

Costruzioni di acciaio

Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione

CNR-UNI
10011

Steel structures — Instructions for design, construction, testing and maintenance

Il campo di applicazione della presente norma è quello della Legge 5 novembre 1971 N° 1086 precisato dalla circolare N° 11951 emanata in data 14 febbraio 1974 dal Ministero dei Lavori Pubblici.

SOMMARIO

1.	Introduzione	pag. 5	7.1.	Generalità	pag. 28
1.1.	Oggetto	" 5	7.2.	Aste compresse	" 29
1.2.	Scopo	" 5	7.3.	Travi inflesse a parete piena	" 48
1.3.	Simbologia ed unità di misura	" 5	7.4.	Aste pressoinflesse	" 50
2.	Materiali	" 5	7.5.	Telai	" 51
2.1.	Generalità	" 5	7.6.	Stabilità dell'anima di elementi strutturali a parete piena	" 52
2.2.	Acciai laminati	" 5	8.	Verifiche relative alla fatica	" 59
2.3.	Acciai per getti	" 7	8.1.	Generalità	" 59
2.4.	Acciai per strutture saldate	" 7	8.2.	Definizioni	" 59
2.5.	Saldature	" 8	8.3.	Resistenza a fatica dei particolari strutturali	" 59
2.6.	Bulloni	" 10	8.4.	Verifiche a fatica	" 60
2.7.	Chiodature	" 10	8.5.	Sollecitazioni pluriassiali	" 61
2.8.	Costanti elastiche	" 10	8.6.	Strutture esenti da tensioni interne	" 61
2.9.	Coefficiente di dilatazione termica	" 10	9.	Regole pratiche di progettazione ed esecuzione	" 70
3.	Metodi di calcolo	" 10	9.1.	Composizione degli elementi strutturali	" 70
3.1.	Generalità	" 10	9.2.	Unioni saldate	" 71
3.2.	Metodo semiprobabilistico agli stati limite	" 11	9.3.	Travi a parete piena e reticolari	" 72
3.3.	Metodo delle tensioni ammissibili	" 11	9.4.	Piastre ed apparecchi di appoggio	" 74
4.	Resistenze di calcolo e limiti di deformabilità	" 12	9.5.	Marcatura dei materiali	" 74
4.1.	Resistenze di calcolo dei materiali	" 12	9.6.	Raddrizzamento	" 75
4.2.	Limiti di deformabilità	" 14	9.7.	Tagli e finitura	" 75
5.	Verifiche di resistenza dei collegamenti	" 17	9.8.	Forature	" 75
5.1.	Unioni saldate	" 17	9.9.	Modalità esecutive per le unioni	" 76
5.2.	Unioni chiodate	" 19	9.10.	Elementi di acciaio fuso o fucinato	" 78
5.3.	Unioni bullonate	" 20	9.11.	Montaggio	" 79
5.4.	Giunti di tipo misto	" 22	9.12.	Verniciatura e zincatura	" 79
5.5.	Giunti per contatto	" 22	9.13.	Sigillatura delle piastre di base	" 80
5.6.	Apparecchi di appoggio e cerniere	" 22	10.	Controlli sui prodotti laminati per strutture di acciaio	" 80
6.	Verifiche di resistenza delle membrane	" 25	10.1.	Generalità	" 80
6.1.	Generalità	" 25	10.2.	Modalità di qualificazione	" 81
6.2.	Trazione	" 25	10.3.	Controlli in officina o in cantiere su prodotti non qualificati e qualificati	" 83
6.3.	Compressione	" 26	11.	Redazione del progetto, collaudo, sorveglianza e manutenzione	" 84
6.4.	Taglio e torsione	" 26	11.1.	Redazione del progetto	" 84
6.5.	Flessione	" 26	11.2.	Collaudo statico	" 85
6.6.	Pressoflessione	" 28	11.3.	Sorveglianza e manutenzione	" 86
6.7.	Stati pluriassiali	" 28			
7.	Verifiche di stabilità	" 28			

(segue)

Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione sia di nuove edizioni sia di fogli di aggiornamento. È importante pertanto che gli utenti delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione o foglio di aggiornamento.

SOMMARIO

	pag.
ISTRUZIONI	
<input type="checkbox"/> CNR-UNI 10011 giugno 1988 - Costruzioni di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.	11
<input type="checkbox"/> CNR 10012/85 - Istruzioni per la valutazione delle Azioni sulle costruzioni.	98
<input type="checkbox"/> CNR 10016/85 - Travi composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni.	127
<input type="checkbox"/> CNR 10021/85 - Strutture di acciaio per apparecchi di sollevamento. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.	155
<input type="checkbox"/> CNR 10022/84 - Profilati di acciaio formati a freddo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni.	169
<input type="checkbox"/> CNR 10024/86 - Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.	195
<input type="checkbox"/> CNR 10029/87 - Costruzioni di acciaio ad elevata resistenza. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.	203
<input type="checkbox"/> CNR 10030/87 - Anime irrigidite di travi a parete piena.	233
NORME UNI (stralci)	
<input type="checkbox"/> UNI 7070/82 - Composizione chimica e caratteristiche meccaniche degli acciai da costruzione.	245
<input type="checkbox"/> UNI 5398/78 - Travi IPE, dimensioni e caratteristiche statiche.	249
<input type="checkbox"/> UNI 5397/78 - Travi HE ad ali larghe parallele. Dimensioni e caratteristiche statiche.	250
<input type="checkbox"/> UNI 7811/83 - Profilati cavi circolari di acciaio formati a freddo. Dimensioni e caratteristiche statiche.	252
<input type="checkbox"/> UNI 7812/83 - Profilati cavi quadrati di acciaio formati a freddo - Dimensioni e caratteristiche statiche.	255
<input type="checkbox"/> UNI 7813/83 - Profilati cavi rettangolari di acciaio formati a freddo. Dimensioni e caratteristiche statiche.	259

SIMBOLOGIA

a	distanza, dimensione geometrica	(L)
a	altezza della sezione di gola di un cordone d'angolo	(L)
b	larghezza generica	(L)
b	lato di un cordone d'angolo	(L)
b_f	larghezza dell'ala	(L)
c	dimensione geometrica	(L)
c	lunghezza della zona su cui si è applicato un carico concentrato	(L)
d	diametro del gambo di un bullone	(L)
d	distanza fra i baricentri delle ali in una trave a doppio T	(L)
d	distanza fra i baricentri delle chiodature o delle bullonature o delle saldature di attacco alle estremità d'aste di parete in una trave reticolare	(L)
e_0	distanza fra baricentro e centro di taglio di una sezione	(L)
f_d	resistenza di progetto	(FL-2)
$f_{d,v}$	resistenza di progetto a taglio (per un bullone o chiodo)	(FL-2)
$f_{d,N}$	resistenza di progetto a trazione (per un bullone o chiodo)	(FL-2)
f_k	resistenza caratteristica	(FL-2)
$f_{k,N}$	resistenza caratteristica di un bullone a trazione	(FL-2)
f_m	resistenza media	(FL-2)
f_t	resistenza a rottura per trazione	(FL-2)
$f_{t,m}$	resistenza media a rottura per trazione	(FL-2)
f_y	resistenza allo snervamento	(FL-2)
$f_{y,m}$	resistenza media allo snervamento	(FL-2)
g	carico permanente ripartito	(FL-1; FL-2)
h	altezza, altezza totale di un trave	(L)
i	raggio d'inerzia	(L)
$i_{min} (i_{max})$	raggio d'inerzia minimo (massimo)	(L)
i_p	raggio d'inerzia polare	(L)
$i_x (i_y)$	raggio d'inerzia rispetto all'asse x (y)	(L)
k	coefficiente generico, rapporto	(O)
$k_0 k_{0,x} (k_{0,y})$	coefficiente d'imbozzamento per una lastra rettangolare soggetta ad azioni assiali lungo due lati opposti	(O)
k_T	coefficiente d'imbozzamento per una lastra rettangolare soggetta ad azioni tangenziali	(O)
k	rigidezza di una molla estensionale	(FL-1)
k_e	rigidezza di una molla estensionale esterna	(FL-1)
k_i	rigidezza di una molla estensionale intermedia	(FL-1)
m	numero di	(O)
n	numero di	(O)
p	interasse di bulloni	(L)
p	pressione	(FL-2)
q	carico variabile ripartito	(FL-1; FL-2)
r	raggio	(L)
s	scarto quadratico medio o deviazione standard	(O)
t	spessore	(L)
t_f	spessore dell'ala	(L)
t_{min}	spessore minimo	(L)
t_w	spessore dell'anima	(L)
v_0	freccia iniziale	(L)
v_r	faccia residua	(L)
x	} coordinate	(L)
y		
z		

A	area	(L^2)
A_0	area della sezione calibrata del provino di prova	(L^2)
A_d	area di un'asta diagonale	(L^2)
A_{eff}	area efficace	(L^2)
A_t	area di un'ala	(L^2)
A_n	area netta	(L^2)
A_{res}	area resistente	(L^2)
A_l	area di un montante	(L^2)
E	modulo di elasticità longitudinale	(FL^{-2})
F	forza, azione esterna, carico	(F)
F_v	forza che ingenera azione tagliante nei bulloni	(F)
G	modulo di elasticità tangenziale	(FL^{-2})
G_1	peso proprio	(F)
G_2	peso permanente portato	(F)
I_{eq}	momento d'inerzia equivalente	(L^4)
$I_{min} (I_{max})$	momento d'inerzia minimo (massimo)	(L^4)
I_l	momento d'inerzia di un montante o di una trave irrigidente	(L^4)
I_T	momento d'inerzia torsionale	(L^4)
$I_x (I_y)$	momento d'inerzia rispetto all'asse x (y)	(L^4)
I_w	momento d'inerzia settoriale	(L^6)
KV	resilienza KV (J)	
L	lunghezza generica	(L)
L_c	lunghezza di libera inflessione di un'asta compressa	(L)
L_d	lunghezza di un'asta diagonale	(L)
L_0	distanza iniziale tra i riferimenti di un provino	(L)
L_0	lunghezza di un campo di una trave a traliccio	(L)
L_0	distanza di vincoli trasversali elastici di un'asta compressa	(L)
L_l	lunghezza di un montante	(L)
M_0	valore di progetto del momento flettente	(FL)
M_D	momento che produce lo svergolamento laterale di una trave inflessa	(FL)
M_e	momento flettente che provoca il raggiungimento del limite elastico di un punto della sezione (momento elastico)	(FL)
M_{cr}	momento critico per lo svergolamento laterale delle travi in campo elastico	(FL)
M_{eq}	momento flettente equivalente	(FL)
M_m	momento flettente medio	(FL)
M_{max}	momento flettente massimo	(FL)
N	componente normale di sollecitazione, azione assiale	(F)
N_c	carico assiale massimo sopportabile da un'asta compressa	(F)
N_{cr}	carico critico euleriano	(F)
$N_{cr,x} (N_{cr,y})$	carico critico euleriano per instabilità piana con inflessione intorno all'asse x (y)	(F)
N_s	pretrazione dovuta al serraggio di un bullone	(F)
Q	carico variabile	(F)
$S_x (S_y)$	momento statico rispetto all'asse x (y)	(L^3)
T_s	coppia di serraggio (per un bullone)	(FL)
V	azione tagliante	(F)
V_1	carico corrispondente allo scorrimento delle piastre in un giunto bullonato	(F)
$V_{I,N}$	azione tagliante trasmissibile per attrito in presenza di azione assiale di valore N (per un bullone)	(F)
$V_{I,0}$	azione tagliante trasmissibile per attrito in assenza di azione assiale (per un bullone)	(F)
W	modulo resistente a flessione, in campo elastico	(L^3)
$W_x (W_y)$	modulo resistente a flessione in campo elastico per inflessione intorno all'asse x (y)	(L^3)

α	angolo, rapporto, esponente, coefficiente	(O)
α	coefficiente di dilatazione termica	(°C ⁻¹)
β	coefficiente di vincolo (per la determinazione della lunghezza di libera inflessione)	(O)
γ	scorrimento angolare	(O)
γ_e	scorrimento angolare al limite elastico	(O)
γ_G	coefficiente di combinazione relativo al peso permanente	(O)
γ_{G_1}	coefficiente di combinazione relativo al peso proprio	(O)
γ_{G_2}	coefficiente di combinazione relativo al peso permanente portato	(O)
γ_Q	coefficiente di combinazione relativo ai carichi variabili	(O)
γ_f	coefficiente di riduzione della resistenza per attrito (nei giunti bullonati)	(O)
ϵ	deformazione unitaria	(O)
ϵ_e	deformazione al limite elastico	(O)
ϵ_r	deformazione residua	(O)
ϵ_t	allungamento unitario a rottura	(O)
ξ	rapporto adimensionale	(O)
η	coefficiente, fattore adimensionale	(O)
λ	snellezza	(O)
λ_c	snellezza convenzionale di proporzionalità	(O)
λ_{eq}	snellezza equivalente	(O)
$\lambda_x (\lambda_y)$	snellezza per inflessione intorno all'asse x (y)	(O)
μ	coefficiente d'attrito	(O)
ν	coefficiente di sicurezza	(O)
σ	tensione normale	(FL ⁻²)
σ_{adm}	tensione ammissibile	(FL ⁻²)
σ_c	tensione massima sopportabile da un'asta compressa in campo elasto-plastico	(FL ⁻²)
σ_{cr}	tensione critica euleriana (per aste compresse)	(FL ⁻²)
$\sigma_{cr,D}$	tensione critica euleriana (per aste inflesse)	(FL ⁻²)
$\sigma_{cr,o}$	tensione critica euleriana per una lastra indefinita	(FL ⁻²)
σ_D	tensione massima sopportabile da un'asta inflessa soggetta a fenomeni di instabilità flesso-torsionale	(FL ⁻²)
σ_{id}	tensione ideale	(FL ⁻²)
σ_M	tensione normale dovuta a momento flettente	(FL ⁻²)
$\sigma_{min}, \sigma_{max}$	valori estremi della tensione nella sollecitazione a fatica	(FL ⁻²)
σ_{max}	valore massimo della tensione normale	(FL ⁻²)
σ_N	tensione normale dovuta ad azione assiale	(FL ⁻²)
σ_{rif}	tensione di rifollamento	(FL ⁻²)
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	componenti speciali di tensione normale	(FL ⁻²)
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	componenti principali di tensione	(FL ⁻²)
σ_p, σ_{\perp}	tensioni normali in un cordone di saldatura (riferite alla sezione di gola)	(FL ⁻²)
τ	tensione tangenziale	(FL ⁻²)
τ_{adm}	tensione tangenziale ammissibile	(FL ⁻²)
$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$	componenti speciali di tensione tangenziale	(FL ⁻²)
$\tau_{\parallel}, \tau_{\perp}$	tensioni tangenziali in un cordone di saldatura (riferite alla sezione di gola)	(FL ⁻²)
χ	curvatura	(L ⁻¹)
χ_e	curvatura limite elastica	(L ⁻¹)
ψ	coefficiente adimensionale	(O)
ψ	coefficiente di adattamento plastico	(O)
ψ	coefficiente di combinazione dei carichi variabili	(O)
ω_1	coefficiente di maggiorazione del momento flettente per la verifica a svergolamento laterale	(O)
ΔL	variazione di lunghezza	(L)
\emptyset	diametro di un foro o di una barra	(L)

1. Introduzione

1.1. Oggetto

Formano oggetto della presente norma le costruzioni di acciaio la cui sicurezza possa comunque interessare l'incolumità delle persone e per le quali non esista una regolamentazione apposita; esse valgono pure per le costruzioni disciplinate da norme speciali, per quanto non sia da queste diversamente disposto.

1.2. Scopo

La presente norma ha lo scopo di precisare e raccogliere classificazioni, procedimenti esecutivi, metodi di calcolo e metodi di prova, per la corretta redazione dei progetti delle costruzioni di acciaio e per la loro buona esecuzione e manutenzione. In particolare essa considera due metodi di calcolo:

- il metodo agli stati limite;
- il metodo alle tensioni ammissibili.

Tutte le verifiche considerate nei due metodi presuppongono che la determinazione delle componenti di sollecitazione (momenti flettenti e torcenti, azioni assiali e taglianti) venga effettuata con metodi di calcolo, riconducibili all'analisi elastica delle strutture. La presente norma non riguarda quindi il calcolo plastico delle strutture di acciaio, cioè quel calcolo che considera come stato limite ultimo la formazione di un numero sufficiente di cerniere plastiche per ridurre la struttura a un meccanismo.

Nella concezione e nel calcolo delle costruzioni di acciaio possono essere seguiti procedimenti basati su metodi diversi da quelli suggeriti nella presente norma; deve essere peraltro provato che questi altri metodi conducano a coefficienti di sicurezza non minori di quelli corrispondenti ai metodi qui indicati.

La presente norma non riguarda gli elementi di lamiera grecata ed i profilati sagomati a freddo. Per essi si possono adottare i metodi di calcolo indicati nella CNR-UNI 10022 oppure altri metodi fondati su ipotesi teoriche e risultati sperimentali chiaramente comprovati.

Nota — Le norme CNR-UNI 10018, 10022 e 10029 richiamate nel seguito sono di prossima pubblicazione.

1.3. Simbologia ed unità di misura

I simboli adottati sono conformi alle prescrizioni della norma ISO 3898. Tutte le grandezze meccaniche sono espresse in unità SI.

2. Materiali

2.1. Generalità

2.1.1. La presente norma prevede l'impiego dei tipi di acciaio che di seguito vengono denominati Fe 360, Fe 430, Fe 510, dei quali ai punti successivi vengono precisate le caratteristiche.

La norma stessa non vuole tuttavia costituire una remora al processo di evoluzione in atto nella produzione e nell'applicazione di altri acciai di più elevate caratteristiche meccaniche o comunque di caratteristiche ben definite.

Peraltro nell'applicazione di questi tipi deve essere rispettato lo spirito della presente norma in modo da garantire alla costruzione, con adeguata documentazione teorica e sperimentale, una sicurezza non minore di quella qui prevista.

2.1.2. Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche indicate nel seguito ci si deve attenere alle prescrizioni delle norme UNI per il prelievo dei saggi, il numero di questi, la posizione nel pezzo da cui essi devono essere prelevati, la preparazione delle provette e le modalità di prova.

2.2. Acciai laminati

Gli acciai di uso generale laminati a caldo, in profilati, barre, larghi piatti, lamiere e profili cavi (anche tubi saldati provenienti da nastri laminati a caldo), dovranno avere le caratteristiche meccaniche indicate nel punto 2.2.1. Per gli acciai destinati alle strutture saldate devono essere osservate le prescrizioni aggiuntive del punto 2.4.

2.2.1. Caratteristiche meccaniche

I valori di f_t e f_y indicati nei prospetti 2-I e 2-II sono da intendersi come valori caratteristici, con frattile di ordine 0,05, per i prodotti qualificati.

Sono invece da intendersi come valori minimi garantiti per gli acciai non qualificati (vedere punto 10).

2.2.1.1. Profilati, barre, larghi piatti, lamiera

Prospetto 2-I

Simbolo adottato	Simbolo UNI	Caratteristica o parametro		Fe 360 ¹⁾ (Fe 37)	Fe 430 ¹⁾ (Fe 44)	Fe 510 ¹⁾ (Fe 52)	
f_t	R	Tensione (carico unitario) di rottura a trazione N/mm ²		≥ 360	≥ 430	≥ 510	
f_y	R _S	Tensione (carico unitario) di snervamento N/mm ²		≥ 235 ²⁾	≥ 275 ²⁾	≥ 355 ³⁾	
KV	KV	Resilienza KV	J	B + 20 °C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
			C 0 °C	≥ 27	≥ 27	≥ 27	
			D - 20 °C	≥ 27	≥ 27	≥ 27	
ϵ_t	A	Allungamento percentuale a rottura ($L_0 = 5,65 \sqrt{A_0}$) — per lamiera — per barre (laminati mercantili), profilati, larghi piatti		≥ 26 ⁴⁾ ≥ 28 ⁴⁾	≥ 23 ⁴⁾ ≥ 24 ⁴⁾	≥ 21 ⁴⁾ ≥ 22 ⁴⁾	

1) Rientrano in questi tipi di acciai, oltre agli acciai Fe 360, Fe 430 ed Fe 510 nei gradi B, C e D della UNI 7070, anche altri tipi di acciai purché rispondenti alle caratteristiche indicate in questo prospetto.
 2) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm²; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm²; per spessori maggiori di 63 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 30 N/mm².
 3) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 30 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm²; per spessori maggiori di 30 mm fino a 50 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm².
 4) Per spessori fino a 40 mm; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione dell'1%; per spessori maggiori di 63 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione del 2%.

2.2.1.2. Profili cavi

Prospetto 2-II

Simbolo adottato	Simbolo UNI	Caratteristica o parametro		Fe 360 ¹⁾ (Fe 37)	Fe 430 ¹⁾ (Fe 44)	Fe 510 ¹⁾ (Fe 52)	
f_t	R	Tensione (carico unitario) di rottura a trazione N/mm ²		≥ 360	≥ 430	≥ 510	
f_y	R _S	Tensione (carico unitario) di snervamento N/mm ²		≥ 235 ²⁾	≥ 275 ²⁾	≥ 355 ³⁾	
KV	KV	Resilienza KV	J	B + 20 °C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
			C 0 °C	≥ 27	≥ 27	≥ 27	
			D - 20 °C	≥ 27	≥ 27	≥ 27	
ϵ_t	A	Allungamento percentuale a rottura ($L_0 = 5,65 \sqrt{A_0}$)		≥ 24	≥ 21	≥ 20	

1) Rientrano in questi tipi di acciai, oltre agli acciai Fe 360, Fe 430 ed Fe 510 nei gradi B, C e D delle UNI 7806 e UNI 7810, anche altri tipi di acciai purché rispondenti alle caratteristiche indicate in questo prospetto.
 2) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm².
 3) Per spessori fino a 16 mm; per spessori oltre 16 mm fino a 35 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm²; per spessori maggiori di 35 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm².

2.2.2. Controlli sui prodotti laminati

I controlli sui prodotti laminati verranno eseguiti secondo le prescrizioni di cui al punto 10.

2.3. Acciai per getti

Per l'esecuzione di parti in getti delle opere di cui alle presenti istruzioni si devono impiegare getti di acciaio FeG 400 (FeG 41), FeG 450 (FeG 46), FeG 520 (FeG 53) UNI 3158 o equivalenti.

Quando tali acciai devono essere saldati, devono sottostare alle stesse limitazioni di composizione chimica previste per gli acciai laminati di resistenza similare (vedere punto 2.4.2).

2.4. Acciai per strutture saldate**2.4.1. Generalità**

Gli acciai per strutture saldate, oltre le prescrizioni del punto 2.2, devono soddisfare le altre indicate nei seguenti punti 2.4.2 e 2.4.3. Qualora non sia possibile effettuare il controllo relativo a tali prescrizioni presso il produttore e non sia comunque possibile la suddivisione del materiale in lotti appartenenti alla stessa colata, gli accertamenti devono essere effettuati laminato per laminato. Per verificare che l'acciaio non sia effervescente, quando non si abbia esplicita dichiarazione del produttore, devono essere effettuate prove Baumann, secondo UNI ISO 4968, sulle teste dei laminati.

2.4.2. Composizione chimica e grado di disossidazione degli acciai**2.4.2.1. Acciai Fe 360 e Fe 430**

Gli acciai da saldare con elettrodi rivestiti, oltre a soddisfare le condizioni indicate nel punto 2.2, devono avere composizione chimica contenuta entro i limiti raccomandati dalla UNI 5132 per le varie classi di qualità degli elettrodi impiegati.

Nel caso di saldature di testa o d'angolo sul taglio di un laminato, gli acciai, oltre a soddisfare i limiti di analisi sopraindicati, devono essere di tipo semicalmato o calmato, a meno che non vengano impiegati elettrodi rivestiti corrispondenti alla classe di qualità 4 della UNI 5132.

Gli acciai destinati ad essere saldati con procedimenti di saldatura ad arco sommerso o sotto gas protettivo, oltre a soddisfare le prescrizioni indicate nel punto 2.2, quando trattasi di procedimenti che comportano una forte penetrazione della zona fusa del metallo base, è opportuno che abbiano composizione chimica, riferita al prodotto finito (e non alla colata), rispondente alle seguenti limitazioni:

— grado B:	C ≤ 0,24%	P ≤ 0,055%	S ≤ 0,055%
— grado C:	C ≤ 0,22%	P ≤ 0,050%	S ≤ 0,050%
— grado D:	C ≤ 0,22%	P ≤ 0,045%	S ≤ 0,045%

Si raccomanda di escludere l'impiego di acciaio effervescente, che comunque per la composizione chimica riferita a prodotto finito deve soddisfare la stessa limitazione dell'acciaio semicalmato.

2.4.2.2. Acciaio Fe 510

Nell'analisi effettuata su prodotto finito si deve verificare che risulti:

— grado B:	C ≤ 0,26%	Mn ≤ 1,6%	Si ≤ 0,60	P ≤ 0,055%	S ≤ 0,055%
— grado C:	C ≤ 0,24%	Mn ≤ 1,6%	Si ≤ 0,60	P ≤ 0,050%	S ≤ 0,050%
— grado D:	C ≤ 0,22%	Mn ≤ 1,6%	Si ≤ 0,60	P ≤ 0,045%	S ≤ 0,045%

Qualora il tenore di C risulti minore o uguale, per i tre gradi B, C, D, rispettivamente a 0,24%, 0,22% e 0,20%, potranno accettarsi tenori di Mn maggiori di 1,6% ma comunque non maggiori dell'1,7%.

Deve intendersi escluso l'impiego di acciaio effervescente.

2.4.3. Fragilità alle basse temperature

La temperatura minima alla quale l'acciaio di una struttura saldata può essere utilizzato senza pericolo di rottura fragile, in assenza di dati più precisi, deve essere stimata sulla base della temperatura T alla quale per detto acciaio può essere garantita una resilienza KV , secondo UNI 4713, di 27 J.

La temperatura T deve risultare minore o uguale a quella minima di servizio per elementi importanti di strutture saldate soggetti a trazione con tensione prossima a quella ammissibile aventi spessori maggiori di 25 mm e forme tali da produrre sensibili concentrazioni locali di sforzi (saldature di testa o d'angolo non soggette a controllo) od accentuate deformazioni plastiche di formatura. Se lo spessore è maggiore di 40 mm o se i carichi applicati comportano accentuato regime di fatica o sollecitazioni d'urto

e si verificano ad un tempo le condizioni sopra indicate, è raccomandabile attenersi a temperature T anche minori di quella minima di servizio.

A parità di altre condizioni, via via che diminuisce lo spessore, la temperatura T potrà innalzarsi a giudizio del progettista fino ad una temperatura di circa 30 °C maggiore di quella minima di servizio per spessori dell'ordine di 10 mm.

Un aumento può aver luogo anche per spessori fino a 25 mm via via che l'importanza dell'elemento decresce o che le altre condizioni citate si attenuano.

In base a quanto sopra il progettista, stimata la temperatura T alla quale la resilienza di 27 J deve essere assicurata, sceglierà nelle norme UNI o nei cataloghi dei produttori l'acciaio soddisfacente questa condizione.

2.5. Saldature

2.5.1. Procedimenti di saldatura

Possono essere impiegati i seguenti procedimenti:

- saldatura manuale ad arco con elettrodi rivestiti;
- saldatura automatica ad arco sommerso;
- saldatura automatica o semiautomatica sotto gas di protezione (CO₂ o sue miscele);
- altro procedimento di saldatura la cui attitudine a garantire una saldatura pienamente efficiente deve essere previamente verificata mediante le prove indicate al punto 2.5.2.

Il materiale depositato con i vari procedimenti dovrà rispondere alle caratteristiche meccaniche stabilite dalla UNI 5132 per quanto riguarda gli elettrodi, ed a quelle indicate nel punto 2.5.2 per gli altri procedimenti; gli elettrodi impiegati dovranno sempre essere del tipo omologato secondo la norma UNI ora citata.

Per quanto riguarda l'uso degli elettrodi in relazione agli acciai saranno osservate le indicazioni seguenti:

Acciai Fe 360 e 430:

- elettrodi E44 di classe 2, 3, 4, per spessori \leq 30 mm;
- elettrodi E44 di classe 4B per spessori $>$ 30 mm.

Acciaio Fe 510:

- elettrodi E52 di classe 3B e 4B per spessori \leq 20 mm;
- elettrodi E52 di classe 4B per spessori $>$ 20 mm.

Per strutture che lavorano a temperatura di esercizio minore di 0 °C, qualunque sia l'acciaio o lo spessore, saranno usati elettrodi di classe 4B.

Rivestimenti di elettrodi, flussi esterni per saldature ad arco sommerso e flussi interni per fili animati possono essere potenziali sorgenti di idrogeno e dare luogo, pur soddisfacendo alle altre caratteristiche richieste, al pericolo di cricche a freddo nella zona termicamente alterata od in saldatura, pericolo che aumenta con l'aumentare dello spessore su cui si salda.

Ad evitare ciò sono da osservare, per l'uso dei vari procedimenti, le seguenti ulteriori prescrizioni.

2.5.1.1. Acciai Fe 360 ed Fe 430, spessore \leq 40 mm; acciaio Fe 510, spessore \leq 20 mm

Gli elettrodi a rivestimento basilico ed i flussi per saldatura ad arco sommerso saranno contenuti negli usuali involucri protettivi e ben conservati all'asciutto; i fili per saldatura ad arco sommerso o sotto gas protettivo, saranno del tipo solido od animato dei vari tipi in uso, con rivestimento di rame compatto e continuo ed esente da impurezze superficiali.

2.5.1.2. Acciai Fe 360 ed Fe 430, spessore $>$ 40 mm; acciaio Fe 510, spessore $>$ 20 mm

Gli elettrodi ed i flussi per saldatura ad arco sommerso, a meno che non siano contenuti in involucri metallici stagni sotto vuoto, saranno trattati in appositi fornelli di essiccazione a temperatura compresa fra 375 e 425 °C (la maggiore possibile ammessa dal fabbricante) per circa 2 h e mantenuti poi in fornelli a 150 °C.

I fili per saldatura ad arco sommerso o sotto protezione di gas saranno di tipo solido o ricavati da tubo riempito di flusso e successivamente laminato, ed avranno, come nel caso precedente, rivestimenti di rame compatto e continuo ed esente da impurezze superficiali.

I procedimenti rispondenti alle condizioni sopradescritte saranno considerati procedimenti a basso idrogeno.

2.5.2. Prove di qualifica del procedimento di saldatura

L'impiego di elettrodi omologati secondo UNI 5132 esime da ogni prova di qualifica del procedimento.

Per l'impiego degli altri procedimenti di saldatura (arco sommerso o sotto gas di protezione) occorre eseguire prove preliminari di qualifica intese ad accertare:

- l'attitudine ad eseguire i principali tipi di giunto previsti nella struttura ottenendo giunti corretti sia per aspetto esterno sia per assenza di sensibili difetti interni (da accertare radiograficamente o con prove di rottura sul giunto);

- la resistenza a trazione su giunti testa a testa, mediante provette trasversali al giunto, resistenza che deve risultare non minore di quella del materiale base;
- la capacità di deformazione del giunto, mediante provette di piegamento trasversali che devono potersi piegare a 180° su mandrino con diametro pari a 3 volte lo spessore per l'acciaio Fe 360 e Fe 430 ed a 4 volte per l'acciaio Fe 510;
- la resilienza su provette intagliata a V secondo UNI 4713 ricavate trasversalmente al giunto saldato, resilienza che deve risultare non minore di 27 J e deve essere verificata a + 20 °C, se la struttura deve essere impiegata a temperatura maggiore o uguale a 0 °C, e a 0 °C nel caso di temperature minori.

Le provette per le prove di trazione, di piegamento, di resilienza ed eventualmente per altre prove meccaniche, se ritenute necessarie, devono essere ricavate da saggi testa a testa saldati. Allo scopo devono essere scelti gli spessori più significativi della struttura. Con ogni procedimento di saldatura la durezza Vickers HV 30 nella zona termicamente alterata del metallo base non deve eccedere il valore di 3 500 N/mm²; quando la necessità di spessore o di temperatura ambiente lo richiedano, occorre quindi applicare un opportuno preriscaldamento.

2.5.3. Classi delle saldature

2.5.3.1. Giunti testa a testa

Si distinguono due classi di giunti:

- **I classe**, che comprende i giunti effettuati con elettrodi di classe 3 o 4 secondo UNI 5132 o con gli altri procedimenti qualificati di saldatura indicati al punto 2.5.1 e realizzati con accurata eliminazione di ogni difetto al vertice prima di effettuare la ripresa o la seconda saldatura.

Tali giunti devono inoltre soddisfare ovunque l'esame radiografico con i risultati richiesti per il raggruppamento B della UNI 7278. L'aspetto della saldatura deve essere ragionevolmente regolare e non presentare bruschi disavviamenti col metallo base. Nel caso di sollecitazione a fatica possono risultare convenienti sovrassessori particolarmente lisci ed avviati per usufruire delle maggiori tensioni ammesse in questo caso, come indicato al punto 8.3;

- **II classe**, che comprende i giunti effettuati con elettrodi di classe 2, 3 o 4 secondo UNI 5132 o con gli altri procedimenti qualificati di saldatura indicati al punto 2.5.1 e realizzati ugualmente con eliminazione dei difetti al vertice prima di effettuare la ripresa o la seconda saldatura. Tali giunti devono inoltre soddisfare l'esame radiografico con i risultati richiesti per il raggruppamento F della UNI 7278.

L'aspetto della saldatura deve essere ragionevolmente regolare e non presentare bruschi disavviamenti col materiale base.

Per entrambe le classi l'estensione dei controlli radiografici o, eventualmente, ultrasonori deve essere stabilita dal Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il progettista, in relazione all'importanza delle giunzioni e alle precauzioni prese dalla ditta esecutrice, alla posizione di esecuzione delle saldature secondo che siano state eseguite in officina od al montaggio.

2.5.3.2. Giunti a croce od a T, a completa penetrazione

Si distinguono due classi di giunti:

- **I classe**, che comprende i giunti effettuati con elettrodi aventi caratteristiche di classe 3 o 4 secondo UNI 5132 o con altri procedimenti qualificati di saldatura indicati al punto 2.5.1 e realizzati con accurata eliminazione di ogni difetto al vertice prima di effettuare la ripresa o la seconda saldatura.

Tali giunti devono avere un grado di difettosità non maggiore di quello dei giunti testa a testa di I classe.

L'aspetto della saldatura deve essere ragionevolmente regolare e non presentare bruschi disavviamenti col materiale base. Nei casi di sollecitazioni a fatica possono risultare convenienti sovrassessori particolarmente lisci ed avviati, per usufruire delle maggiori tensioni ammesse in questo caso, come indicato al punto 8.3;

- **II classe**, che comprende i giunti effettuati con elettrodi aventi caratteristiche di classe 2, 3 o 4 secondo UNI 5132 o con altri procedimenti qualificati di saldatura indicati al punto 2.5.1 e realizzati con la miglior possibile penetrazione al vertice. Tali giunti devono avere un grado di difettosità non maggiore di quello dei giunti testa a testa di II classe.

L'aspetto della saldatura deve essere ragionevolmente regolare e non presentare bruschi disavviamenti col materiale base.

Per entrambe le classi l'estensione dei controlli non distruttivi delle giunzioni deve essere stabilita dal Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il progettista, in base all'importanza delle giunzioni ed ai fattori esecutivi nel modo già precisato per i giunti testa a testa al punto 2.5.3.1.

L'esame radiografico o con ultrasuoni, atto ad accertare gli eventuali difetti interni di questi giunti, nel caso di spessori maggiori di 30 mm deve essere integrato con opportuno esame magnetoscopico sui lembi esterni delle saldature al fine di rilevare la presenza o meno di cricche da strappo.

Nel caso di giunto a croce sollecitato normalmente alla lamiera compresa fra le due saldature, deve essere previamente accertato, mediante ultrasuoni, che detta lamiera nella zona interessata dal giunto sia esente da sfogliature o segregazioni accentuate.

2.5.3.3. Giunti con cordoni d'angolo

Questi giunti, effettuati con elettrodi aventi caratteristiche di classe 2, 3 o 4 secondo UNI 5132 o con gli altri procedimenti indicati al punto 2.5.1, devono essere considerati come appartenenti ad una unica classe caratterizzata da una ragionevole assenza di difetti interni e da assenza di incrinature interne o di cricche da strappo sui lembi dei cordoni.

Il loro controllo deve essere di regola effettuato mediante sistemi magnetici; la sua estensione deve essere stabilita dal Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il progettista, in base ai fattori esecutivi come già precisato al punto 2.5.3.1.

2.6. Bulloni

I bulloni normali (conformi per le caratteristiche dimensionali alle UNI 5727, UNI 5592 e UNI 5591) e quelli ad alta resistenza (conformi per le caratteristiche dimensionali delle viti alla UNI 5712 e per quelle dei dadi alla UNI 5713) devono appartenere alle sottoindicate classi della UNI 3740; le classi delle viti e dei dadi devono essere associate nel modo indicato nel prospetto 2-III.

Prospetto 2-III

	Normale			Ad alta resistenza	
Vite	4.6	5.6	6.6	8.8	10.9
Dado	4A	5D	5S	6S	8G

2.6.1. Bulloni per giunzioni ad attrito

Nelle giunzioni ad attrito devono essere impiegati bulloni ad alta resistenza: viti e dadi devono essere associati come nel prospetto 2-III.

Le rosette e le piastrine devono essere di acciaio C 50 UNI 7845 temperato e rinvenuto HRC 32 ÷ 40 e devono essere conformi per le caratteristiche dimensionali alle UNI 5714, UNI 5715, UNI 5716.

Le rosette, disposte una sotto il dado e una sotto la testa, devono avere uno smusso a 45° in un orlo interno ed identico smusso sul corrispondente orlo esterno. Nel montaggio lo smusso deve essere rivolto verso la testa della vite o verso il dado. Le viti e le rosette devono portare, in rilievo o impresso, il marchio del fabbricante e la classe.

2.7. Chiodature

Per i chiodi da ribadire a caldo si deve impiegare acciaio Fe 40 UNI 7356.

2.8. Costanti elastiche

Per tutti gli acciai considerati si possono assumere i seguenti valori delle costanti elastiche:

- modulo di elasticità normale $E = 206.000 \text{ N/mm}^2$
- modulo di elasticità tangenziale $G = 80.000 \text{ N/mm}^2$

2.9. Coefficiente di dilatazione termica

Per tutti gli acciai considerati si può assumere il seguente valore del coefficiente di dilatazione termica.

$$\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

3. Metodi di calcolo**3.1. Generalità**

Le strutture di acciaio realizzate con i materiali previsti al precedente punto 2 devono essere progettate per i carichi definiti dalle norme in vigore, secondo i metodi della scienza delle costruzioni e seguendo uno dei procedimenti specificati nelle norme tecniche "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" emanate in applicazione dell'art. 1, Legge 2/2/74 n. 64.

3.2. Metodo semiprobabilistico agli stati limite

Il metodo semiprobabilistico viene applicato, considerando le azioni di calcolo e le resistenze di calcolo previste ai punti 3.2.1 e 4.1, con riferimento allo "stato limite elastico della sezione" (punto 3.2.3.1); sono inoltre obbligatorie le verifiche agli stati limite di esercizio (punto 3.2.3.2).

3.2.1. Azioni di calcolo

Per gli stati limite ultimi le azioni agenti sulla struttura verranno cumulate tra di loro nel modo più sfavorevole secondo combinazioni del tipo:

$$F_d = \gamma_g G_k + \gamma_q \left[Q_{1k} + \sum_{i=1}^n (\psi_{oi} Q_{ik}) \right]$$

dove: G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti;

Q_{1k} è il valore caratteristico dell'azione di base in ogni combinazione;

Q_{ik} sono i valori caratteristici delle n azioni variabili tra di loro indipendenti;

$\gamma_g = 1,5$ (1,00 se il suo contributo opera a favore della sicurezza adottando quale valore di G_k il minimo prevedibile);

$\gamma_q = 1,5$;

ψ_{oi} sono i coefficienti che tengono conto della riduzione della probabilità di combinazione delle azioni e che vanno determinati sulla base di considerazioni statistiche. In assenza di queste si assume $\psi_{oi} = 0,7$ per le azioni da neve, vento, sisma e per i carichi variabili di esercizio sui fabbricati per abitazione ed uffici.

Non si devono considerare contemporaneamente presenti le azioni del vento e del sisma.

3.2.2. Resistenza di calcolo

La resistenza di calcolo f_d è definita mediante l'espressione:

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_m}$$

dove: f_y è il valore dello snervamento quale risultante dai prospetti 2-I e 2-II e tenendo conto dello spessore del laminato;

γ_m è specificato ai successivi punti 3.2.3.1 e 3.2.3.2.

3.2.3. Stati limite

3.2.3.1. Stato limite elastico della sezione

Si assume che gli effetti delle azioni di calcolo definite in 3.2.1, prescindendo dai fenomeni di instabilità (ma comprese le maggiorazioni per effetti dinamici), non comportino in alcun punto di ogni sezione il superamento della deformazione unitaria corrispondente al limite elastico del materiale. Si assumerà $\gamma_m = 1$.

In tal caso è ammesso il calcolo elastico degli effetti delle azioni di calcolo. Qualora si tenga conto di effetti dovuti a stati di presollecitazione si assumerà $\gamma_q = 0,80$ per effetti favorevoli e $\gamma_q = 1,2$ per quelli sfavorevoli.

3.2.3.2. Stati limite di esercizio

Si dovrà verificare che siano rispettate le limitazioni di cui al punto 4.2, per le combinazioni di cui al punto 3.2.1, assumendo $\gamma_g = \gamma_q = 1$, applicando ai valori caratteristici delle azioni variabili adeguati coefficienti riduttivi e assumendo $\gamma_m = 1$.

3.3. Metodo delle tensioni ammissibili

3.3.1. Azioni di calcolo

Le azioni agenti sulla struttura verranno raggruppate in due sole condizioni di carico.

La condizione di carico I cumula nel modo più sfavorevole le azioni permanenti ed accidentali (compresi eventuali effetti dinamici) ad eccezione degli effetti del vento, del sisma e degli stati coattivi sfavorevoli (temperatura, cedimenti vincoli, ecc.). Si devono includere nella condizione di carico I gli effetti statici e dinamici del vento (o del sisma) qualora le tensioni da essi provocate siano maggiori di quelle ingenerate dagli altri carichi permanenti e accidentali.

La condizione di carico II cumula nel modo più sfavorevole i carichi permanenti ed accidentali (vento o sisma inclusi).

3.3.2. Resistenza di calcolo

Si farà riferimento ai valori ammissibili σ_{adm} e τ_{adm} della resistenza. Tali valori sono specificati nei punti successivi relativamente alla condizione di carico I.

Le tensioni ammissibili per la condizione di carico II sono da assumersi pari a

$$1,125 \sigma_{adm} \text{ e } 1,125 \tau_{adm}$$

3.3.3. Verifiche

Sono obbligatorie le verifiche per ambedue le condizioni di carico I e II.

Per ciascun elemento resistente si devono valutare le azioni corrispondenti alle singole cause di sollecitazione, tenendo conto della maggiorazione per eventuali effetti dinamici. Gli sforzi secondari devono essere presi in considerazione quando particolari esigenze di progetto o di esecuzione richiedano disposizioni costruttive inconsuete.

I criteri di verifica nei confronti della resistenza, deformabilità e stabilità sono indicati ai punti successivi. Nel caso che eventuali deformazioni impresse diano effetti favorevoli questi andranno ridotti all'80%.

4. Resistenze di calcolo e limiti di deformabilità

Ai fini delle applicazioni della presente norma si possono adottare i valori convenzionali delle resistenze di calcolo dei materiali indicate al punto 4.1 rispettivamente per il metodo semiprobabilistico agli stati limite e per il metodo delle tensioni ammissibili.

Per i limiti di deformabilità vale quanto riportato al punto 4.2.

Per i fenomeni di fatica si rimanda al punto 8.

4.1. Resistenze di calcolo dei materiali

4.1.1. Acciaio laminato

Per gli acciai laminati di cui al punto 2.2, si possono assumere per la resistenza di progetto e la tensione ammissibile i valori riportati nei prospetti 4-1a e 4-1b rispettivamente.

Prospetto 4-1a

Stato limite		
Materiale	f_d N/mm ²	
	$t \leq 40$	$t > 40$
Fe 360	235	210
Fe 430	275	250
Fe 510	355	315

t = spessore in mm.

Prospetto 4-1b

Tensione ammissibile		
Materiale	σ_{adm} N/mm ²	
	$t \leq 40$	$t > 40$
Fe 360	160	140
Fe 430	190	170
Fe 510	240	210

t = spessore in mm.

4.1.2. Acciaio per getti

Per gli acciai per getti di cui al punto 2.3, si possono assumere per la resistenza di progetto e la tensione ammissibile i valori riportati nei prospetti 4-IIa e 4-IIb rispettivamente.

Prospetto 4-IIa

Stato limite	
Materiale	f_d N/mm ²
Fe G 400	180
Fe G 450	225
Fe G 520	255

Prospetto 4-IIb

Tensione ammissibile	
Materiale	σ_{adm} N/mm ²
Fe G 400	120
Fe G 450	150
Fe G 520	170

4.1.3. Bulloni

Per i bulloni di cui al punto 2.6, si possono assumere per le resistenze di progetto e le tensioni ammissibili i valori riportati nei prospetti 4-IIIa e 4-IIIb rispettivamente.

Prospetto 4-IIIa

Stato limite					
Classe vite	f_t N/mm ²	f_y N/mm ²	$f_{k,N}$ N/mm ²	$f_{d,N}$ N/mm ²	$f_{d,V}$ N/mm ²
4.6	400	240	240	240	170
5.6	500	300	300	300	212
6.6	600	360	360	360	255
8.8	800	640	560	560	396
10.9	1 000	900	700	700	495

$f_{k,N}$ è assunto pari al minore dei due valori $f_{k,N} = 0,7 f_t$, $f_{k,N} = f_y$ essendo f_t ed f_y le tensioni di rottura e di snervamento secondo UNI 3740.

$f_{d,N} = f_{k,N}$ resistenza di progetto a trazione.

$f_{d,V} = f_{k,N}/\sqrt{2}$ resistenza di progetto a taglio.

Prospetto 4-IIIb

Tensione ammissibile					
Classe vite	f_t N/mm ²	f_y N/mm ²	$f_{k,N}$ N/mm ²	$\sigma_{b,adm}$ N/mm ²	$\tau_{b,adm}$ N/mm ²
4.6	400	240	240	160	113
5.6	500	300	300	200	141
6.6	600	360	360	240	170
8.8	800	640	560	373	264
10.9	1 000	900	700	467	330

$f_{k,N}$ è assunto pari al minore dei due valori $f_{k,N} = 0,7 f_t$, $f_{k,N} = f_y$ essendo f_t ed f_y le tensioni di rottura e di snervamento secondo UNI 3740.

$\sigma_{b,adm}$, $\tau_{b,adm}$ tensioni ammissibili a trazione ed a taglio.

I bulloni di ogni classe devono essere adeguatamente serrati. È consigliabile applicare un serraggio tale da provocare una forza di trazione N_s nel gambo della vite pari a:

$$N_s = 0,8 f_{k,N} A_{res}$$

essendo A_{res} l'area della sezione resistente della vite.

La coppia di serraggio T_s necessaria per indurre la forza normale N_s risulta, per filettatura a passo grosso:

$$T_s = 0,2 N_s d$$

essendo d il diametro nominale di filettatura del bullone.

Nel prospetto 4-IV sono riportati i valori dell'area resistente A_{res} , della forza normale N_s e della coppia di serraggio T_s per i vari tipi di bulloni.

Prospetto 4-IV

d mm	A _{res} mm ²	T _s (N · m)					N _s (kN)					d mm
		4.6	5.6	6.6	8.8	10.9	4.6	5.6	6.6	8.8	10.9	
12	84	39	48	59	90	113	16	20	24	38	47	12
14	115	62	77	93	144	180	22	28	33	52	64	14
16	157	96	121	145	225	281	30	38	45	70	88	16
18	192	133	166	199	309	387	37	46	55	86	108	18
20	245	188	235	282	439	549	47	59	71	110	137	20
22	303	256	320	384	597	747	58	73	87	136	170	22
24	353	325	407	488	759	949	68	85	102	158	198	24
27	459	476	595	714	1 110	1 388	88	110	132	206	257	27
30	561	646	808	969	1 508	1 885	108	135	161	251	314	30

4.1.4. Chiodi

Per i chiodi di cui al punto 2.7, si possono assumere per le resistenze di progetto e le tensioni ammissibili i valori riportati nei prospetti 4-Va e 4-Vb rispettivamente.

Prospetto 4-Va

Stati limite	
f _{d,v} N/mm ²	f _{d,N} N/mm ²
180	75

Prospetto 4-Vb

Tensioni ammissibili	
T _{b,adm} N/mm ²	σ _{b,adm} N/mm ²
120	50

4.2. Limiti di deformabilità

4.2.1. Limiti agli spostamenti

4.2.1.1. Le frecce degli elementi delle strutture edilizie devono essere contenute quanto è necessario perché non ne derivino danni alle opere complementari in genere ed in particolare alle murature di tamponamento ed ai relativi intonaci. Indicativamente devono almeno essere rispettati i limiti seguenti.

Per le travi dei solai la freccia dovuta al solo sovraccarico non deve superare 1/400 della luce.

Per le travi caricate direttamente o indirettamente da muri o da pilastri, la freccia totale, dovuta al carico permanente ed al sovraccarico, non deve superare 1/500 della luce. Tale limitazione vale anche per travi caricate da tramezzi qualora non si adottino provvedimenti cautelativi per limitare il pericolo di danneggiamento e fessurazione dei tramezzi stessi. Per gli sbaizi si possono assumere le limitazioni di cui sopra con riferimento a una luce pari a due volte la lunghezza dello sbaizo.

Per gli arcarecci e gli elementi inflessi dell'orditura minuta delle coperture, la freccia totale, dovuta al carico permanente ed al sovraccarico, non deve superare 1/200 della luce.

4.2.1.2. Ferme restando le condizioni di cui sopra, ove l'entità delle deformazioni lo richieda, devono essere previste contro-frecce adeguate.

4.2.1.3. Le frecce teoriche orizzontali degli edifici multipiani alti, dovute all'azione del vento, non devono essere maggiori di 1/500 dell'altezza totale dell'edificio.

- 4.2.1.4. Le travi a sostegno di murature di tamponamento, in strutture intelaiate, possono calcolarsi ammettendo che il muro, comportandosi ad arco, si scarichi in parte direttamente sugli appoggi.
Le travi suddette sono così soggette a flessione, per effetto del carico della parte di muro sottostante all'intradosso dell'arco, ed a trazione, per effetto della spinta dell'arco stesso.
In via di approssimazione si può ritenere che l'arco sia un semicerchio.

4.2.2. Scorrimento delle unioni

- 4.2.2.1. Nel caso si debbano impedire gli scorrimenti nelle giunzioni bullonate affidando lo sforzo da trasmettere all'attrito tra le superficie a contatto i valori massimi delle sollecitazioni di taglio per effetto delle combinazioni di carico di cui al punto 3.2.1 e 3.3.1 non devono superare i valori delle forze trasmissibili $V_{1,0}$ e $V_{1,N}$ di seguito riportati.

- 4.2.2.2. La forza $V_{1,0}$ trasmissibile per attrito da ciascun bullone per ogni piano di contatto tra gli elementi da collegare, è espressa dalla relazione:

$$V_{1,0} = \mu N_s / \gamma_1$$

dove: γ_1 è il coefficiente di riduzione nei confronti dello slittamento pari a 1,25;

μ è il coefficiente di attrito da assumersi in mancanza di più esatta determinazione (vedere 4.2.2.4) pari a 0,45 per superficie trattate come indicato al punto 9.9.3 e 0,30 per superficie non particolarmente trattate e comunque nelle giunzioni effettuate in opera;

N_s è la forza di trazione nel gambo delle viti (prospetto 4-IV) conseguente il serraggio.

È necessario il serraggio dei bulloni con le coppie indicate nel prospetto 4-IV. Per giunzioni di particolare importanza si consiglia di eseguire il controllo in cantiere del valore di N_s su un campione di bulloni, mediante calibratore idraulico o apparecchio equivalente.

Nei prospetto 4-VI sono riportati i valori di $V_{1,0}$ in relazione al coefficiente di attrito.

Prospetto 4-VI

Diametro nominale di filettatura d mm	Classe della vite			
	8.8		10.9	
	$\mu = 0,3$ $V_{1,0}$ kN	$\mu = 0,45$ $V_{1,0}$ kN	$\mu = 0,3$ $V_{1,0}$ kN	$\mu = 0,45$ $V_{1,0}$ kN
12	9	13	11	16
14	12	18	15	22
16	17	25	21	31
18	21	31	26	39
20	26	39	33	49
22	33	49	41	61
24	38	57	48	72
27	49	73	62	93
30	60	90	75	112

- 4.2.2.3. In un giunto per attrito i bulloni ad alta resistenza possono trasmettere anche una forza assiale di trazione N . In questo caso, sempreché non concorrano flessioni parassite apprezzabili nel bullone, la forza $V_{1,N}$ ancora trasmissibile dal bullone per attrito è:

$$V_{1,N} = V_{1,0} \left(1 - \frac{N}{N_s} \right)$$

La forza N agente nel bullone dovuta alle combinazioni di carico di cui al punto 3.2.1 e 3.3.1 non può in nessun caso superare il valore $0,8 N_s$.

- 4.2.2.4. Il coefficiente d'attrito μ fra le facce a contatto può essere determinato sperimentalmente eseguendo quattro prove a breve durata e una prova a lunga durata su provini analoghi a quelli indicati in fig. 4-1.
In ognuna di esse si determina la media degli scorrimenti delle piastre «a» e «c» rispetto alle piastre superiore « b_{sup} », ed inferiore « b_{inf} ».

4.2.2.5. Nelle quattro prove a breve durata l'accrescimento del carico deve esser compreso fra 10 e 20 kN/min. Si determina il carico F_v cui corrisponde uno scorrimento relativo di 0,15 mm e di conseguenza il coefficiente di attrito pari a:

$$\mu = \frac{F_v}{4 N_s}$$

essendo N_s la forza nel gambo dovuta al preserraggio. Da ogni prova si ottengono 2 valori di F_v .

4.2.2.6. La prova a lunga durata deve esser condotta con lo stesso accrescimento del carico di cui in 4.2.2.5 fino ad un valore del carico pari al 90% della media di quelli corrispondenti agli scorrimenti pari a 0,15 mm rilevati nelle prove a breve durata. Per tale valore del carico il provino deve essere sollecitato per 3 h. Se non si sono manifestati scorrimenti ΔL maggiori di 2×10^{-3} mm, esso viene scaricato e poi ricaricato come in 4.2.2.5, rilevando i due carichi F_v cui corrispondono scorrimenti pari a 0,15 mm.

4.2.2.7. Le prove sono considerate soddisfacenti se lo scarto quadratico medio relativo ai 10 valori del carico corrispondente a uno slittamento di 0,15 mm non supera l'8% della media.

4.2.2.8. Se l'esito delle prove non è soddisfacente esse dovranno essere ripetute su un numero di provini convenientemente maggiore.

Dimensioni in mm

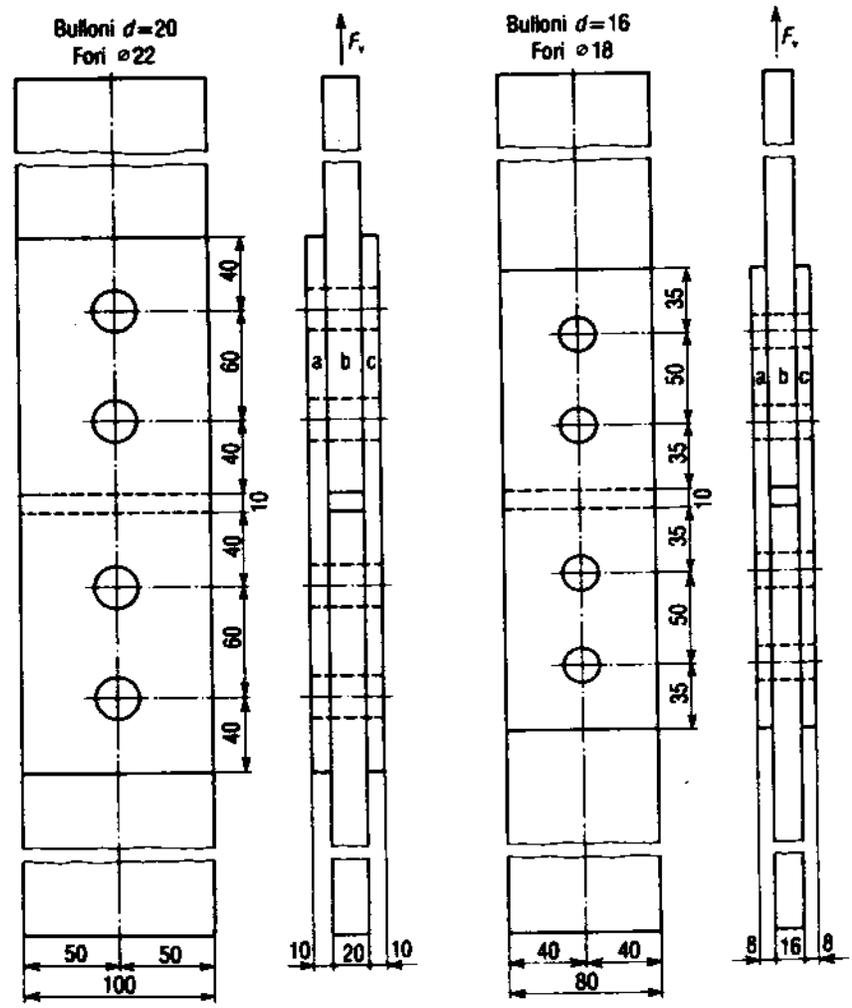


Fig. 4-1

5. Verifiche di resistenza dei collegamenti

5.1. Unioni saldate

5.1.1. Giunti testa a testa o a T a completa penetrazione

Per il calcolo delle tensioni derivanti da azioni di trazione o compressione agenti normalmente all'asse della saldatura o da azioni di taglio, deve essere considerata come sezione resistente la sezione longitudinale della saldatura stessa; ai fini del calcolo essa ha come lunghezza quella intera della saldatura e come larghezza il minore dei due spessori collegati, misurato in vicinanza della saldatura, per i giunti di testa e lo spessore dell'elemento a completa penetrazione nel caso di giunti a T (vedere figura 5-1).

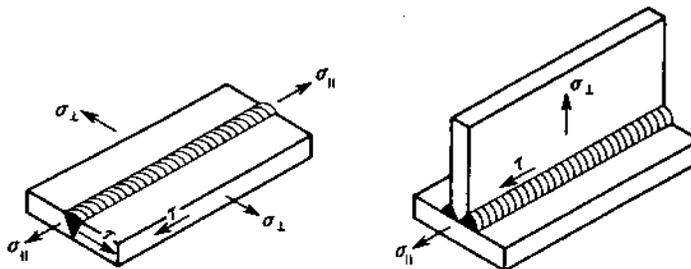


Fig. 5-1

Per il calcolo delle tensioni derivanti da azioni di trazione o compressione parallele all'asse della saldatura, deve essere considerata come sezione resistente quella del pezzo saldato ricavata normalmente all'asse predetto (cioè quella del materiale base più il materiale d'apporto).

Prospetto 5-1a

Stato limite	
Giunto	$\sigma_{id} \leq$
I classe	f_d
II classe	$0,85 f_d$
f_d resistenza di progetto del materiale base di cui al prospetto 4-1a.	

Prospetto 5-1b

Tensione ammissibile	
Giunto	$\sigma_{id} \leq$
I classe	σ_{adm}
II classe	$0,85 \sigma_{adm}$
σ_{adm} tensione ammissibile del materiale base di cui al prospetto 4-1b.	

La tensione ideale calcolata secondo la formula seguente dovrà risultare minore o uguale ai limiti riportati nei prospetti 5-1a e 5-1b, rispettivamente per il metodo agli stati limite e per il metodo delle tensioni ammissibili.

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_{\parallel} + 3 \tau_{\parallel}^2}$$

dove: σ_{\perp} è la tensione di trazione o compressione normale alla sezione longitudinale della saldatura;

σ_{\parallel} è la tensione di trazione o compressione parallela all'asse della saldatura;

τ_{\parallel} è la tensione tangenziale nella sezione longitudinale della saldatura.

5.1.2. Giunti a cordoni d'angolo

5.1.2.1. Per il calcolo delle tensioni derivanti da azioni di trazione o compressione normali all'asse della saldatura o da azioni di taglio secondo detto asse, deve essere considerata come sezione resistente la sezione di gola del cordone di saldatura; ai fini del calcolo essa ha come lunghezza L quella intera del cordone, purché questo non abbia estremità palesemente mancanti o difettose, e come larghezza a l'altezza del triangolo iscritto nella sezione trasversale del cordone (vedere figura 5-2).

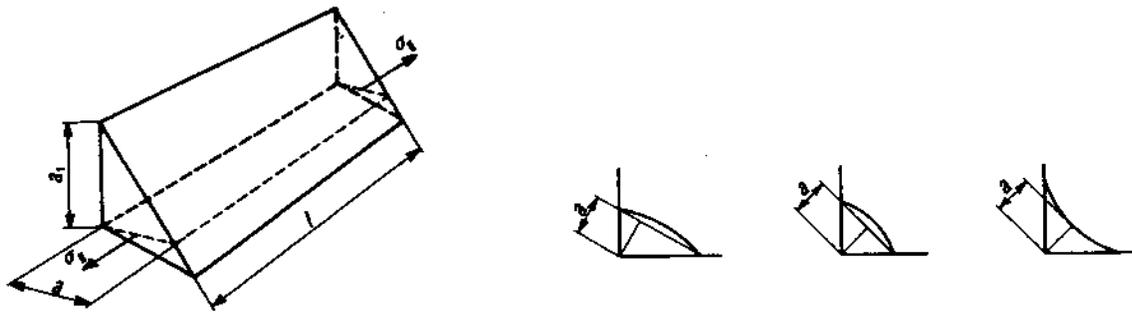


Fig. 5-2

5.1.2.2. Eventuali tensioni σ_1 di trazione o di compressione presenti nella sezione trasversale del cordone, inteso come parte della sezione resistente della membrana, non devono essere prese in considerazione ai fini della verifica del cordone stesso.

5.1.2.3. Il calcolo convenzionale delle tensioni deve essere eseguito ribaltando su uno dei lati del cordone la sezione di gola (vedere figura 5-3). La tensione risultante dalle azioni esterne sulla sezione di gola deve essere scomposta secondo tre direzioni ortogonali nelle componenti di modulo τ_1 , σ_1 e τ_1 , come indicato nella figura 5-3.

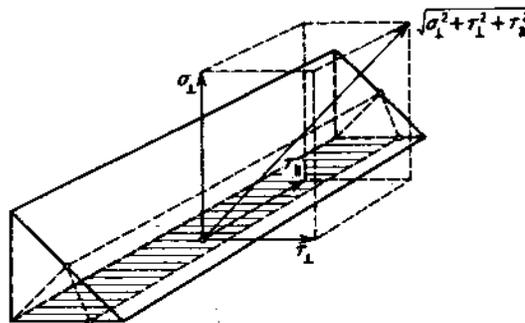


Fig. 5-3

Per la verifica i valori assoluti delle componenti di tensione $|\tau_1|$, $|\sigma_1|$ e $|\tau_1|$ devono soddisfare le limitazioni di cui al punto seguente.

5.1.2.4. Verifiche stati limite

Nel caso siano presenti tutte e tre le componenti di tensione τ_1 , σ_1 e τ_1 devono essere verificate le seguenti limitazioni:

$$\sqrt{\tau_1^2 + \sigma_1^2 + \tau_1^2} \leq \begin{cases} 0,85 f_d \text{ per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 f_d \text{ per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510;} \end{cases} \quad [1]$$

$$|\tau_1| + |\sigma_1| \leq \begin{cases} f_d \text{ per l'acciaio Fe 360} \\ 0,85 f_d \text{ per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510.} \end{cases} \quad [2]$$

Nel caso in cui siano presenti le sole componenti di tensione τ_1 e σ_1 è sufficiente verificare l'espressione [2] e nel contempo accertare che sia:

$$|\tau_1| \leq \begin{cases} 0,85 f_d \text{ per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 f_d \text{ per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510;} \end{cases}$$

$$|\sigma_1| \leq \begin{cases} 0,85 f_d \text{ per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 f_d \text{ per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510.} \end{cases}$$

Nel caso in cui siano presenti le sole componenti di tensione τ_1 e τ_1 ovvero σ_1 e τ_1 è sufficiente verificare l'espressione [1]. Ove sia presente solo una delle componenti di tensione τ_1 , σ_1 o τ_1 basta ovviamente verificare che sia:

$$|\tau_1|, |\sigma_1|, |\tau_1| \leq \begin{cases} 0,85 f_d \text{ per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 f_d \text{ per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510.} \end{cases}$$

5.1.2.5. Verifiche tensioni ammissibili

Nel caso siano presenti tutte e tre le componenti di tensione τ_{\parallel} , σ_{\perp} e τ_{\perp} devono essere verificate le seguenti limitazioni:

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \begin{cases} 0,85 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510;} \end{cases} \quad [1]$$

$$|\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| \leq \begin{cases} \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 360} \\ 0,85 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510.} \end{cases} \quad [2]$$

Nel caso in cui siano presenti le sole componenti di tensione τ_{\perp} e σ_{\perp} è sufficiente verificare l'espressione [2] e nel contempo accertare che sia:

$$|\tau_{\perp}| \leq \begin{cases} 0,85 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510;} \end{cases}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq \begin{cases} 0,85 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510.} \end{cases}$$

Nel caso in cui siano presenti le sole componenti di tensione τ_{\perp} e τ_{\parallel} ovvero σ_{\perp} e τ_{\parallel} è sufficiente verificare l'espressione [1]. Ove sia presente solo una delle componenti di tensione τ_{\perp} , σ_{\perp} o τ_{\parallel} basta ovviamente verificare che sia:

$$|\tau_{\perp}|, |\sigma_{\perp}|, |\tau_{\parallel}| \leq \begin{cases} 0,85 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 360} \\ 0,70 \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe 430 ed Fe 510.} \end{cases}$$

5.2. Unioni chiodate

5.2.1. Chiodi e fori normali

I chiodi da impiegarsi si suddividono nei tipi appresso elencati, ciascuno con l'indicazione della norma UNI cui devono corrispondere:

- chiodi a testa tonda stretta, secondo UNI 136;
- chiodi a testa svasata piana, secondo UNI 139;
- chiodi a testa svasata con calotta, secondo UNI 140.

I fori devono corrispondere alla UNI 141.

5.2.2. Diametri normali

Di regola si devono impiegare chiodi dei seguenti diametri nominali:

$$d = 10, 13, 16, 19, 22 \text{ e } 25 \text{ mm}$$

e, ordinatamente, fori dei diametri:

$$\varnothing = 10,5, 14, 17, 20, 23 \text{ e } 26 \text{ mm.}$$

Nei disegni si devono contraddistinguere con opportune convenzioni i chiodi dei vari diametri. Nei calcoli si assume il diametro \varnothing , tanto per la verifica di resistenza della chiodatura, quanto per valutare l'indebolimento degli elementi chiodati.

5.2.3. Scelta dei chiodi in relazione agli spessori da unire

In relazione allo spessore complessivo t da chiodare si impiegano:

- chiodi a testa tonda ed a testa svasata piana, per $t/d \leq 4,5$. Tale impiego è ammesso anche per $t/d \leq 6,5$ purché siano osservate con particolare cura le prescrizioni del punto 9.8;
- chiodi a testa svasata con calotta, per $4,5 \leq t/d \leq 6,5$.

5.2.4. Verifiche

Le verifiche delle unioni chiodate si conducono secondo quanto indicato al punto 5.3.5 per le unioni bullonate, assumendo come tensioni di progetto o come tensioni ammissibili quelle indicate al punto 4.1.4.

5.2.5. Interassi e distanze dai margini

Si adotteranno le limitazioni contenute al punto 5.3.3.

5.2.6. Coprigiunti Indiretti

5.2.6.1. Il numero minimo di chiodi, occorrenti per collegare da ciascun lato dell'interruzione un coprigiunto non direttamente a contatto con l'elemento interrotto, deve essere:

$$n_1 = n + 0,3 n m$$

essendo m il numero delle piattabande interposte ed n il numero di chiodi occorrenti per un coprigiunto diretto (vedere fig. 5-4a).

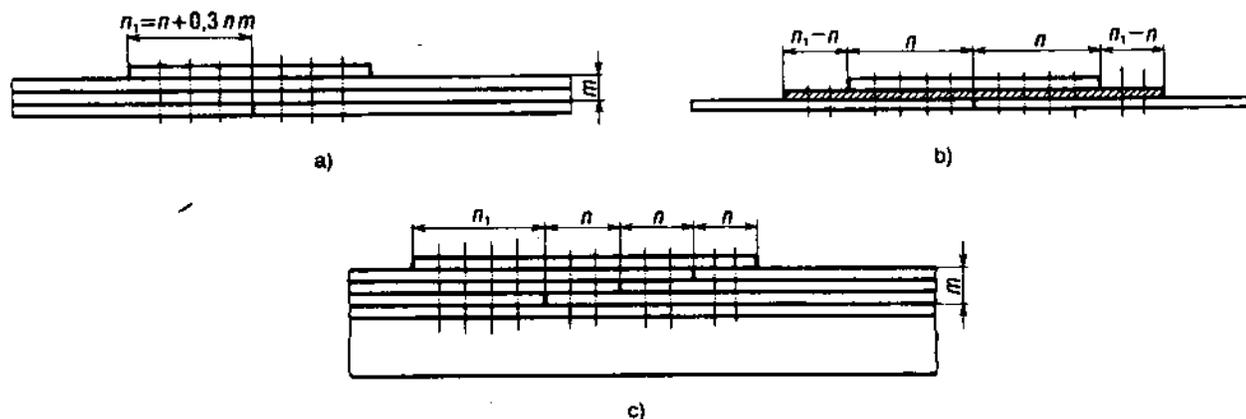


Fig. 5-4

5.2.6.2. Quando l'interposizione è costituita da imbottiture, il coprigiunto può essere fissato da ogni lato con soli n chiodi, come per coprigiunto diretto, purché l'imbottitura sia prolungata oltre il termine del coprigiunto quanto occorra per collocare in detto prolungamento i rimanenti $n_1 - n$ chiodi (vedere figura 5-4b).

5.2.6.3. Mediante opportuno sfalsamento a gradinata delle interruzioni di un pacchetto di m piattabande, si può provvedere alla giunzione con unico coprigiunto e complessivo numero di chiodi $n + n m + 0,3 n m$, in modo che l'ultimo tratto di coprigiunto, oltre l'interruzione della piattabanda più distante dal coprigiunto stesso, sia fissato con $n_1 = n + 0,3 n m$ chiodi (vedere figura 5-4c).

5.3. Unioni bullonate

5.3.1. Bulloni

La lunghezza del tratto non filettato del gambo del bullone deve essere in generale maggiore di quella delle parti da serrare e si deve sempre far uso di rosette. È tollerato tuttavia che non più di mezza spira del filetto rimanga compresa nel foro. Qualora ne resti compreso nel foro un tratto filettato maggiore, se ne dovrà tenere adeguato conto nelle verifiche di resistenza (vedere 5.3.4.1). In presenza di vibrazioni o inversioni di sforzo, si devono impiegare controdadi, rosette elastiche, o dispositivi analoghi tali da impedire l'allentamento del dado. Per bulloni con viti 8.8 e 10.9 è sufficiente l'adeguato serraggio.

5.3.2. Diametri normali

Di regola si devono impiegare bulloni dei seguenti diametri:

$$d = 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27 \text{ e } 30 \text{ mm.}$$

I fori devono avere diametro uguale a quello del bullone maggiorato di 1 mm fino a $d = 20$ mm e di 1,5 mm oltre $d = 20$ mm quando è ammissibile un assestamento sotto carico del giunto. Si può derogare da tali limiti, rispettivamente fino a 1,5 mm per $d \leq 24$ e 2,0 mm per $d > 24$ qualora si verifichi che eventuali assestamenti sotto i carichi di servizio non comportino il superamento dei limiti prescritti al punto 4.2.

Quando tale assestamento non è ammesso ed in presenza di una sensibile inversione di sforzo, il gioco complessivo tra diametro del bullone e diametro del foro non dovrà superare 0,3 mm per bulloni fino a 20 mm, ivi comprese le tolleranze, e 0,5 mm per diametri maggiori di 20 mm. In assenza di inversione di sforzo il gioco complessivo tra diametro del bullone e diametro del foro non dovrà superare 0,5 mm. Nelle condizioni suddette l'accoppiamento è detto «di precisione».

Nei disegni si devono contraddistinguere con opportune convenzioni i bulloni dei vari diametri e devono essere precisati i giochi foro-bullone.

5.3.3. Interasse e distanza dai margini

Per l'applicabilità dei criteri di verifica indicati ai successivi punti, con riferimento alla fig. 5-5, indicato con t_{\min} il minore degli spessori degli elementi collegati deve risultare:

- interasse fori in direzione della forza
 - elementi compressi $15 t_{\min} \geq p \geq 3 d$
 - elementi tesi $25 t_{\min} \geq p \geq 3 d$
- distanza fori dal bordo libero in
 - direzione della forza $a \geq 2 d$
 - bordo non irrigidito $a \leq 6 t_{\min}$
 - bordo irrigidito $a \leq 9 t_{\min}$
- distanza fori dal bordo libero in
 - direzione perpendicolare alla forza $a_1 \geq 1,5 d$
 - bordo non irrigidito $a_1 \leq 6 t_{\min}$
 - bordo irrigidito $a_1 \leq 9 t_{\min}$

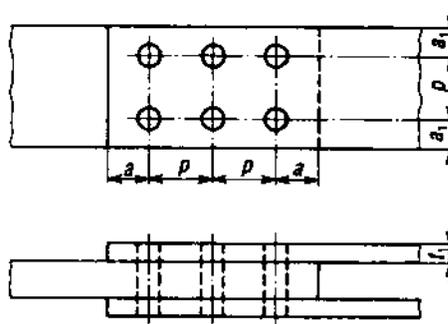


Fig. 5-5

5.3.4. Verifiche dei bulloni

5.3.4.1. Per bulloni sollecitati ad azione tagliente V , lo sforzo medio risulta:

$$\tau = V/A \quad \text{se il gambo è a contatto con le piastre di giunto;}$$

$$\tau = V/A_{res} \quad \text{se la parte filettata è a contatto con le piastre di giunto,}$$

essendo A l'area nominale del gambo e A_{res} quella resistente.

5.3.4.2. Per bulloni sollecitati a trazione da una forza N , la tensione media risulta in ogni caso:

$$\sigma = N/A_{res}$$

La tensione massima deve essere valutata mettendo in conto anche gli effetti leva e le eventuali flessioni parassite.

Ove non si proceda alla valutazione dell'effetto leva e di eventuali flessioni parassite, le tensioni di trazione σ devono essere incrementate del 25%.

5.3.4.3. Nel caso di presenza contemporanea di sforzi normali e di taglio deve risultare:

$$\left(\frac{\tau}{f_{d,V}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{f_{d,N}} \right)^2 \leq 1 \text{ stati limite}$$

$$\left(\frac{\tau}{\tau_{b,adm}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\sigma_{b,adm}} \right)^2 \leq 1 \text{ tensioni ammissibili}$$

dove: τ è la tensione tangenziale media agente sul bullone;
 σ è la tensione normale media agente sul bullone;
 $f_{d,V}$ e $f_{d,N}$ sono le tensioni di progetto indicate al punto 4.1.3;
 $\tau_{b,adm}$ e $\sigma_{b,adm}$ sono le tensioni ammissibili indicate al punto 4.1.3.

5.3.5. Verifiche delle sezioni forate

Per la verifica di resistenza il calcolo delle tensioni di trazione si effettua con riferimento all'area netta, detratta cioè l'area dei fori, assumendo come tale quella minima corrispondente o alla sezione retta o al profilo spezzato.

Per la verifica di stabilità di cui al punto 7, e per la determinazione di qualunque parametro dipendente dalla deformabilità, si devono considerare, invece, le sezioni lorde, cioè senza detrazione dei fori per i collegamenti.

La verifica a flessione delle travi si effettua in generale tenendo conto del momento d'inerzia della sezione con la detrazione degli eventuali fori.

Il calcolo di regola viene eseguito deducendo dal momento d'inerzia della sezione lorda il momento d'inerzia delle aree dei fori rispetto all'asse baricentrico della stessa sezione lorda.

5.3.6. Verifiche a rifollamento

La pressione sul contorno del foro, riferita alla proiezione diametrale della superficie cilindrica del chiodo o del bullone, deve risultare:

$$\begin{aligned}\sigma_{nt} &\leq \alpha \cdot f_d && \text{stati limite} \\ \sigma_{nt} &\leq \alpha \cdot \sigma_{adm} && \text{tensioni ammissibili}\end{aligned}$$

dove: $\alpha = a/d$ e comunque da assumersi non maggiore di 2,5;

f_d è la resistenza di progetto del materiale costituente gli elementi del giunto (vedere 4.1.1);

σ_{adm} è la tensione ammissibile del materiale costituente gli elementi del giunto (vedere 4.1.1);

a e d sono definiti e limitati come al punto 5.3.3.

5.3.7. Verifiche ad attrito

Per esigenze particolari della costruzione, può talvolta essere imposto che la giunzione non scorra neppure in condizioni ultime. In questo caso si dovrà verificare che:

$$\begin{aligned}V &\leq \mu N_s && \text{stati limite} \\ V &\leq \frac{\mu N_s}{1,5} && \text{tensioni ammissibili}\end{aligned}$$

La detrazione dei fori dalla sezione deve essere effettuata solo se il giunto è sollecitato a trazione.

La verifica della sezione indebolita si effettua per un carico pari al 60% di quello trasmesso per attrito dai bulloni che hanno l'asse nella sezione stessa, oltre al carico totale trasmesso dai bulloni che precedono.

5.4. Giunti di tipo misto

In uno stesso giunto è vietato l'impiego di differenti metodi di collegamento di forza (per esempio saldatura e bullonatura o chiodatura); tale impiego contemporaneo di più metodi è però ammesso purché uno solo di essi sia in grado di sopportare l'intero sforzo o se la capacità ultima della giunzione è determinata sperimentalmente sulla base di almeno 10 campioni.

5.5. Giunti per contatto

È ammesso l'impiego di unioni per contatto nel caso di membrature semplicemente compresse, purché sia assicurato il contatto a tutta sezione tra le superficie, mediante adeguata lavorazione meccanica. La pressione di compressione deve risultare:

$$\begin{aligned}p &\leq f_d && \text{stati limite} \\ p &\leq \sigma_{adm} && \text{tensioni ammissibili}\end{aligned}$$

In corrispondenza dei giunti ai piani intermedi o delle piastre di base, le colonne degli edifici possono essere collegate per contatto. Peraltro devono essere sempre previsti collegamenti chiodati, bullonati o saldati in grado di assicurare la corretta posizione mutua tra le parti da collegare. Le unioni per contatto non devono distare dagli orizzontamenti di piano più di 1/5 dell'interpiano. Se trattasi di altre membrature compresse, i collegamenti devono non solo assicurare in corretta posizione le parti da collegare ma anche essere dimensionati in modo da poter sopportare il 50% delle azioni di calcolo.

In ogni caso i collegamenti di cui sopra devono essere proporzionati in modo da poter sopportare ogni eventuale azione di trazione.

5.6. Apparecchi di appoggio e cerniere

5.6.1. Generalità

Tutti gli elementi degli apparecchi di appoggio, in particolare le piastre, devono essere proporzionati per gli sforzi normali di flessione e taglio cui sono sottoposti; l'apparecchio di appoggio deve mantenere la sua funzionalità per valori delle componenti di spostamento e/o di rotazione pari a quelli valutati agli stati limite ultimi oppure a 1,5 volte quelli determinati applicando il metodo delle tensioni ammissibili.

5.6.2. Appoggi metallici fissi e scorrevoli

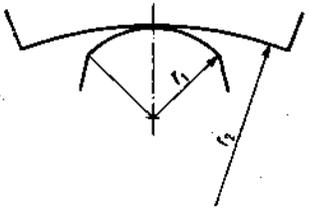
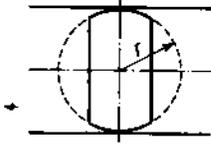
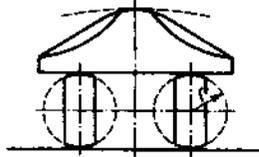
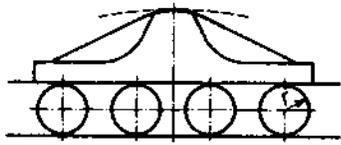
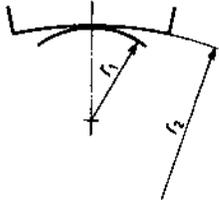
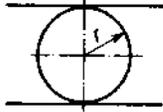
5.6.2.1. Le parti degli apparecchi di appoggio che trasmettono pressioni per contatto devono essere eseguite con acciaio fuso Fe G 520 UNI 3158 o fucinato, oppure mediante saldatura di elementi di acciaio.

5.6.2.2. Le pressioni di contatto si calcolano a mezzo delle formule di Hertz, riportate nel prospetto 5-III per i casi di più corrente impiego.

5.6.2.3. La pressione di contatto deve risultare:

	Stato limite	Tensione ammissibile
— per contatto puntiforme	$\sigma \leq 5,5 f_d$	$\sigma \leq 5,5 \sigma_{adm}$
— per contatto lineare	$\sigma \leq 4,0 f_d$	$\sigma \leq 4,0 \sigma_{adm}$
— per contatto superficiale mediante piastre di limitata estensione rispetto alle dimensioni dell'elemento strutturale	$\sigma \leq 1,35 f_d$	$\sigma \leq 1,35 \sigma_{adm}$

Prospetto 5-III

Tipo di contatto	Forma della superficie di contatto	Pressione di contatto*
Contatto lineare di lunghezza b		$\sigma = \sqrt{0,18 E F \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2 b}}$ per $\frac{r_2}{r_1} \geq 2$
		$\sigma = \sqrt{\frac{0,18 E F}{r b}}$
		$\sigma = \sqrt{\frac{0,20 E F}{2 r b}}$
		$\sigma = \sqrt{\frac{0,24 E F}{n r b}}$ dove n è il numero dei rulli
Contatto puntiforme		$\sigma = \sqrt[3]{\frac{0,06 E^2 F (r_2 - r_1)^2}{r_1^2 r_2^2}}$
		$\sigma = \sqrt[3]{\frac{0,06 E^2 F}{r^2}}$

* F rappresenta il carico totale sull'appoggio.

5.6.2.4. Gli apparecchi d'appoggio mobili di acciaio devono essere provvisti di dispositivi di guida, allo scopo di garantire il loro corretto movimento, e di dispositivi di arresto qualora il caso lo richieda.

5.6.3. Cerniere a perno

5.6.3.1. Le cerniere devono essere conformate in modo da contenere la sollecitazione a flessione del perno. La lunghezza del perno deve essere tale da offrire completo appoggio a tutte le parti collegate.

I perni devono essere mantenuti in modo opportuno nella posizione prevista.

Nelle staffe delle cerniere soggette a trazione, le sezioni resistenti diametrali, rispettivamente normale e parallela allo sforzo di trazione, devono rispettare le limitazioni seguenti (vedere figura 5-6):

$$\begin{aligned} 2 b t &\geq 1,4 F / f_d && \text{stati limite} \\ t a &\geq F / f_d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 b t &\geq 1,4 F / \sigma_{adm} && \text{tensioni ammissibili} \\ t a &\geq F / \sigma_{adm} \end{aligned}$$

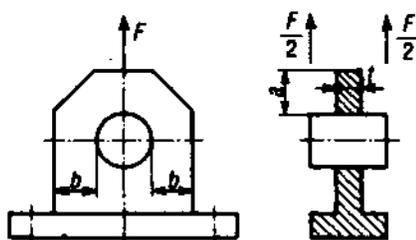


Fig. 5-6

Lo spessore t di regola non deve essere minore di 12 mm né maggiore di 50 mm; deve essere inoltre:

$$\frac{b}{t} \leq 8$$

5.6.3.2. I perni delle cerniere devono essere proporzionati in base alle massime sollecitazioni di taglio e flessione.

L'area portante A del perno viene valutata come prodotto del diametro d per la sommatoria degli spessori $\sum t$ degli elementi resistenti di una staffa (vedere figura 5-7), cioè:

$$A = d \sum t$$

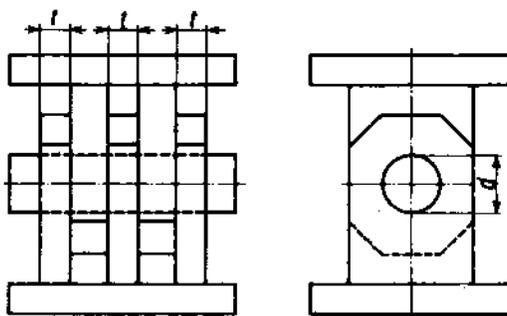


Fig. 5-7

La tensione sul contorno del foro, riferita alla proiezione diametrale della superficie cilindrica interessata dall'area predetta deve essere tale da rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{rit} \leq 1,35 f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_{rit} \leq 1,35 \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

5.6.4. Appoggi di gomma

Per questo tipo di appoggi, vedere CNR-UNI 10018.

5.6.5. Appoggi e cerniere d'altri tipi

Dispositivi di vincolo diversi dai precedenti, come quelli a strisciamento comprendenti fogli a base di resina politetrafluoroetilica, possono essere impiegati, purché ne sia dimostrata l'idoneità.

6. Verifiche di resistenza delle membrature**6.1. Generalità**

In questo punto si prescinde dagli eventuali fenomeni di instabilità che vengono considerati al punto 7.

6.2. Trazione

Deve risultare:

$$\sigma_N = \frac{N}{A_{\text{eff}}} \leq f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A_{\text{eff}}} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

dove: N è l'azione assiale di trazione;
 A_{eff} è l'area effettiva.

6.2.1. Area effettiva

6.2.1.1. L'area effettiva coincide con l'area del profilo o con la sua sezione netta A_n (vedere 5.3.5) quando il profilo è collegato simmetricamente al suo baricentro.

6.2.1.2. Nel caso di angolari singoli collegati su una sola ala (vedere figura 6-1a) l'area effettiva può essere assunta pari a:

$$A_{\text{eff}} = A_1 + \frac{3 A_1}{3 A_1 + A_2} A_2$$

dove: A_1 è l'area netta dell'ala collegata;
 A_2 è l'area dell'ala non collegata.

6.2.1.3. Nel caso di coppie di angolari assoggettati a trazione, connessi fra di loro almeno ai terzi della lunghezza e collegati al medesimo lato della piastra (vedere figura 6-1b), l'area effettiva di ogni angolare può essere assunta pari a:

$$A_{\text{eff}} = A_1 + \frac{5 A_1}{5 A_1 + A_2} A_2$$

6.2.1.4. Nel caso di coppie di angolari assoggettati a trazione, connessi fra di loro almeno ai terzi della lunghezza e collegati ai due lati della piastra di nodo (vedere figura 6-1c), il calcolo dell'area effettiva viene eseguito considerando l'area totale dei due angolari depurata dell'area dei fori.

6.2.1.5. Nel caso di profilati a C, collegati sull'anima e a T (vedere figure 6-1d, e, f, g), si applicano i criteri dei punti 6.2.1.3 e 6.2.1.4.

6.2.1.6. Si deve evitare di regola l'impiego di profilati a I e a C sollecitati prevalentemente a trazione, collegati su una sola delle ali (vedere figura 6-1h, i).

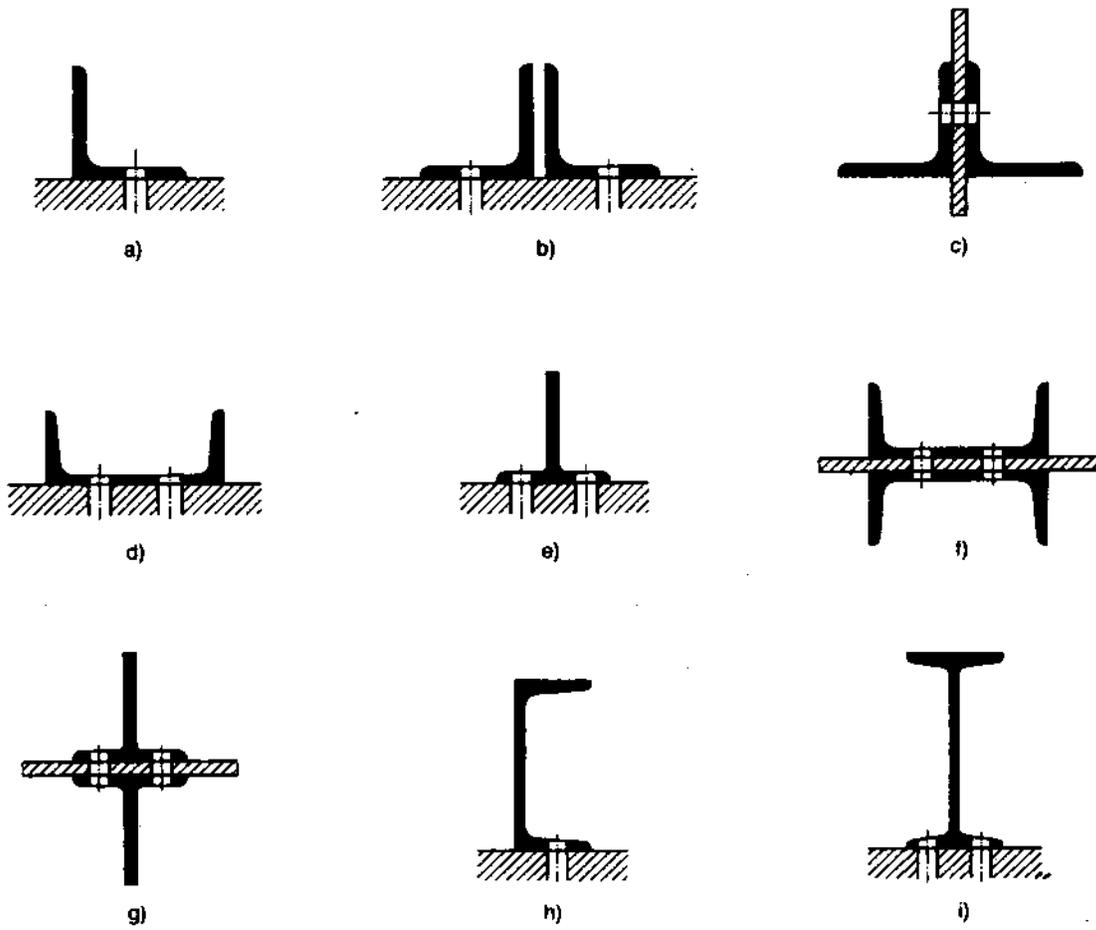


Fig. 6-1

6.3. Compressione

Deve comunque risultare:

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \leq f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \leq \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

dove: N è l'azione assiale di compressione;

A è l'area nominale del profilo al netto degli eventuali fori.

6.4. Taglio e torsione

Gli sforzi tangenziali τ sono generati nella sezione dalle componenti di sollecitazione taglianti o torcenti. In ogni caso deve risultare:

$$\tau \leq f_d / \sqrt{3} \quad \text{stati limite}$$

$$\tau \leq \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

6.5. Flessione

Deve comunque risultare:

$$\sigma_M \leq f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_M \leq \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

dove: σ_M è lo sforzo normale massimo generato dal momento flettente M .

6.5.1. Flessione semplice

Quando il momento flettente agisce in un piano principale d'inerzia della sezione lo sforzo normale σ_M può essere valutato mediante la formula:

$$\sigma_M = \frac{M}{\psi W}$$

dove: M è il valore del momento flettente;
 W è il modulo resistente elastico della sezione netta (vedere 5.3.5);
 $\psi \geq 1$ è un coefficiente di parziale adattamento plastico (vedere 6.5.3).

6.5.2. Flessione deviata

6.5.2.1. Quando il momento flettente risultante non agisce in un piano principale d'inerzia lo sforzo normale σ_M può essere valutato secondo la formula:

$$\sigma_M = \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \frac{1}{\psi}$$

dove: M_x, M_y sono i valori del momento flettente nei due piani principali d'inerzia;
 W_x, W_y sono i corrispondenti valori dei moduli resistenti elastici;
 $\psi \geq 1$ è il coefficiente di parziale adattamento plastico corrispondente al piano di inflessione (vedere 6.5.3), che può essere posto in via cautelativa pari a 1.

6.5.2.2. Per sezioni doppiamente simmetriche la verifica del punto 6.5.2.1 può essere sostituita da quella approssimata:

$$\sigma_M = \frac{M_x}{\psi_x W_x} + \frac{M_y}{\psi_y W_y}$$

dove: ψ_x, ψ_y sono i coefficienti di parziale adattamento plastico corrispondenti ai due piani principali d'inerzia.

6.5.3. Coefficienti di adattamento plastico

I coefficienti di adattamento plastico ψ (coefficienti di forma) possono essere calcolati sulla base del seguente criterio (vedere figura 6-2): la freccia residua v_r in mezz'aria di una trave in semplice appoggio soggetta a flessione uniforme non deve superare il valore limite di $L/1000$ quando viene scaricata dopo aver sopportato un momento flettente pari a ψM_e , essendo:

$$M_e = W f_y$$

il momento elastico sopportabile dalla sezione, con W il suo modulo resistente ed f_y la tensione di snervamento.

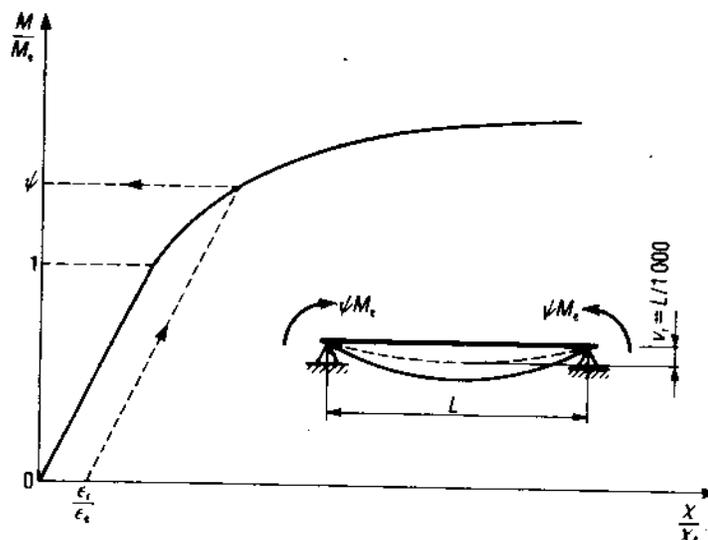


Fig. 6-2

I valori numerici dei coefficienti di adattamento plastico dipendono quindi dal tipo di acciaio e dal rapporto L/h fra luce ed altezza della trave e possono essere valutati come indicato in figura 6-2, una volta noto per la sezione il legame adimensionale $(M/M_0) - \text{curvatura } (\chi/\chi_0)$, essendo per sezioni simmetriche rispetto all'asse neutro:

$$\frac{\chi}{\chi_0} = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_0}$$

con $\epsilon_0 = f_y/E$ (vedere prospetto 4-la $f_y = f_d$).

I valori della deformazione residua ϵ_r , rapportata alla deformazione limite elastica ϵ_0 , corrispondenti all'applicazione del criterio suddetto sono riportati nel prospetto 6-1.

Prospetto 6-1 — Valori del rapporto ϵ_r/ϵ_0 in funzione di L/h e del tipo di acciaio

ϵ_r/ϵ_0	L/h		
Tipo di acciaio	10	20	30
Fe 360	0,350	0,175	0,117
Fe 430	0,300	0,150	0,100
Fe 510	0,233	0,117	0,078

6.6. Pressoflessione

Deve comunque risultare:

$$\sigma_N + \sigma_M \leq f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_N + \sigma_M \leq \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

dove: σ_N è lo sforzo normale causato da azioni assiali di trazione e compressione e valutato secondo i punti 6.2 o 6.3;
 σ_M è lo sforzo normale causato dal momento flettente e valutato secondo il punto 6.5.

6.7. Stati pluriassiali

Per gli stati di sforzo piani, i soli per i quali si possono dare valide indicazioni, si deve verificare che risulti:

$$\sigma_{id} \leq f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_{id} \leq \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

essendo nel riferimento generico:

$$\sigma_{id} = \pm \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$$

e nel riferimento principale:

$$\sigma_{id} = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

In particolare per $\sigma_y = 0$ (per esempio nella sollecitazione di flessione accompagnata da taglio):

$$\sigma_{id} = \pm \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \tau_{xy}^2}$$

7. Verifiche di stabilità

7.1. Generalità

Oltre alle verifiche di resistenza di cui al precedente punto 6, che in nessun caso possono essere omesse, devono essere eseguite le verifiche necessarie ad accertare la sicurezza della costruzione, o delle singole membrature, nei confronti di possibili fenomeni di instabilità.

Nei seguenti si forniscono i relativi criteri di verifica, limitatamente ai casi più comuni.

Le verifiche devono essere condotte tenendo conto degli eventuali effetti dinamici.

Nelle formule che seguiranno si porrà:

$$f_y \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] =$$

$t \leq 40 \text{ mm}$	$t > 40 \text{ mm}$	
235	210	Fe 360
275	250	Fe 430
355	315	Fe 510

$\nu = 1,0$ stati limite

$\nu = \left\{ \begin{array}{ll} 1,5 & \text{I condizione di carico} \\ 1,5/1,125 & \text{II condizione di carico} \end{array} \right\}$ tensioni
ammissibili

7.2. Aste compresse

7.2.1. Generalità

Le norme qui contemplate valgono soltanto se, per le modalità di progetto, l'asta può, senza apprezzabile errore, considerarsi compressa lungo il suo asse; non sono pertanto applicabili quando, conformemente al progetto, lo sforzo di compressione agisca con eccentricità nota, o l'asse dell'asta possieda curvatura prestabilita, ovvero l'asta, oltreché compressa, sia soggetta ad azioni esterne flettenti.

Le istruzioni cioè si riferiscono ad aste che, se scariche, si scostano dalla configurazione idealmente rettilinea di una quantità v_0 al massimo pari a 1/1 000 della lunghezza di libera inflessione, come definita nel punto 7.2.2.1. Nel caso in cui, per cause indipendenti dalle modalità di progetto, tale scostamento risultasse maggiore, bisogna procedere alla verifica a pressoflessione indicata nel punto 7.4, mettendo in conto l'intera eccentricità v_0 .

7.2.2. Aste semplici

7.2.2.1. Dicesi lunghezza libera d'inflessione la lunghezza $L_c = \beta L$, da sostituire nel calcolo alla lunghezza L dell'asta quale risulta nello schema strutturale. Il coefficiente β deve essere valutato tenendo conto delle effettive condizioni di vincolo dell'asta nel piano di inflessione considerato.

7.2.2.1.1. Nelle condizioni di vincolo elementari, per l'inflessione del piano considerato, si assumono, in assenza di più precisa determinazione, i valori seguenti:

$\beta = 1$ se i vincoli dell'asta possono assimilarsi a cerniere;

$\beta = 0,7$ se i vincoli possono assimilarsi a incastri;

$\beta = 0,8$ se un vincolo è assimilabile all'incastro ed uno alla cerniera;

$\beta = 2$ se l'asta è vincolata ad un solo estremo con incastro perfetto; in tal caso L è la distanza tra la sezione incastrata e quella di applicazione del carico.

7.2.2.1.2. Per le aste facenti parte di strutture reticolari, in assenza di più precise determinazioni, si adottano i seguenti criteri:

— **Aste di corrente di travi reticolari piane** — Per valutare l'inflessione nel piano della travatura si pone $\beta = 1$; per l'inflessione nel piano normale a quello di travatura, si assume ancora $\beta = 1$ se esistono alle estremità dell'asta ritegni trasversali adeguatamente rigidi; per ritegni elasticamente cedevoli, si deve effettuare una verifica apposita; quando applicabile si può far ricorso al procedimento approssimato di cui al punto 7.2.5.

— **Aste di parete** — Per l'inflessione nel piano della parete si può assumere $\beta = d/L$ comunque non minore di 0,8, essendo d la distanza tra i baricentri delle chiodature o delle bullonature o delle saldature d'attacco alle estremità.

Se, all'incrocio tra un'asta compressa e una tesa, l'attacco tra le due aste ha una resistenza non minore di 1/5 di quella dell'attacco di estremità dell'asta compressa, il punto di incrocio può considerarsi impedito di spostarsi nel piano della parete; in ogni caso però la lunghezza da considerare non deve essere minore di $L_c = 0,5 L$. Per l'inflessione nel piano normale a quello della parete, in assenza di più precisa determinazione, si assumono i coefficienti β indicati nel punto 7.2.2.1.1.

7.2.2.1.3. Per le colonne dei fabbricati, provviste di ritegni trasversali rigidi in corrispondenza dei piani, tali cioè da impedire gli spostamenti orizzontali dei nodi, si assume, in assenza di più precisa determinazione, $\beta = 1$.

Per il tronco più basso la lunghezza L deve essere valutata a partire dalla piastra di appoggio.

L'eventuale presenza di pannelli a tutt'altezza sufficientemente rigidi e robusti può essere considerata nella determinazione della lunghezza libera d'inflessione delle colonne di fabbricati civili ed industriali, qualora si provveda a rendere solidali tra di loro i pannelli e le colonne.

7.2.2.2. Si definisce snellezza λ di un'asta prismatica, in un suo piano principale d'inerzia, il rapporto:

$$\lambda = \frac{L_c}{i}$$

dove: L_c è la lunghezza libera d'inflessione nel piano principale considerato, dipendente come specificato al punto 7.2.2.1 dalla modalità di vincolo alle estremità dell'asta;

i è il raggio d'inerzia della sezione trasversale, giacente nello stesso piano principale in cui si valuta L_c .

La snellezza non deve superare il valore 200 per le membrature principali e 250 per quelle secondarie: in presenza di azioni dinamiche rilevanti i suddetti valori vengono limitati rispettivamente a 150 e 200.

7.2.2.3. La verifica di sicurezza di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa. Deve essere:

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} \geq \nu$$

dove: $\sigma_c = \frac{N_c}{A}$ è la tensione corrispondente alla forza N_c che provoca l'inflessione laterale dell'asta nel piano che si considera;

$\sigma = \frac{N}{A}$ è la tensione assiale di compressione media nella sezione della membratura corrispondente al carico assiale N .

7.2.2.3.1. Per la verifica delle sezioni doppiamente simmetriche o di quelle dotate di un unico asse di simmetria ortogonale (limitatamente al caso di inflessione laterale della direzione di questo asse), i valori della tensione critica σ_c sono deducibili in funzione della tensione di snervamento del prospetto 7-1. In esso sono tabulati i rapporti σ_c/f_y per 4 diverse categorie di sezioni, in funzione

del rapporto λ/λ_c essendo $\lambda_c = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ la snellezza corrispondente al limite di validità del comportamento in fase puramente elastica dell'asta.

I valori di cui al prospetto 7-1 sono riportati nel diagramma 7-1.

La curva a si riferisce ai tubi quadrati, rettangolari e tondi.

La curva b si riferisce alle aste semplici costituite da:

- 1) sezioni a doppio T laminate, in cui il rapporto fra l'altezza h del profilato e la larghezza b_f delle ali sia tale che $h/b_f > 1,2$ (per esempio HE con $h > 360$ mm ed IPE);
- 2) sezioni a doppio T laminate in cui le ali siano rinforzate da piatti ad esse saldati;
- 3) sezioni chiuse a cassone composte mediante saldatura.

La curva c si riferisce alle aste semplici costituite da tipi di laminati diversi da quelli elencati di sopra o da sezioni aperte composte mediante saldatura e a tutte le aste composte da più profilati.

La curva d si riferisce ad aste semplici o composte aventi spessore $t > 40$ mm.

Nel caso in cui vengono disposti dei piatti saldati a rinforzo delle ali di un profilato a doppio T laminato, deve essere assunto come spessore t il maggiore fra i valori dello spessore dell'ala e quello del piatto di rinforzo.

Prospetto 7-1 — Valori σ_c/f_y

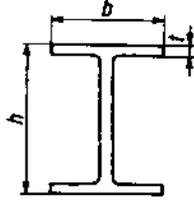
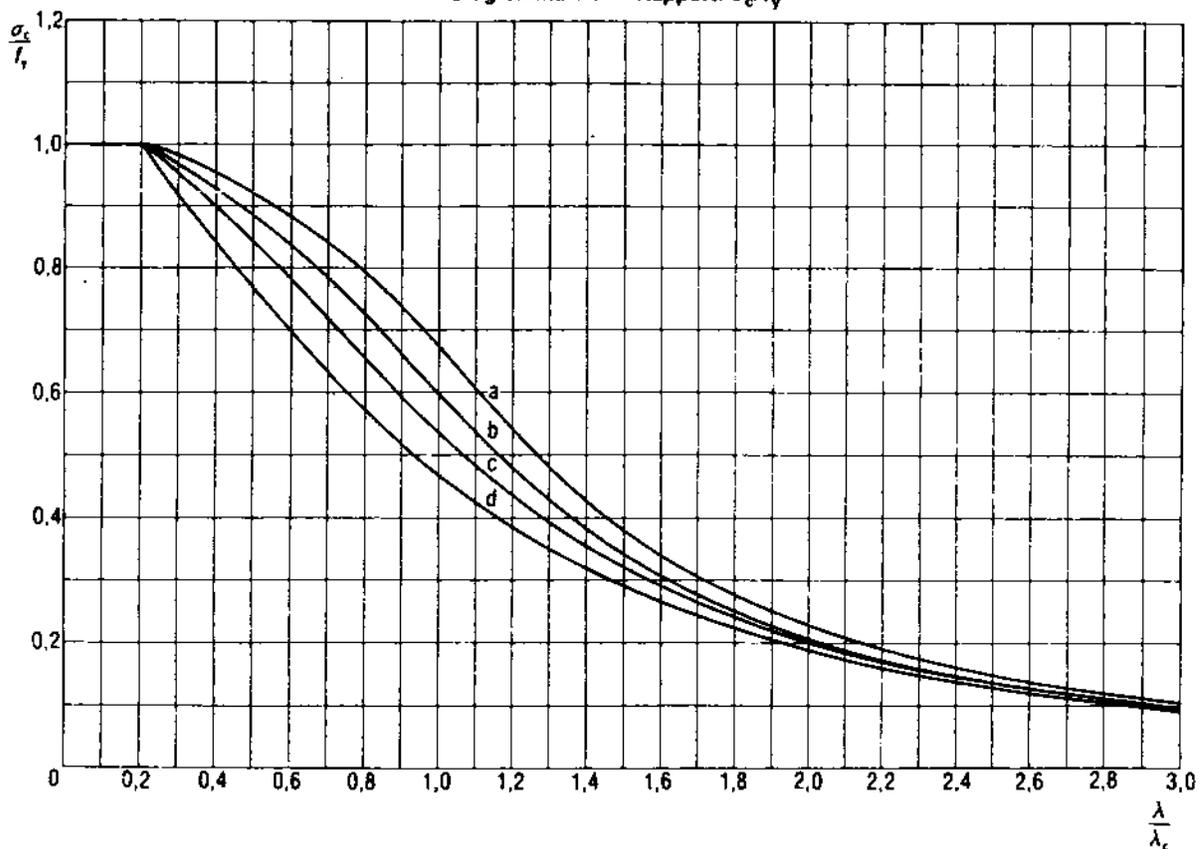
λ/λ_c	σ_c/f_y				Aste	Forma della sezione	Curva	
	curva a	curva b	curva c	curva d				
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	Semplici	Profilati cavi quadri, rettangoli o tondi saldati o laminati $t \leq 40$ mm	a	
0,10	1,000	1,000	1,000	1,000				
0,20	1,000	1,000	1,000	1,000				
0,30	0,978	0,965	0,951	0,917	Semplici	Profilati ad I laminati $\frac{h}{b} \geq 1,2$ $t \leq 40$ 	b	
0,40	0,953	0,925	0,900	0,841				
0,50	0,923	0,885	0,843	0,769				
0,60	0,885	0,838	0,783	0,699				
0,70	0,844	0,785	0,719	0,633				
0,80	0,796	0,727	0,655	0,572				
0,90	0,739	0,663	0,593	0,517				
1,00	0,674	0,599	0,537	0,468				
1,10	0,606	0,538	0,486	0,424				
1,20	0,540	0,481	0,439	0,385				
1,30	0,480	0,429	0,395	0,350				
1,40	0,427	0,383	0,357	0,319				
1,50	0,381	0,343	0,323	0,290				
1,60	0,341	0,308	0,293	0,265				
1,70	0,306	0,277	0,266	0,242				
1,80	0,277	0,250	0,241	0,222				
1,90	0,251	0,226	0,219	0,204				
2,00	0,228	0,205	0,200	0,188				
2,10	0,206	0,186	0,183	0,173				
2,20	0,190	0,173	0,169	0,160				
2,30	0,175	0,159	0,158	0,148				
2,40	0,162	0,147	0,147	0,138				
2,50	0,149	0,137	0,137	0,129				
2,60	0,138	0,128	0,128	0,120				
2,70	0,128	0,119	0,119	0,112				
2,80	0,119	0,110	0,110	0,105				
2,90	0,112	0,103	0,103	0,098				
3,00	0,105	0,096	0,096	0,092				
					Semplici o composte	Generica	$t \leq 40$ mm	c
						Tutte	$t > 40$ mm	d

Diagramma 7-1 — Rapporti σ_c/f_y



7.2.2.3.2. I valori riportati nel prospetto 7-I possono essere approssimati mediante la seguente formulazione analitica:

$$\sigma_c / f_y = 1$$

con $\lambda / \lambda_c \leq 0,2$ per tutte le curve;

$$\frac{\sigma_c}{f_y} = \frac{1 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - 0,04 + \bar{\lambda}^2}}{2\bar{\lambda}^2} - \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \sqrt{(1 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - 0,04 + \bar{\lambda}^2})^2 - 4\bar{\lambda}^2} \quad \text{con } 0,2 \leq \frac{\lambda}{\lambda_c} \leq 3,5$$

dove: $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_c}$

ed il coefficiente α , che caratterizza le varie curve è definito nella tabella del prospetto 7-II.
Tale formulazione comporta errori fino a $\pm 2,6\%$ rispetto ai valori esatti nel campo di snellezze $0,6 < \lambda / \lambda_c < 2,1$; errori maggiori, fino a $\pm 5,5\%$, si hanno al di fuori del campo citato.

Prospetto 7II — Valori del coefficiente numerico α

Curva	a	b	c	d
α	0,158	0,281	0,384	0,587

7.2.2.3.3. Per la verifica all'inflessione laterale in una direzione non coincidente con un asse di simmetria ortogonale della sezione, in assenza di un'analisi rigorosa del problema relativamente all'effetto combinato di flessione e torsione, possono ancora adottarsi i valori della tensione critica forniti dalle curve c e d del prospetto 7-I, facendo riferimento ad una snellezza equivalente λ_{eq} correlata alla snellezza effettiva λ , dalle relazioni:

$$\begin{aligned} \lambda_{eq} &= \lambda && \text{per } \lambda \leq 100 \\ \lambda_{eq} &= 1,2 \lambda - 20 && \text{per } 100 \leq \lambda \leq 220 \end{aligned}$$

7.2.2.4. in conformità a quanto indicato nel punto 7.2.2.3, la verifica di sicurezza di un'asta compressa può effettuarsi nell'ipotesi che la sezione trasversale sia compressa da una forza assiale N maggiorata del coefficiente ω .
Ciò deve essere:

$$\frac{\omega N}{A} \leq f_d \cdot \left[N_c = \frac{f_d \cdot A}{\omega} \right] \text{ stati limite}$$

$$\frac{\omega N}{A} \leq \sigma_{adm} \cdot \left[N_c = \frac{\sigma_{adm} \cdot A}{\omega} \right] \text{ tensioni ammissibili}$$

I valori dei coefficienti ω in funzione di λ sono riportati nei prospetti 7-IIa per l'acciaio Fe 360, 7-IIb per l'acciaio Fe 430 e 7-IVa per l'acciaio Fe 510 nel caso in cui la membratura compressa sia costituita da un tubo quadro, rettangolo o tondo, ferme restando le altre prescrizioni contenute nei punti 7.2.2.3.1 e 7.2.2.3.2 e salvo quanto precisato ai punti 7.2.2.4.1 e 7.2.2.4.2.

7.2.2.4.1. Si devono impiegare i coefficienti ω riportati nei prospetti 7-IIb, 7-IIb e 7-IVb, nel caso in cui la membratura compressa sia costituita da sezioni da verificarsi secondo la curva b del punto 7.2.2.3.1.

7.2.2.4.2. Si devono impiegare i coefficienti ω riportati nei prospetti 7-IIc, 7-IIc e 7-IVc, nel caso in cui la membratura sia costituita da sezioni da verificarsi secondo la curva c del punto 7.2.2.3.1.

7.2.2.4.3. Per spessori $t > 40$ mm si impiegheranno i coefficienti ω riportati nei prospetti 7-IId, 7-IId e 7-IVd.

7.2.3. Aste composte

7.2.3.1. La verifica per le aste costituite da due correnti uguali si conduce secondo il metodo indicato nel punto 7.2.2 per le aste semplici e con i coefficienti dei prospetti 7-IIc, 7-IIc, e 7-IVc (oppure per $t > 40$ mm 7-IId, 7-IId e 7-IVd) valutando però la snellezza con le modalità indicate nei punti 7.2.3.2, 7.2.3.3 e 7.2.3.4.

Le espressioni approssimate della snellezza in essi riportate si intendono applicabili quando l'importanza dell'opera non richieda procedimenti di calcolo più rigorosi.

Prospetto 7-IIa — Coefficienti ω per acciaio Fe 360 (curva a)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10
20	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	20
30	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	30
40	1,08	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	40
50	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,15	50
60	1,16	1,16	1,17	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	60
70	1,22	1,23	1,24	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,29	70
80	1,31	1,32	1,33	1,34	1,36	1,37	1,38	1,40	1,41	1,42	80
90	1,44	1,45	1,47	1,48	1,50	1,52	1,53	1,55	1,57	1,59	90
100	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	100
110	1,82	1,84	1,86	1,89	1,91	1,94	1,96	1,99	2,01	2,04	110
120	2,06	2,09	2,12	2,14	2,17	2,20	2,22	2,25	2,28	2,31	120
130	2,34	2,37	2,40	2,43	2,46	2,49	2,52	2,55	2,58	2,61	130
140	2,65	2,68	2,71	2,74	2,78	2,81	2,84	2,88	2,91	2,95	140
150	2,98	3,02	3,05	3,08	3,12	3,16	3,19	3,23	3,27	3,30	150
160	3,34	3,38	3,41	3,45	3,49	3,53	3,56	3,60	3,64	3,68	160
170	3,72	3,76	3,80	3,84	3,88	3,92	3,96	4,01	4,05	4,09	170
180	4,14	4,18	4,22	4,27	4,31	4,35	4,40	4,44	4,49	4,53	180
190	4,58	4,62	4,67	4,72	4,77	4,81	4,85	4,90	4,94	4,99	190
200	5,03	5,08	5,13	5,18	5,22	5,27	5,32	5,37	5,42	5,47	200
210	5,52	5,57	5,62	5,67	5,72	5,77	5,82	5,87	5,92	5,98	210
220	6,03	6,08	6,14	6,19	6,24	6,30	6,36	6,41	6,46	6,52	220
230	6,57	6,63	6,69	6,74	6,79	6,84	6,90	6,96	7,02	7,08	230
240	7,14	7,19	7,25	7,31	7,38	7,44	7,50	7,55	7,61	7,67	240
250	7,73										250

Prospetto 7-IIb — Coefficienti ω per acciaio Fe 360 (curva b)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10
20	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	20
30	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	30
40	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	40
50	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	50
60	1,23	1,24	1,25	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	60
70	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,38	1,40	1,41	1,42	1,44	70
80	1,45	1,47	1,48	1,50	1,51	1,53	1,55	1,56	1,58	1,60	80
90	1,62	1,63	1,65	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	90
100	1,81	1,83	1,86	1,88	1,90	1,92	1,95	1,97	1,99	2,02	100
110	2,04	2,07	2,09	2,12	2,14	2,17	2,20	2,23	2,25	2,28	110
120	2,31	2,34	2,37	2,40	2,42	2,45	2,48	2,51	2,54	2,58	120
130	2,61	2,64	2,67	2,70	2,74	2,77	2,80	2,84	2,87	2,91	130
140	2,94	2,97	3,01	3,04	3,08	3,11	3,15	3,19	3,22	3,26	140
150	3,30	3,34	3,37	3,41	3,45	3,49	3,53	3,57	3,62	3,66	150
160	3,70	3,74	3,79	3,83	3,86	3,90	3,94	3,99	4,03	4,07	160
170	4,11	4,15	4,20	4,24	4,28	4,33	4,37	4,42	4,47	4,51	170
180	4,56	4,60	4,65	4,70	4,74	4,79	4,84	4,88	4,93	4,98	180
190	5,02	5,07	5,12	5,16	5,21	5,26	5,31	5,36	5,41	5,46	190
200	5,51	5,56	5,60	5,65	5,70	5,76	5,81	5,87	5,92	5,97	200
210	6,02	6,07	6,12	6,18	6,24	6,29	6,35	6,41	6,46	6,52	210
220	6,57	6,63	6,69	6,74	6,80	6,86	6,91	6,97	7,02	7,08	220
230	7,13	7,19	7,24	7,30	7,36	7,42	7,48	7,54	7,59	7,64	230
240	7,69	7,75	7,82	7,89	7,95	8,02	8,07	8,12	8,18	8,23	240
250	8,29										250

Prospetto 7-Ic — Coefficienti ω per acciaio Fe 360 (curva c)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10
20	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	20
30	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	30
40	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	40
50	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,32	50
60	1,33	1,34	1,35	1,36	1,38	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	60
70	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,56	1,57	1,59	1,60	70
80	1,62	1,64	1,66	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	80
90	1,81	1,83	1,84	1,86	1,88	1,90	1,92	1,95	1,97	1,99	90
100	2,01	2,03	2,05	2,08	2,10	2,12	2,15	2,17	2,19	2,22	100
110	2,24	2,27	2,29	2,32	2,35	2,37	2,40	2,43	2,45	2,48	110
120	2,51	2,54	2,56	2,59	2,62	2,65	2,68	2,71	2,74	2,77	120
130	2,80	2,83	2,86	2,89	2,92	2,96	2,99	3,02	3,05	3,08	130
140	3,11	3,15	3,18	3,21	3,25	3,28	3,32	3,35	3,39	3,42	140
150	3,46	3,50	3,54	3,58	3,62	3,65	3,69	3,73	3,77	3,81	150
160	3,85	3,89	3,95	3,98	4,02	4,06	4,10	4,14	4,18	4,22	160
170	4,28	4,30	4,35	4,39	4,43	4,47	4,52	4,56	4,60	4,64	170
180	4,69	4,73	4,77	4,82	4,86	4,90	4,95	4,99	5,04	5,08	180
190	5,13	5,17	5,22	5,26	5,31	5,36	5,40	5,44	5,49	5,54	190
200	5,60	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,91	5,96	6,01	6,06	200
210	6,11	6,16	6,21	6,27	6,32	6,35	6,43	6,49	6,54	6,60	210
220	6,65	6,71	6,76	6,81	6,87	6,93	6,98	7,04	7,09	7,14	220
230	7,20	7,25	7,30	7,36	7,41	7,47	7,53	7,59	7,65	7,70	230
240	7,75	7,81	7,89	7,96	8,02	8,07	8,12	8,17	8,23	8,30	240
250	8,36										250

Prospetto 7-IId — Coefficienti ω per acciaio Fe 360 (curva d)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10
20	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,07	1,09	20
30	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	30
40	1,19	1,20	1,21	1,22	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	40
50	1,30	1,32	1,33	1,34	1,35	1,37	1,38	1,39	1,41	1,42	50
60	1,44	1,45	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,56	1,57	60
70	1,58	1,60	1,62	1,64	1,65	1,67	1,69	1,70	1,72	1,74	70
80	1,76	1,78	1,79	1,81	1,83	1,85	1,87	1,89	1,91	1,93	80
90	1,95	1,97	1,99	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09	2,11	2,13	90
100	2,15	2,17	2,19	2,22	2,24	2,26	2,28	2,30	2,33	2,35	100
110	2,37	2,40	2,42	2,44	2,47	2,48	2,51	2,54	2,56	2,59	110
120	2,61	2,64	2,66	2,69	2,72	2,74	2,77	2,80	2,82	2,85	120
130	2,88	2,90	2,93	2,96	2,99	3,02	3,04	3,07	3,10	3,13	130
140	3,18	3,19	3,22	3,25	3,28	3,31	3,35	3,38	3,41	3,44	140
150	3,47	3,49	3,54	3,57	3,61	3,64	3,67	3,70	3,74	3,77	150
160	3,81	3,84	3,88	3,91	3,95	3,99	4,02	4,05	4,09	4,13	160
170	4,17	4,20	4,24	4,28	4,32	4,36	4,39	4,43	4,47	4,51	170
180	4,55	4,59	4,63	4,67	4,72	4,77	4,79	4,83	4,88	4,92	180
190	4,96	5,00	5,04	5,08	5,13	5,17	5,21	5,25	5,30	5,34	190
200	5,39	5,43	5,48	5,52	5,57	5,61	5,65	5,70	5,75	5,79	200
210	5,84	5,89	5,93	5,98	6,03	6,08	6,12	6,17	6,22	6,27	210
220	6,31	6,36	6,41	6,46	6,51	6,55	6,61	6,65	6,71	6,76	220
230	6,81	6,86	6,91	6,96	7,01	7,07	7,12	7,17	7,22	7,28	230
240	7,33	7,36	7,43	7,49	7,54	7,60	7,65	7,70	7,76	7,81	240
250	7,87										250

Prospetto 7-IIIa — Coefficienti ω per acciaio Fe 430 (curva a)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10
20	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	20
30	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	30
40	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	40
50	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	50
60	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	60
70	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	70
80	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	80
90	1,55	1,57	1,59	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72	1,75	90
100	1,77	1,80	1,82	1,84	1,87	1,90	1,92	1,95	1,98	2,00	100
110	2,03	2,06	2,09	2,12	2,15	2,17	2,20	2,23	2,26	2,30	110
120	2,33	2,36	2,39	2,42	2,46	2,49	2,52	2,56	2,59	2,62	120
130	2,66	2,69	2,73	2,77	2,80	2,84	2,87	2,91	2,95	2,99	130
140	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,29	3,33	3,37	140
150	3,41	3,45	3,49	3,54	3,56	3,62	3,66	3,70	3,74	3,79	150
160	3,83	3,88	3,92	3,97	4,01	4,06	4,11	4,15	4,20	4,25	160
170	4,29	4,34	4,39	4,44	4,48	4,53	4,58	4,63	4,68	4,73	170
180	4,75	4,83	4,88	4,93	4,98	5,03	5,08	5,13	5,18	5,23	180
190	5,28	5,34	5,39	5,44	5,50	5,55	5,61	5,66	5,72	5,77	190
200	5,83	5,88	5,93	5,99	6,05	6,10	6,16	6,22	6,28	6,34	200
210	6,40	6,46	6,52	6,58	6,64	6,70	6,75	6,81	6,87	6,93	210
220	7,00	7,06	7,12	7,18	7,25	7,31	7,38	7,45	7,51	7,57	220
230	7,64	7,70	7,76	7,83	7,90	7,97	8,04	8,11	8,17	8,24	230
240	8,31	8,37	8,44	8,51	8,57	8,64	8,71	8,78	8,85	8,92	240
250	8,98										250

Prospetto 7-IIIb — Coefficienti ω per acciaio Fe 430 (curva b)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	10
20	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	20
30	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	30
40	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	40
50	1,18	1,19	1,20	1,21	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	50
60	1,27	1,28	1,29	1,30	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,38	60
70	1,39	1,41	1,42	1,43	1,45	1,47	1,48	1,50	1,52	1,54	70
80	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	1,71	1,73	80
90	1,75	1,76	1,80	1,82	1,85	1,87	1,89	1,92	1,94	1,97	90
100	1,99	2,02	2,05	2,07	2,10	2,13	2,16	2,19	2,22	2,25	100
110	2,28	2,31	2,34	2,37	2,40	2,43	2,46	2,50	2,53	2,56	110
120	2,60	2,63	2,66	2,70	2,73	2,77	2,81	2,84	2,88	2,92	120
130	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,14	3,18	3,22	3,28	3,30	130
140	3,34	3,39	3,43	3,47	3,51	3,56	3,60	3,65	3,69	3,74	140
150	3,79	3,83	3,87	3,91	3,96	4,00	4,05	4,09	4,14	4,19	150
160	4,23	4,28	4,33	4,38	4,43	4,48	4,53	4,57	4,63	4,68	160
170	4,73	4,78	4,83	4,88	4,93	4,98	5,03	5,08	5,13	5,18	170
180	5,23	5,29	5,34	5,40	5,45	5,50	5,55	5,60	5,68	5,71	180
190	5,77	5,83	5,89	5,94	5,99	6,05	6,11	6,17	6,23	6,29	190
200	6,35	6,41	6,47	6,53	6,59	6,65	6,71	6,78	6,84	6,90	200
210	6,96	7,02	7,08	7,14	7,20	7,25	7,32	7,39	7,45	7,51	210
220	7,57	7,62	7,68	7,75	7,82	7,89	7,96	8,03	8,08	8,14	220
230	8,20	8,26	8,33	8,39	8,46	8,53	8,59	8,65	8,73	8,81	230
240	8,87	8,94	9,02	9,09	9,16	9,24	9,31	9,39	9,46	9,53	240
250	9,61										250

Prospetto 7-IIIc — Coefficienti ω per acciaio Fe 430 (curva c)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	10
20	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,07	20
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,15	30
40	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	40
50	1,26	1,27	1,28	1,29	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	50
60	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,48	1,50	1,51	1,53	60
70	1,55	1,57	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72	70
80	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	1,91	1,93	80
90	1,95	1,97	2,00	2,02	2,04	2,07	2,09	2,12	2,14	2,17	90
100	2,19	2,22	2,25	2,27	2,30	2,33	2,36	2,39	2,42	2,45	100
110	2,48	2,50	2,54	2,57	2,60	2,63	2,66	2,69	2,72	2,76	110
120	2,79	2,82	2,85	2,89	2,92	2,96	2,99	3,02	3,06	3,09	120
130	3,13	3,16	3,20	3,24	3,27	3,31	3,35	3,39	3,43	3,47	130
140	3,51	3,55	3,59	3,63	3,68	3,72	3,76	3,80	3,85	3,89	140
150	3,93	3,98	4,02	4,07	4,11	4,15	4,20	4,24	4,29	4,33	150
160	4,38	4,43	4,47	4,52	4,56	4,61	4,66	4,70	4,75	4,80	160
170	4,84	4,89	4,94	4,99	5,03	5,08	5,13	5,18	5,23	5,28	170
180	5,33	5,38	5,43	5,47	5,53	5,59	5,65	5,70	5,75	5,81	180
190	5,86	5,92	5,98	6,03	6,08	6,14	6,20	6,26	6,32	6,38	190
200	6,43	6,49	6,55	6,61	6,67	6,73	6,79	6,85	6,91	6,96	200
210	7,03	7,08	7,14	7,20	7,26	7,32	7,37	7,44	7,50	7,56	210
220	7,63	7,68	7,74	7,81	7,88	7,97	8,03	8,08	8,13	8,19	220
230	8,26	8,33	8,40	8,46	8,52	8,59	8,65	8,72	8,79	8,85	230
240	8,93	8,99	9,06	9,13	9,20	9,27	9,34	9,41	9,48	9,55	240
250	9,62										250

Prospetto 7-IIIc — Coefficienti ω per acciaio Fe 430 (curva d)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	10
20	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	20
30	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	30
40	1,24	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	1,33	1,34	1,35	40
50	1,37	1,38	1,40	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,49	1,61	50
60	1,53	1,54	1,56	1,58	1,60	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	60
70	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	1,81	1,83	1,85	1,87	1,89	70
80	1,91	1,93	1,95	1,97	1,99	2,01	2,04	2,05	2,09	2,11	80
90	2,13	2,16	2,19	2,20	2,23	2,25	2,28	2,30	2,33	2,35	90
100	2,39	2,40	2,43	2,45	2,48	2,51	2,53	2,55	2,59	2,62	100
110	2,64	2,67	2,70	2,73	2,76	2,79	2,82	2,85	2,88	2,91	110
120	2,94	2,97	3,00	3,03	3,06	3,10	3,13	3,16	3,19	3,23	120
130	3,26	3,30	3,33	3,36	3,40	3,43	3,47	3,49	3,54	3,58	130
140	3,61	3,65	3,69	3,72	3,76	3,80	3,84	3,88	3,92	3,96	140
150	4,00	4,04	4,08	4,12	4,16	4,20	4,24	4,28	4,32	4,36	150
160	4,41	4,45	4,49	4,54	4,58	4,62	4,67	4,72	4,77	4,80	160
170	4,85	4,89	4,94	4,99	5,03	5,08	5,12	5,17	5,22	5,27	170
180	5,32	5,36	5,41	5,46	5,51	5,56	5,61	5,66	5,71	5,76	180
190	5,81	5,86	5,91	5,97	6,02	6,07	6,12	6,17	6,23	6,28	190
200	6,33	6,39	6,44	6,49	6,55	6,60	6,66	6,71	6,77	6,83	200
210	6,89	6,94	7,00	7,06	7,11	7,17	7,22	7,25	7,34	7,40	210
220	7,46	7,52	7,58	7,63	7,69	7,75	7,81	7,87	7,94	7,99	220
230	8,06	8,12	8,18	8,24	8,30	8,36	8,43	8,49	8,55	8,62	230
240	8,68	8,75	8,81	8,88	8,94	9,00	9,07	9,14	9,20	9,27	240
250	9,34										250

Prospetto 7-IVa — Coefficienti ω per acciaio Fe 510 (curva a)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	10
20	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	20
30	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	30
40	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	40
50	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	50
60	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	60
70	1,38	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,48	1,50	1,53	1,55	70
80	1,57	1,59	1,61	1,64	1,66	1,69	1,71	1,74	1,77	1,79	80
90	1,82	1,85	1,88	1,91	1,94	1,97	2,00	2,03	2,06	2,10	90
100	2,13	2,16	2,19	2,23	2,26	2,30	2,33	2,37	2,41	2,44	100
110	2,48	2,52	2,56	2,60	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	110
120	2,88	2,92	2,96	3,00	3,05	3,09	3,13	3,18	3,22	3,27	120
130	3,31	3,36	3,40	3,45	3,49	3,54	3,59	3,63	3,68	3,73	130
140	3,78	3,83	3,88	3,93	3,98	4,03	4,09	4,14	4,19	4,24	140
150	4,30	4,35	4,40	4,46	4,51	4,57	4,63	4,68	4,74	4,80	150
160	4,86	4,91	4,96	5,02	5,07	5,13	5,19	5,25	5,31	5,37	160
170	5,43	5,49	5,56	5,62	5,68	5,74	5,80	5,86	5,93	5,99	170
180	6,05	6,12	6,19	6,25	6,32	6,39	6,45	6,52	6,59	6,66	180
190	6,72	6,78	6,85	6,92	7,00	7,07	7,14	7,21	7,28	7,36	190
200	7,43	7,50	7,57	7,65	7,72	7,79	7,87	7,95	8,03	8,10	200
210	8,15	8,26	8,33	8,41	8,48	8,56	8,64	8,72	8,79	8,87	210
220	8,95	9,02	9,10	9,18	9,26	9,33	9,42	9,49	9,57	9,65	220
230	9,73	9,81	9,90	9,99	10,08	10,17	10,25	10,33	10,42	10,50	230
240	10,60	10,67	10,76	10,85	10,94	11,03	11,11	11,21	11,30	11,40	240
250	11,49										250

Prospetto 7-IVb — Coefficienti ω per acciaio Fe 510 (curva b)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	10
20	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,07	20
30	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	30
40	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	40
50	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,34	1,35	50
60	1,37	1,38	1,40	1,41	1,43	1,45	1,46	1,48	1,50	1,52	60
70	1,54	1,56	1,58	1,61	1,63	1,65	1,67	1,70	1,72	1,75	70
80	1,77	1,80	1,82	1,85	1,87	1,90	1,93	1,96	1,99	2,02	80
90	2,05	2,08	2,11	2,14	2,17	2,21	2,24	2,28	2,31	2,34	90
100	2,38	2,42	2,46	2,49	2,53	2,56	2,60	2,64	2,68	2,72	100
110	2,76	2,80	2,84	2,88	2,93	2,97	3,01	3,05	3,10	3,14	110
120	3,19	3,23	3,28	3,32	3,37	3,42	3,46	3,51	3,56	3,62	120
130	3,67	3,72	3,77	3,83	3,87	3,92	3,97	4,02	4,07	4,12	130
140	4,17	4,23	4,28	4,34	4,39	4,45	4,50	4,56	4,62	4,67	140
150	4,73	4,79	4,84	4,90	4,96	5,01	5,07	5,13	5,19	5,25	150
160	5,31	5,37	5,43	5,49	5,55	5,61	5,67	5,73	5,80	5,87	160
170	5,93	5,99	6,05	6,12	6,19	6,26	6,33	6,40	6,46	6,53	170
180	6,60	6,67	6,74	6,81	6,88	6,94	7,01	7,08	7,15	7,21	180
190	7,29	7,36	7,43	7,50	7,57	7,63	7,69	7,77	7,85	7,93	190
200	8,01	8,08	8,14	8,21	8,28	8,36	8,43	8,51	8,58	8,66	200
210	8,74	8,82	8,90	8,98	9,06	9,15	9,23	9,31	9,40	9,48	210
220	9,57	9,65	9,74	9,83	9,92	10,00	10,09	10,18	10,27	10,36	220
230	10,45	10,54	10,63	10,73	10,83	10,92	11,02	11,11	11,20	11,30	230
240	11,40	11,49	11,58	11,69	11,78	11,88	11,99	12,09	12,20	12,30	240
250	12,40										250

Prospetto 7-IVc — Coefficienti ω per acciaio Fe 510 (curva c)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	10
20	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	20
30	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	30
40	1,21	1,22	1,23	1,24	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,33	40
50	1,34	1,36	1,37	1,39	1,41	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	50
60	1,51	1,53	1,55	1,57	1,59	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	60
70	1,72	1,75	1,77	1,79	1,82	1,84	1,87	1,89	1,92	1,94	70
80	1,97	1,99	2,02	2,05	2,07	2,10	2,13	2,16	2,19	2,22	80
90	2,25	2,28	2,31	2,34	2,38	2,41	2,44	2,47	2,51	2,54	90
100	2,58	2,61	2,65	2,68	2,72	2,76	2,79	2,83	2,87	2,91	100
110	2,95	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,27	3,31	110
120	3,35	3,40	3,44	3,49	3,53	3,58	3,63	3,68	3,72	3,77	120
130	3,82	3,87	3,92	3,97	4,02	4,07	4,12	4,17	4,22	4,27	130
140	4,32	4,38	4,43	4,48	4,53	4,58	4,64	4,69	4,74	4,79	140
150	4,85	4,90	4,95	5,01	5,06	5,12	5,17	5,23	5,29	5,35	150
160	5,40	5,45	5,51	5,58	5,64	5,71	5,77	5,83	5,89	5,96	160
170	6,02	6,08	6,14	6,21	6,27	6,34	6,41	6,47	6,54	6,61	170
180	6,67	6,74	6,81	6,88	6,94	7,01	7,08	7,15	7,21	7,28	180
190	7,34	7,41	7,48	7,55	7,63	7,69	7,76	7,83	7,93	8,01	190
200	8,07	8,13	8,20	8,27	8,35	8,43	8,50	8,57	8,64	8,72	200
210	8,80	8,87	8,95	9,03	9,11	9,19	9,27	9,35	9,43	9,50	210
220	9,58	9,67	9,75	9,83	9,92	10,00	10,09	10,17	10,27	10,36	220
230	10,45	10,54	10,63	10,73	10,83	10,92	11,02	11,11	11,20	11,30	230
240	11,40	11,49	11,58	11,69	11,78	11,88	11,99	12,09	12,20	12,30	240
250	12,40										250

Prospetto 7-IVd — Coefficienti ω per acciaio Fe 510 (curva d)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	10
20	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,15	20
30	1,16	1,17	1,18	1,20	1,21	1,22	1,24	1,25	1,26	1,28	30
40	1,29	1,31	1,32	1,34	1,35	1,37	1,39	1,40	1,42	1,44	40
50	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55	1,56	1,58	1,60	1,62	50
60	1,64	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	1,82	1,84	60
70	1,86	1,89	1,91	1,93	1,96	1,98	2,00	2,03	2,06	2,09	70
80	2,11	2,13	2,16	2,19	2,21	2,24	2,27	2,29	2,32	2,35	80
90	2,38	2,41	2,44	2,46	2,49	2,52	2,55	2,58	2,61	2,65	90
100	2,68	2,71	2,74	2,77	2,81	2,84	2,87	2,91	2,94	2,97	100
110	3,01	3,04	3,08	3,12	3,15	3,19	3,22	3,26	3,30	3,34	110
120	3,38	3,42	3,46	3,49	3,53	3,57	3,62	3,66	3,70	3,74	120
130	3,78	3,82	3,87	3,91	3,95	4,00	4,04	4,09	4,13	4,18	130
140	4,22	4,27	4,31	4,36	4,41	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	140
150	4,70	4,77	4,80	4,85	4,90	4,95	5,00	5,05	5,11	5,16	150
160	5,21	5,27	5,32	5,37	5,43	5,48	5,53	5,59	5,65	5,70	160
170	5,76	5,82	5,87	5,93	5,99	6,04	6,10	6,16	6,22	6,28	170
180	6,34	6,40	6,46	6,52	6,58	6,64	6,70	6,76	6,82	6,89	180
190	6,95	7,01	7,08	7,14	7,20	7,27	7,33	7,39	7,46	7,53	190
200	7,59	7,66	7,72	7,79	7,86	7,93	7,99	8,06	8,13	8,20	200
210	8,27	8,33	8,40	8,47	8,54	8,62	8,69	8,76	8,83	8,90	210
220	8,97	9,05	9,12	9,19	9,27	9,34	9,42	9,50	9,57	9,65	220
230	9,74	9,81	9,89	9,97	10,05	10,13	10,22	10,30	10,39	10,48	230
240	10,56	10,65	10,73	10,83							240
250											250

7.2.3.2. Sezioni composte da più elementi collegati tra di loro con calastrelli o tralicci

Aste composte da più elementi collegati tra di loro con calastrelli o tralicci del tipo rappresentato nella figura 7-1 possono verificarsi come segue:

- per la verifica all'inflessione laterale in direzione normale a un asse principale di inerzia che taglia tutte le sezioni degli elementi componenti l'asta (asse xx di figura 7-1) la snellezza si valuta come per un'asta semplice;
- per la verifica all'inflessione laterale in direzione normale a un asse principale di inerzia che non taglia tutte le sezioni degli elementi componenti l'asta (asse yy di figura 7-1) bisogna distinguere tra i due tipi di collegamento dei correnti, a calastrolo o a traliccio.

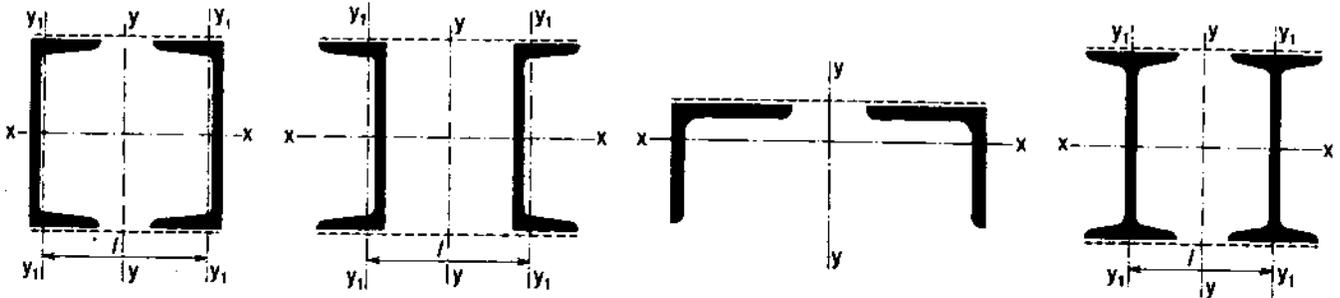


Fig. 7-1

7.2.3.2.1. Nel caso di collegamento a calastrelli, se la deformabilità di questi è trascurabile rispetto a quella dei correnti, si assume la snellezza ideale:

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$$

dove: $\lambda_y = \frac{\beta L_0}{i_y}$, con i_y raggio d'inerzia di tutta la sezione rispetto all'asse YY ;

$\lambda_1 = \frac{L_1}{i_{1min}}$, in cui L_1 è l'interasse dei calastrelli ed i_{1min} è il raggio minimo d'inerzia della sezione dell'elemento singolo; per l'applicabilità della formula deve risultare:

$$\frac{L_1}{i_{1y}} \leq \frac{\lambda_x}{2} \left(4 - 3 \frac{N}{N_c} \right) \quad \text{quando} \quad \frac{\lambda_x}{2} \left(4 - 3 \frac{N}{N_c} \right) > 50$$

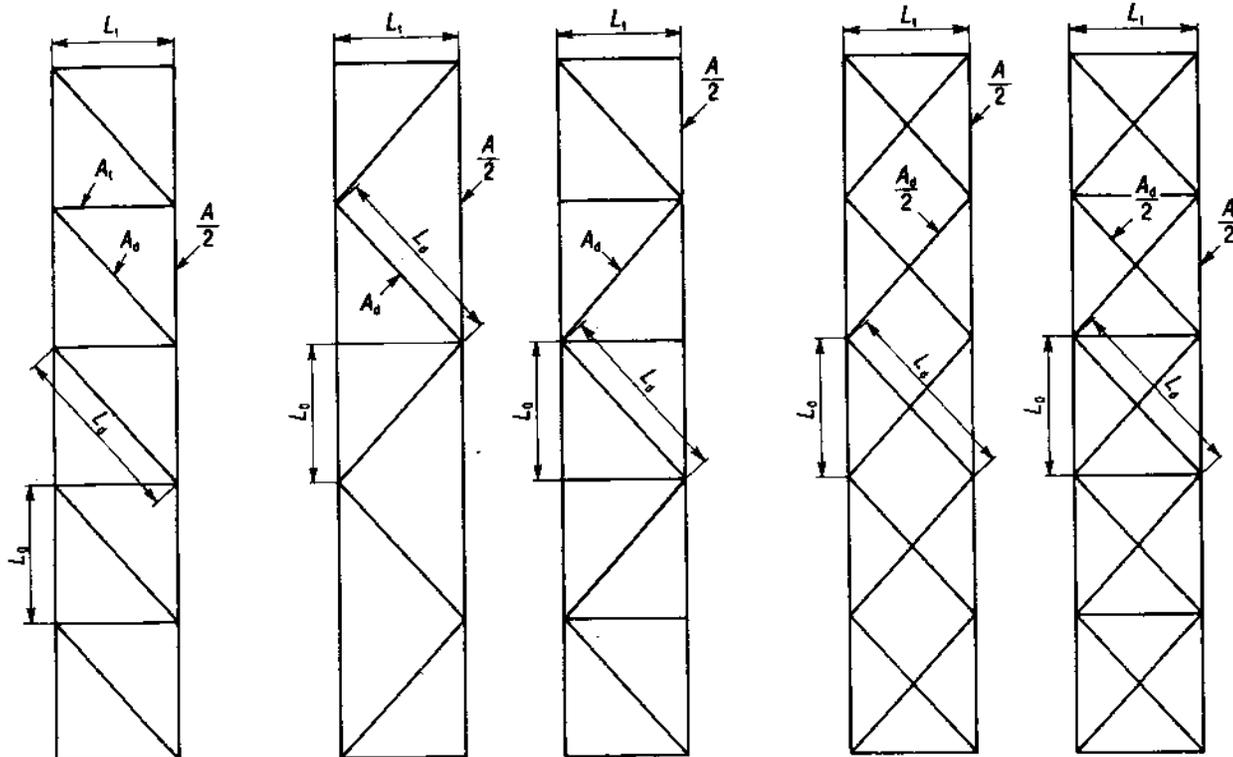
$$\frac{L_1}{i_{1y}} \leq 50 \quad \text{quando} \quad \frac{\lambda_x}{2} \left(4 - 3 \frac{N}{N_c} \right) \leq 50$$

essendo N il carico totale agente sull'asta composta, A la sezione trasversale complessiva e N_c è definito ai punti 7.2.2.3 e 7.2.2.4.

7.2.3.2.2. Nel caso di sezioni con collegamento a traliccio, secondo gli schemi a) e b) delle figure 7-2, 7-3 e 7-4;

- schema a) parete corrispondente allo schema reticolare della figura 7-2; si assume la snellezza equivalente:

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{10 A}{L_0 L_1^2} \left(\frac{L_d^3}{A_d} + \frac{L_1^3}{A_1} \right)}$$



Schema a)

Schema b)

Schema b)

Fig. 7.2

Fig. 7.3

Fig. 7.4

— schema b) parete corrispondente agli schemi reticolari delle figure 7-3 e 7-4; si assume:

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{10 A L_d^3}{L_0 L_1^2 A_d}}$$

dove: λ_y è la snellezza definita nel punto precedente;

A è la sezione complessiva di entrambi i correnti;

A_d è la sezione di una diagonale, per gli schemi delle figure 7-2 e 7-3, e delle 2 diagonali in un campo, per gli schemi della figura 7-4;

A_1 è la sezione del montante;

L_d è la lunghezza della diagonale;

L_1 è l'interasse dei correnti;

L_0 è la lunghezza della diagonale proiettata sull'asse dell'asta.

Occorre inoltre verificare, per ambedue i tipi di parete, la stabilità locale di ciascun corrente per la quota di carico ad esso affidata come indicato nel punto 7.2.2.1.

7.2.3.2.3. I collegamenti trasversali delle aste composte compresse ed i relativi attacchi ai correnti, qualora l'importanza dell'opera non richieda valutazioni più rigorose, possono proporzionarsi per la forza;

$$V = \frac{\omega N}{100}$$

dove: ω è indicato nei prospetti 7-IIIc, 7-IIIc e 7-IVc (oppure, per $t > 40$ mm, nei prospetti 7-IIId, 7-IIId e 7-IVd) in funzione della snellezza equivalente λ_{eq} dell'asta;

N è la forza assiale applicata all'asta.

In presenza di azioni dinamiche la forza V deve essere aumentata del 25%.

Se il collegamento è realizzato con calastrelli, la forza V deve essere maggiorata della quantità $5 (L_1/i_{1min} - 20)$ %, quando la distanza massima L_1 tra gli assi dei correnti supera $20 i_{1min}$.

I calastrelli di collegamento si calcolano ammettendo che la forza V si ripartisca in quote uguali tra i correnti (vedere figura 7-5).

I calastrelli devono suddividere l'asta in almeno tre campi ed essere distanziali in modo da ottenere un interasse costante. Il loro collegamento a ciascuno dei correnti deve essere effettuato o con cordoni di saldatura o con almeno due chiodi o due bulloni, ad attrito, o due bulloni in accoppiamento di precisione come in 5.3.2.

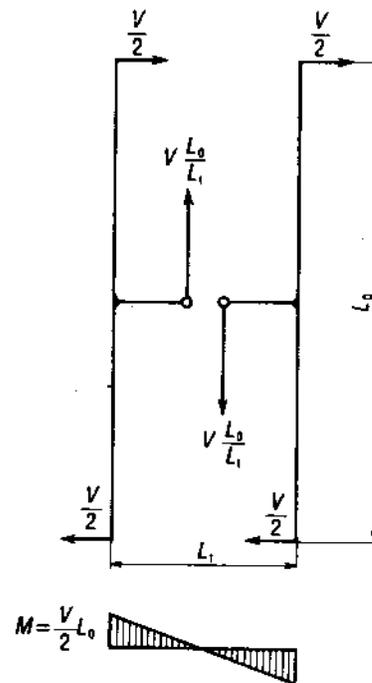


Fig. 7-5

7.2.3.3. Sezioni composte da elementi ravvicinati collegati con calastrelli

Per aste composte da due o quattro profilati posti ad un intervallo pari allo spessore delle piastre di attacco dei nodi e comunque a una distanza non maggiore di 3 volte il loro spessore, la verifica può essere condotta come per un'asta semplice purché i collegamenti siano disposti ad interasse non maggiore di $50 i_{\min}$ per l'acciaio tipo Fe 360 o Fe 430 e $40 i_{\min}$ per l'acciaio Fe 510. In particolare per le aste composte da due cantonali posti a croce (vedere figura 7-6) i collegamenti devono essere realizzati con calastrelli alternativamente ortogonali tra di loro.

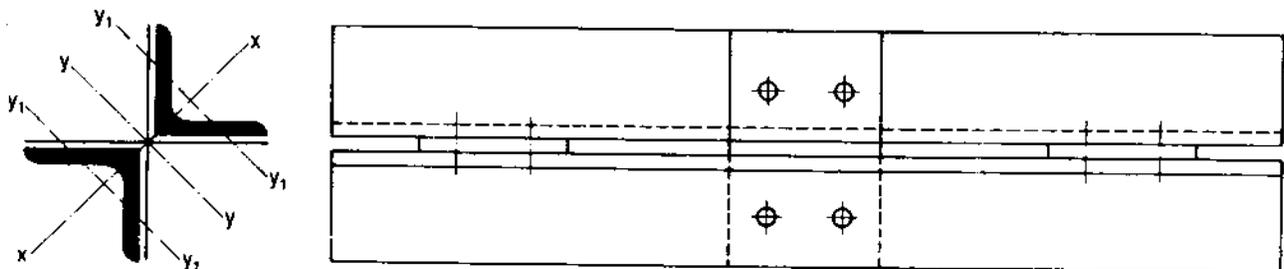


Fig. 7-6

In ogni caso i calastrelli devono dividere in almeno tre campi uguali l'asta e per ogni attacco essi devono essere uniti agli elementi mediante saldatura ovvero con almeno due chiodi, due bulloni ad attrito, o due bulloni in accoppiamento di precisione, secondo quanto indicato al punto 7.2.3.2.3.

7.2.3.4. Sezioni composte da elementi ravvicinati collegati con imbottiture

Aste composte da due o quattro profili uguali posti ad un intervallo pari allo spessore della piastra di attacco e comunque a una distanza non maggiore di 3 volte lo spessore del profilato (vedere figura 7-7), in mancanza di una determinazione più rigorosa della tensione critica, possono verificarsi secondo i criteri indicati ai punti 7.2.3.4.1 e 7.2.3.4.2.

In ogni caso i collegamenti devono dividere in almeno tre campi uguali l'asta.

- 7.2.3.4.1. Se il collegamento ha la sola funzione geometrica di contrastare l'inflessione laterale in direzione di un asse principale di inerzia del singolo profilato (per esempio l'inflessione in direzione normale all'asse i_{\min} dei profilati di figura 7-7 casi a) e b) e di conseguenza la snellezza dell'asta venga valutata con riferimento a un differente raggio di inerzia del profilato singolo (per esempio all'asse xx di figura 7-7 casi a) e b), la verifica può condursi come per un'asta semplice.

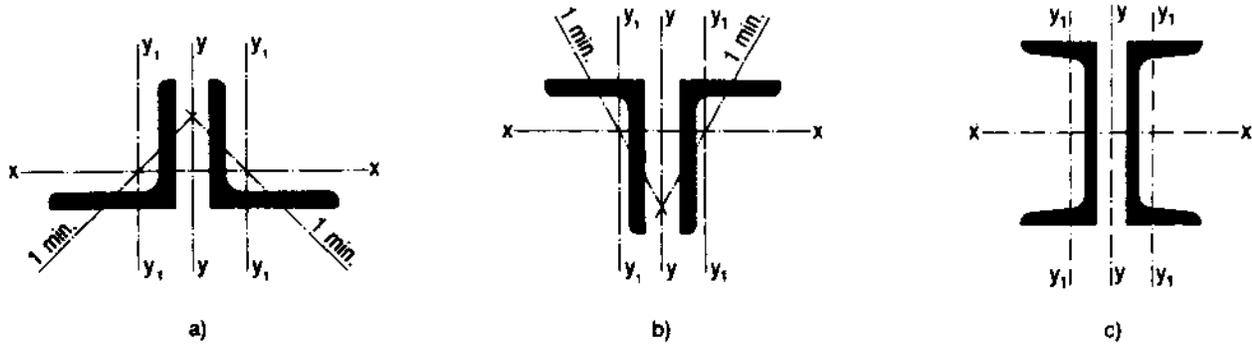


Fig. 7-7

I collegamenti devono essere costituiti da piastre di imbottitura saldate o collegate con chiodi o bulloni normali, o ad attrito, disposti a un intervallo tale che la snellezza locale non superi quella globale.

7.2.3.4.2. Se il collegamento ha invece la funzione di contrastare l'inflessione in direzione normale a un'asse principale di inerzia della sezione composta che non tagli tutte le sezioni degli elementi che la compongono (per esempio l'asse yy della figura 7-7) e pertanto la snellezza venga valutata con riferimento ad un raggio di inerzia più grande che non a quello del profilato singolo nella stessa direzione, la verifica dell'asta può condursi come per un'asta semplice, ma assumendo una snellezza equivalente pari a:

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2}$$

dove: λ è la snellezza effettiva dell'asta;

$$\lambda_1 = \frac{L_0}{i_{min}}$$

essendo L_0 l'interasse del collegamento e i_{min} il raggio minimo di inerzia del profilato semplice

Verifiche meno sommarie sono richieste qualora λ_1 superi 50 per l'acciaio tipo Fe 360 e Fe 430 e 40 per l'acciaio Fe 510. In ogni caso il collegamento deve essere costituito da una piastra di imbottitura saldata o collegata con almeno due chiodi, due bulloni ad attrito o due bulloni in accoppiamento di precisione come in 5.3.2 disposti secondo l'asse della membratura (vedere figura 7-8).

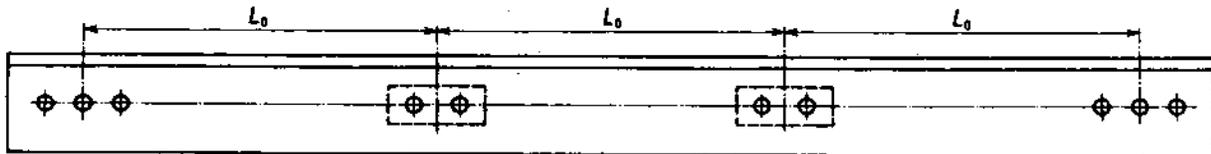


Fig. 7-8

7.2.4. Aste a sezione variabile

Per aste con area della sezione trasversale approssimativamente costante, ma con altezza variabile, sia per strutture reticolari, sia per le travi a I od analoghe, la verifica può effettuarsi come per l'asta a sezione costante, purché si consideri un opportuno momento d'inerzia equivalente $I_{eq} = \gamma I_{max}$.

Nel caso di aste incernierate agli estremi e per $0,1 < \gamma < 1$, essendo $k = \sqrt{I_{min}/I_{max}}$, per γ valgono le espressioni indicate nei quattro casi contemplati in figura 7-9.

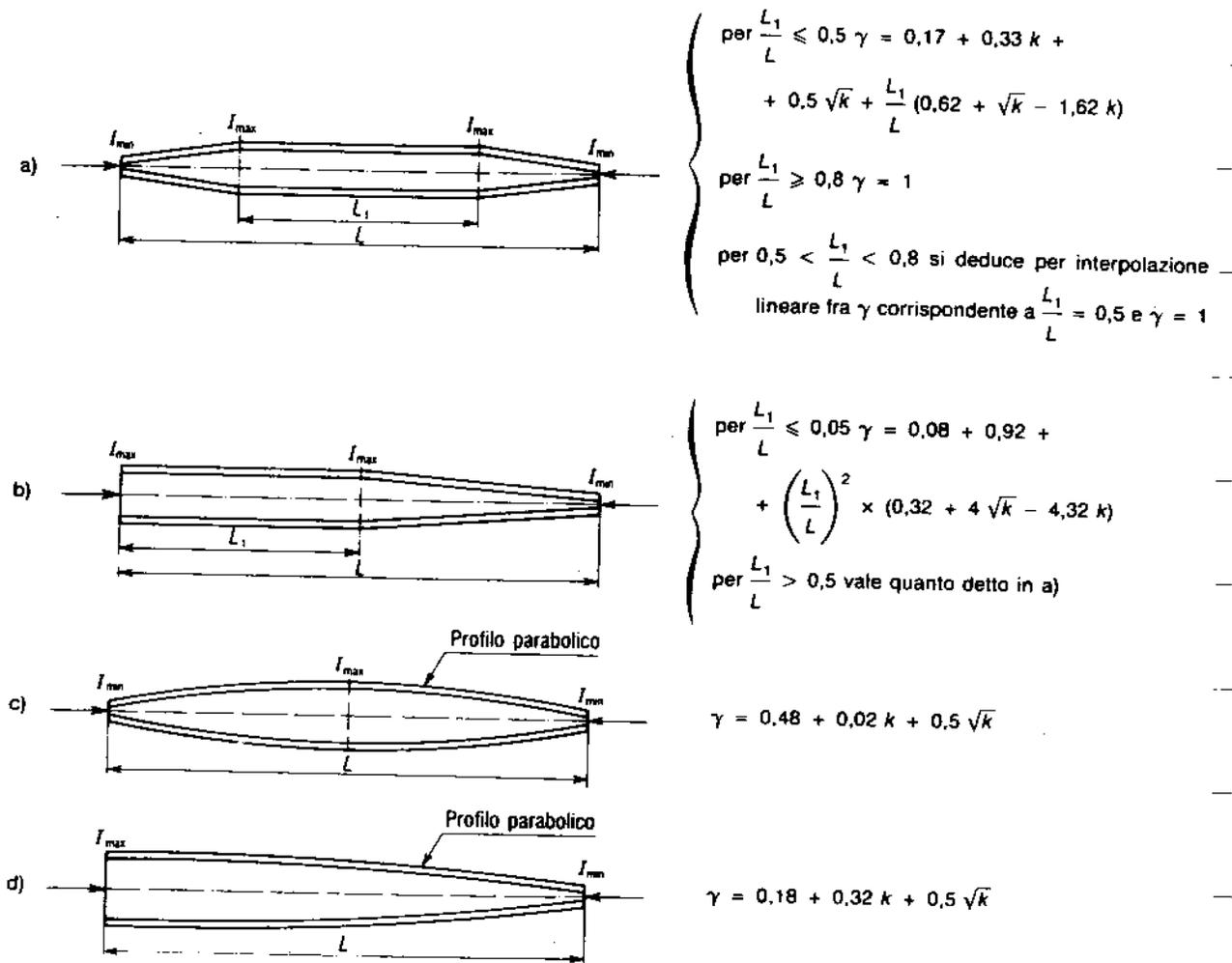


Fig. 7-9

7.2.5. Aste a sezione aperta con pareti di piccolo spessore

Le aste compresse, a sezione aperta e con pareti di spessore piccolo rispetto alle dimensioni trasversali, devono essere verificate nei riguardi dell'instabilità flessotorsionale.

Per aste prismatiche compresse assialmente, ove non si proceda ad una più precisa verifica, si può adottare il metodo di calcolo indicato nel punto 7.2.2, quando all'ordinaria snellezza $\lambda = \frac{L}{i}$ si sostituisca una snellezza equivalente, che nel caso di sezione simmetrica rispetto all'asse yy vale:

$$\lambda_{eq} = \frac{L}{i_y} \beta \sqrt{\frac{c^2 + i_0^2}{2 c^2}} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \frac{4 c^2 \left[i_p^2 + 0,093 \left(\frac{\beta^2}{\eta^2} - 1 \right) e_0^2 \right]}{(c^2 + i_0^2)^2}} \right\}$$

dove: β è il coefficiente definito nel punto 7.2.2.1.1;

η è il coefficiente di ingobbamento uguale a 0,5 se le sezioni di estremità sono perfettamente impediti di ingobbarsi, ed a 1 se completamente libere di ingobbarsi;

$$c = \sqrt{\frac{\left(\frac{\beta}{\eta}\right)^2 I_w + 0,039 (\beta L)^2 I_T}{I_y}}$$

e_0 è la coordinata del centro di taglio rispetto agli assi principali d'inerzia;

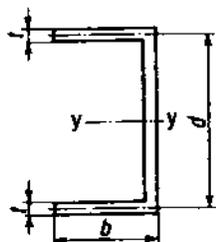
$i_p^2 = \frac{1}{A} (I_x + I_y)$, in cui I_x ed I_y sono i momenti d'inerzia rispetto agli assi principali;

$$i_0^2 = e_0^2 + i_p^2$$

$G I_T$ è la rigidezza torsionale dell'asta; se la sezione risulta composta di n successivi tratti, ciascuno di lunghezza h_i e spessore t_i , si può assumere:

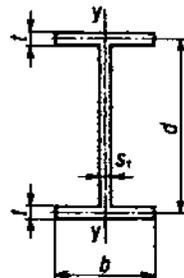
$$I_T = \frac{1}{3} \sum_1^n d_i t_i^3$$

E I_ω è la rigidezza all'ingobbamento; I_ω è da ritenersi nulla nel caso di sezioni corrispondenti a profilati composti di pareti piane tutte intersecantesi lungo un unico asse (per esempio profilati a L, +, T) mentre per le sezioni a C, I, simmetrica e dissimmetrica, assume i valori indicati nelle figure 7-10, 7-11 e 7-12.



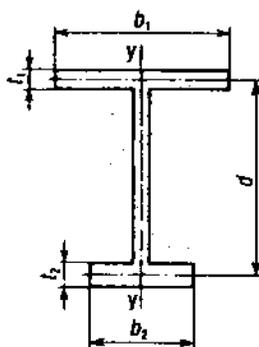
$$I_\omega = \frac{t d^2 b^3}{24} \left(1 + \frac{3d}{6b + d} \right)$$

Fig. 7-10



$$I_\omega = \frac{t d^2 b^3}{24}$$

Fig. 7-11



$$I_\omega = \frac{t_1 t_2 d^2 b_1^3 b_2^3}{12 (t_1 b_1^3 + t_2 b_2^3)}$$

Fig. 7-12

7.2.6. Rapporti larghezza e spessore degli elementi in parete sottile delle aste compresse

7.2.6.1. Per evitare l'imbozzamento delle pareti sottili delle aste compresse, in mancanza di una più precisa determinazione, devono essere soddisfatte le limitazioni indicate nel prospetto 7-V, essendo:

t lo spessore della parete sottile;

b la larghezza della parete sottile valutata come indicato in figura 7-13;

t_1, b_1 spessore e larghezza dell'elemento, anima o piattabanda, al quale la parte sottile è vincolata;

$\beta = \frac{b_1/t_1}{b/t}$ il parametro che commisura l'elasticità dell'incastro della parete sottile. Qualora risulti $\beta > 1$ si deve assumere $\beta = 1$.

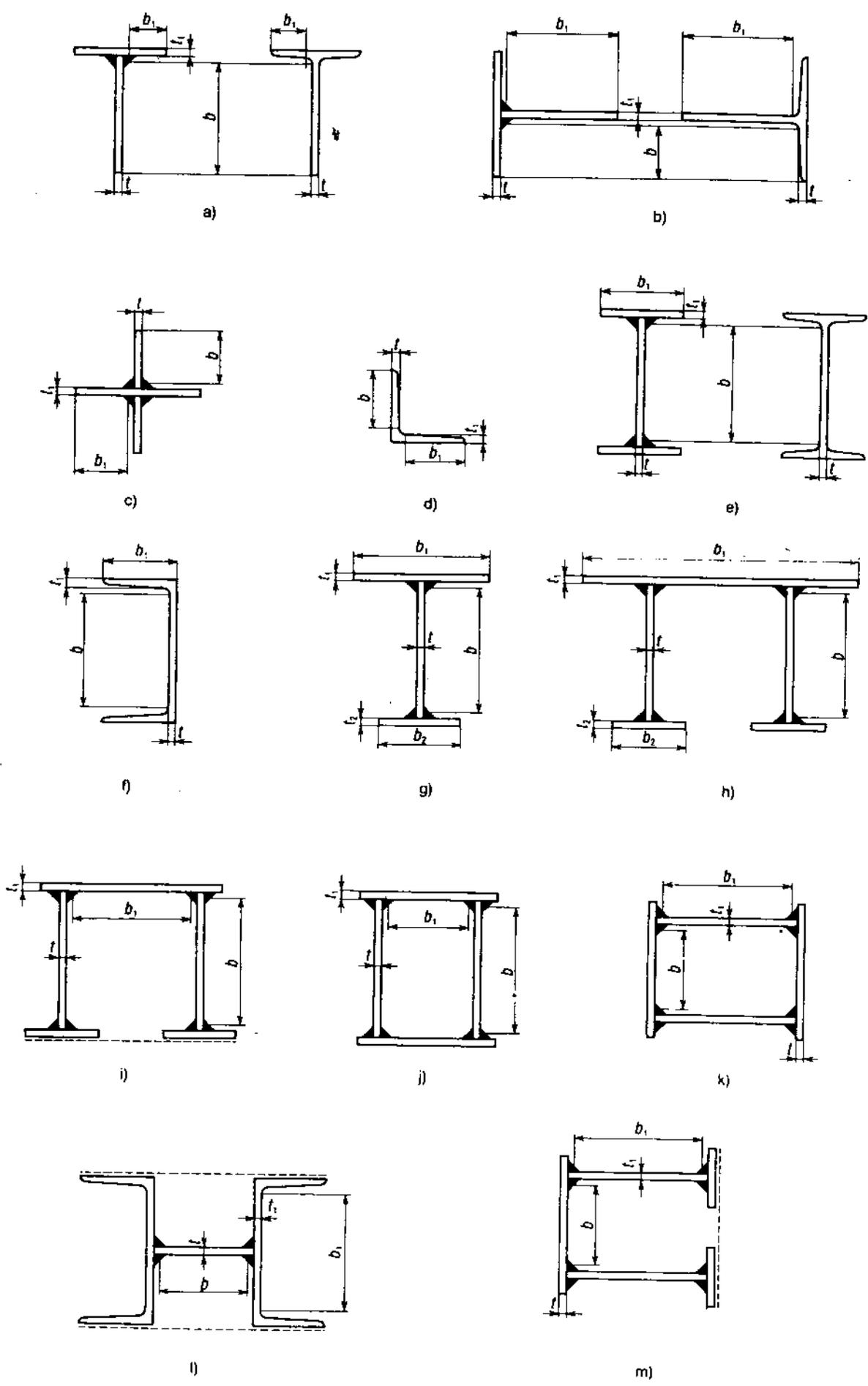


Fig. 7-13

Nelle aste saldate le dimensioni b e b_1 devono essere misurate a partire dalla mezz'era dei cordoni di saldatura e in quelle laminate al netto dei raccordi (vedere figura 7-13).

Rapporti larghezza spessore maggiori di quelli indicati devono essere giustificati da un procedimento di calcolo rigoroso.

7.2.6.2. Nelle sezioni aperte dotate di pareti sottili con bordi ugualmente o diversamente irrigiditi, in mancanza di una più precisa determinazione, l'irrigidimento può ritenersi efficace quando:

- il suo spessore t_1 non sia minore di quello t della parete da irrigidire;
- la sua lunghezza b_1 sia maggiore di $10 t$. Naturalmente il rapporto b_1/t_1 deve essere minore di 15 per l'acciaio Fe 360, a 14 per l'acciaio Fe 430 ed a 12 per l'acciaio Fe 510, per soddisfare le limitazioni previste per le sezioni tipo a) e b) (vedere figura 7-13 e prospetto 7-V).

Prospetto 7-V — Rapporti larghezza-spessore

Forma	Sezione tipo (vedere figura 7-13)	Acciaio		
		Fe 360	Fe 430	Fe 510
Aperta	Pareti sottili con un bordo non irrigidito a) b)	$b/t \leq 15$	$b/t \leq 14$	$b/t \leq 12$
	Pareti sottili con un bordo non irrigidito (angolari, sezioni a croce) c) d)	$b/t \leq 13$	$b/t \leq 12$	$b/t \leq 11$
	Pareti sottili con i bordi ugualmente irrigiditi e) f)	$b/t \leq 45$	$b/t \leq 42$	$b/t \leq 36$
	Pareti sottili con i bordi diversamente irrigiditi g) h)	$b/t \leq 15 \times (1 + 2 \sqrt{b_2/b_1})$	$b/t \leq 14 \times (1 + 2 \sqrt{b_2/b_1})$	$b/t \leq 12 \times (1 + 2 \sqrt{b_2/b_1})$
A cassone	Pareti sottili con un bordo irrigidito e l'altro elasticamente incastrato ad una parete piena del cassone i)	$b/t \leq 52,5 - 7,5 \beta^2$	$b/t \leq 49 - 7 \beta^2$	$b/t \leq 42 - 6 \beta^2$
	Pareti sottili con entrambi i bordi elasticamente incastrati a pareti piene del cassone j) k) l) m)	$b/t \leq 60 - 15 \beta^2$	$b/t \leq 56 - 14 \beta^2$	$b/t \leq 48 - 12 \beta^2$

7.2.7. Aste compresse continue con vincoli trasversali elastici

7.2.7.1. Aste a sezione costante, soggette a forza assiale N costante, con appoggi intermedi equidistanti e di uguale rigidezza (vedere figura 7-14)

La verifica può essere condotta nel modo seguente.

Si determina preliminarmente lo sforzo k_0 :

per un numero di campi $n > 2$ e $1,2 \leq \beta \leq \frac{n}{\sqrt{2}}$:

$$k_0 = \frac{\pi^2}{4 \beta^2} \cdot \frac{N}{L_0}$$

per un numero di campi $n = 2$ e $1 < \beta < 2$:

$$k_0 = \frac{2}{3} (4 - \beta^2) \cdot \frac{N}{L_0}$$

dove: L_0 è la distanza tra i centri teorici dei vincoli;

$\beta = \frac{\lambda_y}{L_0/i_y}$ dove λ_y si ricava dai precedenti prospetti 7-IIc, 7-IIIc e 7-IVc (oppure, per $r > 40$ mm, dai prospetti 7-IIId, 7-IIId e 7-IVd) per il valore

$$\omega = \frac{f_d \cdot A}{N} \quad \text{stati limite;}$$

$$\omega = \frac{\sigma_{adm} \cdot A}{N} \quad \text{tensioni ammissibili;}$$

A è la sezione dell'asta;

i_y è il raggio di inerzia dell'asta nel piano contenente i vincoli elastici (piano nel quale si effettua la verifica all'inflessione).

Per la sicurezza devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

a) per vincoli di estremità rigidi:

$$k_i \geq k_0 \quad \text{stati limite}$$

$$k_i \geq 1,5 k_0 \quad \text{tensioni ammissibili}$$

dove k_i è la rigidezza del vincolo intermedio (rapporto fra la reazione esercitata dal vincolo e lo spostamento corrispondente);

b) per vincoli di estremità cedevoli:

$$k_i \geq \eta_i k_0; \quad k_e \geq \eta_e k_0 \quad \text{stati limite}$$

$$k_i > 1,5 \eta_i k_0; \quad k_e \geq 1,5 \eta_e k_0 \quad \text{tensioni ammissibili}$$

dove k_e è la rigidezza del vincolo di estremità, mentre per i coefficienti η_i e η_e valgono le seguenti indicazioni:

— se è noto $\zeta = k_i/k_e$ (calcolo di verifica), η_i e η_e si desumono dalle espressioni:

$$\eta_i = \frac{1 + 0,6 \zeta \beta}{2} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{1,44 \zeta \beta}{(1 + 0,6 \zeta \beta)^2}} \right] \quad \eta_e = \frac{\eta_i}{\zeta}$$

— se è prefissato η_i (calcolo di progetto), η_e si desume dall'espressione:

$$\eta_e = \frac{0,6 \eta_i - 0,36}{\eta_i - 1} \beta$$

Per la validità del metodo deve risultare $\eta_i \geq 1,1$ e $\beta \geq 1,2$.

7.2.7.2. Aste con sezioni e forze assiali diverse da campo a campo, campi di lunghezza diversa e rigidezza dei vincoli elastici intermedi diverse

Quando non si effettui uno studio più approfondito, si può, in via di approssimazione, seguire il procedimento indicato nel punto 7.2.7.1, ponendo nella determinazione di k_0

— per N il massimo valore di N ;

— per L_0 la lunghezza del campo più corto;

— per β la media aritmetica dei valori di β valutati come nel punto 7.2.7.1 per i singoli campi;

— per $\zeta = \frac{k_i}{k_e}$ il rapporto tra il valore della rigidezza del più flessibile vincolo intermedio e il valore della rigidezza del vincolo di estremità.

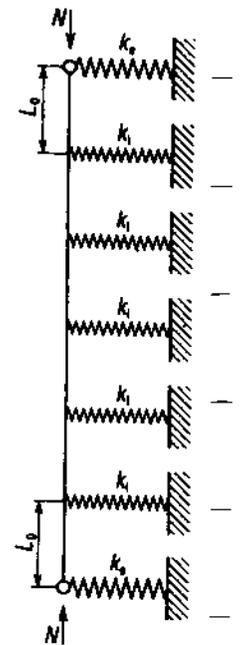


Fig. 7-14

7.2.7.3. Le strutture che costituiscono gli appoggi intermedi o estremi di un'asta caricata assialmente e vincolata elasticamente, in assenza di più precise determinazioni, devono essere assoggettate anche ad una verifica di resistenza, supponendo che l'asta compressa eserciti su di esse una forza:

$$F_i = \frac{N_{max}}{100\beta} \text{ per gli appoggi intermedi}$$

$$F_e = \frac{N_{max}}{100} \text{ per gli appoggi d'estremità}$$

dove N_{max} è la più grande delle forze agenti nei campi adiacenti al vincolo considerato. Nel caso che l'ultimo campo dell'asta risulti scarico, per la verifica dell'appoggio estremo si assume per N_{max} la forza agente nel penultimo campo.

Le azioni determinate come sopra devono essere aggiunte a quelle prodotte dai carichi effettivamente agenti sulla struttura costituente l'appoggio.

7.3. Travi inflesse a parete piena

7.3.1. Stabilità all'imbozzamento delle parti compresse di travi inflesse

Quando non si proceda ad un preciso calcolo specifico, le dimensioni delle parti sottili uniformemente compresse devono soddisfare le limitazioni valide per analoghe parti di aste compresse contenute nel prospetto 7-V.

7.3.2. Stabilità laterale delle travi inflesse (sicurezza allo svergolamento)

Per la verifica di una trave inflessa deve risultare:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_D / v$$

dove: $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{\psi_x W}$ è la massima tensione al lembo compresso;

$\sigma_D = \frac{M_D}{\psi_x W}$ essendo M_D il massimo momento calcolato per la condizione critica di carico in campo elastoplastico, W il modulo di resistenza relativo al lembo compresso e ψ_x il coefficiente definito al punto 6.5.3;

v è il coefficiente definito al punto 7.1.

7.3.2.1. Per travi a sezioni a doppio T, doppiamente simmetriche, laminate o composte per saldatura, qualora i carichi agiscano nel piano dell'anima, la tensione σ_D può essere valutata con la formula:

$$\sigma_D = \psi_x f_y \frac{\sigma_{cr,D}}{n \sqrt{\sigma_{cr,D}^n + (\psi_x f_y)^n}}$$

dove: $n = 1,5$ per travi laminate;

$n = 1$ per travi composte saldate;

ψ_x = il fattore di forma definito al punto 6.5.3 relativo all'asse forte;

$\sigma_{cr,D} = \frac{M_{cr}}{W}$ la tensione critica per instabilità flessotorsionale in campo elastico.

7.3.2.2. In mancanza di una esatta determinazione del valore del momento critico, in via cautelativa, può essere seguito uno dei due metodi riportati ai punti 7.3.2.2.1 e 7.3.2.2.2, purché siano rispettate le limitazioni ivi previste relative alla geometria della sezione.

7.3.2.2.1. Per le travi a doppio T laminate, inflesse nel piano dell'anima, si deve verificare che:

$$\sigma = \frac{\omega_1 M_{eq}}{\psi_x W} \leq \begin{cases} l_d & \text{stati limite} \\ \sigma_{adm} & \text{tensioni ammissibili} \end{cases}$$

essendo ω_1 un coefficiente adimensionale maggiore o uguale all'unità ed M_{eq} il momento equivalente. Per travi caricate in corrispondenza dell'asse baricentrico i valori del coefficiente ω_1 possono essere espressi mediante l'espressione:

$$\omega_1 = \frac{I_y}{0,585 E} \frac{h L}{b I_t}$$

tabulata nel prospetto 7-VI in funzione del tipo di acciaio e del rapporto adimensionale hL/bI_t

dove: h è l'altezza della trave;

b è la larghezza delle ali;

I_t è lo spessore delle ali;

L è la lunghezza di un campo di travi fra due ritegni torsionali successivi, che impediscano cioè la rotazione della sezione intorno all'asse longitudinale. Nel caso di mensole o travi con sbalzi non munite di ritegni siffatti all'estremo libero, si assume per L il doppio dello sbalzo.

Prospetto 7-VI — Coefficienti ω_1

$\frac{hL}{b t_f}$	Fe 360	Fe 430	Fe 510
300	1,00	1,00	1,00
400	1,00	1,00	1,18
500	1,00	1,16	1,47
600	1,17	1,39	1,77
700	1,37	1,63	2,06
800	1,56	1,86	2,36
900	1,76	2,09	2,65
1 000	1,95	2,32	2,95
1 100	2,15	2,56	3,24
1 200	2,34	2,79	3,53
1 300	2,54	3,02	3,83
1 400	2,73	3,25	4,12
1 500	2,93	3,49	4,42
1 600	3,12	3,72	4,71
1 700	3,32	3,95	5,01
1 800	3,51	4,18	5,30
1 900	3,71	4,41	5,60
2 000	3,90	4,65	5,89
2 200	4,29	5,11	6,48
2 400	4,68	5,58	7,07
2 600	5,07	6,04	7,66
2 800	5,46	6,51	8,25
3 000	5,85	6,97	8,84
3 200	6,24	7,44	9,43
3 400	6,63	7,90	10,02
3 600	7,02	8,36	10,60
3 800	7,41	8,83	11,19
4 000	7,80	9,29	11,78

Se i carichi agenti nel tratto di lunghezza L sono applicati all'estradosso della membratura, i valori del coefficiente ω_1 devono essere moltiplicati per 1,4.

Il momento equivalente $M_{eq} = \psi_1 M_{max}$ può essere espresso, in assenza di una determinazione più accurata, in base al valore medio M_m ed al valore massimo M_{max} del momento flettente nel campo di trave che si considera, nel modo seguente:

$M_{eq} = 1,3 M_m$ nel caso di travi semplicemente appoggiate o continue, con la limitazione $0,75 M_{max} \leq M_{eq} \leq M_{max}$;

$M_{eq} = M_m$ nel caso di travi con sbalzi o di mensole con la limitazione $0,5 M_{max} \leq M_{eq} \leq M_{max}$.

Il procedimento indicato è valido anche per travi a doppio T composte, a sezione doppiamente simmetrica, purché risulti soddisfatto uno dei due gruppi di limitazioni seguenti:

$$\left\{ \begin{array}{l} b/t_f \leq 20 \\ h/b \leq 4 \\ t_w/t_f \geq 0,5 \end{array} \right. \quad \text{oppure} \quad \left\{ \begin{array}{l} b/t_f \leq 20 \\ h/b \leq 3 \\ t_w/t_f \geq 0,3 \end{array} \right.$$

essendo t_w lo spessore dell'anima.

Si può quindi porre:

$$\sigma_D = \frac{f_y}{\omega_1} \quad \text{con} \quad \eta_1 = \frac{M_{eq}}{M_{max}}$$

7.3.2.2.2. Per le travi a doppio T, laminato o composte, a sezione simmetrica o dissimmetrica, inflesse nel piano dell'anima, una verifica sommaria può essere condotta controllando, nel piano normale a quello di flessione, la stabilità dell'ala compressa, supposta isolata dall'anima.

A tal fine, seguendo il criterio del punto 7.2.2.4, si ricava dai prospetti 7-IIIc, 7-IIIc e 7-IVc (oppure, per $t > 40$ mm, dai prospetti 7-IIId, 7-IIId e 7-IVd) il valore della tensione critica in corrispondenza della snellezza λ dell'ala compressa tra due ritegni torsionali successivi.

Deve essere:

$$\sigma = \omega \frac{N_{eq,t}}{A_t} \leq \begin{cases} f_d & \text{stati limite} \\ \sigma_{adm} & \text{tensioni ammissibili} \end{cases}$$

dove: A_t è l'area dell'ala compressa;

$$N_{eq,t} = \frac{\eta_1 M_{max}}{i_x} S_x \text{ è la forza assiale agente nell'ala supposta isolata dall'anima;}$$

essendo: i_x il momento di inerzia di tutta la sezione rispetto all'asse x;
 S_x il momento statico dell'ala compressa rispetto all'asse x;

$$\eta_1 = \frac{M_{eq,t}}{M_{max}} \text{ il coefficiente definito al punto 7.3.2.2.1.}$$

Si può quindi porre:

$$\sigma_D = \frac{f_y}{\omega}$$

7.4. Aste pressoinflesse

7.4.1. Nel caso di aste prismatiche soggette ad un carico assiale di compressione N e ad un momento flettente costante M , dipendente o meno da N e agente in uno dei piani principali, quando l'importanza della struttura non richieda l'impiego di metodi meno somari, basta verificare che sia:

$$\omega \frac{N}{A} + \frac{M}{\psi W \left(1 - \nu \frac{N}{N_{cr}} \right)} \leq \begin{cases} f_d & \text{stati limite} \\ \sigma_{adm} & \text{tensioni ammissibili} \end{cases}$$

dove: ψ è il fattore di forma definito al punto 6.5.3;

ν è il coefficiente definito al punto 7.1;

$N_{cr} = \sigma_{cr} A$ con σ_{cr} tensione critica calcolata con la formula di Eulero anche in campo plastico, per la snellezza relativa al piano di flessione, riportata nel prospetto 7-VII.

Prospetto 7-VII — Tensioni critiche euleriane σ_{cr} in N/mm²

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	20 331	16 803	14 119	12 030	10 373	9 036	7 942	7 035	6 275	5 632
20	5 083	4 610	4 201	3 843	3 530	3 253	3 008	2 789	2 593	2 418
30	2 259	2 116	1 985	1 867	1 759	1 660	1 560	1 485	1 408	1 337
40	1 271	1 209	1 153	1 100	1 050	1 004	961	920	882	847
50	813	782	752	724	697	672	648	626	604	584
60	565	548	529	512	496	481	467	453	440	427
70	415	403	392	382	371	361	352	343	334	326
80	318	310	302	295	288	281	275	269	263	257
90	251	246	240	235	230	225	221	216	212	207
100	203	199	195	192	188	184	181	178	174	171
110	168	165	162	159	156	154	151	149	146	144
120	141	139	137	134	132	130	128	126	124	122
130	120	118	117	115	113	112	110	108	107	105
140	104	102	101	99	98	97	95	94	93	92
150	90	89	88	87	86	85	84	82	81	80
160	79	78	77	77	76	75	74	73	72	71
170	70	70	69	68	67	66	66	65	64	63
180	63	62	61	61	60	59	59	58	58	57
190	56	56	55	55	54	53	53	52	52	51
200	51	50	50	49	49	48	48	47	47	47
210	46	46	45	45	44	44	44	43	43	42
220	42	42	41	41	41	40	40	39	39	39
230	38	38	38	37	37	37	37	36	36	36
240	35	35	35	34	34	34	34	33	33	33
250	33	32	32	32	32	31	31	31	31	30

- 7.4.1.1. Se il momento flettente varia lungo l'asta, salvo valutazioni più rigorose, esso deve intervenire nella determinazione degli sforzi flessionali col valore $M_{eq} = 1,3 M_m$ con la limitazione $0,75 M_{max} \leq M_{eq} \leq M_{max}$, essendo M_m il valore medio del momento flettente lungo l'asta ed M_{max} il valore massimo.

Nel caso particolare d'asta vincolata ad entrambi gli estremi soggetta a momento flettente variabile linearmente fra i momenti d'estremità M_a ed M_b , (figura 7-15) si deve assumere per M il valore:

$$M_{eq} = 0,6 M_a - 0,4 M_b \quad \text{con} \quad |M_a| \geq |M_b|$$



Fig. 7-15

purché sia $M_{eq} > 0,4 M_a$.

- 7.4.1.2. Nel caso di aste prismatiche soggette ad un carico di compressione N e a momenti flettenti M_x ed M_y agenti in due piani principali d'inerzia, in mancanza di verifiche più sofisticate, si potrà controllare che sia:

$$\frac{\omega N}{A} + \frac{M_{x,eq}}{\psi_x W_x \left(1 - \frac{\nu N}{N_{cr,x}}\right)} + \frac{M_{y,eq}}{\psi_y W_y \left(1 - \frac{\nu N}{N_{cr,y}}\right)} \leq \begin{cases} f_d & \text{stati limite} \\ \sigma_{adm} & \text{tensioni ammissibili} \end{cases}$$

- 7.4.2. Nelle membrature soggette a pressoflessione va sovente preso in considerazione anche il fenomeno di svergolamento; in mancanza di una esatta determinazione del valore critico del carico, può essere seguito uno dei metodi approssimati indicati al punto 7.3.2. A tal fine, oltre alla verifica di cui al punto 7.4.1.2, con lo stesso significato dei simboli bisogna verificare che sia:

$$\frac{\omega N}{A} + \frac{M_{x,eq} \cdot \frac{f_y}{\sigma_D}}{\psi_x W_x \left(1 - \frac{\nu N}{N_{cr,x}}\right)} + \frac{M_{y,eq}}{\psi_y W_y \left(1 - \frac{\nu N}{N_{cr,y}}\right)} \leq \begin{cases} f_d & \text{stati limite} \\ \sigma_{adm} & \text{tensioni ammissibili} \end{cases}$$

7.5. Telai

Nelle strutture intelaiate la stabilità delle singole membrature deve essere verificata in conformità a quanto indicato nei punti 7.2, 7.3 e 7.4, tenendo presenti le condizioni di vincolo e di sollecitazione.

7.5.1. Telai a nodi fissi

Nei telai in cui la stabilità laterale è assicurata dal contrasto di controventamenti adeguati, la lunghezza di libera inflessione dei piedritti, in mancanza di un'analisi rigorosa, è assunta pari alla loro altezza.

7.5.2. Telai a nodi spostabili

- 7.5.2.1. La verifica nei confronti degli stati limite ultimi o di servizio dei telai mono o multipiano deve essere in generale condotta tenendo conto degli effetti instabilizzanti dei carichi verticali.

- 7.5.2.2. Nei telai monopiano in cui la stabilità laterale è affidata unicamente alla rigidità flessionale dei piedritti e dei traversi, rigidamente connessi tra di loro, la lunghezza di libera inflessione delle membrature deve essere determinata mediante apposito esame. La lunghezza di libera inflessione dei ritzi non può comunque essere assunta minore dell'altezza dei ritzi stessi, qualora questi siano incastrati ai piede, e minore di due volte l'altezza, se sono incernierati alla base.

- 7.5.2.3. Ai fini della verifica di cui in 7.5.2.2, può essere utilizzato, in via approssimata, il metodo comunemente detto dei «tagli fittizi». Esso sostituisce agli effetti instabilizzanti dei carichi verticali delle forze esterne fittizie orizzontali, funzioni delle componenti di spostamento orizzontali dei piani del telaio stesso.

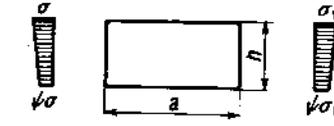
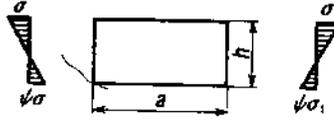
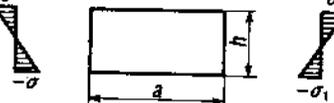
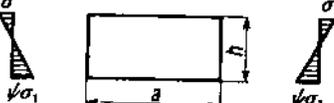
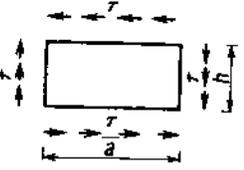
- 7.5.2.3.1. In assenza di una determinazione diretta, la stabilità globale può essere saggiata controllando che la struttura sia capace di sopportare contemporaneamente la più sfavorevole delle combinazioni di carico definite in 3.3.1, vento escluso, unitamente all'azione di forze orizzontali pari a 1/80 dei carichi verticali corrispondenti alla suddetta condizione di carico. La freccia orizzontale che ne deriva deve essere minore di 1/500 dell'altezza totale del telaio.

7.6. Stabilità dell'anima di elementi strutturali a parete piena

7.6.1. Generalità

- 7.6.1.1. I pannelli d'anima di elementi strutturali a parete piena (travi, aste, colonne, archi, ecc.) devono essere verificati dall'imbozzamento e, localmente in corrispondenza di eventuali carichi concentrati applicati fra gli irrigidimenti.
- 7.6.1.2. Per la verifica all'imbozzamento, l'anima si considera suddivisa in campi rettangolari ciascuno lungo a ed alto h , intendendosi con a l'interasse degli irrigidimenti trasversali dell'anima e con h la distanza netta fra i correnti o irrigidimenti longitudinali contigui. In assenza di irrigidimenti la lunghezza a del pannello si considera coincidente con quella della trave.
- 7.6.1.3. La verifica all'imbozzamento in ciascuno dei campi (ah) sopra definiti viene svolta partendo dai valori della tensione normale al lembo compresso σ_1 e tangenziale media τ , conseguenti agli assegnati carichi esterni e calcolati con riferimento all'area lorda della sezione (vedere punto 7.6.1.6).
- 7.6.1.4. Se la tensione normale agente sulla sezione retta dell'anima è sempre di trazione, uniformemente distribuita o linearmente variabile, la verifica all'imbozzamento è fatta con riguardo alla sola tensione tangenziale e si pone quindi $\sigma_1 = 0$. Se la tensione normale è di compressione, uniformemente distribuita o linearmente variabile con una legge definita dal coefficiente ψ (vedere prospetto 7-VIII), per σ_1 si assume il valore assoluto della massima tensione normale al bordo del campo in esame.
- 7.6.1.5. La tensione tangenziale τ ai fini della verifica all'imbozzamento, si calcola nell'ipotesi che lo sforzo di taglio si distribuisca uniformemente sulla sola sezione dell'anima.
- 7.6.1.6. In ciascuno dei campi in cui la trave è suddivisa, la tensione normale σ e la tensione tangenziale τ si determinano in base al massimo valore del momento flettente, della forza normale e del taglio che si riscontra nel campo in esame. Se il valore massimo del momento flettente o della forza tagliante si riscontra ad un'estremità del campo, è consentito calcolare σ e τ in base ai corrispondenti valori che le predette componenti di sollecitazione hanno in mezz'era del campo, purché tali valori non siano minori di quelli che si riscontrano ad una distanza dall'estremo in questione pari ad $h/2$.
- 7.6.1.7. Di regola i pannelli d'anima vengono considerati incernierati sul contorno, salvo quanto precisato al punto 7.6.2.3.

Prospetto 7-VIII — Coefficienti di imbozzamento

Numero d'ordine	Condizioni di carico del pannello	Tensioni ideali di imbozzamento*	$\alpha = \frac{a}{h}$	Coefficiente di imbozzamento
I	Tensione di compressione variabile linearmente $0 \leq \psi \leq 1$		$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \sigma_{cr,0}$	$\alpha \geq 1$ $k_{\sigma} = \frac{8,4}{\psi + 1,1}$
				$\alpha < 1$ $k_{\sigma} = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \frac{2,1}{\psi + 1,1}$
II	Tensione di compressione e trazione variabili linearmente, ma preponderante la tensione di compressione $-1 < \psi < 0$		$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \sigma_{cr,0}$	$k_{\sigma} = 1 + \psi k_1 - \psi k_3 + 10 \psi (1 + \psi)$ dove: k_1 si ottiene dal caso I per $\psi = 0$; k_3 si ottiene dal caso III per $\psi = -1$
III	Tensione di compressione e trazione variabili linearmente, ma uguali i valori massimi di compressione e trazione $\psi = -1$ ovvero preponderante la tensione di trazione $\psi < -1$		$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \sigma_{cr,0}$	$\alpha \geq \frac{2}{3}$ $k_{\sigma} = 23,9$
				$\alpha < \frac{2}{3}$ $k_{\sigma} = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6 \alpha^2$
IV	Tensione tangenziale uniformemente distribuita		$\tau_{cr} = k_{\tau} \sigma_{cr,0}$	$\alpha \geq 1$ $k_{\tau} = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$
				$\alpha < 1$ $k_{\tau} = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$

* Per i valori della tensione di riferimento $\sigma_{cr,0}$ vedere prospetto 7-IX.

Prospetto 7-IX — Tensioni di riferimento $\sigma_{cr,0}$ in N/mm²

h cm	r mm													
	3	4	5	6	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24
30	18,62	33,11	51,72	74,44	132,41	206,89	297,92	228,09	281,84	190,67	241,32	208,89	250,34	218,88
40	10,47	18,62	29,06	41,88	74,48	116,38	167,58	145,98	167,58	132,41	167,58	152,00	183,92	167,58
50	6,70	11,92	18,62	26,81	47,67	74,48	107,25	101,38	116,38	97,28	123,12	116,38	140,81	132,41
60	4,65	8,28	12,93	18,62	33,10	51,72	74,48	70,72	85,46	74,48	94,26	91,95	111,26	107,25
70	3,42	6,08	9,49	13,68	24,32	38,00	54,72	57,02	65,46	58,85	74,48	74,48	90,12	88,64
80	2,62	4,65	7,27	10,47	18,62	28,09	41,89	45,06	51,72	47,67	60,33	60,33	74,48	74,48
90	2,07	3,68	5,75	8,28	14,71	22,99	33,10	36,50	41,89	39,39	49,86	49,86	61,55	61,55
100	1,68	2,98	4,65	6,70	11,92	18,62	26,81	30,18	34,62	33,10	41,89	41,89	51,72	51,72
110	1,39	2,46	3,85	5,54	9,85	15,39	22,16	25,34	29,09	28,21	35,70	35,70	44,07	44,07
120	1,16	2,07	3,23	4,65	8,28	12,93	18,62	21,59	24,79	24,32	30,78	30,78	38,00	38,00
130	0,98	1,76	2,75	3,97	7,05	11,02	15,87	18,62	21,38	21,19	26,81	26,81	33,10	33,10
140	0,86	1,52	2,38	3,42	6,08	9,50	13,68	16,22	18,62	18,62	23,57	23,57	28,09	28,09
150	0,74	1,32	2,07	2,98	5,30	8,28	11,92	14,26	16,37	16,49	20,88	20,88	25,77	25,77
160	0,65	1,10	1,82	2,62	4,65	7,27	10,47	12,63	14,50	14,71	18,62	18,62	22,99	22,99
170	0,59	1,03	1,61	2,32	4,12	6,44	9,28	11,26	12,93	13,20	16,71	16,71	20,63	20,63
180	0,52	0,92	1,44	2,07	3,68	5,75	8,28	10,11	11,61	11,92	15,08	15,08	18,52	18,52
190	0,46	0,83	1,29	1,86	3,30	5,16	7,43	9,12	10,47	10,81	13,68	13,68	16,89	16,89
200	0,42	0,74	1,16	1,68	2,98	4,65	6,70	8,28	9,50	9,95	12,46	12,46	15,39	15,39
210	0,38	0,68	1,05	1,52	2,70	4,22	6,08	7,54	8,66	9,01	11,40	11,40	14,08	14,08
220	0,35	0,62	0,96	1,39	2,46	3,85	5,54	7,05	8,28	8,62	10,47	10,47	12,93	12,93
230	0,32	0,56	0,88	1,27	2,25	3,52	5,07	6,34	7,27	7,63	9,65	9,65	11,92	11,92
240	0,29	0,52	0,81	1,16	2,07	3,23	4,65	5,84	6,70	7,05	8,92	8,92	11,02	11,02
250	0,27	0,49	0,74	1,07	1,91	2,98	4,29	5,40	6,20	6,54	8,28	8,28	10,22	10,22
260	0,25	0,44	0,69	0,99	1,76	2,75	3,97	5,01	5,75	6,08	7,69	7,69	9,50	9,50
270	0,23	0,41	0,64	0,92	1,63	2,55	3,68	4,65	5,34	5,67	7,17	7,17	8,86	8,86
280	0,21	0,38	0,59	0,86	1,52	2,38	3,42	4,34	4,98	5,30	6,70	6,70	8,28	8,28
290	0,20	0,35	0,55	0,80	1,42	2,21	3,19	4,06	4,65	4,96	6,28	6,28	7,75	7,75
300	0,19	0,33	0,52	0,74	1,32	2,07	2,98	3,80	4,38	4,65	5,89	5,89	7,27	7,27
310	0,17	0,31	0,48	0,70	1,24	1,94	2,79	3,58	4,09	4,38	5,54	5,54	6,84	6,84
320	0,16	0,29	0,45	0,65	1,16	1,82	2,62	3,35	3,85	4,12	5,22	5,22	6,44	6,44
330	0,15	0,27	0,43	0,62	1,09	1,71	2,46	3,16	3,62	3,89	4,92	4,92	6,08	6,08
340	0,14	0,26	0,40	0,58	1,03	1,61	2,32	2,98	3,42	3,68	4,65	4,65	5,75	5,75
350	0,14	0,24	0,38	0,55	0,97	1,52	2,19	2,82	3,23	3,48	4,41	4,41	5,44	5,44
360	0,13	0,23	0,36	0,52	0,92	1,44	2,07	2,67	3,08	3,30	4,18	4,18	5,16	5,16
370	0,12	0,22	0,34	0,49	0,87	1,38	1,96	2,53	2,90	3,13	3,97	3,97	4,90	4,90
380	0,12	0,21	0,32	0,46	0,83	1,29	1,86	2,40	2,75	2,98	3,77	3,77	4,65	4,65
390	0,11	0,20	0,31	0,44	0,78	1,22	1,76	2,28	2,62	2,84	3,59	3,59	4,43	4,43
400	0,10	0,19	0,29	0,42	0,74	1,16	1,68	2,17	2,49	2,70	3,42	3,42	4,22	4,22
410	0,10	0,18	0,28	0,40	0,71	1,11	1,60	2,07	2,38	2,58	3,26	3,26	4,03	4,03
420	0,10	0,17	0,26	0,38	0,68	1,06	1,52	1,97	2,27	2,46	3,12	3,12	3,85	3,85
430	0,09	0,16	0,25	0,36	0,64	1,01	1,45	1,89	2,16	2,35	2,93	2,93	3,68	3,68
440	0,09	0,15	0,24	0,35	0,62	0,96	1,38	1,80	2,07	2,25	2,85	2,85	3,52	3,52
450	0,09	0,15	0,23	0,33	0,59	0,92	1,32	1,72	1,98	2,16	2,73	2,73	3,37	3,37
460	0,08	0,14	0,22	0,32	0,56	0,88	1,27	1,65	1,90	2,07	2,62	2,62	3,23	3,23
470	0,08	0,13	0,21	0,30	0,54	0,84	1,21	1,58	1,82	1,99	2,51	2,51	3,10	3,10
480	0,07	0,13	0,20	0,29	0,52	0,81	1,16	1,52	1,74	1,91	2,41	2,41	3,00	3,00
490	0,07	0,12	0,19	0,28	0,50	0,78	1,12	1,46	1,68	1,84	2,35	2,35	2,98	2,98
500	0,07	0,12	0,19	0,27	0,48	0,74	1,07	1,46	1,68	1,84	2,35	2,35	2,98	2,98

7.6.2. Verifica all'imbozzamento dei pannelli

7.6.2.1. Per la verifica all'imbozzamento occorre valutare, in assenza di indagini più sofisticate, che risulti:

$$\frac{\sigma_{cr,ld}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}} \geq \beta v$$

dove: σ_1 e τ sono le tensioni normale e tangenziale definite rispettivamente nei punti 7.6.1.4 e 7.6.1.5;

$\sigma_{cr,ld}$ è la tensione di confronto da valutarsi come segue:

$$\sigma_{cr,ld} = \sqrt{3} \tau_{cr} \text{ per } \sigma_1 = 0$$

$$\sigma_{cr,ld} = \sigma_{cr} \text{ per } \tau = 0$$

$$\sigma_{cr,ld} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}} \text{ per } \sigma_1 \neq 0 \text{ e } \tau \neq 0$$

v è il coefficiente definito al punto 7.1;

$$\beta = \frac{\sigma_N + 0,80 \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M} \text{ per } \alpha \leq 1,5; \beta = 1 \text{ per } \alpha \geq 1,5$$

essendo σ_N e σ_M i valori delle tensioni normali dovute allo sforzo normale N ed al momento flettente M rispettivamente;

ψ il coefficiente che definisce la legge di variazione lineare della σ ;

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \sigma_{cr,0}$$

$$\tau_{cr} = k_\tau \sigma_{cr,0}$$

in cui $\sigma_{cr,0} = 186\,200 (t/h)^2$ è la tensione di riferimento, in N/mm^2 , indicata nel prospetto 7-IX;

k è il coefficiente di imbozzamento, i cui valori si ricavano dal prospetto 7-VIII in funzione del coefficiente ψ e del rapporto $\alpha = a/h$. Qualora il rapporto tra il passo degli irrigidimenti e l'altezza totale dell'anima sia maggiore di 1,5, i valori del coefficiente k_τ per tensioni tangenziali desunti dal prospetto 7-VIII devono essere moltiplicati per 0,8.

Nel caso in cui il valore calcolato di σ_{cr} risulti maggiore del limite di proporzionalità del tipo di acciaio impiegato per il pannello, da porsi convenzionalmente pari a $0,8 f_d$, alla tensione ideale di confronto deve essere sostituita una tensione di confronto ridotta $\sigma_{cr,red}$ ad essa corrispondente, secondo il prospetto 7-X, essendo:

$$\sigma_{cr,red} = f_d \frac{20 + \sqrt{25 - 15 (f_y/\sigma_{cr,ld})^2}}{25 + (f_y/\sigma_{cr,ld})^2}$$

Prospetto 7-X — Tensioni di confronto $\sigma_{cr,ld}$ e tensioni di confronto ridotte $\sigma_{cr,red}$ in N/mm²

$\sigma_{cr,ld}$	$\sigma_{cr,red}$		
	Fe 360	Fe 430	510
188	188	188	188
190	190	190	190
200	197	200	200
210	201	210	210
220	205	220	220
230	208	228	230
240	211	233	240
250	213	237	250
260	215	241	260
270	216	244	270
280	218	246	280
284	218	247	284
290	219	248	289
300	220	250	296
320	222	254	305
340	223	256	312
360	225	258	317
380	226	260	322
400	227	262	325
420	228	263	328
440	228	264	331
460	229	265	333
480	229	266	335
500	230	267	337
550	231	268	340
600	231	269	342
650	232	270	344
700	232	271	346
800	233	272	348
1 000	234	273	350
2 000	235	274	354
∞	235	275	355

7.6.2.2. Per le anime delle travi inflesse o pressoinflesse, limitatamente al caso in cui le tensioni normali di compressione siano in valore assoluto minori o uguali alle tensioni normali di trazione, la sicurezza all'imbozzamento è verificata se il rapporto tra altezza h e spessore a dell'anima risulta minore dei valori indicati nel prospetto 7-XI) in funzione di α , σ , e τ .

7.6.2.3. Ove esistono fondati motivi per presumere condizioni di vincolo del pannello d'anima diverse dalla cerniera, i coefficienti di imbozzamento k , indicati al punto 7.6.2.1, si desumono dal prospetto 7-XII, che considera i casi di sollecitazione più consueti nelle applicazioni.

7.6.3. Verifica per carichi concentrati

7.6.3.1. Qualora non siano previsti irrigidimenti longitudinali, la stabilità locale dell'anima sotto l'azione di eventuali carichi applicati fra due irrigidimenti trasversali consecutivi è assicurata qualora sia soddisfatta la seguente limitazione, spesso largamente cautelativa:

$$\frac{F}{t_w \cdot b_{eff}} \leq \frac{230\,000}{v} \left[1 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \right] \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 \quad (\text{in N/mm}^2)$$

dove: F è il carico concentrato applicato;

h_w è l'altezza dell'anima;

a è la distanza tra due irrigidimenti consecutivi;

b_{eff} è la minore tra le dimensioni a ed h ;

t_w è lo spessore dell'anima;

v è il coefficiente definito al punto 7.1.

7.6.3.2. La verifica di cui al punto 7.6.3.1 deve essere completata assicurandosi che localmente, in corrispondenza del generico carico applicato F (vedere figura 7-16), risulti:

$$\frac{F}{t_w (c + 2t)} \leq f_d \begin{cases} 1,15 f_d & \text{stati limite} \\ 1,15 \sigma_{adm} & \text{tensioni ammissibili} \end{cases}$$

dove: c è la lunghezza del tratto sul quale è applicato il carico risultante F ;

t è lo spessore totale attraverso il quale avviene la ripartizione del carico.

7.6.4. Irrigidimenti

La verifica di cui al punto 7.6.2.1 deve essere integrata da un controllo degli irrigidimenti trasversali e longitudinali dell'anima al fine di garantire l'efficienza statica dell'insieme.

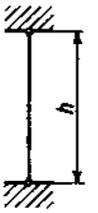
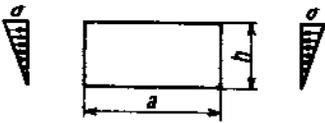
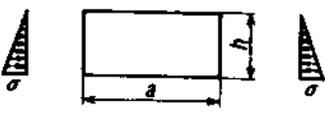
Gli irrigidimenti verticali in corrispondenza degli appoggi e dei carichi concentrati in genere devono essere verificati a carico di punta per l'intera azione localizzata.

Prospetto 7-XI — Valori massimi del rapporto h/t calcolati per pannelli inflessi per gli acciai Fe 360, Fe 430 e Fe 510 in funzione del rapporto $\alpha = a/h$ delle dimensioni del campo, di σ_1 e di τ in N/mm^2

σ_1	$\alpha < \frac{2}{3}$					$\frac{2}{3} \leq \alpha \leq 1$				
	τ									
	0	oltre 0 fino a 52,5	oltre 52,5 fino a 105	oltre 105 fino a 157	oltre 157 fino a 210	0	oltre 0 fino a 52,5	oltre 52,5 fino a 105	oltre 105 fino a 157	oltre 157 fino a 210
0	—	260	190	150	130	—	200	140	120	100
oltre 0 fino a 90	250	220	180	150	—	250	190	140	120	—
oltre 90 fino a 120	180	170	150	140	—	180	160	130	110	—
oltre 120 fino a 240	150	150	140	—	—	150	140	120	—	—
oltre 240 fino a 300	140	130	130	—	—	140	130	120	—	—
oltre 300 fino a 360	120	—	—	—	—	120	—	—	—	—

σ_1	$1 < \alpha \leq 1,5$					$\alpha > 1,5$				
	τ									
	0	oltre 0 fino a 52,5	oltre 52,5 fino a 105	oltre 105 fino a 157	oltre 157 fino a 210	0	oltre 0 fino a 52,5	oltre 52,5 fino a 105	oltre 105 fino a 157	oltre 157 fino a 210
0	—	180	130	100	90	—	140	100	80	70
oltre 0 fino a 90	250	170	120	100	—	250	130	100	80	—
oltre 90 fino a 120	180	150	120	100	—	180	130	100	80	—
oltre 120 fino a 240	150	140	110	—	—	150	120	90	—	—
oltre 240 fino a 300	140	130	110	—	—	140	120	90	—	—
oltre 300 fino a 360	120	—	—	—	—	120	—	—	—	—

Prospetto 7-XII — Coefficienti di Imbozzamento k

Condizione di vincolo					
Condizione di carico	$\alpha \geq 1,0$	$\alpha \geq 0,8$	$\alpha \geq 0,7$	$\alpha \geq 1,6$	$\alpha \geq 1,5$
	4,00	5,40	6,97	1,28	0,43
	7,81	12,16	13,56	6,26	1,71
	7,81	9,89	13,56	1,64	0,57

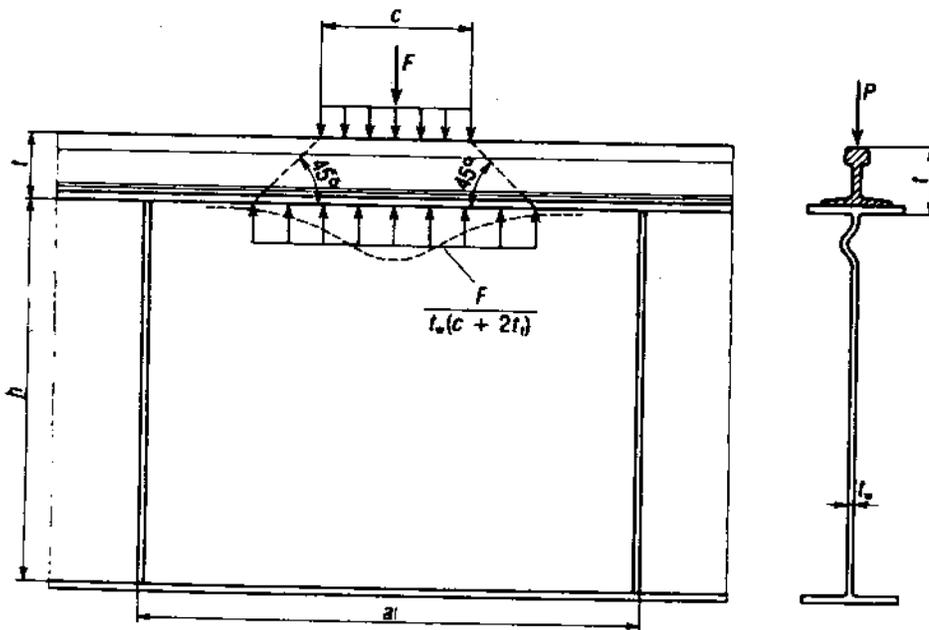


Fig. 7-16

8. Verifiche relative alla fatica

8.1. Generalità

Per procedere alle verifiche di fatica è necessaria la conoscenza dell'oscillogramma delle tensioni, e conseguentemente dello spettro di carico che genera queste tensioni; occorre cioè che sia nota una precisa correlazione fra entità dei carichi e numero di volte che questi cimentano la struttura.

Pertanto, se non esistono in proposito ipotesi di carico codificate, occorre che il progettista assuma informazioni per definire lo spettro di carico più adatto al suo caso, anche riferendosi a situazioni analoghe note.

8.2. Definizioni

8.2.1. Cicli di tensione — Δ di tensione

Con riferimento al diagramma tempo-oscillazioni della tensione in un punto della struttura, nel caso si tratti di oscillazioni di ampiezza praticamente costante, viene denominato ciclo di tensione il tratto che ha inizio in corrispondenza di una tensione minima ed ha fine in corrispondenza della tensione minima successiva.

Viene denominato Δ di tensione la differenza algebrica fra la tensione massima e quella minima del ciclo stesso. Esso verrà designato con $\Delta\sigma$ o $\Delta\tau$ secondo che si tratti di Δ relativo alle tensioni normali o a tensioni tangenziali.

Nel caso di oscillazioni di ampiezza variabile i cicli ed i Δ di tensione sono definiti dalla metodologia impiegata per il loro computo; di norma si adotta la regola del serbatoio, secondo quanto indicato in 8.4.2.

8.2.2. Spettro dei Δ di tensione

Lo spettro dei Δ di tensione è il diagramma che mette in relazione i vari Δ di tensione $\Delta\sigma$, che si verificano in un punto di una struttura con il numero di cicli ad essi relativo. Esso è esemplificato nel diagramma 8.1 e la sua ascissa massima rappresenta il numero totale dei cicli cui la struttura è sottoposta nel punto che si considera.

8.3. Resistenza a fatica dei particolari strutturali

8.3.1. Classifica dei particolari strutturali

I particolari strutturali di più comune impiego sono indicati nei prospetti 8-VI e 8-VII unitamente al loro Δ di tensione ammissibile $\Delta\sigma_A$ che è il parametro che li caratterizza e che è chiamato «categoria» del particolare; esso corrisponde a sollecitazioni di ampiezza costante a 2×10^6 cicli.

I particolari in questione sono divisi nei seguenti quattro gruppi principali:

Gruppo I — Particolari non saldati sollecitati a trazione-compressione.

Gruppo II — Particolari saldati sollecitati a trazione-compressione.

Gruppo III — Particolari sollecitati a sforzi tangenziali.

Gruppo IV — Particolari di strutture tubolari.

Il Δ ammissibile a fatica che ad essi si riferisce è il Δ nominale relativo al particolare, e tiene già conto della riduzione di resistenza dovuta alle sovratensioni locali che gli sono proprie. Se però il Δ di tensioni entro il quale il particolare è compreso è esaltato per effetto di riduzione locale di sezione della struttura o di raccordi insufficientemente ampi, il Δ di calcolo con cui il Δ ammissibile va confrontato deve essere debitamente aumentato mediante opportuni coefficienti correttivi.

Tutte le giunzioni testa a testa o a completa penetrazione indicate nei prospetti, dovranno avere saldature di prima classe di cui al punto 2.5.3.

8.3.2. Linee SN dei particolari strutturali

Ad ogni particolare strutturale corrisponde una linea SN che, per Δ di ampiezza costante, indica il variare del numero di cicli massimi ammissibili al variare dell'entità del Δ .

Il fascio di linee SN relativo a particolari sollecitati a trazione-compressione è rappresentato nel diagramma 8-II; la linea relativa a sollecitazioni tangenziali è rappresentata nel diagramma 8-III.

8.3.2.1. Particolari sollecitati a trazione-compressione

Le linee SN corrispondono all'equazione $\Delta\sigma^m \cdot n = \text{cost}$, nella quale l'esponente m assume valori diversi in relazione al tipo di sollecitazione e al numero di cicli. Nel seguito sono diagrammate, in scala doppiamente logaritmica, le funzioni SN per i vari particolari costruttivi.

Le linee sono caratterizzate dai seguenti elementi fondamentali:

- un fascio di rette parallele corrispondenti all'esponente $m = 3$ valevole per $10^4 \geq n \geq 5 \cdot 10^6$;
- un punto angolare D in corrispondenza di: $N_D = 5 \cdot 10^6$ per linee aventi Δ ammissibile maggiore di 56 N/mm^2 ; $N_D = 10^7$ per le linee aventi Δ ammissibile minore o uguale a 56 N/mm^2 ; ad esso corrisponde un delta $\Delta\sigma_D$ che si ammette sia il limite di fatica ad ampiezza costante (limite, cioè, al di sotto del quale, per Δ di ampiezza costante, la vita è indefinita);

- c) un secondo fascio di rette corrispondenti all'esponente $m = 5$ per n compreso fra 10^6 e 10^8 ;
- d) un secondo punto angolare F ad 1×10^8 cui corrisponde un Δ al disotto del quale ogni Δ di fatica può essere trascurato.

Su ogni linea è indicato un ulteriore punto A cui corrisponde il $\Delta\sigma_A$ definito in 8.3.1.

Le linee con $m = 3$ sono derivate dall'analisi statistica dei valori sperimentali relativi ai vari particolari strutturali e rappresentano i valori medi diminuiti di due deviazioni standard.

Le linee indicate sono valide per acciai da costruzione aventi limiti di snervamento $f_y \leq 690 \text{ N/mm}^2$ e soddisfacenti alle norme:

CNR-UNI 10011 Costruzioni di acciaio — Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione;

CNR-UNI 10022 Costruzioni di profilati di acciaio formati a freddo;

CNR-UNI 10029 Costruzioni di acciaio ad elevata resistenza.

8.3.2.2. Particolari sollecitati a sforzo tangenziale

Nel diagramma 8-III è indicata la linea SN relativa al caso in questione, essa è caratterizzata da un esponente $m = 5$ valevole per $10^4 \geq n \geq 10^8$ e da un punto angolare F ad 1×10^8 cicli cui corrisponde un $\Delta\tau_F$, al disotto del quale ogni Δ di fatica può essere trascurato.

La linea è valida per la stessa gamma di acciai indicata al punto precedente.

8.3.3. Influenza dello spessore del materiale

La resistenza a fatica dei vari particolari strutturali indicati al punto precedente si riferisce a spessori $t \leq 25 \text{ mm}$; per spessori maggiori essa dovrà essere ridotta ed il suo valore calcolato con la formula:

$$\Delta\sigma_{A,t} = \Delta\sigma_A \sqrt[4]{\frac{25}{t}}$$

dove: $\Delta\sigma_A$ è il Δ tabulare a 2×10^6 cicli;

t è lo spessore (maggiore di 25 mm) della parte più sollecitata del particolare strutturale;

$\Delta\sigma_{A,t}$ è il Δ corretto da impiegare per lo spessore t .

8.4. Verifiche a fatica

8.4.1. Generalità

Nessuna verifica a fatica è richiesta:

- se tutti i Δ di trazione-compressione sono minori di 26 N/mm^2 o comunque a $\Delta\sigma_D$;
- se tutti i Δ di taglio sono minori di 35 N/mm^2 ;
- se il numero totale dei cicli è minore di 10^4 .

Negli altri casi la verifica a fatica dovrà essere effettuata considerandola relativa a uno stato limite di servizio.

Tale verifica verrà effettuata impiegando i Δ di calcolo $\Delta\sigma_i$ e i delta resistenziali ammissibili $\Delta\sigma_A$ e $\Delta\sigma_D$ con le seguenti precauzioni:

- a) se la norma specifica relativa ai carichi da considerare nel calcolo non prevede l'uso di coefficiente di maggiorazione γ_s , i Δ di calcolo verranno introdotti nelle verifiche ponendo $\gamma_s = 1$;
- b) si farà diretto riferimento, nelle verifiche, ai Δ resistenziali tabulati e diagrammati (che hanno sicurezza relativa a due deviazioni standard) quando è garantito che la rottura del particolare costruttivo comporta solo un danneggiamento locale della struttura e, per la tipologia strutturale, sono possibili ridistribuzioni degli sforzi;
- c) qualora non sia possibile la ridistribuzione degli sforzi e la rottura del particolare costruttivo comporti il collasso globale della struttura, bisogna fare riferimento, nelle verifiche, a Δ resistenziali più cautelativi (che corrispondono al valore medio sperimentale diminuito di 3,5 deviazioni standard) e ciò si ottiene riducendo i delta resistenziali mediante un coefficiente $\gamma_m = 1,3$;
- d) per situazioni intermedie, che devono essere vagliate caso per caso dal progettista, nel prospetto seguente sono riportati i valori assunti dal coefficiente γ_m di riduzione dei Δ resistenziali in relazione al numero di deviazioni standard adottato.

Numero di deviazioni				
Standard adottato	2	2,5	3	3,5
Coefficiente γ_m	1,0	1,1	1,2	1,3

La verifica a fatica potrà essere effettuata con il metodo della Regola di Miner o con quello del Δ equivalente di cui ai seguenti punti 8.4.3 e 8.4.4.

8.4.2. Determinazione dello spettro dei Δ di tensione

La determinazione dello spettro di tensione può essere eseguita con il metodo cosiddetto del "serbatoio".

Il diagramma dell'andamento nel tempo delle tensioni relative ad un elemento viene considerato come profilo di fondo di un serbatoio pieno di acqua (diagramma 8-IV); i parametri estremi son costituiti dal tratto che converge verso il punto di massimo assoluto del diagramma (punto A) e da un tratto corrispondente, reale o fittizio, posto al termine del diagramma stesso.

La determinazione dei vari cicli in cui si scompone il diagramma ed i Δ relativi si effettua con le seguenti modalità.

Si immagina di svuotare il serbatoio scaricando dal punto più basso D, al vuoto di acqua che si forma corrisponde il 1° ciclo ed il Δ ad esso relativo è la discesa di livello DD.

Si formano corrispondentemente dei bacini secondari semplici o multipli; i bacini multipli, come quello che ha i vertici in F ed H, vengono svuotati a partire dal loro punto più basso (in questo caso F) ed al vuoto di acqua da esso lasciato si fa corrispondere il 2° ciclo con campo FF'.

I bacini semplici, come quelli che hanno i vertici in B ed H, vengono svuotati e danno luogo ciascuno ad un ciclo avente come Δ l'altezza del bacino stesso (in questo caso BB', HH').

8.4.3. Metodo della Regola di Miner

Deve essere verificata la condizione:

$$\sum n_i/n_i^* \leq 1$$

dove: n_i è il numero di cicli effettivi relativi al $\Delta\sigma_i$ o al $\Delta\tau_i$;

n_i^* è il numero di cicli che sulla linea SN di riferimento corrisponde al $\Delta\sigma_i$ o al $\Delta\tau_i$.

Il numero di cicli N è dato da:

$$n_i^* = \frac{1}{(\gamma_s \cdot \gamma_m \cdot \Delta\sigma_i)^3} \cdot \Delta\sigma_A^3 \cdot 2 \cdot 10^6 \quad \text{per } \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$$

$$n_i^* = \frac{1}{(\gamma_s \cdot \gamma_m \cdot \Delta\sigma_i)^5} \cdot \Delta\sigma_D^5 \cdot 5 \cdot 10^6 \quad \text{per } \Delta\sigma_i < \Delta\sigma_D \quad \text{e} \quad \Delta\sigma_A > 56 \text{ N/mm}^2$$

$$n_i^* = \frac{1}{(\gamma_s \cdot \gamma_m \cdot \Delta\sigma_i)^5} \cdot \Delta\sigma_D^5 \cdot 10^7 \quad \text{per } \Delta\sigma_i < \Delta\sigma_D \quad \text{e} \quad \Delta\sigma_A \leq 56 \text{ N/mm}^2$$

$$n_i^* = \frac{1}{(\gamma_s \cdot \gamma_m \cdot \Delta\tau_i)^5} \cdot \Delta\tau_A^5 \cdot 2 \cdot 10^6 \quad \text{per sollecitazioni tangenziali essendo } \Delta\sigma_A \text{ o } \Delta\tau_A \text{ la categoria della linea SN e } \Delta\sigma_D \text{ il limite di fatica ad ampiezza costante della linea SN.}$$

8.4.4. Metodo del Δ equivalente

Viene denominato campo equivalente di uno spettro ed indicato con $\Delta\sigma_{ef}$ o con $\Delta\tau_{ef}$ il campo di ampiezza costante che operando per un numero di cicli pari al numero totale n di cicli dello spettro dà luogo al medesimo danneggiamento a fatica dello spettro stesso.

Esso è dato dalle espressioni seguenti:

$$\Delta\sigma_{ef} = \sqrt[3]{\frac{\sum \Delta\sigma_i^3 \cdot n_i}{n}} \quad \text{nel caso di spettri relativi a tensioni di trazione-compressione;}$$

$$\Delta\tau_{ef} = \sqrt[5]{\frac{\sum \Delta\tau_i^5 \cdot n_i}{n}} \quad \text{nel caso di spettri relativi a tensioni tangenziali.}$$

La verifica a fatica si effettua confrontando il Δ equivalente con il Δ resistente $\Delta\sigma_r$ o $\Delta\tau_r$ ricavato dai diagrammi 8-II o 8-III in corrispondenza dello stesso numero di cicli n ; si tratta più precisamente di verificare che sia:

$$\gamma_s \cdot \Delta\sigma_{ef} \leq \frac{\Delta\sigma_r}{\gamma_m} \quad \text{o} \quad \gamma_s \cdot \Delta\tau_{ef} \leq \frac{\Delta\tau_r}{\gamma_m}$$

8.5. Sollecitazioni pluriassiali

Quando lo stato di sollecitazione nei gradini di uno spettro è caratterizzato da cicli simultanei di tensioni normali e tangenziali, si effettuerà per ciascun gradino il calcolo delle tensioni principali in corrispondenza delle tensioni minime e massime, se ne ricaverà il Δ relativo, e la verifica a fatica verrà fatta sullo spettro dei Δ delle tensioni principali così ottenuto.

Le tensioni tangenziali possono essere trascurate se sono numericamente inferiori al 15% delle coesistenti tensioni normali. Quando i cicli di tensione normali e tangenziali non sono simultanei, i danneggiamenti $\sum n_i/n_i^*$ provocati dagli spettri ad essi relativi verranno calcolati separatamente e la somma dei risultati così ottenuti dovrà essere minore od uguale all'unità.

8.6. Strutture esenti da tensioni interne

Per strutture non saldate, o saldate e successivamente trattate termicamente in modo da assicurare una reale eliminazione delle tensioni di ritiro della saldatura, quando il Δ di calcolo ha una componente di trazione ed una di compressione, potrà essere impiegato nel calcolo un Δ fittizio di ridotta entità costituito dalla componente di trazione aumentata del 60% di quella in compressione.

In alternativa i Δ resistenziali potranno essere aumentati mediante i coefficienti K forniti dal diagramma 8-V in funzione del rapporto $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$.

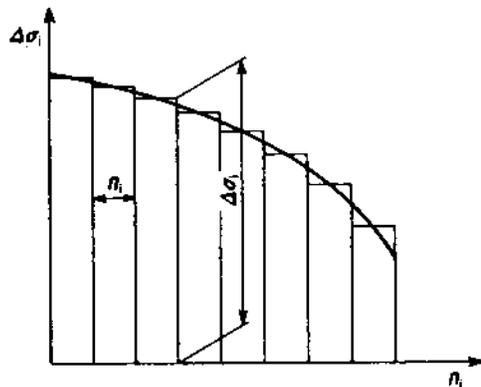


Diagramma 8-I

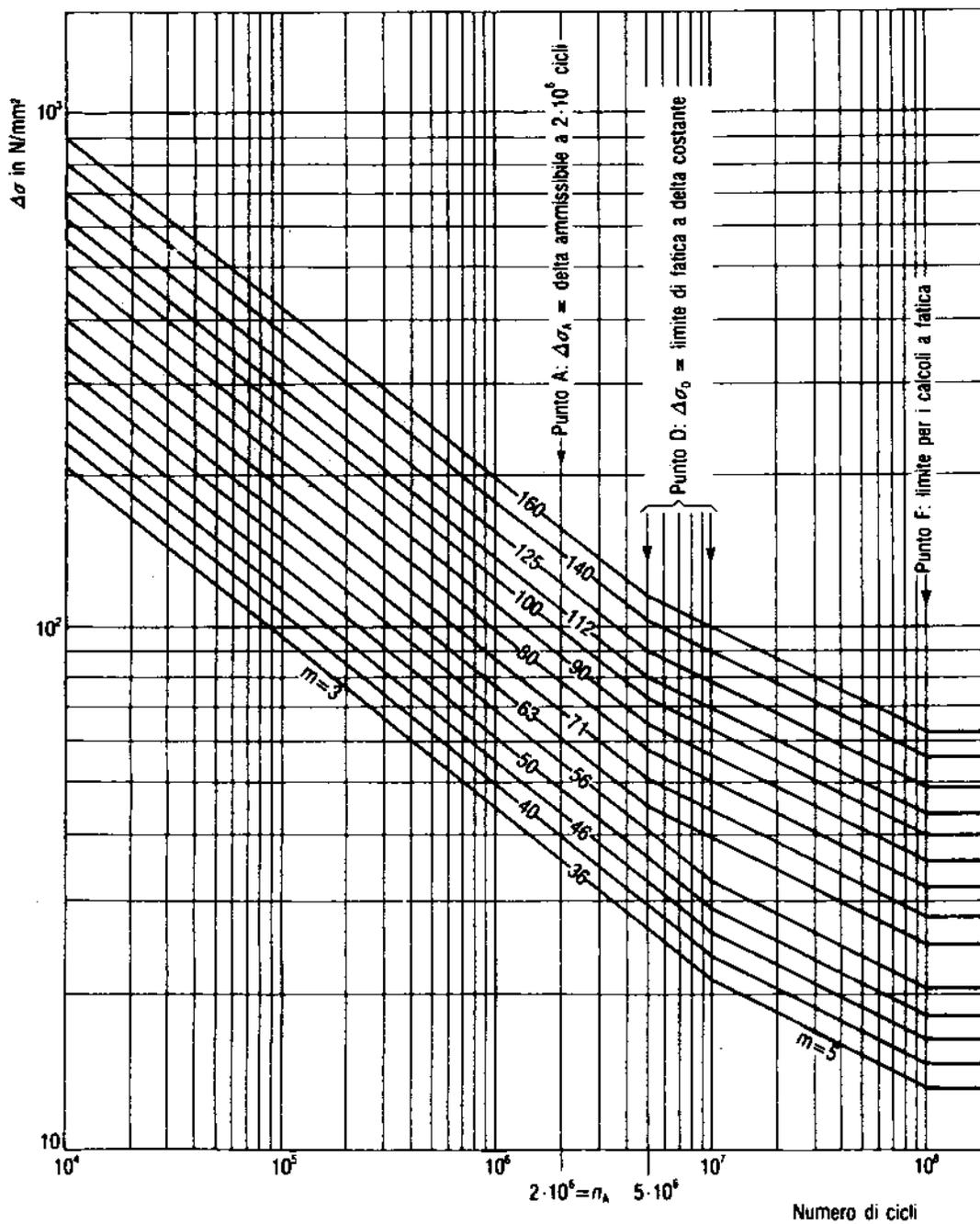


Diagramma 8-II — Linee SN dei particolari strutturali sollecitati a trazione o compressione

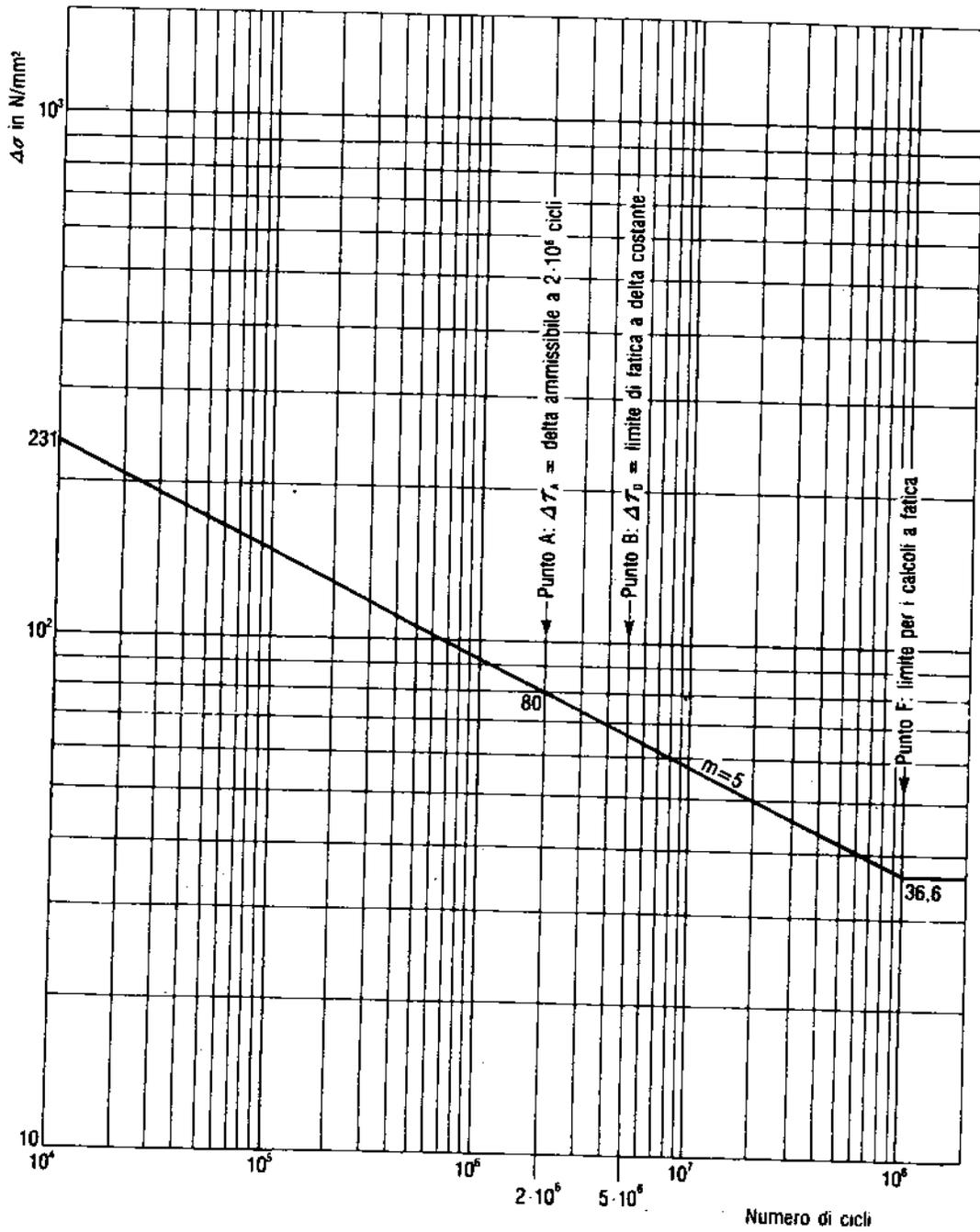


Diagramma 8-III -- Linee SN dei particolari strutturali sollecitati a sforzi tangenziali

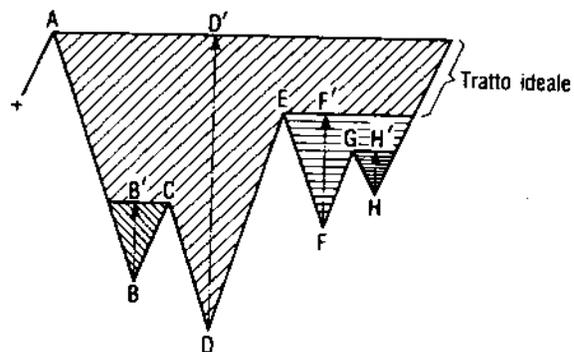


Diagramma 8-IV

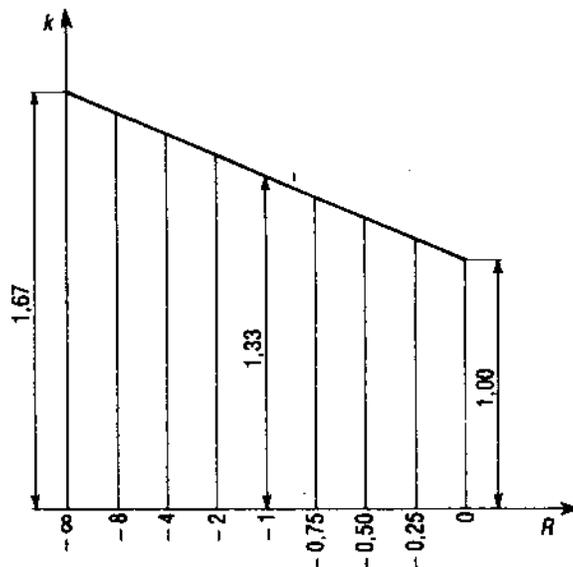


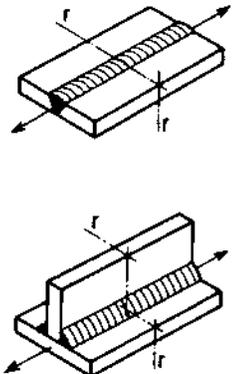
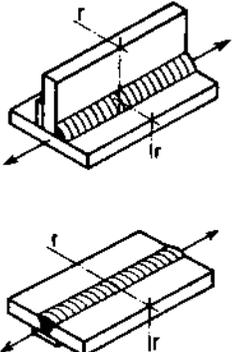
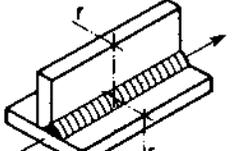
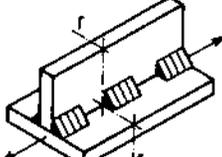
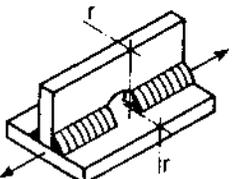
Diagramma 8-V

Prospetto 8-VI

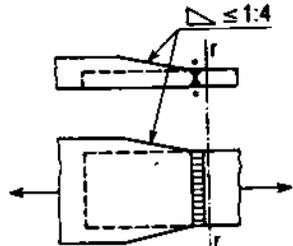
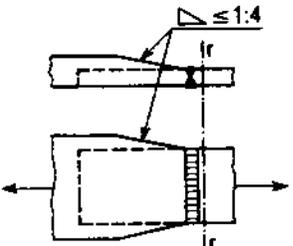
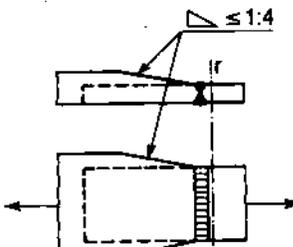
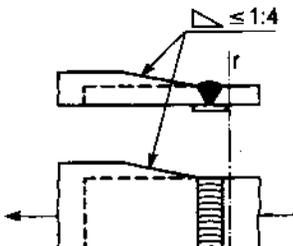
$\Delta\sigma_A^*$ N/mm ²	Particolare strutturale (rr = sezione di rottura)	Indicazioni
Gruppo I — Particolari non saldati		
160		Lamiere e profilati greggi privi di difetti e senza lavorazioni successive.
140		Giunti imbullonati con bulloni ad attrito calcolati nella sezione lorda; con bulloni calibrati nella sezione netta. Giunti chiodati calcolati nella sezione netta. Lamiere e profilati tagliati all'ossitaglio e successivamente lavorati all'utensile o alla mola.
125		Lamiere e profilati tagliati all'ossitaglio automatico con taglio regolare e privo di difetti.

* $\Delta\sigma_A$ è il Δ ammissibile a 2×10^6 cicli e rappresenta ad un tempo la categoria del particolare.

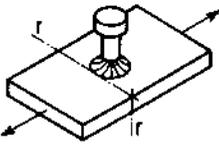
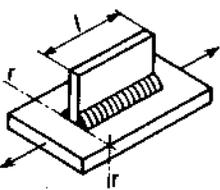
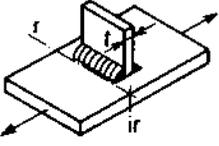
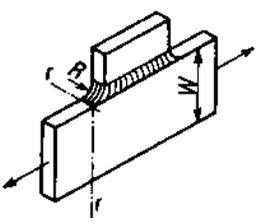
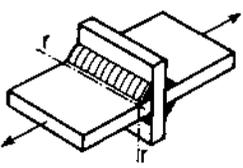
Prospetto 8-VII

$\Delta\sigma_A^*$ N/mm ²	Particolare strutturale (rr = sezione di rottura)	Indicazioni
Gruppo II.1 — Particolari saldati — Giunti longitudinali		
140		Saldatura automatica a piena penetrazione od a cordoni d'angolo esente da discontinuità longitudinali in superficie dovute ad arresti e riprese.
112	id.	Saldatura automatica di normale fattura.
100	id.	Saldatura manuale.
100		Saldatura su piatto di sostegno.
100		Saldatura a penetrazione parziale fatta da una parte sola. È richiesta un'ottima aderenza del lembo saldato ed una spalla adeguata atta ad evitare eccessi o irregolarità di penetrazione.
80		Saldatura d'angolo intermittente.
71		Saldatura d'angolo interrotta da uno scarico.

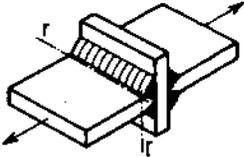
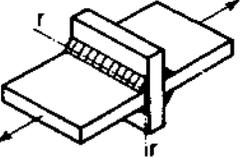
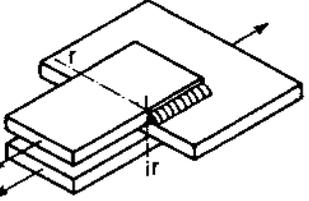
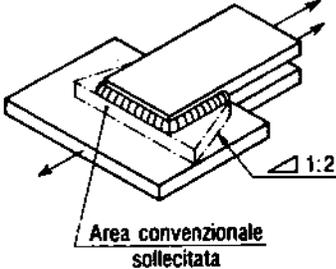
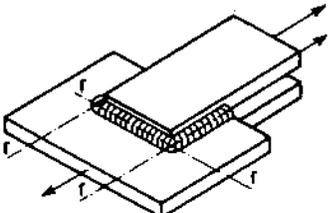
Prospetto 8-VII (segue)

$\Delta\sigma_A^*$ N/mm ²	Particolare strutturale (rr = sezione di rottura)	Indicazioni
<p>Gruppo II.2 — Particolari saldati — Giunti testa a testa trasversali Condizioni generali: Estremità delle saldature effettuate su prolunghe successivamente eliminate con cura.</p>		
125		<p>Sovrappessore accuratamente asportato e 100% controllo NDT.</p>
90		<p>Saldatura fatta in piano. Altezza del sovrappessore non maggiore del 10% della sua larghezza. Dolce transizione fra sovrappessore e lamiera.</p>
80		<p>Saldatura fatta in piano od in posizione con sovrappessore di altezza maggiore del 10% della sua larghezza.</p>
71		<p>Saldatura fatta su piatto di sostegno. Se vi è saldatura sul lato esterno del piatto di sostegno, questa deve essere arrestata 10 mm prima della estremità del giunto. Saldatura di 2ª classe.</p>

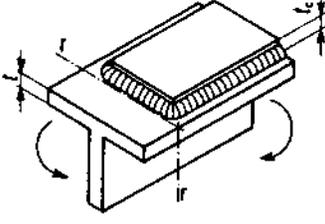
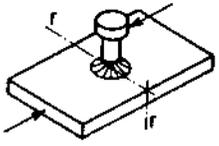
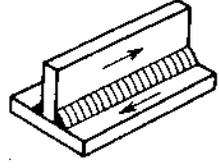
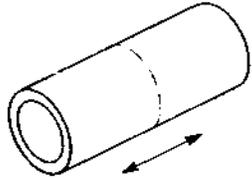
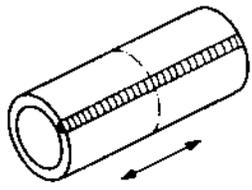
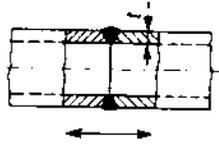
Prospetto 8-VII (segue)

$\Delta\sigma_A$ N/mm ²	Particolare strutturale (rr = sezione di rottura)	Indicazioni	
Gruppo II.3 — Particolari saldati — Attacchi vari			
80		Piole per collaborazione con calcestruzzo saldati su elementi sollecitati (rottura in lamiera).	
80		$l \leq 50 \text{ mm}$	Estremità di irrigiditori longitudinali.
71		$50 < l \leq 100 \text{ mm}$	
56		$100 < l$	
80		$t \leq 12 \text{ mm}$	Irrigiditori trasversali.
71		$t > 12 \text{ mm}$	
90		$R/W \leq 1/3$	Espansioni laterali saldate di costa.
71		$1/3 < R/W \leq 1/6$	
50		$1/6 < R/W$	
Gruppo II.4 — Particolari saldati — Giunti in croce			
71		Giunto in croce a piena penetrazione. Lamiera intermedia esente da difetti lamellari. Disallineamento $\leq 15\%$ dello spessore della lamiera intermedia. Saldatura di 2ª classe.	

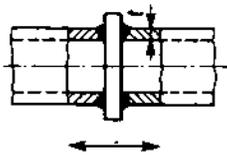
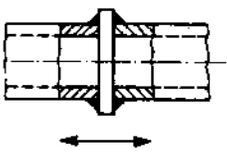
Prospetto 6-VII (segue)

$\Delta\sigma_A^*$ N/mm ²	Particolare strutturale (r = sezione di rottura)	Indicazioni
Gruppo II.4 — Particolari saldati — Giunti in croce (continuazione)		
63		<p>Giunto in croce a cordoni d'angolo con gola abbastanza grande per rompersi fuori saldatura. Per lamiera intermedia e disallineamento vedere dettaglio strutturale precedente.</p>
40		<p>Giunto in croce a cordoni d'angolo con gola abbastanza piccola per rompersi in essa. Per lamiera intermedia e disallineamento vedere dettaglio strutturale precedente.</p>
Gruppo II.5 — Particolari saldati — Giunti a sovrapposizione		
50		<p>Estremità di elementi saldate a sovrapposizione. Saldatura abbastanza forte perché la rottura avvenga negli elementi a sovrapposizione.</p>
63		<p>Estremità di elementi saldate a sovrapposizione. Elementi e saldatura abbastanza forti perché la rottura avvenga nella lamiera intermedia.</p>
45		<p>Estremità di elementi saldate a sovrapposizione. Saldatura abbastanza debole perché la rottura avvenga in essa.</p>

Prospetto 6-VII (segue)

$\Delta\sigma_A$ N/mm ²	Particolare strutturale (rr = sezione di rottura)	Indicazioni	
Gruppo II.5 — Particolari saldati — Giunti a sovrapposizione (continuazione)			
56		$t \text{ o } l_c \leq 20 \text{ mm}$	Estremità di coprigiunto su flangia di travi.
40		$t \text{ o } l_c > 20 \text{ mm}$	
Gruppo III — Particolari strutturali sollecitati al taglio			
80		Pioli per collaborazione col calcestruzzo. Sezione di rottura alla base del piolo.	
80		Giunzioni a T saldate. Sezione di rottura: sezione longitudinale di gola dei cordoni di saldatura oppure sezione longitudinale dell'anima.	
Gruppo IV — Particolari strutture tubolari			
160		Tubo greggio di laminazione esente da difetti.	
140		Tubo saldato longitudinalmente esente sia all'interno che all'esterno da discontinuità longitudinali in superficie dovute ad arresti e riprese. Saldatura controllata con 100% NDT e trovata esente da difetti.	
71 (80)		Sezione tubo circolare	Saldatura testa a testa trasversale di tubi. Penetrazione al vertice accertata con 100% NDT.
56 (63)		Sezione tubo rettangolare	Per $t > 8 \text{ mm}$ valgono i valori in paren- tesi di $\Delta\sigma_A$.

Prospetto 8-VII (segue)

$\Delta\sigma_A$ N/mm ²	Particolare strutturale (rr = sezione di rottura)	Indicazioni	
Gruppo IV — Particolari strutture tubolari (continuazione)			
50 (56)		Sezione tubo circolare	Saldatura a piena penetrazione di tubi saldati di testa su piastra intermedia. Penetrazione accertata con 100% NDT. Piastra intermedia esente da difetti lamellari. Per $t > 8$ mm valgono i valori in parentesi di $\Delta\sigma_A$.
45 (50)		Sezione tubo rettangolare	
40		Sezione tubo circolare	Saldatura d'angolo di tubi saldati di testa su piastra intermedia. Piastra intermedia esente da difetti lamellari.
36		Sezione tubo rettangolare	

9. Regole pratiche di progettazione ed esecuzione

9.1. Composizione degli elementi strutturali

9.1.1. Spessori limite

È vietato l'uso di profilati con spessore $t < 4$ mm. Una deroga a tale norma, fino ad uno spessore $t = 3$ mm, è consentita per opere sicuramente protette contro la corrosione, quali per esempio tubi chiusi alle estremità e profilati zincati, od opere non esposte agli agenti atmosferici.

Le limitazioni di cui sopra non riguardano ovviamente elementi di lamiera grecata e profili sagomati a freddo per i quali occorre fare riferimento ad altre prescrizioni costruttive e di calcolo.

9.1.2. Impiego dei ferri piatti

L'impiego di piatti o larghi piatti, in luogo di lamiere, per le anime e relativi coprigiunti delle travi a parete piena, e in genere per gli elementi in lastra soggetti a stato di tensione biassiali appartenenti a membrature aventi funzione statica non secondaria, è ammesso solo se i requisiti di accettazione prescritti per il materiale (in particolare quelli relativi alle prove di piegamento a freddo e resilienza) siano verificati anche nella direzione normale a quella di laminazione.

9.1.3. Variazioni di sezione

9.1.3.1. Le eventuali variazioni di sezione di una stessa membratura devono essere il più possibile gradualì, soprattutto in presenza di fenomeni di fatica. Di regola sono da evitarsi le pieghe brusche; nelle membrature secondarie possono tollerarsi quelle di forma allungata, con imbottitura a cuneo (vedere figura 9-1). In ogni caso si deve tener conto degli effetti locali dell'eccentricità.

9.1.3.2. Nelle lamiere o piatti appartenenti a membrature principali e nelle piastre di attacco non sono ammessi angoli vivi rientrati. Detti angoli devono essere arrotondati con raccordi i cui raggi devono essere indicati nei disegni di progetto (vedere figura 9-2).

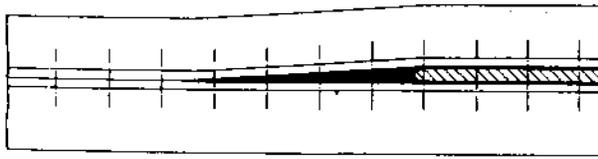


Fig. 9-1

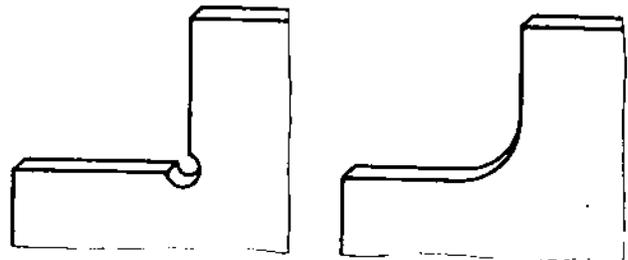


Fig. 9-2

9.2. Unioni saldate

- 9.2.1. Il progetto deve essere studiato col criterio di limitare per quanto possibile le saldature in opera. La posizione dei giunti deve essere tale da agevolare l'esecuzione, da evitare la concentrazione di saldature in zone ristrette e da permettere che i giunti di testa siano suscettibili (in corso d'opera o ad opera finita) di controlli non distruttivi.
- 9.2.2. A tutti gli elementi strutturali saldati devono essere applicate le prescrizioni di cui al punto 9.1.3. Nelle saldature di testa di elementi di spessore diverso, sollecitati normalmente al giunto, l'elemento di spessore maggiore deve essere rastremato come indicato in figura 9-3. I valori maggiori di L sono da adottarsi in presenza di sollecitazioni a fatica.

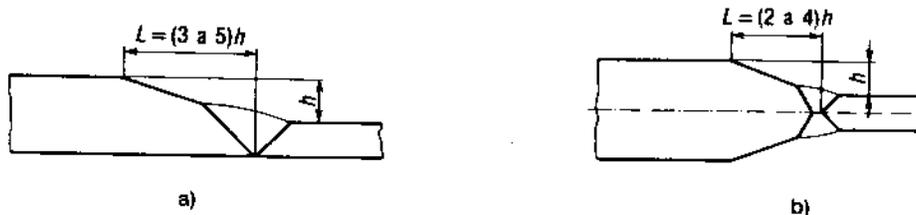


Fig. 9-3

- 9.2.3. Per gli attacchi d'estremità di aste sollecitate da forza normale, realizzati soltanto con cordoni d'angolo paralleli all'asse di sollecitazione, la lunghezza minima dei cordoni stessi deve essere pari a 15 volte lo spessore.
- 9.2.4. L'impiego di saldature entro fori o intagli deve essere considerato eccezionale; qualora detti fori o intagli devono essere usati, il loro contorno non deve presentare punti angolosi, nè raggi di curvatura minori di metà della dimensione minima dell'intaglio.
- 9.2.5. Le preparazioni dei lembi da saldare devono essere conformi alle raccomandazioni contenute nella UNI 11001.
- 9.2.6. Devono essere previsti di I classe (punto 2.5.3) i giunti a testa di maggior importanza appartenenti a membrature tese esposte a temperature minori di 0 °C.
- 9.2.7. Nelle strutture saldate devono essere evitate, per quanto possibile, le discontinuità locali; tale regola deve essere sempre osservata in presenza di sollecitazioni a fatica o di bassa temperatura.
- 9.2.8. La saldatura a tratti non è ammessa che per cordoni d'angolo e deve essere di regola evitata nelle membrature sollecitate a fatica.
- 9.2.9. I cordoni d'angolo che uniscono due laminati di spessori t_1 e t_2 ($t_1 \geq t_2$) devono avere il lato b (vedere figura 9-4) soddisfacente le condizioni di calcolo e, di regola, la limitazione seguente:

$$\frac{t_2}{2} \leq b \leq t_2$$

Per spessori $t_1 \geq 20$ mm, conviene di regola che sia $b \geq b_1$, purché non in contrasto con la precedente limitazione; i valori di b_1 sono riportati nel prospetto 9-1.

Prospetto 9-1 — Altezze limite b_1 del cordone

t_1 mm	b_1 mm
20	6
30	8
50	11
70	13
100	14

Nei giunti a croce o a T a completa penetrazione deve essere previsto un graduale allargamento della saldatura (vedere figura 9-5), la cui larghezza deve essere almeno pari a 1,3 volte lo spessore t , in corrispondenza della lamiera su cui viene ad intestarsi.

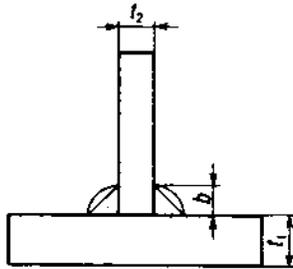


Fig. 9-4

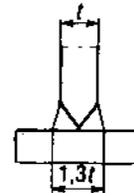


Fig. 9-5

9.3. Travi a parete piena e reticolari

9.3.1. Travi chiodate

9.3.1.1. Nel proporzionamento delle chiodature che uniscono all'anima i cantonali del corrente carico, si deve tenere conto del contributo di sollecitazione di eventuali carichi direttamente applicati al corrente stesso. Se tali carichi sono concentrati ed il corrente è sprovvisto di piattabande, si deve provvedere a diffonderli con piastra di ripartizione.

9.3.1.2. Le interruzioni degli elementi costituenti le travi devono essere convenientemente distanziate e singolarmente provviste di coprigiunto. La coincidenza trasversale di più interruzioni non è ammessa neanche per coprigiunto adeguato alla sezione interrotta, eccettuato il caso di giunti di montaggio. I coprigiunti destinati a ricostituire l'intera sezione dell'anima devono estendersi all'intera altezza di essa.

9.3.1.3. Nelle travi con pacchetti di piattabande distribuite con il criterio di ottenere l'uniforme resistenza a flessione, ciascuna piattabanda deve essere attaccata al pacchetto esternamente alla zona dove ne è necessario il contributo; il prolungamento di ogni piattabanda oltre la sezione in cui il momento flettente massimo uguaglia quello resistente, deve essere sufficiente per consentire la disposizione di almeno due file di chiodi, la prima delle quali può essere disposta in corrispondenza della sezione suddetta.

9.3.2. Travi saldate

9.3.2.1. L'uniforme resistenza alla flessione si ottiene preferibilmente facendo variare lo spessore o la larghezza, anziché il numero delle piattabande. Quando le piattabande sono più di una per ciascun corrente, si possono unire tra di loro con cordoni d'angolo laterali lungo i bordi, purché abbiano larghezza non maggiore di 30 volte lo spessore.

9.3.2.2. L'interruzione di ciascuna piattabanda deve avvenire esternamente alla zona dove ne è necessario il contributo, prolungandosi per un tratto pari almeno alla metà della propria larghezza. In corrispondenza della sezione terminale di ogni singolo tronco di piattabanda si deve eseguire un cordone d'angolo di chiusura che abbia altezza di gola pari almeno alla metà dello spessore della piattabanda stessa e sezione dissimmetrica col lato più lungo nella direzione della piattabanda. Inoltre, in presenza di fenomeni di fatica, la piattabanda deve essere raccordata al cordone con opportuna rastremazione.

9.3.2.3. Sequenza della saldatura

Le saldature delle piattabande devono essere sempre effettuate prima della saldatura dell'anima o contemporaneamente ad essa con sequenza opportuna delle passate.

Le saldature di collegamento fra anima e piattabanda devono essere completate solo dopo l'effettuazione sia dei giunti della piattabanda che di quello dell'anima.

9.3.2.4. Incroci di saldature

Negli elementi di travi composte che dovranno essere collegati tra di loro con saldatura di testa, si deve aver cura di arrestare la saldatura anima-piattabanda ad almeno 200 mm di distanza dal lembo saldato testa a testa, i tratti da 200 mm saranno completati dopo le saldature di testa.

Qualora non siano presenti lunette sull'anima in corrispondenza dei giunti delle piattabande, si provvederà ad effettuare per il collegamento anima-piattabanda per una zona di almeno 100 mm a cavallo del giunto, una preparazione a K con spalla zero, qualora una simile preparazione non sia già prevista per tutto il collegamento anima piattabanda.

La preparazione a K deve essere successivamente aggiustata in corrispondenza della parte smussata per permettere l'esecuzione di un giunto anima-piattabanda a completa penetrazione.

9.3.2.5. Estremità delle saldature

Le estremità della saldatura d'anima saranno oggetto di particolare accuratezza operativa e si farà ricorso ad ogni opportuno espediente esecutivo perché risultino prive di difetti. In particolare nel caso in cui i giunti d'anima e piattabanda siano sfalsati, ed il collegamento anima-piattabanda venga fatto a semplici cordoni d'angolo, il lembo dell'anima a cavaliere del giunto di testa dell'anima stessa, verrà localmente cianfrinato a K in modo da asportare buona parte almeno delle estremità della saldatura già eseguita, procedendo poi a riempire il cianfrino così preparato, raccordando bene la saldatura di riempimento con i cordoni d'angolo che la precedono e la seguono.

9.3.2.6. Lunette di scarico

Qualora siano presenti lunette in corrispondenza delle saldature delle piattabande e/o in corrispondenza delle estremità delle saldature dell'anima, particolare cura deve essere posta alla forma ed alla finitura di dette lunette.

Per le lunette eventualmente presenti in corrispondenza delle estremità dell'anima, è richiesto che vengano effettuate in un primo momento con dimensioni ridotte e riportate alle dimensioni prescritte dopo l'effettuazione della saldatura dell'anima, per asportare con tale operazione anche i difetti di estremità di detta saldatura.

9.3.3. Irrigidimenti dell'anima

9.3.3.1. Le nervature di irrigidimento dell'anima in corrispondenza degli appoggi della trave o delle sezioni in cui sono applicati carichi concentrati devono essere, di regola, disposte simmetricamente rispetto all'anima e verificate al carico di punta per l'intera azione localizzata.

Può a tali effetti considerarsi collaborante con l'irrigidimento una porzione d'anima complessiva di larghezza non maggiore di 12 volte lo spessore dell'anima; essa verrà considerata disposta da entrambe le parti adiacenti la nervatura.

Per la lunghezza libera d'inflessione si deve assumere un valore commisurato alle effettive condizioni di vincolo dell'irrigidimento ed in ogni caso non minore di $3/4$ dell'altezza dell'anima.

9.3.3.2. I rapporti larghezza/spessore delle nervature di irrigidimento dell'anima devono soddisfare le limitazioni previste al punto 7.2.6. È buona regola, inoltre, che lo spessore delle nervature intermedie sia dello stesso ordine di grandezza di quello dell'anima.

9.3.3.3. Le nervature longitudinali devono essere preferibilmente continue attraverso quelle trasversali.

9.3.3.4. Le nervature di irrigidimento di travi composte saldate devono essere collegate all'anima mediante cordoni di saldatura sottili e, di regola, continui.

Nel caso si adottino cordoni discontinui, la lunghezza dei tratti non saldati deve essere minore di 12 volte lo spessore dell'anima e, in ogni caso, di 25 cm; inoltre, nelle travi soggette a fatica si deve verificare che la tensione longitudinale nell'anima non superi quella ammissibile a fatica per le disposizioni corrispondenti.

9.3.3.5. È buona regola evitare la saldatura delle nervature trasversali alle piattabande tese soggette a fatica, interrompendole ad una distanza da queste ultime, salvo più precisa verifica, non maggiore di 5 volte lo spessore dell'anima, a meno che sia necessaria la trasmissione diretta di forze; in tale eventualità il collegamento deve essere realizzato adottando gli opportuni accorgimenti. In tutti i casi si deve tenere conto nel calcolo della tensione ammissibile a fatica.

9.3.4. Travi reticolari

- 9.3.4.1. Gli assi baricentrici delle aste devono di regola coincidere con gli assi dello schema reticolare; tale avvertenza è particolarmente importante per le strutture sollecitate a fatica. La coincidenza predetta per le aste di strutture chiodate e bullonate costituite da cantonali può essere osservata per gli assi di chiodatura e bullonatura anziché per gli assi baricentrici.
- 9.3.4.2. Il baricentro della sezione resistente della chiodatura o della saldatura di attacco ai nodi deve cadere, di regola, sull'asse geometrico dell'asta. Ove tale condizione non sia conseguibile, deve essere considerato nel calcolo il momento dovuto all'eccentricità.
- 9.3.4.3. Nei correnti a sezione variabile gli elementi, che via via si richiedono in aumento della sezione resistente, devono avere lunghezza tale da essere pienamente efficienti là ove ne è necessario il contributo.

9.4. Piastre ed apparecchi di appoggio**9.4.1. Basi di colonne**

- 9.4.1.1. Le piastre di appoggio e le relative costolature devono essere proporzionate in modo da assicurare una ripartizione approssimativamente lineare della pressione sul cuscinetto sottostante.
- 9.4.1.2. I bulloni di ancoraggio devono essere collocati a conveniente distanza dalle superficie che limitano lateralmente la fondazione. La lunghezza degli ancoraggi si determina con riferimento alle norme in vigore per l'esecuzione delle opere di conglomerato cementizio armato, quando non si faccia ricorso a traverse d'ancoraggio o dispositivo analoghi.

9.4.2. Apparecchi di appoggio

Dove lo schema statico e l'importanza della struttura lo esigono, si devono impiegare apparecchi di appoggio fissi, deformabili o scorrevoli, atti a definire la posizione della reazione ed a consentire le dilatazioni termiche.

Gli apparecchi di appoggio di qualunque tipo devono essere conformati e piazzati in modo da renderne agevole la regolazione, l'ispezione e la pulizia. Occorrendo, devono inoltre potersi sostituire.

9.4.2.1. Appoggi metallici (fissi e scorrevoli)

Ove possibile, per gli appoggi scorrevoli, sono da impiegare uno o due rulli o segmenti di rullo; se i rulli sono due occorre sovrapporre ad essi un bilanciante che assicuri l'equipartizione del carico. Il movimento di traslazione dei rulli deve essere guidato in modo opportuno; dispositivi di arresto devono essere previsti dove il caso lo richieda. Le parti degli apparecchi che trasmettono pressioni per contatto possono essere di acciaio in getti, oppure ottenute per saldatura di laminati di acciaio. Le superficie di contatto devono essere lavorate con macchina utensile.

9.4.2.2. Appoggi di gomma

Per questo tipo di appoggi valgono le istruzioni definite nella CNR-UNI 10018.

9.5. Marcatura dei materiali

- 9.5.1. Tutti i prodotti di laminazione a piazzale devono essere contraddistinti con colorazioni atte ad individuare il tipo di acciaio.
- 9.5.2. Nelle officine e nei cantieri, i luoghi di deposito dei materiali dei vari tipi devono essere possibilmente separati.

9.6. Raddrizzamento

Il raddrizzamento e lo spianamento quando necessari, devono essere fatti preferibilmente con dispositivi agenti per pressione. Possono essere usati i riscaldamenti locali (caide), purché programmati in modo da evitare eccessive concentrazioni di tensioni residue e di deformazioni permanenti.

9.7. Tagli e finitura

- 9.7.1. Le superficie dei tagli possono restare grezze, purché non presentino strappi, riprese, mancanze di materiale o bavature.
- 9.7.2. È ammesso il taglio a ossigeno purché regolare. I tagli irregolari devono essere ripassati con la smerigliatrice.
- 9.7.3. Per le superficie delle unioni per contatto, vedere punto 9.9.5.
- 9.7.4. Negli affacciamenti non destinati alla trasmissione di forze possono essere tollerati giuochi da 2 a 5 mm, secondo il minore o maggiore spessore del laminato.

9.8. Forature

- 9.8.1. I fori per chiodi e bulloni devono essere preferibilmente eseguiti col trapano; sono ammessi fori punzonati purché successivamente alesati; non sono ammesse deroghe quando si abbiano sollecitazioni a fatica o dinamiche a meno che i bulloni siano dimensionati ad attrito anche nei confronti degli stati limiti ultimi (vedere 5.3.7).
- 9.8.2. Per chiodature o bullonature di ordinaria importanza statica, è ammessa la punzonatura dei fori al diametro definitivo, senza allargamento ulteriore purché il diametro del foro non sia minore dello spessore della piastra e non superi 24 mm. Per giunzioni ad attrito tale limite può essere superato purché la punzonatura venga opportunamente eseguita e controllata, particolarmente al fine di evitare la formazione di cricche e bavature. Nella punzonatrice il diametro della matrice deve superare al massimo di 2 mm il diametro del punzone.
Quando sia previsto l'ulteriore allargamento dei fori, la base maggiore del vano troncoconico creato col punzone deve avere diametro di almeno 3 mm minore del diametro del foro definitivo e questo deve essere poi ottenuto allargando il foro col trapano o con alesatrice.
- 9.8.3. È vietato l'uso della fiamma per l'esecuzione di fori per chiodi e bulloni.
- 9.8.4. Gli elementi destinati a comporre una stessa membratura possono essere forati singolarmente. L'alesatura dei fori deve essere però eseguita sempre con un'unica operazione per tutti gli elementi, a tale scopo saldamente serrati nella giusta posizione, previa asportazione delle bavature dei fori.
- 9.8.5. Anche per i fori di chiodi o bulloni destinati agli attacchi delle membrature, si deve prevedere l'alesatura o la foratura diretta col trapano al diametro definitivo con un'unica operazione ed effettuando in officina gli opportuni montaggi provvisori. Si può derogare alla prescrizione, quando i fori vengono trapanati o alesati su appropriate maschere metalliche o con accorgimenti equivalenti.
- 9.8.6. I pezzi destinati ad essere chiodati o bullonati in opera devono essere marcati in modo da poter riprodurre nel montaggio definitivo le posizioni stesse che avevano in officina all'atto dell'alesatura dei fori.
- 9.8.7. Non sono ammesse al montaggio in opera eccentricità, relative a fori corrispondenti, maggiori del giuoco foro-bullone di cui al punto 9.3.2. Entro tale limite è opportuna la regolarizzazione del foro con utensile adatto.
- 9.8.8. L'uso delle spine d'acciaio è ammesso, in corso di montaggio, esclusivamente per richiamare i pezzi nella giusta posizione.

9.9. Modalità esecutive per le unioni

9.9.1. Unioni chiodate

- 9.9.1.1. Il fusto del chiodo deve avere lunghezza sufficiente per permettere la formazione della testa ribadita ed il completo riempimento del foro; bisogna inoltre evitare rigorosamente che lo stampo lasci l'impronta negli elementi chiodati.
- 9.9.1.2. Gli elementi da chiodare, preventivamente ripuliti, devono essere saldamente fissati nella giusta posizione relativa mediante bulloni di montaggio e, occorrendo, coll'ausilio di morse. Non si deve fare assegnamento sulla chiodatura per conseguire il contatto dei pezzi.
- 9.9.1.3. I chiodi devono essere riscaldati con fiamma riduttrice o elettricamente e liberati da ogni impurità, come scorie e tracce di carbone, prima che siano introdotti nei fori; devono essere ancora di color rosso scuro alla fine della ribaditura.
- 9.9.1.4. Le teste ottenute con la ribaditura devono risultare ben centrate sul fusto, ben nutrite alle loro basi, prive di screpolature e ben combacianti con la superficie dei pezzi. Devono poi essere liberate dalle bavature mediante scalpello curvo, senza intaccare i profilati chiodati.
- 9.9.1.5. I chiodi difettosi devono essere rimossi incidendone le teste con l'unghietto o mediante scalpello pneumatico o impiegando, con le cautele del caso, appositi cannelli da taglio. Nella schiodatura è vietato l'impiego della mazza.
- 9.9.1.6. La ribaditura deve farsi, possibilmente, a macchina. Nelle posizioni inaccessibili alle macchine può farsi sia col martello ordinario, sia col martello pneumatico.
- 9.9.1.7. Le teste dei chiodi di materiale diverso dall'acciaio Fe 40 UNI 5937 devono portare in rilievo in sommità, sopra una zona piana, un marchio caratterizzante la qualità del materiale. Il controstampo deve essere piazzato in modo da lasciare sussistere detto marchio dopo la ribaditura.

9.9.2. Unioni bullonate

- 9.9.2.1. Il serraggio dei bulloni può esser fatto mediante chiavi dinamometriche a mano come specificato al punto 9.9.3.3. In alternativa si può controllare la rotazione del dado come indicato al punto 9.9.2.2.
- 9.9.2.2. Per serrare i bulloni si può serrare con chiave a mano o a percussione il dado fino a quando si sono poste a contatto le lamiere interposte fra testa e dado. Si dà poi una rotazione al dado compresa fra 90° e 120° con tolleranze di 60° in più.

9.9.3. Unioni ad attrito

- 9.9.3.1. Le superficie di contatto al montaggio si devono presentare pulite, prive cioè di olio, vernice, scaglie di laminazione, macchie di grasso. Di regola la pulitura deve essere eseguita con sabbatura; è ammessa la semplice spazzolatura delle superficie a contatto per giunzioni montate in opera. Le giunzioni calcolate con $\mu = 0,45$ devono essere sabbiate a metallo bianco.
- 9.9.3.2. Nei giunti flangiati devono essere particolarmente curati la planarità ed il parallelismo delle superficie di contatto.
- 9.9.3.3. Per il serraggio dei bulloni si devono usare chiavi dinamometriche a mano, con o senza meccanismo limitatore della coppia applicata, o chiavi pneumatiche con limitatore della coppia applicata; tutte peraltro devono essere tali da garantire una precisione non minore di $\pm 5\%$.
Il valore della coppia di serraggio T_s , da applicare sul dado o sulla testa del bullone, deve essere quello indicato nel punto 5.3.4. Durante il serraggio è opportuno procedere come segue:
- serrare i bulloni, con una coppia pari a circa il 60% della coppia prescritta, iniziando dai bulloni più interni del giunto e procedendo verso quelli più esterni;
 - ripetere l'operazione, come più sopra detto, serrando completamente i bulloni.

- 9.9.3.4. Per verificare l'efficienza dei giunti serrati, il controllo della coppia torcente applicata può essere effettuato in uno dei seguenti modi:
- a) si misura con chiave dinamometrica la coppia richiesta per far rotare ulteriormente di 10° il dado;
 - b) dopo aver marcato dado e bullone per identificare la loro posizione relativa, il dado deve essere prima allentato con una rotazione almeno pari a 60° e poi riserrato, controllando se l'applicazione della coppia prescritta riporta il dado nella posizione originale.

Se in un giunto anche un solo bullone non risponde alle prescrizioni circa il serraggio, tutti i bulloni del giunto devono essere controllati.

9.9.4. Unioni saldate

- 9.9.4.1. Sia in officina sia in cantiere, le saldature da effettuare con elettrodi rivestiti devono essere eseguite da operai che abbiano superato le prove di qualifica indicate nella UNI 4634 per la classe relativa al tipo di elettrodo ed alle posizioni di saldature previste. Nel caso di costruzioni tubolari si farà riferimento anche alla UNI 4633 per quanto riguarda i giunti di testa. Le saldature da effettuare con altri procedimenti devono essere eseguite da operai sufficientemente addestrati all'uso delle apparecchiature relative ed al rispetto delle condizioni operative stabilite in sede di approvazione del procedimento.
- 9.9.4.2. La preparazione dei lembi da saldare deve essere effettuata mediante macchina utensile, smerigliatrice od ossitaglio automatico e dovrà risultare regolare e ben liscia. L'ossitaglio a mano può essere accettato solo se un'adeguata successiva ripassatura alla smerigliatrice avrà perfettamente regolarizzato l'asperità del taglio. I lembi, al momento della saldatura, devono essere esenti da incrostazioni, ruggine, scaglie, grassi, vernici, irregolarità locali ed umidità.
- 9.9.4.3. La distanza dei lembi dei giunti di testa e dei giunti a T a completa penetrazione deve essere secondo UNI 11001. Nei giunti a T con cordoni d'angolo i pezzi devono essere a contatto; è tollerato un giuoco massimo di 3 mm per spessori maggiori di 10 mm, da ridurre adeguatamente per spessori minori o per casi particolari. Il disallineamento dei lembi deve essere non maggiore di 1/8 dello spessore con un massimo di 1,5 mm; nel caso di saldatura manuale ripresa al vertice, si potrà tollerare un disallineamento di entità doppia.
- 9.9.4.4. Gli elettrodi (secondo UNI 5132) devono essere usati con il tipo di corrente (continua o alternata) e di polarità per cui sono stati omologati. Devono altresì essere adottate tutte le precauzioni prescritte dal produttore degli elettrodi con particolare riguardo alla conservazione all'asciutto ed, in generale, alla preessiccazione degli elettrodi a rivestimento basico, particolarmente importante quando si saldino grandi spessori od acciaio Fe 510.
- 9.9.4.5. Il diametro dell'anima degli elettrodi rivestiti, per saldatura manuale, usati nella saldatura di un giunto, deve essere fissato in relazione allo spessore, al tipo di giunto ed alla posizione della passata nel giunto; in generale sarà non maggiore di 6 mm per saldature in piano e di 5 mm per saldature in verticale. Devono essere osservate le sequenze di saldatura indicate in progetto e le prescrizioni che verranno stabilite per il preriscaldamento locale in relazione agli spessori, ai tipi di acciaio ed alla temperatura ambiente durante la costruzione.
- 9.9.4.6. La superficie di ogni passata deve essere liberata dalla scoria prima che vengano effettuate le passate successive; ugualmente la scoria deve essere localmente asportata in corrispondenza delle riprese di una medesima passata. Nella saldatura manuale si deve evitare l'accensione degli elettrodi sulle lamiere accanto al giunto, specialmente per acciaio Fe 510.
- 9.9.4.7. Le estremità dei cordoni di saldatura dei giunti di testa, nella saldatura automatica e semiautomatica, devono essere sempre fatte su prolunghie; nel caso di saldatura manuale ciò sarà fatto almeno per i giunti di I classe.
- 9.9.4.8. Devono essere adottate le sequenze di saldatura e le condizioni di vincolo più opportune al fine di ridurre per quanto possibile le tensioni residue da saldatura e facilitare l'esecuzione dei giunti saldati.
- 9.9.4.9. Nei giunti di testa ed in quelli a T a completa penetrazione effettuati con saldatura manuale, il vertice della saldatura deve essere sempre asportato, per la profondità richiesta per raggiungere il metallo perfettamente sano, a mezzo di scalpellatura, smerigliatura od altro adeguato sistema, prima di effettuare la seconda saldatura (nel caso di saldature effettuate dai due lati) o la ripresa. Qualora ciò non sia assolutamente possibile, si deve fare ricorso alla preparazione a V con piatto di sostegno che è, peraltro, sconsigliata nel caso di strutture sollecitate a fatica, od alla saldatura effettuata da saldatori specializzati secondo UNI 4634 o, nel caso di strutture tubolari, di classe TT secondo UNI 4633.
- 9.9.4.10. La superficie delle saldature deve risultare sufficientemente liscia e regolare e ben raccordata col materiale base.

- 9.9.4.11. **Preriscaldamento:** per evitare nella zona termicamente alterata ed in saldatura il fenomeno delle cricche da idrogeno, le parti da saldare saranno sottoposte localmente a preriscaldamento ad una temperatura non minore di quella indicata nel prospetto 9-II in funzione del tipo di acciaio, dello spessore del materiale e del procedimento di saldatura impiegato. Durante la saldatura la temperatura della zona saldata non dovrà mai scendere al disotto di quella di preriscaldamento; la zona preriscaldata deve estendersi per almeno 75 mm in ogni senso dal punto in cui si salda. Il prospetto fornisce le temperature di preriscaldamento minime da impiegarsi in casi in cui le giunzioni non siano troppo complesse e non presentino condizioni di vincolo particolarmente severe, nei quali casi sarà bene attenersi ad una temperatura di circa 100 °C per gli acciai Fe 360 ed Fe 430, e doppia di quella indicata nel prospetto, ma non minore di 100 °C per gli acciai Fe 510. Anche per le opere di imbastitura e per gli attacchi provvisori dovrà essere effettuato il preriscaldamento.

Prospetto 9-II

Spessore t mm	Preriscaldi					
	Elettrodi non basici		Elettrodi basici arco sommerso gas protettivo		Elettrodi basici arco sommerso gas protettivo e basso idrogeno	
	Fe 360 Fe 430	Fe 510	Fe 360 Fe 430	Fe 510	Fe 360 Fe 430	Fe 510
$t \leq 20$	10 °C	+	5 °C	30 °C	5 °C	10 °C
$20 < t \leq 30$	60 °C	+	40 °C	+	20 °C	50 °C
$30 < t \leq 40$	+	+	70 °C	+	20 °C	70 °C
$t > 40$	+	+	+	+	50 °C	70 °C

+ procedimento di saldatura non ammesso.

- 9.9.4.12. La parte da saldare dovrà essere protetta dalle intemperie; in particolare, quando viene fatto uso di saldatura con protezione di gas dovranno essere adottati schermi di protezione contro il vento.

- 9.9.4.13. Qualora sui pezzi siano presenti tracce di umidità deve comunque essere dato ad essi l'apporto di calore necessario per eliminarla.

- 9.9.4.14. Nei limiti del possibile le saldature saranno fatte in posizione piana.

9.9.5. Unioni per contatto

- 9.9.5.1. Le superficie di contatto devono essere convenientemente piane e ortogonali all'asse delle membrature collegate.

- 9.9.5.2. Le membrature senza flange di estremità devono avere le superficie di contatto segate o, se occorre, lavorate con la piallatrice, la limatrice, la fresatrice o la smerigliatrice.

- 9.9.5.3. Per le membrature munite di flange di estremità si devono distinguere i seguenti casi:

- per flange di spessore minore o uguale di 50 mm è sufficiente, se necessario, la spianatura alla pressa o sistema equivalente;
- per flange di spessore compreso tra 50 e 100 mm, quando non sia possibile una accurata spianatura alla pressa, è necessario procedere alla piallatura o alla fresatura della superficie di appoggio;
- per flange di spessore maggiore di 100 mm le superficie di contatto devono sempre essere lavorate alla pialla o alla fresa.

- 9.9.5.4. Nel caso particolare delle piastre di base delle colonne si devono distinguere i due casi seguenti:

- per basi senza livellamento con malta occorre, sia per la piastra della colonna sia per l'eventuale contropiastra di fondazione, un accurato spianamento alla pressa e preferibilmente la piallatura o la fresatura;
- per basi livellate con malta non occorre lavorazione particolare delle piastre di base.

9.10. Elementi di acciaio fuso o fucinato

- 9.10.1. Le parti di fusione devono essere, secondo i casi, piallate, tornite o alesate sulle superficie destinate a contatto con altre parti dell'opera. Le rimanenti superficie possono rimanere grezze, salvo a correggerne con lima o scalpello le eventuali imperfezioni.

- 9.10.2.** I pezzi fucinati, dopo la fucinatura, devono essere ricotti nel forno; la rifinitura delle superficie destinate a contatto deve essere effettuata a macchina.
- 9.11. Montaggio**
- 9.11.1. Montaggio di prova**
- 9.11.1.1.** Per strutture particolarmente complesse è opportuno il montaggio provvisorio in officina, prima della spedizione a piè d'opera; in tal caso il montaggio può essere effettuato anche in più riprese, purché in tali montaggi siano controllati tutti i collegamenti. Del montaggio stesso si deve approfittare per eseguire le operazioni di cui al punto 9.8.6. Nel caso di strutture complesse costruite in serie è sufficiente il montaggio di prova del solo campione, purché la foratura si esegua con maschera o con procedimenti equivalenti.
- 9.11.1.2.** Il montaggio provvisorio può essere soppresso quando i fori dei chiodi di collegamento delle varie parti siano eseguiti con diametri minori di quelli definitivi e sia poi praticata l'alesatura all'atto del montaggio in opera.
- 9.11.1.3.** Al montaggio provvisorio si potrà rinunciare anche quando collegamenti in opera sono da effettuarsi mediante saldatura.
- 9.11.2. Montaggio in opera**
- 9.11.2.1.** Di regola il montaggio in opera deve essere effettuato con l'ausilio di bulloni provvisori. Per l'applicazione di chiodi o l'esecuzione di saldature si osservano le prescrizioni indicate nei punti 9.9.1, 9.9.2 e 9.9.3. I dadi dei bulloni definitivi devono essere serrati a fondo.
- 9.11.2.2.** Quando le superficie comprendenti lo spessore da bullonare per una giunzione di forza non abbiano giacitura ortogonale agli assi dei fori, i bulloni devono essere piazzati con interposte rosette cuneiformi, tali da garantire un assetto corretto della testa e del dado e da consentire un serraggio normale.
- 9.12. Verniciatura e zincatura**
- 9.12.1.** Le strutture devono ricevere una prima mano di vernice di fondo o prima della spedizione a piè d'opera oppure in cantiere. L'operazione di verniciatura deve essere preceduta dalla preparazione adeguata delle superficie da trattare. Nel caso di acciaio nuovo, se presente la calamina — cioè l'ossido di laminazione — occorre sabbiare fino alla eliminazione totale della calamina stessa. In presenza di ruggine, occorre asportarla con adeguati mezzi meccanici o mediante sabbiatura. In ogni caso si seguiranno autorevoli e ben stabiliti standards (per esempio quelli elaborati dalla SSA — Swedish Standard Association — in collaborazione con l'ASTM e l'SSPC — Steel Structures Painting Council). Nel caso di acciaio esente da ruggine o calamina si devono asportare eventuali corpi estranei, polveri, ecc. con mezzi di pulizia tradizionali; eventuali strati o macchie di olio o grassi devono essere eliminati con metodi atti allo scopo.
- 9.12.2.** In generale, nelle strutture chiodate o bullonate, devono essere verniciate con una mano di vernice di fondo non soltanto le superficie esterne, ma anche tutte le superficie a contatto, ivi comprese le facce dei giunti da effettuare in opera. Sono esclusi:
- i giunti ad attrito, che devono essere preparati come indicato nel punto 9.9.3 e protetti come indicato nel punto 9.12.3;
 - le superficie interne a contatto sicuramente non accessibili agli agenti atmosferici;
 - gli elementi strutturali sicuramente protetti contro gli agenti atmosferici.
- 9.12.3.** I giunti ad attrito devono essere accuratamente protetti non appena completato il serraggio definitivo, verniciando i bordi dei pezzi a contatto, le rosette, la testa e il dado del bullone, in modo da impedire qualsiasi infiltrazione all'interno del giunto.
- 9.12.4.** Dopo il montaggio in opera, devono essere fatti i necessari ritocchi alla mano di pittura di fondo (antiruggine) data in precedenza, ripristinando le condizioni iniziali: ciò sarà eseguito ripetendo, nelle zone danneggiate, la preparazione della superficie eseguita in officina. Si procederà quindi al completamento della pitturazione con le mani successive previste. Nella scelta del ciclo di pitturazione si terrà presente l'ambiente dove sarà ubicata la struttura (atmosfera rurale, marina, industriale, ecc.).

- 9.12.5. Per facilitare il controllo, le varie "mani" di pittura del ciclo dovranno avere diverse tonalità di tinta.
Per le superficie interne di strutture scatolate l'impiego di bitumi a caldo o composti epossibituminosi è particolarmente raccomandato, quale protezione anticondensa.
- 9.12.6. La verniciatura in opera deve essere fatta seguendo le prescrizioni d'uso del fornitore della vernice. Particolare attenzione sarà posta, in fase di applicazione, all'umidità relativa ed alla temperatura ambiente.
- 9.12.7. I ferri destinati ad essere incorporati in getti di conglomerato cementizio non devono essere verniciati, bensì accuratamente puliti.
- 9.12.8. La zincatura potrà essere effettuata mediante immersione in zinco (zincatura a caldo), oppure con altri processi (per esempio zincatura continua sendzimir).
- 9.12.9. La zincatura a caldo deve rispondere alle indicazioni della UNI 5744. Dopo la zincatura, gli oggetti zincati non devono subire trattamento termico se non specificatamente autorizzato dal direttore dei lavori. Sugli organi filettati, dopo la zincatura, non si devono effettuare ulteriori operazioni con utensile, rullatura, asportazione di materiale, taglio o comunque altre operazioni di finitura a mezzo utensile, ad eccezione della filettatura dei dadi.
Dopo la zincatura i dadi devono potersi agevolmente avvitare ai rispettivi bulloni e le rosette elastiche, gli spinotti, i colletti filettati e i bulloni non devono avere subito deformazioni e alterazioni nelle loro caratteristiche meccaniche.
- 9.12.10. L'eventuale verniciatura di strutture zincate richiede l'applicazione di opportuni "primers" appositamente preparati: essi costituiscono un pretrattamento di "ancoraggio" per il ciclo di pitturazione successivo.

9.13. Sigillatura delle piastre di base

È necessario curare che le piastre di base degli apparecchi di appoggio appoggino per tutta la sua superficie sulla sottostruttura attraverso un letto di malta.

Per gli appoggi di maggiore impegno deve essere usata malta espansiva, non aggressiva verso i bulloni d'ancoraggio.

10. Controlli sui prodotti laminati per strutture di acciaio

10.1. Generalità

10.1.1. Prodotti qualificati

Vengono denominati "qualificati" quei prodotti che sono stati sottoposti a prove di qualificazione secondo le modalità del successivo punto 10.2.

La qualificazione deve essere riferita separatamente ad ogni singolo stabilimento produttore dell'Azienda fornitrice.

I prodotti assoggettabili al procedimento di qualificazione sono, suddivisi per gamma merceologica, i seguenti:

- laminati mercantili, travi ad ali parallele del tipo IPE e HE, travi a I e profilati a U;
- lamiere e nastri di spessore ≥ 3 mm, travi saldate e profilati aperti saldati;
- profilati cavi circolari, quadrati o rettangolari senza saldature o saldati.

10.1.2. Prodotti non qualificati

Vengono denominati prodotti non qualificati quelli che non sono stati sottoposti alle prove del punto 10.2 e che dovranno invece sottostare alle condizioni di controllo previste ai punti 10.3 e 10.3.1. Le disposizioni di cui al punto 10.3.1 si applicano inoltre ai prodotti che vengono reperiti dal commercio per i quali non sia possibile accertare in modo inequivocabile la loro provenienza da parte di produttori qualificati.

10.1.3. Prodotti provenienti dall'estero

I prodotti provenienti dall'estero saranno considerati qualificati qualora rispettino la stessa procedura prevista per i prodotti nazionali di cui al successivo punto 10.2.

Per prodotti provenienti da Paesi della Comunità Economica Europea nei quali sia in vigore una certificazione di idoneità tecnica riconosciuta dalle rispettive Autorità competenti, l'Azienda produttiva potrà, in alternativa a quanto previsto al primo comma, inoltrare al Ministero dei lavori pubblici, Servizio tecnico centrale, domanda intesa ad ottenere il riconoscimento dell'equivalenza della

procedura adottata nel Paese di origine, depositando contestualmente la relativa documentazione per i prodotti da fornire con il rispondente marchio.

L'equivalenza della procedura di cui al comma precedente è sancita con decreto del Ministero dei lavori pubblici sentito il Consiglio superiore dei lavori pubblici.

Se non sono state soddisfatte le predette condizioni, i prodotti saranno considerati non qualificati.

10.2. Modalità di qualificazione

I produttori che intendono qualificare la loro produzione devono sottoporsi agli adempimenti qui di seguito specificati, e produrre la documentazione relativa al Ministero dei lavori pubblici, Servizio tecnico centrale, che ne cura il deposito:

- dimostrazione dell' idoneità del processo produttivo;
- controllo continuo interno di qualità della produzione condotto su basi probabilistiche;
- verifica periodica della qualità da parte dei Laboratori Ufficiali.

Sono prodotti qualificabili sia quelli raggruppabili per colata che quelli per lotti di produzione¹⁾.

Ai fini delle prove di qualificazione e di controllo (vedere punto 10.2.2), i prodotti, nell'ambito di ciascuna gamma merceologica di cui al punto 10.1.1, sono raggruppabili per gamme di spessori così come definito nelle UNI 7070, UNI 7806 e UNI 7810.

Sempre agli stessi fini, sono raggruppabili anche i diversi gradi di acciai (B, C, D; vedere prospetti 2-I e 2-II), sempreché siano garantite per tutti le caratteristiche del grado superiore del raggruppamento.

Le forniture relative a prodotti qualificati dovranno essere accompagnate da apposita documentazione (vedere punto 10.2.5).

10.2.1. Dimostrazione dell' idoneità del processo produttivo

Il produttore, limitatamente alle gamme merceologiche indicate al punto 10.1.1, e per ogni singolo stabilimento, dovrà presentare apposita documentazione al Ministero dei lavori pubblici, Servizio tecnico centrale, precisando:

- il tipo di prodotti (dimensioni e qualità);
- le condizioni generali della fabbricazione o dell'approvvigionamento dell'acciaio o del prodotto intermedio;
- la descrizione degli impianti di laminazione;
- le modalità di marcatura che consentono l'individuazione del prodotto da effettuarsi secondo le procedure del punto 10.2.4;
- l'organizzazione del controllo interno di qualità;
- i responsabili aziendali incaricati della firma dei certificati;
- il Laboratorio Ufficiale responsabile delle prove di controllo;
- dichiarazione che il servizio di controllo interno delle qualità sovrintende ai controlli di produzione e che esso è indipendente dai servizi di produzione.

Il produttore deve inoltre produrre una idonea documentazione sulle caratteristiche chimiche e meccaniche riscontrate per quelle qualità e per quei prodotti che intende qualificare.

La documentazione deve essere riferita ad una produzione consecutiva relativa ad un periodo di tempo di almeno sei mesi e ad un quantitativo di prodotti tale da fornire un quadro statisticamente significativo della produzione stessa e comunque o ≥ 2000 t oppure ad un numero di colate o di lotti ≥ 25 .

Tale documentazione di prova deve basarsi sui dati sperimentali rilevati dal produttore, integrati dai dati di certificati di Laboratori Ufficiali, incaricati dal produttore stesso; le prove del Laboratorio Ufficiale devono riferirsi a ciascun tipo di prodotto, inteso individuato da gamma merceologica, classe di spessore e qualità di acciaio, ed essere relative al rilievo dei valori caratteristici; per ciascun tipo verranno eseguite almeno 30 prove su saggi appositamente prelevati.

La documentazione del complesso delle prove meccaniche deve essere elaborata in forma statistica calcolando, per lo snervamento e la resistenza a rottura, il valore medio, lo scarto quadratico medio e il relativo valore caratteristico delle corrispondenti distribuzioni di frequenza.

Il valore caratteristico è il frattile di ordine 0,05 della rispettiva distribuzione statistica calcolato mediante l'espressione:

$$f_k = f_m - k \cdot s$$

dove: f_m è la media aritmetica degli n risultati sperimentali;

s è lo scarto quadratico medio degli stessi;

k è il fattore funzione del numero di risultati sperimentali associato alla percentuale della popolazione pari al 95% e alla formulazione di rischio del tipo $1 - \alpha$ con $\alpha = 5\%$ con protezione unilaterale (prospetto 10-I).

I valori caratteristici così calcolati devono rispettare le limitazioni riportate nei citati prospetti 2-I e 2-II per le tensioni di snervamento e di rottura mentre per l'allungamento percentuale e la resilienza vale il criterio del minimo tabellare.

Il Ministero, ricevuta la documentazione, darà atto al produttore dell'avvenuto deposito.

(segue)

1) Un lotto di produzione è costituito da un quantitativo di 40 t, o frazione residua, per ogni profilo, qualità e gamma di spessore, senza alcun riferimento alle colate che sono state utilizzate per la loro fabbricazione. Per quanto riguarda i profilati cavi, il lotto di produzione corrisponde all'unità di collaudo come definita dalle UNI 7806 e UNI 7810 in base al numero dei pezzi.

Prospetto 10-1

<i>n</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>
10	2,91	40	2,13
11	2,82	45	2,09
12	2,74	50	2,07
13	2,67	60	2,02
14	2,61	70	1,99
15	2,57	80	1,97
16	2,52	90	1,94
17	2,49	100	1,93
18	2,45	150	1,87
19	2,42	200	1,84
20	2,40	250	1,81
22	2,35	300	1,80
24	2,31	400	1,78
25	2,29	500	1,76
30	2,22	1 000	1,73
35	2,17	∞	1,64

10.2.2. Controllo continuo della qualità della produzione

Il servizio di controllo interno della qualità dello stabilimento produttore deve predisporre un'accurata procedura atta a mantenere sotto controllo con continuità tutto il ciclo produttivo.

In particolare, per quanto riguarda i prodotti finiti, deve procedere ad una rilevazione di tutte le caratteristiche chimiche e meccaniche previste al punto 2.

La rilevazione dei dati di cui sopra deve essere ordinata cronologicamente su appositi registri distinti per qualità, per prodotto (o gruppi di prodotti come sopra indicato) e per gamme di spessori, come specificato nella norma di prodotto.

Per ogni colata, o per ogni lotto di produzione, contraddistinti dal proprio numero di riferimento, viene prelevato dal prodotto finito un saggio per colata e comunque un saggio ogni 80 t oppure un saggio per lotto e comunque un saggio ogni 40 t o frazione; per quanto riguarda i profilati cavi, il lotto di produzione è definito dalle relative norme UNI di prodotto, in base al numero dei pezzi. Dai saggi di cui sopra verranno ricavati i provini per la determinazione delle caratteristiche chimiche e meccaniche previste dalle UNI 7070, UNI 7806 e UNI 7810, rilevando il quantitativo in tonnellate di prodotto finito cui la prova si riferisce.

Per quanto concerne f_y e f_t , i dati singoli raccolti, suddivisi per qualità e prodotti (secondo le gamme dimensionali) vengono riportati su idonei diagrammi per consentire di valutare statisticamente nel tempo i risultati della produzione rispetto alle prescrizioni delle presenti norme tecniche.

I restanti dati relativi alle caratteristiche chimiche, di resilienza e di allungamento vengono raccolti in tabelle e conservati, dopo averne verificato la rispondenza alle UNI 7070, UNI 7806 e UNI 7810 per quanto concerne le caratteristiche chimiche e alle prescrizioni di cui ai prospetti 2-I e 2-II per quanto concerne resilienza e allungamento.

È cura e responsabilità del produttore individuare, a livello di colata o di lotto di produzione, gli eventuali risultati anomali che portano fuori limiti la produzione e di provvedere ad ovviarne le cause. I diagrammi sopra indicati devono riportare gli eventuali dati anomali.

I prodotti non conformi devono essere deviati ad altri impieghi, previa punzonatura di annullamento, e tenendone esplicita nota nei registri.

La documentazione raccolta presso il controllo interno di qualità dello stabilimento produttore deve essere conservata a cura del produttore.

Lo stabilimento produttore è autorizzato alla spedizione del prodotto che dovrà essere marcato in conformità a quanto precisato nella documentazione di deposito al Ministero dei lavori pubblici, Servizio tecnico centrale, accompagnato dall'attestato di controllo (vedere punto 10.2.6) interno firmato dal responsabile del servizio di controllo di qualità riportante gli estremi della certificazione di deposito rilasciata dal Ministero.

10.2.3. Verifica periodica della qualità da parte dei Laboratori ufficiali

Il Laboratorio ufficiale, incaricato a ciò dal produttore, effettuerà periodicamente a sua discrezione, almeno ogni sei mesi, una visita presso lo stabilimento produttore nel corso della quale su tre tipi di prodotto, scelti di volta in volta tra qualità di acciaio, gamma merceologica e classe di spessore, effettuerà per ciascun tipo (o presso il Laboratorio del produttore o presso il Laboratorio ufficiale stesso) non meno di 30 prove a trazione su provette ricavate sia da saggi prelevati direttamente dai prodotti sia da saggi appositamente accantonati dal produttore in numero di almeno 2 per colata o lotto di produzione, relativa alla produzione intercorsa dalla visita precedente.

Inoltre il Laboratorio effettuerà le altre prove previste (resilienza e analisi chimiche) sperimentando su provini ricavati da 3 campioni per ciascun tipo sopradetto.

Il Laboratorio ufficiale elaborerà, in forma statistica, i risultati delle prove di trazione per ciascuno dei tre gruppi, utilizzando per il controllo di accettazione l'espressione $f_m - 1,25 \cdot s \geq$ del corrispondente valore di cui ai prospetti 2-I e 2-II. Inoltre verrà controllato che i coefficienti di variazione percentuale dello snervamento (rapporto tra scarto quadratico medio e media aritmetica) risultino minori rispettivamente del 9% per l'acciaio Fe 360, dell'8% per l'acciaio Fe 430 e del 7% per l'acciaio Fe 510.

Infine si controllerà che siano rispettati i valori minimi prescritti per la resilienza e quelli massimi per le analisi chimiche. Nel caso che i risultati delle prove siano tali per cui viene accertato che i limiti prescritti non siano rispettati, vengono prelevati altri saggi (nello stesso numero) e ripetute le prove. Ove i risultati delle prove, dopo ripetizione, fossero ancora insoddisfacenti, il produttore è tenuto a darne parimenti comunicazioni al Ministero dei lavori pubblici, Servizio tecnico centrale, ripetendo la procedura di qualificazione dall'inizio, dopo che avrà avviato alle cause che avevano dato luogo al risultato insoddisfacente. Una volta l'anno il produttore è tenuto ad inviare al Ministero dei lavori pubblici, Servizio tecnico centrale, una relazione contenente:

- a) una dichiarazione attestante la permanenza delle condizioni iniziali di idoneità del processo produttivo e dell'organizzazione del controllo interno di qualità o le eventuali modifiche;
- b) le tabelle contenenti i singoli risultati dei controlli eseguiti in merito alle caratteristiche meccaniche e chimiche;
- c) l'elaborazione statistica dei controlli interni eseguiti nell'ultimo anno, per ciascun tipo di prodotto, da cui risulti il quantitativo di produzione e il numero delle prove;
- d) i risultati dei controlli eseguiti dal Laboratorio ufficiale (certificati e loro elaborazione);
- e) la dichiarazione che attesta la conformità statistica delle verifiche di cui ai punti c) e d) con le prescrizioni di cui ai prospetti 2-I e 2-II e la dichiarazione di rispetto delle prescrizioni relative alla resilienza, allungamento e analisi chimica.

10.2.4. Controlli su singole colate

Negli stabilimenti soggetti a controlli sistematici cui al precedente punto 10.2.3, i produttori potranno richiedere di loro iniziativa di sottoporsi a controlli, eseguiti a cura di un Laboratorio ufficiale, su singole colate di quei prodotti che, per ragioni produttive, non possono ancora rispettare le condizioni quantitative minime (vedere punto 2.1) per qualificarsi. Le prove da effettuare sono quelle relative alle UNI 7070, UNI 7810 e UNI 7806 ed i valori da rispettare sono quelli di cui ai prospetti 2-I e 2-II.

10.2.5. Marcatura per identificazione del prodotto qualificato

Il produttore deve procedere ad una marcatura, in cifre e/o lettere, del prodotto qualificato fornito dalla quale risulti in modo inequivocabile il riferimento dell'azienda produttrice, allo stabilimento, al tipo di acciaio e al grado qualitativo. Considerata la diversa natura, forma e dimensione dei prodotti, le caratteristiche degli impianti per la loro fabbricazione, nonché la possibilità di fornitura sia in pezzi singoli sia in fasci, differenti potranno essere i sistemi di marcatura adottati, quali per esempio l'impressione sui cilindri di laminazione, la punzonatura a caldo e a freddo, la stampigliatura a vernice, la targhettatura, la sigillatura dei fasci e altri.

Tenendo presente che l'elemento determinante della marcatura è costituito dalla sua inalterabilità nel tempo, dalla impossibilità di manomissione, il produttore deve rispettare le modalità di marcatura denunciate nella sua documentazione presentata al Ministero dei lavori pubblici, Servizio tecnico centrale, come precisato al punto 10.2.1 e deve comunicarne tempestivamente eventuali modifiche apportate.

La mancata marcatura e la sua illeggibilità anche parziale rende il prodotto non qualificato. Qualora, sia presso gli utilizzatori, sia presso i commercianti, l'unità marcata (pezzo singolo o fascio), venga scorporata, per cui una parte, o il tutto, viene a perdere l'originale marcatura del produttore sia presso gli utilizzatori sia presso i commercianti, è responsabilità sia degli utilizzatori sia dei commercianti documentare che i prodotti così ottenuti fanno parte dei prodotti qualificati citando gli estremi della documentazione originale.

10.2.6. Documentazione di accompagnamento delle forniture

Il produttore è tenuto ad accompagnare ogni fornitura di prodotti qualificati con:

- attestato di controllo secondo UNI EU 21;
- dichiarazione che il prodotto è "qualificato" ai sensi delle presenti norme tecniche, e di aver soddisfatto tutte le relative prescrizioni, riportando gli estremi del marchio, e indicando gli estremi dell'ultimo certificato del Laboratorio ufficiale.

10.3. Controlli in officina o in cantiere su prodotti non qualificati e qualificati

Il controllo in officina di fabbricazione è obbligatorio per prodotti non qualificati, facoltativo per prodotti qualificati. Tale controllo sarà effettuato dal direttore dei lavori, o, in sua mancanza all'atto delle lavorazioni, dal tecnico responsabile della fabbricazione, che assume a tale riguardo le responsabilità attribuite dalla legge al direttore dei lavori. In questo secondo caso la relativa documentazione sarà trasmessa al direttore dei lavori prima della messa in opera.

10.3.1. Prodotti non qualificati

Per i prodotti non qualificati il direttore dei lavori o, in sua mancanza all'atto delle lavorazioni, il tecnico responsabile della fabbricazione che assume a tale riguardo le responsabilità attribuite dalla legge al direttore dei lavori, deve effettuare tutte le prove meccaniche e chimiche previste dalle norme UNI in numero atto a fornire una idonea conoscenza delle proprietà di ogni singolo lotto di fornitura e comunque almeno tre saggi per ogni 20 t di ogni singolo profilo. I saggi saranno provati da un Laboratorio ufficiale. Tutti i singoli valori sperimentali dovranno rispettare le prescrizioni di cui ai prospetti 2-I e 2-II per le caratteristiche meccaniche, e alle norme UNI quivi citate per le caratteristiche chimiche.

10.3.2. Prodotti qualificati

Qualora il direttore dei lavori o, in sua mancanza all'atto delle lavorazioni, il tecnico responsabile della fabbricazione che assume a tale riguardo le responsabilità attribuite dalla legge al direttore dei lavori ritenga opportuno di effettuare controlli anche su prodotti qualificati, i dati sperimentali ottenuti dovranno soddisfare le prescrizioni di cui ai prospetti 2-I e 2-II per quanto concerne l'allungamento e la resilienza, nonché, alle UNI 7070, UNI 7810 e UNI 7806 per le caratteristiche chimiche.

Ogni singolo valore della tensione di snervamento e di rottura non dovrà risultare minore dei limiti tabellari (prospetti 2-I e 2-II) per più di:

		Fe 360 [Fe 37]	Fe 430 [Fe 44]	Fe 510 [Fe 52]
Tensioni di rottura a trazione	N/mm ² [kgf/mm ²]	15 [1,5]	18 [1,8]	22 [2,2]
Tensioni di snervamento	N/mm ² [kgf/mm ²]	10 [1,0]	12 [1,2]	15 [1,5]

11. Redazione del progetto, collaudo, sorveglianza e manutenzione**11.1. Redazione del progetto****11.1.1. Progetto di massima**

Il progetto di massima deve comprendere i disegni schematici dell'opera ed una relazione tecnica illustrativa riguardante anche i criteri di calcolo.

11.1.2. Progetto esecutivo

L'esecuzione di un'opera richiede la preparazione dei disegni di insieme e dei particolari necessari a definire completamente tutti gli elementi costruttivi.

11.1.2.1. Ciascun disegno deve portare le indicazioni atte ad individuare la qualità del materiale delle singole parti cui il disegno si riferisce.

11.1.2.2. Sui disegni di insieme dei solai e delle coperture deve essere specificato il carico gravante sugli elementi metallici, distinto in sovraccarico permanente (materiale di riempimento, pavimento o manto di copertura con relativo letto di posa, soffitto, ecc.) ed in sovraccarico accidentale.

11.1.2.3. Sui disegni di insieme delle fondazioni devono essere indicati i parametri dell'azione trasmessa da ciascun appoggio dell'opera metallica (componenti verticali ed orizzontali, momento d'incastro), nonché la pressione massima sulla sottostruttura.

11.1.2.4. Il costruttore dell'opera metallica deve trasmettere tempestivamente al committente tutte le indicazioni necessarie all'esecuzione delle opere di fondazione ed alla corretta impostazione delle strutture metalliche sulle medesime e controllare, qualora effettuati anche il montaggio, che le tolleranze previste vengano rispettate.

11.1.2.5. Nei disegni dei particolari costruttivi devono essere completamente definiti:

- le caratteristiche delle giunzioni;
- i diametri e la disposizione dei chiodi e dei bulloni, nonché dei fori relativi;
- le dimensioni dei cordoni di saldatura, i procedimenti di saldatura e la qualità degli elettrodi;
- la classe di qualità per i giunti di testa;
- le controfrecce da assegnare alle travi;
- i diametri, la disposizione e la coppia di serraggio dei bulloni ad alta resistenza nelle giunzioni da attrito.

11.1.2.6. Il progetto esecutivo comprende una relazione del calcolo, che può essere limitata all'illustrazione dei criteri generali di progetto e alla giustificazione statica degli elementi principali della costruzione.
Inoltre il committente ha facoltà di prendere visione della minuta completa dei calcoli giustificativi di ogni membratura.

11.1.2.7. Le eventuali varianti in corso d'esecuzione devono essere riportate nei disegni costruttivi e nei calcoli di progetto, in modo che risultino chiaramente evidenti, sia la soluzione variata, sia quella originaria.

11.2. Collaudo statico

11.2.1. Prescrizioni generali

Il collaudo di cui all'art. 7 della Legge 8.11.1971 numero 1085, oltre al controllo del corretto adempimento delle prescrizioni formali di cui agli articoli 4, 6 e 9 della Legge medesima, nonché dell'art. 5 ove il collaudo sia stato affidato in corso d'opera, dovrà comprendere i seguenti adempimenti tecnici:

- a) ispezione generale dell'opera nel suo complesso con particolare riguardo a quelle strutture o parti di strutture più significative da confrontare con i disegni esecutivi depositati in cantiere;
- b) esame dei certificati delle prove sui materiali, articolato:
 - nell'accertamento del numero dei prelievi e della conformità a quanto fissato dagli allegati al presente Decreto;
 - nel controllo che i risultati elaborati delle prove siano compatibili con i criteri di accettazione fissati nei sopraccitati allegati;
- c) esame dei certificati di qualificazione per i materiali dichiarati "qualificati";
- d) controllo dei verbali delle eventuali prove di carico fatte eseguire dal direttore dei lavori;
- e) esame dell'impostazione generale della progettazione strutturale, degli estremi di calcolo e delle azioni considerate;

Inoltre, nell'ambito della propria discrezionalità, il collaudatore potrà richiedere:

A) di effettuare quegli accertamenti utili per formarsi il convincimento della sicurezza dell'opera, quali:

- prove di carico da eseguirsi secondo le modalità previste nel successivo punto 11.2.2;
- saggi diretti sulla struttura con prelievi di campioni;
- controlli, non distruttivi sulle strutture.

B) Documentazioni integrative di progetto.

11.2.2. Prove di carico

Le prove di carico, ove ritenute necessarie dal collaudatore, rispetteranno le modalità sottoindicate.

Il programma delle prove deve essere sottoposto al direttore dei lavori ed al progettista e reso noto al costruttore.

Le prove di carico si devono svolgere con le modalità indicate dal collaudatore che se ne assume la piena responsabilità, mentre, per quanto riguarda la loro materiale attuazione, e in particolare per le eventuali puntellazioni precauzionali, è responsabile il direttore dei lavori.

I carichi di prova devono essere, di regola, tali da indurre le sollecitazioni massime di progetto. In relazione al tipo della struttura ed alla natura dei carichi le prove devono essere convenientemente protratte nel tempo.

L'esito della prova sarà valutato sulla base dei seguenti elementi:

- le deformazioni si accrescano all'incirca proporzionalmente ai carichi;
- nel corso della prova non si siano prodotte lesioni, deformazioni o dissesti che compromettano la sicurezza o la conservazione dell'opera;
- la deformazione residua dopo la prima applicazione del carico massimo non superi una quota parte di quella totale commisurata ai prevedibili accertamenti iniziali di tipo anelastico della struttura oggetto della prova. Nel caso invece che tale limite venga superato, prove di carico successive accertino che la struttura tenda ad un comportamento elastico;
- la deformazione elastica risulti non maggiore di quella calcolata.

Quando le opere siano ultimate prima della nomina del collaudatore, le prove di carico possono essere eseguite dal direttore dei lavori, che ne redige verbale sottoscrivendolo assieme al costruttore. È facoltà del collaudatore controllare, far ripetere ed integrare prove precedentemente eseguite.