicale che si stanno diffondendo verso la porzione periferica (2), e uno resistivo (3), compatibile con legno ancora integro. Le porzioni periferiche che manifestano maggiore conducibilità sono coerenti con quelle deputate principalmente al trasporto della linfa (3), mentre quelle più resistive (4) ai tessuti con modifiche nella composizione e nella struttura delle pareti cellulari caratteristica del legno con funzione strutturale



Albero 446 – *Tilia x vulgaris* Hayne

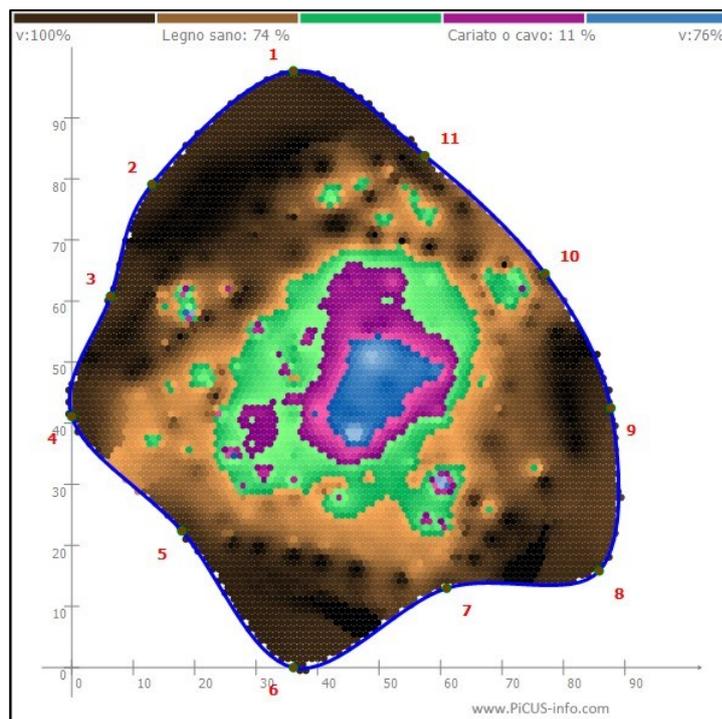
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 5 cm mostra 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, circoscritta da aree con velocità del suono alterate (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla 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 l'11% della sezione.



Albero 449 – *Tilia x vulgaris* Hayne

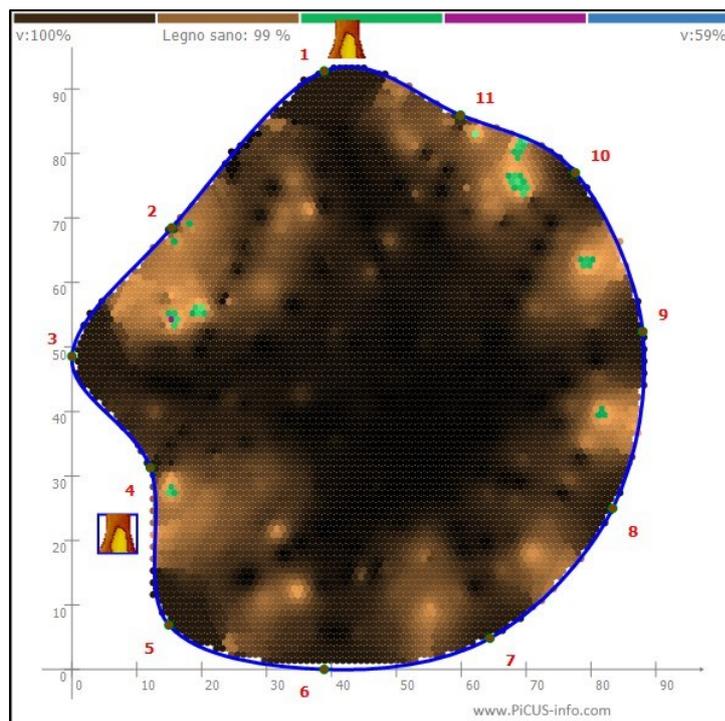
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 5 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.



Albero 450 – *Tilia x vulgaris* Hayne

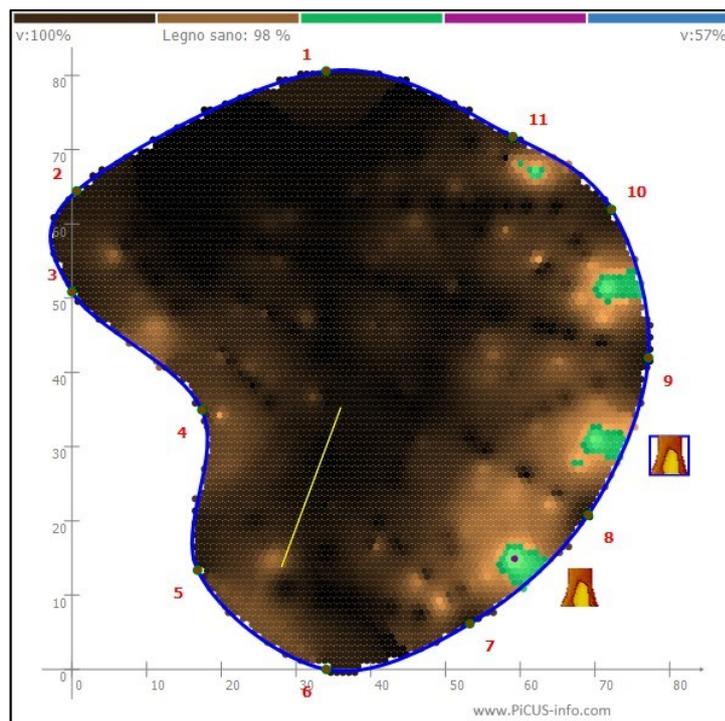
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 5 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



Albero 451 – *Tilia x vulgaris* Hayne

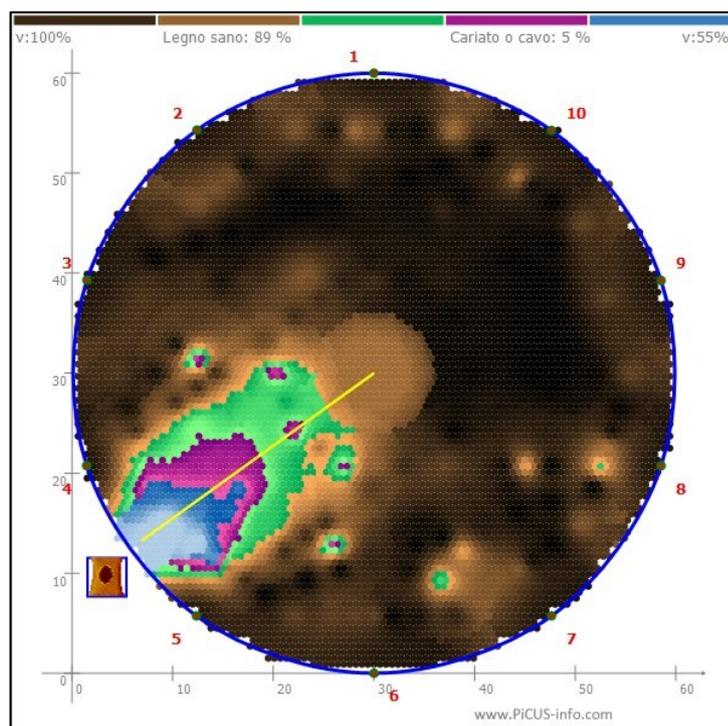
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – fusto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 250 cm mostra l'area periferica tra i sensori 4 e 5 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, circoscritto da ristrette aree a velocità di diffusione sonora alterata coerente con una buona capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. 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 5% della sezione



Albero 452 – *Tilia x vulgaris* Hayne

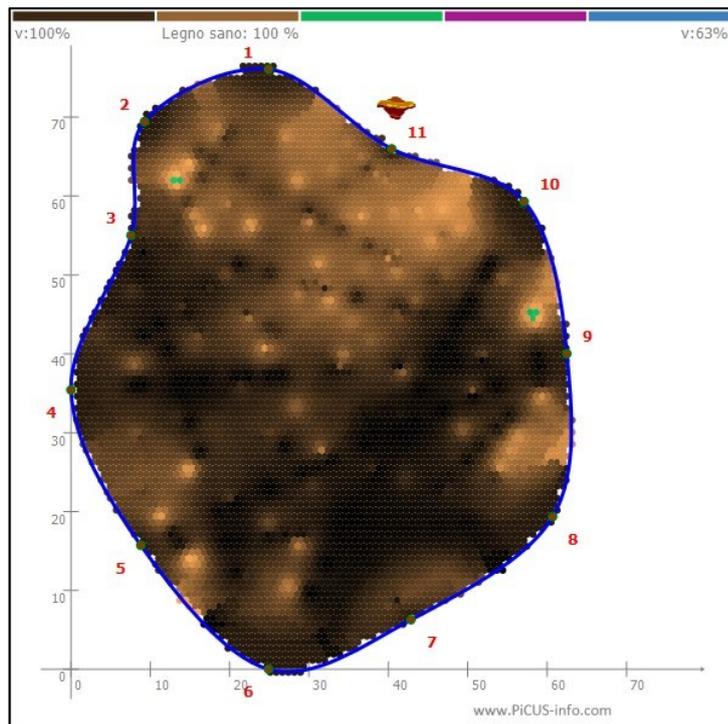
Documentazione fotografica



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



Albero 457 – *Tilia x vulgaris* Hayne

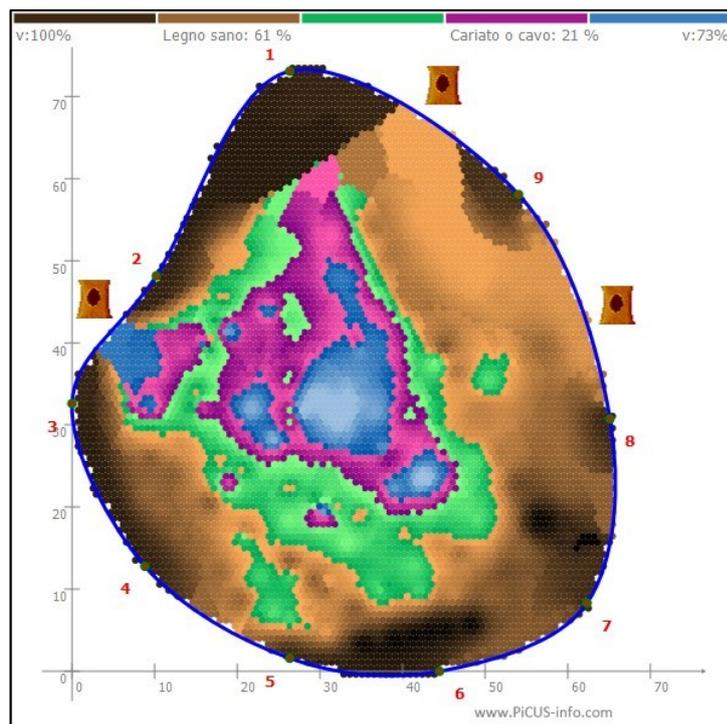
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 5 cm mostra un'area centrale con bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in stadio avanzato, che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 2 e 3, circoscritta da aree a velocità sonora 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 buona capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto appare esteso per il 21% della sezione



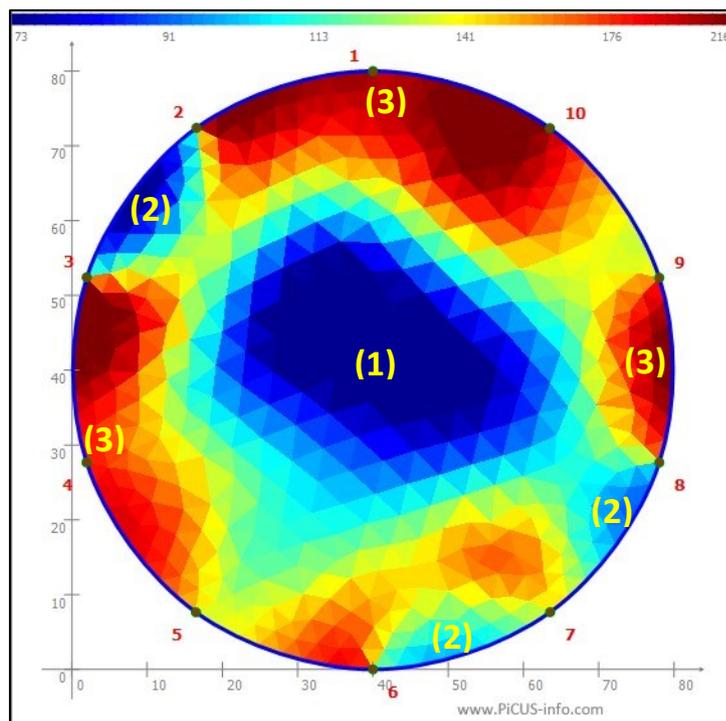
Albero 474 – *Tilia x vulgaris* Hayne

Documentazione fotografica



Referto tomografia elettrica

Il tomogramma elettrico, eseguito ad un'altezza di 30 cm, mostra un'ampia area centrale conduttrice (1) attribuibile a processi di carie incipiente o in risalita dall'apparato radicale centrale. Le porzioni periferiche più conduttrici (2) sono deputate principalmente al trasporto della linfa, mentre quelle più resistive (3) sono deputate ad una primaria funzione di sostegno strutturale.



Albero 483 – *Tilia x vulgaris* Hayne

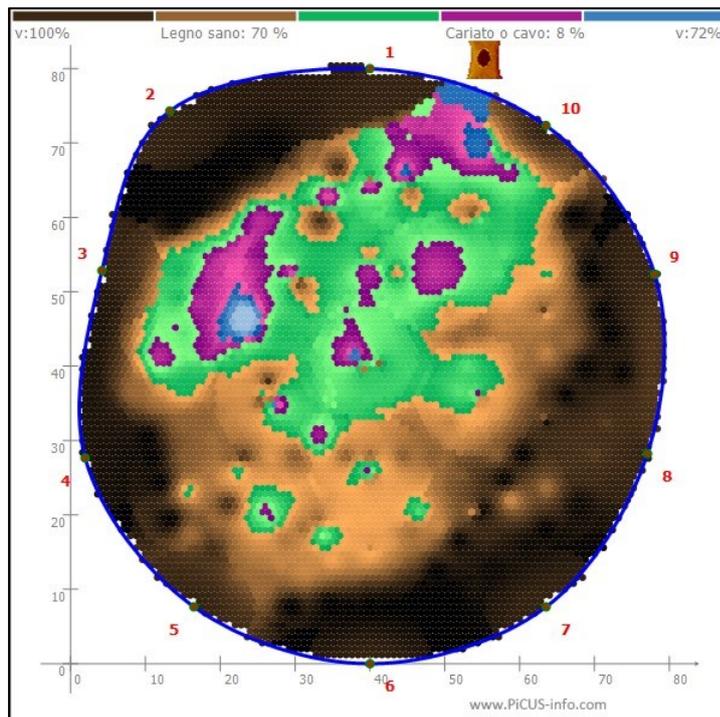
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 10 cm mostra la porzione centrale caratterizzata da una matrice non omogenea con velocità di diffusione del suono da basse ad alterate, coerenti con processi di carie in stadio iniziale, connesse all'apertura tra i sensori 10 e 1. Il resto della sezione manifesta elevata velocità di conduzione dell'onda sonora, coerente con legno sano con alta capacità di resistenza meccanica per sollecitazioni di flessione. Il difetto appare esteso per l'8% della sezione.



Albero 528 – *Tilia x vulgaris* Hayne

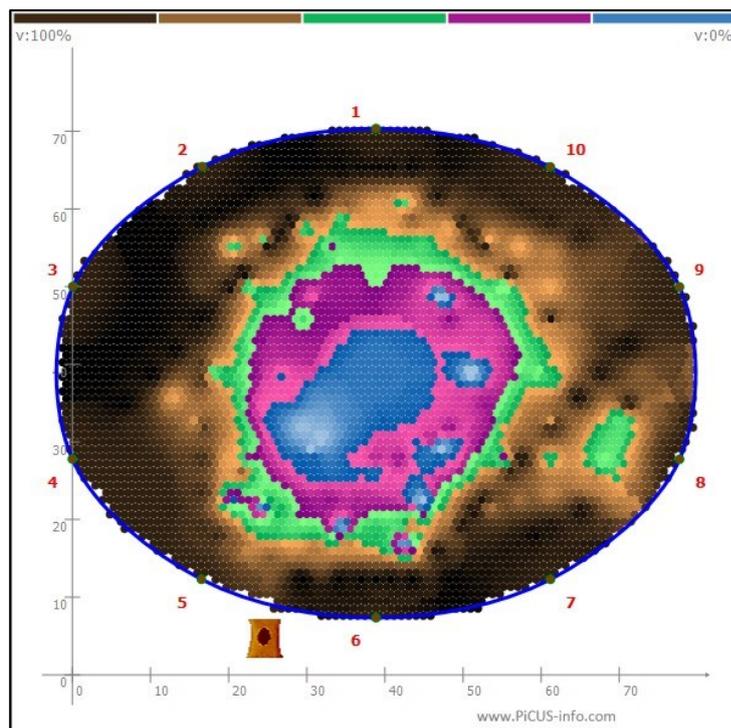
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – fusto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 230 cm evidenzia un'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 24% della sezione



Albero 529 – *Tilia x vulgaris* Hayne

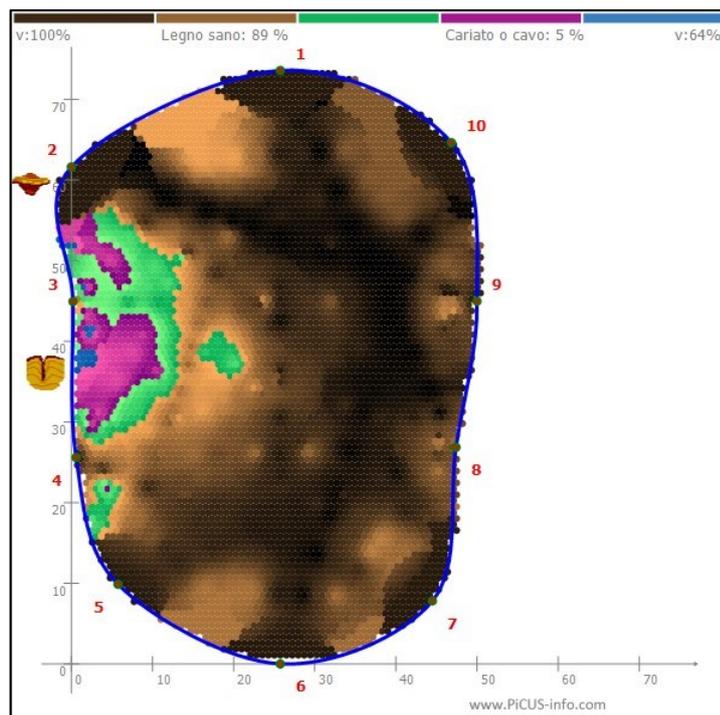
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra l'area periferica tra i sensori 2 e 5 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, circoscritta da aree a velocità sonora alterata più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. 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 5% della sezione



Albero 541 – *Tilia x vulgaris* Hayne

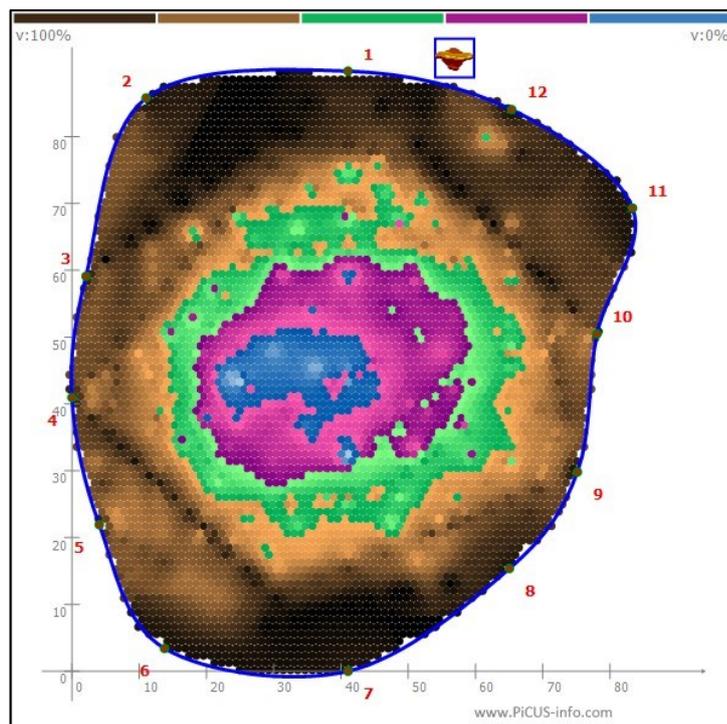
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 30 cm mostra un'area 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, circoscritta da aree con velocità del suono alterate (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla 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 21% della sezione.



Albero 542 – *Tilia x vulgaris* Hayne

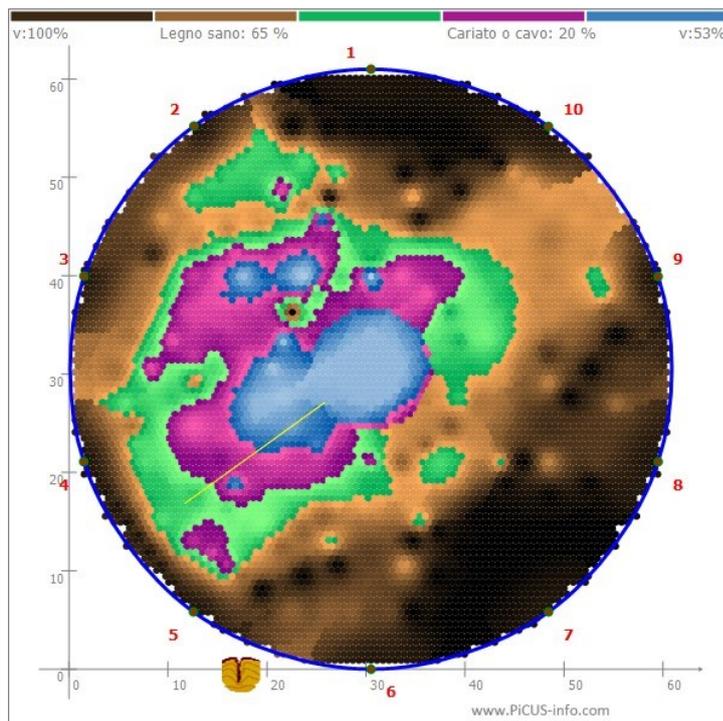
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – tronco

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 140 cm mostra un'area centrale con bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in stadio avanzato, che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 3 e 5, circonscritta 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 buona capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto appare esteso per il 20% della sezione



Albero 550 – *Tilia x vulgaris* Hayne

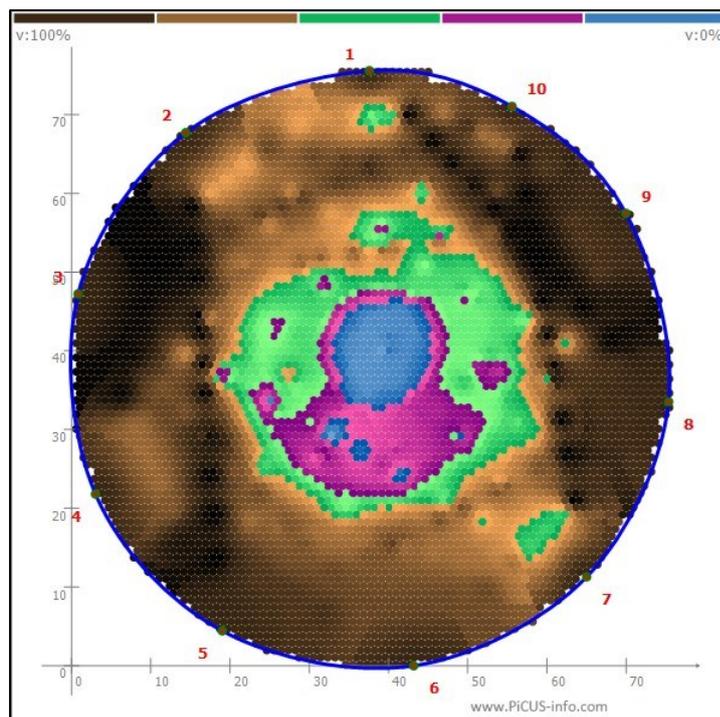
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – tronco

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 50 cm mostra 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, circoscritta da aree con velocità del suono alterate (in verde) più o meno sviluppate in relazione alla 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 11% della sezione.



Albero 561 – *Tilia x vulgaris* Hayne

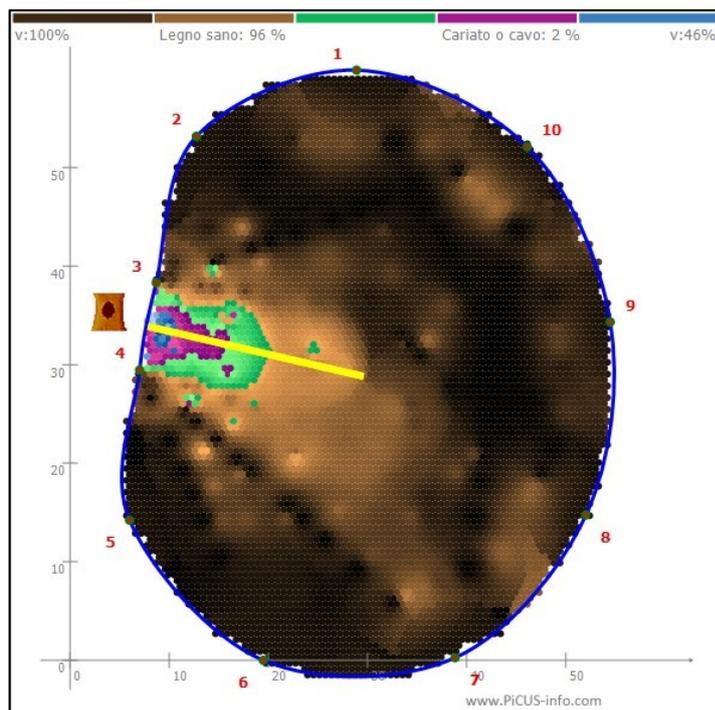
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – tronco

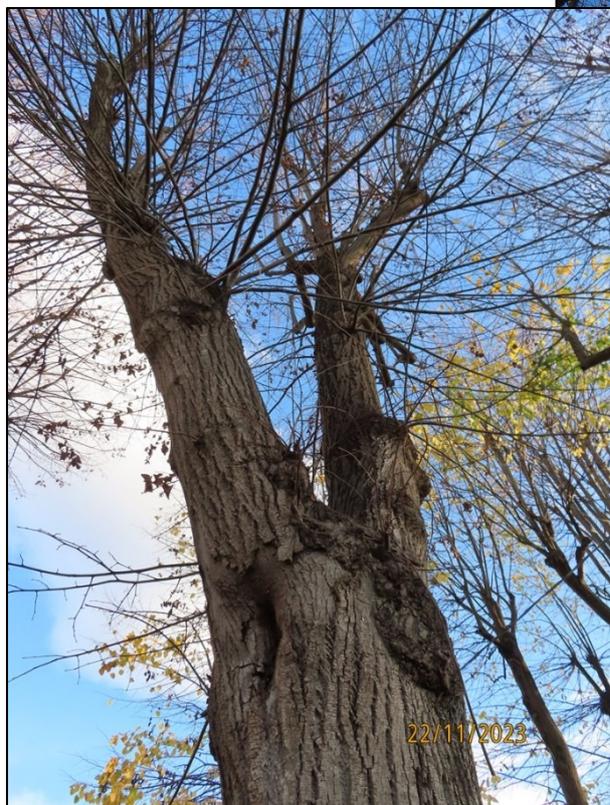
Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 80 cm mostra una ristretta area periferica in corrispondenza di un pregresso danno tra i sensori 3 e 4 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 iniziale, circoscritta da aree a velocità sonica alterata più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. 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 2% della sezione



Albero 563 – *Tilia x vulgaris* Hayne

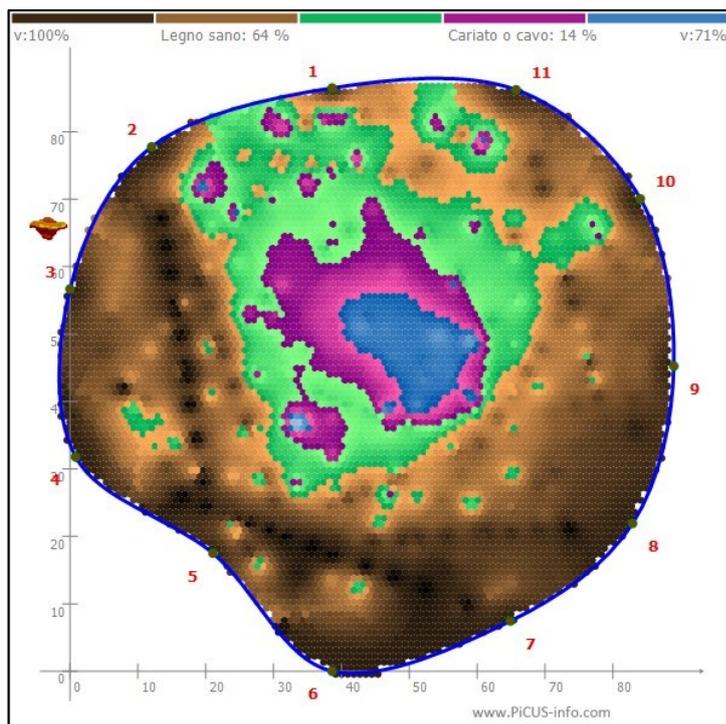
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

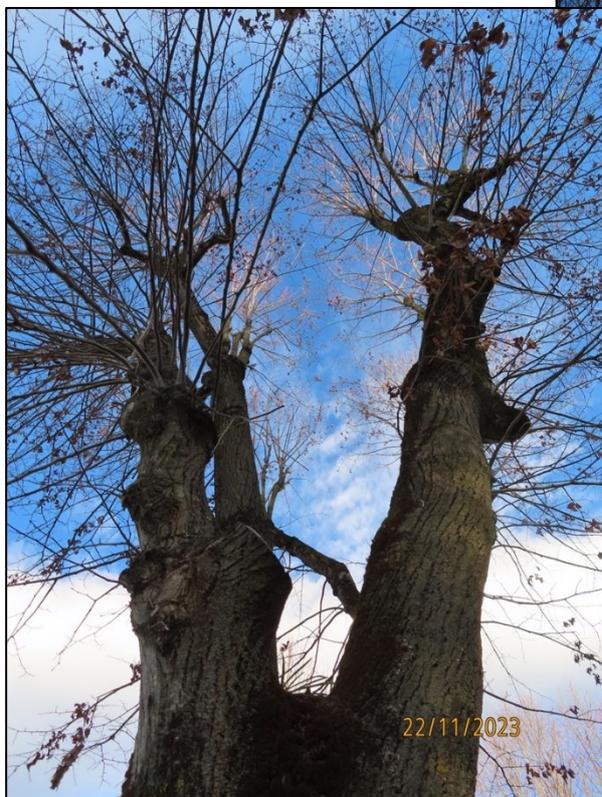
Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra un'area centrale con bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in apparente stadio intermedio, in un'ampia matrice caratterizzata da velocità sonora alterata che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 11 e 2. Il resto della sezione manifesta elevata capacità di trasmissione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano dotato di buona capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto si presume esteso per il 14% della sezione



Albero 567 – *Tilia x vulgaris* Hayne

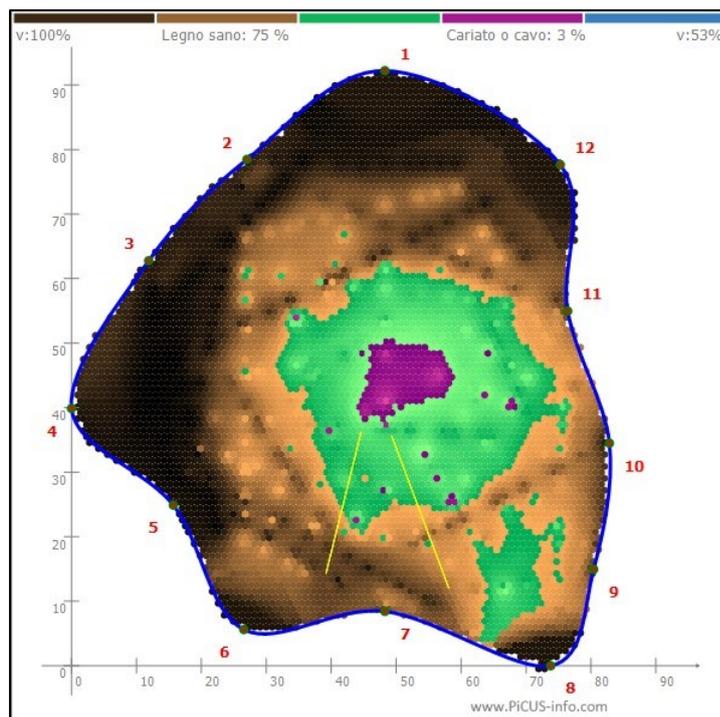
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra una piccola area centrale con bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in apparente stadio incipiente, circonscritta da ampie aree a velocità del suono alterata coerenti con una scarsa 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 buona capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto appare esteso per il 3% della sezione



Albero 571 – *Tilia x vulgaris* Hayne

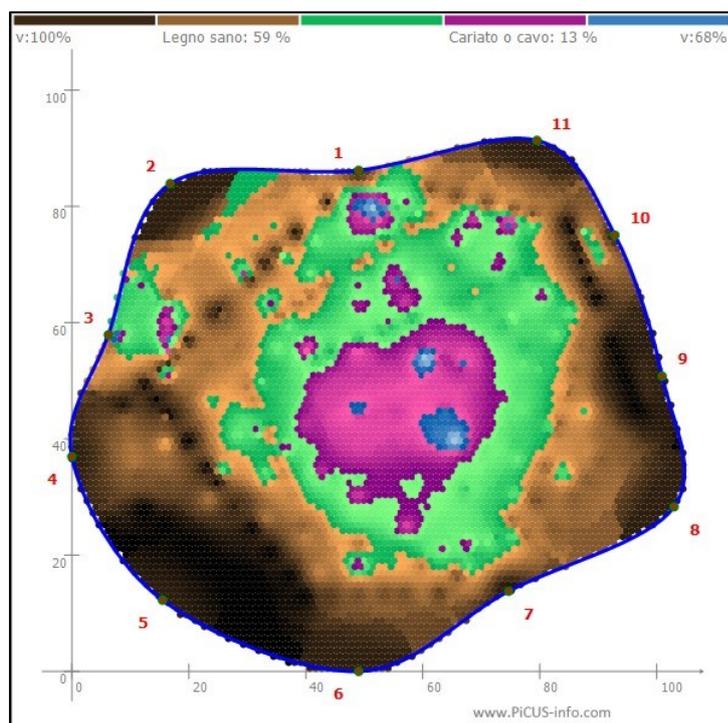
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 20 cm mostra un'area centrale con bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in apparente stadio intermedio, in un'ampia matrice caratterizzata da velocità sonica alterata che raggiunge la porzione periferica in prossimità dei sensori 1, 3 e 7. Il resto della sezione manifesta elevata capacità di trasmissione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano dotato di buona capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto si presume esteso per il 13% della sezione



Albero 572 – *Tilia x vulgaris* Hayne

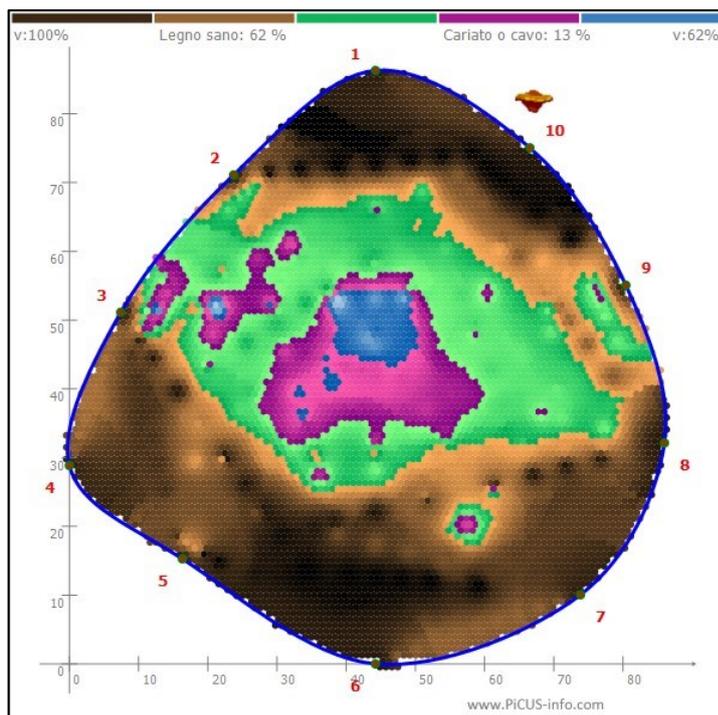
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 10 cm mostra un'area centrale con bassa capacità di conduzione dell'onda sonora (colore blu e fucsia), attribuibile a processi di carie in apparente stadio intermedio, in un'ampia matrice caratterizzata da velocità sonora alterata che raggiunge la porzione periferica tra i sensori 2-3 e 8-9. Il resto della sezione manifesta elevata capacità di trasmissione del suono (colore marrone), attribuibile a legno sano dotato di buona capacità di resistenza meccanica a sollecitazioni di flessione. Il difetto si presume esteso per il 13% della sezione



Albero 574 – *Tilia x vulgaris* Hayne

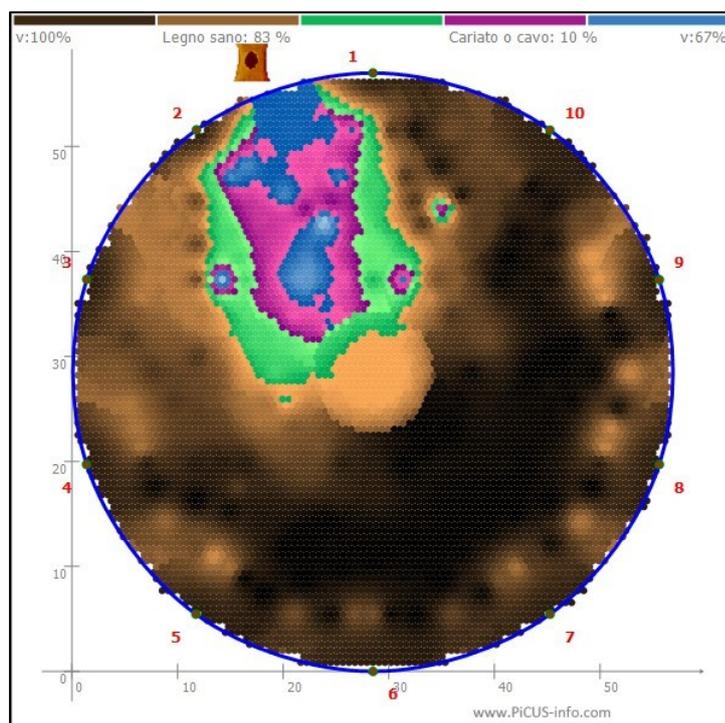
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – tronco

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 80 cm mostra un'area periferica in corrispondenza di un pregresso danno tra i sensori 3 e 4 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, circoscritta da aree a velocità sonora alterata più o meno sviluppate in relazione alla capacità di compartimentazione dell'infezione fungina. 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 10% della sezione



Albero 580 – *Tilia x vulgaris* Hayne

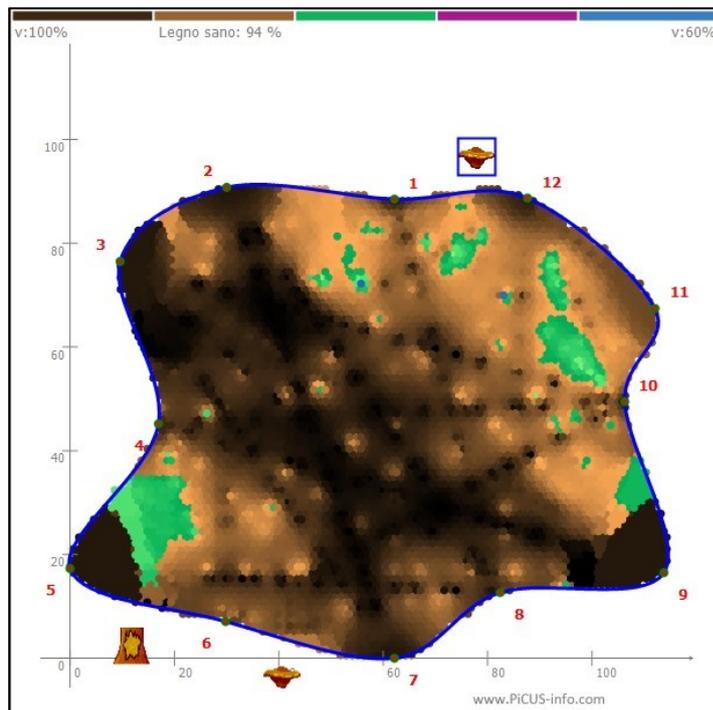
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 30 cm mostra diffuse aree periferiche in corrispondenza di difetti o carpofori caratterizzate da velocità di diffusione del suono alterata (colore verde), coerente con processi di carie in stadio incipiente. 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.



Albero 585 – *Tilia x vulgaris* Hayne

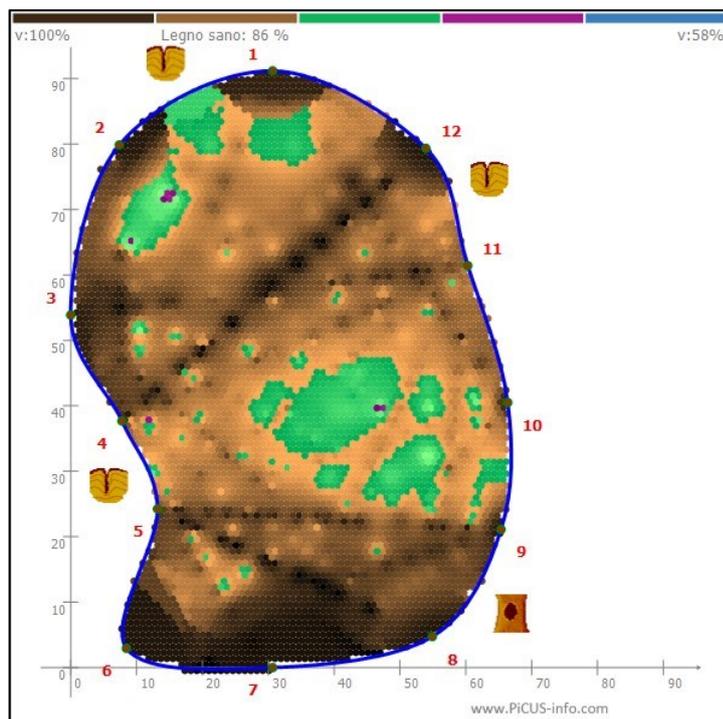
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 10 cm mostra una matrice poco omogenea con diffusi lembi caratterizzati da velocità di diffusione del suono alterata (colore verde), coerente con processi di carie in stadio incipiente o inclusioni di corteccia. 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



Albero 586 – *Tilia x vulgaris* Hayne

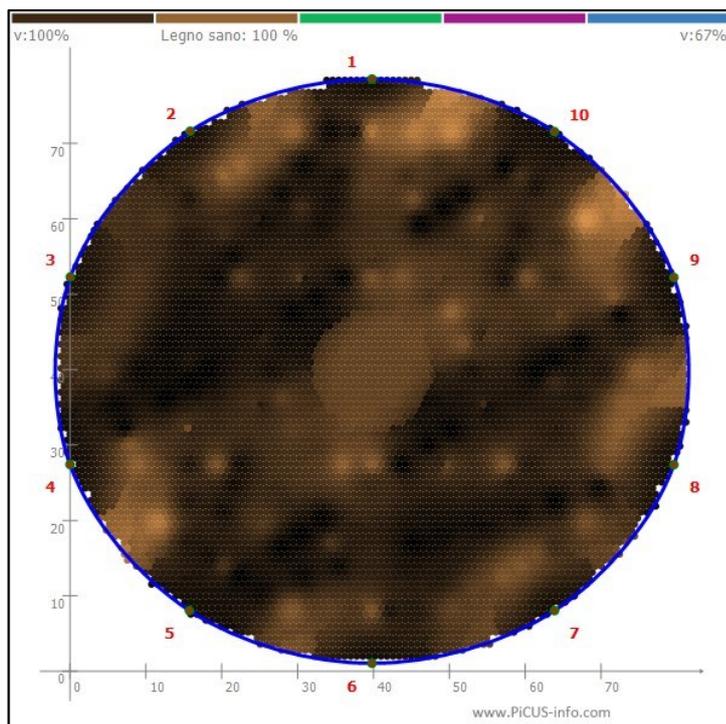
Documentazione fotografica



SEZIONE N. 1 – colletto

Referto tomografia sonora

La tomografia sonora eseguita ad un'altezza di 35 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



4. DIAGNOSI E CONCLUSIONI

Le indagini strumentali mediante tomografia sonica non hanno mai 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. Modesti appaiono i processi di carie a livello del colletto e del fusto, talvolta anche a livello del castello.

Significativa appare l'incidenza delle alterazioni nella modalità di distribuzione dell'impedenza 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 o di ripristino dell'asfalto della pista ciclabile.

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 'Emiliano Sanfilippo'. Overlaid on the signature is a circular professional stamp. The stamp contains the following text: 'DOTTORI AGRONOMI E DOTTORI FORESTALI' around the top edge, 'Dottore Forestale' in the center, 'EMILIANO SANFILIPPO' below that, and 'PISA' at the bottom. The number '117' is also visible within the stamp.

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 sonica* - 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.*