

Corsi di aggiornamento

Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Villa Redenta, Spoleto
febbraio - giugno 2012

Organizzati da Aurelio Gheresi

Con il patrocinio di:
Comune di Spoleto

Ordine degli ingegneri della provincia di Perugia
Ordini degli ingegneri delle province di Ancona, Catania,
Lecce, Messina, Oristano, Parma, Rimini, Siracusa, Viterbo
ATE, Associazione Tecnologi dell'Edilizia, Milano

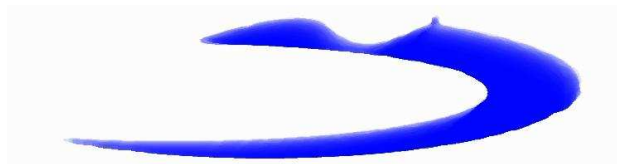
Patrocinio



Comune di Spoleto



ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA PERUGIA



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Oristano



Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

1 - Sicurezza strutturale e metodi di verifica; azioni; materiali

Spoletto
2-4 febbraio 2012
Aurelio Gheresi

Argomenti trattati

- Verifica della sicurezza; azioni; materiali: acciaio e prodotti in acciaio
- Problematiche generali; analisi strutturale; stato limite di esercizio
- Verifiche allo stato limite ultimo di elementi strutturali acciaio:
 - Verifiche di resistenza
 - Verifiche di stabilità
- Verifiche dei collegamenti

Norme di riferimento - generali

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (NTC08)
D.M. 14/1/08
Circolare 2/2/09 n. 617
 - Capitolo 1: Oggetto
 - Capitolo 2: Sicurezza e prestazioni attese
 - Capitolo 3: Azioni sulle costruzioni
- EN 1990. Criteri generali di progettazione strutturale
- EN 1991 (Eurocodice 1). Azioni sulle strutture

Norme di riferimento - acciaio

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (NTC08)
D.M. 14/1/08
Circolare 2/2/09 n. 617
 - Capitolo 4, par. 2: Costruzioni di acciaio
 - Capitolo 11: Materiali e prodotti per uso strutturale
- EN 1993 (Eurocodice 3). Progettazione delle strutture di acciaio.
 - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
 - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti

Norme di riferimento - acciaio

- EN 1993 (Eurocodice 3). Progettazione delle strutture di acciaio.
 - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
 - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
 - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo
 - Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili
 - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra
 - Parte 1-6: Resistenza e stabilità delle strutture a guscio
 - Parte 1-7: Strutture a lastra ortotropa caricate al di fuori del piano

Norme di riferimento - acciaio

- EN 1993 (Eurocodice 3). Progettazione delle strutture di acciaio.
 - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti
 - Parte 1-9: Fatica
 - Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore
 - Parte 1-11: Progettazione di strutture con elementi tesi
 - Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700
 - Altre parti (da 2 a 6): Ponti; Torri e ciminiere; Silos, serbatoi e condotte; Pali; Strutture per apparecchi di sollevamento

Evoluzione della normativa e dei criteri di verifica della sicurezza

Quali sono gli obiettivi della progettazione strutturale?

Una struttura deve essere progettata e costruita in modo che essa, durante la sua vita presupposta, **con adeguato grado di affidabilità** e tenendo conto del costo:

- sia in grado di sopportare tutte le azioni o influenze cui possa essere sottoposta durante la sua realizzazione e il suo esercizio
- rimanga adatta all'uso per il quale è prevista

Quali sono gli obiettivi della progettazione strutturale?

Una struttura deve essere progettata in modo che essa sia in grado di resistere a un adeguato grado di affidabilità a un costo:

- sia in grado di resistere alle influenze della sua realtà

Adeguate grado di affidabilità:

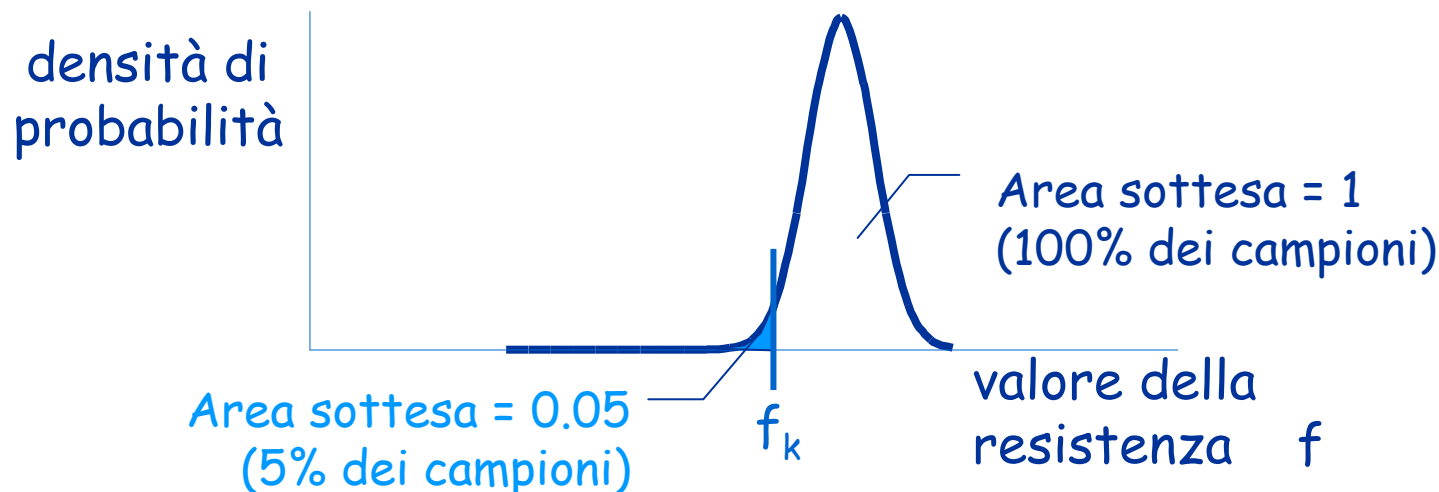
sia la resistenza del materiale che le azioni sulla struttura non sono definite con certezza, quindi dovrebbero essere analizzate in maniera probabilistica

- rimanga adatta all'uso per il quale è prevista

Resistenza dei materiali

Quale valore di riferimento?

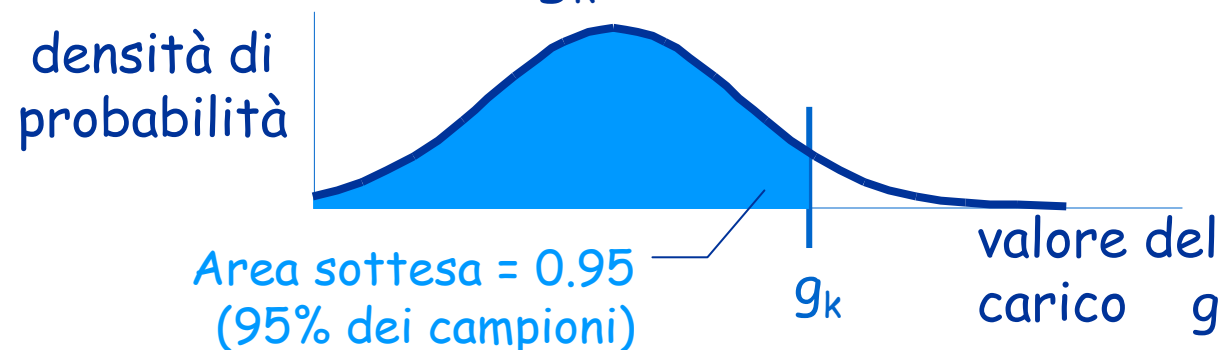
- Per l'acciaio si usa come riferimento un valore nominale (esempio: per S235, $f_y=235$ MPa)
- I controlli imposti garantiscono che solo nel 5% dei casi l'effettiva resistenza sia minore
- Il valore è quindi il frattile 5% della distribuzione probabilistica delle resistenze (valore caratteristico, f_k)



Azioni sulla struttura

Quale valore di riferimento?

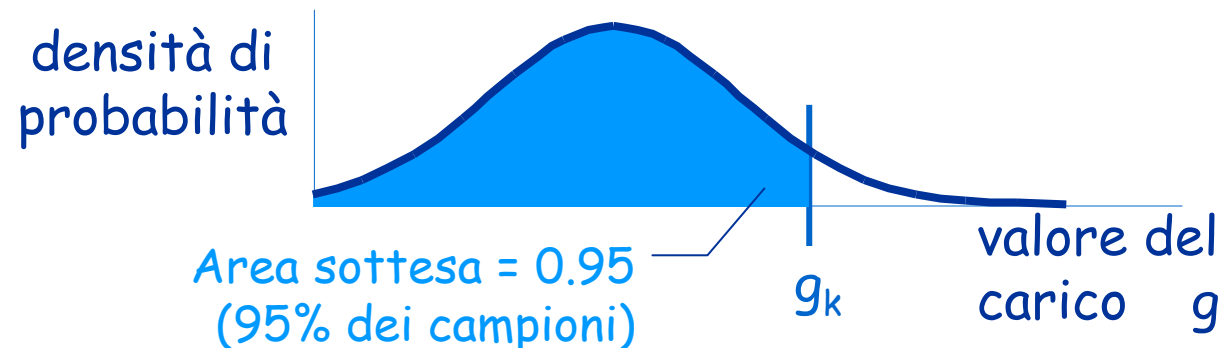
- Per i carichi permanenti spesso si usa come riferimento un valore nominale (esempio: peso proprio della soletta di un solaio)
- Le imprecisioni nella realizzazione possono portare a valori diversi del carico, ma si ritiene che nel 95% dei casi l'effettivo carico sia minore
- Il valore può essere considerato come frattile 95% della distribuzione probabilistica delle azioni (valore caratteristico, g_k)



Azioni sulla struttura

Quale valore di riferimento?

- Per i carichi variabili si usa come riferimento il frattile 95% della distribuzione probabilistica dei valori massimi q_{\max} delle azioni nel tempo considerato (valore caratteristico, q_k)



Come si garantisce una adeguata sicurezza ?

Dipende dagli obiettivi:

- La struttura deve rimanere adatta all'uso per il quale è prevista
 - L'uso dei valori caratteristici può garantire una sufficiente sicurezza

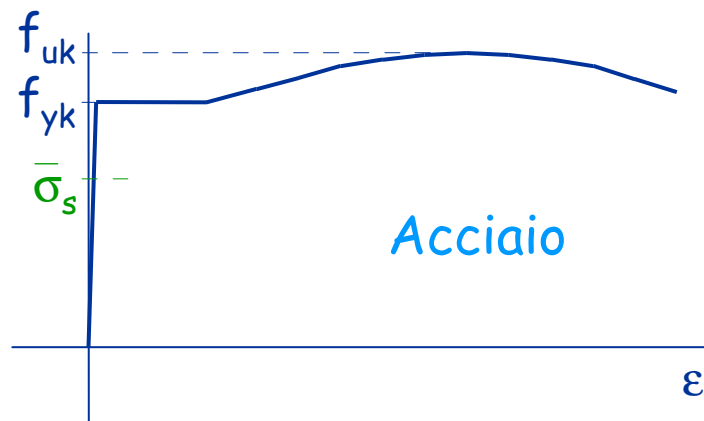
Come si garantisce una adeguata sicurezza ?

Dipende dagli obiettivi:

- La struttura deve rimanere adatta all'uso per il quale è prevista
- La struttura deve essere in grado di sopportare tutte le azioni o influenze cui possa essere sottoposta durante la sua realizzazione e il suo esercizio
 - L'uso dei valori caratteristici non è sufficiente a garantire una sufficiente sicurezza
 - Occorre adottare ulteriori coefficienti di sicurezza

Prima possibilità: applicare un coefficiente di sicurezza alla resistenza

Diagramma sperimentale

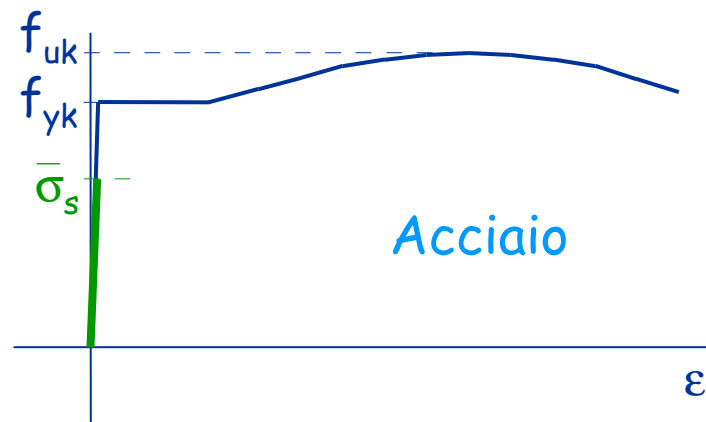


Si considerano "ammissibili" valori delle tensioni molto ridotti rispetto a quelli di rottura

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s = \frac{f_{yk}}{\gamma}$$

Nel passato: coefficienti di sicurezza applicati alla resistenza

Diagramma di calcolo



Per valori delle tensioni inferiori a quelli ammissibili
il legame tensioni-deformazioni è lineare

E' possibile quindi applicare tutte le formule della teoria di
elasticità lineare, il principio di sovrapposizione degli effetti,
ecc. ecc.

Nel passato:
coefficienti di sicurezza applicati alla resistenza

Metodo delle tensioni ammissibili

La verifica consiste nel calcolare la tensione massima (prodotta dalle azioni, prese col valore caratteristico)



e controllare che sia inferiore a quella ammissibile

$$\sigma_{\max} \leq \bar{\sigma}$$

Oggi:

coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

Si parte da considerazioni probabilistiche

- Si dimostra che per avere una bassa probabilità di collasso occorre fare riferimento a valori di carichi e resistenza corrispondenti a differenti probabilità di occorrenza
- Si passa dal valore caratteristico al valore di calcolo applicando un opportuno coefficiente di sicurezza

Resistenze

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

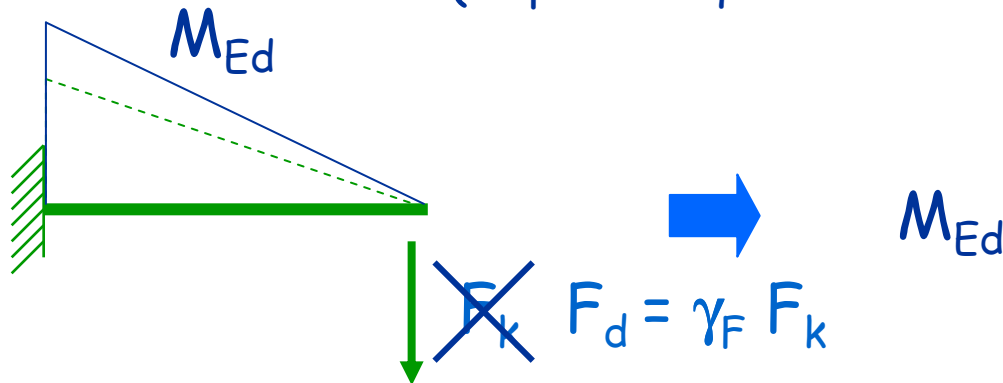
Carichi

$$q_d = \gamma_q q_k$$

Oggi:
coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

Verifica allo stato limite ultimo

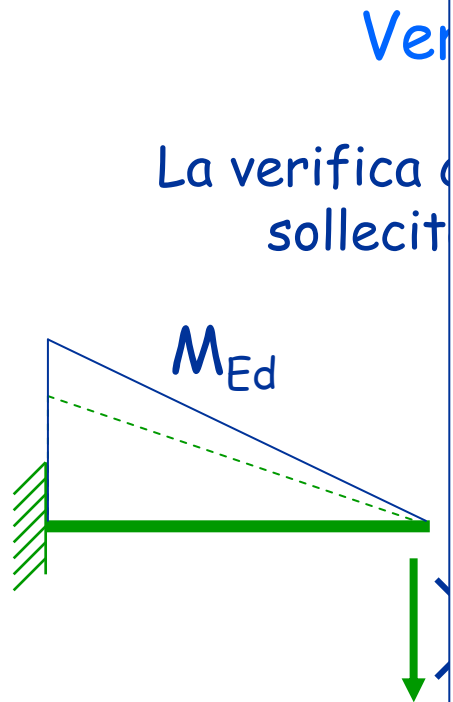
La verifica consiste nel calcolare le caratteristiche di sollecitazione, prodotta da azioni maggiorate (rispetto a quelle caratteristiche)



e controllare che siano inferiori a quelle resistenti, determinate con una resistenza ridotta (rispetto a quella ultima)

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} (f_d = f_k / \gamma_F)$$

Oggi:
coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi



Rispetto alle tensioni ammissibili:

I carichi verticali
sono incrementati
dal 30% al 50%

Le resistenze
sono incrementate
di circa il 50%

Non si può dire a priori
cosa sia più gravoso

e controllare che siano inferiori a quelle resistenti,
determinate con una resistenza ridotta (rispetto a quella ultima)

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} (f_d = f_k / \gamma_F)$$

Oggi:
coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

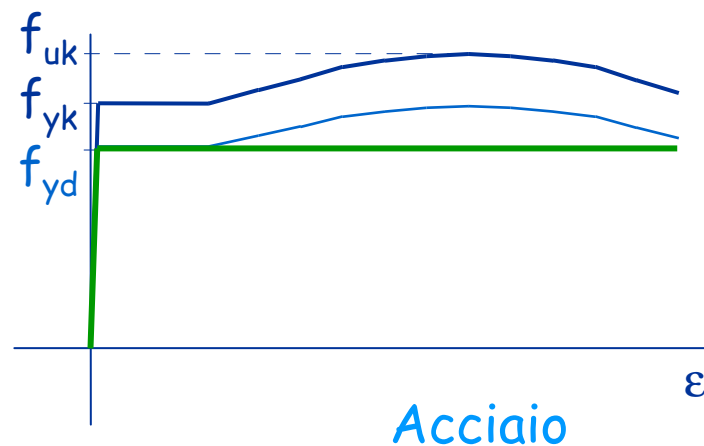
Verifica allo stato limite ultimo

Le caratteristiche di sollecitazione che la sezione può
sopportare devono essere valutate tenendo conto
della non linearità del legame costitutivo

M_{Rd}

Problema
(di cui discutere in seguito)

Perché (o quando) occorre
riferirsi alla tensione di
snervamento f_y anziché a
quella di rottura f_u ?



Oggi:
coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

Verifica allo stato limite ultimo

Le caratteristiche di sollecitazione **che la sezione può sopportare** devono essere valutate tenendo conto della non linearità del legame costitutivo M_{Rd}

Le caratteristiche di sollecitazione **prodotte dai carichi** possono essere valutate con analisi non lineare (non linearità meccaniche), M_{Ed}
ma più comunemente si usa un'analisi lineare

Nelle strutture in acciaio può essere importante tener conto nell'analisi anche delle non linearità geometriche
(analisi del 2° ordine, effetto P- Δ , effetto instabilizzante dei carichi verticali)

Verifica - tensioni ammissibili

1 - Analisi dei carichi

si utilizzano i valori caratteristici

2 - Risoluzione (analisi strutturale)

si utilizza sempre un'analisi lineare;

si ottengono le caratteristiche di sollecitazione (es. M)

3 - Verifica della sezione

si determinano le tensioni massime e le si confronta con quelle ammissibili

in alternativa, si determina la massima caratteristica di sollecitazione sopportabile (es M_{\max}) - che corrisponde al raggiungimento della tensione ammissibile - e la si confronta con quella sollecitante

Verifica - stato limite ultimo

- 1 - Analisi dei carichi
si utilizzano i valori di calcolo circa 1.4 x quelli caratteristici
- 2 - Risoluzione (analisi strutturale)
si utilizza normalmente un'analisi lineare; a volte, analisi non lineare
si ottengono le caratteristiche di sollecitazione (es. M_{Ed})
- 3 - Verifica della sezione
si determina la massima caratteristica di sollecitazione sopportabile (es M_{Rd}) - che corrisponde al raggiungimento della deformazione limite - e la si confronta con quella sollecitante

... Tornando agli obiettivi

Metodo degli stati limite

- Sopportare tutte le azioni . . .

cioè evitare il collasso . . .

Verifica allo stato limite ultimo (SLU)

- Rimanere adatta all'uso . . .

ovvero limitare:

- deformazioni
- fessurazione (per c.a.) ecc.

Verifica allo stato limite di esercizio (SLE)

Carichi

Classificazione delle azioni

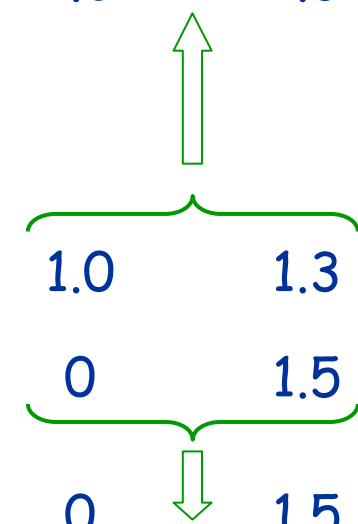
| | | |
|--------------------|---|--|
| Azioni permanenti | G | peso proprio, altri carichi che non variano nel tempo |
| Azioni variabili | Q | carichi variabili di esercizio, carichi da vento o da neve |
| Azioni eccezionali | A | incendi, esplosioni, urti di veicoli |
| Azioni sismiche | E | terremoti |

Azioni

valore di calcolo

Per stato limite STR (resistenza della struttura,
compresi gli elementi di fondazione)

| | | min | max |
|-------|--|-------------------|-----|
| G_1 | carichi permanenti strutturali | γ_{G1} 1.0 | 1.3 |
| G_2 | carichi permanenti non strutturali: se compiutamente definiti | γ_{G2} 1.0 | 1.3 |
| | se non compiutamente definiti | γ_{G2} 0 | 1.5 |
| Q | carichi variabili | γ_Q 0 | 1.5 |



Carichi variabili

sono definiti dalla normativa

| Cat. | Ambienti | q_k [kN/m ²] | Q_k [kN] | H_k [kN/m] |
|------|--|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| A | Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento) | 2,00 | 2,00 | 1,00 |
| B | Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico | 2,00 3,00 | 2,00 2,00 | 1,00 1,00 |
| C | Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune | 3,00 4,00 5,00 | 2,00 4,00 5,00 | 1,00 2,00 3,00 |
| D | Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie... | 4,00 5,00 | 4,00 5,00 | 2,00 2,00 |

Carichi variabili sono definiti dalla normativa

| | | | | |
|--|---|-----------------------------------|-----------|--------|
| E | Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. | | | |
| | Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri | ≥ 6,00 | 6,00 | 1,00* |
| | Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso | — | — | — |
| F-G | Rimesse e parcheggi. | | | |
| | Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN | 2,50 | 2 x 10,00 | 1,00** |
| | Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso | — | — | — |
| H | Coperture e sottotetti | | | |
| | Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione | 0,50 | 1,20 | 1,00 |
| | Cat. H2 Coperture praticabili | secondo categoria di appartenenza | | |
| | Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso | — | — | — |
| * non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati | | | | |
| ** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso | | | | |

NTC08, punto 3.1.4

Carichi variabili

Nelle verifiche allo SLE si usa:

- Il valore caratteristico q_k
 - frattile 95% dei valori massimi che si hanno in un periodo di riferimento
 - è superato durante il periodo di riferimento solo nel 5% degli edifici
- Il valore frequente $\psi_1 q_k$
 - frattile 95% della distribuzione temporale in un periodo di riferimento
 - è superato solo nel 5% del periodo di riferimento
- Il valore quasi permanente $\psi_2 q_k$
 - è la media della distribuzione temporale nel periodo di riferimento

Carichi variabili

Nelle verifiche allo SLU e allo SLE si usa inoltre:

- Il valore di combinazione $\psi_0 q_k$
 - valore di durata breve ma ancora significativo nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili

Valori dei coefficienti

Ψ_0 Ψ_1 Ψ_2

| 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 Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria H Coperture | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 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 |

Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} \gamma_{Qi} Q_{ik}$$

Stato limite di esercizio,
combinazione rara

$$G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} Q_{ik}$$

combinazione frequente

$$G_{1k} + G_{2k} + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$

combinazione quasi permanente

$$G_{1k} + G_{2k} + \sum_{i=1}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$

Materiali

Caratteristiche dell'acciaio

Acciaio = lega ferro-carbonio

Caratteristiche importanti:

- resistenza
- duttilità = capacità di deformarsi plasticamente senza rompersi
- tenacità = capacità di evitare rotture fragili a basse temperature
- saldabilità

Problema:

resistenza al fuoco

Verificata con prova di resilienza

Acciaio per carpenteria metallica:

- basso contenuto di carbonio (0.17-0.22%)
resistenza buona ma non altissima, forte duttilità
- impurità (fosforo, zolfo) negative ma inevitabili
- manganese, silicio
favoriscono la saldabilità

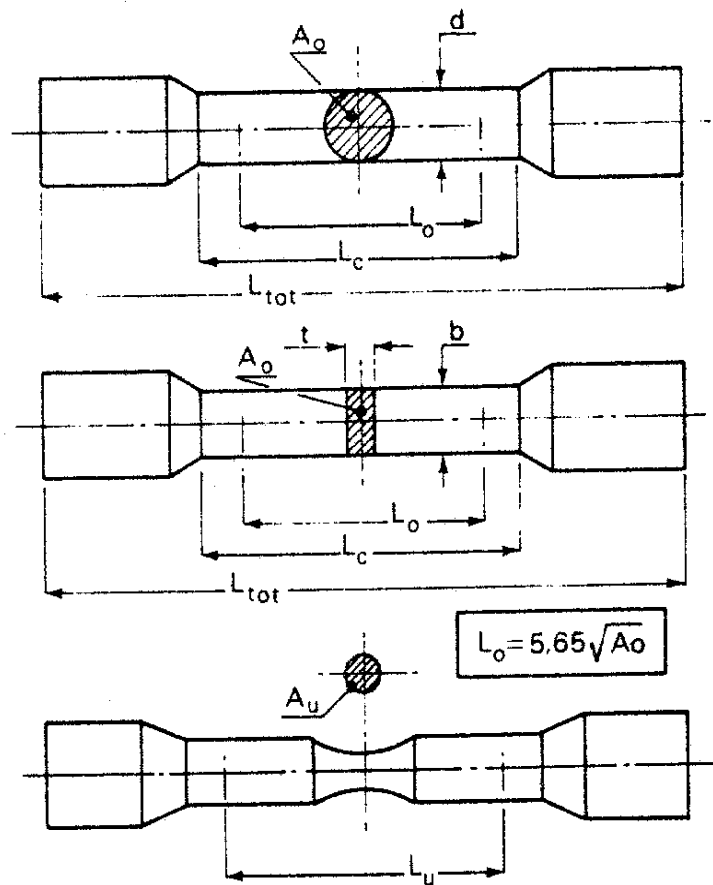
Acciaio effervescente:

$O + C \rightarrow CO$ provoca soffiature

Acciaio calmato o semicalmato

Caratteristiche dell'acciaio

- Prova a trazione



d = diametro della provetta

t = spessore della provetta piatta

b = larghezza della provetta piatta

L_0 = distanza iniziale fra i riferimenti

L_c = lunghezza della parte calibrata

L_{tot} = lunghezza totale della provetta

A_0 = sezione iniziale della parte calibrata

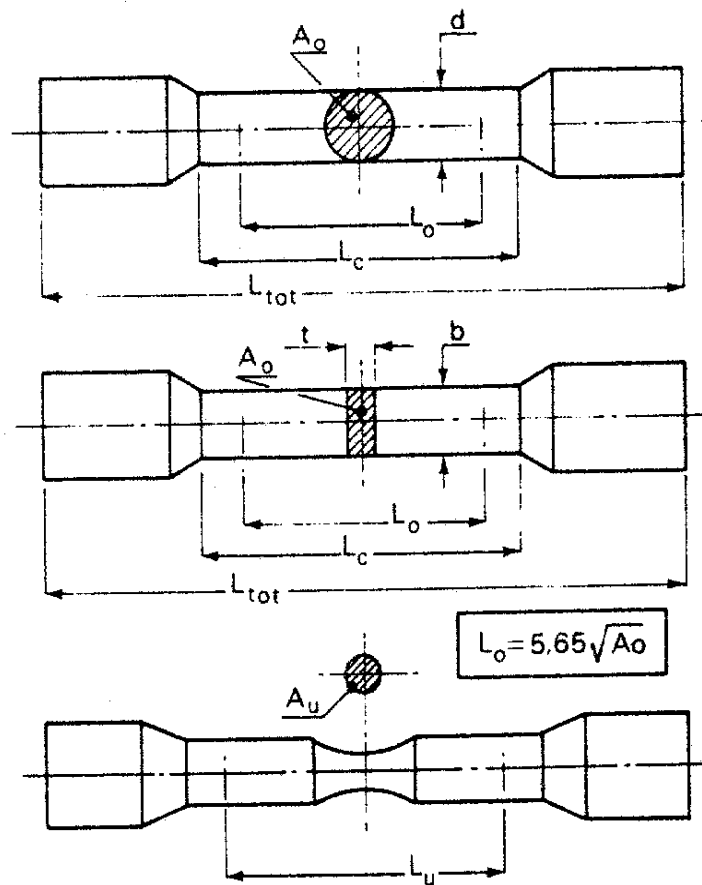
A_u = sezione minima dopo rottura

L_u = distanza ultima fra i riferimenti

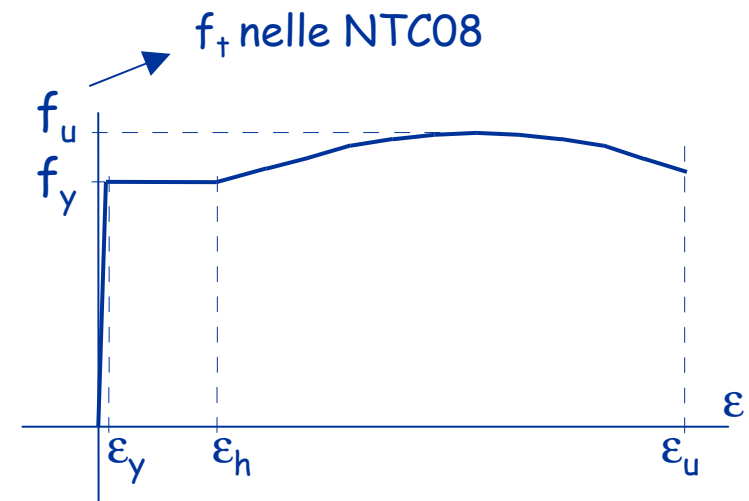
UNI EN 10002-1:2004

Caratteristiche dell'acciaio

- Prova a trazione



Resistenza: f_y, f_u
Duttilità: $\epsilon_u, \epsilon_u/\epsilon_y$



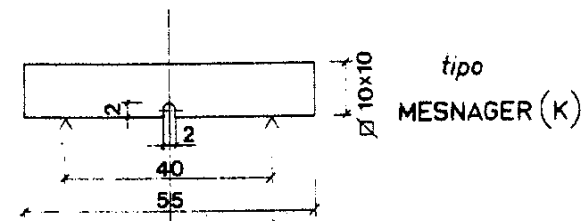
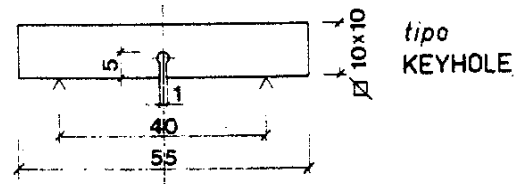
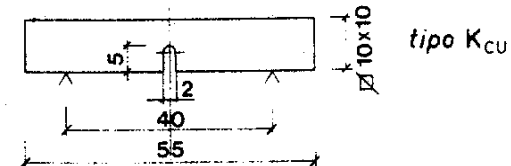
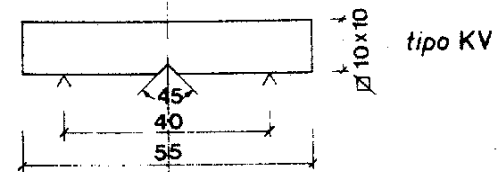
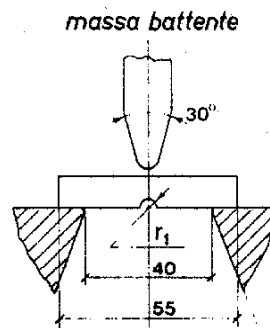
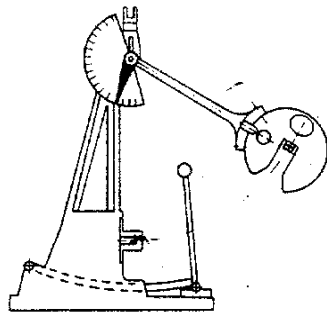
y \rightarrow yielding (snervamento)

h \rightarrow hardening (incrudimento)

Caratteristiche dell'acciaio

- Prova di resilienza
per controllare la tenacità

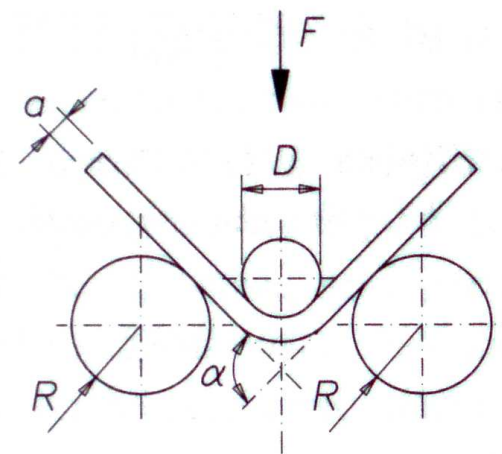
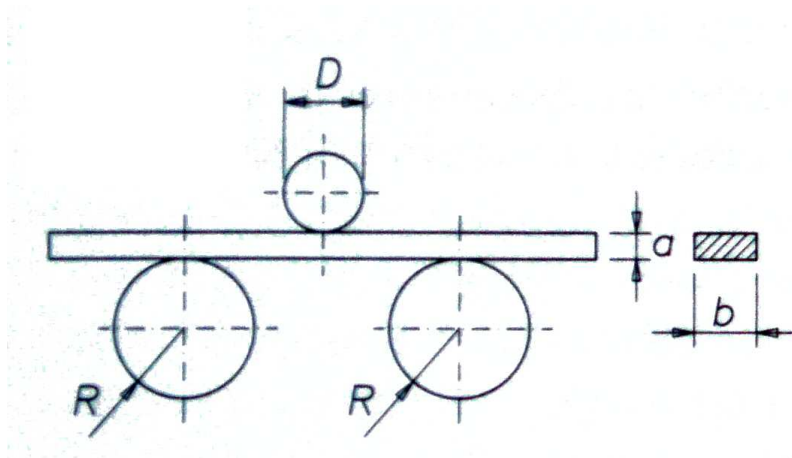
Pendolo di Charpy



UNI EN 10045-1:1992

Caratteristiche dell'acciaio

- Prova di piegamento
per accertare l'attitudine del materiale a sopportare grandi deformazioni a freddo senza rompersi



Caratteristiche dell'acciaio

- Prova di compressione globale (stub column test)
- Prova di durezza
- Prova a fatica

Tipi di acciaio per carpenteria metallica

- Resistenza e duttilità per i tipi più comuni

| Denominazione | Spessore t (mm) | | | |
|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | $t \leq 40$ mm | | $40 \text{ mm} < t \leq 100$ mm | |
| | f_y (N/mm ²) | f_u (N/mm ²) | f_y (N/mm ²) | f_u (N/mm ²) |
| S235 (Fe360) | 235 | 360 | 215 | 360 |
| S275 (Fe430) | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S355 (Fe510) | 355 | 510 | 335 | 470 |

in passato

Altre caratteristiche degli acciaio (EC3-1-1, punto 3.2):

$f_u / f_y \geq 1.10$ (1.15 per Appendice Nazionale Italiana)

$\varepsilon_u \geq 0.15$ (0.20 per Appendice Nazionale Italiana)

$\varepsilon_u / \varepsilon_y \geq 15$ (20 per Appendice Nazionale Italiana)

Vedere anche NTC08,
punto 11.3.4.9, per acciai
usati in zona sismica

Tipi di acciaio per carpenteria metallica

- Tutti i tipi

Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta

| Norme e qualità degli acciai | Spessore nominale dell'elemento | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| | $t \leq 40 \text{ mm}$ | | $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$ | |
| | $f_{vk} [\text{N/mm}^2]$ | $f_{tk} [\text{N/mm}^2]$ | $f_{vk} [\text{N/mm}^2]$ | $f_{tk} [\text{N/mm}^2]$ |
| UNI EN 10025-2 | | | | |
| S 235 | 235 | 360 | 215 | 360 |
| S 275 | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S 355 | 355 | 510 | 335 | 470 |
| S 450 | 440 | 550 | 420 | 550 |
| UNI EN 10025-3 | | | | |
| S 275 N/NL | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S 355 N/NL | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S 420 N/NL | 420 | 520 | 390 | 520 |
| S 460 N/NL | 460 | 540 | 430 | 540 |
| UNI EN 10025-4 | | | | |
| S 275 M/ML | 275 | 370 | 255 | 360 |
| S 355 M/ML | 355 | 470 | 335 | 450 |
| S 420 M/ML | 420 | 520 | 390 | 500 |
| S 460 M/ML | 460 | 540 | 430 | 530 |
| UNI EN 10025-5 | | | | |
| S 235 W | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S 355 W | 355 | 510 | 335 | 490 |

Tipi di acciaio per carpenteria metallica

- Tutti i tipi

Tabella 11.3.X - Laminati a caldo con profili a sezione cava

| Norme e qualità degli acciai | Spessore nominale dell'elemento | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| | $t \leq 40 \text{ mm}$ | | $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$ | |
| | $f_{yk} [\text{N/mm}^2]$ | $f_{tk} [\text{N/mm}^2]$ | $f_{yk} [\text{N/mm}^2]$ | $f_{tk} [\text{N/mm}^2]$ |
| UNI EN 10210-1 | | | | |
| S 235 H | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S 275 H | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S 355 H | 355 | 510 | 335 | 490 |
| S 275 NH/NLH | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S 355 NH/NLH | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S 420 NH/NLH | 420 | 540 | 390 | 520 |
| S 460 NH/NLH | 460 | 560 | 430 | 550 |
| UNI EN 10219-1 | | | | |
| S 235 H | 235 | 360 | | |
| S 275 H | 275 | 430 | | |
| S 355 H | 355 | 510 | | |
| S 275 NH/NLH | 275 | 370 | | |
| S 355 NH/NLH | 355 | 470 | | |
| S 275 MH/MLH | 275 | 360 | | |
| S 355 MH/MLH | 355 | 470 | | |
| S 420 MH/MLH | 420 | 500 | | |
| S460 MH/MLH | 460 | 530 | | |

Tipi di acciaio per carpenteria metallica

- Tenacità

| Denominazione | Spessore t (mm) | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | $t \leq 40$ mm | | $40 \text{ mm} < t \leq 100$ mm | |
| | f_y (N/mm ²) | f_u (N/mm ²) | f_y (N/mm ²) | f_u (N/mm ²) |
| S235 (JR, JO, J2) | 235 | 360 | 215 | 360 |
| S275 (JR, JO, J2) | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S355 (JR, JO, J2, K2) | 355 | 510 | 335 | 470 |

Energia minima

J 27 Joule

K 40 Joule

Temperatura

R 20° Celsius

0 0° Celsius

2 -20° Celsius

Elementi in acciaio

Prodotti mediante:

- laminazione a caldo

profilati → aste di acciaio aventi sezioni particolari a contorno aperto o cavo

lamiera → spessore non superiore a 50 mm e larghezza pari alla massima dimensione del laminatoio

larghi piatti → spessore non superiore a 40 mm e larghezza compresa tra 200 e 1000 mm

barre

- piegatura a freddo

lamiere grecate

profili sottili

Elementi in acciaio profilati

I tipi di sezione e le dimensioni geometriche dei profilati sono unificate in ambito europeo
Le loro caratteristiche sono riportate in un sagomario



IPE



HE



a C (o a U)



angolari



tubolare



scatolari



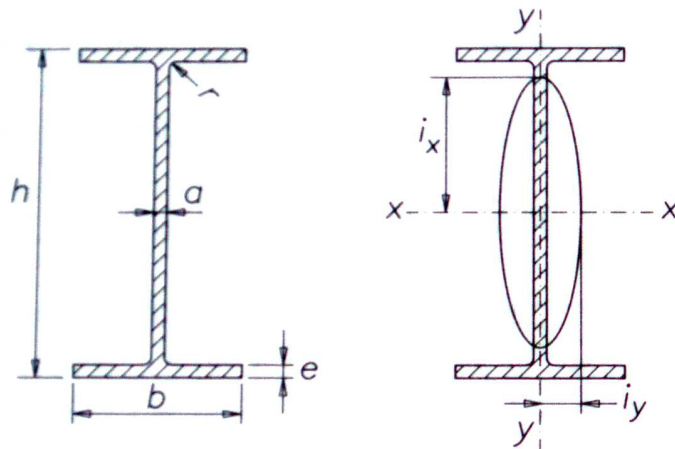
profilati con sezione a contorno aperto

profilati con sezione a contorno chiuso

Elementi in acciaio

profili a doppio T

- Profili IPE: hanno una larghezza b dell'ala pari alla metà dell'altezza h
- Profili HE: hanno una larghezza b dell'ala pari all'altezza h

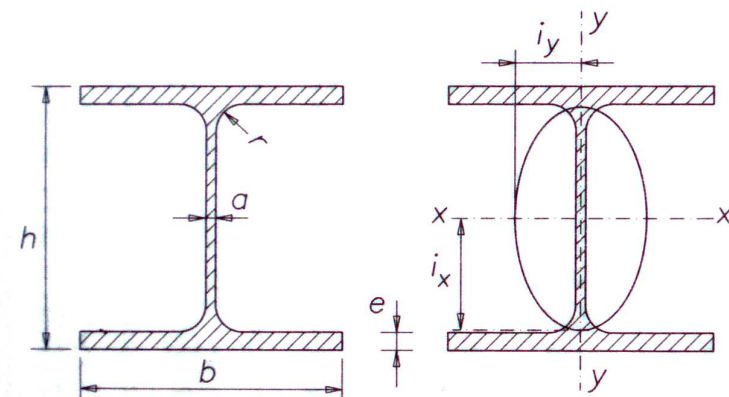


IPE

Nota: ora anche:

IPE A, serie alleggerita

HE AA, serie alleggerita



HE

Per gli HE, tre serie:

HE A, serie alleggerita

HE B, serie normale

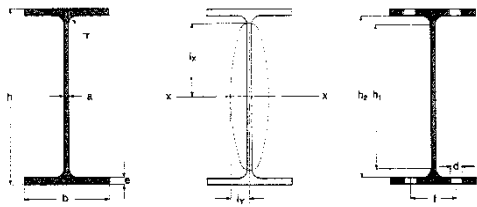
HE M, serie pesante

Elementi in acciaio

uso dei diversi profili

- IPE:
massima resistenza a flessione in un solo piano
usati per travi
- HE
discreta resistenza a flessione anche nell'altro piano
usati per colonne
- C, angolari
bassa resistenza a flessione
usati per travi reticolari
- profili cavi
buona resistenza a flessione nei due piani; buona resistenza a torsione
usati per colonne e per aste soggette a torsione

Elementi in acciaio sagomario



| desi- gnazione profilo | dimensioni | | | | | | | A cm ² | p kg / m | U m ² / m |
|------------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------------------|
| | h mm | b mm | a mm | e mm | r mm | h ₁ mm | h ₂ mm | | | |
| IPE 80 | 80 | 46 | 3,8 | 5,2 | 5 | 59,6 | 69,6 | 7,64 | 6,00 | 0,328 |
| IPE 100 | 100 | 55 | 4,1 | 5,7 | 7 | 74,6 | 88,6 | 10,3 | 8,10 | 0,400 |
| IPE 120 | 120 | 64 | 4,4 | 6,3 | 7 | 93,4 | 107,4 | 13,2 | 10,4 | 0,475 |
| IPE 140 | 140 | 73 | 4,7 | 6,9 | 7 | 112,2 | 126,2 | 16,4 | 12,9 | 0,551 |
| IPE 160 | 160 | 82 | 5 | 7,4 | 9 | 127,2 | 145,2 | 20,1 | 15,8 | 0,623 |
| IPE 180 | 180 | 91 | 5,3 | 8 | 9 | 146 | 164 | 23,9 | 18,8 | 0,698 |

| valori statici relativi agli assi xx - yy | | | | | | | | (°) foratura sulle ali | | | | | | desi- gnazione profilo |
|---|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|---------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| J _x cm ⁴ | W _x cm ³ | i _x cm | J _y cm ⁴ | W _y cm ³ | i _y cm | S _x cm ³ | s _x cm | d mm | f mm | su 1 ala | | su 2 ali | | |
| | | | | | | | | | | A' cm ² | W' _x cm ³ | A'' cm ² | W'' _x cm ³ | |
| 80,1 | 20,0 | 3,24 | 8,49 | 3,69 | 1,05 | 11,6 | 6,90 | | | | | | | IPE 80 |
| 171 | 34,2 | 4,07 | 15,9 | 5,79 | 1,24 | 19,7 | 8,68 | | | | | | | IPE 100 |
| 318 | 53,0 | 4,90 | 27,7 | 8,65 | 1,45 | 30,4 | 10,5 | | | | | | | IPE 120 |
| 541 | 77,3 | 5,74 | 44,9 | 12,3 | 1,65 | 44,2 | 12,3 | 11 | 40 | 14,9 | 60,8 | 13,4 | 58,0 | IPE 140 |
| 869 | 109 | 6,58 | 68,3 | 16,7 | 1,84 | 61,9 | 14,0 | 11 | 45 | 18,5 | 88,3 | 16,8 | 84,9 | IPE 160 |
| 1317 | 146 | 7,42 | 101 | 22,2 | 2,05 | 83,2 | 15,8 | 13 | 50 | 21,8 | 117 | 19,7 | 112 | IPE 180 |

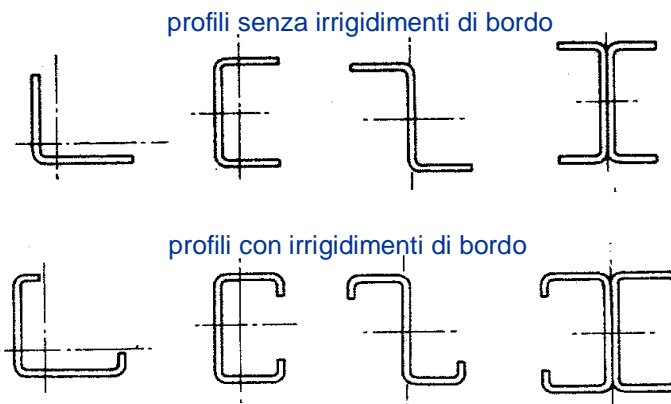
Elementi in acciaio piegati a freddo

- Lamiere grecate



- a secco: con materiale isolante e coibente, utilizzate per coperture e tamponamenti
- per cls: fungono da cassero in fase di getto e maturazione, utilizzate per la costruzione di solai intermedi di edifici..

- Profili strutturali



Imperfezioni

Imperfezioni nelle aste

- meccaniche
 - disomogenea distribuzione delle caratteristiche meccaniche nelle sezioni trasversali e lungo l'asse dei
 - tensioni residue
- geometriche
 - imperfezioni geometriche della sezione trasversale
 - imperfezioni geometriche dell'asse dell'asta
 - influiscono sul comportamento sotto i carichi di esercizio
 - non influiscono sulla resistenza ultima
 - aumentano il rischio di instabilità (riducono resistenza a compressione)

Imperfezioni di montaggio

- occorrerebbe tenerne conto esplicitamente nel calcolo

Imperfezioni tensioni residue

