



CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LEGNO

Brunetti Michele

Caratteristiche del legno

Origine biologica



- Variabilità
- Biodegradabilità

- Igroscopicità
- Anisotropia

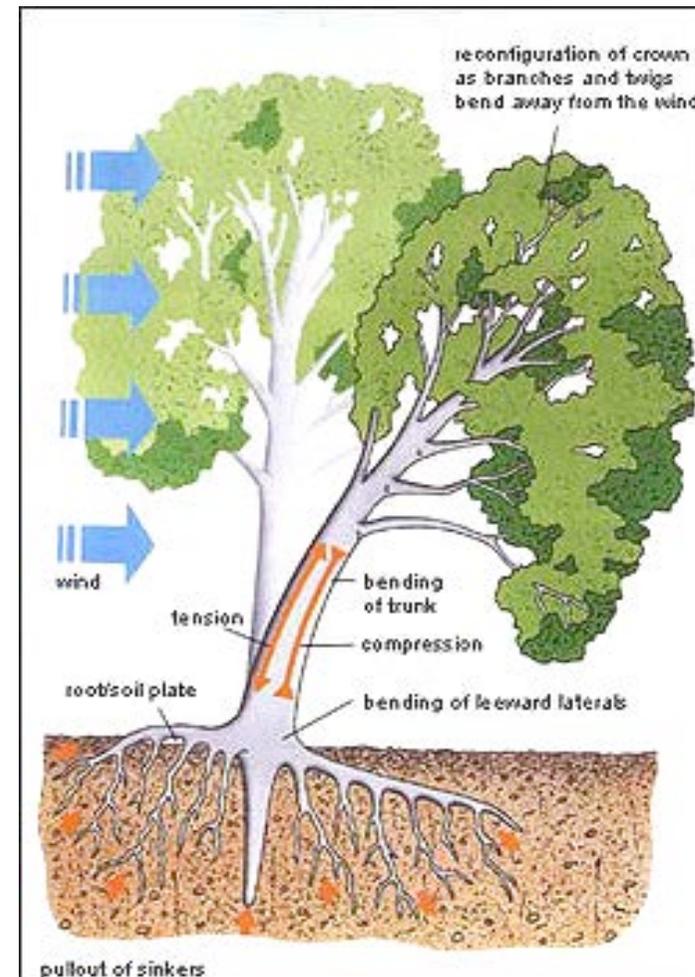


Il legno: materiale da costruzione ?

Il legno è un prodotto dell'attività di organismi viventi (alberi)

Gli alberi producono legno per rispondere a due esigenze fisiologiche: sostegno meccanico e conduzione d'acqua

Il legno è pre-teso e pre-compresso dalla natura



Materiale	Massa volumica (Kg/m ³)	Resistenza trazione (kg/cm ²)	Trazione/massa volumica
Acciaio	7.800	15.500	1,98
Alluminio	2.700	4.000	1,48
Calcestruzzo	1.900	200 (compr.)	0,11 (compr.)
Abete	500	1.000	2

Materiale	Massa volumica (g/cm ³)	Modulo E (MPa)	E/massa volumica (S.I.x10 ⁶)
Ferro e acciaio	7,8	207.000	2,65
Alluminio	2,7	72.000	2,67
Vetro comune	2,5	70.000	2,76
Legno di abete	0,5	13.000	2,57

Proprietà meccaniche

- Anisotropia
- Elevata correlazione con massa volumica
- Dipendenza dalla durata delle sollecitazioni

specie legnosa

- Forte variabilità

umidità

temperatura

difetti

Proprietà meccaniche

Table 11-1. Mechanical Properties (SI units)^a

Species (North American)	Tension		Compression		Static bending		Shear	Hardness (JIS)	Toughness	
		⊥		⊥	MOR	MOE			R	T
	N/mm ²								Nm	
Baldcypress	—	1.9	44	6.2	73	9,940	6.9	2.3	—	—
Douglas-fir	130	2.3	51	6.0	83	13,660	8.0	3.2	22.6	30.8
Fir, white	—	1.8	37	4.1	54	9,520	6.4	2.1	14.7	22.6
Hemlock, western	—	2.1	43	4.7	69	10,280	8.1	2.4	15.8	25.8
Larch, western	134	3.0	55	6.8	96	13,520	9.7	3.7	23.8	38.5
Pine, loblolly	—	3.2	49	6.8	88	12,420	9.4	3.1	18.1	29.5
Pine, ponderosa	—	2.8	36	5.1	63	8,690	8.0	2.0	16.9	21.5
Pine, white, eastern	78	2.1	33	3.5	59	8,560	6.2	1.7	12.4	13.6
Red cedar, western	—	1.5	43	4.2	53	7,730	5.9	1.6	10.2	14.7
Redwood, old growth	—	1.7	42	5.9	69	9,250	1.5	3.1	10.2	15.9
Spruce, Engelmann	85	2.4	51	2.8	64	8,900	8.3	1.7	12.5	20.4
Alder, red	—	2.9	40	3.0	68	9,500	7.4	2.6	—	—
Ask, white	—	6.5	51	8.0	106	12,000	13.4	5.9	—	—
Aspen, banking	—	1.8	29	2.6	58	8,100	5.9	1.6	—	—
Basswood, American	—	2.4	33	2.6	60	10,100	6.8	1.8	—	—
Beech, American	—	7.0	50	7.0	103	11,900	13.9	5.3	—	—
Birch, yellow	—	6.3	56	6.7	114	13,900	13.0	5.6	36.5	70.1
Cherry	—	3.9	49	5.9	85	10,280	11.7	4.2	—	—
Cottonwood, eastern	—	4.0	34	3.3	59	9,450	6.4	1.9	—	—
Elm, American	—	4.6	38	4.8	81	9,200	16.4	3.7	—	—
Hickory, mockernut	—	—	62	11.9	132	15,300	12.0	8.1*	70.3	74.8
Maple, sugar	—	—	54	12.5	109	12,630	16.1	6.4	41.8	40.7
Oak, northern red	—	3.5	47	8.6	99	12,560	12.3	5.7	53.1	49.1
Oak, white	—	5.5	51	9.1	105	12,280	13.8	6.0	38.4	35.0
Sweetgum	119	5.2	44	4.6	93	11,320	11.0	3.8	29.4	29.4
Sycamore, American	—	5.0	37	4.8	69	9,800	10.1	3.4	—	—
Walnut, black	—	4.8	52	7.0	101	11,600	9.4	4.3	—	—
Willow, black	109	—	28	3.0	54	7,000	8.6	—	23.8	26.1
Yellow poplar	155	3.7	38	3.9	70	10,900	8.2	2.4	24.9	23.8

^aData based on small, clear specimens in air-dry condition (ref. 75). Original data in 10⁶psi, except hardness (H) and toughness (ft. lb). Equivalent English units data in Table 11-1A. (Conversion equivalents are given at the end of this book).

*Pern Hickory.

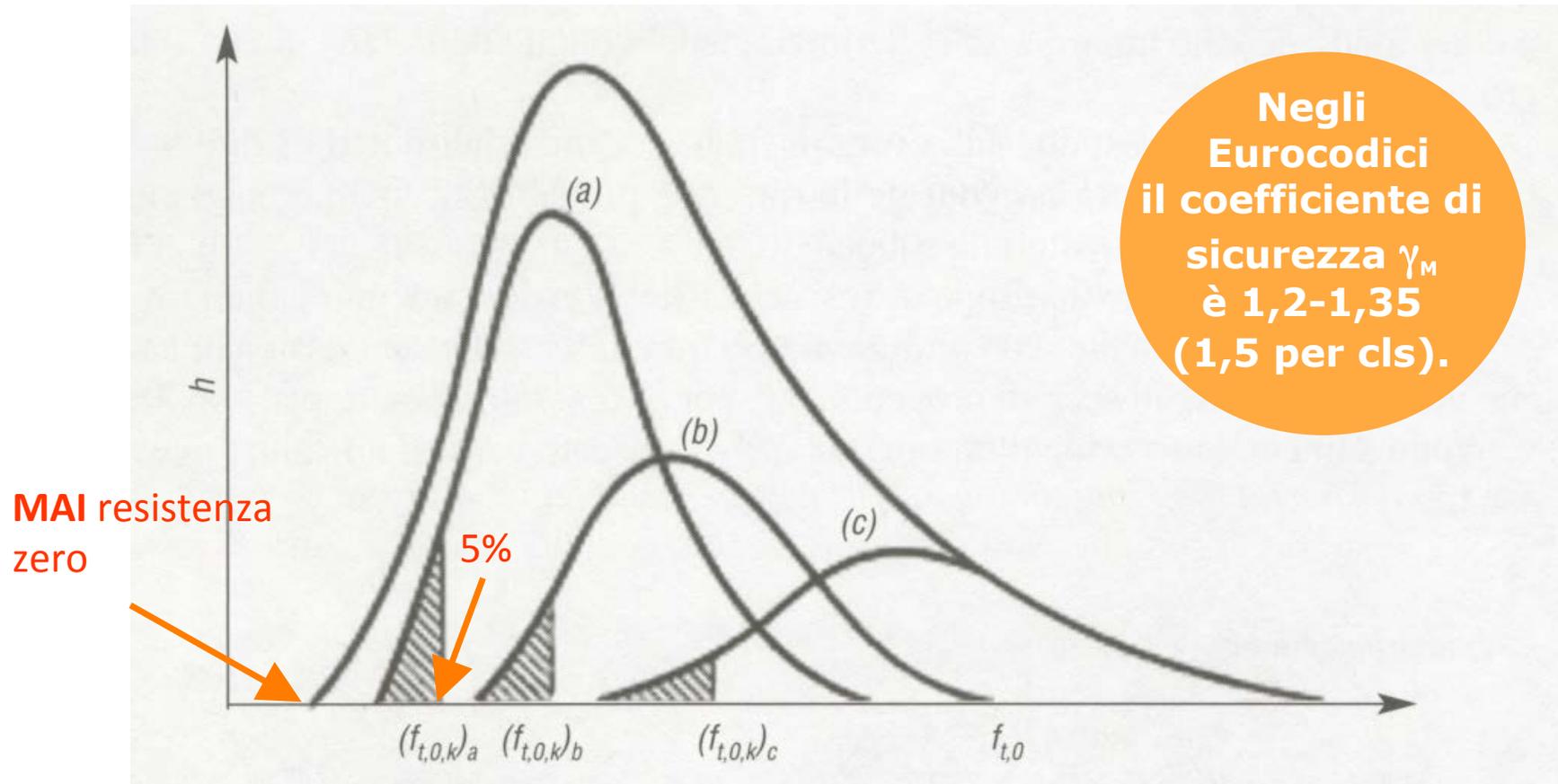
Il legno: materiale da costruzione?

- Come può il legno, così eterogeneo e con caratteristiche così variabili, essere un **materiale affidabile** per le costruzioni?
- Lo è già per natura, ma... **lo diventa, per la statistica e la legge**, attraverso la classificazione secondo la resistenza del singolo pezzo, così da attribuirgli valori affidabili di resistenza e rigidezza.

Classificare secondo la resistenza

- È un processo di selezione attraverso il quale *ogni singolo pezzo* di legno può essere inserito in una *categoria* (gruppo), così da attribuirgli valori affidabili di resistenza e rigidità
- Le regole di classificazione sono state sviluppate a fronte di *migliaia di prove distruttive*, mediante *procedure codificate* da norme tecniche (DIN, UNI, EN, ...) e *decenni di esperienza* applicativa.

I criteri di affidabilità



Il “5° percentile inferiore” è il valore superato dal 95% delle prove. Viene diviso per il coefficiente di **sicurezza sui materiali** (γ_M) e moltiplicato per il coefficiente di **esposizione e durata del carico** (K_{mod}) per ottenere il valore usato nelle verifiche statiche.

NORMA ITALIANA **Legno strutturale**
Classi di resistenza

UNI EN 338

		Softwood species											Hardwood species								
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Strength properties (in N/mm ²)																					
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Stiffness properties (in kN/mm ²)																					
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Density (in kg/m ³)																					
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % modulus of elasticity, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.

NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %.

NOTE 3 Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.

NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408. The effect of fissures should be covered in design codes.

Quadro normativo: aspetti generali

EUROPA

- Regolamento Prodotti da Costruzione
- Norme armonizzate per vari prodotti
- Obbligo marcatura CE legno massiccio (1/1/2012)
- Benestare Tecnico (volontario) per prodotti non coperti da norma armonizzata

Regolamento EU n. 305/2011
(CPR, Construction Products Regulation)

**Obbligo classificazione
legno per usi strutturali**

ITALIA

- Circolare Ministeriale n° 617 del 2/2/2009
- Obbligo qualifica ministeriale dal 30/06/2009
- Direttore Tecnico della Produzione
- Attestato di qualificazione (Produttore/Centro di Taglio)

D.M. 14/01/2008
Norme Tecniche per le Costruzioni

Le regole di classificazione: criteri

NODI

INCLINAZIONE DELLA FIBRATURA

AMPIEZZA ANELLI

SMUSSI

FESSURAZIONI

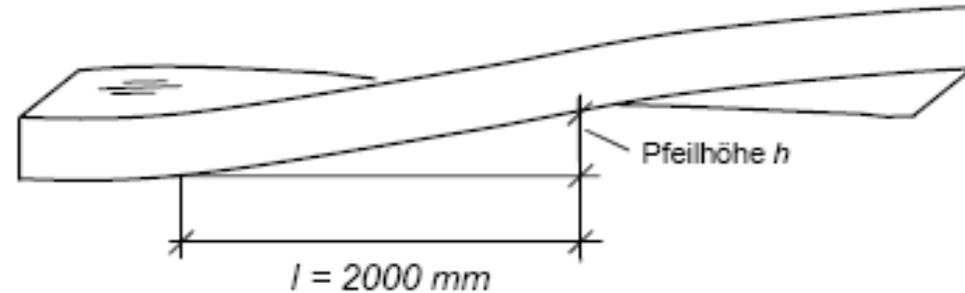
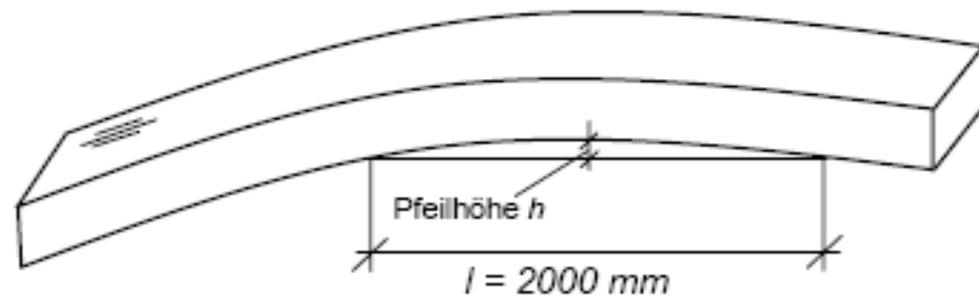
CIPOLLATURE

DEFORMAZIONI

LEGNO DI REAZIONE

DISCOLORAZIONI, CARIE

INSETTI



**Il legname dovrebbe essere classificato stagionato,
ma non è fatto divieto di classificarlo fresco**

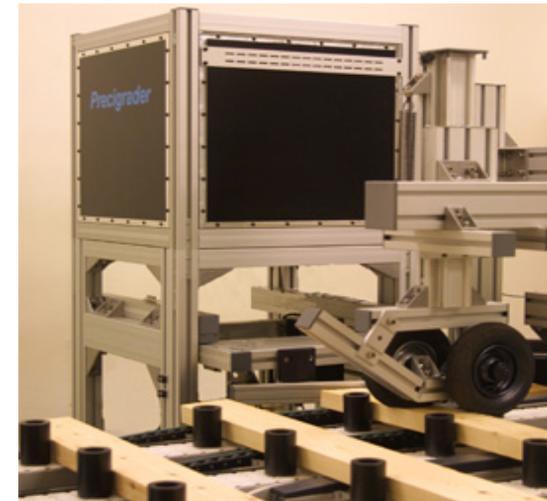
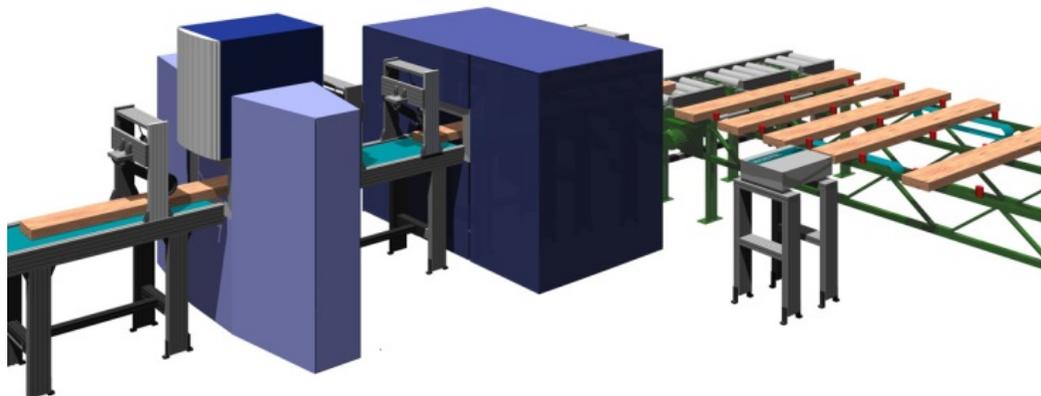
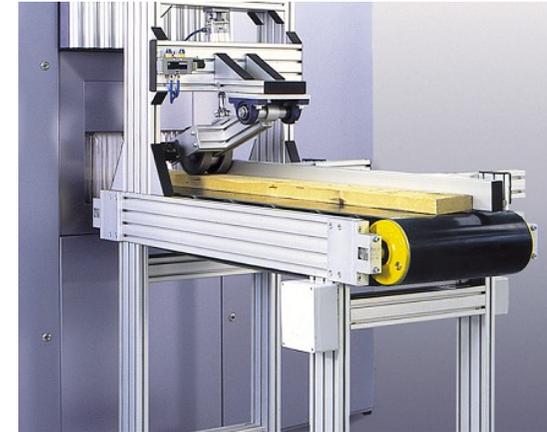
UNI 11035

Conifere 1

		Softwood species							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30
Strength properties (in N/mm²)									
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30
Tension parallel	$f_{t0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18
Tension perpendicular	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23
Compression perpendicular	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0
Stiffness properties (in kN/mm²)									
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75
Density (in kg/m³)									
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460

Conifere 1			
Criteri per la classificazione	Categorie		
	S1	S2	S3
Smussi ¹⁾	$s \leq 1/4$	$s \leq 1/3$	$s \leq 1/3$
Nodi singoli ²⁾	$A \leq 1/5$ e comunque $d < 50$ mm	$A \leq 2/5$ e comunque $d < 70$ mm	$A \leq 3/5$
Nodi raggruppati ³⁾	$A_0 \leq 2/5$	$A_0 \leq 2/3$	$A_0 \leq 3/4$
Amplezza anelli	≤ 6 mm	≤ 15 mm	
Inclinazione fibratura	$\leq 1:14$ (7,0%)	$\leq 1:8$ (12,5%)	$\leq 1:6$ (16,5%)
Fessurazioni: - da ritiro - dipollatura - da fulmine, gelo, lesioni	ammesse, se non passanti non ammessa non ammesse	ammesse. Se passanti con limitazioni ⁶⁾ ammessa con limitazioni ⁴⁾ non ammesse	
Degrado da funghi: - azzurrimento - carie bruna e bianca	ammesso non ammesse		
Legno di compressione	fino a 1/5 del perimetro sulle facce o della sezione	fino a 2/5 del perimetro sulle facce o della sezione	fino a 3/5 del perimetro sulle facce o della sezione
Attacchi di insetti	non ammessi	ammessi con limitazioni ⁵⁾	
Vischio	non ammesso		
Deformazioni: - arcuatura - falcatura - svergolamento - imbarcoamento	10 mm ogni 2 m di lunghezza 8 mm ogni 2 m di lunghezza 1 mm ogni 25 mm di lunghezza nessuna restrizione		20 mm ogni 2 m di lunghezza 12 mm ogni 2 m di lunghezza 2 mm ogni 25 mm di lunghezza nessuna restrizione
<p>1) s è espresso come rapporto tra la proiezione dello stesso smusso su una superficie e la larghezza totale di questa superficie.</p> <p>2) Si considera il nodo più grande del segato, e il rapporto A fra il suo diametro minimo d e la larghezza della faccia su cui tale diametro viene misurato.</p> <p>3) Non considerare questo criterio per Abete e Larice/Nord Italia. Per le altre combinazioni specie/provenienza considerare il rapporto A_0 fra la somma dei diametri minimi dei nodi compresi in un tratto di 150 mm e la larghezza della faccia su cui comparono.</p> <p>4) Generalmente non ammessa; soltanto per Larice/Nord Italia e Abete/Italia la dipollatura visibile o probabile è ammessa se $r_{max} < b/3$ ed $s < b/6$, dove: r_{max} il raggio massimo della dipollatura; b il lato maggiore della sezione; s l'eccentricità, cioè la distanza massima del midollo rispetto al centro geometrico della sezione.</p> <p>5) Ammessi solo fusti con alone nerastro, oppure fusti rotondi, senza alone nerastro, di diametro compreso tra 1.5 e 2.5 mm (di Anobidi), purché l'attacco sia sicuramente esaurito, per un max. di 10 fusti, distribuiti uniformemente, per metro di lunghezza (somma di tutte e quattro le facce).</p> <p>6) Fessurazioni passanti ammesse solo alle estremità, per una lunghezza non maggiore della larghezza del segato.</p>			

Classificazione a macchina: strumenti mono e multi-sensore

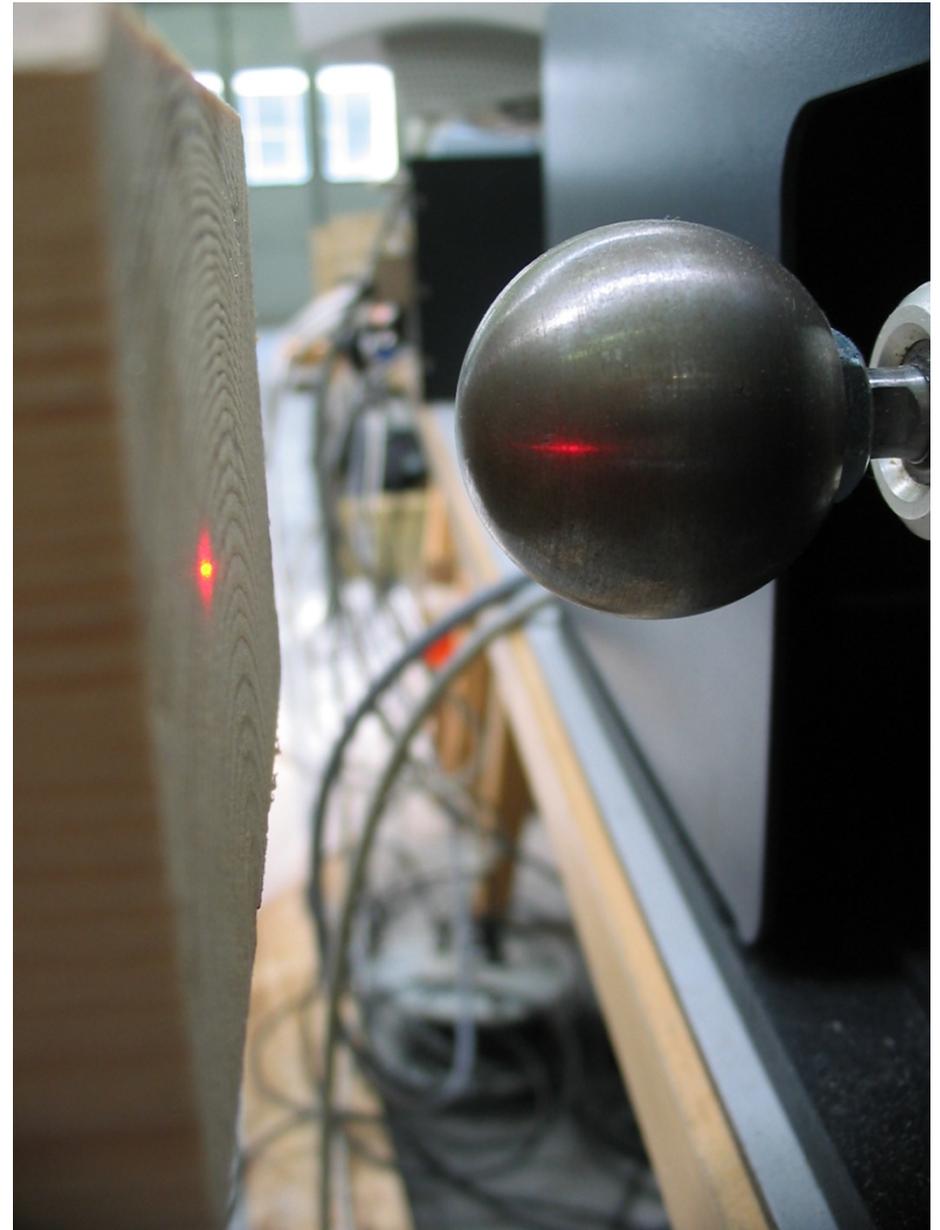


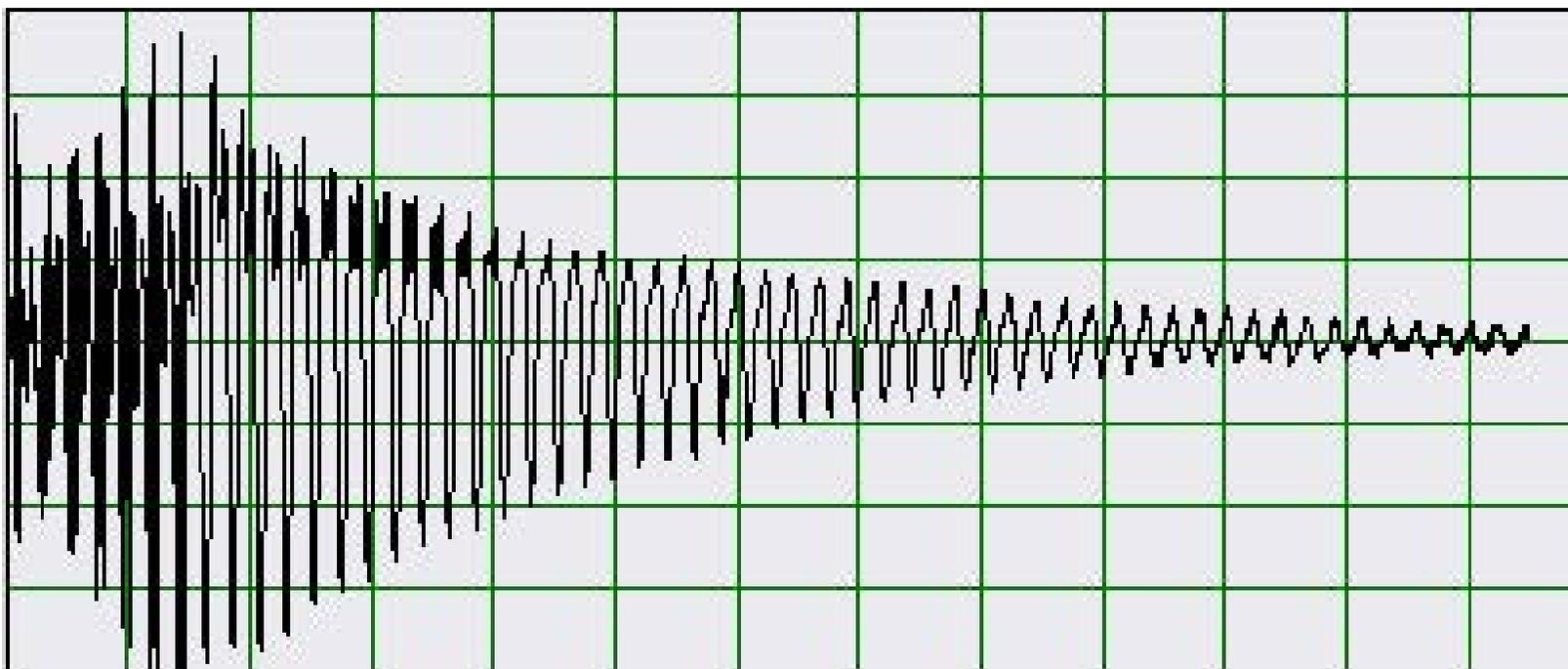
ANALISI DELLE VIBRAZIONI



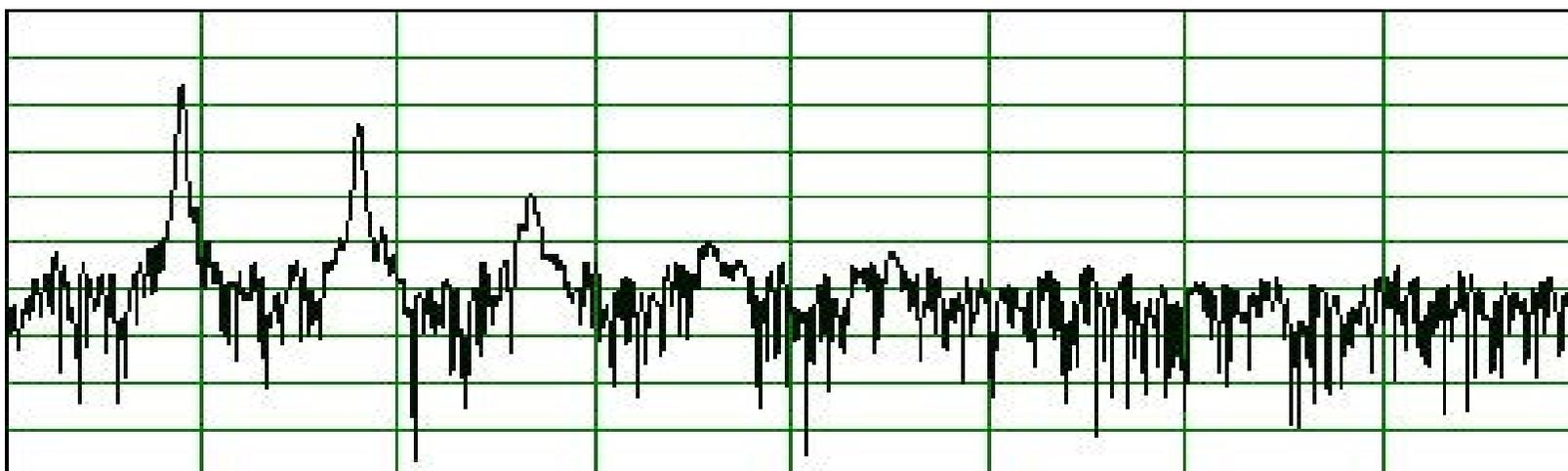
$$E_{0,dyn} = \rho \cdot (2 \cdot l \cdot f)^2$$

$E_{0,dyn}$	modulo elastico dinamico
ρ	densità (raggi X)
l	lunghezza tavola
f	frequenza di vibrazione



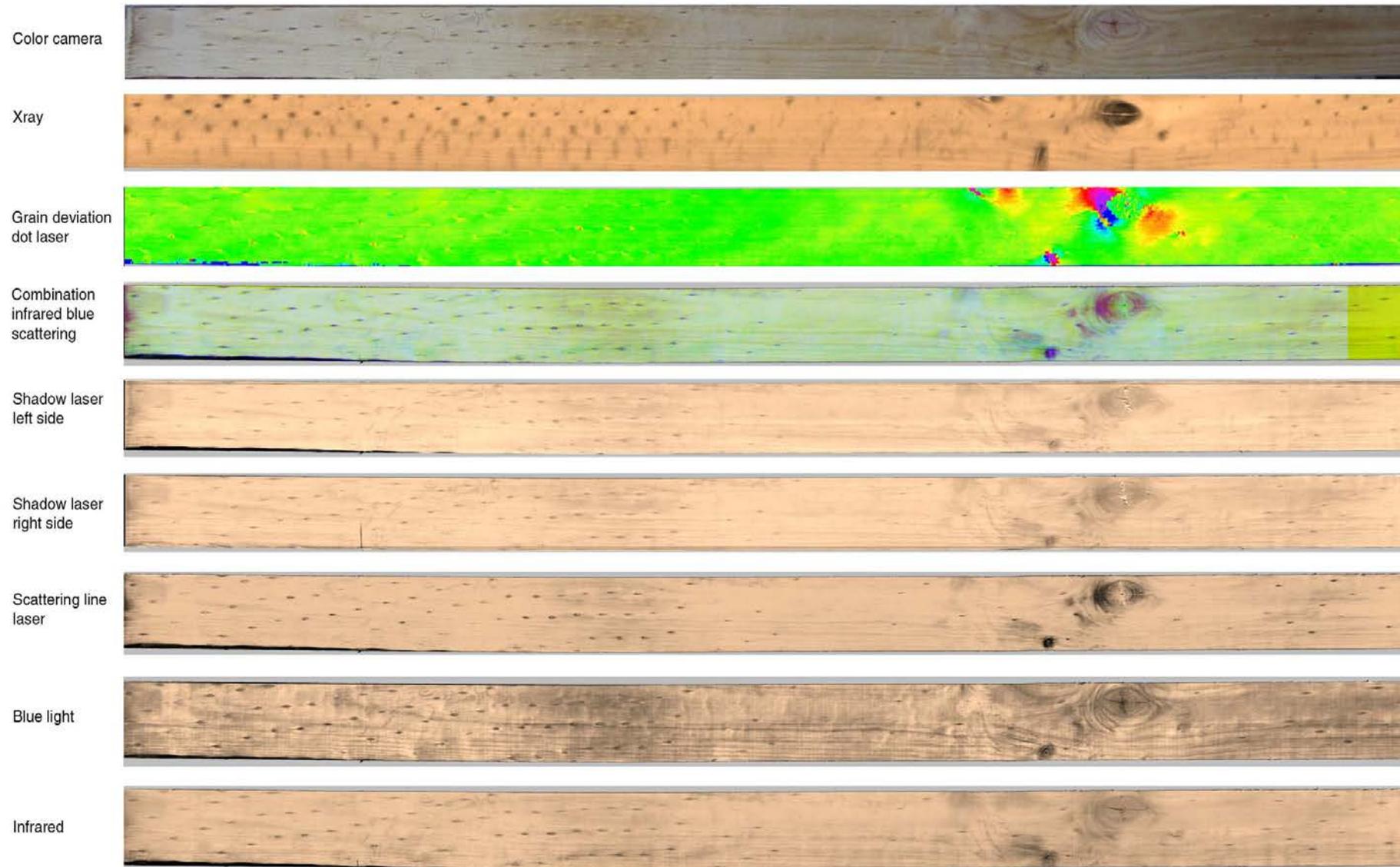


Segnale oscilloscopio



Analisi di Fourier del segnale

Scanner multi-sensore



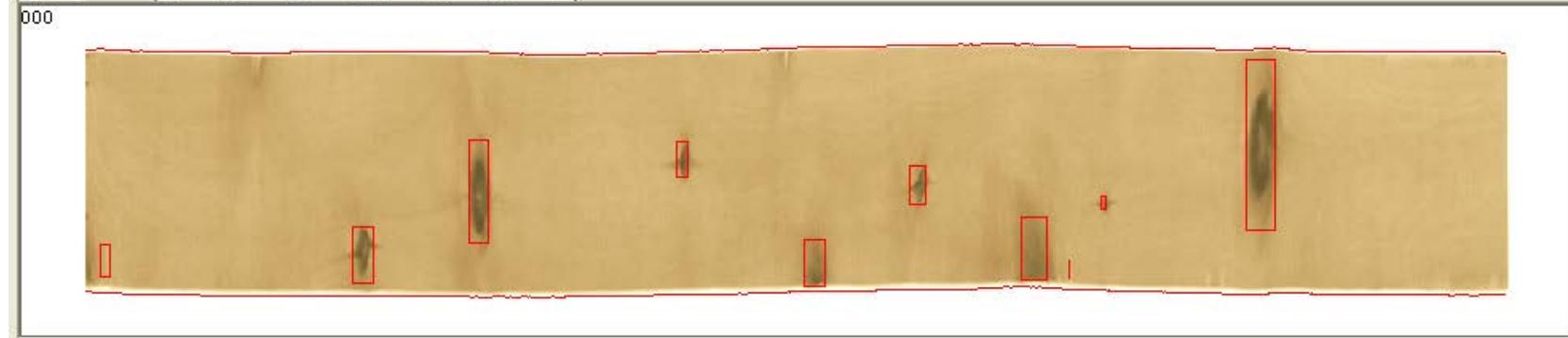


Table View



Fps: 0 Xray: 38kV 38mA

STRESSGRADING v6.00
 JAS Pine (L90/L110/L125/L140)
 Encoder: 0 0
 LS: 0 0 ● ●
 System: ●
 Framegrabber: ●

Length= 3998 mm
 Width= 112 mm
 Section= 0x32.0mm
 Mois= 0.0% (0) Freq= 603
 Dens= 561 Kg/m3
 Clearw= 550 Kg/m3
 Xray= 908
 Class= L110
 Yq= 3271 mm
 Emod= 10944 N/mm2 Fmax= 5907 N/mm2

Len:3998 Wid:112
 R:561 L110

Len:0 Wid:0
 R:0 Was

Len:0 Wid:0
 R:0 Was

Len:0 Wid:0
 R:0 Was

Len:0 Wid:0
 R:0 Was

Actual History

Keine Störung

Statistic Production

Statistic

Min

Len

Stat	Was	L90	L110	L125	L140
Num:	1	30	25	30	48
Min:	1%	22%	19%	22%	36%
Len:	0%	16%	20%	26%	38%

Esempio di etichetta con marchio CE



			
Numero Ente Notificato 0497			
XXXXXXXX			
Ultime due cifre dell'anno di produzione 11			
Numero del certificato di marcatura CE 0497/CPD/XX/11			
Norma di riferimento UNI EN 14081-1:2005+A1:2011			
Specie legnosa PCAB			
Legno a sezione rettangolare classificato ad uso strutturale S10 secondo DIN 4074-1 Sezioni trave 15 x 20			
Classe di resistenza di resistenza meccanica	C 24		
Reazione al Fuoco	D-s2, d0		
Durabilita	4		
Umidità	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Fresco (not dry graded)</td> <td style="width: 50%;">Secco (dry graded)</td> </tr> </table>	Fresco (not dry graded)	Secco (dry graded)
Fresco (not dry graded)	Secco (dry graded)		

I prodotti strutturali

- Legno massiccio sezione rettangolare
- Legno massiccio sezione irregolare
- Tavole
- Legno lamellare incollato
- KVH
- Bilama-Trilama
- Compensato di tavole (CLT, X-lam)

