

Corsi di aggiornamento
**Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni**

Villa Redenta, Spoleto
novembre 2012 - giugno 2013

Organizzati da Aurelio Ghersi e APICE s.r.l.

Con il patrocinio di:
Ordine degli ingegneri delle province di
Parma, Perugia, Rimini, Terni

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

Progetto di aste e collegamenti in acciaio

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

Spoleto
8-10 novembre 2012
Aurelio Ghersi

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) emanate con 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

Attenzione:
Sta per essere emanata la
nuova versione delle NTC (2013)

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 ortotropica 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

Eurocodice EN 1990, punto 2.1

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:

Adeguatezza del 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

- 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

Eurocodice EN 1990, punto 2.1

Resistenza dei materiali Quale valore di riferimento?

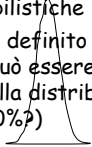
- Per l'acciaio si usa come riferimento un valore nominale (esempio: per S235, $f_y=235$ MPa)
- I controlli imposti garantiscono che solo nel 5% dei casi l'effettiva resistenza sia minore
- Il valore è quindi il frattile 5% della distribuzione probabilistica delle resistenze (valore caratteristico, f_{yk})

Azioni sulla struttura Quale valore di riferimento?

- Per i carichi variabili si usa come riferimento un valore tale che, prendendo in considerazione il massimo riscontrato durante l'intera vita di una struttura, questo sia inferiore al valore di riferimento nel 95% dei casi
- Il valore è quindi il frattile 95% della distribuzione probabilistica dei valori massimi q_{max} delle azioni nel tempo considerato (valore caratteristico, q_k)

Azioni sulla struttura Quale valore di riferimento?

- Per i carichi permanenti si usa come riferimento il valore nominale determinato con riferimento alle dimensioni geometriche ipotizzate nel progetto (esempio: peso proprio della soletta di un solaio)
- Le imprecisioni nella realizzazione possono portare a valori diversi del carico, analizzabili con considerazioni probabilistiche
- Il valore viene ancora definito come valore caratteristico, g_k , e può essere considerato come un opportuno frattile della distribuzione probabilistica delle azioni (95% o 50%)



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

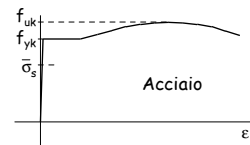
Come si garantisce una adeguata sicurezza ?

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

Nel passato: coefficienti di sicurezza applicati alla resistenza

Diagramma sperimentale

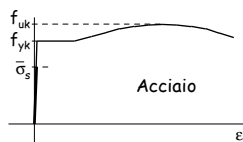


Si considerano "ammissibili" valori delle tensioni molto ridotti rispetto a quelli di rottura

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

Nel passato: coefficienti di sicurezza applicati alla resistenza

Diagramma di calcolo



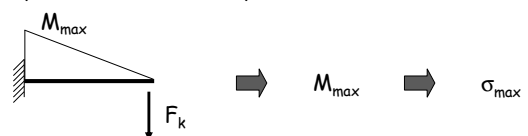
Per valori delle tensioni inferiori a quelli ammissibili il legame tensioni-deformazioni è lineare

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

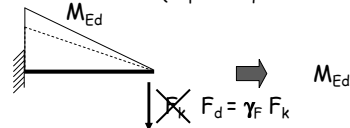
$$\begin{array}{cc} \text{Resistenze} & \text{Carichi} \\ f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} & q_d = \gamma_q q_k \end{array}$$

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

Verifica

La verifica di sollecitazione

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)

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

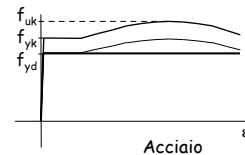
Oggi:

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

Problema (di cui discutere in seguito)
Perché (o quando) occorre riferirsi alla tensione di snervamento f_s 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

Nota: 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 circa 1.4 x quelli
si utilizzano i valori di calcolo caratteristici
- 2 - Risoluzione (analisi strutturale) a volte, analisi
si utilizza normalmente un'analisi lineare; 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

NTC08, punto 2.5.1.3

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

Attenzione:
Il riferimento a "compiutamente definiti"
sembra scomparso nelle NTC 2013

NTC08, punto 2.6.1

Carichi variabili sono definiti dalla normativa

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	W_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	$\geq 6,00$	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 Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	secondo categoria di appartenenza		

* 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

$\Psi_0 \quad \Psi_1 \quad \Psi_2$

Categoria/Azione variabile	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
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

NTC08, punto 2.5.3

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

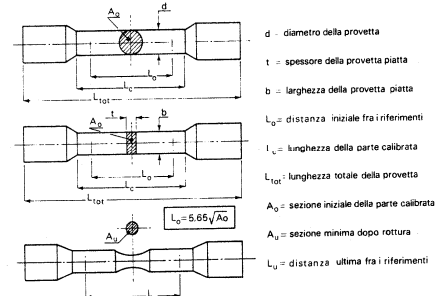
Acciaio per carpenteria metallica:

- 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 → CO provoca soffiature
Acciaio calmato o semicalmato

Caratteristiche dell'acciaio

- Prova a trazione

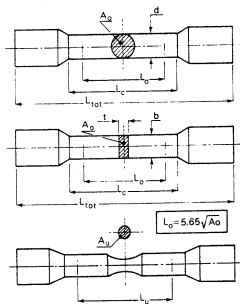


UNI EN 10002-1:2004

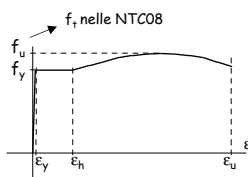
Figura tratta da: Ballo, Mazzolani, Strutture in acciaio

Caratteristiche dell'acciaio

- Prova a trazione



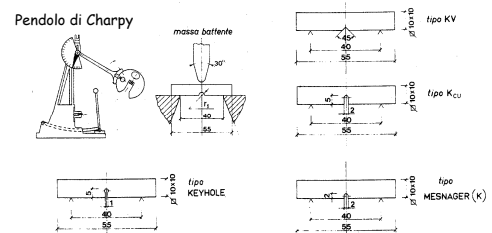
Resistenza: f_y, f_u
Duttilità: $\epsilon_u, \epsilon_y/\epsilon_y$



y → yielding (snervamento)
h → hardening (incrudimento)

Caratteristiche dell'acciaio

- Prova di resilienza per controllare la tenacità



UNI EN 10045-1:1992

Figura tratta da: Ballo, Mazzolani, Strutture in acciaio

Caratteristiche dell'acciaio

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

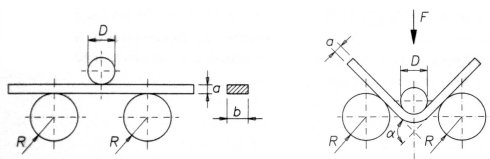


Figura tratta da: Ballo, Mazzolani, Strutture in acciaio

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)

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

$\epsilon_u / \epsilon_y \geq 15$ (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

Tabella 4.2.I nelle NTC 2013

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [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

Tabella 4.2.II nelle NTC 2013

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [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 MH/MLH	275	370		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 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
 - lamiere → 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 gresate
 - 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

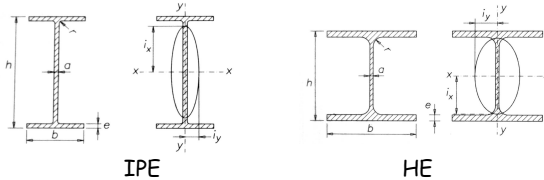


profilati con sezione a contorno aperto

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



Nota: ora anche:
IPE A, serie alleggerita
HE AA, serie alleggerita

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	7,54	6,30	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	142,2	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										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	
80,1	20,0	3,24	8,69	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	1,43	30,4	10,5			IPE 120
541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	44,2	12,3	11	40	IPE 140
869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	61,9	14,0	11	43	IPE 160
1317	166	7,42	101	22,2	2,05	83,2	15,8	13	50	IPE 180

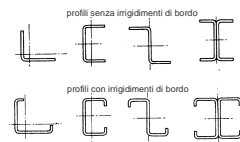
Elementi in acciaio piegati a freddo

- **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

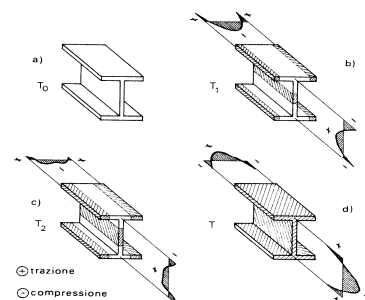


Figura tratta da: Ballo, Mazzolani, Strutture in acciaio