

Giovanni Cerretini

Calcoli di ingegneria con Excel

PROGETTO DI ELEMENTI STRUTTURALI

- Progettazione e verifica di travi in legno
- Progettazione e verifica di travi in acciaio
- Verifica e punzonamento di strutture in cemento armato
- Progettazione e verifica di solai in latero-cemento
- Progettazione e verifica di solette composte con lamiera grecata
- Esempi applicativi

- Aggiornato alle NTC e alla Circolare n. 617/2009, Eurocodice 2, Eurocodice 3, Eurocodice 4 e CNR-DT 206/2007

Giovanni Cerretini
CALCOLI DI INGEGNERIA CON EXCEL

ISBN 13 978-88-8207-475-3
EAN 9 788882 074753

Formulari, 53
Prima edizione, settembre 2012

Cerretini, Giovanni <1971->

Calcoli di ingegneria con Excel / Giovanni Cerretini. -

Palermo : Grafill, 2012.

(Software ; 53)

ISBN 978-88-8207-475-3

1. Strutture edilizie - Calcolo.

624.171 CDD-22

SBN Pal0246531

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 - Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> - E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di settembre 2012

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 - 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

A Francesca e le chiare conseguenze

SOMMARIO

1. PROGETTAZIONE E VERIFICA DI TRAVI IN LEGNO	p.	9
1.1. Normative di riferimento e bibliografia	"	9
1.2. Convenzioni utilizzate	"	9
1.2.1. Simboli	"	9
1.2.2. Acronimi	"	11
1.2.3. Unità di misura	"	12
1.3. Le travi in legno	"	12
1.4. Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008, del CNR-DT 206/2007 e dell'Eurocodice 3	"	12
1.5. Procedimento di calcolo e verifica	"	16
1.5.1. Analisi dei carichi	"	17
1.5.2. Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU	"	17
1.5.3. Verifica di resistenza a flessione allo SLU	"	19
1.5.4. Verifica di resistenza a taglio allo SLU	"	20
1.5.5. Verifica di instabilità per elementi inflessi allo SLU	"	20
1.5.6. Verifica di deformabilità per carichi verticali allo SLE	"	21
1.6. ESEMPI	"	24
1.6.1. Esempio 1 – Travetti di un solaio in legno	"	24
1.6.2. Esempio 2 – Travi principali di un solaio in legno	"	28
1.6.3. Esempio 3 – Travi della copertura	"	32
1.6.4. Esempio 4 – Verifica di copertura di una loggia	"	36
1.7. Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	39
1.7.1. Dati di input	"	39
1.7.2. Sezioni del foglio di calcolo	"	41
1.7.3. Esempi applicativi	"	43
2. PROGETTAZIONE E VERIFICA DI TRAVI IN ACCIAIO	"	50
2.1. Normative di riferimento e bibliografia	"	50
2.2. Convenzioni utilizzate	"	50
2.2.1. Simboli	"	50
2.2.2. Acronimi	"	52
2.2.3. Unità di misura	"	52
2.3. Le travi in acciaio	"	53
2.4. Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008	"	53
2.5. Procedimento di calcolo e verifica	"	55
2.5.1. Analisi dei carichi	"	56

2.5.2.	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU	p.	56
2.5.3.	Calcolo del massimo momento resistente allo SLU	"	59
2.5.4.	Verifica di resistenza per flessione allo SLU	"	59
2.5.5.	Calcolo del massimo taglio resistente allo SLU	"	60
2.5.6.	Verifica di resistenza per taglio allo SLU	"	60
2.5.7.	Calcolo della tensione ideale in contemporanea presenza di flessione e taglio allo SLU	"	60
2.5.8.	Verifica di resistenza per contemporanea presenza di taglio e flessione	"	61
2.5.9.	Calcolo degli spostamenti verticali allo SLE	"	61
2.5.10.	Verifica degli spostamenti verticali allo SLER	"	63
2.6.	ESEMPI	"	63
2.6.1.	Esempio 1 – Trave in acciaio di un soppalco	"	63
2.6.2.	Esempio 2 – Verifica di un architrave in acciaio	"	65
2.6.3.	Esempio 3 – Verifica di una trave in acciaio di un terrazzo	"	67
2.6.4.	Esempio 4 – Verifica di una trave in acciaio di una copertura	"	70
2.6.5.	Esempio 5 – Verifica di una trave in acciaio di un balcone	"	73
2.6.6.	Esempio 6 – Verifica di una trave per una copertura inclinata	"	75
2.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	78
2.7.1.	Dati di input	"	78
2.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	80
2.7.3.	Esempi applicativi	"	82
3.	VERIFICA E PUNZONAMENTO DI STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO	"	89
3.1.	Normative di riferimento e bibliografia	"	89
3.2.	Convenzioni utilizzate	"	89
3.2.1.	Simboli	"	89
3.2.2.	Acronimi	"	91
3.2.3.	Unità di misura	"	91
3.3.	Il fenomeno del punzonamento	"	91
3.4.	Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008 e dell'Eurocodice 2	"	92
3.4.1.	Limitazioni dimensionali e geometriche delle armature	"	94
3.5.	Procedimento di calcolo e verifica	"	95
3.5.1.	Identificazione dei perimetri di verifica	"	96
3.5.2.	Calcolo del taglio-punzonamento sollecitante	"	96
3.5.3.	Verifica dello spessore minimo sul perimetro u_0	"	97
3.5.4.	Verifica sul perimetro u_1	"	97
3.6.	ESEMPI	"	100
3.6.1.	Esempio 1 – Soletta con spessore insufficiente	"	100
3.6.2.	Esempio 2 – Soletta con pilastro interno	"	102
3.6.3.	Esempio 3 – Soletta con pilastro di bordo	"	104
3.6.4.	Esempio 4 – Soletta con pilastro in prossimità di un foro	"	106
3.6.5.	Esempio 5 – Soletta con armatura a taglio-punzonamento in barre sagomate	"	107

3.6.6.	Esempio 6 – Soletta con armatura a taglio-punzonamento in barre verticali	p.	111
3.6.7.	Esempio 7 – Soletta con armatura a taglio-punzonamento in barre verticali direzionate	"	114
3.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	117
3.7.1.	Dati di input	"	117
3.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	119
3.7.3.	Esempi applicativi	"	122
4.	PROGETTAZIONE E VERIFICA DI SOLAI IN LATERO-CEMENTO	"	130
4.1.	Normative di riferimento e bibliografia	"	130
4.2.	Convenzioni utilizzate	"	130
4.2.1.	Simboli	"	130
4.2.2.	Acronimi	"	132
4.2.3.	Unità di misura	"	132
4.3.	I solai in latero-cemento	"	132
4.4.	Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008	"	133
4.5.	Procedimento di calcolo e verifica	"	134
4.5.1.	Analisi dei carichi	"	134
4.5.2.	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione	"	134
4.5.3.	Verifica a flessione allo SLU ed allo SLE	"	136
4.5.4.	Verifica di resistenza a taglio	"	138
4.5.5.	Verifica di deformabilità	"	140
4.6.	ESEMPI	"	141
4.6.1.	Esempio 1 – Solaio in semplice appoggio	"	141
4.6.2.	Esempio 2 – Solaio in semplice appoggio snello	"	147
4.6.3.	Esempio 3 – Solaio su 3 appoggi	"	148
4.6.4.	Esempio 4 – Solaio su 4 appoggi	"	149
4.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	150
4.7.1.	Dati di input	"	150
4.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	152
4.7.3.	Esempi applicativi	"	155
5.	PROGETTAZIONE E VERIFICA DI SOLETTE COMPOSTE CON LAMIERA GRECATA	"	160
5.1.	Normative di riferimento e bibliografia	"	160
5.2.	Convenzioni utilizzate	"	160
5.2.1.	Simboli	"	160
5.2.2.	Acronimi	"	162
5.2.3.	Unità di misura	"	162
5.3.	Solette composte con lamiera grecata	"	162
5.4.	Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008 e dell'Eurocodice 4	"	162
5.5.	Procedimento di calcolo e verifica	"	164
5.5.1.	Analisi dei carichi	"	165

5.5.2.	Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione	"	165
5.5.3.	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione.....	"	166
5.5.4.	Verifica a flessione allo SLU	"	167
5.5.5.	Verifica di resistenza a taglio allo SLU	"	169
5.5.6.	Verifica di resistenza della soletta.....	"	169
5.5.7.	Verifica di deformabilità.....	"	171
5.6.	ESEMPI.....	"	172
5.6.1.	Esempio 1 – Soletta in semplice appoggio	"	172
5.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	177
5.7.1.	Dati di input	"	177
5.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	179
5.7.3.	Esempi applicativi	"	182
6.	GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE	"	184
6.1.	Contenuti del cd-rom allegato	"	184
6.2.	Requisiti minimi hardware e software.....	"	184
6.3.	Procedura per la richiesta della password utente.....	"	184
6.4.	Procedura per l'installazione del software	"	185
6.5.	Procedura per la registrazione del software	"	185

Capitolo 1

Progettazione e verifica di travi in legno▷ **1.1. NORMATIVE DI RIFERIMENTO E BIBLIOGRAFIA**

- [1] D.M. 14 gennaio 2008 “*Norme tecniche per le costruzioni*”.
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 “*Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008*”.
- [3] Eurocodice 5 UNI EN 1995-1-10:2005 “*Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici*”.
- [4] CNR-DT 206/2007 “*Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno*”, Rev. 7 ottobre 2008.

▷ **1.2. CONVENZIONI UTILIZZATE****1.2.1. Simboli**– *Lettere maiuscole latine*

A	Area della sezione trasversale
E	Modulo di elasticità normale
$E_{0,m}$	Modulo di elasticità medio parallelo alla fibra
$E_{90,m}$	Modulo di elasticità caratteristico ortogonale alla fibra
E_k	Modulo di elasticità caratteristico parallelo alla fibra
G_1	Carico permanente strutturale
G_2	Carico permanente non strutturale
G_m	Modulo di taglio medio
J	Modulo di inerzia
L	Lunghezza
L_{eff}	Lunghezza efficace della trave
L_1	Distanza tra due vincoli successivi
L_L	Lunghezza libera o luce della trave
M	Momento flettente
M_{Ed}	Momento flettente sollecitante
$M_{Ed,G}$	Momento flettente sollecitante dovuto ai soli carichi permanenti
$M_{Ed,SLU}$	Momento flettente sollecitante allo stato limite ultimo
M_{max}	Momento flettente massimo
$M_{y,Ed}$	Momento flettente sollecitante attorno all’asse y
$M_{z,Ed}$	Momento flettente sollecitante attorno all’asse z
P	Carico concentrato
Q	Carico variabile

Q_1	Carico variabile principale
V	Taglio
V_{Ed}	Valore di progetto del taglio sollecitante
$V_{Ed,G}$	Valore di progetto del taglio sollecitante dovuto ai carichi permanenti
$V_{Ed,SLU}$	Valore di progetto del taglio sollecitante allo stato limite ultimo
V_{max}	Valore massimo del taglio
$V_{y,Ed}$	Componente del taglio di progetto in direzione y
$V_{z,Ed}$	Componente del taglio di progetto in direzione z
W	Modulo di resistenza
W_y	Modulo di resistenza rispetto all'asse y
W_z	Modulo di resistenza rispetto all'asse z
X_d	Valore di progetto della proprietà X del materiale
X_k	Valore caratteristico della proprietà X del materiale

– *Lettere minuscole latine*

a	Coefficiente di calcolo per carichi concentrati
b	Larghezza della sezione rettangolare
$f_{c,0,k}$	Resistenza caratteristica per compressione parallela alla fibra
$f_{c,90,k}$	Resistenza caratteristica per compressione ortogonale alla fibra
$f_{m,d}$	Resistenza di progetto per flessione del legno
$f_{m,k}$	Resistenza caratteristica per flessione del legno
$f_{m,y,d}$	Resistenza di calcolo a flessione nel piano xz
$f_{m,z,d}$	Resistenza di calcolo a flessione nel piano xy
$f_{t,0,k}$	Resistenza caratteristica per trazione parallela alla fibra
$f_{t,90,k}$	Resistenza caratteristica per trazione ortogonale alla fibra
$f_{v,d}$	Resistenza di progetto a taglio del legno
$f_{v,k}$	Resistenza caratteristica a taglio del legno
h	Altezza della sezione rettangolare
i	Interasse
$k_{crit,m}$	Coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di trave
k_{def}	Coefficiente che tiene conto dell'effetto del tempo sulla deformabilità
k_m	Coefficiente che tiene conto della redistribuzione delle tensioni e della disomogeneità delle sezioni
k_{mod}	Coefficiente correttivo che tiene conto sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura
q	Carico distribuito
q_G	Carico permanente distribuito
$q_{G,SLU}$	Carico permanente distribuito allo stato limite ultimo
q_Q	Carico variabile distribuito
$q_{Q,SLER}$	Carico variabile distribuito nella condizione di carico caratteristica o rara
q_{SLU}	Carico distribuito allo SLU
u	Deformazione verticale
u_0	Controfreccia iniziale
$u_{2,in}$	Deformazione verticale istantanea per carichi variabili (notazione CNR)
$u_{2,fin}$	Deformazione verticale finale totale per carichi variabili (notazione CNR)

u_{fin}	Deformazione verticale finale totale
$u_{fin,G}$	Deformazione verticale finale dovuta ai carichi permanenti nel lungo termine (notazione Eurocodice)
$u_{fin,Q,l}$	Deformazione verticale finale per carichi variabili (notazione Eurocodice)
$u_{G,in}$	Deformazione iniziale dovuta ai carichi permanenti istantanei
$u_{G,fin}$	Deformazione finale dovuta ai carichi permanenti nel lungo termine
u_{in}	Deformazione iniziale totale
$u_{inst,G}$	Deformazione istantanea per carichi permanenti (notazione Eurocodice)
$u_{inst,Q,l}$	Deformazione istantanea per carichi variabili (notazione Eurocodice)
$u_{net,fin}$	Deformazione verticale netta finale
$u_{net,fin,lim}$	Valore limite della deformazione verticale netta finale
$u_{Q,in}$	Deformazione iniziale dovuta ai carichi variabili istantanei
$u_{Q,in,lim}$	Valore limite della deformazione verticale iniziale per carichi variabili
$u_{Q,fin}$	Deformazione finale dovuta ai carichi variabili nel lungo termine
$u_{Q,fin,lim}$	Valore limite della deformazione verticale finale per carichi variabili
w_{creep}	Deformazione dovuta alla deformazione plastica (notazione Eurocodice)
w_{fin}	Deformazione finale (notazione Eurocodice)
w_{inst}	Deformazione istantanea (notazione Eurocodice)
$w_{net,fin}$	Deformazione netta finale (notazione Eurocodice)

– *Lettere maiuscole greche*

Ψ	Coefficiente di combinazione
Ψ_2	Coefficiente di combinazione dell'azione variabile per la combinazione di carico quasi-permanente

– *Lettere minuscole greche*

α	Coefficiente per il calcolo del momento flettente sollecitante
β	Coefficiente per il calcolo del taglio sollecitante
χ	Coefficiente per il calcolo dello spostamento verticale
γ_M	Coefficiente parziale di sicurezza per una proprietà del materiale, che tiene conto solo delle incertezze sulla stessa proprietà del materiale
ρ	Densità
ρ_k	Massa volumica caratteristica
ρ_m	Massa volumica media
ρ_{mean}	Massa volumica media del legno
$\sigma_{m,d}$	Tensione di calcolo massima per flessione
$\sigma_{m,y,d}$	Tensione di calcolo massima per flessione nel piano xz
$\sigma_{m,z,d}$	Tensione di calcolo massima per flessione nel piano xy
τ_d	Tensione tangenziale massima di calcolo
θ	Angolo di rotazione della sezione trasversale rispetto all'asse orizzontale

1.2.2. Acronimi

- *SLU* Stato Limite Ultimo
- *SLE* Stato Limite di Esercizio

- *SLER* Stato Limite di Esercizio (combinazione Rara)
- *SLEF* Stato Limite di Esercizio (combinazione Frequente)
- *SLEQ* Stato Limite di Esercizio (combinazione Quasi permanente)

1.2.3. Unità di misura

Le unità di misura utilizzate sono:

- Forze in Newton (N), chiloNewton (kN), chilogrammi (kg), tonnellate (t)
- Lunghezze in metri (m), centimetri (cm), millimetri (mm)
- Superfici in metri quadrati (m²), centimetri quadrati (cm²), millimetri quadrati (mm²)
- Angoli in gradi sessadecimali (°)
- Tempo in secondi (s)
- Temperatura in gradi centigradi (°C)

Per le forze si adotta la convenzione:

$$1 \text{ kg} = 10 \text{ N}$$

▷ 1.3. LE TRAVI IN LEGNO

Le travi in legno sono elementi strutturali molto comuni e non è raro per un progettista dover dimensionare questi elementi strutturali sia in interventi di ristrutturazione che in interventi di nuova edificazione.

Le travi possono essere realizzate in legno massiccio (uso Fiume o uso Trieste), ad esempio le strutture portanti e di copertura degli edifici esistenti in muratura, o in legno lamellare, ad esempio i sistemi di copertura con grandi luci di impianti sportivi o commerciali.

Le travi in quanto tali sono soggette a sollecitazioni flessionali e taglianti e la sicurezza di questi elementi deve essere valutata ogni qualvolta vengano utilizzate come struttura portante.

Nel seguito si trattano le travi con sezione rettangolare costante.

▷ 1.4. INDICAZIONI DEL D.M. 14 GENNAIO 2008, DEL CNR-DT 206/2007 E DELL'EUROCODICE 3

La Normativa Italiana tratta le strutture in legno sia nel Capitolo 4 (vedi § 4.4 [1]) che nel Capitolo 7 (vedi § 7.7 [1]). Nel Capitolo 4 si trovano tutte le indicazioni che occorrono per verificare le singole travi mentre nel Capitolo 7 si trovano le istruzioni per le verifiche sismiche di interesse strutture in legno. Per lo studio delle travi semplici ci si può limitare alle indicazioni del Capitolo 4.

I punti fondamentali per la corretta verifica di una trave in legno secondo quanto previsto dalla Normativa Italiana sono i seguenti:

- individuazione della classe di durata del carico;
- individuazione della classe di servizio;
- definizione delle resistenze di calcolo;
- calcolo delle resistenze delle membrature nei confronti degli SLU;
- calcolo della deformazione verticale per gli SLE;
- verifica nei confronti di fenomeni di instabilità.

Nel Capitolo 4 (vedi § 4.4.4 [1]) viene definita la classe di durata del carico (vedi Tab. 4.4.I [1]).

Le classi individuate sono:

- Permanente – carichi dovuti al peso proprio o carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura;
- Lunga Durata – carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura o i carichi variabili di magazzini e depositi;
- Media Durata – carichi variabili tipici degli edifici;
- Breve Durata – carichi variabili per neve qualora inferiori ad una settimana;
- Istantanei – carichi quali azione del vento o azioni eccezionali.

Per quanto concerne la classe di servizio questa viene individuata in funzione dell'umidità dell'ambiente (vedi Tab. 4.4.II [1]).

La classificazione è la seguente:

- *Classe di servizio 1*: ambiente a 20°C e umidità non superiore a 65%;
- *Classe di servizio 2*: ambiente a 20°C e umidità non superiore a 85%;
- *Classe di servizio 3*: umidità superiore a 85%.

Sempre nelle Norme Tecniche [1] si indica il metodo per la valutazione del valore di calcolo X_d di una qualsiasi proprietà del materiale, che si ottiene moltiplicando il valore caratteristico per un coefficiente correttivo k_{mod} e poi dividendolo per un coefficiente di sicurezza del materiale:

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

dove:

- k_{mod} è un coefficiente correttivo che tiene conto sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura, e viene tabulato (vedi Tab. 4.4.IV [1]) in funzione della classe di durata del carico e della classe di servizio;
- γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale differenziato in funzione della tipologia del legno (vedi Tab. 4.4.III [1]).

Per le travi in legno massiccio:

$$\gamma_M = 1,50$$

Per le travi in legno lamellare:

$$\gamma_M = 1,45$$

Per quanto riguarda la valutazione delle proprietà meccaniche del legname da costruzione si può fare riferimento alle classi di resistenza che per ogni specie e categoria individuano i valori numerici di resistenza, rigidezza e massa.

La classificazione in classi di resistenza è reperibile nell'Appendice C del documento del CNR [4], dove nelle tabelle 18-1, 18-2, 18-3 e 18-4 vengono riportate le classi di resistenza e le relative proprietà meccaniche previste nel documento EN 338 per legno di conifere e pino e legno di latifoglie, nel documento EN 11035 per le specie legnose di provenienza italiana e nel documento EN 1194 per legno lamellare omogeneo e combinato.

Per ogni classe di resistenza vengono specificati i seguenti valori:

- $f_{m,k}$ Resistenza caratteristica per flessione;
- $f_{t,0,k}$ Resistenza caratteristica per trazione parallela alla fibra;
- $f_{t,90,k}$ Resistenza caratteristica per trazione ortogonale alla fibra;

- $f_{c,0,k}$ Resistenza caratteristica per compressione parallela alla fibra;
- $f_{c,90,k}$ Resistenza caratteristica per compressione ortogonale alla fibra;
- $f_{v,k}$ Resistenza caratteristica a taglio;
- $E_{0,m}$ Modulo di elasticità medio parallelo alla fibra;
- E_k Modulo di elasticità caratteristico parallelo alla fibra;
- $E_{90,m}$ Modulo di elasticità caratteristico ortogonale alla fibra;
- G_m Modulo di taglio medio;
- ρ_k Massa volumica caratteristica;
- ρ_m Massa volumica media.

Per quanto riguarda la resistenza delle membrature, si possono calcolare le tensioni interne nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e di una relazione lineare tra tensioni e deformazioni fino alla rottura. Nel paragrafo § 4.4.8.1 [1] vengono proposti modelli tensionali semplificati.

Dato che la resistenza dei materiali cambia anche in funzione della classe di durata del carico, le verifiche di resistenza devono essere condotte sia per la combinazione che prevede solo carichi permanenti che per quella che prevede anche i carichi variabili.

Il sistema di riferimento utilizzato nelle Norme Tecniche [1] è quello che vede l'asse x disposto lungo l'asse della trave e gli assi y e z disposti nel piano ortogonale all'asse x. In particolare per le travi a sezione rettangolare l'asse y è quello che identifica il piano orizzontale e l'asse z è quello che identifica il piano verticale.

Per la valutazione della sicurezza nei confronti della resistenza a flessione devono essere verificate le seguenti condizioni:

$$\begin{aligned}(\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) + k_m (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}) &\leq 1 \\ k_m (\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) + (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}) &\leq 1\end{aligned}$$

dove:

- $\sigma_{m,y,d}$ è la tensione di calcolo massima rispetto all'asse y;
- $\sigma_{m,z,d}$ è la tensione di calcolo massima rispetto all'asse z;
- $f_{m,y,d}$ è la resistenza di calcolo a flessione rispetto all'asse y;
- $f_{m,z,d}$ è la resistenza di calcolo a flessione rispetto all'asse z;
- k_m è un coefficiente che tiene conto della redistribuzione delle tensioni e della disomogeneità delle sezioni.

Il valore di k_m per sezioni rettangolari deve essere assunto pari a:

$$k_m = 0,7$$

Per la valutazione della sicurezza nei confronti del taglio deve essere verificata la seguente condizione:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

dove:

- τ_d è la massima tensione tangenziale di calcolo, valutata secondo la teoria di Jourawski;
- $f_{v,d}$ è la resistenza di calcolo a taglio e vale:

$$f_{v,d} = f_{v,k} / \gamma_M$$

Per le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine (per la quale viene specificato il valore di un fattore correttivo k_{def}), ma la normativa italiana [1] non specifica né alcun metodo di calcolo, né alcun valore limite per queste deformazioni. Per il calcolo delle deformazioni si farà riferimento alle indicazioni dell'Eurocodice 5 [3].

L'Eurocodice 5, al punto 2.2.3(2) [3], specifica che la deformazione istantanea u_{inst} deve essere calcolata per la combinazione caratteristica delle azioni utilizzando i valori medi dei moduli di elasticità normale, a taglio e scorrimento. Al punto 2.2.3(3) [3], specifica che la deformazione totale finale deve essere calcolata per la combinazione quasi permanente delle azioni.

Infine sempre l'Eurocodice 5, al punto 2.2.3(5) [3], specifica come devono essere calcolati e combinati i singoli contributi dei carichi per valutare la deformazione totale finale, nell'ipotesi dell'esistenza di una relazione lineare tra le azioni e le deformazioni:

$$\begin{aligned}u_{fin} &= u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} \\u_{fin,G} &= u_{inst,G} (1 + k_{def}) \\u_{fin,Q,1} &= u_{inst,Q,1} (1 + \Psi_{2,1} k_{def})\end{aligned}$$

dove:

- $u_{inst,G}$ è la deformazione istantanea per carichi permanenti;
- $u_{inst,Q,1}$ è la deformazione istantanea per carichi variabili;
- $\Psi_{2,1}$ è il fattore di combinazione dell'azione variabile per la combinazione di carico quasi-permanente;
- k_{def} è il fattore che tiene conto dell'effetto del tempo sulla deformabilità.

Per quanto riguarda i valori limite di deformazione possiamo trovare indicazioni sia sull'Eurocodice 5 (Table 7.2 [3]) che sul CNR-DT 206/2007 (§ 6.4.3 [4]).

L'Eurocodice 5 (§ 7.2 [3]) per le travi indica i limiti seguenti:

- Per travi con doppio appoggio (Eurocodice 5):

$$w_{inst} \leq L / 300 \div L / 500$$

$$w_{net,fin} \leq L / 250 \div L / 350$$

$$w_{fin} \leq L / 150 \div L / 300$$

- Per travi a sbalzo (Eurocodice 5):

$$w_{inst} \leq L / 150 \div L / 250$$

$$w_{net,fin} \leq L / 125 \div L / 175$$

$$w_{fin} \leq L / 75 \div L / 150$$

dove:

- w_{inst} è la deformazione verticale istantanea;
- w_{fin} è la deformazione finale;
- $w_{net,fin}$ è la deformazione verticale netta finale.