

CORSO DI ISTRUZIONE
CALCOLO AGLI STATI LIMITE

STRUTTURE IN LEGNO

Lezione 1: La normativa

Ing. Marco Ballerini – Università di Trento

Padova, 5 marzo 2004

SOMMARIO

- **Panoramica normativa**
- **Gli stati limite**
- **La resistenza del materiale**
- **Le verifiche allo stato limite ultimo (SLU)**
 - ✘ **i coefficienti di sicurezza sul materiale**
 - ✘ **le classi di servizio**
 - ✘ **le classi di durata dei carichi & k_{mod}**
- **Le verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)**

Normativa Europea (Eurocodice 5)

■ **UNI ENV 1995-1-1 (2/1995, ed. 12/1993)**

Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno

Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici

norma sperimentale con periodo di validità di 3 anni

■ **prEN 1995-1-1 (final draft 9/10/2002)**

Eurocode 5 – Design of timber structures

Part 1-1: General rules and rules for buildings

è ancora in fase di approvazione

L'Eurocodice 5 è supportato da altre normative europee (di supporto), le principali sono:

■ **UNI EN 338 (3/1997, ed. 2/1995)**

Legno strutturale – Classi di resistenza

fornisce i valori caratteristici delle resistenze del legno massiccio

■ **UNI EN 1194 (10/2000, ed. 4/1999)**

Strutture di legno – Legno lamellare incollato

Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici

fornisce i valori caratteristici delle resistenze del legno lamellare

■ **UNI EN 1912 (7/2000, ed. 6/1998)**

Legno strutturale – Classi di resistenza

Assegnazione delle categorie visuali e delle specie

consente l'assegnazione classe di resistenza / categoria di classificazione visuale

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

Normativa tedesca

■ **DIN 1052 [1-2-3] (4/1988 e 10/1996)**

Strutture di legno

*norma alle tensioni ammissibili, il foglio di aggiornamento del 1996
modifica classificazione del materiale*

■ **Nationales Anwendungsdokument (NAD) (2/1995)**

Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1995-1-1

*è il NAD tedesco per l'EC5, contiene i valori caratteristici del
materiale in accordo al sistema di classificazione tedesco*

■ **DIN 1052 (2004 ??)**

Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken

*norma agli stati limite, dopo 3 anni dall'entrata in vigore sostituirà
definitivamente la precedente norma alle tensioni ammissibili*

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

Normativa italiana

■ **Consiglio superiore dei lavori pubblici (2001, ??)**

Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e
collaudo delle costruzioni in legno

*norma "NICOLE" agli stati limite (ma anche alle tensioni
ammissibili), è in fase di revisione ed è essenzialmente una
trasposizione dell'Eurocodice 5*

■ **UNI 11035-2 (2003)**

Legno strutturale – Regole per la classificazione a vista
secondo la resistenza e valori caratteristici per tipi di
legname strutturale italiani

fornisce i profili resistenti per il legno di origine italiana

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

Norme a cui faremo riferimento

- **UNI ENV 1995-1-1 (2/1995, ed. 12/1993)**
Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno
Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici
- **Nationales Anwendungsdokument (NAD) (2/1995)**
Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1995-1-1

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

Il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite

Stato Limite: Situazione oltre la quale la struttura non
soddisfa requisiti di resistenza o funzionali

quindi si hanno:

Stati limite ultimi: associati a collassi strutturali o a perdita
di equilibrio/stabilità degli elementi

Stati limite di esercizio: associati tipicamente a deforma-
zioni eccessive o a vibrazioni

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

Per le verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU), il formato tipico della verifica è:

$$E_d = E(F_{d,i}, a_{d,i}, \dots) \leq R_d = R(X_{d,i}, a_{d,i}, \dots)$$

Effetto di calcolo Prestazione di calcolo

(tensione o forza instabilizzante) (resistenza o forza stabilizzante)

Gli effetti di calcolo sono ricavati sulla base di azioni di calcolo:

$$Q_{d,i} = \gamma_Q Q_{k,i}$$

La resistenza di calcolo è ricavata sulla base del valore caratteristico:

$$X_d = k_{mod} X_k / \gamma_M$$

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

Per le verifiche allo Stato Limite di Esercizio (SLE), il formato tipico della verifica è :

$$E_d = E(F_{d,i}, a_{d,i}, \dots) \leq E_{lim}(L_{d,i}, a_{d,i}, \dots)$$

Effetto di calcolo Valore limite

(deformazione o velocità di
vibrazione) (valore limite della deformazione o
della velocità di vibrazione)

Gli effetti di calcolo, **istantanei e differiti**, sono ricavati sulla base dei valori nominali delle azioni e delle caratteristiche reologiche del materiale per mezzo dei coefficienti:

$$k_{def} \quad e \quad k_{ser}$$

Panoramica
normativaGli stati
limiteLa resistenza del
materialeLe verifiche
allo SLULe verifiche
allo SLE

Azioni

Si hanno i seguenti valori rappresentativi delle azioni variabili:

valore caratteristico

 Q_k

valore di combinazione

 $\psi_0 Q_k$

valore frequente

 $\psi_1 Q_k$

(pari al frattile 0.95 della distribuzione dei valori istantanei)

valore quasi permanente

 $\psi_2 Q_k$

(pari al valore medio della distribuzione dei valori istantanei)

D.M. LL.PP. 16.1.1996 "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"

Azione variabile	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
Fabbricati di abitazione	0.7	0.5	0.2
Uffici e negozi		0.6	0.3
Autorimesse		0.7	0.6
Vento e neve		0.2	0

Panoramica
normativaGli stati
limiteLa resistenza del
materialeLe verifiche
allo SLULe verifiche
allo SLE

oppure secondo il NAD tedesco:

Azioni	Fattori di combinazione		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Carichi variabili sui solai			
- civile abitazione; uffici; negozi fino a 50 m ² ; corridoi; balconi; stanze di ospedali.	0.7	0.5	0.3
- sale riunioni; garages e parcheggi; palestre; tribune; corridoi scolastici; biblioteche; archivi.	0.8	0.8	0.5
- negozi e padiglioni espositivi; grandi magazzini e centri commerciali;	0.8	0.8	0.8
Carico da vento	0.6	0.5	0
Carico da neve	0.7	0.2	0
Altre azioni	0.8	0.7	0.5

Panoramica
normativaGli stati
limiteLa resistenza del
materialeLe verifiche
allo SLULe verifiche
allo SLE

Combinazioni di azioni

Si devono considerare differenti situazioni di progetto:

- **situazioni di progetto persistenti** (corr. alle normali condizioni d'uso della struttura), **e transitorie** (corr. alle fasi di costruzione e/o manutenzione)

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

combinazioni
fondamentali

- **situazioni di progetto eccezionali**

$$\sum G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Panoramica
normativaGli stati
limiteLa resistenza del
materialeLe verifiche
allo SLULe verifiche
allo SLE

dove i coefficienti parziali di sicurezza sui carichi sono:

Prospetto 2.3.3.1. - Coefficienti di sicurezza parziali per le azioni in strutture di edifici, per situazioni di progetto persistenti e transitorie

	Azioni permanenti (γ_G)	Azioni variabili una con il suo valore caratteristico	(γ_Q) le altre con il loro valore di combinazione
<u>Coefficienti parziali normali</u>			
Effetto favorevole ($\gamma_{F,int}$)	1,0*	..*	..*
Effetto sfavorevole	1,35* 1.4	1,5	1,5
<u>Coefficienti parziali ridotti</u>			
Effetto favorevole	1,0	..*	..*
Effetto sfavorevole	1,2	1,35 1.4	1,35 1.4
* Vedere 2.3.3.1(3).			
** Vedere ENV 1991 (Eurocodice 1); in casi normali su strutture di edifici $\gamma_{Q,inf} = 0$.			

Formule di combinazione semplificate per edifici

Nel caso di edifici, la formula di combinazione per le situazioni di progetto persistenti e transitorie può essere sostituita dalla più sfavorevole delle seguenti:

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1.5 \cdot Q_{k,1}$$

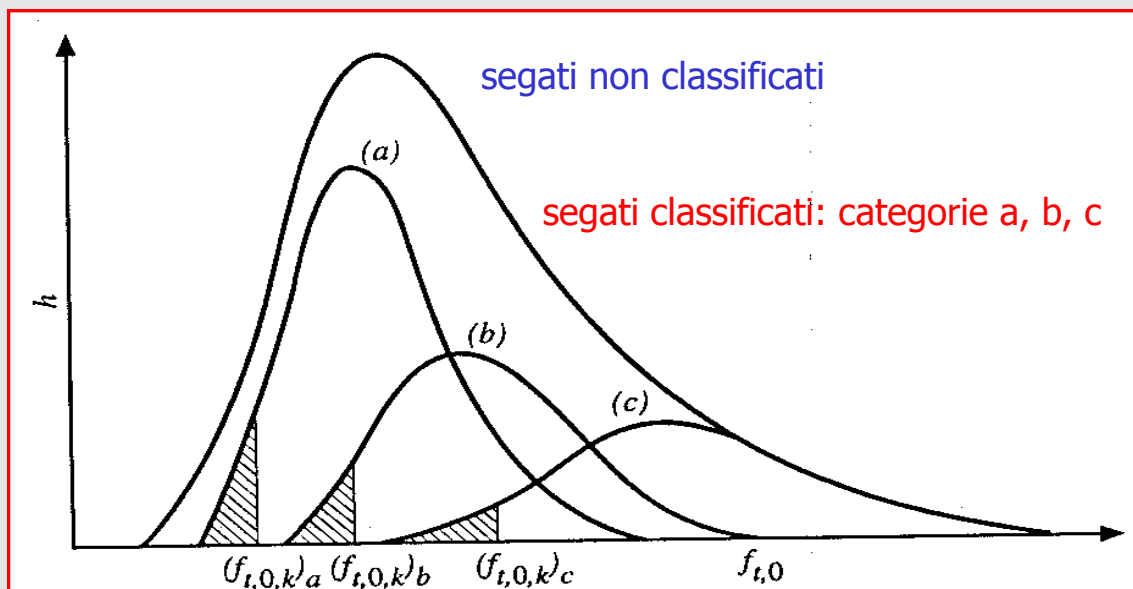
$Q_{k,1}$ azione variabile più sfavorevole

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1.4 \cdot \sum_{i=1} Q_{k,i}$$

$Q_{k,i}$ tutte le azioni variabili sfavorevoli

La resistenza del materiale

Distribuzioni di frequenza



Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

La resistenza del materiale è fornita dalle normative di supporto che riportano i **profili prestazionali** del legno di **conifera (C)**, di **latifoglia (D)** o del **legno lamellare (GL)** per diverse **classi di resistenza**.

La corrispondenza fra la **specie legnosa**, la **provenienza**, la **classe di qualità resistente** (di differenti norme di classificazione) e la **classe di resistenza** del materiale è stabilita dalla

UNI EN 1912 (7/2000, ed. 6/1998)

Legno strutturale – Classi di resistenza
Assegnazione delle categorie visuali e delle specie

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

UNI EN 338 (3/1997) Legno strutturale – Classi di resistenza

		S7		S10 Pioppo e conifere				S13	MS13 MS17		Latifoglie					
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Proprietà di resistenza in N/mm ²																
Flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40	30	35	40	50	60	70
Trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24	18	21	24	30	36	42
Trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26	23	25	26	29	32	34
Compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Taglio	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Proprietà di rigidezza in kN/mm ²																
Modulo di elasticità medio parallelo alla fibratura	$E_{0,mean}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14	10	10	11	14	17	20
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Modulo di elasticità medio perpendicolare alla fibratura (5%)	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Modulo di taglio medio	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Massa volumica in kg/m ³																
Massa volumica	ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420	530	560	590	650	700	900
Massa volumica media	ρ_{mean}	350	370	380	410	420	450	460	480	500	640	670	700	780	840	1080

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

prEN 338 (8/2001) Structural timber – Strength classes

Table 1 — Strength classes - Characteristic values

		Poplar and softwood species											Hardwood species						
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	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	30	35	40	50	60	70
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	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	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	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Shear	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
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	10	10	11	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	8,0	8,7	9,4	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	0,64	0,69	0,75	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	0,60	0,65	0,70	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	530	560	590	650	700	900
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
NOTE																			
a 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 clause Annex A.																			
b The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20°C and a relative humidity of 65%.																			
c Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.																			

Panoramica
normativa

Gli stati
limite

La resistenza del
materiale

Le verifiche
allo SLU

Le verifiche
allo SLE

UNI EN 1194 (10/2000, ed. 4/1999) Legno lamellare incollato Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici

Classe di resistenza del legno lamellare incollato	GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h	GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c	
Resistenza a flessione	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Resistenza a trazione	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6	0,35	0,4	0,45	0,5
Resistenza a compressione	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
Resistenza a taglio	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490	320	390	420	460
Modulo di taglio	$G_{g,mean}$	720	780	850	910	590	720	780	850
Massa volumica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450	350	380	410	430