

VERIFICA S.L.E. STRUTTURE IN LEGNO

D.M. 17/01/2018

Come si evince dall'art.4.4.7 del DM 17/01/2018 per la verifica agli SLE , la normativa non dà indicazioni ben precise:

4.4.7 STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le deformazioni di una struttura, dovute agli effetti delle azioni applicate, degli stati di coazione, delle variazioni di umidità e degli scorrimenti nelle unioni, devono essere contenute entro limiti accettabili, sia in relazione ai danni che possono essere indotti ai materiali di rivestimento, ai pavimenti, alle tramezzature e, più in generale, alle finiture, sia in relazione ai requisiti estetici ed alla funzionalità dell'opera.

In generale nella valutazione delle deformazioni delle strutture si deve tener conto della deformabilità dei collegamenti.

Considerando il particolare comportamento reologico del legno e dei materiali derivati dal legno, si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine.

La deformazione istantanea si calcola usando i valori medi dei moduli elastici per le membrature e il valore istantaneo del modulo di scorrimento dei collegamenti.

Tabella 4.4.IV -Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
Legno massiccio Legno lamellare incollato (*) LVL	UNI EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
	UNI EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
	UNI EN 14374, UNI EN 14279	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	UNI EN 636:2015	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Pannello di scaglie orientate (OSB)	UNI EN 300:2006	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312 :2010	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2:2005	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	2	-	-	-	0,45	0,80
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

(*) I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1+k_{def})$, per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti.

Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità, dell'umidità del materiale e delle sue variazioni. I valori di k_{def} sono riportati nella Tab. 4.4.V. La freccia (valore dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento) netta di un elemento inflesso è data dalla somma della freccia dovuta ai soli carichi permanenti, della freccia dovuta ai soli carichi variabili, dedotta dalla eventuale contofreccia (qualora presente).

Nei casi in cui sia opportuno limitare la freccia istantanea dovuta ai soli carichi variabili nella combinazione di carico rara, in mancanza di più precise indicazioni, si raccomanda che essa sia inferiore a $L/300$, essendo L la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo. Nei casi in cui sia opportuno limitare la freccia finale, in mancanza di più precise indicazioni, si raccomanda che essa sia inferiore a $L/200$, essendo L la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.

Per il calcolo della freccia finale si potrà fare utile riferimento ai documenti di comprovata validità cui al capitolo 12.

I limiti indicati per la freccia costituiscono solo requisiti minimi indicativi. Limitazioni più severe possono rivelarsi necessarie in casi particolari, ad esempio in relazione ad elementi portati non facenti parte della struttura. In generale, nel caso di impalcati, si raccomanda la verifica della compatibilità della deformazione con la destinazione d'uso.

Tabella 4.4.V - Valori di k_{def} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio		
		1	2	3
Legno massiccio	UNI EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato *	UNI EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	UNI EN 14374, UNI EN 14279	0,60	0,80	2,00
Compensato	UNI EN 636:2015		0,80	-
			0,80	1,00
			0,80	1,00
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	UNI EN 300:2006	OSB/2	2,25	-
		OSB/3 OSB/4	1,50	2,25
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312:2010	Parte 4	2,25	-
		Parte 5	2,25	3,00
		Parte 6	1,50	-
		Parte 7	1,50	2,25
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2::2005	HB.LA	2,25	-
		HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-
		MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF.LA	2,25	-
		MDF.HLS	2,25	3,00

Per materiale posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione delle fibre, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

* I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

All'art. 4.4.3 viene indicato che

4.4.3 AZIONI E LORO COMBINAZIONI

Le azioni caratteristiche devono essere definite in accordo con quanto indicato nei Capitoli 3 e 2 delle presenti norme.

Per costruzioni civili o industriali per le quali non esistano regolamentazioni specifiche, le azioni di progetto si devono determinare secondo quanto indicato nel Capitolo 2.

Secondo quanto indicato al Cap.2 - art. 2.5.1.3 le azioni rare (o eccezionali) sono quelle derivanti da incendi, esplosioni, urti.

2.5.1.3 Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo

a) *permanenti* (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente;
- forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G_1);
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
- spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;
- presollecitazione (P);

b) *variabili* (Q): azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:

- sovraccarichi;
- azioni del vento;
- azioni della neve;
- azioni della temperatura.

Le azioni variabili sono dette di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono dette di breve durata se agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura. A seconda del sito ove sorge la costruzione, una medesima azione climatica può essere di lunga o di breve durata.

c) *eccezionali* (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;

- incendi;
- esplosioni;
- urti ed impatti;

d) *sismiche* (E): azioni derivanti dai terremoti.

Quando rilevante, nella valutazione dell'effetto delle azioni è necessario tenere conto del comportamento dipendente dal tempo dei materiali, come per la viscosità.

Secondo quanto indicato al Cap.2 - art. 2.5.3 la combinazione rara è impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili. Mentre per gli SLE reversibili si usano le combinazioni frequente (2.5.3) e per gli effetti a lungo termine si usano le combinazioni quasi permanente (2.5.4)

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo "+" vuol dire "combinato con".

I valori dei coefficienti ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1} e γ_{Q1} sono dati nel § 2.6.1.

Secondo quanto indicato nel DM. 14/09/2005 all'art. 5.3.2.2, la deformazione istantanea u'_{ist} è calcolata sulla base delle combinazioni di carico quasi permanenti

5.3.2.2 Stati limite di esercizio

5.3.2.2.1 GENERALITÀ

La deformazione istantanea, u_{inst} , provocata da un'azione, può essere calcolata usando il valore medio dell'appropriato modulo di rigidità per le membrature, e il valore istantaneo del modulo di scorrimento per lo stato limite di esercizio K_{ser} per le unioni, determinato mediante prove sperimentali secondo il metodo per la determinazione di k_s indicato nella EN 26891 o secondo le modalità di calcolo fornite nelle Istruzioni per l'applicazione delle previste Norme Tecniche.

Detta u'_{ist} la deformazione istantanea calcolata sulla base delle combinazioni di carico quasi permanenti, la deformazione differita assumerà il valore:

$$u_{dif} = u'_{ist} \cdot k_{def};$$

dove k_{def} è un coefficiente che tiene conto dell'aumento di deformazione con il tempo dovuto all'effetto combinato della viscosità e dell'umidità; si possono utilizzare i valori k_{def} riportati nella tabella 5.3.4.

Secondo quanto indicato nelle Istruzioni CNR 206/2007 all'art. 6.4.1 la deformazione a lungo termine va valutata per la combinazione di carico quasi permanente -

La deformazione istantanea va valutata per la combinazione quasi permanente dovuta alla sola aliquota mancante del carico accidentale prevalente.

6.4 - STATI LIMITE D'ESERCIZIO

6.4.1 - Deformazioni istantanee e finali

Le deformazioni di una struttura, dovute agli effetti delle azioni, degli stati di coazione, delle variazioni di umidità e degli scorrimenti nelle unioni, devono essere contenute entro limiti accettabili, in relazione sia ai

danni che possono essere indotti ai materiali di rivestimento, ai pavimenti, alle tramezzature e, più in generale, alle finiture, sia ai requisiti estetici ed alla funzionalità dell'opera. In generale, nella valutazione delle deformazioni delle strutture si deve tener conto della deformabilità tagliante e di quella dei collegamenti. Considerando il particolare comportamento reologico del legno e dei materiali derivati dal legno, si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine. La deformazione istantanea, provocata da una certa condizione di carico, si calcola usando il valore medio dei moduli di elasticità normale e tangenziale del materiale per le membrature ed il valore istantaneo del modulo di scorrimento (K_{ser}) per le unioni.

Il modulo di scorrimento istantaneo, K_{ser} , delle unioni può essere determinato mediante prove sperimentali secondo la EN 26891 (dove k_s corrisponde a K_{ser}) o può essere calcolato introducendo i parametri caratterizzanti il materiale e l'unione come riportato al punto 6.4.2 -.

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1+k_{def})$ per le membrature e utilizzando un valore ridotto con lo stesso fattore del modulo di scorrimento dei collegamenti, dove k_{def} è il coefficiente che tiene conto dell'aumento di deformazione nel tempo dovuto all'effetto combinato della viscosità e dell'umidità. Per esso si possono utilizzare i valori riportati in Appendice B - Tabella 17-1. Pertanto per il calcolo della deformazione iniziale (u_{in}) occorre valutare la deformazione istantanea con riferimento alla combinazione di carico rara.

Per il calcolo della deformazione finale (u_{fin}) occorre valutare la deformazione a lungo termine per la combinazione di carico quasi permanente e sommare a quest'ultima la deformazione istantanea dovuta alla sola aliquota mancante, nella combinazione quasi permanente, del carico accidentale prevalente (da intendersi come il carico variabile di base della combinazione rara).

La deformazione finale u_{fin} , si può pertanto valutare come: $u_{fin} = u_{1,in} (1+k_{def}) + u_{21,in} (1+21 k_{def}) + \sum_{(i=2...n)} 2i u_{2i,in} (1+k_{def})$ (6.2)

dove: $u_{1,in}$ è la deformazione istantanea del carico permanente

$u_{21,in}$ è la deformazione istantanea del carico accidentale prevalente

$u_{2i,in}$ è la deformazione istantanea della i-esima azione variabile della combinazione

In via semplificata la deformazione finale u_{fin} , relativa ad una certa condizione di carico, si può valutare come segue:

$$u_{fin} = u_{in} + u_{dif} \quad (6.2.a)$$

dove:

u_{in} è la deformazione iniziale (istantanea), calcolata con riferimento alla combinazione di carico rara;

u_{dif} è la deformazione differita che può essere valutata attraverso la relazione:

$$u_{dif} = u'_{in} \cdot k_{def} \quad (6.3)$$

ESEMPIO

ANALISI DEI CARICHI

CARICHI PERMANENTI:

PESO PROPRIO Travi Principali: 3,80x0,16x0,20x1,00/ 0,60	G _{k1} =	0,20 kN/mq
" Tavolato: 3,80x1,00x1,00 x 0,02	G _{k2} =	0,08 "
G ₁ = 0,28 kN/mq		

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI:

Coibente Termico	=	0,10 kN/mq
Manto impermeabilizzante di asfalto e simili	=	0,30 "
Tegole (embrici e coppi)	=	0,60 "
G ₂ = 1,00 kN/mq		

CARICHI VARIABILI DI LUNGA DURATA:

variabile di lunga durata	=	0,10 kN/mq
Q _{k1} = 0,10 kN/mq		

CARICHI VARIABILI DI BREVE DURATA:

Coperture e sottotetti accessibili sola manutenzione . . .	Q _{k2} =	0,50 kN/mq
--	-------------------	------------

CARICO NEVE:

ZONA III	a _s =1560,00m.	C _E =1,00	C _t =1,00	μ=0,80	
					Q _{k3} = 4,70 kN/mq

VERIFICHE S.L.E.

La verifica allo S.L.E. viene eseguita sulla base di quanto indicato al punto 4.4.7 del D.M. 14/01/2008, sommando:

- la deformazione istantanea U_{ist} calcolata sulla base delle combinazioni di carico frequenti:

$$q_d = G_1 + G_2 + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum (\Psi_{2i} \cdot Q_{ki}) \quad (i=2, n)$$

- con la deformazione differita, pari alla deformazione istantanea U_{ist} calcolata sulla base delle combinazioni di carico quasi permanenti:

$$q_d = G_1 + G_2 + \sum (\Psi_{2i} \cdot Q_{ki}) \quad (i=1, n)$$

moltiplicata per il Coefficiente K_{def} che tiene conto dell'aumento di deformazione con il tempo dovuto a viscosità ed umidità.

Determinata la combinazione di Carico che fornisce il valore max di q_d, la deformazione istantanea viene calcolata con la formula seguente:

$$U_v = (5/384 - 1/288) \cdot q_v \cdot L^4 / E \cdot J_y \quad ; \quad U_o = (5/384 - 1/288) \cdot q_o \cdot L^4 / E \cdot J_z$$

$$U = (fv^2 + fo^2)^{1/2}$$

Coefficiente x Deformazione differita: k_{def} = 0,60

COMBINAZIONI DI CARICO x S.L.E.

Azioni Permanenti Travi Principali	: G _k = G _{k1} + G _{k2} + G _{k3} =	0,28 kN/mq
Azioni Permanenti Tavolato	: G _k = G _{k3} =	0,08 kN/mq

COMBINAZIONI FREQUENTI

N° Comb.	Azioni	q _d (kN/mq)	T.P.	Tav.
1	G _k + G ₂ + Ψ ₁₁ ·Q _{k1} + (Ψ ₂₂ ·Q _{k2} +Ψ ₂₃ ·Q _{k3})	2,42	2,42	2,22

2	$G_k + G_2 + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + (\psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{23} \cdot Q_{k3})$	2,50	2,30
3	$G_k + G_2 + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + (\psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2})$	3,81	3,61

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

N° Comb.	Azioni	q_d (kN/mq)	T.P.	Tav.
1	$G_k + G_2 + (\psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3})$	2,40	2,20	

VERIFICA TRAVI PRINCIPALI

$$U_{ist} = 0,77 \text{ cm} \quad U'_{ist} = 0,46 \text{ cm}$$

$$U_{fin} = U_{ist} + K_{def} \cdot U'_{ist} = 1,04 \text{ cm} < L/300 = 1,50 \text{ cm}$$

VERIFICA TAVOLATO

$$U_{ist} = 0,08 \text{ cm} \quad U'_{ist} = 0,03 \text{ cm}$$

$$U_{fin} = U_{ist} + K_{def} \cdot U'_{ist} = 0,10 \text{ cm} < L/300 = 0,20 \text{ cm}$$