

Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Corso di
Tecnica delle Costruzioni

METODO DEGLI STATI LIMITE

Prof. Ing. Natalino Gattesco

BIBLIOGRAFIA

Eurocodice 1 – “Azioni sulle costruzioni – Parte 1.1: Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”, UNI EN 1991-1-1

D.M. 17 gennaio 2018 “Norme tecniche per le costruzioni”.

Circolare 21 gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP.

EUROCODICI

EC1 → Azioni sulle strutture

EC2 → Calcestruzzo armato

EC3 → Acciaio

EC4 → Strutture miste

EC5 → Legno

EC6 → Muratura

EC7 → Geotecnica

EC8 → Sismica



INTRODUZIONE

Le attuali disposizioni normative a livello mondiale prescrivono come metodo di calcolo per le strutture quello che si basa sugli

STATI LIMITE

Tale metodo indica che se si superano questi stati limite la struttura non soddisfa più le esigenze di comportamento per le quali è stata progettata.

In particolare le strutture devono garantire:

- Sicurezza nei confronti di Stati Limite Ultimi (SLU)**
- Sicurezza nei confronti di Stati Limite di Esercizio (SLE)**
- Robustezza nei confronti di Azioni Accidentali.**

STATI LIMITE ULTIMI

Lo stato limite ultimo è definito come lo stato al superamento del quale si ha il collasso strutturale, crolli, perdita di equilibrio, dissesti gravi, ovvero fenomeni che mettono fuori servizio in modo irreversibile la struttura. Il grado di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi dovrà essere, tanto più elevato, quanto più gravi sono le conseguenze dell'evento sfavorevole rappresentato dal raggiungimento di uno stato limite ultimo.

Sono elencati nel seguito alcuni stati limite ultimi tra i più consueti:

- a)* perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte
- b)* deformazioni o movimenti eccessivi
- c)* raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni
- d)* raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme
- e)* raggiungimento della massima capacità di resistenza dei terreni
- f)* rottura di membrature e collegamenti per fatica
- g)* rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo
- h)* instabilità di parti della struttura o del suo insieme.

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Lo stato limite di esercizio è definito come lo stato al superamento del quale corrisponde la perdita di una particolare funzionalità che condiziona o limita la prestazione dell'opera.

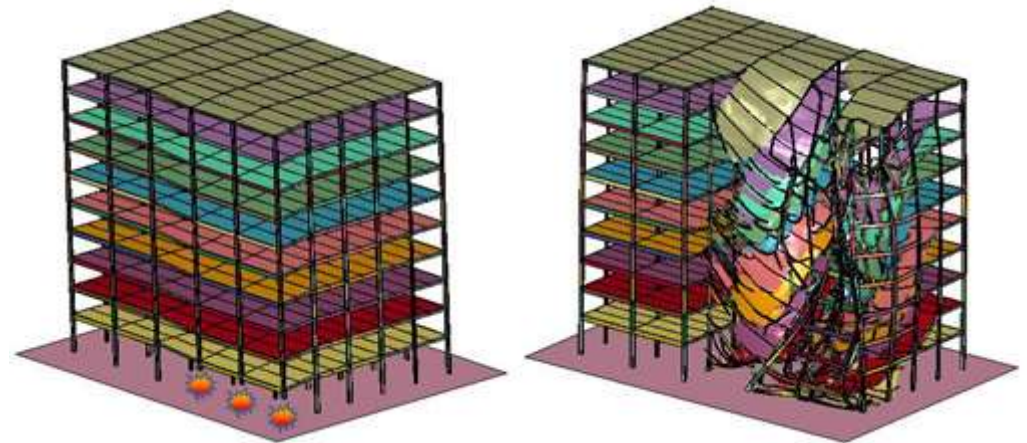
Sono elencati nel seguito alcuni stati limite ultimi tra i più consueti:

- a)* danneggiamenti locali (ad es. fessurazione del calcestruzzo) che possono ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto
- b)* eccessive deformazioni e distorsioni che possono limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto
- c)* eccessive deformazioni o distorsioni che possono compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari
- d)* eccessive vibrazioni che possono compromettere l'uso della costruzione
- e)* danni per fatica che possono compromettere la durabilità
- f)* corrosione e/o degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione.

ROBUSTEZZA

La robustezza di una struttura nei confronti di azioni accidentali consiste nella sua capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali:

- Esplosioni
- Urti
- Conseguenze di errori umani
- Incidenti vari



Ad esempio deve essere evitato il collasso a catena dovuto al cedimento di uno o pochi elementi strutturali (*esplosioni, urti, ecc.*)



VITA NOMINALE DI UN'OPERA STRUTTURALE

La vita nominale di un opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Indicativamente la vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella seguente.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100



AZIONI

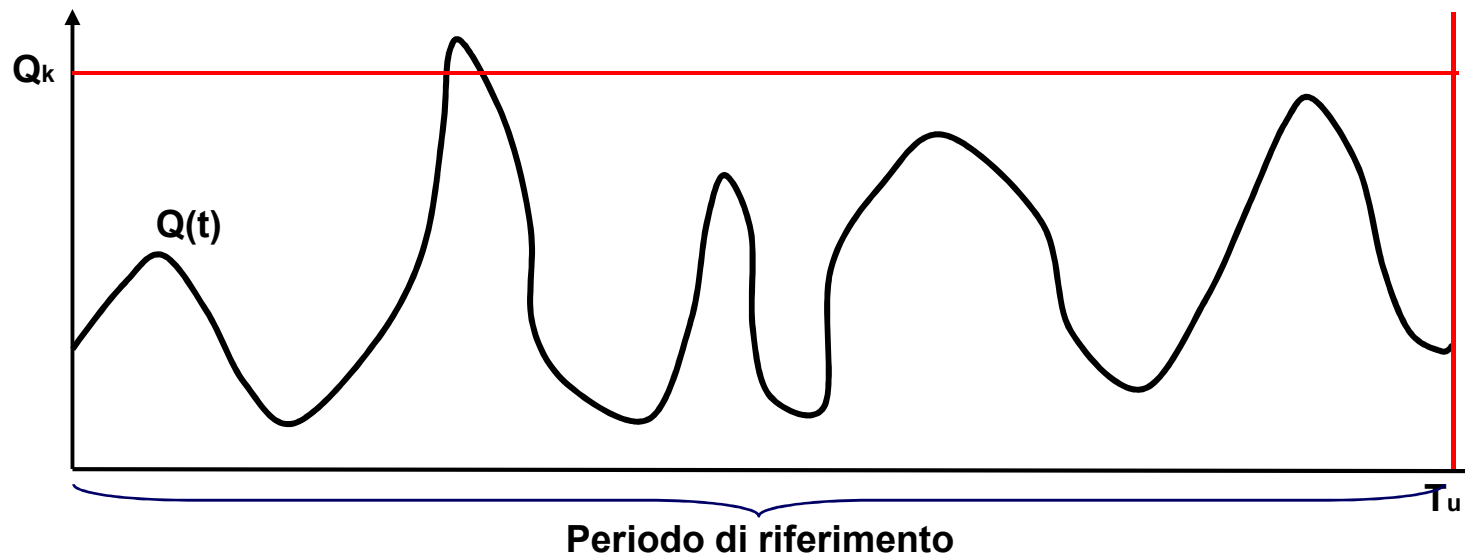
Le azioni sono classificate in :

- **Azioni permanenti G** (*peso proprio strutture e finiture, spinta del terreno o dell'acqua, peso di attrezzature fisse*)
- **Azioni variabili Q** (*carichi di esercizio, vento, neve*)
- **Azioni accidentali A** (*esplosioni o urto di veicoli*)
- **Azioni sismiche E** (*dovute ai terremoti*)

AZIONI CARATTERISTICHE

Per le azioni permanenti si assume come valore caratteristico G_k il valore medio ricavato sulla base dei pesi nell'unità di volume forniti dalle norme (D.M. 17.01.2018 – Norme tecniche per le costruzioni).

Per le azioni variabili si assume come valore caratteristico Q_k il valore corrispondente al frattile pari al 95% della popolazione dei massimi nel periodo di riferimento T_u .



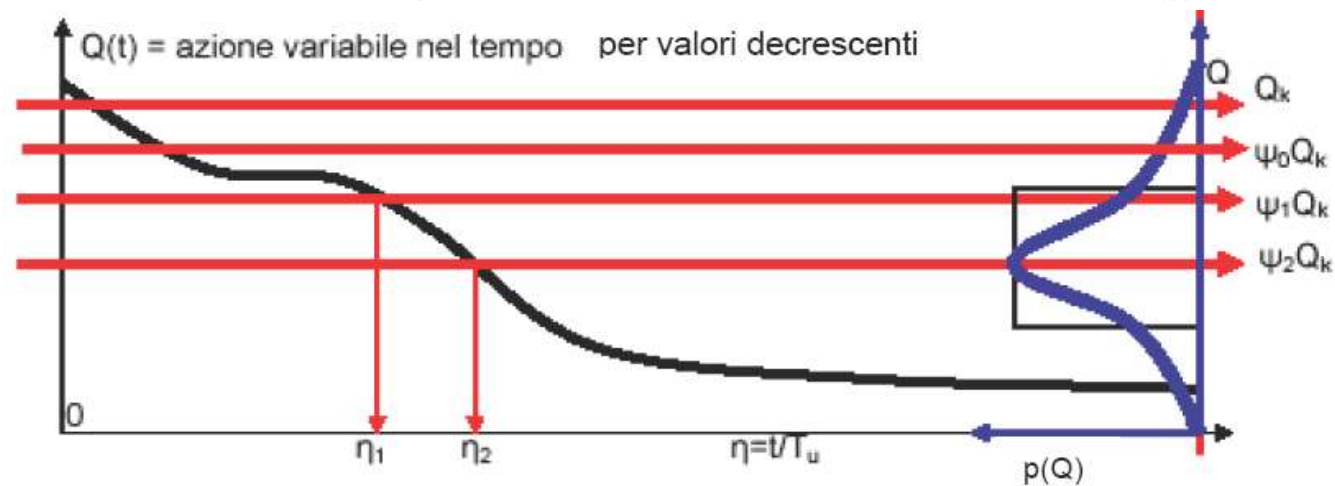
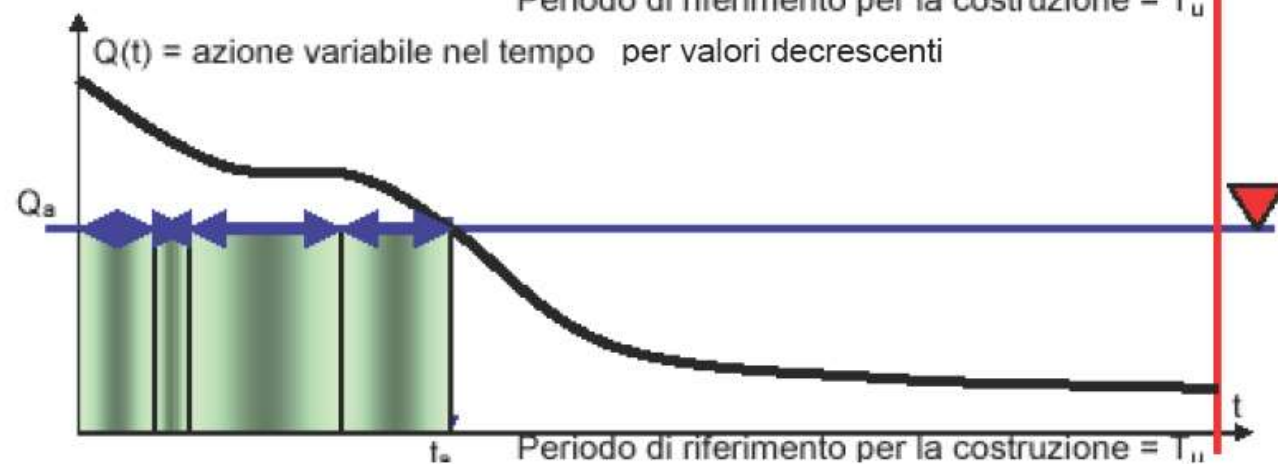
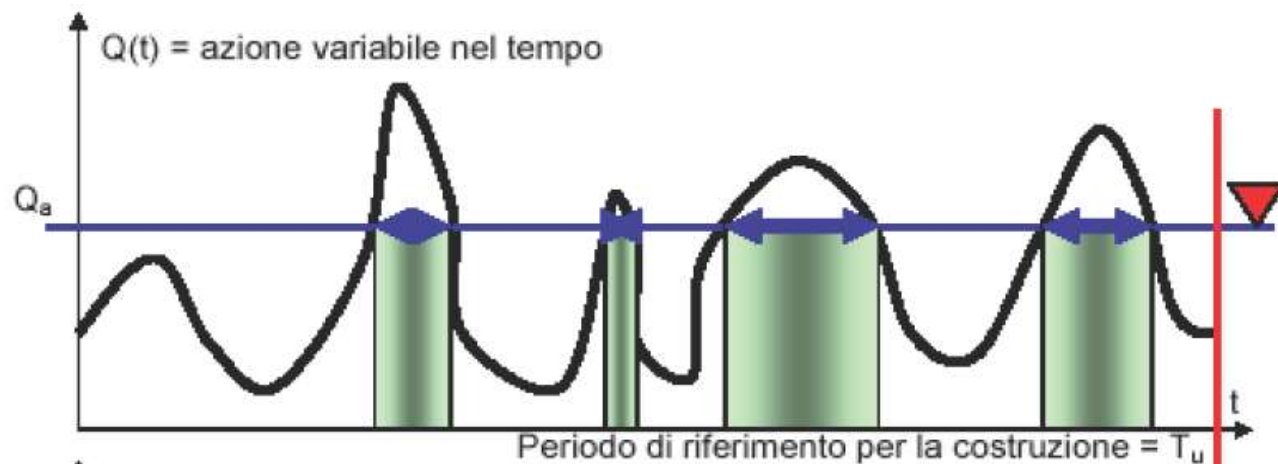
VALORI RAPPRESENTATIVI DELLE AZIONI

Con riferimento alla durata percentuale relativa ai livelli di intensità dell'azione variabile, si definiscono:

- valore quasi permanente $\psi_{2j} \cdot Q_{kj}$: la media della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore frequente $\psi_{1j} \cdot Q_{kj}$: il valore corrispondente al frattile 95 % della distribuzione temporale dell'intensità e cioè che è superato per una limitata frazione del periodo di riferimento;
- valore raro (o di combinazione) $\psi_{0j} \cdot Q_{kj}$: il valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili.

Esso rappresenta il valore dell'azione da considerare concomitante con il valore caratteristico dell'azione variabile dominante.

Il valore di combinazione è introdotto per tener conto della ridotta probabilità dell'occorrenza simultanea di due o più azioni indipendenti.



COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione Nuove Tecniche per le costruzioni DM 17.01.2018

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

AZIONI DI CALCOLO

Nelle verifiche si fa riferimento ai valori di calcolo delle azioni, che si ottengono da quelli caratteristici o di combinazione moltiplicati per un coefficiente di sicurezza $\gamma_f \geq 1.0$.

SLU $G_d = \gamma_G \cdot G_k$ $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k$ $Q_d = \gamma_Q \cdot \psi_o Q_k$

SLE $G_d = G_k$ $Q_d = Q_k$ $Q_d = \psi_o Q_k$

Questi coefficienti tengono conto della variabilità aleatoria del valore dell'azione, dell'approssimazione del modello assunto, delle incertezze sulle effettive dimensioni delle strutture e finiture.

COEFFICIENTI DI SICUREZZA SLU

I coefficienti di sicurezza parziali per gli Stati Limite Ultimi sono riportati nella tabella che segue (D.M. 17.01.2018)

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

COMBINAZIONE DELLE AZIONI SLU

Per le verifiche agli Stati Limite Ultimi

$$F_d = \gamma_{G1} \cdot G_{k1} + \gamma_{G2} \cdot G_{k2} + \gamma_P \cdot P + \gamma_Q \cdot \left[Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{oi} Q_{ik} \right]$$

Combinazione sismica per le verifiche agli Stati Limite Ultimi

$$F_d = E + G_{k1} + G_{k2} + P + \left[\sum_{i=1}^n \psi_{2i} Q_{ik} \right]$$

Combinazione eccezionale per le verifiche agli Stati Limite Ultimi

$$F_d = G_{k1} + G_{k2} + P + A_d + \left[\sum_{i=1}^n \psi_{2i} Q_{ik} \right]$$

COMBINAZIONE DELLE AZIONI SLE

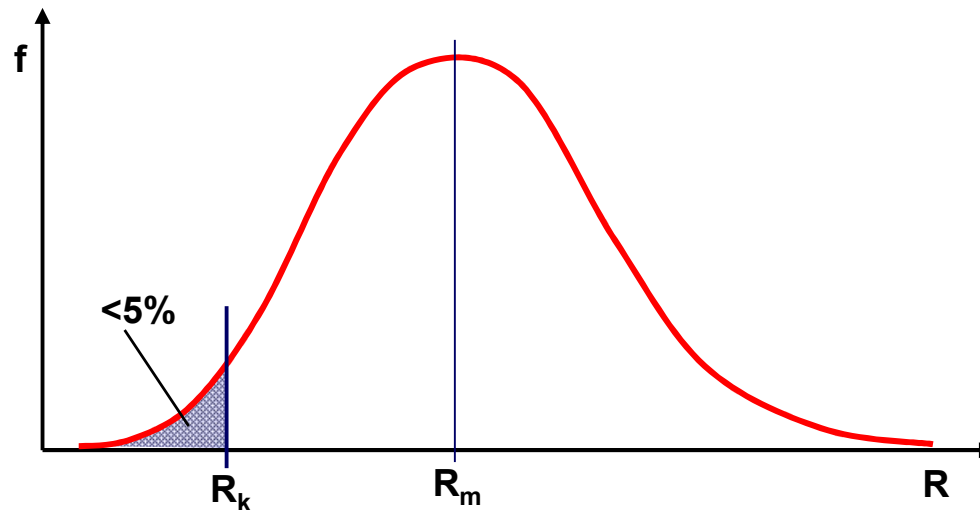
Per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio

- **Combinazioni rare**
$$F_d = G_{k1} + G_{k2} + Q_{1k} + P + \sum_{i=2}^n \psi_{oi} Q_{ik}$$
- **Combinazioni frequenti**
$$F_d = G_{k1} + G_{k2} + P + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$
- **Combinazioni quasi-permanenti**
$$F_d = G_{k1} + G_{k2} + P + \sum_{i=1}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$

RESISTENZE CARATTERISTICHE

Il valore della resistenza caratteristica rappresenta quel valore che ha una probabilità superiore o uguale al 95% di essere superato.

Può essere ricavato eseguendo numerose prove di rottura su campioni del materiale e riportando la distribuzione in frequenza dei valori ottenuti per individuare la porzione di area sottesa dalla curva che rappresenta non più del 5% dell'area totale.



RESISTENZE DI CALCOLO

Nelle verifiche si fa riferimento ai valori di calcolo delle resistenze, che si ottengono da quelli caratteristici divisi per un coefficiente di sicurezza $\gamma_M \geq 1.0$.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

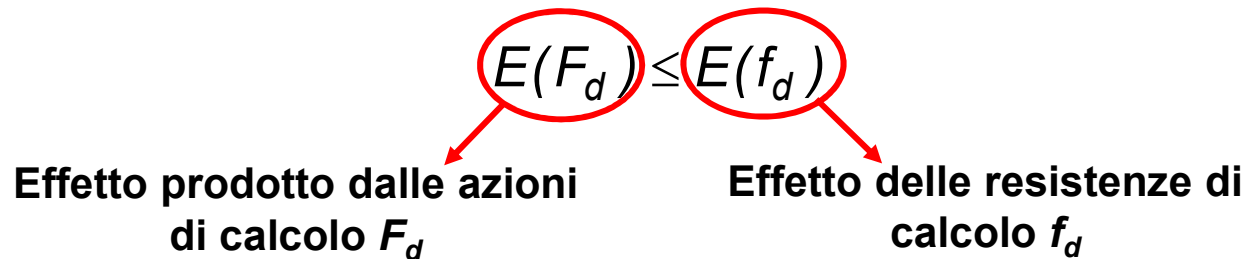
I coefficienti di sicurezza tengono conto della variabilità aleatoria del valore della resistenza, delle diverse condizioni di maturazione tra campione di prova e materiale messo in opera, delle incertezze sulla geometria degli elementi strutturali impiegati, dell'approssimazione del modello di comportamento utilizzato per il materiale.

$$\text{SLU} \left\{ \begin{array}{l} \gamma_m = 1.5 \quad \text{calcestruzzo} \\ \gamma_m = 1.1 \quad \text{acciaio strutturale} \\ \gamma_m = 1.5 \quad \text{legno massiccio} \\ \gamma_m = 2.0 \div 3.0 \quad \text{muratura} \end{array} \right.$$

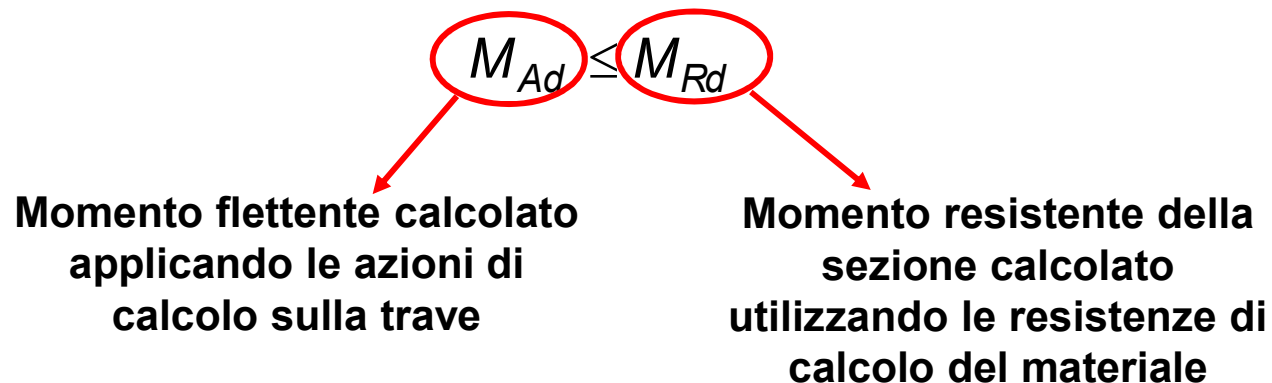
$$\text{SLE} \quad \gamma_m = 1.0$$

VERIFICHE

Le verifiche consistono nel controllare che gli effetti prodotti dalle azioni di calcolo sulla struttura risultino inferiori a quelli accettabili dalla struttura composta con quei materiali.

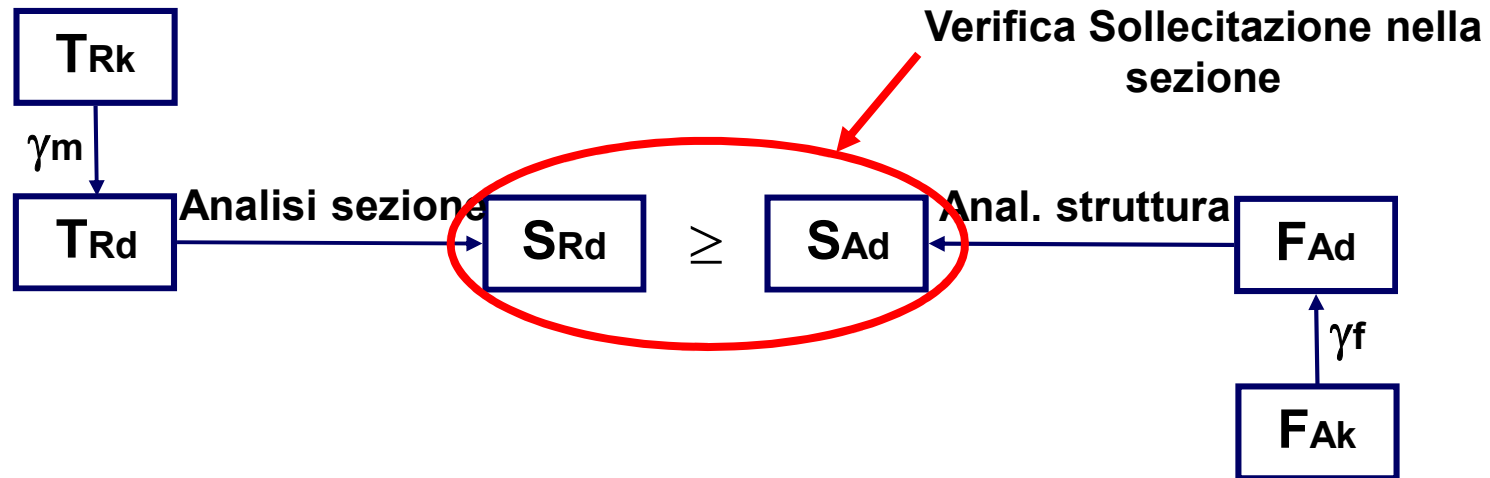


Ad esempio per una verifica allo Stato Limite Ultimo di resistenza a flessione di una sezione di una trave può essere scritto in questo modo



SCHEMA VERIFICHE DI RESISTENZA

Verifica di resistenza SLU (*sollecitazione nella sezione*)



Verifica di resistenza SLU (*tensione nel punto*)

