

Corso di aggiornamento

Elementi strutturali e collegamenti in acciaio

1 - Il materiale acciaio

Villa Redenta, Spoleto

2-4 marzo 2017

Aurelio Ghersi

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

Nota:

È stata approvata nel novembre 2014 una nuova Bozza delle NTC

- 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

Il materiale acciaio

Caratteristiche dell'acciaio

Ghisa = lega ferro-carbonio con alta percentuale di carbonio (oltre il 2%)

Acciaio = lega ferro-carbonio con bassa percentuale di carbonio

Caratteristiche importanti dell'acciaio:

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

Problema:

- resistenza al fuoco

Caratteristiche dell'acciaio

Acciaio per carpenteria metallica:

- Basso contenuto di carbonio (0.17-0.22%)
resistenza buona ma non altissima, forte duttilità

Al crescere della percentuale di carbonio aumenta la resistenza ma si riduce la duttilità

- Presenza di impurità (fosforo, zolfo)
negative ma inevitabili

- Aggiunta di manganese e silicio
favoriscono la saldabilità

Acciaio effervescente:

$O + C \rightarrow CO$ provoca soffiature

Acciaio calmato o semicalmato

Caratteristiche dell'acciaio

Acciaio per carpenteria metallica:

- Individuato dalla sigla S seguita da un numero che indica la tensione di snervamento (in MPa)
 - A tale sigla seguono altre indicazioni che precisano classe di resilienza e altre caratteristiche
- Acciai dolci (i più comuni)
S235, S275, S355
- Acciai microlegati (con aggiunta di vanadio, niobio, boro)
S420, S460
- Acciai bassolegati (con aggiunta di cromo e nichel)
maggior resistenza alla corrosione (SxxxW)
- Acciai inossidabili (con alta quantità di cromo e nichel)

Caratteristiche dell'acciaio

Acciaio per carpenteria metallica

Proprietà generali:

Modulo elastico $E = 210000 \text{ MPa}$

Coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$

Modulo di elasticità trasversale $G = E / 2(1+\nu)$

Coefficiente di dilatazione termica $\alpha = 1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Densità $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Caratteristiche dell'acciaio

Acciaio per carpenteria metallica

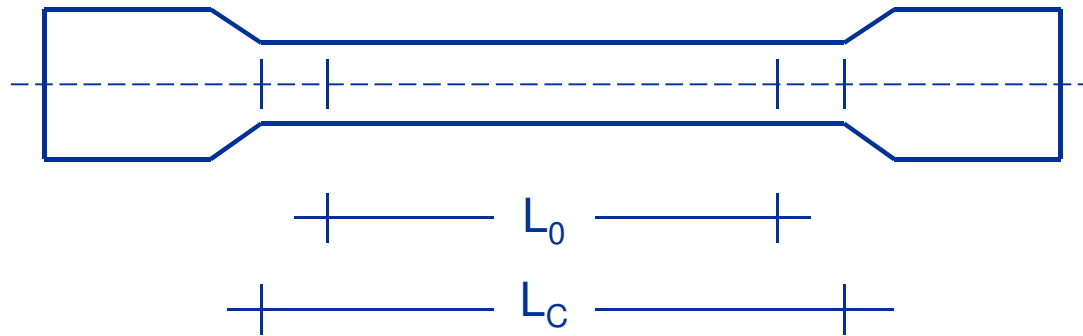
Criterio di resistenza:

- Si usa il criterio di Hencky e Von Mises; per elementi monodimensionali (aste) soggetti a tensioni normali σ e tangenziali τ si fa quindi riferimento ad una tensione ideale

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Caratteristiche dell'acciaio prove

- Prova a trazione



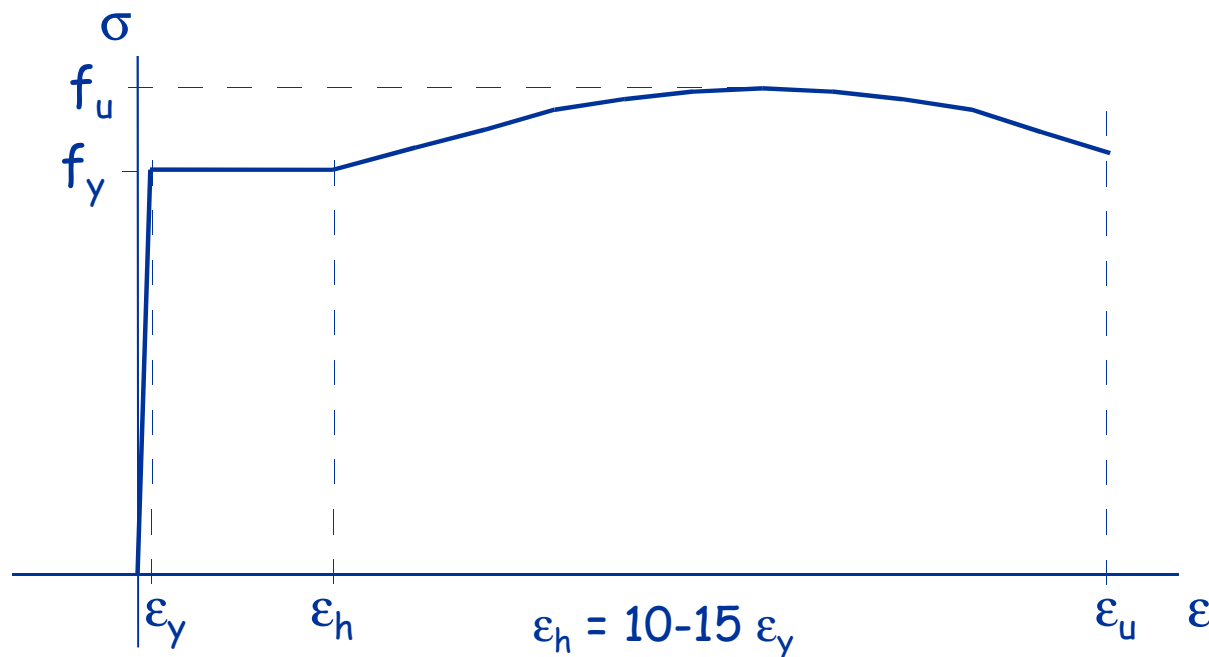
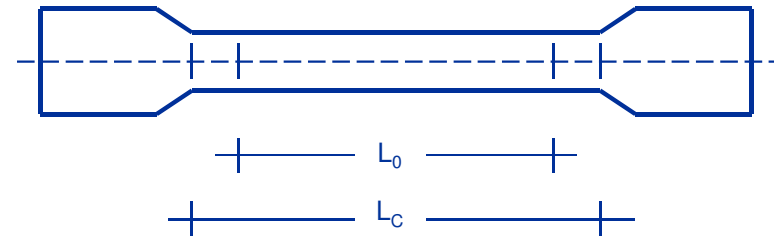
- L_0 = distanza (iniziale) tra i riferimenti
- L_c = lunghezza della parte calibrata
- A_0 = sezione (iniziale) della parte calibrata

$$L_0 = 5.65 \sqrt{A_0}$$

Caratteristiche dell'acciaio

prove

- Prova a trazione



Resistenza:

f_y tensione di snervamento

f_u tensione ultima

nelle NTC08:

f_t tensione ultima a trazione

$h \rightarrow$ hardening (incrudimento)

$y \rightarrow$ yielding (snervamento)

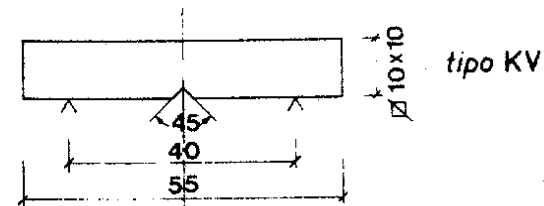
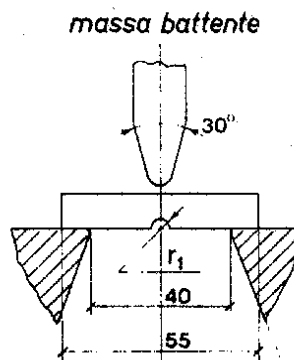
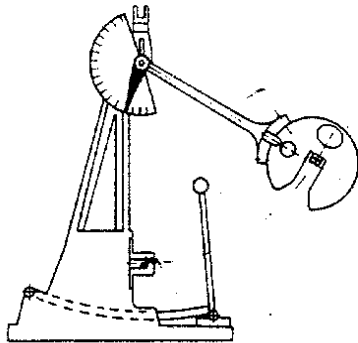
Duttilità:

ϵ_u / ϵ_y

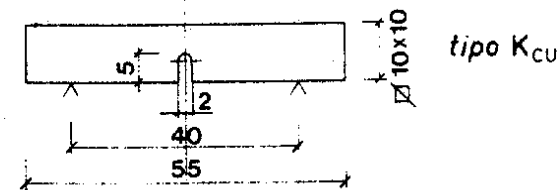
Caratteristiche dell'acciaio prove

- Prova di resilienza
per controllare la tenacità

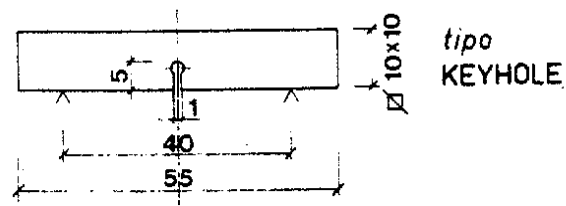
Pendolo di Charpy



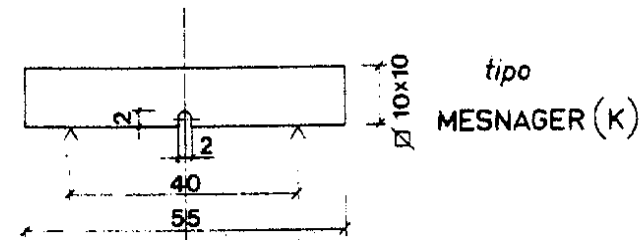
tipo KV



tipo K_{CU}



tipo
KEYHOLE



tipo
MESNAGER (K)

Si misura l'energia (in joule J) dissipata nel rompere il provino

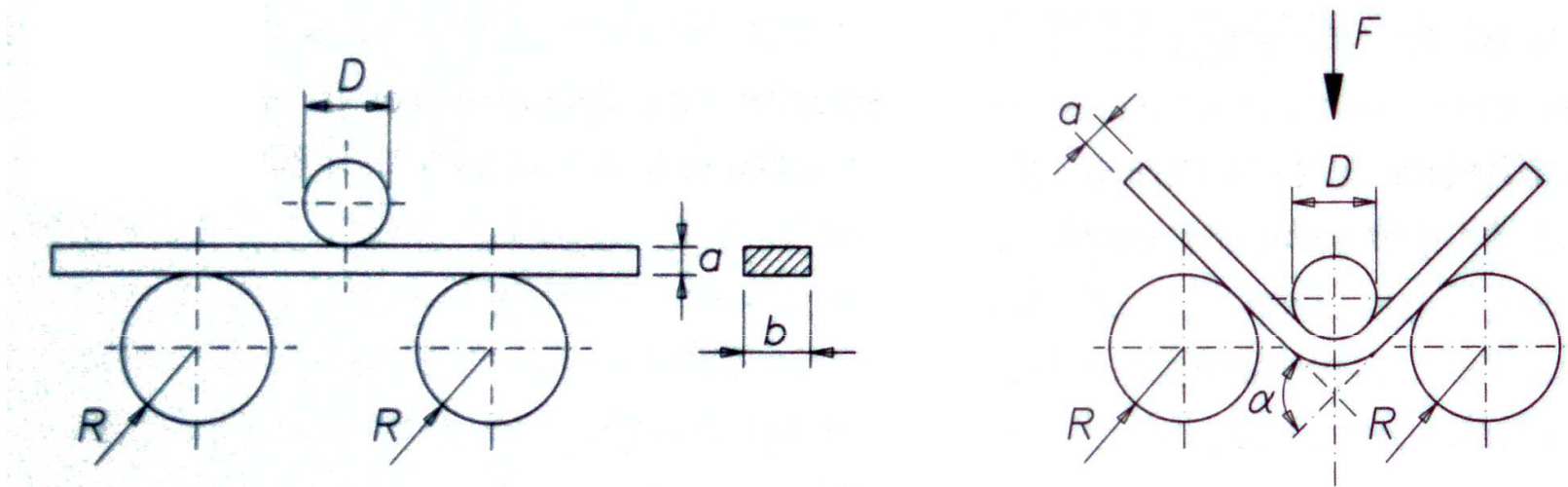
UNI EN 10045-1:1992

Figura tratta da: Ballio, Mazzolani. Strutture in acciaio

Caratteristiche dell'acciaio

prove

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



Caratteristiche dell'acciaio

prove

- 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

Tabella 4.2.I
nella Bozza NTC14

Tipi di acciaio per carpenteria metallica

Profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f _{yk} [N/mm²]	f _{tk} [N/mm²]	f _{yk} [N/mm²]	f _{tk} [N/mm²]
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

Tabella 4.2.II
nella Bozza NTC14

Tipi di acciaio per carpenteria metallica

Profili a sezione cava

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 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 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

Tipi di acciaio

per carpenteria metallica

- Saldabilità

Il procedimento di saldatura può generare:

- Cricche a caldo e altri difetti nella zona fusa
- Cricche a freddo nelle zone adiacenti, termicamente alterate

La tenacità, valutata con la prova di resilienza, garantisce la saldabilità

- Tutti gli acciai per carpenteria metallica sono saldabili
- Ad una maggiore tenacità corrisponde una maggiore saldabilità

Gli elementi strutturali in acciaio

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

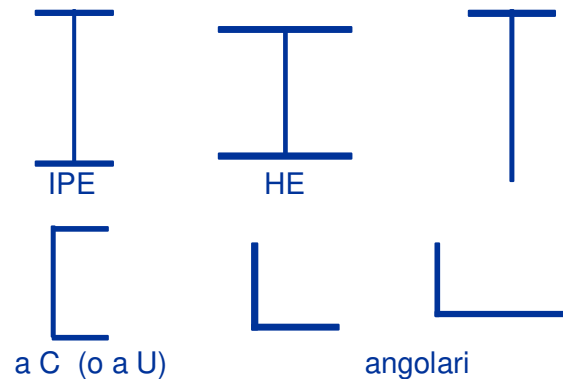
- piegatura a freddo

lamiere grecate

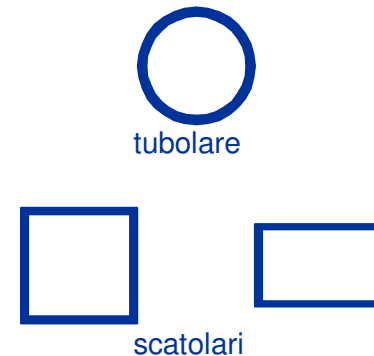
profili sottili

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



profilati a sezione aperta

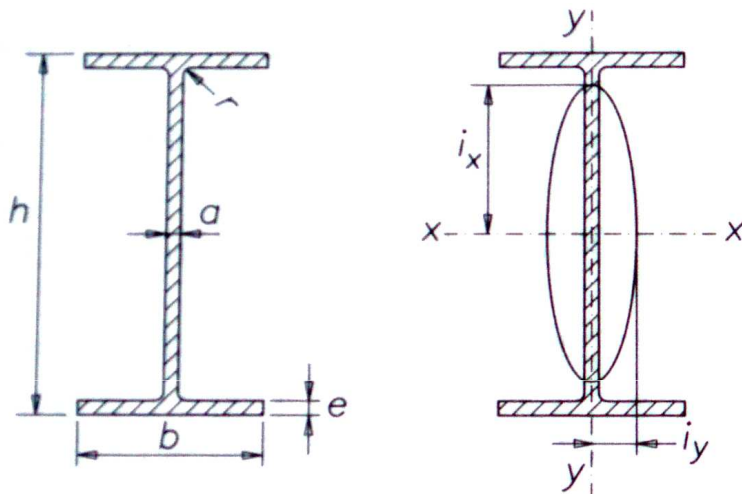


profilati a sezione cava

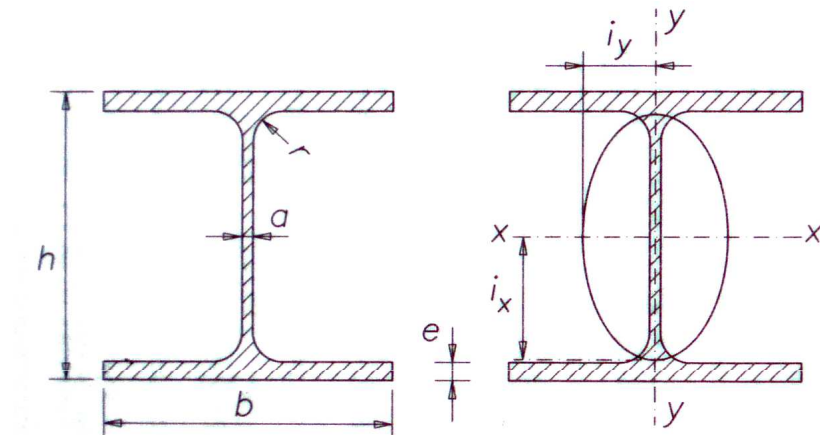
Elementi in acciaio

profili a doppio T

- Profili IPE: hanno (in linea di massima) una larghezza b dell'ala pari alla metà dell'altezza h
- Profili HE: hanno una larghezza b dell'ala pari all'altezza h



IPE



HE

Nota: ora anche:

IPE A, serie alleggerita
HE AA, serie alleggerita

Per gli HE, tre serie:

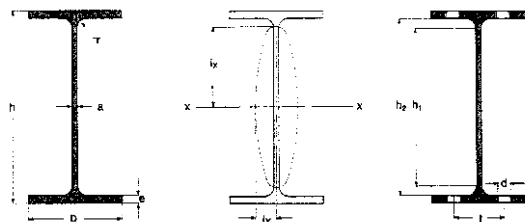
HE A, serie alleggerita
HE B, serie normale
HE M, serie pesante

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	7,64	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 coibentante, 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

profili senza irrigidimenti di bordo



profili con irrigidimenti di bordo

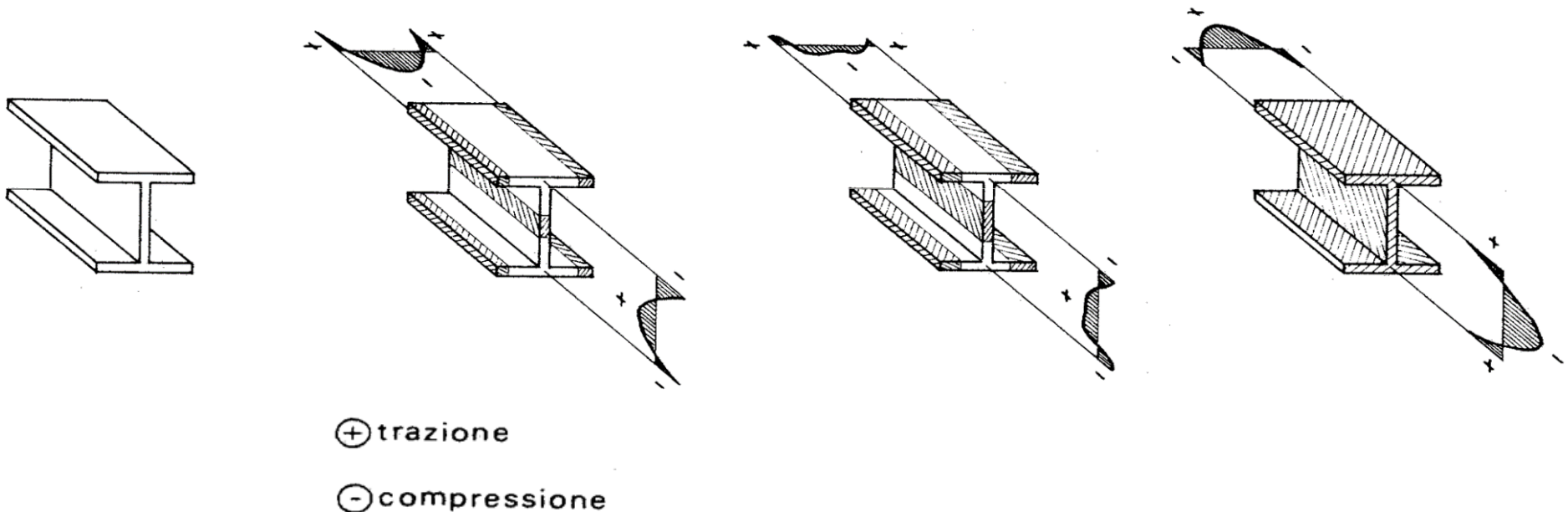


Imperfezioni negli elementi in acciaio

Imperfezioni

Imperfezioni nelle aste

- meccaniche
 - Disomogenea distribuzione delle caratteristiche meccaniche nelle sezioni trasversali e lungo l'asse dei
 - Tensioni residue



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

Queste imperfezioni:

- Influiscono sul comportamento sotto i carichi di esercizio
- Non influiscono sulla resistenza ultima
- Aumentano il rischio di instabilità (riducono resistenza a compressione)

Imperfezioni

Imperfezioni di montaggio

- Colonne non perfettamente verticali
- Aste non perfettamente ortogonali tra loro

Queste imperfezioni:

- Dovrebbero essere tenute in conto esplicitamente nel calcolo (se ne parla più avanti: Analisi strutturale - imperfezioni di montaggio)
- In molti casi sono però trascurabili