

5. Stati limite ultimi

5.1. Principi

5.1.1. Generalità

(1) Le strutture di acciaio ed i componenti devono essere dimensionati in modo tale che siano soddisfatti i requisiti per il rispetto dei principi della progettazione allo stato limite ultimo descritti in 2.

(2) I coefficienti parziali di sicurezza γ_M devono essere assunti come segue:

- resistenza delle sezioni trasversali di classe 1 2 o 3	$\gamma_{M0} = 1,1$	(Italia 1,05)
- resistenza delle sezioni trasversali di classe 4	$\gamma_{M0} = 1,1$	(1,05)
- resistenza delle membrature alla instabilità	$\gamma_{M1} = 1,1$	(1,05)
- resistenza delle sezioni nette in corrispondenza delle forature per i bulloni	$\gamma_{M2} = 1,25$	(1,20)
- resistenza dei collegamenti	punto 6	

5.1.2. Progetto dei telai

(1) I telai devono essere verificati per:

- resistenza delle sezioni trasversali (5.4);
- resistenza delle membrature (5.5);
- resistenza dei collegamenti (6);
- stabilità del telaio (5.2.6);
- equilibrio statico (2.3.2.4).

(2) Quando si verifica la resistenza delle sezioni trasversali delle membrature di un telaio, ciascuna membratura può essere trattata considerandola isolata dal telaio, con le forze ed i momenti applicati a ciascuna estremità come determinato dalla analisi del telaio. Si raccomanda di determinare le condizioni di vincolo a ciascuna estremità considerando la membratura quale parte del telaio e garantendo la congruenza con il tipo di analisi (vedere 5.2.1 e 5.2.2) e con le modalità di collasso (vedere 5.2.6).

5.1.3. Membrature tese

(1) Le membrature tese devono essere verificate per:

- la resistenza delle sezioni trasversali (5.4.3).

5.1.4. Membrature compresse

(1) Le membrature compresse devono essere verificate per:

- la resistenza delle sezioni trasversali (5.4.4);
- la resistenza all'instabilità (5.5.1).

5.1.5. Travi

(1) Le membrature soggette alla flessione devono essere verificate per:

- la resistenza delle sezioni trasversali (5.4);
- la resistenza all'instabilità flessio-torsionale (5.5.2);
- la resistenza all'imbozzamento per taglio (5.6);
- la resistenza all'imbozzamento dell'anima indotto dalle ali (5.7.7);
- la resistenza all'imbozzamento dell'anima (5.7.1).

5.1.6. Membrature soggette alla combinazione di forza assiale e momento

(1) Le membrature soggette alla combinazione di forze assiali e momenti devono essere verificate per:

- la resistenza delle sezioni trasversali agli effetti combinati (5.4.);
- la resistenza delle membrature agli effetti combinati (5.5.3 e 5.5.4);
- i criteri per le travi (5.1.5);
- i criteri per le membrature tese (5.1.3) o compresse (5.1.4), secondo quanto appropriato.

5.1.7. Giunzioni e collegamenti

- (1) Le giunzioni ed i collegamenti devono soddisfare i requisiti specificati al punto 6.

5.1.8. Fatica

- (1) Quando una struttura è sottoposta a fluttuazioni ripetute dei carichi, deve essere verificata la sua resistenza a fatica.
- (2) Per costruzioni di acciaio con profilati laminati a caldo e per sezioni strutturali cave lavorate a caldo o a freddo si devono soddisfare i requisiti dati al punto 9.
- (3) *Per costruzioni di acciaio con profilati sagomati a freddo le regole di progettazione fornite nella ENV 1993-1-3 (Eurocodice 3: Parte 1.3) riguardano solo strutture caricate prevalentemente in maniera statica. Si raccomanda di non utilizzare i profilati sagomati a freddo nelle strutture soggette a fatica a meno che non siano disponibili dati adeguati che dimostrino che la resistenza a fatica è sufficiente.*
- (4) **Per le strutture degli edifici la verifica a fatica non è normalmente richiesta eccetto che per:**
- le membrature che sostengono **dispositivi di sollevamento o carichi mobili;**
 - le membrature che sostengono **macchine vibranti;**
 - le membrature sottoposte ad **oscillazioni indotte dal vento;**
 - le membrature soggette ad **oscillazioni indotte dalla folla.**

5.2. Calcolo delle sollecitazioni

5.2.1. Analisi globale

5.2.1.1. Metodi di analisi

- (1) In una struttura isostatica le sollecitazioni interne devono essere determinate con i metodi della statica.
- (2) In una struttura **iperstatica** le sollecitazioni interne possono in generale essere determinate usando in alternativa:
- a) **l'analisi elastica globale** (5.2.1.3);
 - b) **l'analisi plastica globale** (5.2.1.4).
- (3) **L'analisi elastica globale può essere usata in tutti i casi.**
- (4) L'analisi **plastica globale** può essere usata **solo quando le sezioni trasversali** della membratura **soddisfano** i requisiti specificati in 5.2.7 e 5.3.3 e l'acciaio soddisfa i requisiti specificati in 3.2.2.2.
- (5) *Quando l'analisi globale è sviluppata applicando i carichi attraverso una serie di incrementi successivi, si può ritenere sufficiente, nel caso delle strutture di edifici, l'adozione di incrementi proporzionali simultanei per tutti i carichi.*

5.2.1.2. Effetti delle deformazioni

- (1) In generale le sollecitazioni interne possono essere determinati attraverso:
- a) la **teoria del primo ordine**, usando la geometria iniziale della struttura;
- oppure:
- c) la **teoria del secondo ordine**, tenendo in considerazione l'influenza delle deformazioni della struttura.
- (2) La teoria del **primo ordine** può essere adottata per l'analisi globale nei seguenti casi:
- a) telai **controventati** (5.2.5.3);
 - b) telai **a nodi fissi** (5.2.5.2);

- c) metodi di progettazione che indirettamente tengono in conto gli effetti del secondo ordine (5.2.6).
- (3) La teoria del secondo ordine può essere impiegata per l'analisi globale in tutti i casi.

5.2.1.3. Analisi elastica globale

- (1) L'analisi elastica globale deve essere basata sulla ipotesi che il comportamento carico-deformazione del materiale sia lineare, qualunque sia il livello di sollecitazione.
- (2) Questa assunzione può essere mantenuta per entrambe le analisi elastiche, del primo e del secondo ordine, anche quando la resistenza della sezione trasversale è stabilita in base alla sua resistenza plastica: vedere 5.3.3.
- (3) Impiegando una analisi elastica del primo ordine, i valori dei momenti flettenti possono essere ridistribuiti modificando i momenti in ciascuna membratura fino al 15% del momento elastico di picco presente in quella membratura, purché:
- le sollecitazioni interne ed i momenti nel telaio rimangano in equilibrio con i carichi applicati; ed inoltre:
 - tutte le membrature nelle quali i momenti vengono ridotti abbiano le sezioni trasversali appartenenti alla classe 1 o alla classe 2 (vedere 5.3).
- (4) Le ipotesi di progetto per i collegamenti devono soddisfare i requisiti specificati in 5.2.2.

5.2.1.4. Analisi plastica globale

- (1) L'analisi plastica globale può essere svolta usando in alternativa:
- i metodi rigido-plastici;
 - i metodi elastico-plastici.
- (2) Si possono usare i seguenti metodi di analisi elastico-plastica:
- elastica-perfettamente plastica;
 - elasto-plastica.
- (3) Quando si usa l'analisi globale plastica, devono essere predisposti vincoli laterali in corrispondenza di tutte le cerniere plastiche dove possano manifestarsi rotazioni plastiche per una qualunque condizione di carico.
- (4) Si raccomanda di predisporre il vincolo entro una distanza, lungo la membratura, rispetto alla posizione teorica della cerniera plastica, non superiore alla metà dell'altezza della membratura stessa.
- (5) Si raccomanda di non usare i metodi rigido-plastici per l'analisi del secondo ordine, ad eccezione dei casi indicati in 5.2.6.3.
- (6) Nella analisi "rigido-plastica" le deformazioni elastiche delle membrature e delle fondazioni sono trascurate e si assume che le deformazioni plastiche siano concentrate in corrispondenza delle cerniere plastiche.
- (7) Nella analisi "elastico-perfettamente plastica" si assume che le sezioni trasversali restino completamente elastiche finché non sia raggiunto il momento resistente plastico e che successivamente divengano completamente plastiche. Si assume che le deformazioni plastiche siano concentrate in corrispondenza delle cerniere plastiche.
- (8) Nella analisi "elasto-plastica" la relazione bi-lineare tensioni-deformazioni indicata nella fig. 5.2.1 può essere impiegata per i tipi di acciaio strutturale specificati nel punto 3. Una relazione più precisa può essere usata in alternativa. La sezione trasversale rimane completamente elastica fino al raggiungimento della resistenza di snervamento nelle fibre esterne. Allorché il momento continua ad incrementare, la sezione gradualmente si snerva e la plasticizzazione si estende nella sezione trasversale mentre le deformazioni plastiche si propagano parzialmente lungo la membratura.
- (9) Al fine di evitare difficoltà di calcolo impiegando un elaboratore elettronico per l'analisi elasto-plastica, in alternativa si può usare, se necessario, la relazione bi-lineare tensioni-deformazioni indicata nella fig. 5.2.2.
- (10) Qualora si effettui una analisi elasto-plastica si può assumere che sia sufficiente, nel caso di strutture per edifici, applicare i carichi attraverso una serie di incrementi, arrestandoli al raggiungimento dell'intero carico

di progetto. Le sollecitazioni interne così determinate vengono poi utilizzate per verificare la resistenza delle sezioni trasversali e la resistenza delle membrature all'instabilità.

(11) Nel caso di strutture per edifici non è solitamente necessario considerare gli effetti della plasticità alternata.

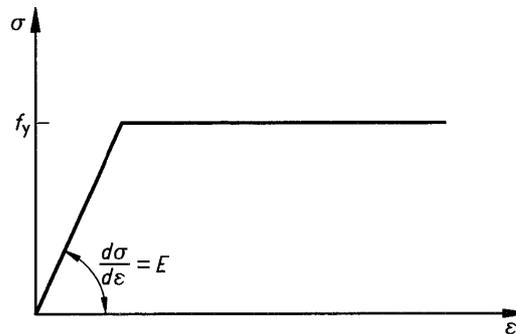
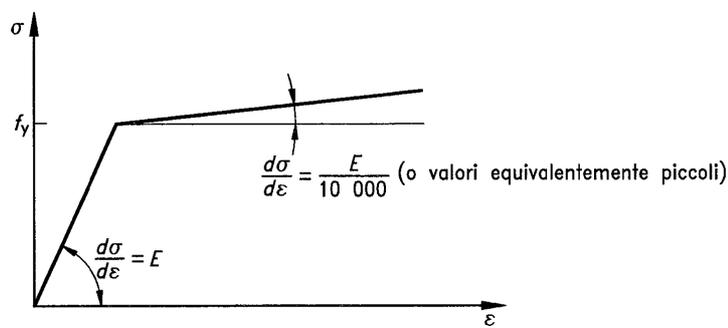


Fig. 5.2.1 - Relazione bi-lineare tensioni-deformazioni



5.2.2. Ipotesi per il progetto

5.2.2.1. Principi

- (1) Le ipotesi formulate nella analisi globale della struttura devono essere congruenti con il tipo di comportamento previsto per i collegamenti.
- (2) Le ipotesi assunte nel progetto delle membrature devono essere conformi con (o conservative rispetto) i metodi usati per l'analisi globale e con il tipo di comportamento previsto per i collegamenti.
- (3) Il prospetto 5.2.1 mostra i tipi di collegamenti richiesti per i diversi tipi di telaio in funzione del metodo di analisi globale usato.
- (4) I requisiti per i vari tipi di collegamenti sono forniti in 6.4.2 e 6.4.3.
- (5) Per la classificazione dei collegamenti trave-colonna nei tipi rigido o semi-rigido vedere 6.9.6.
- (6) Qualora sia necessario calcolare il carico critico elastico di collasso di un telaio per spostamento laterale, si devono considerare gli effetti di ciascun collegamento semi-rigido, indipendentemente dal tipo di analisi, elastica o plastica, che sia usata per l'analisi globale del telaio.
- (7) Quando sono impiegati collegamenti semi-rigidi, si deve usare il valore iniziale della rigidezza rotazionale (vedere 6.9.2) per il calcolo dei carichi critici elastici o delle lunghezze di libera inflessione.

5.2.2.2. Intelaiature semplici

- (1) Nelle intelaiature semplici si può assumere che i collegamenti fra le membrature non sviluppino momenti. Nella analisi globale si può assumere che le membrature siano effettivamente collegate mediante cerniere.
- (2) Si raccomanda che i collegamenti soddisfino i requisiti per i collegamenti idealmente incernierati, in alternativa:
 - a) come indicato in 6.4.2.1 ;

b) come indicato in 6.4.3.1.

5.2.2.3. Intelaiature continue

- (1) *Si raccomanda che l'analisi elastica sia basata sull'ipotesi di una completa continuità, con collegamenti rigidi che soddisfino i requisiti indicati in 6.4.2.2.*
- (2) *Si raccomanda che l'analisi rigido-plastica sia basata sull'ipotesi di una completa continuità, con collegamenti a completo ripristino di resistenza che soddisfino i requisiti indicati in 6.4.3.2.*
- (3) *Si raccomanda che l'analisi elastico-plastica sia basata sull'ipotesi di una completa continuità, con collegamenti rigidi a completo ripristino di resistenza che soddisfino i requisiti indicati in 6.4.2.2 e 6.4.3.2.*

Prospetto 5.2.1 - Ipotesi di progetto

Tipo di intelaiatura	Metodo di analisi globale	Tipi di collegamenti
Semplice	Collegamenti incernierati	- Idealmente incernierati (6.4.2.1) - Idealmente incernierati (6.4.3.1)
Continua	Elastica	- Rigidi (6.4.2.2) - Idealmente incernierati (6.4.3.1)
	Rigido-plastica	- Completo ripristino di resistenza (6.4.3.2) - Idealmente incernierati (6.4.3.1)
	Elastico-plastica	- Completo ripristino di resistenza - Rigidi (6.4.3.2 e 6.4.2.2) - Idealmente incernierati (6.4.3.1 e 6.4.2.1)
Semi-continua	Elastica	- Semi-rigidi (6.4.2.3) - Rigidi (6.4.2.2) - Idealmente incernierati (6.4.2.1)
	Rigido-plastica	- Parziale ripristino di resistenza (6.4.3.3) - Completo ripristino di resistenza (6.4.3.2) - Idealmente incernierati (6.4.3.1)
	Elastico-plastica	- Parziale ripristino di resistenza - Semi-rigidi (6.4.3.3 e 6.4.2.3) - Parziale ripristino di resistenza - Rigidi (6.4.3.3 e 6.4.2.2) - Completo ripristino di resistenza - Semi-rigidi (6.4.3.2 e 6.4.2.3) - Completo ripristino di resistenza - Rigidi (6.4.3.2 e 6.4.2.2) - Idealmente incernierati (6.4.3.1 e 6.4.2.1)

5.2.2.4. Intelaiature semi-continue

- (1) Si raccomanda che l'analisi elastica sia basata sulle **relazioni momento-rotazione o forza-spostamento dei collegamenti** utilizzati e che esse siano previste in maniera affidabile nel progetto.
- (2) Si raccomanda che l'analisi rigido-plastica sia basata sui momenti resistenti di progetto di collegamenti che abbiano dimostrato possedere una capacità di rotazione sufficiente: vedere 6.4.3 e 6.9.5.
- (3) Si raccomanda che l'analisi elastico-plastica sia basata sulle relazioni momento-rotazione dei collegamenti previsti nel progetto, vedere 6.9.2.

5.2.3. Sistemi strutturali

5.2.3.1. Strutture

- (1) Il tipo di analisi globale richiesta dipende dal tipo di struttura, come di seguito indicato:

- (a) Elementi strutturali semplici

Le travi a campata unica e le membrature singole tese o compresse sono isostatiche. I telai a maglie triangolari possono essere isostatici o iperstatici.

- (b) Travi continue e telai a nodi fissi

Per le travi continue e per i telai nei quali gli effetti degli spostamenti laterali sono trascurabili o sono eliminati con mezzi idonei (vedere 5.2.5) si devono analizzare **disposizioni dei carichi variabili appropriate** per determinare le **combinazioni più gravose** delle sollecitazioni ai fini delle verifiche di resistenza delle singole membrature e dei collegamenti.

- (c) Telai a nodi spostabili

I telai a nodi spostabili (vedere 5.2.5) devono essere analizzati per quelle combinazioni dei carichi variabili che siano più gravose per il collasso per spostamento laterale. Inoltre, i telai a nodi spostabili devono anche essere verificati per la condizione a nodi fissi secondo quanto specificato in (b).

- (2) Gli effetti delle **imperfezioni laterali iniziali** (vedere 5.2.4) - e delle imperfezioni delle membrature, qualora necessario [vedere 5.2.4.2(4)] - devono essere incluse nella analisi globale di tutti i telai.

5.2.3.2. Sotto-strutture a telaio

- (1) Per l'analisi globale la struttura può essere suddivisa in un certo numero di sotto-strutture a telaio a condizione che:
- l'interazione strutturale fra le sotto-strutture a telaio sia modellata in modo attendibile;
 - la configurazione delle sotto-strutture a telaio sia appropriata per il sistema strutturale usato;
 - i possibili effetti sfavorevoli dovuti alla interazione fra le sotto-strutture a telaio siano tenuti in considerazione.

5.2.3.3. Rigidezza delle fondazioni

- (1) Devono essere tenute in considerazione le caratteristiche di deformazione delle fondazioni alle quali le colonne sono rigidamente collegate e si devono adottare valori appropriati di rigidezza in tutti i metodi di analisi globale diversi dal metodo rigido-plastico.
- (2) Qualora sia effettivamente impiegata una cerniera, la rigidezza rotazionale della fondazione deve essere assunta pari a zero.
- (3) *Possono anche essere adottati appropriati valori di rigidezza per rappresentare le caratteristiche di rotazione di basi idealmente incernierate.*

5.2.3.4. Intelaiature semplici

- (1) *Metodi adatti alla modellazione di strutture con intelaiature semplici sono riportati nell'appendice H. *)*

5.2.3.5. Intelaiature continue

- (1) *Sotto-strutture a telaio idonee per l'analisi globale di telai a nodi rigidi sono riportate nell'appendice H.*

5.2.3.6. Intelaiature semi-continue

- (1) *Sotto-strutture a telaio idonee possono pure essere utilizzate per l'analisi globale di strutture con intelaiature semi-continue.*