

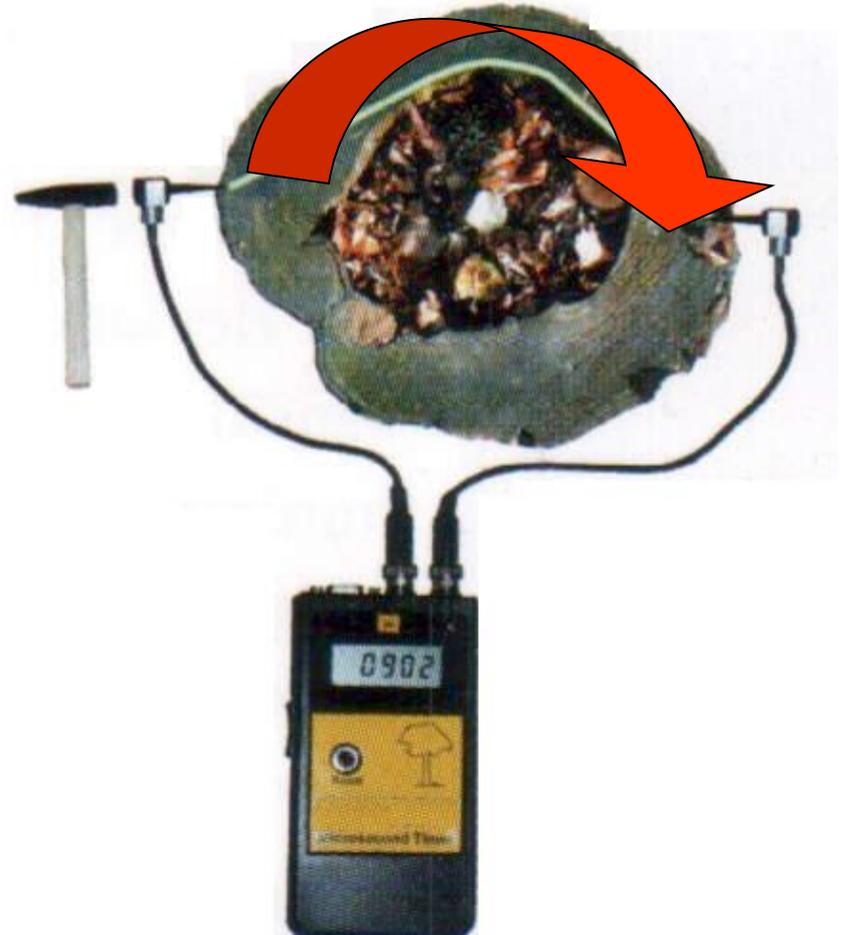
La propagazione delle onde sonore nel legno

Pier Antonio Bragato

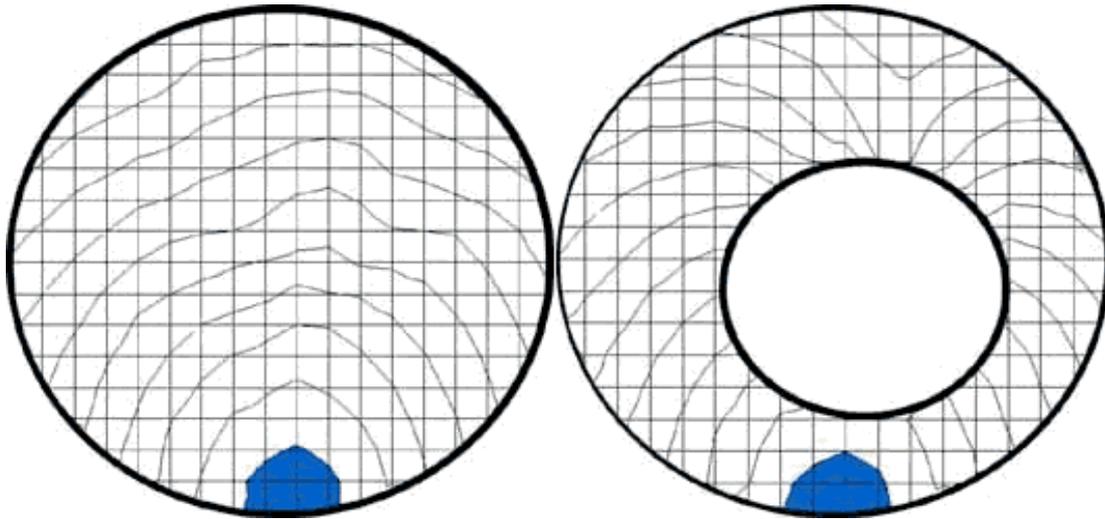
Micropoli – Cesano Boscone



Analisi dei difetti interni del legno



Propagazione dell'onda sonora



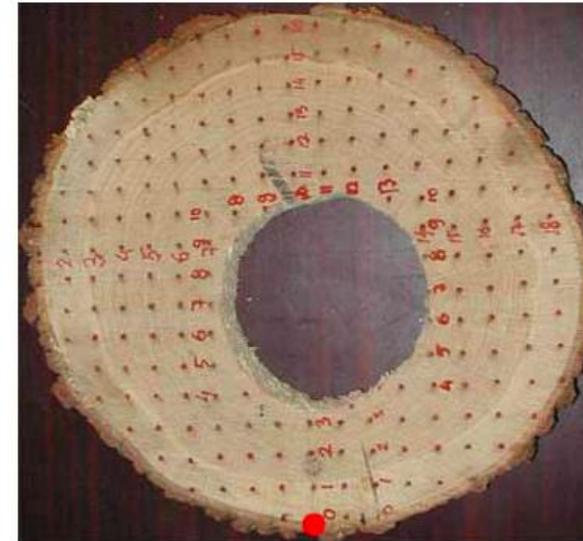
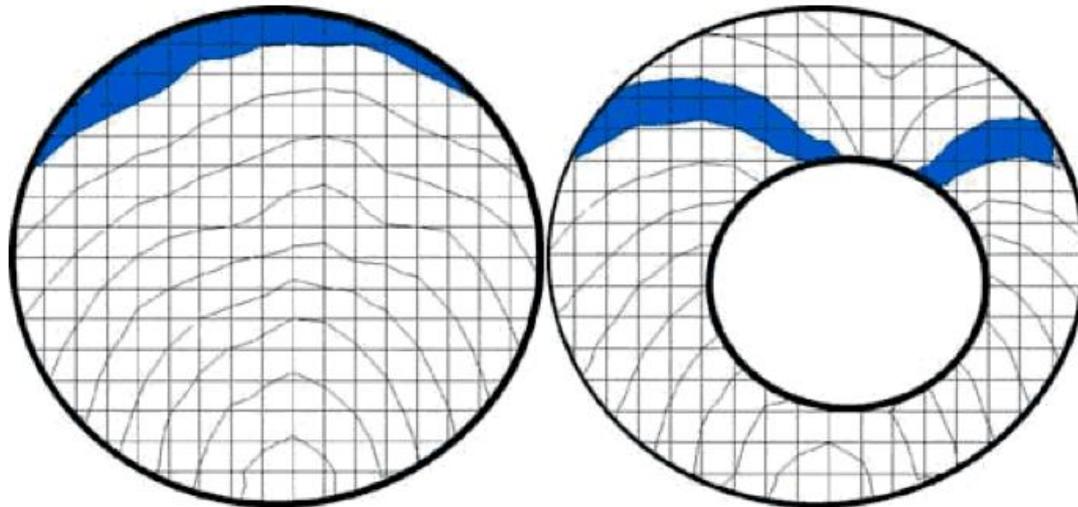
Specie: quercia

Griglia: 2cm x 2cm

Risoluzione: 20 microsecondi



Propagazione dell'onda sonora



Specie: quercia

Griglia: 2cm x 2cm

Risoluzione: 20 microsecondi

Valutazione quantitativa dei risultati

L'entità relativa di diminuzione della velocità di propagazione (RVC relative velocity change) può indicare la dimensione dell'alterazione. Se la velocità di propagazione diminuisce più del 10% rispetto alla velocità di riferimento nel legno sano c'è la presenza di un'alterazione interna.

$$RVC = \frac{V_{reference} - V_{measured}}{V_{reference}} * 100$$

Il Martello ad impulsi è anche in grado di rilevare punti di discontinuità in indagini ipogee su cordoni radicali, operando in senso longitudinale alle fibre.

Con il Martello ad impulsi non si riesce tuttavia a misurare il danno interno o lo spessore della porzione sana residua del tronco, che è determinante per la stabilità. Quindi se si riscontrano dei difetti nel legno, dopo l'indagine con il martello, si rende necessario localizzare e quantificare l'entità dei danni rilevati con l'analisi r

AFFERMAZIONE SUPERFICIALE, CON IL MARTELLO SI POSSONO EFFETTUARE ANALISI «QUALITATIVE» (SI / NO) E ANCHE «QUANTITATIVE», CIOÈ DIMENSIONARE IL LEGNO SANO E INDIVIDUARE LA SUA DISTRIBUZIONE ALL'INTERNO DELLA SEZIONE ESAMINATA. OCCORRONO PIÙ SONDAGGI E PIÙ TEMPO PER L'ELEBORAZIONE DEI RISULTATI



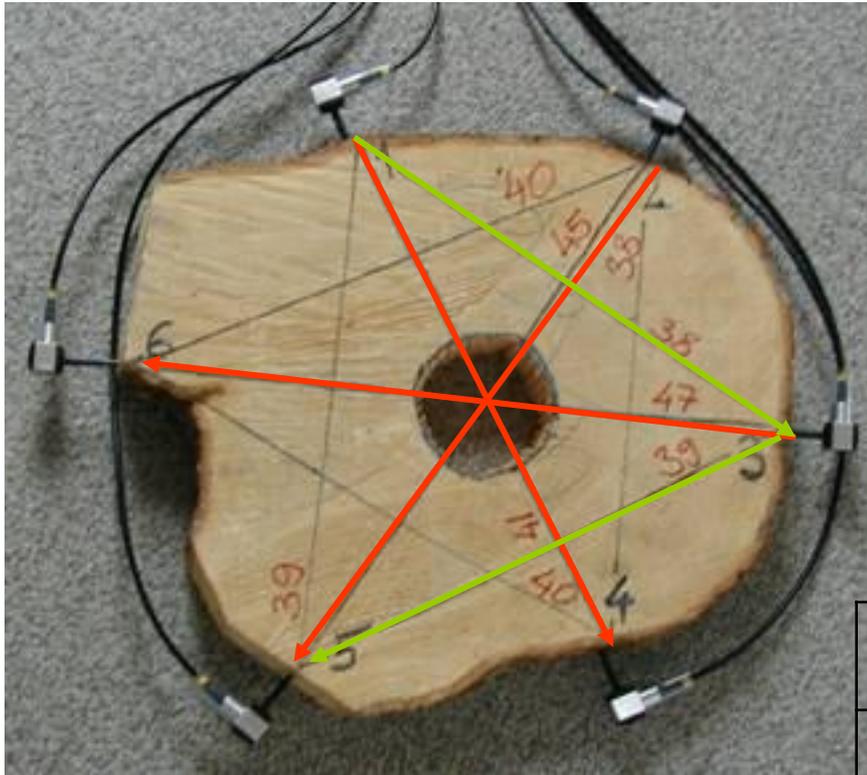
| Specie di albero | Velocità radiale m/s |
|------------------|----------------------|
| Betulla | 1140 |
| Picea spp. | 1310 |
| Abies alba | 1360 |
| Abies firma | 1450 |
| Pino Silvestre | 1470 |
| Pino nero | 1480 |
| Larice | 1490 |
| Quercia | 1620 |
| Faggio | 1670 |
| Tiglio | 1690 |
| Acero | 1690 |
| Robinia | 1850 |

Le velocità di propagazione delle onde sonore variano a seconda dell'albero. La tabella riporta i valori di riferimento di alcuni alberi



| Decremento della velocità relativa in % | Percentuale di superficie di legno alterato |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0 - 10 | 0 |
| 10 - 20 | 10 |
| 20 - 30 | 20 |
| 30 - 40 | 30 |
| 40 - 50 | 40 |
| 50 - | 50 + |

Tabella comparativa tra la "riduzione % velocità" e la percentuale di superficie del legno degradata



Sezione di Abete

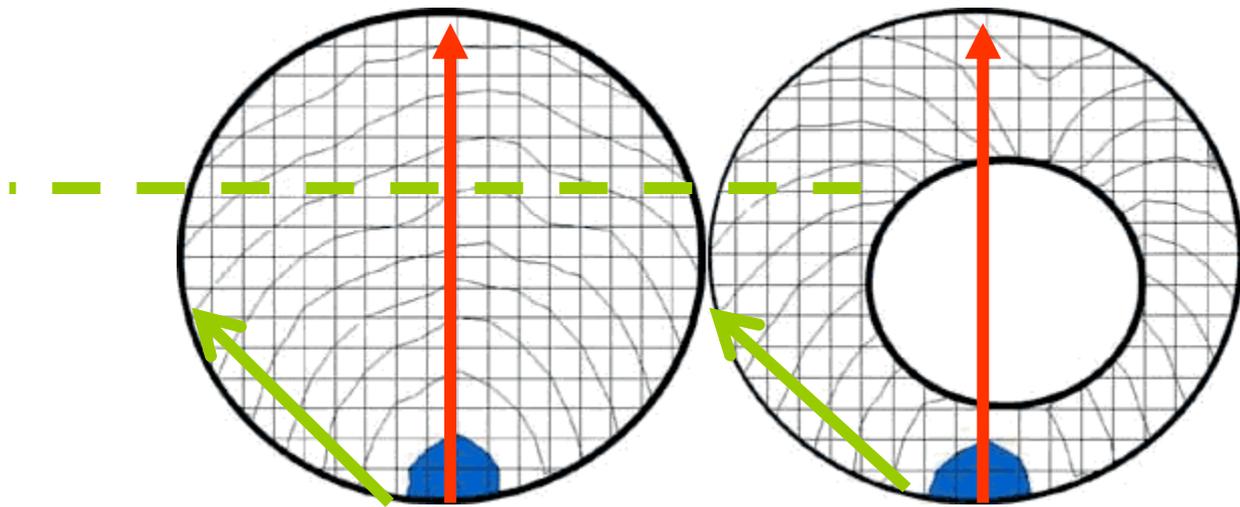
Diam 40 cm

Foro centrale

V radiale di riferimento = 1770 m/s

V tangenziale di riferimento = 1560 m/s

| Direzione | Relative velocity change [%] (V-V _{ref})/V _{ref} *100 | | |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| | Healthy wood | Hole diam. D=5cm | Hole diam. D=9cm |
| 1 - 4 | 1.6 | 11.2 | 19.2 |
| 1 - 3 | 2.4 | 4.8 | 5.0 |
| 1 - 5 | 0.9 | 1.2 | 2.7 |
| 2 - 5 | 2.1 | 9.6 | 18.5 |
| 2 - 6 | 1.4 | 2.4 | 3.0 |
| 2 - 4 | 0.5 | 4.7 | 4.6 |
| 3 - 5 | 0.2 | 2.2 | 2.2 |
| 3 - 6 | 0.4 | 10.3 | 16.9 |
| 4 - 6 | 1.7 | 3.1 | 4.8 |



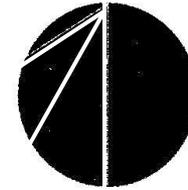
Calibrazione velocità di riferimento

la velocità di riferimento di propagazione dell'onda sonora può essere determinata fra due sensori contigui, lungo la tangente degli anelli di crescita.

In questa posizione è probabile che il legno alterato sia facilmente rilevabile a vista

Calibrazione velocità di riferimento

Ratio of the stress wave velocity measured in different anatomical orientations, relative to the near-tangential direction. Valid for the 6-point setup.



| Tree species | Angle between nails | 60 | 120 | 180 |
|---------------|---------------------|-----------------|--------------|--------|
| | orientation | near tangential | intermediate | radial |
| oak | | 1 | 1,09 | 1,21 |
| beech | | 1 | 1,05 | 1,1 |
| linden | | 1 | 1,19 | 1,31 |
| horse-chesnut | | 1 | 1,18 | 1,33 |
| spruce | | 1 | 1,07 | 1,17 |

Calibrazione velocità di riferimento

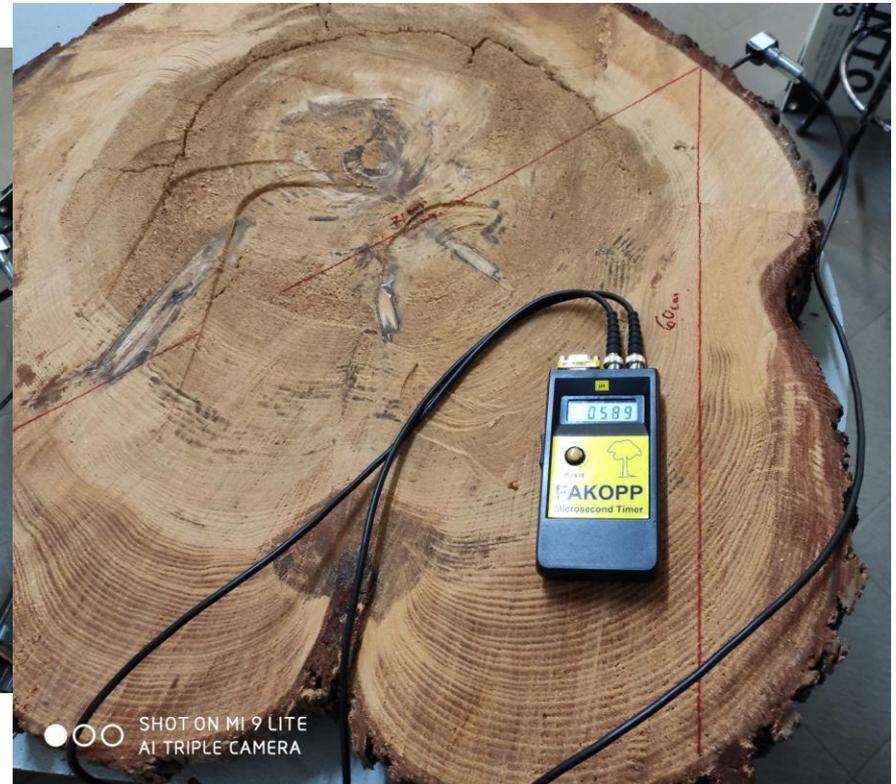


RADIALE

Distanza 71 cm

Tempo 882 μ s

Vel 804 m/sec



TANGENZIALE

Distanza 60 cm

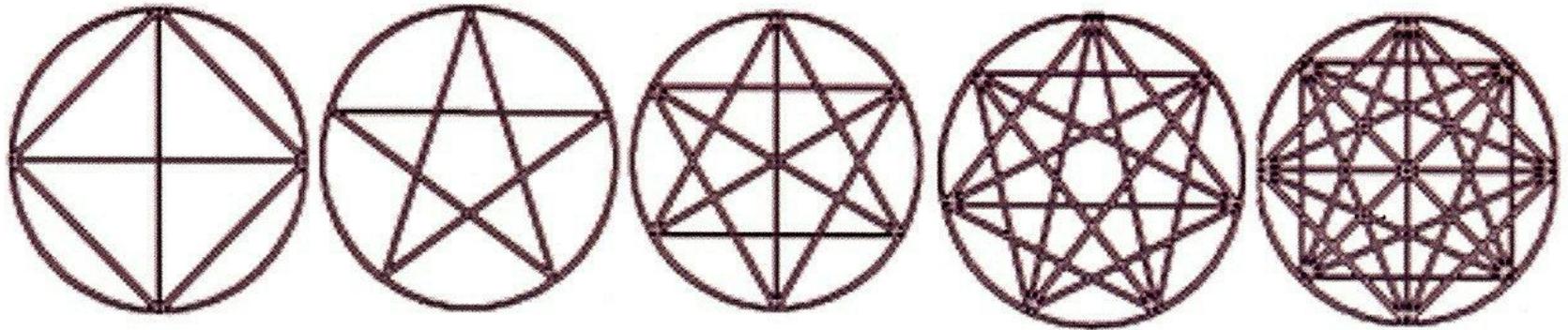
Tempo 589 μ s

Vel 1.018 m/sec

Calibrazione velocità di riferimento

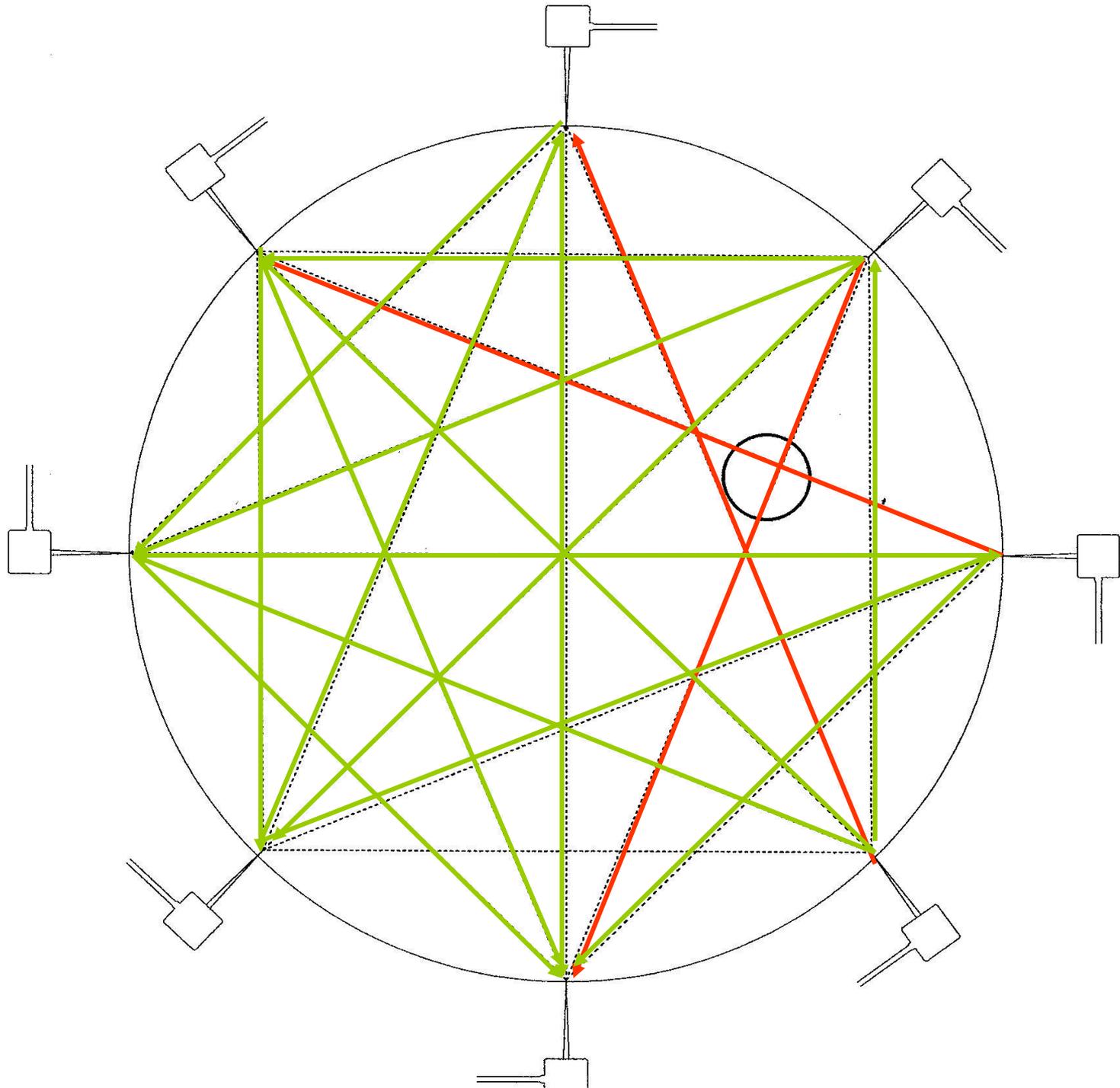


LA SEZIONE È STATA OTTENUTA APPENA SOPRA IL PUNTO DI FRATTURA DI UN PINO CADUTO IL GIORNO PRIMA DI QUANDO SONO STATE EFFETTUATE LE MISURAZIONI



| | | | | | |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|
| Numero dei sensori | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Numero delle misure | 6 | 5 | 9 | 14 | 20 |
| Numero delle velocità di rif. | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| Il difetto rilevabile minimo è del: | 8% | 6% | 3% | 4% | 1% |

** Tratto da "Assessment of Decay in Standing Timber Using Stress Wave Timing Nondestructive Evaluation Tools - A Guide for Use and Interpretation" - USDA United States Department of Agriculture - marzo 2004 - X. Wang, F. Divos, C. Pilon, B. K. Brashaw, R. J. Ross, R. F. Pellerin*



velocità di propagazione delle onde e densità del legno

Non c'è correlazione fra la velocità di propagazione delle onde in senso longitudinale e la densità del legno.

velocità di propagazione delle onde e lunghezza delle fibre

C'è correlazione fra la lunghezza delle fibre e la velocità di propagazione delle onde in senso longitudinale. Più le fibre sono lunghe e maggiore è il MoE ed il MoR

velocità di propagazione delle onde e angola di inserzione delle microfibrille

C'è correlazione fra l'angolo d'inserzione delle microfibrille di cellulosa e la velocità di propagazione delle onde in senso longitudinale. Minore è l'angolo di inserzione delle microfibrille rispetto al lume cellulare e maggiore è il MoE e la velocità di propagazione

angolo microfibrille e lunghezza fibre

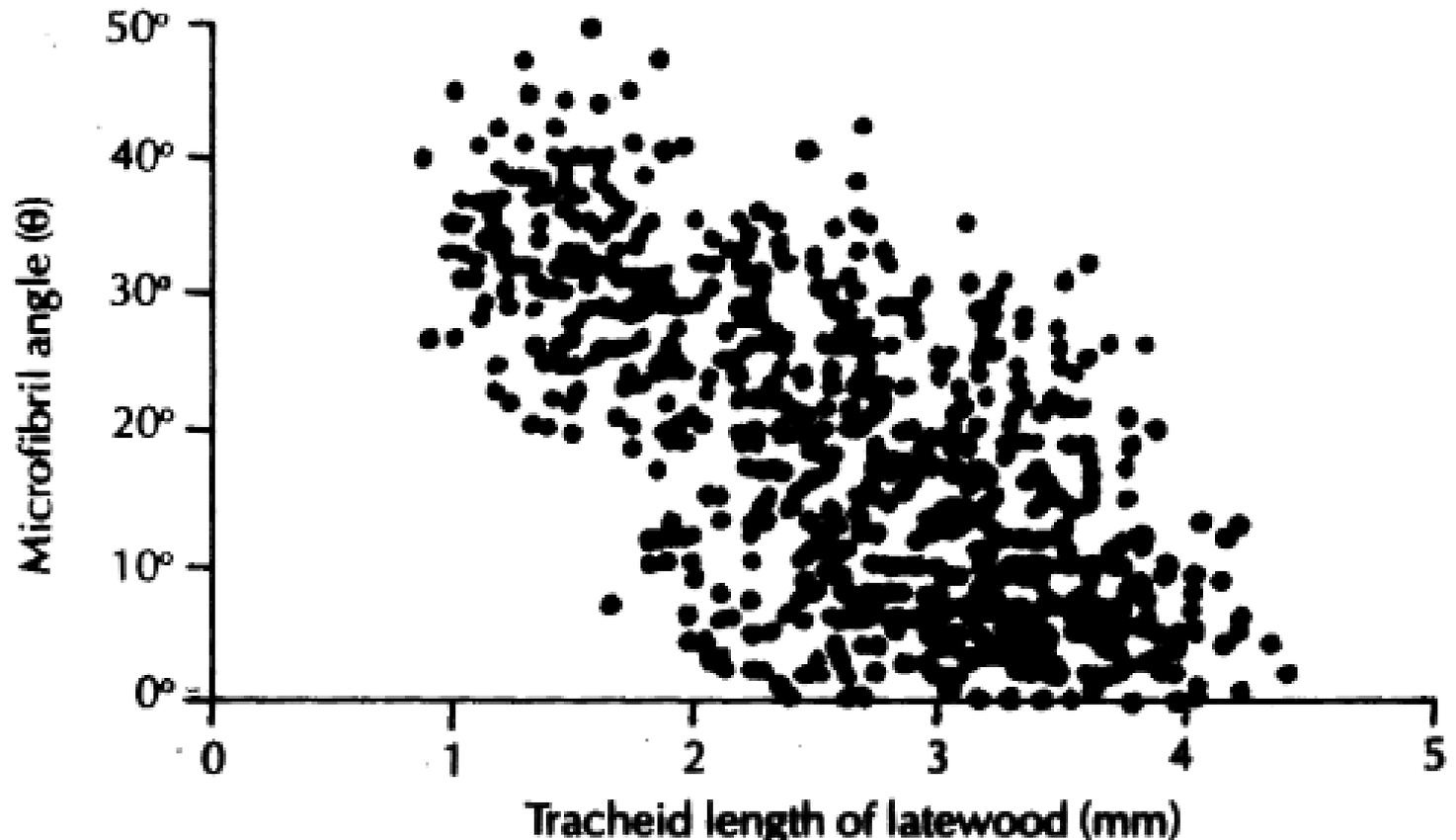


Fig. 20. Tracheid lengths and microfibril angles for macerated latewood tracheids of six clones using tissue from the 2nd, 6th, 16th and 20th growth rings (after Hirakawa, Fujisawa 1995)

angolo microfibrille e MoE

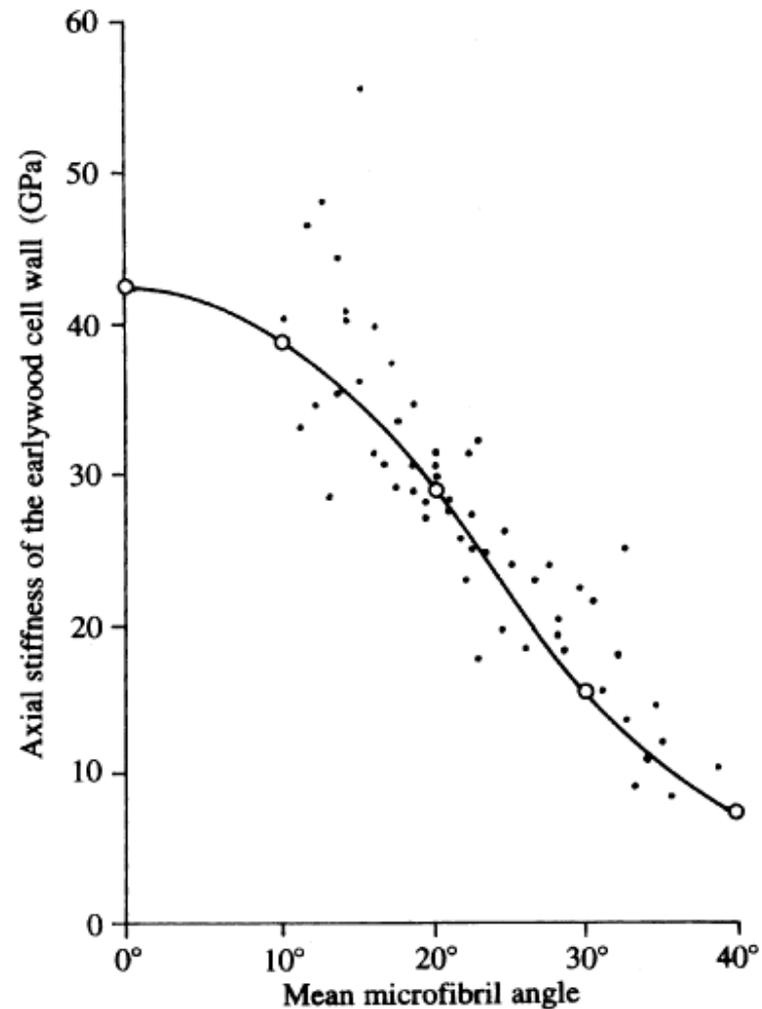


Fig. 4. The relationship between longitudinal Young's modulus and microfibril angle (experimental data) for *Pinus radiata* (according to Cave 1968)

Velocità propagazione onde e lunghezza fibre

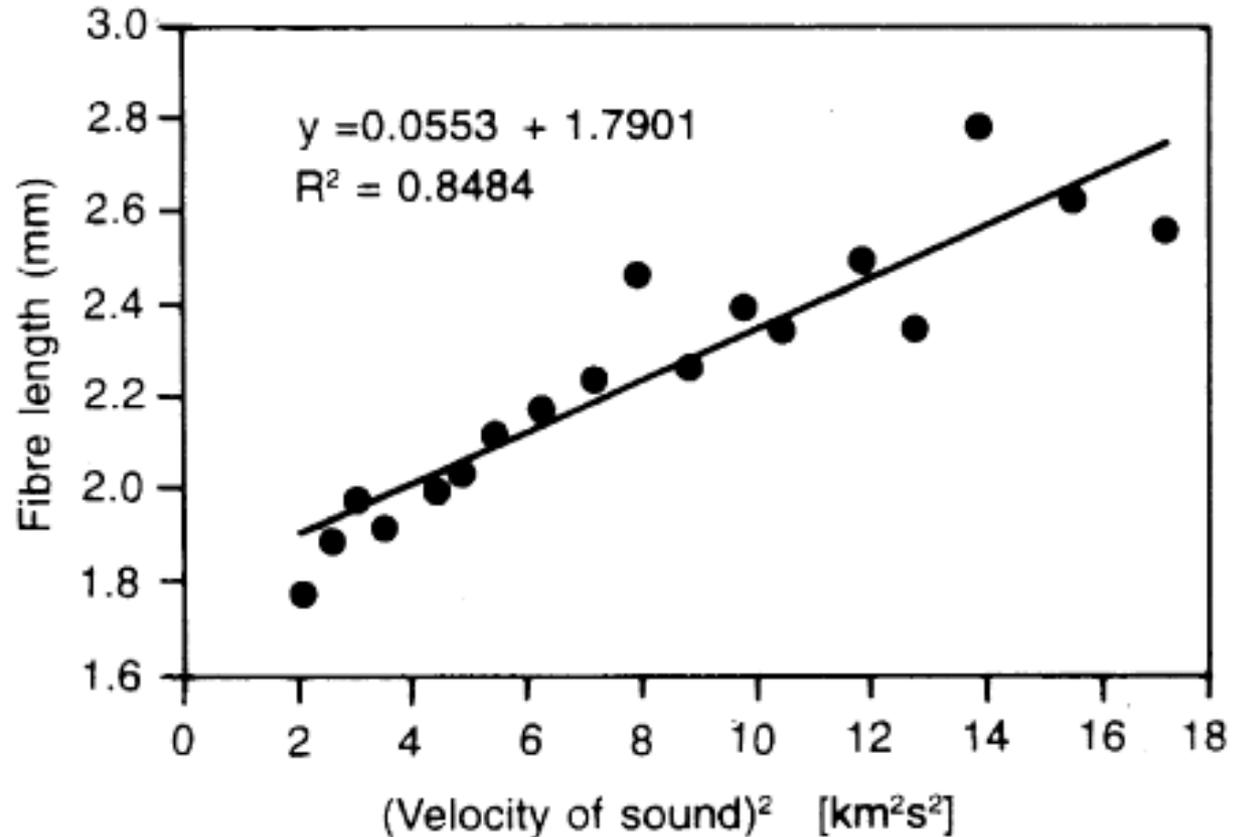


Fig. 21. Length-weighted average fiber length against the stress wave velocity in the logs (after NZ Patent 331527 1999)

Valutazione degli alberi



$$MoE = \rho V^2$$

Velocità più elevata =

MoE più elevato

Maggiore rigidità

Fibre più lunghe

Angoli microfibrille più bassi

- **Title:** System and method for measuring stiffness in standing trees
- **Patent:** United States Patent 6871545, granted 3/29/2005
- **Inventors:** Weyerhaeuser Co., Huang, Chih-Lin