

Calcolo di elementi strutturali sottili di acciaio inossidabile profilati a freddo

COFERMET

ACCIAI SPECIALI ED INOSSIDABILI SpA

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE

**Calcolo di elementi
strutturali sottili
di acciaio inossidabile
profilati a freddo**

COFERMET

ACCIAI SPECIALI ED INOSSIDABILI SpA

20121 Milano, via del Politecnico 3 ■ Telefoni 79.82.32 - 78.09.41 - (8 linee con selezione automatica) ■ Telex 31696
Telegrammi COFERMET-MILANO ■ Magazzini: 20092 Cinisello Balsamo (Milano), via Cantù ■ Telefono 92.89.077/156

La presente traduzione del manuale « Design of Light Gage Cold-Formed Stainless Steel Structural Members », elaborato dal Committee on Building Research and Technology, e pubblicato dall'A.I.S.I. (edizione 1968), si propone di offrire un testo, in lingua italiana, specializzato nel campo delle strutture leggere di acciaio inossidabile. La traduzione è strettamente conforme al testo originale; l'unico scostamento riguarda l'aggiunta di quattro figure tratte da « Specification for the Design of Light Gage Cold-Formed Steel Structural Members » edizione A.I.S.I. - 1962, per una migliore comprensione dei concetti esposti.

Si può dire infatti che il manuale edito nel 1962 riguarda le strutture leggere di acciaio al carbonio, mentre il presente manuale esamina le strutture realizzate con acciai inossidabili. La sostanziale differenza tra le due pubblicazioni discende dalle diverse proprietà fisiche e meccaniche delle due famiglie di acciai. Gli acciai inossidabili si caratterizzano, rispetto a quelli al carbonio, soprattutto per il diverso comportamento elastico, nonché per differenti valori resistenziali, tensioni ammissibili, coefficienti di sicurezza e così via.

Perciò questo manuale può essere considerato come una necessaria prosecuzione e completamento di quello edito nel 1962.

La COFERMET Acciai Speciali ed Inossidabili ringrazia l'A.I.S.I. per aver autorizzato la presente traduzione.

PREFAZIONE

L'acciaio inossidabile è usato da molti anni nelle costruzioni con funzioni architettoniche. Ciononostante nel passato la mancanza di appropriate Norme di Calcolo ha costituito una limitazione al suo impiego in elementi di strutture richiedenti verifiche di resistenza.

La prima parte di questo manuale contiene la 1^a Edizione delle « Norme di calcolo di elementi strutturali sottili di acciaio inossidabile, profilati a freddo » edita nel 1967 dallo American Iron and Steel Institute. Esso dà delle regole per il calcolo di elementi profilati a freddo con sei tipi comuni di acciaio inossidabile austenitico solubilizzato e splanato. Le Norme sono basate sui risultati di un vasto programma di ricerche, durate quattro anni, alla Cornell University, svolto sotto gli auspici dell'Istituto fin dal 1963, e sull'esperienza

accumulata nel calcolo di elementi strutturali di acciaio al carbonio, profilati a freddo. Nella preparazione delle Norme sono state prese in considerazione le differenze tra le proprietà meccaniche dell'acciaio inossidabile e quelle dell'acciaio al carbonio.

La seconda parte contiene un commento sulle Norme, nel quale sono descritte le caratteristiche del materiale e le ragioni logiche che sono alla base delle varie prescrizioni.

In un prossimo futuro verrà pubblicato un secondo volume di queste Norme che si occuperà dell'acciaio inossidabile austenitico tipo 301, nei due stati: 1/4 duro e 1/2 duro. Alla Cornell University è in corso il lavoro di ricerca su questi acciai di più elevata resistenza allo snervamento.

INDICE

PARTE I - Norme per il calcolo di elementi strutturali sottili di acciaio inossidabile profilati a freddo	» 11
CAPITOLO 1 - GENERALITÀ	» 11
1.1 Finalità	» 11
1.2 Materiali	» 11
CAPITOLO 2 - NORME DI CALCOLO	» 11
2.1 Procedimento	» 11
2.2 Definizioni	» 11
2.3 Proprietà dei profilati	» 12
2.3.1 Proprietà degli elementi compressi	» 12
2.3.1.1 Elementi irrigiditi senza irrigidimenti intermedi	» 12
2.3.1.2 Elementi a irrigidimenti multipli ed elementi larghi con bordi irrigiditi	» 12
2.3.2 Irrigidimenti per elementi compressi	» 13
2.3.2.1 Irrigidimenti del bordo	» 13
2.3.2.2 Irrigidimenti intermedi	» 13
2.3.3 Rapporti di larghezza piana massimi ammissibili	» 14
2.3.4 Altezza massima ammissibile di anime piane non irrigidite	» 14
2.3.5 Campate insolitamente corte sottoposte a carichi concentrati	» 14
2.4 Calcolo di elementi inflessi	» 14
2.4.1 Determinazione della resistenza	» 14
2.4.2 Determinazione delle deformazioni	» 14
CAPITOLO 3 - TENSIONI AMMISSIBILI DI CALCOLO	» 15
3.1 Tensione base di calcolo	» 15
3.1.1 Utilizzazione dell'incrudimento dovuto alla profilatura	» 16
3.1.1.1 Tipi di profilati	» 16
3.1.1.2 Limitazioni	» 17
3.2 Compressione di elementi non irrigiditi	» 17
3.3 Tensioni critiche per elementi irrigiditi	» 17
3.4 Travi ad anima singola non controventate lateralmente	» 18
3.5 Tensioni ammissibili nelle anime di travi	» 18
3.5.1 Tensioni tangenziali nelle anime	» 18
3.5.2 Sollecitazioni di flessione nelle anime	» 19
3.5.3 Sollecitazioni composte di flessione e taglio nelle anime	» 19
3.6 Ingobbamento dell'anima di travi	» 20
3.7 Elementi compressi caricati assialmente	» 21
3.7.1 Tensioni unitarie	» 21
3.7.1.1 Profilati compatti	» 21
3.7.1.2 Profilati non compatti	» 21
3.7.2 Snellezza massima	» 22
3.8 Tensioni di pressoflessione	» 22
3.9 Tensioni per vento o terremoto	» 23
3.9.1 Vento o terremoto da soli	» 23
3.9.2 Forze combinate	» 23
3.10 Elementi cilindrici tubolari	» 23
CAPITOLO 4 - COLLEGAMENTI	» 23
4.1 Generalità	» 23
4.2 Saldature	» 23
4.2.1 Saldature per fusione	» 23
4.2.2 Saldature a resistenza elettrica	» 24

4.3	Collegamento di due profilati a C per formare un profilato ad I	Pag. 24
4.4	Spaziatura dei collegamenti per unione di profilati compressi	» 25
4.5	Collegamenti con bulloni	» 25
4.5.1	Distanza minima e distanza dai bordi di bulloni allineati con la forza agente	» 25
4.5.2	Tensione di trazione sulla sezione netta	» 25
4.5.3	Tensione di rifollamento	» 25
4.5.4	Tensioni tangenziali nei bulloni	» 25
CAPITOLO 5 - ESIGENZE DI CONTROVENTATURA		» 26
5.1	Profilati a C ed a Z usati come travi	» 26
5.1.1	Distanza fra le controventature	» 26
5.1.2	Calcolo delle controventature	» 26
5.1.3	Tensioni ammissibili	» 26
5.2	Travi a scatola non controventate lateralmente	» 26
CAPITOLO 6 - PROVE		» 26
6.1	Determinazione delle relazioni tensione-deformazione	» 26
6.2	Prove per casi speciali	» 26
6.2.1	Generalità	» 26
6.2.2	Prove per determinare il comportamento della struttura	» 27
6.2.3	Prove per le proprietà della sezione totale	» 27
APPENDICE - PROVE DI COMPRESSIONE		» 27
TABELLE E FIGURE		
Tabella 2.4.2	Moduli secanti per il calcolo della deformazione	» 15
Tabella 3.3	Fattori di riduzione di plasticità per elementi irrigiditi	» 17
Tabella 3.5.1	Fattori di riduzione di plasticità per tensioni tangenziali nelle anime	» 19
Tabella 3.5.2	Fattori di riduzione di plasticità per sollecitazioni di flessione nelle anime	» 20
Tabella 3.7.1.1	Moduli tangenti per il calcolo di solidi caricati di punta	» 22
Figura 2.2.a	Vari tipi di profilati senza e con irrigidimenti	» 11
Figura 2.2.e	Sezioni trasversali efficaci di elementi inflessi	» 13
Figura 2.3.2.1	Irrigidimento del bordo: bordo piegato	» 13
Figura 2.4.2.a	Moduli secanti per il calcolo della deformazione-compressione longitudinale e trasversale	» 15
Figura 2.4.2.b	Moduli secanti per il calcolo della deformazione-trazione longitudinale e trasversale	» 16
Figura 3.3	Fattori di riduzione di plasticità per elementi compressi irrigiditi	» 18
Figura 3.5.1	Fattore di riduzione di plasticità per tensioni tangenziali nelle anime	» 19
Figura 3.5.2	Fattore di riduzione di plasticità per sollecitazioni di flessione nelle anime	» 20
Figura 3.7.1.1*	Area efficace di calcolo per determinare Q in sezioni trasversali di profilati compressi	» 21
Figura 3.7.1.1	Moduli tangenti per il calcolo di solidi caricati di punta	» 23
<hr/>		
PARTE II - Commento alle norme per il calcolo di elementi strutturali sottili di acciaio inossidabile profilati a freddo		Pag. 28
CAPITOLO 1 - GENERALITÀ		» 28
1.1	Finalità	» 28
1.2	Materiali	» 28
CAPITOLO 2 - NORME DI CALCOLO		» 28
2.1	Procedimento	» 28
2.3	Proprietà dei profilati	» 28

2.3.1.1	Elementi irrigiditi senza irrigidimenti intermedi	Pag. 29
2.3.1.2	Elementi a irrigidimenti multipli ed elementi larghi con bordi irrigiditi	» 29
2.3.2.1	Irrigidimenti del bordo	» 30
2.3.2.2	Irrigidimenti intermedi	» 30
2.3.3	Rapporti di larghezza piana massimi ammissibili	» 30
2.3.4	Altezza massima ammissibile di anime piane irrigidite	» 30
2.3.5	Campate insolitamente corte sottoposte a carichi concentrati	» 30
2.4	Calcolo di elementi inflessi	» 31
2.4.1	Determinazione della resistenza	» 31
2.4.2	Determinazione delle deformazioni	» 31
 CAPITOLO 3 - TENSIONI AMMISSIBILI DI CALCOLO		» 31
3.1	Tensione base di calcolo	» 31
3.1.1	Utilizzazione dell'incrudimento dovuto alla profilatura	» 31
3.2	Compressione di elementi non irrigiditi	» 31
3.3	Tensioni critiche per elementi irrigiditi	» 32
3.4	Travi ad anima singola lateralmente non controventate	» 32
3.5	Tensioni ammissibili nelle anime di travi	» 32
3.5.1	Tensioni tangenziali nelle anime	» 32
3.5.2	Sollecitazioni di flessione nelle anime	» 32
3.5.3	Sollecitazioni composte di flessione e taglio nelle anime	» 32
3.6	Ingobbamento dell'anima di travi	» 34
3.7	Elementi compressi caricati assialmente	» 34
3.7.1	Tensioni unitarie	» 34
3.7.1.1	Profilati compatti	» 34
3.7.1.2	Profilati non compatti	» 34
3.7.2	Snellezza massima	» 34
3.8	Tensione di pressoflessione	» 34
3.9	Tensioni per vento o terremoto	» 34
3.10	Elementi cilindrici tubolari	» 34
 CAPITOLO 4 - COLLEGAMENTI		» 34
4.1	Generalità	» 34
4.2	Saldature	» 34
4.2.1	Saldature per fusione	» 34
4.2.2	Saldatura a resistenza elettrica	» 34
4.3	Collegamento di due profilati a C per formare un profilato ad I	» 34
4.4	Distanza dei collegamenti in elementi compressi	» 34
4.5	Collegamenti con bulloni	» 34
4.5.3	Tensione di rifollamento nei collegamenti con bulloni	» 34
4.5.4	Tensioni tangenziali nei bulloni	» 35
 CAPITOLO 5 - ESIGENZE DI CONTROVENTATURA		» 35
5.1	Profilati a C ed a Z usati come travi	» 35
5.2	Travi a scatola non controventate lateralmente	» 35
 CAPITOLO 6 - PROVE		» 35
6.1	Determinazione delle relazioni tensione-deformazione	» 35
6.2	Prove per casi speciali	» 35
6.2.1	Generalità	» 35
6.2.2	Prove per determinare il comportamento della struttura	» 35
6.2.3	Prove per le proprietà della sezione totale	» 35
 BIBLIOGRAFIA		» 36
 TABELLE FUORI TESTO		» 37
Proprietà meccaniche degli acciai inossidabili (da ASTM: A 167-63)		» 37
Tabelle di conversione		» 37
Caratteristiche degli acciai inossidabili Serie FIAT 300		» 39

SIMBOLI E DEFINIZIONI

<i>Simbolo</i>	<i>Definizione</i>	<i>Paragrafo</i>
A	area dell'intera sezione retta dell'elemento [in. ²]	3.7.1
a	misura dell'intervallo di controventatura [in.]	5.1.2
A _{eff}	area efficace dell'irrigidimento [in. ²]	2.3.1.2
A _{tot}	area totale dell'irrigidimento [in. ²]	2.3.1.2
B	lunghezza effettiva dell'appoggio [in.]	3.6
b	larghezza efficace o larghezza efficace di calcolo [in.]	2.2
b'	larghezza efficace di calcolo del sotto-elemento, o elemento [in.]	2.3.1.2
C _m	coefficiente definito nel paragrafo 3.8 [adimensionale]	3.8
c	valore dell'accartocciamento [in.]	2.3.3
c	distanza verticale tra file di collegamenti [in.]	4.3
D	diametro medio di un elemento cilindrico tubolare [in.]	3.10
D/t	rapporto diametro-spessore	3.10
d	lunghezza di un bordo piegato [in.]	2.3.2.1
d	diametro del bullone [in.]	4.5.2
d	altezza del profilato [in.]	3.4
		(commento)
E _{cs}	modulo secante, ala compressa [p.s.i.]	2.4.2
E _o	modulo iniziale di elasticità [p.s.i.]	3.2, 3.4
		(commento)
E _r	modulo ridotto di elasticità [p.s.i.]	2.4.2.
E _v /E _o	fattore di riduzione della plasticità	3.2, 3.5.2
E _t	modulo tangente nella compressione [p.s.i.]	3.7.1, 4.4
E _t	modulo tangente [p.s.i.]	3.4
		(commento)
E _{ts}	modulo secante, ala tesa [p.s.i.]	2.4.2
γ E _v /E _o	fattore di riduzione della plasticità	3.3
F _a	tensione media assiale massima ammissibile nella compressione, profilati compatti [p.s.i.]	3.7.1
F' _a	tensione media assiale massima ammissibile nella compressione, profilati non compatti [p.s.i.]	3.7.1
F _b	tensione massima unitaria di flessione in compressione [p.s.i.]	3.8
F' _o	135.000.000/(L/r _b) ² [p.s.i.]	3.8
f	tensione unitaria effettiva [p.s.i.]	2.3.1.1
f	tensione di calcolo [p.s.i.]	4.4
f _a	tensione unitaria assiale [p.s.i.]	3.8
f _{av}	tensione media sulla larghezza non ridotta dell'ala [p.s.i.]	2.3.3
f _b	tensione base di calcolo [p.s.i.]	3.1
f' _b	tensione effettiva di compressione alla congiunzione dell'ala con l'anima [p.s.i.]	3.5.3
f' _b	tensione unitaria di flessione [p.s.i.]	3.8
f _c	tensione di compressione su di un elemento piano non irrigidito [p.s.i.]	3.2
f' _c	tensione massima di compressione, travi non controventate lateralmente [p.s.i.]	3.4
f _{cr}	tensione critica [p.s.i.]	3.3
f _{pl}	limite di proporzionalità [p.s.i.]	3.1
f _{sy}	resistenza allo snervamento a taglio [p.s.i.]	3.1
		(commento)
f _w	tensione di compressione in anima piana [p.s.i.]	3.5.2.
f _y	resistenza allo snervamento [p.s.i.]	3.1
G _o	modulo di taglio iniziale [p.s.i.]	3.5.1
G _s	modulo secante di taglio [p.s.i.]	3.5.1
G _s /G _o	fattore di riduzione della plasticità	3.5.1
h	altezza della trave [in.]	2.3.3
h	altezza dell'anima misurata internamente agli spessori delle ali [in.]	2.3.4
I _{min}	momento minimo di inerzia dell'irrigidimento [in. ⁴]	2.3.2.1
I _s	momento di inerzia dell'area totale dell'elemento a irrigidimenti multipli [in. ⁴]	2.3.2.2
I _x	momento di inerzia di un profilato a C rispetto al suo asse baricentrico normale alla anima [in. ⁴]	4.3

<i>Simbolo</i>	<i>Definizione</i>	<i>Paragrafo</i>
I_x	momento di inerzia della sezione rispetto all'asse baricentrico perpendicolare all'anima [in. ⁴]	3.4 (commento)
I_{xy}	momento centrifugo della sezione totale rispetto agli assi baricentrici parallelo e perpendicolare all'anima [in. ⁴]	5.1.2
I_y	momento di inerzia della sezione perpendicolare all'anima [in. ⁴]	5.1.2
I_y	momento di inerzia della sezione rispetto all'asse baricentrico parallelo all'anima [in. ⁴]	3.4 (commento)
K	m/h oppure I_{xy}/I_y	5.1.2
k	fattore di riduzione dell'area [adimensionale]	2.3.1.2
k	$f_b/20.000$ [adimensionale]	3.6
k	coefficiente di irrigidimento del bordo [adimensionale]	2.3 (commento)
L	luce totale, nel caso di travi semplicemente appoggiate alle due estremità; distanza tra i punti di flesso, per travi continue; il doppio della lunghezza per travi a sbalzo [in.]	2.3.5
L	lunghezza compresa tra due controvenature [in.]	3.4
L	lunghezza effettiva della barra od asta compressa [in.]	3.7.1
M_1/M_2	rapporto dei momenti agli estremi	3.8
m	distanza del centro di taglio di un profilato dal piano medio dell'anima [in.]	4.3
n	raggio di raccordo interno diviso per lo spessore dell'anima	3.6
P	carico totale sul solido caricato di punta [lb.]	3.7.1
P	forza trasmessa dal bullone [lb.]	4.5.1
P_{max}	carico concentrato ammissibile, o reazione [lb.]	3.6
Q	coefficiente determinato in accordo con il paragrafo 3.7.1 [adimensionale]	3.7.1
q	carico distribuito sulla trave [lb./in.]	4.3
r	raggio di inerzia dell'intera sezione retta [in.]	3.7.1
r_1	raggio di inerzia di un profilato ad I [in.]	4.3
r_2	raggio di inerzia di un profilato a C [in.]	4.3
r_b	raggio di inerzia rispetto all'asse di flessione [in.]	3.8
r_x	raggio di inerzia rispetto all'asse baricentrico perpendicolare all'anima [in.]	3.4 (commento)
r_y	raggio di inerzia rispetto all'asse baricentrico parallelo all'anima [in.]	3.4 (commento)
S_w	resistenza richiesta delle saldature o collegamenti [lb.]	4.3
s	distanza fra i collegamenti [in.]	4.4, 4.5.2
s_{max}	distanza longitudinale dei collegamenti [in.]	4.3
t	spessore [in.]	
v	valore massimo della tensione tangenziale [p.s.i.]	3.5
v'	tensione media tangenziale effettiva [p.s.i.]	3.5.3
v_b	tensione tangenziale base per il calcolo [p.s.i.]	3.1
w	larghezza piana [in.]	2.2
w	sporgenza delle ali [in.]	4.3
w_{max}	larghezza di un'ala o semidistanza fra le anime [in.]	2.3.3
w_s	larghezza di un elemento, usata solo per il calcolo [in.]	2.3.2.2
w/t	rapporto di larghezza piana	2.2
x	distanza del carico concentrato dalla controventatura [in.]	5.1.2
η	fattore di riduzione di plasticità [adimensionale]	2.3 (commento)
μ	modulo di Poisson nel campo elastico [adimensionale]	2.3 (commento)
σ_{cr}	tensione normale critica [p.s.i.]	2.3, 3.4 (commento)
τ_{cr}	tensione tangenziale critica [p.s.i.]	3.5.1

PARTE I

NORME PER IL CALCOLO DI ELEMENTI STRUTTURALI SOTTILI DI ACCIAIO INOSSIDABILE PROFILATI A FREDDO

EDIZIONE 1968

CAPITOLO 1 - GENERALITÀ

1.1 Finalità

Queste norme devono venir applicate al calcolo di elementi strutturali profilati a freddo da lamiera o nastro di acciaio inossidabile solubilizzato e spianato (*), Tipi AISI 201, 202, 301, 302, 304 e 316, usati per elementi strutturali portanti in costruzioni e per altre strutture caricate staticamente.

In esse nulla è in contrasto con le disposizioni delle « Norme per il calcolo di elementi strutturali sottili di acciaio, profilati a freddo », pubblicate dall'American Iron and Steel Institute¹, che fissano le regole da usare nel calcolo di elementi strutturali profilati a freddo da lamiera o nastro di acciaio al carbonio ed acciaio debolmente legato di elevata resistenza.

1.2 Materiali

Queste Norme considerano l'uso di lamiera e nastro di acciaio inossidabile come definito in generale dalle prescrizioni delle sotto riportate norme standard della American Society for Testing and Materials:

« Lamiere e nastri di acciaio al cromo-nichel resistente alla corrosione » denominazione ASTM: A 167-63

(« Plate, Sheet, and Strip, Corrosion-Resisting Chromium-Nickel Steel » ASTM Designation: A 167-63).

« Lamiere e nastri di acciaio al cromo-nichel-manganese resistente alla corrosione », denominazione ASTM: A 412-63

(« Plate, Sheet, and Strip, Corrosion-Resisting Chromium-Nickel-Manganese Steel », ASTM Designation: A 412-63)

ad eccezione di come modificato nel Capitolo 3 - « Tensioni ammissibili di calcolo ».

CAPITOLO 2 - NORME DI CALCOLO

2.1 Procedimento

Tutti i calcoli per carico di sicurezza, tensione, deformazioni e simili, devono essere in accordo con il metodo usuale di calcolo delle strutture, tranne dove sia prescritto altrimenti.

2.2 Definizioni

I seguenti termini, laddove appaiono in queste Norme, avranno il significato qui di seguito indicato:

a) **Elementi compressi irrigiditi.** Questo termine va riferito ad elementi piani compressi, nei quali entrambi i bordi paralleli alla direzione della forza di compressione sono irrigiditi mediante anime, ali, bordi piegati, irrigidimenti intermedi e simili secondo le disposizioni ed i limiti del Paragrafo 2.3.2.

Il termine « elemento compresso irrigidito » si applica ad esempio alla parte piana delle ali compresse di profilati o strutture soggette a flessione oppure a tutte le parti piane di ali ed anime di profilati soggetti a compressione assiale (figura 2.2.a).

b) **Elementi compressi non irrigiditi.** Qualsiasi elemento piano compresso nel quale solo un bordo è irrigidito (conforme a quanto detto nel precedente capoverso) mentre l'altro

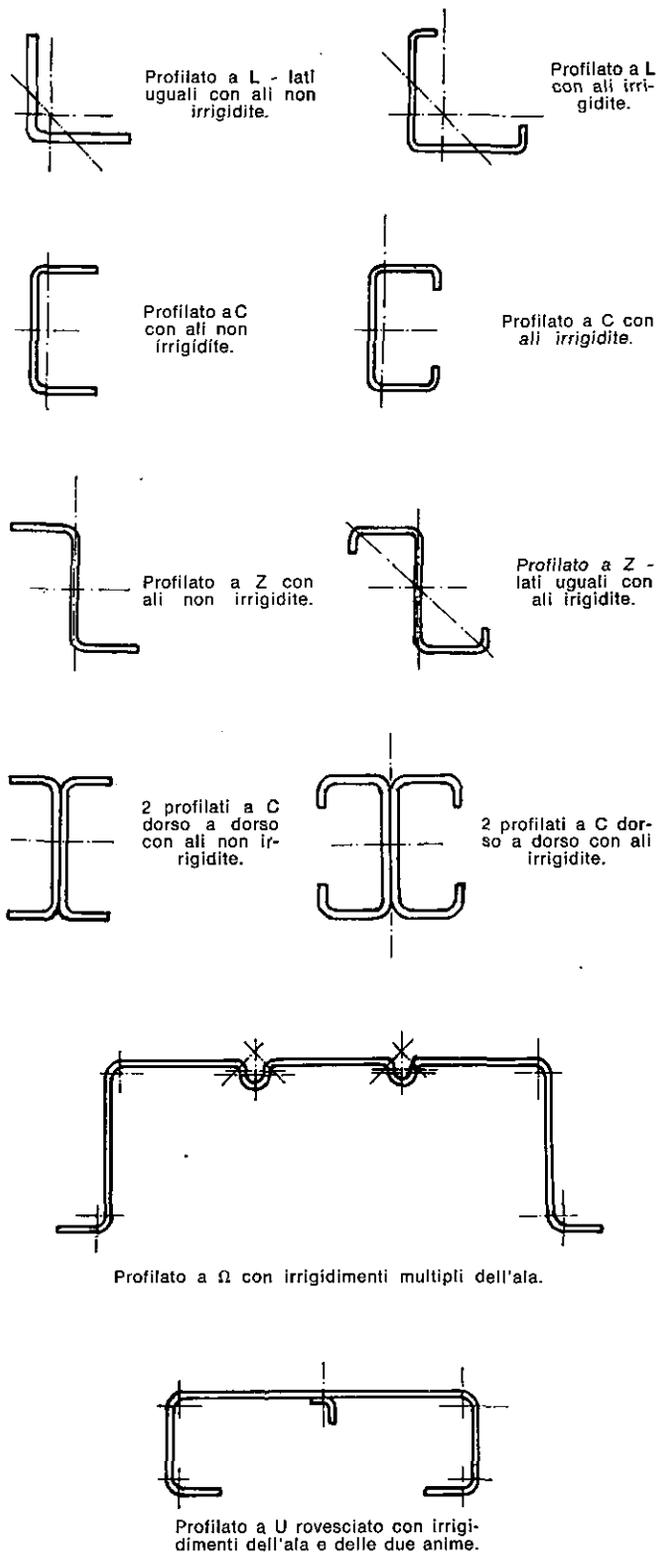


Fig. 2.2.a - Vari tipi di profilati senza e con irrigidimenti¹.

(*) Spianatura realizzata sia mediante spianatrice a rulli, che mediante macchina stiratrice (V. Parte II, par. 1.2).

non è irrigidito. Ad esempio non sono irrigidite le ali degli angolari o di un profilato a C.

c) **Elementi compressi con irrigidimenti multipli.** Sono elementi compresi tra due anime o tra un'anima ed un bordo, ma che non sono piani bensì forniti di uno o più irrigidimenti intermedi, disposti parallelamente alla forza di compressione; questi irrigidimenti devono essere conformi alle disposizioni ed ai limiti del paragrafo 2.3.2.2.

d) **Rapporto di larghezza piana.** È il rapporto tra la larghezza piana, w , di un elemento (con la esclusione di qualsiasi raccordo curvo) e lo spessore, t , della lamiera di cui è costituito l'elemento. Nel caso di profilati ad I, T, C e Z, la larghezza piana, w , è la larghezza della parte piana dell'ala, escludendo i raccordi con l'anima ed ogni bordo piegato che possa trovarsi alla estremità esterna dell'ala (figura 2). Nel caso di profilati a più anime, quali i profilati a Ω , ad U, a scatola, la larghezza w è la larghezza della parte piana dell'ala compresa tra le anime adiacenti, esclusi i raccordi con esse.

e) **Larghezza efficace di calcolo.** Dove la larghezza piana, w , di un elemento viene ridotta per motivi di calcolo, la larghezza ridotta di calcolo, b , è definita « larghezza efficace », oppure « larghezza efficace di calcolo ». Questa « larghezza efficace di calcolo » viene determinata in accordo con i paragrafi 2.3.1 e 2.3.5 (figura 2.2.e).

2.3 Proprietà dei profilati

Le proprietà dei profilati (area della sezione retta, momento di inerzia, modulo di resistenza, raggio di inerzia, ecc.) dovranno essere determinate in accordo con i metodi soliti del calcolo delle strutture. Le proprietà dovranno calcolarsi per la sezione totale retta degli elementi (o per la sezione netta, laddove è prescritto l'impiego di una sezione netta), eccetto nei casi nei quali sia stabilito, dalle disposizioni nei paragrafi 2.3.1 e 2.3.5 di queste Norme, l'impiego di una sezione retta ridotta, ossia di una « larghezza efficace di calcolo ».

2.3.1 Proprietà degli elementi compressi

Larghezza efficace di calcolo. Nel calcolo delle proprietà delle sezioni di elementi inflessi e nel calcolo dei valori di Q (paragrafo 3.7.1) per elementi compressi, la larghezza piana, w , di qualsiasi elemento compresso che abbia un rapporto di larghezza piana maggiore del rapporto limite w/t come qui di seguito verrà definito, verrà ridotta agli effetti del calcolo ad una larghezza efficace b o b' , come stabilito in accordo con le prescrizioni dei paragrafi 2.3.1.1 o 2.3.1.2 con le limitazioni di cui ai paragrafi 2.3.5, quando esse si possono applicare. Quella parte della larghezza totale che si considera eliminata per arrivare alla larghezza efficace dovrà essere situata simmetricamente rispetto all'asse dell'elemento.

2.3.1.1 Elementi irrigiditi senza irrigidimenti intermedi

Le larghezze efficaci degli elementi compressi che non sono soggetti alle prescrizioni di cui al paragrafo 2.3.1.2 dovranno essere determinate con le seguenti formule.

Per la determinazione della resistenza:

le ali sono completamente efficaci ($b = w$) fino a

$$(w/t)_{lim} = \frac{3790}{\sqrt{f}}$$

per ali con w/t maggiore di $(w/t)_{lim}$

$$\frac{b}{t} = \frac{7590}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{1900}{(w/t) \sqrt{f}} \right] \quad (1)$$

Per la determinazione delle deformazioni (frecce):

le ali sono completamente efficaci ($b = w$) fino a

$$(w/t)_{lim} = \frac{5160}{\sqrt{f}}$$

per ali con w/t maggiore di $(w/t)_{lim}$

$$\frac{b}{t} = \frac{10320}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{2580}{(w/t) \sqrt{f}} \right] \quad (2)$$

dove

w/t = rapporto di larghezza piana

b = larghezza efficace di calcolo [in.]

f = tensione unitaria effettiva nell'elemento compresso, calcolata sulla base della larghezza efficace [p.s.i.]

t = spessore dell'elemento [in.]

2.3.1.2 Elementi a irrigidimenti multipli ed elementi larghi con bordi irrigiditi

Laddove il rapporto di larghezza piana di un sub-elemento appartenente ad un elemento compresso a irrigidimenti multipli, o nel caso di un elemento irrigidito compresso che non ha irrigidimenti intermedi e che ha solamente un bordo longitudinale connesso ad un'anima, non supera 60, la larghezza efficace di calcolo, b , di questo sub-elemento od elemento, deve essere determinata in accordo con le disposizioni di cui al Paragrafo 2.3.1.1.

Qualora tale rapporto di larghezza piana superi 60, la larghezza efficace di calcolo, b' , di questo sub-elemento o elemento, deve essere determinata con la formula seguente (*):

$$b'/t = b/t - 0,10 (w/t - 60) \quad (3)$$

dove:

w/t = rapporto di larghezza piana del sub-elemento o dell'elemento

b = larghezza efficace di calcolo determinata in accordo alle prescrizioni di cui al Paragrafo 2.3.1.1 [in.]

b' = larghezza efficace di calcolo del sub-elemento o dell'elemento da impiegarsi nei calcoli [in.].

Per calcolare le proprietà efficaci strutturali di un elemento che abbia sub-elementi compressi, o di un elemento soggetto alla riduzione di larghezza efficace di cui si è detto sopra, l'area degli irrigidimenti (bordi irrigiditi o irrigidimenti intermedi (**)) deve essere considerata ridotta ad un'area efficace come segue:

per w/t compreso fra 60 e 90

$$A_{eff} = k A_{tot} \text{ [in.}^2\text{]} \quad (4)$$

dove:

$$k = (3 - 2 b'/w) - \frac{1}{30} \left[1 - \frac{b'}{w} \right] \left[\frac{w}{t} \right] \quad (5)$$

per w/t maggiore di 90

$$A_{eff} = (b'/w) A_{tot} \text{ [in.}^2\text{]}$$

Nelle espressioni sopra riportate A_{eff} ed A_{tot} si riferiscono solo all'area della sezione dell'irrigidimento senza tener conto di alcuna parte degli elementi adiacenti. Il baricentro dell'irrigidimento si deve considerare come situato nel baricentro dell'area totale dell'irrigidimento, ed il suo momento di inerzia rispetto al proprio asse baricentrico sarà quello della sezione totale dell'irrigidimento.

(*) Vedere par. 2.3.3 (a) per le limitazioni sul rapporto ammissibile w/t di un elemento compresso irrigidito ad un bordo da un mezzo che non sia un semplice bordo piegato.

(**) Vedere par. 2.3.2.2 per le limitazioni sul numero degli irrigidimenti intermedi che possono essere considerati efficaci ed il loro minimo momento di inerzia.

2.3.2 Irrigidimenti per elementi compressi

2.3.2.1 Irrigidimenti del bordo

Affinchè un elemento piano compresso possa essere considerato un « elemento compresso irrigidito », dovrà essere irrigidito lungo ciascun bordo longitudinale parallelo alla direzione della sollecitazione, da un'anima, un bordo piegato, od altri mezzi di irrigidimento, che abbiano un momento di inerzia non inferiore a:

$$I_{\min} = 1,83 t \sqrt{\left(\frac{w}{t}\right)^2 - \frac{1.795.600}{f_b}} \geq 9,2 t^4 \text{ [in.}^4\text{]} \quad (6)$$

dove:

w/t = rapporto di larghezza piana dell'elemento irrigidito

I_{\min} = minimo momento di inerzia ammissibile dell'irrigidimento (di qualsiasi forma) rispetto al suo asse baricentrico parallelo all'elemento rinforzato [in.⁴].

Laddove l'irrigidimento consiste in un bordo piegato raccordato con l'elemento irrigidito (figura 2.3.2.1), la richiesta lunghezza complessiva, d , di tale bordo deve essere determinata con la formula seguente:

$$d = 2,8 t \sqrt{\left(\frac{w}{t}\right)^2 - \frac{1.795.600}{f_b}} \geq 4,8 t \text{ [in.]} \quad (7)$$

Un semplice bordo piegato non sarà considerato come irrigidimento del bordo per un elemento che abbia un rapporto di larghezza piana maggiore di 50.

2.3.2.2 Irrigidimenti intermedi

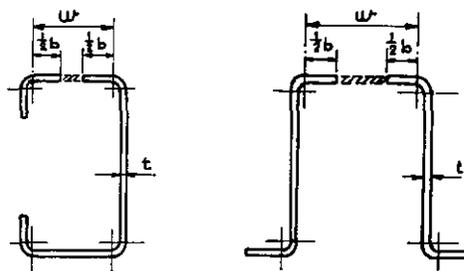
Affinchè un elemento piano compresso possa venir considerato come un « elemento a irrigidimenti multipli », esso deve essere irrigidito fra le anime, o fra un'anima ed un bordo, per mezzo di irrigidimenti intermedi, parallelamente alla direzione della sollecitazione; il momento di inerzia di tale irrigidimento intermedio non deve essere inferiore al doppio del momento minimo di inerzia ammissibile precisato per gli irrigidimenti del bordo nel paragrafo 2.3.2.1. Si devono inoltre applicare le seguenti limitazioni:

- se la distanza degli irrigidimenti fra due anime è tale che il rapporto di larghezza piana del sub-elemento compreso tra gli irrigidimenti è maggiore di $(w/t)_{lim}$ (paragrafo 2.3.1) devono essere considerati efficaci solo due irrigidimenti intermedi (quelli più vicini ad ogni anima);
- se la distanza degli irrigidimenti fra un'anima ed un irrigidimento del bordo è tale che il rapporto di larghezza piana del sub-elemento compreso tra gli irrigidimenti è maggiore di $(w/t)_{lim}$ (paragrafo 2.3.1), solo un irrigidimento intermedio deve venir considerato efficace;
- se gli irrigidimenti intermedi sono così vicini che il rapporto di larghezza piana fra gli irrigidimenti non supera $(w/t)_{lim}$ (paragrafo 2.3.1), tutti gli irrigidimenti sono considerati efficaci. Nel calcolare il rapporto di larghezza piana di un intero elemento a irrigidimenti multipli, questo deve essere considerato come sostituito da un elemento senza irrigidimenti intermedi, la cui larghezza, w_s , è la larghezza complessiva fra le anime o fra un'anima ed un bordo ed il cui spessore equivalente è determinato come segue:

$$t_s = \sqrt[3]{\frac{12 I_s}{w_s}} \text{ [in.]} \quad (8)$$

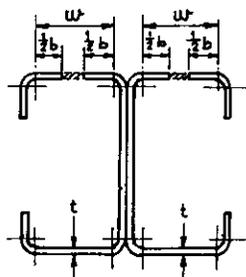
dove:

I_s = momento di inerzia dell'area totale dell'elemento a irrigidimenti multipli, comprendente i rinforzi intermedi, rispetto al suo asse baricentrico [in.⁴].

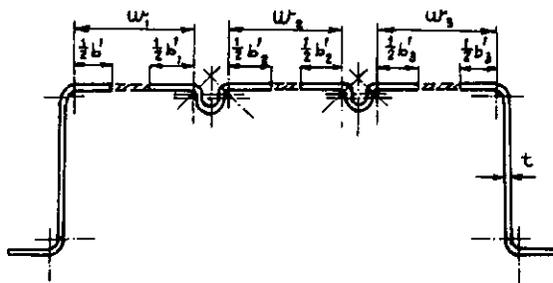


Profilato a C con ali irrigidite

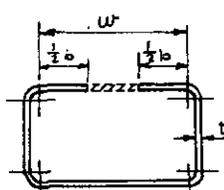
Profilato a Ω.



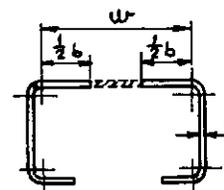
2 profilati a C dorso a dorso con ali irrigidite.



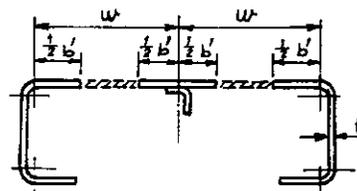
Profilato a Ω con irrigidimenti multipli.



Profilato a scatola.



Profilato a U rovesciato con irrigidimenti delle due anime.



Profilato a U rovesciato con irrigidimenti dell'ala e delle due anime.

Fig. 2.2.e - Sezioni trasversali efficaci di elementi inflessi 1.

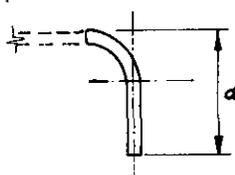


Fig. 2.3.2.1 - Irrigidimenti del bordo: bordo piegato 1.

2.3.3 Rapporti w/t massimi ammissibili

Il rapporto di larghezza piana complessivo massimo ammissibile w/t, non considerando gli irrigidimenti intermedi e prendendo per t lo spessore effettivo dell'elemento, deve essere:

- a) elemento compresso irrigidito lungo un bordo mediante l'unione a un'anima o a un'ala, lungo l'altro mediante:
 - semplice bordo piegato $(w/t)_{max} = 50$
 - ogni altro tipo di irrigidimento $(w/t)_{max} = 90$
- b) elemento compresso irrigidito lungo entrambi i bordi mediante l'unione ad un'anima o ad un'ala (profilati ad U o a scatola) $(w/t)_{max} = 400$
- c) elemento compresso non irrigidito $(w/t)_{max} = 50$

NOTA: elementi compressi non irrigiditi con rapporti w/t maggiori di circa 30 possono dare distorsioni sensibili senza diminuzione della capacità di resistenza. Per rapporti w/t fra 30 e 50, il paragrafo 3.2 dà due tensioni ammissibili per elementi non irrigiditi: una da usare quando non si possono accettare distorsioni (ondulazioni), l'altra quando sono ammissibili leggere distorsioni.

Elementi compressi irrigiditi con rapporti w/t superiori a circa 75 possono dare distorsioni sensibili se sottoposti alla tensione base di calcolo (paragrafo 3.1). Queste distorsioni non pregiudicano la capacità di resistenza dell'elemento; comunque quando sia necessario rendere minime o prevenire distorsioni visibili per elementi con elevati rapporti w/t, la tensione ammissibile deve venir determinata secondo quanto prescritto al paragrafo 3.3.

Elementi irrigiditi con rapporti w/t maggiori di 400 possono venir impiegati con sicurezza per sopportare carichi, ma possono verificarsi notevoli deformazioni di questi elementi sotto carico che possono rendere impossibile l'applicazione delle formule di calcolo contenute in queste Norme.

- d) Ali di larghezza superiore al normale: quando un'ala di un elemento inflesso è larga in modo non comune e si desidera evitare l'accartocciamento delle ali (ossia l'avvicinamento dell'ala verso l'asse neutro), la formula sotto riportata dà w_{max} per ali compresse e tese, sia irrigidite che non irrigidite:

$$w_{max} = \sqrt{\frac{1.800.000 th}{f_{av}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{100 c}{h}}, \text{ [in.]} \quad (9)$$

nella quale:

- w_{max} = larghezza dell'ala, escludendo i raccordi con l'anima; oppure semidistanza tra le anime per travi a scatola o ad U [in.]
- t = spessore dell'ala [in.]
- h = altezza della trave [in.]
- c = valore dell'accartocciamento [in.] (*)
- f_{av} = tensione media nella larghezza completa non ridotta dell'ala [p.s.i.] (dove gli elementi sono calcolati con il procedimento della larghezza efficace di calcolo, la tensione media è uguale alla tensione massima per il rapporto tra la larghezza efficace e la larghezza effettiva)

2.3.4 Altezza massima ammissibile di anime plane non irrigidite

Il rapporto h/t delle anime di elementi inflessi, tranne quando sono previsti degli irrigidimenti agli appoggi ed in corrispondenza di carichi concentrati, non deve superare 150 dove:

- h = altezza dell'anima misurata internamente agli spessori delle ali [in.]
- t = spessore dell'anima [in.]

(*) L'accartocciamento ammissibile varierà con i diversi tipi di profilati e deve venir stabilito dal progettista.

Dove l'anima è formata da due o più lamiere, il rapporto h/t di ciascuna lamiera non deve superare 150.

2.3.5 Campate insolitamente corte sottoposte a carichi concentrati

Quando la campata della trave è inferiore a 30 w' (w' definito come più sotto) ed è sottoposta ad un carico concentrato od a diversi carichi distanziati più di 2 w', la larghezza efficace di calcolo di ogni ala, sia tesa che compressa, deve essere limitata come segue:

TABELLA 2.3.5

Ali corte, larghe

Rapporto massimo ammissibile della larghezza efficace di calcolo con la larghezza effettiva

L/w'	Rapporto	L/w'	Rapporto
30	1,00	14	0,82
25	0,96	12	0,78
20	0,91	10	0,73
18	0,89	8	0,67
16	0,86	6	0,55

Nella tabella 2.3.5 si ha:

- L = lunghezza totale per travi semplicemente appoggiate, distanza tra i punti di flesso per travi incastrate agli estremi, doppio della lunghezza per travi a sbalzo [in.];
- w' = larghezza d'ala, misurata esternamente ai raccordi con l'anima per travi ad I e profilati simili, oppure semidistanza tra le anime per profilati a scatola o ad U [in.].

Per ali di travi ad I o profilati simili, irrigidite da bordi piegati, w' deve essere preso come la somma della larghezza d'ala misurata esternamente ai raccordi con l'anima più la lunghezza del bordo piegato.

2.4 Calcolo di elementi inflessi

2.4.1 Determinazione della resistenza

Il carico ammissibile per un elemento inflesso deve essere determinato con i metodi soliti di calcolo nel campo elastico, tenendo presenti le seguenti prescrizioni:

- a) la larghezza efficace di calcolo per ali compresse irrigidite deve essere determinata in accordo con le « Proprietà di elementi compressi irrigiditi », di cui al paragrafo 2.3.1, impiegando l'equazione data per la determinazione della resistenza;
- b) la larghezza efficace per ogni altro tipo di ala deve essere determinata secondo le prescrizioni sulle « Campate insolitamente corte sottoposte a carichi concentrati », di cui al paragrafo 2.3.5;
- c) le tensioni ammissibili devono venir determinate applicando le prescrizioni di cui al Capitolo 3 « Tensioni ammissibili di calcolo ».

2.4.2 Determinazione delle deformazioni (frecce)

Le deformazioni al carico di servizio devono venir determinate con i metodi soliti di calcolo nel campo elastico, tenendo presenti le seguenti modifiche:

- a) Il momento di inerzia efficace, I_{eff} , deve venir usato per quegli elementi che hanno ali compresse e irrigidite. La larghezza efficace di queste ali irrigidite deve essere determinata secondo le prescrizioni di cui al paragrafo 2.3.1 « Proprietà degli elementi compressi ed irrigiditi » imple-

gando l'equazione, data per la determinazione delle deformazioni, soggetta alle prescrizioni di cui al paragrafo 2.3.5 « Campate insolitamente corte sottoposte a carichi concentrati ».

- b) Il modulo ridotto di elasticità, come determinato più sotto, deve essere usato per tensioni nel campo anelastico.

$$E_r = \frac{E_{ts} + E_{cs}}{2} \text{ [p.s.i.]} \quad (10)$$

dove:

E_r = modulo ridotto di elasticità [p.s.i.]

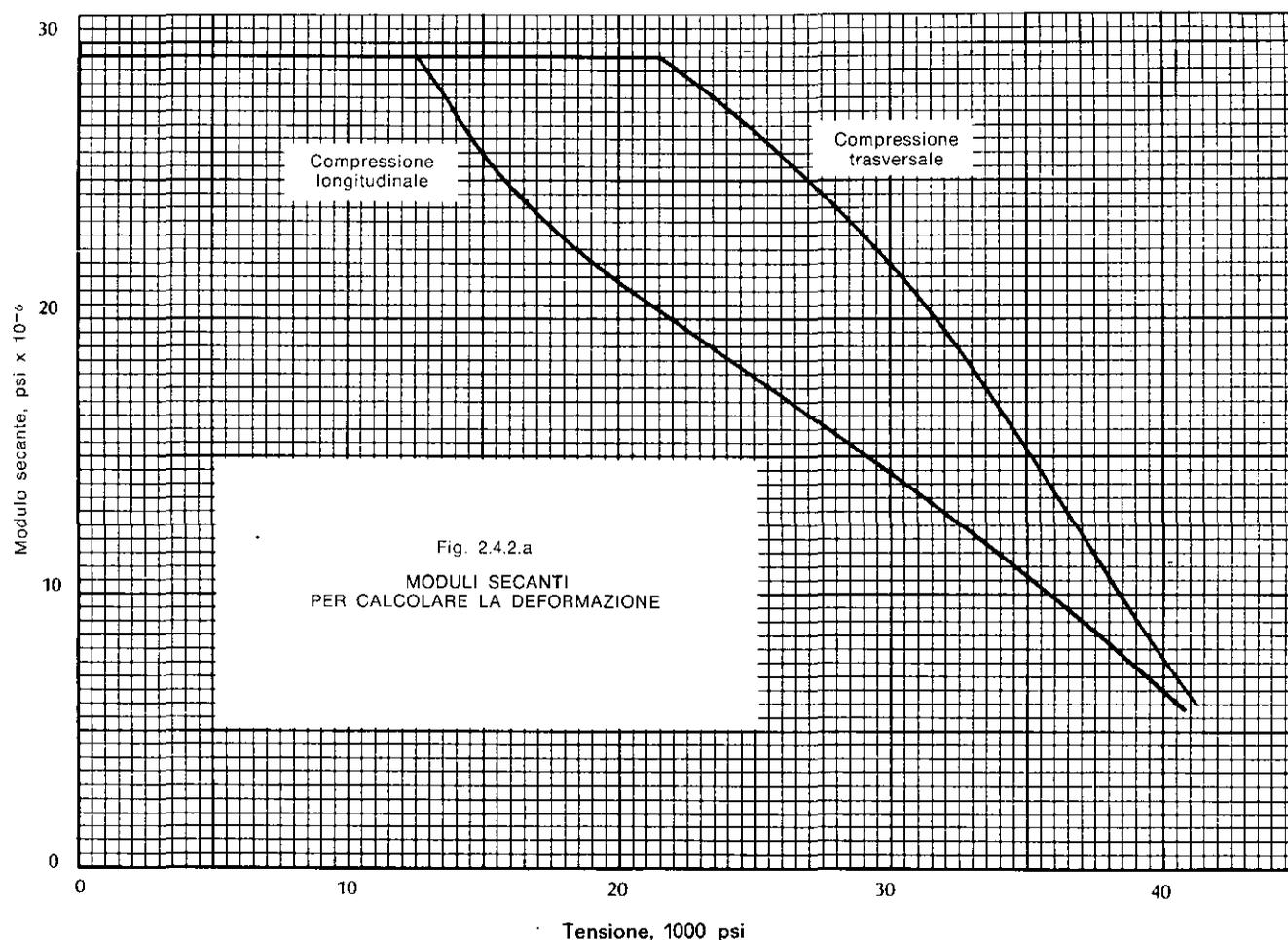
E_{ts} = modulo secante corrispondente alla tensione nella ala tesa [p.s.i.]

E_{cs} = modulo secante corrispondente alla tensione nella ala compressa [p.s.i.]

I valori del modulo secante possono venir ricavati dalle figure 2.4.2.a e 2.4.2.b, oppure dalla tabella 2.4.2.

TABELLA 2.4.2
MODULI SECANTI PER CALCOLARE LE DEFORMAZIONI

Tensione p.s.i.	Modulo secante, p.s.i. x 10 ⁻⁶		
	Compressione longitudinale	Trazione longitud. e compr. trasv.	Trazione trasversale
0	29,5	29,5	29,5
2000	29,5	29,5	29,5
4000	29,5	29,5	29,5
6000	29,5	29,5	29,5
8000	29,5	29,5	29,5
10000	29,5	29,5	29,5
12000	29,5	29,5	29,5
14000	27,6	29,5	29,5
16000	24,8	29,5	29,5
18000	22,9	29,5	29,5
20000	21,3	29,5	29,0



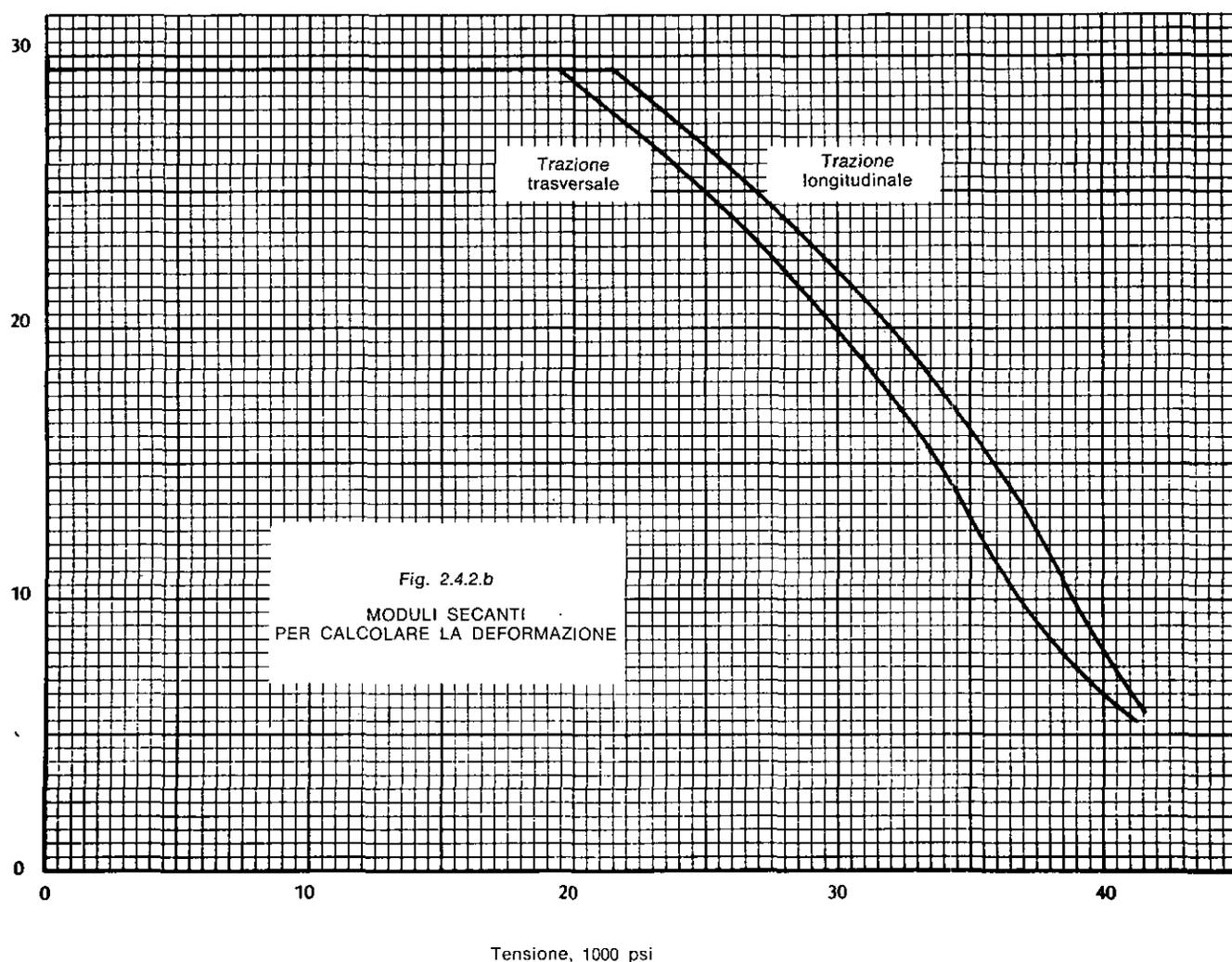
CAPITOLO 3 - TENSIONI AMMISSIBILI DI CALCOLO

Le tensioni unitarie massime ammissibili da usare nel calcolo sono:

3.1 Tensione base di calcolo (*)

La trazione sulla sezione netta degli elementi tesi e la trazione e compressione, f_b , sulle fibre estreme degli elementi inflessi, non devono superare i valori ammissibili specificati

(*) Le Norme Standard ASTM elencate nel paragrafo 1.2 (Materiali) specificano solo i valori minimi per le proprietà meccaniche a trazione. Comunque una progettazione razionale in acciaio inossidabile deve tener conto della direzione di laminazione della lamiera. Questa direzionalità è evidenziata da quattro distinte curve tensione-deformazione, ossia trazione longitudinale, trazione trasversale, compressione longitudinale e compressione trasversale. Trazione longitudinale significa che la direzione di laminazione e quella di sollecitazione sono parallele; trazione trasversale significa che la direzione di sollecitazione è perpendicolare a quella di laminazione della lamiera o del nastro. Cfr. il « Commento » per una ulteriore discussione.



più sotto, tranne che sia espressamente prescritto altrimenti. Devono usarsi i sotto notati valori della resistenza allo snervamento, f_y , e tensione base di calcolo, f_b , e v_b :

TABELLA 3.1

Tipo di tensione	Resistenza allo snervamento	Tensioni base di calcolo	
	f_y p.s.i.	f_b p.s.i.	v_b p.s.i.
Trazione longitud.	37.000	20.000	
Trazione trasvers.	37.000	20.000	
Compressione trasv.	37.000	20.000	
Compressione long.(**)	34.000	18.000	
Taglio	18.000		11.000

Se l'orientamento dell'elemento rispetto alla direzione di laminazione non è noto, si deve usare il valore minimo di f_b per il dato tipo di tensione.

(**) Il limite di proporzionalità, f_{pl} , per compressione longitudinale, è pari a 15.500 p.s.i.

3.1.1 Utilizzazione dell'incrudimento dovuto alla profilatura

Ad eccezione di quanto sarà detto in questo paragrafo 3.1.1, le tensioni ammissibili devono essere basate sulle proprietà del materiale prima della profilatura. L'utilizzazione, per motivi di calcolo, di ogni aumento della resistenza del materiale derivante da un'operazione di profilatura a freddo è ammissibile, purchè l'aumento di resistenza ottenuto sia per quel tipo di tensione, trazione o compressione, trasversale o longitudinale, alla quale il prodotto finito sarà sottoposto in servizio e con le limitazioni prescritte nei paragrafi 3.1.1.1 e 3.1.1.2.

3.1.1.1 Tipi di profilati

Le prescrizioni del paragrafo 3.1.1 devono venir applicate solo conformemente a quanto segue senza tener conto se la tensione cui l'elemento in servizio deve essere sottoposto sia di compressione o di trazione:

- Elementi caricati assialmente e ali di elementi inflessi le cui dimensioni sono tali che, se trattate come elementi compressi, il coefficiente Q è uguale a 1 (paragrafo 3.7.1). Sono compresi anche gli elementi tubolari composti con elementi piani.
- Elementi cilindrici tubolari nei quali il rapporto, D/t , del diametro medio rispetto allo spessore di parete non supera $3.300.000/f_y$.

3.1.1.2 Limitazioni

L'applicazione delle prescrizioni di cui al paragrafo 3.1.1 deve essere fatta sulla seguente base:

- a) Le proprietà meccaniche devono essere determinate sulla base di prove sulla sezione totale, in accordo con quanto prescritto al paragrafo 6.2.3.
- b) L'applicazione delle prescrizioni di cui al paragrafo 3.1.1 deve essere limitata ai seguenti paragrafi:

- 3.1. Tensione base di calcolo
- 3.2. Compressione su elementi non irrigiditi, solo il comma a)
- 3.4. Travi ad anima singola, non controventate lateralmente
- 3.7. Elementi compressi caricati assialmente
- 3.8. Tensioni di pressoflessione
- 3.9. Tensioni per vento o terremoto
- 3.10. Elementi cilindrici tubolari.

L'applicazione di tutte le altre prescrizioni deve essere basata sulle proprietà del materiale prima della profilatura.

- c) L'effetto sulle proprietà meccaniche di saldature od altri procedimenti, con azione potenzialmente dannosa, che debbano venir eseguiti sull'elemento, deve essere determinato sulla base di prove su campioni di sezione totale, contenenti entro il tratto utile, saldature o altri procedimenti come quelli che l'utilizzatore intende usare. Nell'impiego strutturale dell'elemento si deve prendere ogni necessaria precauzione per tener conto di questo effetto.

3.2 Compressione di elementi non irrigiditi

Tensione a compressione, in p.s.i. su elementi piani non irrigiditi:

- a) per angolari:

$$f_c = \frac{7.200.000}{(w/t)^2} \left(\frac{E_s}{E_o} \right), \text{ [p.s.i.]} \quad (11)$$

dove:

$$\frac{E_s}{E_o} = \text{fattore di riduzione di plasticità corrispondente a } 1,85 f_c$$

I valori del fattore di riduzione di plasticità possono essere ricavati dalla tabella 3.5.2 o dalla figura 3.5.2 sostituendo $1,85 f_c$ a $1,4 f_w$.

- b) Per tutti gli altri tipi di profilati:

$$1. \text{ per } w/t \leq (w/t)_{lim} = \frac{1340}{\sqrt{f_b}} \\ f_c = f_b \text{ [p.s.i.]}$$

2. $(w/t)_{lim} \leq w/t \leq 30$

$$f_c = 22600 - 408 \frac{w}{t} \text{ [p.s.i.]} \quad (12)$$

3. per $30 \leq w/t \leq 50$

(i) se non è ammessa nessuna ondulazione per effetto dei carichi previsti nel progetto

$$f_c = \frac{9.330.000}{(w/t)^2} \text{ [p.s.i.]} \quad (13)$$

(ii) se è ammessa qualche leggera ondulazione per effetto dei carichi previsti nel progetto

$$f_c = 17.230 - 230 \frac{w}{t} \text{ [p.s.i.]} \quad (14)$$

NOTA: nell'intervallo $30 \leq w/t \leq 50$, la tensione ammissibile nel caso in cui non sono ammesse ondulazioni deve essere usata per elementi esposti importanti non irrigiditi; la tensione ammissibile nel caso siano ammesse leggere ondulazioni al carico di progetto deve essere usata per elementi non irrigiditi che non sono in vista o per i quali è ammessa una ondulazione di una profondità all'incirca eguale allo spessore della lamiera. Un'ondulazione del genere non diminuirà la capacità di resistenza dell'elemento.

3.3 Tensioni critiche per elementi irrigiditi

Per elementi nei quali le distorsioni locali al carico di servizio devono essere limitate a piccoli valori, a mala pena percettibili, la tensione in elementi compressi irrigiditi deve essere limitata a $1,2 f_{cr}$. Per elementi nei quali non sono ammesse distorsioni locali causate da carichi di servizio, la tensione negli elementi compressi irrigiditi dovrà essere limitata a $0,9 f_{cr}$ (*). In nessun caso la tensione ammissibile deve superare la tensione base di calcolo.

In situazioni nelle quali l'applicazione delle prescrizioni di cui sopra è necessaria, la tensione critica, f_{cr} , deve essere determinata come segue:

$$f_{cr} = \frac{106.650.000}{(w/t)^2} \sqrt{\frac{E_t}{E_o}} \text{ [p.s.i.]} \quad (15)$$

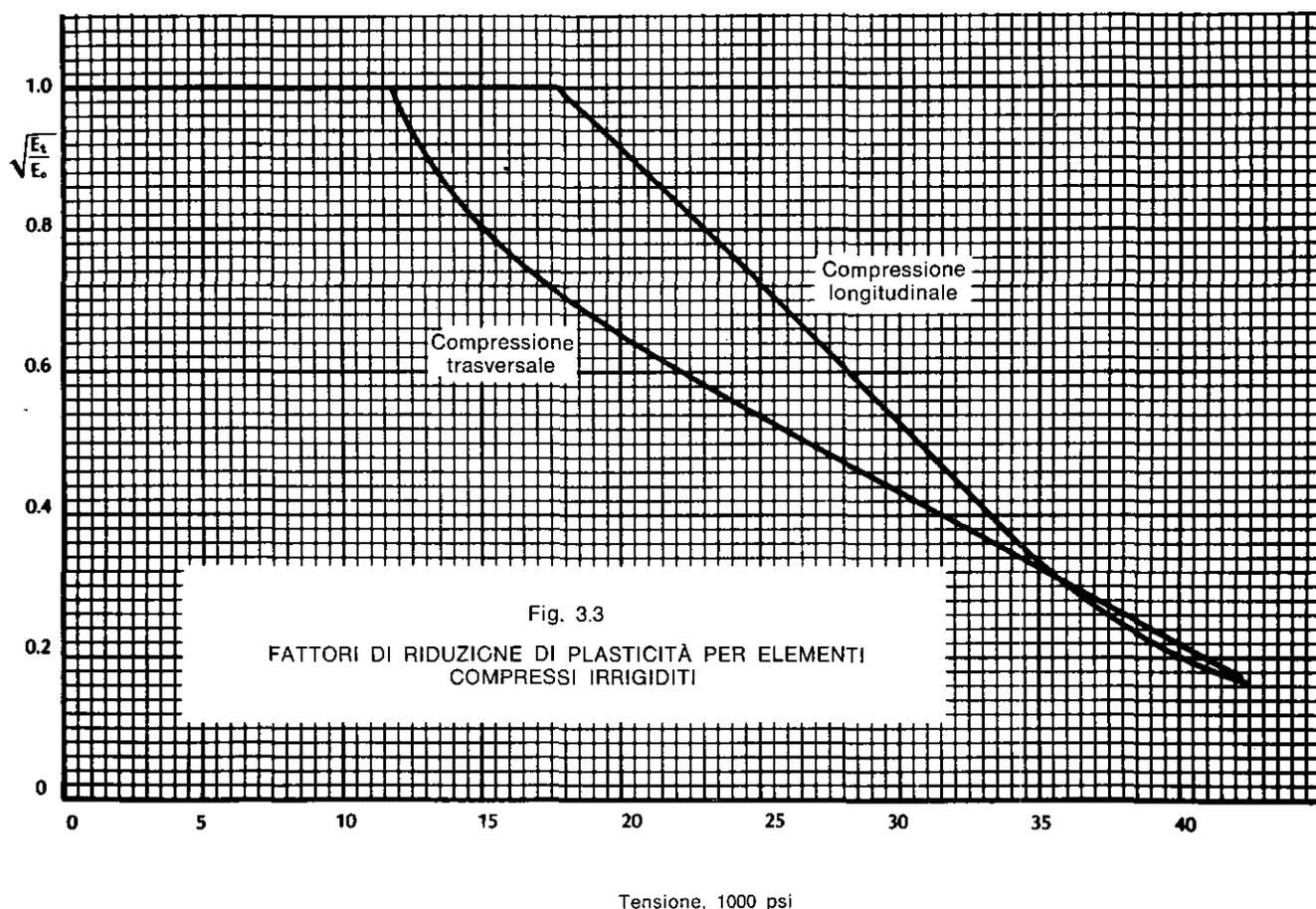
dove $\sqrt{E_t/E_o}$ = fattore di riduzione di plasticità.

I valori del fattore di riduzione di plasticità possono venir ricavati dalla tabella 3.3 oppure dalla figura 3.3.

TABELLA 3.3
FATTORI DI RIDUZIONE DI PLASTICITÀ
PER ELEMENTI IRRIGIDITI

TENSIONE p.s.i.	$\sqrt{\frac{E_t}{E_o}}$	
	Compressione longitudinale	Compressione trasversale
0	1,00	1,00
2000	1,00	1,00
4000	1,00	1,00
6000	1,00	1,00
8000	1,00	1,00
10000	1,00	1,00
12000	0,98	1,00
14000	0,85	1,00
16000	0,77	1,00
18000	0,70	0,99
20000	0,65	0,91

(*) Questa Norma non contiene prescrizioni per prevenire distorsioni causate da cedimento termico.



3.4 Travi ad anima singola lateralmente non controventate

Per impedire lo svergolamento laterale, la tensione massima di compressione, f'_c , in p.s.i., nelle fibre estreme delle ali compresse di elementi inflessi lateralmente non controventati, a forma di **I**, **Z** o **C** (escludendo profilati a più anime, elementi ad **U** o del tipo a scatola chiusa, ed elementi curvi o ad arco) non dovrà superare la tensione ammissibile come è precisato ai paragrafi 3.1 o 3.2, nè le seguenti tensioni massime:

a) per profilati a **I** o a **C**:

quando L/r_y è inferiore a 42:

$$f'_c = 18.000 \text{ [p.s.i.]}$$

quando L/r_y è maggiore di 42 ma inferiore a 100:

$$f'_c = 24.180 - 147 L/r_y \text{ [p.s.i.]} \quad (16)$$

quando L/r_y è maggiore di 100 ma inferiore a 236:

$$f'_c = 13.220 - 37,2 L/r_y \text{ [p.s.i.]} \quad (17)$$

quando L/r_y è maggiore di 236:

$$f'_c = \frac{247.000.000}{(L/r_y)^2} \text{ [p.s.i.]} \quad (18)$$

b) per profilati a **Z**

quando L/r_y è minore di 23,5:

$$f'_c = 18.000 \text{ [p.s.i.]}$$

quando L/r_y è maggiore di 23,5 ma inferiore a 100:

$$f'_c = 22.060 - 173 L/r_y \text{ [p.s.i.]} \quad (19)$$

quando L/r_y è maggiore di 100 ma inferiore a 236:

$$f'_c = 6.610 - 18,6 L/r_y \text{ [p.s.i.]} \quad (20)$$

quando L/r_y è maggiore di 236:

$$f'_c = \frac{123.500.000}{(L/r_y)^2} \text{ [p.s.i.]} \quad (21)$$

dove:

L = lunghezza libera di inflessione dell'elemento [in.];

r_y = raggio di inerzia dell'intera sezione dell'elemento rispetto all'asse baricentrico parallelo all'anima [in.]

3.5 Tensioni ammissibili nelle anime delle travi

3.5.1 Tensioni tangenziali nell'anima

La massima tensione tangenziale media, v , in p.s.i., sull'area totale di un'anima piana non deve superare 11.000, nè

$$v = \frac{77.000.000}{(h/t)^2} \left(\frac{G_s}{G_o} \right) \text{ [p.s.i.]} \quad (22)$$

dove:

h = altezza dell'anima misurata internamente agli spessori delle ali [in.];

t = spessore dell'anima [in.];

G_s/G_o = fattore di riduzione di plasticità corrispondente ad una tensione tangenziale eguale a 1,85 v , tabella 3.5.1 oppure figura 3.5.1.

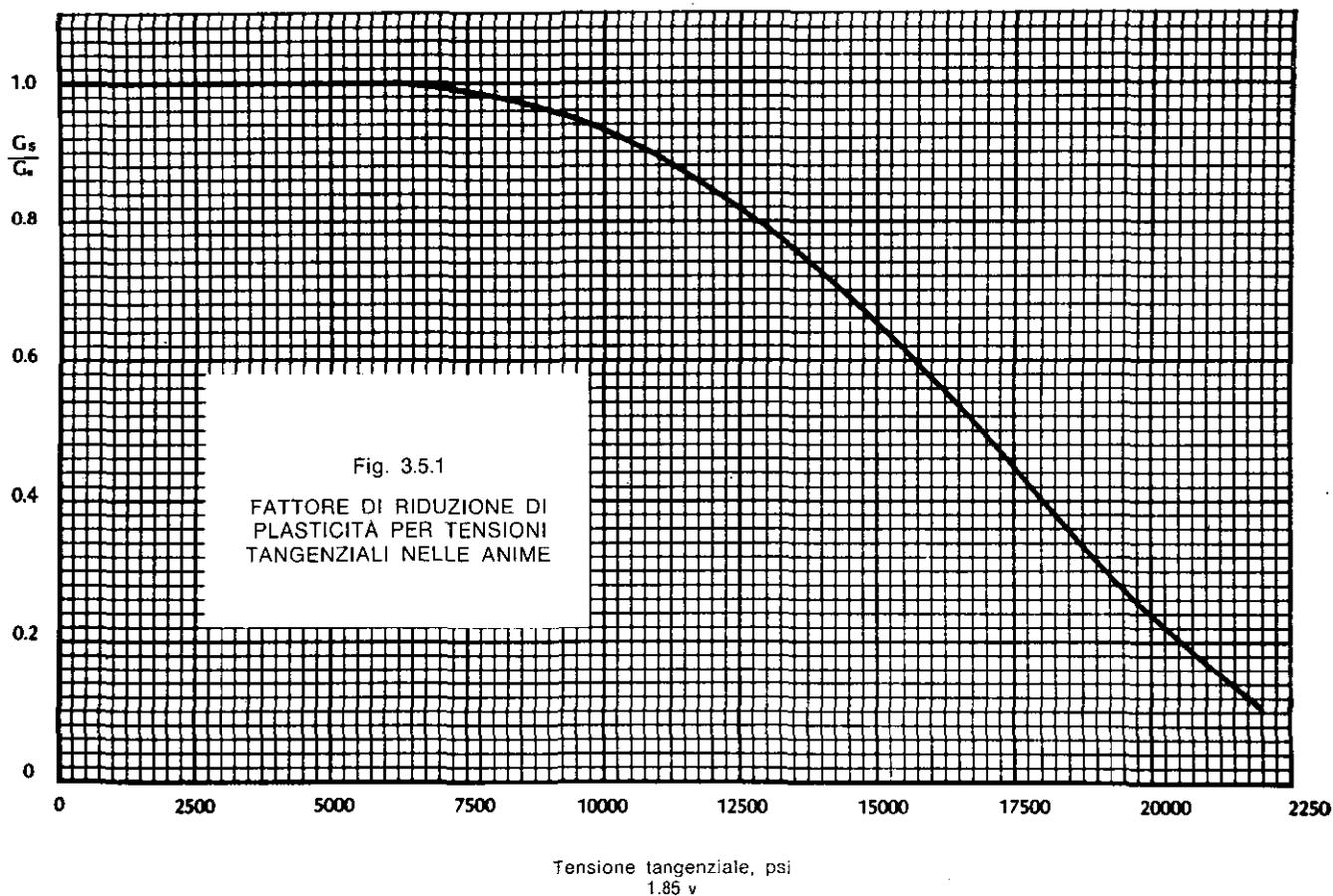


TABELLA 3.5.1
FATTORI DI RIDUZIONE DI PLASTICITÀ
PER TENSIONI TANGENZIALI NELLE ANIME

TENSIONE TANGENZIALE 1,85 v p.s.i.	$\frac{G_s}{G_0}$
0	1,00
2000	1,00
4000	1,00
6000	1,00
8000	0,98
10000	0,93
12000	0,84
14000	0,72
16000	0,58
18000	0,40
20000	0,24
22000	0,10

Quando l'anima è formata da 2 o più lamiere, ognuna dovrà essere considerata come un elemento separato soggetto alla sua tensione tangenziale parziale.

3.5.2 Sollecitazioni di flessione nelle anime

La tensione di compressione, f_w , in p.s.i. nell'anima piana di una trave dovuta alla flessione nel suo piano non dovrà superare f_b , nè

$$f_w = \frac{456.000.000}{(h/t)^2} \left(\frac{E_s}{E_0} \right) \text{ [p.s.i.]} \quad (23)$$

dove:

h = altezza dell'anima misurata internamente agli spessori delle ali [in.];

t = spessore dell'anima [in.];

E_s/E_0 = fattore di riduzione della plasticità corrispondente ad una tensione eguale a 1,4 f_w , tabella 3.5.2 oppure figura 3.5.2.

3.5.3 Sollecitazioni composte di flessione e taglio nelle anime

Per anime sottoposte a sollecitazioni di flessione e taglio l'elemento dovrà essere proporzionato in modo che tali tensioni non superino i valori ammissibili precisati nei paragrafi 3.5.1 e 3.5.2, e che sia soddisfatta la seguente relazione:

$$\left(\frac{f_b}{f_w} \right)^2 + \left(\frac{v'}{v} \right)^2 \leq 1 \quad (24)$$

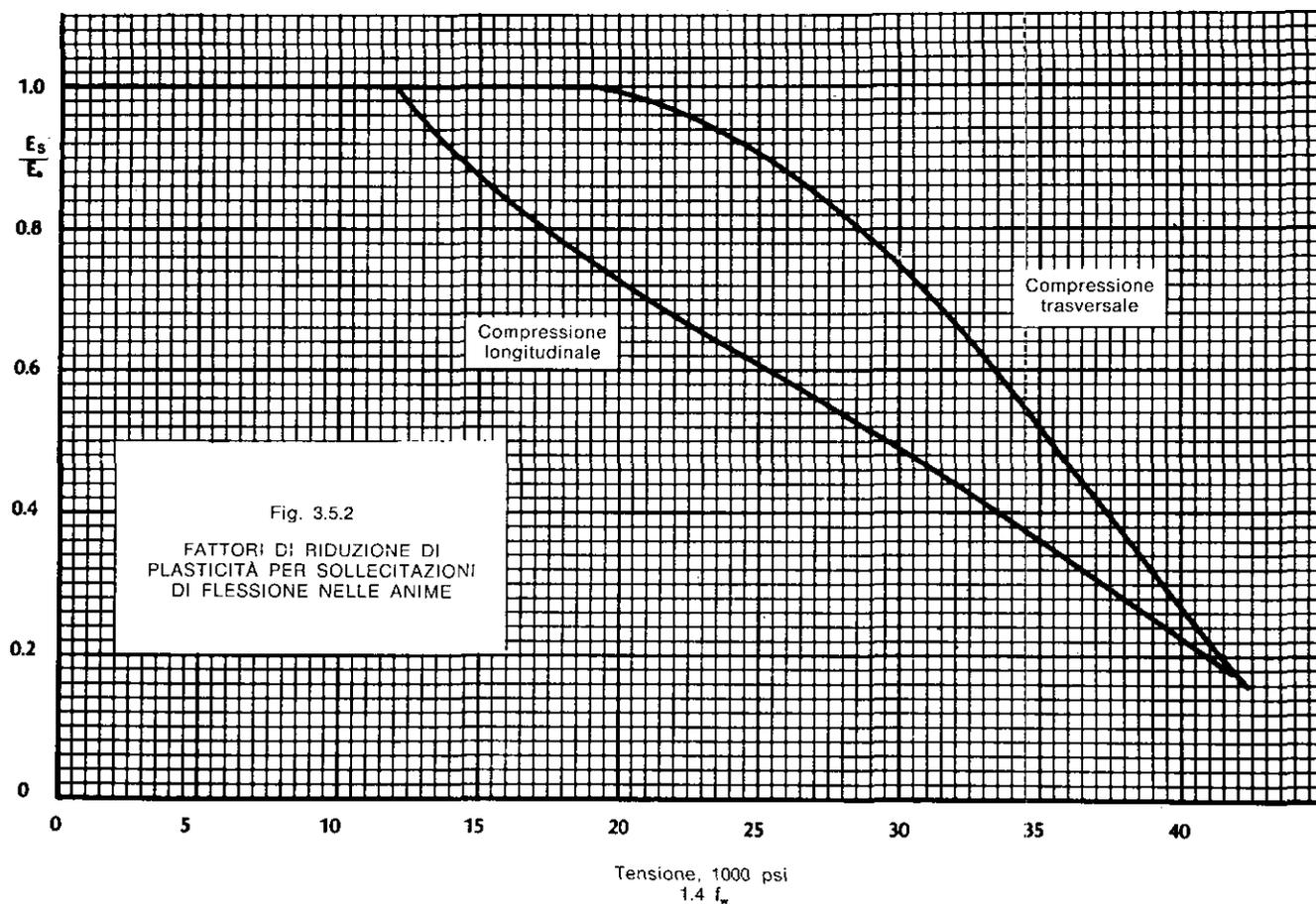


TABELLA 3.5.2
FATTORI DI RIDUZIONE DI PLASTICITÀ
PER SOLLECITAZIONI DI FLESSIONE NELLE ANIME

TENSIONE 1,4 f _w p.s.i.	$\frac{E_s}{E_o}$	
	Compressione longitudinale	Compressione trasversale
0	1,00	1,00
2000	1,00	1,00
4000	1,00	1,00
6000	1,00	1,00
8000	1,00	1,00
10000	1,00	1,00
12000	1,00	1,00
14000	0,91	1,00
16000	0,84	1,00
18000	0,78	1,00
20000	0,72	0,99
22000	0,67	0,96
24000	0,63	0,93
26000	0,58	0,88
28000	0,54	0,82
30000	0,49	0,75
32000	0,44	0,66
34000	0,38	0,57
36000	0,34	0,46
38000	0,28	0,37

dove:

f'_b = tensione effettiva di compressione alla congiunzione dell'ala con l'anima [p.s.i.]

$$f_w = \frac{456.000.000}{(h/t)^2} \left(\frac{G_s}{G_o} \right) \text{ [p.s.i.]}$$

$$v = \frac{77.000.000}{(h/t)^2} \left(\frac{E_s}{E_o} \right) \text{ [p.s.i.]}$$

v' = tensione tangenziale media effettiva, cioè forza di taglio agente sull'anima diviso l'area dell'anima [p.s.i.].

3.6 Ingobbamento dell'anima di travi

Per evitare l'ingobbamento di anime piane di travi, i carichi concentrati e le reazioni non dovranno superare i valori di P_{max} riportati più sotto:

a) Travi con una sola anima non rinforzata, aventi il raggio interno del raccordo con le ali uguale o minore dello spessore della lamiera:

1. Per reazioni alle estremità o per carichi concentrati sulle estremità di mensole

$$P_{max} = 100 k (1,33 - 0,33 k) t^2 [980 + 42 (B/t) - 0,22 (B/t) (h/t) - 0,11 (h/t)] \text{ [lb.]} \quad (25)$$

Per anime aventi raggi di raccordo non uguali allo spessore della lamiera, il valore di P_{max} deve essere moltiplicato per

$$(1,15 - 0,15 n)$$

2. Per reazioni di appoggi intermedi o per carichi concentrati applicati in qualsiasi punto della campata
- $$P_{max} = 100 k (1,22 - 0,22 k) t^2 [3050 + 23 (B/t) - 0,09 (B/t) (h/t) - 5 (h/t)] [lb.] \quad (26)$$

Per anime aventi raggi di raccordo non uguale allo spessore della lamiera, il valore dato dalla formula (26) per P_{max} deve essere moltiplicato per

$$(1,06 - 0,06 n)$$

- b) Per travi ad I composte da due profilati a C riuniti dorso-a-dorso o per profilati simili che hanno un'elevata resistenza alla rotazione dell'anima, quali i profilati ad I formati saldando due angolari ad un profilato a C:

1. Per reazioni alle estremità o per carichi concentrati sulle estremità di mensole

$$P_{max} = t^2 f_b (7,4 + 0,93 \sqrt{B/t}) [lb.] \quad (27)$$

2. Per reazioni di appoggi intermedi o per carichi concentrati applicati in qualsiasi punto della campata

$$P_{max} = t^2 f_b (11,1 + 2,41 \sqrt{B/t}) [lb.] \quad (28)$$

In tutte le formule sopra scritte P_{max} rappresenta il carico o la reazione per un'anima formata da una lamiera che congiunge le ali superiori ed inferiori. Per anime formate da due o più di tali lamiere P_{max} dovrà essere calcolato individualmente per ogni lamiera ed i risultati dovranno essere sommati per ottenere il carico ammissibile o la reazione per l'anima composta.

Si applicano le prescrizioni (a-2) e (b-2) quando si tratta di carichi applicati ad una distanza maggiore di 1,5 h dalla estremità di una mensola, oppure dal più vicino appoggio di estremità. In caso contrario si applicano le prescrizioni (a-1) e (b-1).

Nelle formule sopra riportate si ha:

- P_{max} = carico concentrato ammissibile, o reazione [lb.];
 t = spessore dell'anima [in.];
 B = lunghezza effettiva dell'appoggio, tranne che nelle formule sopra scritte il valore di B non deve essere preso maggiore di h [in.];
 h = altezza dell'anima, misurata internamente agli spessori delle ali [in.].

- f_b = tensione base di compressione ammissibile nel calcolo in direzione parallela al carico o alla reazione [p.s.i.] (paragrafo 3.1);
 k = $f_b/20.000$, adimensionale;
 n = rapporto tra raggio interno del raccordo e spessore dell'anima.

3.7 Elementi compressi caricati assialmente

3.7.1 Tensioni unitarie

La tensione media assiale, P/A , negli elementi compressi non dovrà superare i valori F_a e F'_a determinati come segue.

3.7.1.1 Profilati compatti

Per profilati compatti per i quali il coefficiente di forma « Q » come viene definito in questo paragrafo (vedi figura 3.7.1.1*) è uguale all'unità

$$F_a = 4,60 \frac{E_t}{(L/r)^2} \text{ con un massimo di } f_y/2,15 \text{ [p.s.i.]} \quad (29)$$

3.7.1.2 Profilati non compatti

Per profilati non compatti, per i quali il coefficiente di forma « Q », come definito in questo paragrafo, è minore dell'unità:

$$F'_a = \frac{(2 - Q) F_a}{1 + \frac{4,30}{f_y} \left[\frac{1}{Q} - 1 \right]}, \text{ con un massimo di } F_a \text{ [p.s.i.]} \quad (30)$$

[p.s.i.] (30)

Nelle formule sopraccitate si ha:

- P = carico totale sul profilato compresso [lb.];
 A = sezione totale trasversale dell'elemento [in.²];
 F_a = tensione media assiale massima ammissibile nella compressione, determinata in accordo con il paragrafo 3.7.1.1 [p.s.i.];
 F'_a = tensione media assiale massima ammissibile nella compressione per profilati non compatti [p.s.i.];
 E_t = modulo tangente nella compressione corrispondente a 2,15 F'_a (tabella 3.7.1.1 o figura 3.7.1.1) [p.s.i.];
 L = lunghezza effettiva dell'elemento compresso [in.];

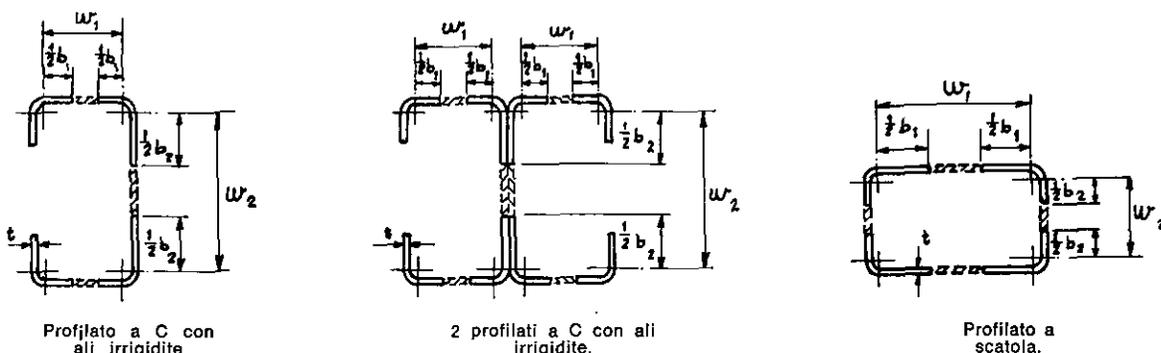


Fig. 3.7.1.1* - Area efficace di calcolo per determinare « Q » in sezioni trasversali di profilati compressi 1.

r = raggio di inerzia della sezione totale trasversale [in.];
 f_y = resistenza allo snervamento nella compressione in direzione parallela al carico applicato [p.s.i.];
 Q = coefficiente determinato come segue:

- Per elementi composti interamente da elementi irrigiditi, Q è il rapporto dell'area efficace di calcolo, determinata partendo dalle larghezze efficaci di tali elementi, e l'area totale della sezione trasversale. L'area efficace di calcolo usata per determinare Q deve essere basata sulla tensione base di calcolo f_b , quale è definita nel paragrafo 3.1.
- Per elementi composti interamente da elementi non irrigiditi, Q è il rapporto tra la tensione ammissibile di compressione f_c per l'elemento più debole della sezione trasversale (l'elemento che ha il rapporto di larghezza piana maggiore) e la tensione base di calcolo f_b , dove f_c è definito nel paragrafo 3.2 e f_b è definito nel paragrafo 3.1.
- Per elementi composti da elementi sia irrigiditi che non irrigiditi, il coefficiente Q è il prodotto di un fattore di tensione Q_1 , calcolato secondo le prescrizioni del paragrafo b) ed un fattore di area Q_2 , calcolato secondo il paragrafo a) di cui sopra; solo che la tensione con la quale si deve calcolare Q_2 sarà quel valore della tensione unitaria f_c che viene usata nel calcolare Q_1 e l'area efficace da usarsi nel calcolo di Q_2 dovrà comprendere l'intera area di tutti gli elementi non irrigiditi.

TABELLA 3.7.1.1
MODULI TANGENTI PER IL CALCOLO
DI SOLIDI CARICATI DI PUNTA

TENSIONE 2,15 F_a p.s.i.	Modulo tangente, p.s.i. x 10 ⁻⁶	
	Compressione longitudinale	Compressione trasversale
0	29,5	29,5
2000	29,5	29,5
4000	29,5	29,5
6000	29,5	29,5
8000	29,5	29,5
10000	29,5	29,5
12000	29,5	29,5
14000	21,1	29,5
16000	16,7	29,5
18000	14,3	29,5
20000	12,5	29,5
22000	11,0	26,5
24000	9,5	18,5
26000	8,2	13,8
28000	7,0	10,7
30000	5,8	8,1
32000	4,6	5,9
34000	3,6	4,0
36000	2,7	2,5
38000	2,0	1,6
40000	1,4	1,2
42000	0,9	0,9
44000	0,4	0,6

3.7.2 Snellezza massima

Il rapporto massimo ammissibile L/r della lunghezza libera di inflessione, L , con il raggio di inerzia, r , degli elementi compressi non dovrà superare 200; soltanto eccezionalmente durante il montaggio si può avere $L/r = 300$.

3.8 Tensioni per pressoflessione

Gli elementi soggetti a tensioni assiali di compressione e di flessione dovranno essere dimensionati in modo da soddisfare le formule seguenti:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f'_b}{\left[1 - \frac{f_a}{F'_e}\right] F_b} \leq 1 \quad (31)$$

$$\frac{f_a}{0,465 Q f_y} + \frac{f'_b}{F_b} \leq 1 \quad (\text{applicabile solo a punti controventati}) \quad (32)$$

dove:

F_a = tensione assiale unitaria massima nella compressione, data da questa Norma quando vi è solo la tensione assiale (paragrafo 3.7.1). Per profilati di cui al paragrafo 3.7.1.2, F_a dovrà essere sostituito da F'_a [p.s.i.];

F_b = tensione massima unitaria di compressione nella flessione data da questa Norma quando vi è solo la tensione di flessione (paragrafi 3.1, 3.2, 3.3, 3.4) [p.s.i.];

F'_e = $\frac{135.000.000}{(L/r_b)^2}$ (può essere aumentata di 1/3 in accordo con il paragrafo 3.9) [p.s.i.];

f_a = tensione unitaria assiale = carico assiale diviso per l'area totale della sezione trasversale dell'elemento, P/A [p.s.i.];

f'_b = tensione unitaria di flessione = momento flettente diviso per il modulo di resistenza dell'elemento, M/S , notando che per profilati aventi elementi compressi irrigiditi il modulo di resistenza dovrà essere calcolato sulle larghezze efficaci di calcolo di tale elemento [p.s.i.];

L = lunghezza libera di inflessione nel piano di inflessione [in.];

r_b = raggio di inerzia rispetto all'asse di inflessione [in.];

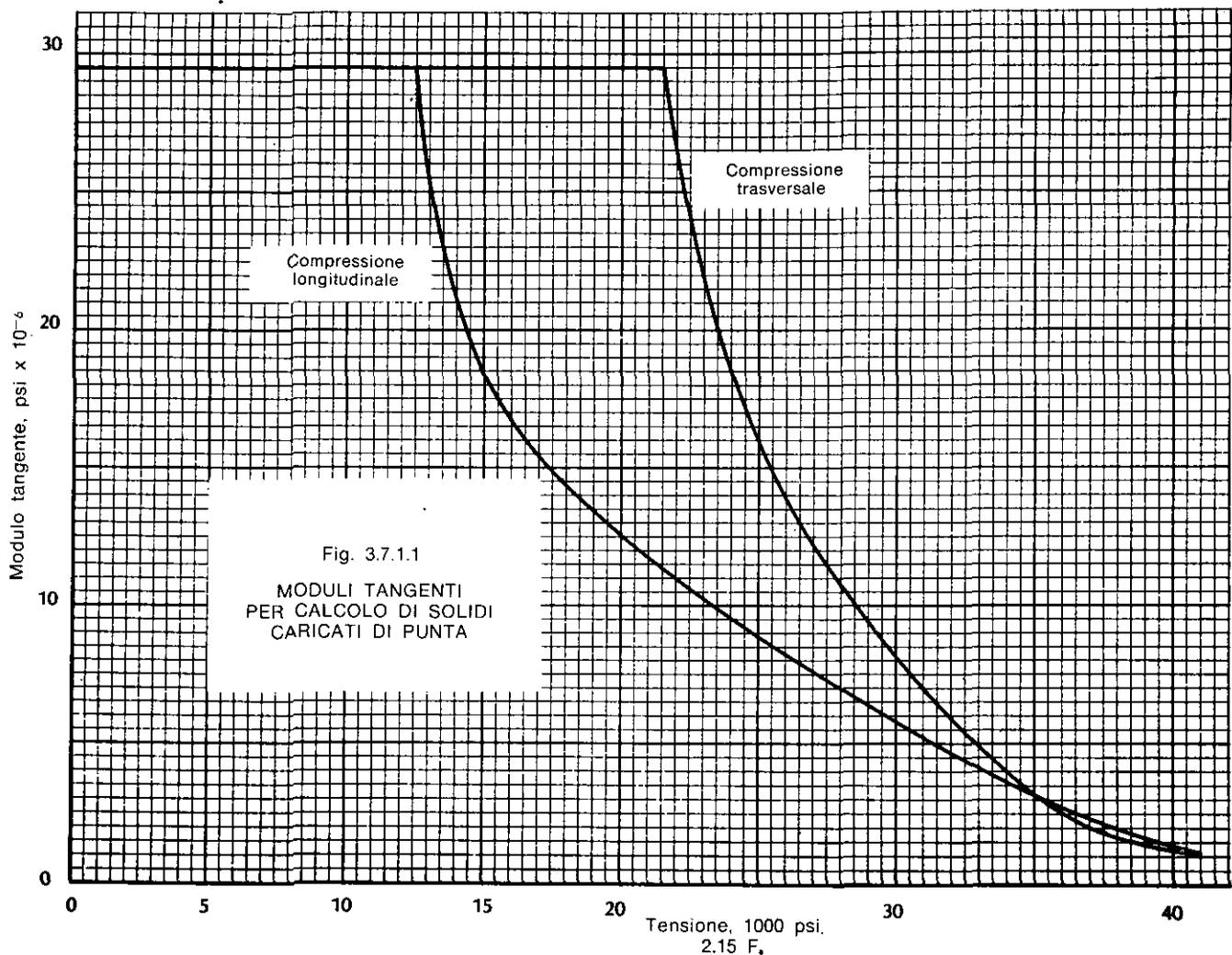
C_m = 0,85, eccettuato quanto segue.

1. Quando f_a/F_a è uguale o minore di 0,15, l'elemento scelto dovrà soddisfare la limitazione che $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f'_b}{F_b}$ sia uguale o minore dell'unità.

2. Per profili compressi facenti parte di struttura reticolare, rigidi nel piano del traliccio (ossia senza cerniere) e che non sono soggetti a carichi perpendicolari al piano di carico, il valore di C_m può essere preso uguale a $0,6 + 0,4 M_1/M_2$ (ma non inferiore a 0,4) ove M_1/M_2 è il rapporto tra i momenti minore e maggiore all'estremità dell'elemento.

M_1/M_2 si assume positivo quando la deformata elastica del profilato ha una sola curvatura; negativo quando la deformata elastica ha un punto di flesso.

3. Per profilati compressi facenti parte di struttura reticolare, rigidi nel piano del traliccio (ossia senza cerniere) e che sono soggetti a carichi perpendicolari al piano di carico, il valore di C_m può essere assunto pari a 0,85, salvo che non si preferisca procedere ad una sua valutazione matematica razionale.



3.9 Tensioni per vento o terremoto

3.9.1 Vento o terremoto da soli

Profili singoli o loro combinazioni soggetti solamente alle tensioni prodotte da forze dovute a terremoto o vento possono essere calcolati per tensioni unitarie maggiori del 33,3% di quelle prescritte per tensioni dovute ai carichi permanenti e accidentali. Un aumento corrispondente può essere applicato alle tensioni unitarie ammissibili nei collegamenti ed altri particolari costruttivi.

3.9.2 Forze combinate

Profili singoli o loro combinazioni soggetti alle tensioni dovute all'azione combinata di vento o terremoto ed altri carichi possono essere dimensionati per tensioni unitarie maggiori del 33,3% di quelle prescritte per tensioni dovute ai carichi permanenti e accidentali, a patto che il profilato risultante da tale dimensionamento non sia minore di quello che sarebbe necessario per l'azione combinata dei carichi permanenti ed accidentali. Un aumento corrispondente può venir applicato alle tensioni unitarie ammissibili nei collegamenti ed altri particolari costruttivi.

3.10 Elementi cilindrici tubolari

Il rapporto D/t del diametro medio con lo spessore della parete di un elemento cilindrico tubolare compresso o inflesso non deve superare $3.300.000/f_y$ (*). Per elementi compressi la

tensione unitaria ammissibile, P/A , sotto l'azione di un carico assiale dovrà essere stabilita secondo il paragrafo 3.7.1, con $Q = 1$.

CAPITOLO 4 - COLLEGAMENTI

4.1 Generalità

I collegamenti devono essere dimensionati per trasmettere la tensione massima nell'elemento congiunto, con particolare attenzione all'eccentricità del carico. Nel caso di elementi soggetti ad una tensione che cambia segno, tranne il caso che sia dovuta a vento o terremoto, il collegamento deve essere dimensionato per la somma delle tensioni.

4.2 Saldature

4.2.1 Saldature per fusione

Le saldature per fusione devono essere dimensionate in modo che le tensioni tangenziali unitarie non superino 11.000 p.s.i. sulla sezione netta del cordone di saldatura, in cordoni di angolo o di foro. La tensione unitaria ammissibile nella trazione o nella compressione sui giunti saldati di testa è la stessa di quella prescritta per il metallo base che deve essere

(*) I metodi per determinare le tensioni ammissibili nei tubi con D/t più grande di quanto sopraddetto si possono trovare nei « Criteri di calcolo per elementi metallici compressi » (Design Criteria for Metal Compression Members) del « Column Research Council », pubblicato da B. G. Johnston, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1966 2ª edizione.

congiunto, purchè la saldatura sia a completa penetrazione. Le tensioni dovute all'eccentricità del carico, se ve ne sono, devono essere combinate con la tensione principale; e le tensioni unitarie composte non devono superare i valori sopra indicati.

Le tensioni in una saldatura d'angolo od in una saldatura a penetrazione parziale devono essere considerate come di *taglio sulla sezione netta per qualsiasi direzione di applicazione della sollecitazione*. Non si deve fare affidamento nè sui cordoni di foro nè su quelli di intaglio per resistere a tensioni che non siano tangenziali.

Tutte le saldature per fusione devono essere conformi alle prescrizioni della Edizione più recente del « Codice di saldatura nelle Costruzioni » (Code for Welding in Building Construction) D 1.0, della American Welding Society, tranne che sia specificato diversamente, a meno che le prescrizioni di quel Codice siano chiaramente non applicabili al materiale del tipo e dello spessore al quale queste Norme si riferiscono. Il metallo di apporto deve essere conforme alle prescrizioni della American Society for Testing and Materials:

Norma ASTM: A 298-62 T « Elettrodi rivestiti per saldature di acciaio al cromo ed al cromo-nichel resistente alla corrosione » (Corrosion-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Steel Covered Welding Electrodes).

(American Welding Society Specification A 5.4)

oppure

Norma ASTM: A 371-62 T « Elettrodi nudi e bacchette di saldatura di acciaio al cromo ed al cromo-nichel resistenti alla corrosione » (Corrosion-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Steel Welding Rods and Bare Electrodes).

(American Welding Society Specification A 5.9)

4.2.2 Saldature a resistenza elettrica

Nelle lamiere di acciaio tipo 301, 302, 304 o 316, collegate con saldature a punti, la forza di taglio ammissibile per punto è:

TABELLA 4.2.2

Spessore della lamiera esterna più sottile in pollici	Forza di taglio ammissibile per punto, in libbre, per lamiere spianate
.006	28
.008	52
.010	68
.012	84
.014	100
.016	120
.018	144
.021	188
.025	240
.031	320
.034	368
.040	508
.044	580
.050	680
.056	800
.062	960
.070	1120
.078	1360
.094	1680
.109	2000
.125	2400

In lamiere di acciaio collegate con saldatura a rulli, la forza di taglio ammissibile per punto è:

Spessore della lamiera esterna più sottile in pollici	Forza di taglio ammissibile per punto, in libbre, per lamiere spianate
.156	3040
.187	3900
.203	4240
.250	5400

(I valori di cui sopra sono presi dalle « Pratiche raccomandate per la saldatura a resistenza elettrica » - Recommended Practices for Resistance Welding - C 1-66, della American Welding Society, 1966 e sono calcolati con un fattore di sicurezza di 2,5. Valori per spessori intermedi possono ottenersi per interpolazione lineare. I valori sopra elencati possono anche venir applicati per gli acciai inossidabili tipo AISI 201 e 202. In tutti i casi la saldatura deve essere effettuata in accordo con le « Pratiche raccomandate per la saldatura a resistenza elettrica » della American Welding Society).

4.3 Unione di due profilati a C per formare un profilato ad I

La spaziatura longitudinale massima ammissibile di saldature o altre forme di collegamento, s_{max} , per unire due profilati a C per formare un profilato ad I deve essere:

a) per elementi compressi

$$s_{max} = \frac{L r_2}{2 r_1} \text{ [in.]} \quad (33)$$

dove:

L = lunghezza dell'elemento compresso [in.];

r_1 = raggio di inerzia del profilato ad I rispetto all'asse perpendicolare alla direzione nella quale è più facile l'ingobbamento per le date condizioni di vincolo e controventature intermedie, se ve ne sono [in.];

r_2 = raggio di inerzia di un profilato a C rispetto all'asse baricentrico parallelo all'anima [in.];

s_{max} = spaziatura longitudinale dei collegamenti [in.].

b) per elementi inflessi:

$$s_{max} = L/6 \text{ [in.]} \quad (34)$$

In nessun caso la spaziatura deve essere superiore a

$$s_{max} = \frac{2c S_w}{m q} \text{ [in.]} \quad (35)$$

dove:

L = luce della trave [in.];

S_w = resistenza della giunzione a trazione [lb.];

c = distanza verticale tra due file di collegamenti o distanza dell'ala superiore od inferiore dalla fila di collegamenti più vicina [in.];

q = carico distribuito sulla trave [lb./in.];

s_{lim} = spaziatura longitudinale limite dei collegamenti [in.];

m = distanza del centro di taglio del profilato a C dal piano medio dell'anima [in.].

Per profilati a C senza bordi esterni piegati:

$$m = \frac{w^2}{2w + h/3}$$

Per profilati a **C** con bordi esterni piegati:

$$m = \frac{wh t}{4 I_x} \left[wh + 2 d \left(h - \frac{4}{3} \frac{d^2}{h} \right) \right]$$

dove:

- w = larghezza delle ali misurata dalla faccia interna dell'anima [in.]
 (Per profilati con ali di larghezza diversa w deve essere intesa come la larghezza dell'ala più larga).
 h = altezza del profilato o della trave [in.];
 d = lunghezza del bordo piegato [in.];
 I_x = momento di inerzia della sezione retta di un profilato a **C** rispetto al suo asse baricentrico, normale all'anima [in.⁴].

Il valore del carico distribuito, q, si ottiene dividendo il valore dei carichi concentrati, o reazioni, per la lunghezza del tratto di trave sul quale agiscono. Per travi progettate per carichi uniformemente distribuiti, q sarà preso uguale a tre volte il carico di progetto uniformemente distribuito. Se il tratto su cui agisce un carico concentrato, o reazione, è minore della distanza tra le saldature s, la resistenza necessaria delle saldature o collegamenti più vicini al carico, o reazione, P, deve essere:

$$S_w = Pm/2c \text{ [lb.]} \quad (36)$$

La spaziatura limite richiesta tra i collegamenti, s_{lim}, dipende dall'intensità del carico agente nel punto di collegamento. Perciò se si usa una spaziatura costante lungo l'intera luce della trave, essa dovrà essere determinata ponendo, nella formula sopra riportata, P uguale al maggiore dei carichi concentrati. In casi, nei quali questo modo di procedere dovesse tradursi in una spaziatura troppo ridotta dei collegamenti (che non sarebbe economica), si potrà adottare uno qualsiasi dei due metodi seguenti: (a) la distanza dei collegamenti potrà essere variata lungo la trave secondo la variazione dell'intensità del carico, (b) si potranno saldare dei piatti alle due ali nei punti di applicazione dei carichi concentrati. La resistenza al taglio dei collegamenti che uniscono questi piatti alle ali si calcola con la formula sopra riportata dove per « c » andrà posta l'altezza della trave.

4.4 Spaziatura dei collegamenti per unione di profilati compressi

La spaziatura, nella direzione della forza di compressione, di saldature, rivetti o bulloni, che uniscono un elemento piatto o piastra compressi ad un profilato, oppure ad altro elemento, non dovrà superare:

a) quanto richiesto per trasmettere la forza di taglio fra le parti congiunte in base alla resistenza di calcolo del collegamento, come altrove stabilito; nè

b)

$$s = 1,11 t \sqrt{\frac{E_t}{f}} \text{ [in.]} \quad (37)$$

dove:

- s = spaziatura dei collegamenti [in.];
 t = spessore della piattabanda o piastra [in.];
 f = tensione di calcolo nella piattabanda o piastra [p.s.i.];
 E_t = modulo tangente nella compressione corrispondente a 1,85 f (si potrà ricavarlo dalla tabella 3.7.1.1 o dalla figura 3.7.1.1) [p.s.i.].

nè

c) tre volte la larghezza piana, w, dell'elemento compresso non irrigidito più vicino alla parte della piastra o lamiera

interessata al collegamento. È necessario però che la distanza non sia inferiore a 30 t a meno che non sia richiesta una distanza minore dai comma a) e b) di questo paragrafo 4.4.

Nel caso di saldature d'angolo a tratti, parallele alla direzione della sollecitazione, la distanza tra le saldature sarà considerata come la distanza netta tra le saldature più mezzo pollice. In tutti gli altri casi la distanza sarà considerata come la distanza tra centro e centro dei collegamenti.

Eccezione: le prescrizioni di questo paragrafo 4.4 non si applicano ai profilati di rivestimento che non sono considerati come elementi resistenti.

4.5 Collegamenti con bulloni

Le prescrizioni seguenti regolano il calcolo dei collegamenti con bulloni di elementi strutturali sottili di acciaio inossidabile.

4.5.1 Distanza minima e distanza dai margini nella direzione della tensione

La distanza tra bulloni disposti in file parallele alla direzione della forza, ed anche la distanza dal centro di qualunque bullone a quella estremità dell'elemento collegato verso la quale è diretta la pressione del bullone, non dovrà essere inferiore a 1,5 d, nè minore di P/f_bt, dove:

d = diametro del bullone [in.];

P = forza trasmessa dal bullone [lb.];

t = spessore della lamiera più sottile congiunta [in.];

f_b = tensione base di calcolo, come altrove definita [p.s.i.].

4.5.2 Tensione di trazione sulla sezione netta

La tensione di trazione sulla sezione netta di un collegamento con bulloni non dovrà superare f_b, nè essere superiore a

$$(0,1 + 3 d/s) f_b \text{ [p.s.i.]} \quad (38)$$

dove:

s = distanza fra i bulloni ortogonale alla direzione dello sforzo [in.]. Nel caso di un unico bullone, s = larghezza della lamiera [in.];

d = diametro del bullone [in.];

f_b = tensione base di calcolo, come altrove definito [p.s.i.].

4.5.3 Tensione sulla superficie diametrale nelle unioni con bulloni (Tensione di rifollamento)

La tensione sulla superficie diametrale (d x t) non dovrà superare 65.000 p.s.i.

4.5.4 Tensione tangenziale nei bulloni

La tensione tangenziale ammissibile nei bulloni dovrà essere determinata riferendosi a valori raccomandati dal fabbricante o da prove di resistenza. A questo scopo dovranno essere seguite le prescrizioni della American Society for Testing and Materials « Metodi e definizioni per prove meccaniche su prodotti di acciaio » (Standard Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products), Norma ASTM A 370-67 Supplement III, Fasteners. Il carico di rottura a taglio sull'area di nocciolo dovrà essere considerato il 60 % del carico di rottura a trazione; un fattore di sicurezza di 2,5 deve essere applicato al carico di rottura a taglio, per determinare la tensione tangenziale ammissibile di calcolo.

CAPITOLO 5 - ESIGENZE DI CONTROVENTATURA

Singoli elementi e strutture più complesse di acciaio inossidabile devono essere adeguatamente controventati, in accordo con una buona pratica di ingegneria. Le seguenti prescrizioni comprendono alcuni casi e condizioni speciali.

5.1 Profilati a C ed a Z usati come travi

Le sottoelencate prescrizioni per la controventatura contro lo svergolamento di profilati a C ed a Z usati come travi, si applicano solamente quando: a) nessuna ala è vincolata a solette, traverse orizzontali, o materiale di rivestimento, in modo tale che essi si oppongano efficacemente alla inflessione laterale e alla rotazione dell'ala cui sono vincolate, e b) quando questi elementi sono caricati nel piano dell'anima (*).

5.1.1 Distanza delle controventature

Le controventature devono essere unite sia alle ali superiori che alle ali inferiori dei profilati in corrispondenza delle estremità ed a intervalli non maggiori di un quarto della luce, in modo tale da prevenire rovesciamenti alle estremità, e svergolamenti laterali di una delle due ali in una delle due direzioni in corrispondenza delle controventature intermedie. Se un terzo o più del carico totale sulle travi è concentrato su di una lunghezza di 1/12 o meno della luce della trave, si deve sistemare una controventatura addizionale al, o vicino al, centro di questa lunghezza caricata.

5.1.2 Calcolo delle controventature

Ogni controventatura intermedia, sull'ala superiore od inferiore, deve essere dimensionata per resistere ad una forza laterale P_b determinata come segue:

- per trave uniformemente caricata, $P_b = 1,5 K$ volte il carico entro una distanza di $0,5 a$ da ogni lato della controventatura;
- per carichi concentrati, $P_b = 1,0 K$ volte il carico concentrato P entro una distanza di $0,3 a$ da ogni lato della controventatura, più una forza F determinata dalla seguente formula, per ogni carico P concentrato, situato più lontano di $0,3 a$, ma non più di a , dalla controventatura:

$$F = \frac{1,0}{0,7} \left(1 - \frac{x}{a} \right) P K \text{ [lb.]} \quad (39)$$

Nelle formule sopra riportate si ha:

— per profilati a C:

$$K = m/h$$

dove:

- m = distanza del centro di taglio dal piano medio dell'anima, come specificato nel paragrafo 4.3 [in.];
 h = altezza del profilato a C [in.].

— per profilati a Z:

$$K = I_{xy}/I_y$$

dove:

- I_{xy} = momento centrifugo dell'intera sezione rispetto agli assi baricentrici parallelo e perpendicolare all'anima [in.⁴];
 I_y = momento di inerzia dell'intera sezione rispetto all'asse baricentrico parallelo all'anima [in.⁴].

(*) Quando solo un'ala è vincolata ad una soletta, o a materiale di rivestimento, per impedire efficacemente la inflessione laterale dell'ala stessa, può essere o può non essere necessario controventare per prevenire lo svergolamento della trave, in relazione alle dimensioni dell'elemento ed alla luce, ed al fatto che l'ala non vincolata sia in compressione od in trazione.

— per profilati a C ed a Z:

x = distanza del carico concentrato P dalla controventatura [in.];

a = lunghezza dell'intervallo di controventatura [in.].

Le controventature alle estremità della trave devono essere calcolate per metà delle forze sopradette.

Le controventature devono essere progettate in modo da evitare cedimenti locali nei punti di attacco con l'elemento rinforzato.

5.1.3 Tensioni ammissibili

Per travi a C ed a Z con controventatura intermedia secondo le prescrizioni dei paragrafi 5.1.1 e 5.1.2, la tensione massima di compressione f_c dovrà essere quella prescritta al paragrafo 3.4, tranne che, nelle formule di quel paragrafo, si dovrà usare la lunghezza dell'intervallo di controventatura, a , invece della lunghezza, L .

5.2 Travi a scatola non controventate lateralmente

Per profilati chiusi del tipo a scatola usati come travi, il rapporto tra la lunghezza non controventata, L , e la distanza tra le anime del profilato, non dovrà superare 75.

CAPITOLO 6 - PROVE

6.1 Determinazione delle relazioni tensione-deformazione

Si dovranno seguire i seguenti metodi della American Society for Testing and Materials per la determinazione delle proprietà meccaniche caratteristiche di lamiera e nastri di acciaio inossidabile quando le prescrizioni del paragrafo 3.1 (tensioni base di calcolo) e le relazioni tensione-deformazione, nonché le proprietà meccaniche che da esse derivano, non sono sufficienti per gli scopi di una particolare progettazione:

Norma ASTM: E 8 - 66 « Prova di trazione di materiali metallici » (Tension Testing of Metallic Material)

Norma ASTM: E 9 - 67 « Prova di compressione di materiali metallici a temperatura ambiente » (Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature)

Norma ASTM: E 111 - 61 « Determinazione del modulo di Young a temperatura ambiente » (Determination of Young Modulus at Room Temperature)

Norma ASTM: E 83 - 64 T « Verifica e classificazione di estensimetri » (Verification and Classification of Extensometers).

Si dovranno eseguire studi statistici per garantirsi che le proprietà meccaniche così determinate siano quelle per le quali si ha una probabilità del 90 % che vengano uguagliate o superate, in una scelta a caso nel lotto del materiale considerato. Le Norme ASTM E 105-58 « Campionatura di probabilità dei materiali » (Probability Sampling of Materials) e ASTM E 141-61 « Accettazione della evidenza basata sui risultati della campionatura di probabilità » (Acceptance of Evidence Based on the Results of Probability Sampling) possono venir usate come guide per procedimenti opportuni.

6.2 Prove per casi speciali

6.2.1 Generalità

- Quando la composizione o la configurazione di elementi singoli, strutture complete o particolari elementi strutturali, profilati di lamiera o nastro di acciaio, sono tali che non si può calcolare il loro carico di sicurezza o le loro deformazioni con le Norme date nei capitoli 2, 3, 4 e 5, il loro comportamento strutturale verrà stabilito sperimentalmente come specificato nel paragrafo 6.2.2.

- b) Le proprietà meccaniche dei profilati a freddo che devono essere usati secondo le prescrizioni del paragrafo 3.1.1 «Utilizzazione dell'incrudimento dovuto alla profilatura» saranno determinate sperimentalmente in accordo con quanto prescritto nel paragrafo 6.2.3 «Prove per le proprietà del profilato a freddo».
- c) Le prove devono venir eseguite da una sezione di collaudo indipendente o da una sezione di collaudo del fabbricante.

6.2.2 Prove per determinare il comportamento della struttura

Quando sono necessarie delle prove per gli scopi definiti al comma a) del paragrafo 6.2.1, queste dovranno essere effettuate secondo le seguenti modalità. Questi procedimenti di prova ed i relativi dati non sono destinati (sarebbero superflui) a conferma delle proprietà di elementi e montaggi complessivi le cui proprietà possano venir calcolate secondo quanto stabilito dal capitolo 2 al capitolo 5; per questo la prescrizione assicura in genere un fattore di sicurezza di 1,85.

- a) Quando possibile la valutazione dei risultati della prova dovrà essere fatta sulla base dei valori medi risultanti dalle prove su non meno di tre campioni identici, purché lo scarto di qualunque risultato ottenuto in una singola prova dal valore medio, ottenuto da tutte le prove, non superi $\pm 10\%$. Se tale scarto dalla media supera il 10% si dovranno fare almeno altre tre prove dello stesso genere. La media dei tre valori inferiori di tutte le prove fatte verrà allora considerata come il risultato della serie di prove.
- b) Si dovrà determinare il carico ammissibile in base alla capacità dell'elemento, struttura completa o collegamento, di sostenere, senza danno, durante la prova, un carico totale, compreso il peso del campione di prova, uguale a due volte il carico accidentale più due volte il carico permanente. Inoltre, durante l'esecuzione della prova ad un carico totale, compreso il peso del campione di prova, uguale al carico permanente più una volta e mezzo il carico accidentale, non si dovranno sviluppare distorsioni locali dannose. Per elementi e strutture complete soggetti a carichi dovuti a vento o terremoto, si dovranno apportare opportune modifiche ai fattori precedenti, in accordo con quanto detto al paragrafo 3.9.
- c) Nel valutare i risultati della prova si deve prestare la dovuta attenzione a qualsiasi differenza che potesse esservi tra le proprietà meccaniche e le dimensioni del materiale dal quale sono stati ottenuti per formatura i profilati, e le proprietà meccaniche e le dimensioni nominali del materiale che il fabbricante intende usare.

6.2.3 Prove per le proprietà della sezione totale

Queste disposizioni si riferiscono alla determinazione delle proprietà meccaniche della sezione totale di profilati a freddo. Per determinare le proprietà meccaniche definite nel comma b) del paragrafo 6.2.1 si dovranno eseguire prove in accordo con quanto segue:

- a) Le determinazioni della resistenza allo snervamento a trazione dovranno essere fatte con uno qualunque dei metodi descritti nell'edizione della Norma ASTM: A 370 - 67 «Metodi e definizioni per prove meccaniche dei prodotti di acciaio» (Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products).
- b) Le determinazioni della resistenza allo snervamento a compressione dovranno essere fatte con prove di compressione assiale su corti campioni della sezione e si do-

vrà considerare come tale sia la resistenza massima a compressione del profilato che la tensione determinata col metodo convenzionale di scostamento dalla proporzionalità dello $0,2\%$, assumendo il minore dei due valori (*).

- c) Quando l'effetto principale del carico al quale verrà sottoposto un elemento in servizio sarà quello di produrre sollecitazioni di flessione, la resistenza allo snervamento da impiegarsi sarà la minore di quelle determinate nella trazione e nella compressione. Per determinare tali resistenze allo snervamento in profilati con ali, le prove di trazione e di compressione dovranno essere fatte su campioni ricavati dalla sezione. Ciascuno di questi campioni dovrà consistere di una ala completa più una parte dell'anima, di rapporto di larghezza piana tale che il valore di Q per il campione sia uguale ad uno.
- d) Per ragioni di accettazione e di controllo si dovranno eseguire due prove per ogni lotto di profilati di non più di 50 e non meno di 30 tonnellate per ciascun tipo di profilato, oppure una prova per ciascun lotto di meno di 30 tonnellate per ciascun tipo di profilato. A tale scopo un lotto potrà venir definito come il tonnellaggio di un profilato sagomato in un unico ciclo di produzione, da materiale proveniente da una sola colata o fusione.
- e) A giudizio del fabbricante sia le prove di trazione che di compressione possono venir impiegate normalmente per accettazione o controllo, purché il fabbricante dimostri che i valori misurati nella prova che egli stabilisce di usare indicheranno con sicurezza la resistenza allo snervamento del profilato per il tipo di acciaio usato, allorché venga sottoposto al tipo di sollecitazione alla quale l'elemento dovrà essere impiegato.

APPENDICE

Prova di compressione (vedere paragrafo 6.2.3 della Norma)

Si raccomanda che le prove di compressione assiale vengano effettuate su campioni con estremità spianate, la cui lunghezza non sia inferiore a tre volte la dimensione maggiore del profilato, nè superiore a venti volte il raggio di inerzia minimo. Se si devono eseguire prove di resistenza a compressione per controllare i punti di snervamento per ragioni di controllo di qualità, la lunghezza del profilato non deve essere minore di 15 volte il raggio di inerzia minimo.

È importante, nell'esecuzione delle prove di compressione, porre particolare attenzione al centraggio del campione nella macchina di prova, in modo che il carico sia applicato coassialmente all'asse baricentrico del profilato.

Per ulteriori informazioni riguardo alle prove di compressione si vedano le seguenti pubblicazioni: Norma ASTM: E 9 - 67 «Metodi normalizzati di prove di compressione su materiali metallici a temperatura ambiente» (Standard Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature); «Note sulle prove di compressione sui materiali» (Notes on Compression Testing of Materials) e «Procedimento di Prova su pilastri tozzi» (Stub Column Test Procedure) ristampato nella «Guida ai criteri di progettazione per elementi compressi metallici» (Guide to Design Criteria for Metal Compression Members) B. G. Johnston, Editor John Wiley and Sons Inc., Second Edition 1966, ed infine: «Memorie Tecniche» (Technical Memoranda) N. 2 e 3 del Column Research Council.

(*) Vedere appendice per le raccomandazioni relative ai particolari delle prove di compressione.

PARTE II

Commento alle

NORME PER IL CALCOLO DI ELEMENTI STRUTTURALI SOTTILI DI ACCIAIO INOSSIDABILE PROFILATI A FREDDO

CAPITOLO 1 - GENERALITÀ

1.1 Finalità

I tipi di acciaio inossidabile considerati nelle Norme sono largamente impiegati in applicazioni architettoniche e di altro tipo, sotto l'azione di carichi statici. È importante notare tuttavia che esse si riferiscono solo ad acciaio solubilizzato e spianato. Le Norme possono venir applicate ad altri tipi di acciaio inossidabile solubilizzato (ricotto), mentre i tipi di acciaio inossidabile austenitico laminato a freddo richiedono una trattazione a parte.

Le « Norme per il progetto, la fabbricazione e la messa in opera di acciai da costruzione per edilizia » (Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Building) pubblicate dall'American Institute of Steel Construction, le « Norme unificate per travetti di acciaio ad anima aperta » (Standard Specification for Open Web Steel Joists) pubblicate dallo Steel Joist Institute e dall'American Institute of Steel Construction, e le « Norme per il calcolo di elementi strutturali sottili di acciaio profilati a freddo » (Specification for the Design of Light Gage Cold-Formed Steel Structural Members) pubblicate dall'American Iron and Steel Institute non riguardano il calcolo di elementi strutturali di acciaio inossidabile.

1.2 Materiali

Le lamiere e i nastri di acciaio inossidabile austenitico usati in applicazioni architettoniche richiedono un'operazione di spianatura, ultimo passo del procedimento di fabbricazione. Tale operazione viene condotta sia con spianatrice a rulli sia, nel caso si tratti di lamiere a lunghezza fissa, con macchina stiratrice. A ciò si aggiunga che quasi sempre le lamiere e i nastri hanno subito una leggera laminazione a freddo (skinpass) prima della spianatura o stiratura.

L'insieme di queste operazioni ha come risultato una riduzione dello spessore dell'ordine del 2-3%. Tenuto conto che gli acciai inossidabili austenitici sono molto sensibili alle lavorazioni a freddo (incrudimento), ne risulta un leggero aumento direzionale dello snervamento e del carico di rottura, il che produce un cambiamento nella forma delle curve tensione/deformazione. Per tener conto di questo incremento delle caratteristiche sono stati condotti studi sperimentali su lamiere spianate. Le tensioni ammissibili e le equazioni per il calcolo riportate nel capitolo 3 della Norma sono perciò riferite a materiale spianato. Tuttavia i produttori di acciaio possono fornire anche materiale conforme ai valori resistenziali minimi ammessi dalla specifica ASTM. Questi valori sono leggermente inferiori a quelli caratteristici del materiale skinpassato e spianato; essi si riferiscono all'acciaio completamente solubilizzato. Ne consegue che il comportamento e le proprietà meccaniche per lamiere e nastri che non abbiano subito le operazioni finali sopra riportate devono essere stabiliti da prove, come descritto nel capitolo 6.

CAPITOLO 2 - NORME DI CALCOLO

2.1 Procedimento

Il procedimento di calcolo per lamiere e nastri di acciaio inossidabile solubilizzati e spianati è generalmente ricavato dai principi base applicabili in tutti i campi della tecnica delle

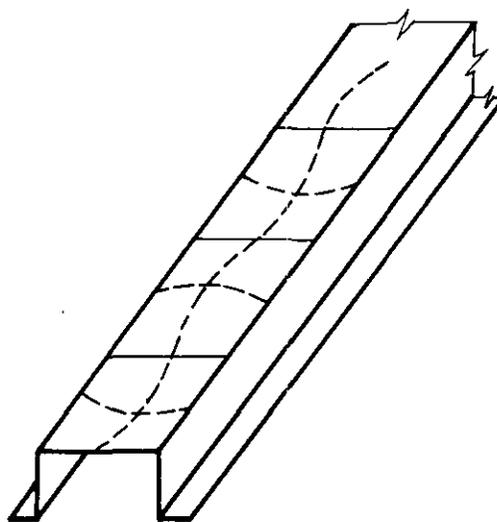


Fig. 1a

costruzioni. Tuttavia, contrariamente alle costruzioni di acciaio a forte spessore, le caratteristiche strutturali di costruzioni sottili di metallo richiedono particolare attenzione per il comportamento di elementi sottili e di strutture composte da questi elementi.

I procedimenti per il calcolo di elementi sottili di acciaio al carbonio sono ben determinati e sono stati discussi a fondo^{1,2}. La progettazione in acciaio inossidabile di piccolo spessore è simile alla progettazione in acciaio al carbonio di piccolo spessore; tuttavia, poiché le proprietà meccaniche dell'acciaio inossidabile austenitico sono più complesse di quelle dell'acciaio al carbonio, i procedimenti di calcolo sono a volte leggermente più complessi.

2.3 Proprietà dei profilati

Contrariamente ai pilastri caricati di punta, le strutture leggere, consistenti in profilati sottili compressi assialmente od inflessi, posseggono di solito un largo margine di resistenza anche dopo che in esse sono comparse manifeste deformazioni. Questo non vale nel caso di strutture leggere realizzate:

- con materiali metallici aventi un ben definito punto di snervamento, quando le deformazioni si verificano a seguito di sollecitazioni prossime al suddetto punto;
- con materiali metallici, che hanno solo un punto di snervamento convenzionale (quali gli acciai inossidabili), quando le deformazioni sono fortemente anelastiche.

La figura 1a illustra la deformazione dell'ala di un elemento irrigidito (elemento piano che può essere considerato come semplicemente irrigidito lungo entrambi i bordi da due anime sottili) sollecitato assialmente a compressione.

Sebbene l'ala si sia deformata con ondulazioni che escono dal piano iniziale, il profilato della quale essa fa parte è ancora in grado di resistere ad un aumento del carico e non è in pericolo di collasso. Questo comportamento è il risultato delle tensioni di membrana le quali si sviluppano sull'ala con direzione perpendicolare a quella della compressione.

Elementi non irrigiditi (cioè elementi piani aventi un solo bordo irrigidito e scarichi su entrambi i bordi) si comportano in modo simile, però il loro margine di resistenza dopo la comparsa delle deformazioni, è relativamente piccolo poiché l'azione di membrana non può svilupparsi che in misura ridotta.

L'equazione generale che dà la tensione critica alla quale si ha il cedimento degli elementi di lamiera a comportamento isotropo è:

$$\sigma_{cr} = \frac{k \pi^2 \eta E_0}{12 (1-\mu^2) (w/t)^2} \quad (2-1)$$

dove:

σ_{cr} = tensione critica [p.s.i.].

E_0 = modulo iniziale di elasticità [p.s.i.]

μ = modulo di Poisson nel campo elastico, adimensionale

η = fattore di riduzione di plasticità, adimensionale

w = larghezza piana (v. definizione paragrafo 2.2) [in.]

t = spessore [in.]

k = coefficiente di irrigidimento dovuto al bordo, adimensionale.

Un esame dell'equazione (2-1) rivela che il rapporto di larghezza piana è un parametro importante; la tensione critica diminuisce al suo aumentare.

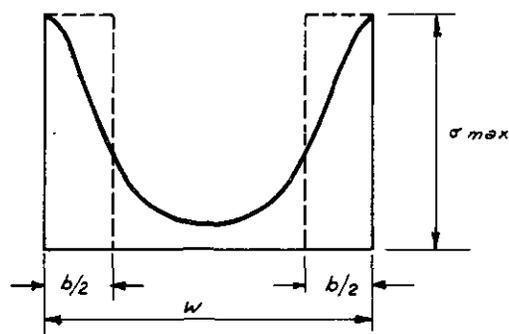


Fig. 1b

Per mantenere il rapporto di larghezza piana w/t ragionevolmente basso, ottenendo così delle tensioni critiche elevate, gli elementi compressi sono spesso forniti di irrigidimenti longitudinali intermedi tra le anime o tra un'anima e un bordo piegato.

Nella progettazione pratica il concetto di «larghezza efficace» è largamente impiegato per tener conto della resistenza dopo cedimento degli elementi compressi. La figura 1 b indica la distribuzione della tensione in un elemento compresso irrigidito. La linea continua indica la distribuzione effettiva

della tensione sulla larghezza piana dell'elemento w . La linea tratteggiata indica la distribuzione della tensione uniforme equivalente, di intensità eguale alla tensione in corrispondenza del bordo, ma applicata solo su di una larghezza efficace b . Il carico totale sull'elemento è eguale per entrambe le distribuzioni. Nel paragrafo 2.3.1 delle Norme sono date le applicazioni del concetto di larghezza efficace.

Il concetto di larghezza efficace è usato per calcolare le proprietà di profilati che comprendono elementi compressi irrigiditi o a irrigidimenti multipli. Poiché la larghezza efficace è funzione della tensione al bordo dell'elemento ne deriva che le proprietà del profilato sono funzioni del livello di tensione. Per questa ragione, nel calcolare l'area efficace, il momento di inerzia e il modulo di resistenza della sezione, si deve fare particolare attenzione alla larghezza efficace degli elementi compressi irrigiditi ed a irrigidimenti multipli, come una funzione della tensione al bordo e del rapporto di larghezza piana. L'applicazione della prescrizione è data nei paragrafi 2.4 e 3.7 della Norma.

2.3.1.1 Elementi irrigiditi senza irrigidimenti intermedi

Le relazioni che danno la «larghezza efficace» usate nelle Norme sono derivate dalla modifica sperimentale di Winter della relazione di von Karman e sono state verificate per mezzo di una serie di prove su travi di acciaio inossidabile Tipo 304 solubilizzato e spianato^{3, 6}. È stata dimostrata la loro validità nel determinare la resistenza a flessione e le deformazioni al carico di servizio.

La formula speciale per determinare la resistenza (formula 1) è stata adattata in modo che la sostituzione della tensione effettiva, f , si traduce realmente nella determinazione della larghezza efficace per una tensione di $1,85f$. Questo garantisce un adeguato fattore di sicurezza malgrado i limiti proporzionali relativamente bassi (nei confronti delle resistenze allo snervamento) trovati negli acciai inossidabili, noti per le loro curve tensione/deformazione non lineari. L'equazione dà come risultato larghezze efficaci minori di quelle che derivano, a parità di tensioni, dalla formula speciale per gli acciai al carbonio^{1, 2}. Quella formula è tale che la sostituzione della tensione effettiva, f , si traduce nella determinazione della larghezza efficace per $1,65f$. Perciò è garantito un fattore di sicurezza adeguato, essendo basata sull'ipotesi che il limite di proporzionalità nell'acciaio al carbonio non sia inferiore al 75% del limite di snervamento minimo determinato.

L'equazione di base (formula 2) è usata senza modifiche per le deformazioni e dà la larghezza efficace sotto l'azione della tensione effettiva, f , essendo identica alla formula usata per l'acciaio al carbonio. Per evidenti ragioni non si fa, e nemmeno è necessario, alcun adattamento della tensione effettiva nel calcolo delle larghezze efficaci usato per determinare le deformazioni.

2.3.1.2 Elementi a irrigidimenti multipli ed elementi larghi con bordi irrigiditi

In molte applicazioni dei profilati di acciaio inossidabile, quando è necessario ricoprire larghe superfici, si può migliorare l'economia della struttura per mezzo di irrigidimenti intermedi tra le anime, o tra un'anima ed un bordo irrigidito. Prove su elementi sottili di acciaio al carbonio hanno indicato che la larghezza efficace di sub-elementi di elementi a irrigidimenti multipli è minore di quella di un normale elemento irrigidito dello stesso rapporto larghezza/spessore w/t particolarmente nel caso in cui w/t supera all'incirca 60. Ciò perché la tensione di un sub-elemento è minore nell'irrigidimento intermedio che nel bordo, come è indicato nella figu-

ra 2, per un'ala a irrigidimenti multipli con un rapporto di larghezza piana del sub-elemento maggiore di 60.

Il comportamento strutturale più sopra descritto dei profilati di acciaio al carbonio è applicabile egualmente ad elementi di acciaio inossidabile a irrigidimenti multipli. Per questa ragione le formule (3), (4) e (5) per calcolare la larghezza efficace di calcolo, b' , di un sub-elemento che abbia rapporti w/t elevati e per il calcolo dell'area ridotta di un irrigidimento, sono ricavate dal Manuale AISI relativo a strutture di acciaio al carbonio¹.

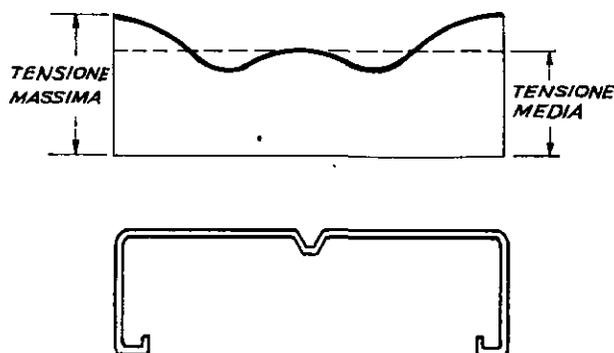


Fig. 2

2.3.2.1 Irrigidimenti del bordo

L'equazione (formula 6), data per il momento minimo di inerzia di un irrigidimento del bordo, e l'espressione (formula 7), per la lunghezza minima di un bordo piegato, sono state ricavate dal manuale sopraccitato con una modifica che rispecchia un differente rapporto limite di larghezza piana per ali non irrigidite. Il rapporto massimo di larghezza piana per cui si può usare come irrigidimento un semplice bordo piegato è stato ridotto da 60 a 50, perchè per w/t maggiore di 50 il bordo piegato richiesto non sarebbe pienamente efficace, e di conseguenza la resistenza dopo cedimento dell'ala non verrebbe pienamente sfruttata.

2.3.2.2 Irrigidimenti intermedi

Poichè si richiede che un irrigidimento del bordo rinforzi un solo elemento compresso e poichè un irrigidimento intermedio rinforza due di tali elementi (uno da ogni parte dell'irrigidimento), il momento minimo di inerzia di un irrigidimento intermedio è doppio di quello di un irrigidimento del bordo. La validità di questa affermazione è stata verificata da prove su elementi di acciaio al carbonio di spessore sottile, come esaminato nell'articolo III. 3 (b) del Commento al Manuale AISI relativo a strutture di acciaio al carbonio. Una ulteriore verifica sperimentale è data negli Atti Tecnici CSAV⁵.

2.3.3 Rapporti di larghezza piana (w/t) massimi ammissibili

Le limitazioni dei rapporti massimi ammissibili w/t sono state stabilite empiricamente sulla base di esperienze e prove. La limitazione di un rapporto massimo w/t pari a 50 per elementi compressi irrigiditi con un semplice bordo piegato è basata sul fatto che esso stesso è un elemento non irrigidito. La limitazione di w/t pari a 90 per ali con irrigidimenti di altro tipo è fatta per prevenire un possibile danneggiamento di ali così flessibili nel trasporto, maneggio e montaggio.

Il rapporto complessivo massimo consentito w/t per elementi compressi irrigiditi mediante la connessione di entrambi i bordi longitudinali ad un'anima o ad un'ala è limitato a 400. Tuttavia quando il rapporto w/t di ali irrigidite supera approssimativamente 75, ed il rapporto w/t di ali non irrigidite supera 30, è probabile che si verifichino distorsioni ai carichi di progetto in modo sensibile, ma non strutturalmente dannoso. Inoltre Callender⁴ indica che il cedimento di lamiera non trattate termicamente può svilupparsi in conseguenza dell'effetto termico se il rapporto w/t di elementi irrigiditi supera 150-200, a seconda della finitura superficiale della lamiera.

Per limitare l'entità massima dell'accartocciamento o del movimento verso l'asse neutro di ali anormalmente larghe è stata inclusa una formula (formula 9) ricavata dal Manuale AISI¹ nel paragrafo 2.3.3 (d) per la determinazione della larghezza massima ammissibile d'ala, w_{max} , per un dato accartocciamento ammissibile, c . Si deve notare che la prescrizione non stabilisce il valore dell'accartocciamento che può essere considerato come ammissibile. Il progettista deve stabilire questo valore sulla base del tipo di profilato usato e di una buona pratica tecnica.

In generale, per motivi estetici, è essenziale controllare attentamente le distorsioni di ali insolitamente larghe.

2.3.4 Altezza massima ammissibile delle anime piane non irrigidite

Il limite di $h/t = 150$ per determinare l'altezza ammissibile di anime piane non irrigidite è ricavato dal Manuale AISI¹. Questo limite non riguarda i profilati usati solo con funzioni estetiche e non portanti. Inoltre si possono usare anime più alte se si hanno irrigidimenti.

2.3.5 Campate insolitamente corte sottoposte a carichi concentrati

La prescrizione di calcolo del paragrafo 2.3.5, per travi aventi un rapporto luce/larghezza insolitamente piccolo e sottoposte a carichi concentrati, è presa dal Manuale AISI¹, dal momento che non vi è alcuna ragione per modificare questa Norma per le particolari proprietà meccaniche dell'acciaio inossidabile. La riduzione precisata della larghezza dell'ala è dovuta all'effetto di taglio ritardato.

Il fenomeno del taglio ritardato è descritto nel Manuale AISI²:

« Nelle travi metalliche di forma comune le tensioni normali sono indotte nelle ali tramite tensioni tangenziali trasferite dall'anima all'ala. Queste tensioni tangenziali producono deformazioni nell'ala che, per dimensioni ordinarie, hanno effetti trascurabili. Tuttavia se le ali sono insolitamente larghe (in relazione alla loro lunghezza) queste deformazioni dovute al taglio hanno l'effetto di diminuire le tensioni normali dovute alla flessione nelle ali con l'aumentare della distanza dall'anima. Questo fenomeno è conosciuto come taglio ritardato. Esso produce una distribuzione disuniforme della tensione lungo la larghezza dell'ala, simile a quella che si ha negli elementi compressi irrigiditi, per quanto per ragioni completamente diverse. Come in quest'ultimo caso, il modo più semplice di tener conto nel calcolo di questa variazione di tensione, è di sostituire l'ala non uniformemente sollecitata di larghezza effettiva w' con un'ala di larghezza efficace ridotta, soggetta ad una tensione uniforme ».

Per un carico uniforme la riduzione di larghezza dovuta al taglio ritardato è praticamente trascurabile e per questo nel paragrafo 2.3.5 non è stata inclusa alcuna norma per la riduzione della larghezza dell'ala in casi del genere.

2.4 Calcolo di elementi inflessi

Nella Norma sono incluse prescrizioni precise per determinare la resistenza e le deformazioni di elementi inflessi, tenendo conto delle proprietà meccaniche del materiale considerato e dei vari tipi di applicazione dei profilati di acciaio inossidabile.

2.4.1 Determinazione della resistenza

La determinazione della resistenza di elementi inflessi dipende dal tipo di ala sottoposta a compressione usata nei profilati. Per elementi che abbiano un'ala compressa irrigidita, la capacità di portata dell'elemento deve essere determinata secondo le proprietà trasversali dei profilati in ragione della larghezza efficace di calcolo dell'ala compressa e delle tensioni ammissibili precisate nel paragrafo 3. Per elementi che abbiano l'ala non irrigidita, la capacità di portata è calcolata in ragione delle proprietà trasversali della sezione totale e delle tensioni ammissibili per elementi non irrigiditi anch'esse precisate al paragrafo 3.

2.4.2 Determinazione delle deformazioni

Per ottenere valutazioni attendibili delle deformazioni di elementi inflessi sottoposti a carichi di servizio, nel paragrafo 2.4.2 è impiegato un modulo di elasticità ridotto per tensioni nelle ali nel campo anelastico. Dalle figure 2.4.2.a e 2.4.2.b possono essere determinate le tensioni alle quali inizia il comportamento anelastico. Per i profilati sottili generalmente impiegati nelle costruzioni di acciaio, si raccomanda come modulo ridotto la media dei moduli secanti corrispondenti alle tensioni nell'ala tesa e nell'ala compressa. Una verifica sperimentale di questa prescrizione viene data da Johnson e Winter³.

CAPITOLO 3 - TENSIONI AMMISSIBILI DI CALCOLO

3.1 Tensione base di calcolo

I tipi di acciaio inossidabile austenitico solubilizzato e spianato hanno delle proprietà leggermente anisotrope, come risultato dell'operazione di skinpass e spianatura. È perciò necessario considerare quattro differenti curve tensione-deformazione (trazione e compressione longitudinali, trazione e compressione trasversali). Le resistenze allo snervamento indicate nella tabella seguente sono state determinate per mezzo di una analisi statistica, descritta da Johnson⁶. Per semplicità di calcolo, esse sono state raggruppate ed arrotondate, come indicato.

La resistenza allo snervamento a taglio è stata assunta come la media aritmetica delle resistenze allo snervamento a trazione e compressione, date più sotto, divise per due, cioè

$$f_{xy} = 18.000 \text{ p.s.i.}$$

La relazione fra le curve tensione/deformazione a trazione e compressione e la curva tensione/deformazione a taglio, è stata discussa da Johnson⁶.

Le tensioni a trazione e compressione massime ammissibili si ottengono dividendo le resistenze allo snervamento per un coefficiente di sicurezza pari a 1,85. Questo coefficiente è superiore a quello riportato nel Manuale AISI¹. Ciò riflette la mancanza di esperienza nel calcolo di elementi strutturali di acciaio inossidabile. Inoltre si è scelto questo valore del coefficiente per ridurre al minimo la possibilità di inflessione

permanente quando gli elementi sono sottoposti a tensioni superiori al limite di proporzionalità e per ridurre la necessità di calcoli di inflessione anelastica. La base sperimentale di questa scelta è indicata nella tabella sotto riportata, da cui risulta come il limite di proporzionalità per elementi inflessi può essere paragonato con le tensioni massime ammissibili di calcolo. Si richiama l'attenzione sul fatto che per la compressione longitudinale, la massima tensione ammissibile di calcolo è maggiore del limite di proporzionalità.

TABELLA 3.1

Tipo di tensione	Resist. a trazione p.s.i.	Resist. effettiva allo snervamento p.s.i.	Resist. allo snervamento (per il calcolo) p.s.i.	Tensione base di calcolo p.s.i.	Limite di proporzionalità a flessione p.s.i.
Trazione longitud.	94.600	38.000	37.000	20.000	24.700
Trazione trasversale	91.100	36.000	37.000	20.000	21.600
Compressione trasv.	—	37.500	37.000	20.000	24.400
Compressione longit.	—	34.500	34.000	18.000	15.500

La tensione tangenziale ammissibile si ottiene dividendo la resistenza allo snervamento a taglio per un coefficiente di sicurezza di 1,64. Questo coefficiente è stato scelto in conseguenza della natura meno grave del cedimento di taglio (che è localizzato nel punto di taglio massimo nell'anima) in paragone allo snervamento da tensione o da compressione. Questa scelta è basata su di un ragionamento simile a quello che è alla base delle prescrizioni delle Norme AISC⁷ ed AISI¹, ma si è fatto un adattamento nel fattore di sicurezza piuttosto che nella relazione fra la resistenza allo snervamento a taglio e la resistenza allo snervamento a trazione e a compressione.

3.1.1 Utilizzazione dell'incrudimento dovuto alla profilatura

La resistenza degli acciai inossidabili austenitici può essere notevolmente aumentata per mezzo di procedimenti di profilatura a freddo. Questo paragrafo permette l'utilizzazione dell'incrudimento in certe condizioni (vedi i paragrafi 3.1.1.1 e 3.1.1.2). L'aumento potenziale delle caratteristiche resistenziali dell'elemento dovuto alla profilatura a freddo, come indicato nelle tabelle 4 e 7 del testo di Johnson e Winter³, va dal 5 all'11 % per la resistenza a flessione e dal 14 al 24 % per la resistenza a compressione assiale, per i profilati particolari studiati.

3.2 Compressione su elementi non irrigiditi

Le tensioni ammissibili per elementi compressi non irrigiditi in profilati che non siano degli angolari, sono state determinate dall'analisi di risultati sperimentali riportati da Johnson⁶. Per rapporti w/t maggiori di 30 si danno due tensioni ammissibili. La prima formula nel paragrafo 3.2 comma c), considera le distorsioni locali dell'elemento compresso a carichi di progetto per elementi non in vista, o per i quali si possa tollerare un'ondulazione di entità eguale allo spessore della lamiera. La seconda formula dello stesso comma si applica ad elementi importanti ed in vista, per i quali non sono ammissibili distorsioni locali ai carichi di progetto.

Le equazioni particolari per determinare la tensione ammissibile sono basate sulla curva tensione-deformazione di compressione longitudinale. Non vengono date equazioni per la compressione trasversale per due ragioni: è improbabile che

gli elementi siano stampati con l'asse perpendicolare alla direzione di laminazione della lamiera, e se anche fossero orientati in tal modo l'uso delle proprietà longitudinali sarebbe prudentiale.

Gli angolari non presentano un largo margine di resistenza dopo cedimento e vengono perciò progettati in base alla formula (11) con un coefficiente di sicurezza alla inflessione pari a 1,85.

3.3 Tensioni critiche per elementi irrigiditi

Elementi compressi irrigiditi possono resistere a tensioni considerevolmente superiori alle loro tensioni critiche senza diminuzione della loro capacità di carico. Comunque, tensioni superiori alla tensione critica possono causare piccole distorsioni locali al carico di servizio (*). Questa prescrizione limita le tensioni ammissibili per elementi irrigiditi a due casi, ossia 1) non sono permesse distorsioni locali al carico di progetto, e 2) possono essere tollerate alcune distorsioni appena percettibili al carico di progetto.

Questa prescrizione è considerata necessaria per l'acciaio inossidabile in conseguenza del suo basso limite di proporzionalità e per il semplice fatto che sovente si pone grande attenzione all'aspetto delle superfici esposte usate per scopi architettonici.

L'espressione generale (formula 15) per la tensione critica di elementi in lamiera, compresa nel paragrafo 3.3 della Norma, è basata sull'equazione 2-1' di questo commento ponendovi

$$E_0 = 29.500.000 \text{ [p.s.i.]}, \quad \mu = 0,3, \quad k = 4 \quad \text{e} \quad \eta = \sqrt{E_t/E_0}$$

3.4 Travi ad anima singola lateralmente non controventate

Le prescrizioni per le tensioni ammissibili negli elementi inflessi soggetti a pericolo di deviazione laterale sono state sviluppate modificando le equazioni elastiche per tener conto del comportamento anelastico dell'acciaio inossidabile.

Per costruzioni di acciaio inossidabile di spessore sottile la tensione critica nel campo elastico per i profilati ad I è approssimativamente (vedi Manuale AISI 2):

$$\sigma_{cr} = \frac{E_0 \pi^2}{2 (L/d)^2} \frac{I_y}{2 I_x} \quad (3-1)$$

dove:

σ_{cr} = tensione critica [p.s.i.]

E_0 = modulo iniziale di elasticità [p.s.i.]

I_x = momento di inerzia del profilato rispetto all'asse baricentrico perpendicolare all'anima [in.⁴]

I_y = momento di inerzia del profilato rispetto all'asse baricentrico parallelo all'anima [in.⁴]

L = lunghezza non controventata [in.]

d = altezza del profilato [in.].

Sostituendo Ar_x^2 e Ar_y^2 rispettivamente a I_x e I_y , si ha:

$$\sigma_{cr} = \frac{E_0 \pi^2}{4 (L/r_x)^2} \left[\frac{d}{r_x} \right]^2 \quad (3-2)$$

Nell'equazione sopra scritta d/r_x può essere posto prudentialmente uguale a 2,5. Per tener conto del comportamento anelastico dell'acciaio inossidabile il modulo iniziale di elasticità E_0 può essere sostituito dal modulo tangente E_t , come è suggerito da Timoshenko, S. P. e Gere⁸. Facendo queste sostituzioni, la tensione critica per il comportamento elastico od anelastico è data da

(*) Le Norme non contengono prescrizioni per impedire distorsioni causate da cedimento termico.

$$\sigma_{cr} = \frac{15.421 E_t}{(L/r_y)^2} \quad (3-3)$$

Usando il modulo tangente nella compressione longitudinale, l'equazione è riportata graficamente nella figura 3. Viene anche indicata una curva $\sigma_{cr}/1,85$. Per semplicità nella progettazione la seconda curva può essere rappresentata approssimativamente da tre linee rette, per L/r_y fino a 236. Per L/r_y maggiore si conserva la curva del campo elastico. Come è illustrato nella figura 3, il primo tratto è la tensione base di calcolo applicabile per L/r_y fino a 42. Il secondo tratto è una linea retta che è applicabile per L/r_y tra 42 e 100. Per L/r_y fra 100 e 236 viene data un'altra variazione lineare della tensione ammissibile. Per L/r_y maggiore di 236 la tensione massima è $\sigma_{cr}/1,85$. Queste tre rette e la curva sono date nella Norma per profilati ad I o a C.

Poichè il profilato a Z ha minore resistenza all'inflessione laterale, la tensione ammissibile è presa come metà di quella per profilati ad I o a C, per L/r_y maggiore di 100. Per valori di L/r_y minori le tensioni ammissibili per profilati a Z sono illustrate nella figura 3. La tensione base di calcolo può essere usata come tensione massima ammissibile per L/r_y minore di 23,5.

3.5 Tensioni ammissibili nelle anime di travi

Le prescrizioni per la determinazione delle tensioni ammissibili nelle anime di travi sono basate sulle tensioni critiche a taglio e a flessione, con modificazioni opportune per il comportamento anelastico e con coefficienti di sicurezza adattati all'acciaio inossidabile.

3.5.1 Tensioni tangenziali nelle anime

L'equazione generale per la tensione critica di lamiere piane è data nel paragrafo 2.3 di questo commento. Per un carico di taglio, σ_{cr} deve essere sostituito da τ_{cr} . Il coefficiente di bordo k è 5,35 per condizioni di irrigidimento semplice. Al fattore di riduzione di plasticità vengono dati diversi valori da vari autori. Uno dei più semplici è quello suggerito da Gerard¹¹ che pone $\eta = G_s/G_0$; cioè il rapporto del modulo secante di taglio con il modulo iniziale di taglio. Altri valori per il fattore di riduzione di plasticità sono troppo complicati per l'uso che se ne fa nella progettazione o eccessivamente prudentiali. Sostituendo i valori scelti più sopra, sostituendo h a w , ed applicando un coefficiente di sicurezza di 1,85 si può ottenere l'equazione data per la tensione tangenziale ammissibile.

3.5.2 Sollecitazioni di flessione nelle anime

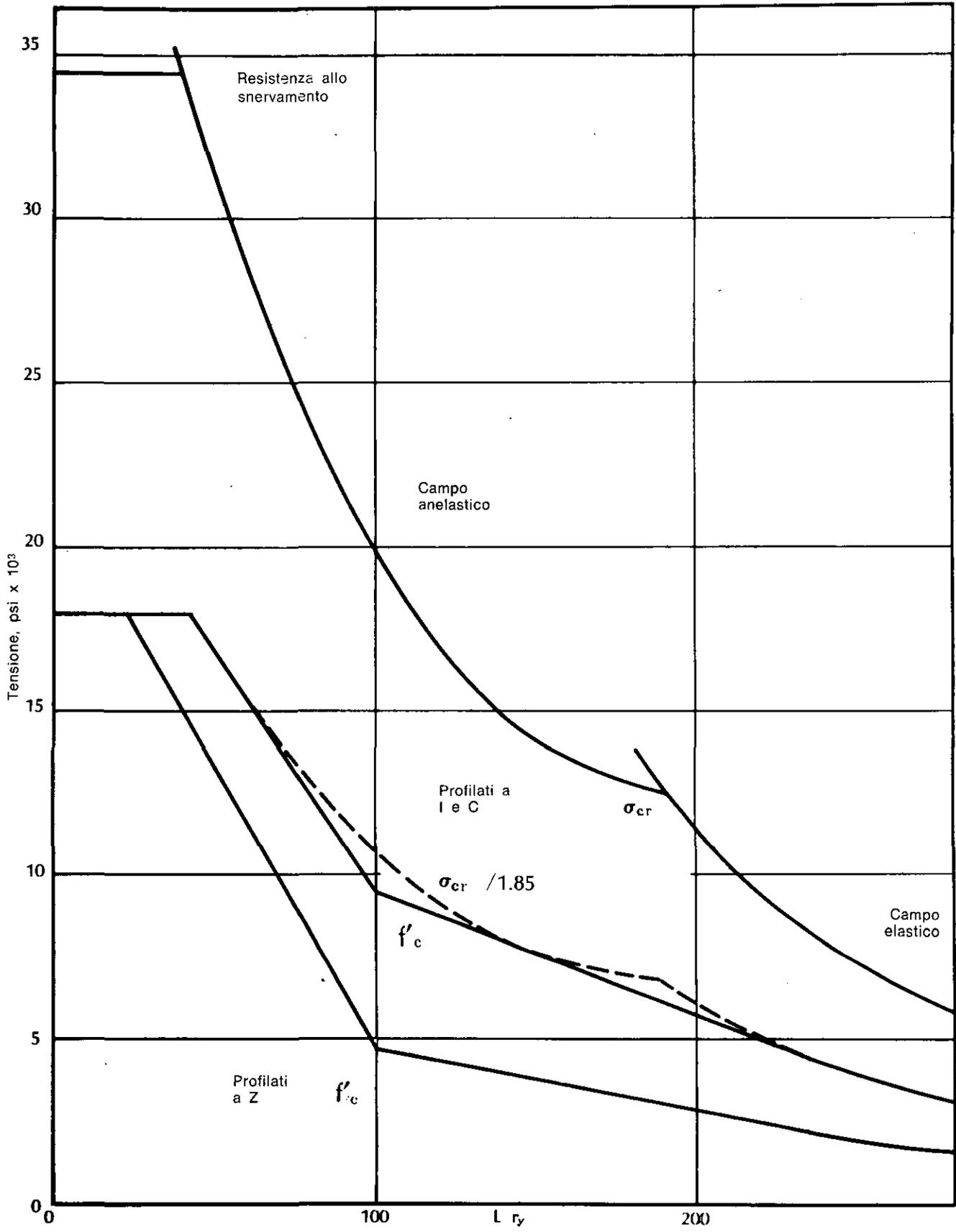
L'equazione generale che dà la tensione critica per le lamiere, è indicata nel paragrafo 2.3 di questo commento. Per lamiera semplicemente irrigidita, sottoposta a flessione nel piano, k è uguale a 23,9. Secondo Bijlaard⁹ il fattore di riduzione di plasticità può venir preso uguale a E_t/E_0 . Sostituendo questi valori, sostituendo h a w ed applicando un coefficiente di sicurezza di 1,4, si ottiene l'equazione della Norma. Il coefficiente di sicurezza è leggermente maggiore di quello usato per l'acciaio normale al carbonio di spessore sottile².

3.5.3 Sollecitazioni composte di flessione e taglio nelle anime

Quando le anime sono soggette a sollecitazioni composte di flessione e di taglio, esse devono essere calcolate in modo che non si verifichi il collasso. L'equazione di interazione viene riportata da Bleich¹² ed è usata anche nel Manuale AISI¹. Nel calcolo di f_w e di v , si tiene conto dei coefficienti di sicurezza e degli effetti del comportamento anelastico dell'acciaio inossidabile.

Fig. 3

TRAVI AD ANIMA SINGOLA LATERALMENTE NON CONTROVENTATE



3.6 Ingobbamento dell'anima di travi

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹.

3.7 Elementi compressi caricati assialmente

3.7.1 Tensioni unitarie

Nel calcolo è necessario fare una distinzione fra due diversi tipi di elementi compressi: quelli che possono crollare solo per cedimento globale dell'asta compressa, e quelli che possono cedere localmente prima che si verifichi il cedimento dell'asta compressa. Il calcolo di elementi soggetti a cedimento da torsione o da flessotorsione, non è trattato in queste Norme. Gli elementi che non sono biassialmente simmetrici nella sezione trasversale, o non sono caricati centralmente, possono essere soggetti a cedimento da torsione o da flessotorsione.

3.7.1.1 Profilati compatti

La formula per le tensioni ammissibili in elementi compressi caricati assialmente che non sono soggetti a cedimento locale, è semplicemente la formula accettata del modulo tangente. Questa formula è in generale considerata come il metodo, teoricamente corretto e verificato sperimentalmente, per prevedere il comportamento di un'asta compressa. I risultati delle prove su aste compresse composte di profilati a I e a scatola di acciaio inossidabile solubilizzato e spianato, che convalidano questa formula, sono dati da Johnson e Winter^{3,4}. Il coefficiente di sicurezza applicato nella formula di calcolo è 2,15. Questo coefficiente di sicurezza è maggiore del coefficiente di sicurezza base di 1,85, e mantiene il rapporto dei coefficienti corrispondenti per l'acciaio al carbonio di spessore sottile (vedi Manuale AISI¹).

3.7.1.2 Profilati non compatti

L'uso di un coefficiente di forma, Q, per elementi compressi soggetti a cedimento locale è stato preso dal Manuale AISI¹. Il metodo per determinare Q è invariato; tuttavia il procedimento per l'applicazione è diverso. L'equazione per profilati di acciaio inossidabile dà una tensione ammissibile minore di quella per barre compresse compatte con $L/r = 0$ ed uguale a quella per barre compresse compatte con un $L/r > 0$ finito. Per $L/r = 0$ la tensione ammissibile per barre compresse non compatte è uguale al prodotto del coefficiente di forma per la tensione ammissibile per barre compresse compatte, ossia $F'_a = QF_a \big|_{L/r=0}$. Le tensioni ammissibili per barre compresse compatte e non compatte sono uguali quando $F'_a = F_a = 1/2 QF_a \big|_{L/r=0}$.

3.7.2 Snellezza massima

La prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹.

3.8 Tensione di pressoflessione

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹, tranne che il coefficiente di sicurezza è stato cambiato dove era necessario.

3.9 Tensioni per vento o terremoto

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹.

3.10 Elementi cilindrici tubolari

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹, con l'aggiunta di un richiamo per il calcolo di elementi cilindrici tubolari con rapporti diametro/spessore maggiori del massimo indicato.

CAPITOLO 4 - COLLEGAMENTI

In genere le prescrizioni per i collegamenti sono state prese dal Manuale AISI¹. Sono state fatte delle modifiche dove necessario per tener conto delle differenze nelle proprietà meccaniche dell'acciaio inossidabile nei confronti dell'acciaio al carbonio.

4.1 Generalità

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹.

4.2 Saldature

4.2.1 Saldature per fusione

Per saldature d'angolo e ad asola è necessario considerare le proprietà meccaniche del materiale di saldatura. La resistenza minima allo snervamento di materiali adatti per saldatura di acciaio inossidabile è all'incirca 44.000 p.s.i. Assumendo la resistenza allo snervamento a taglio come metà della normale resistenza allo snervamento, ossia 22.000 p.s.i., il coefficiente di sicurezza pari a 2 dà una sollecitazione di taglio ammissibile di 11.000 p.s.i.

4.2.2 Saldature a resistenza elettrica

I valori della resistenza al taglio per saldatura a punti in funzione dello spessore della lamiera esterna più sottile sono dati dall'American Welding Society in «Pratiche raccomandate per saldatura a resistenza» (Recommended Practices for Resistance Welding) - 1966. Per questa norma vengono dati valori per lamiera spianata. Un coefficiente di sicurezza di 2,5 è stato applicato ai valori della resistenza per ottenere la resistenza ammissibile al taglio. Allo stesso modo per saldature a punti ed a rulli su lamiera più spessa, i valori AWS della resistenza al taglio sono divisi per 2,5 per ottenere i valori corrispondenti della resistenza ammissibile al taglio dati in queste Norme.

4.3 Collegamento di due profilati a C per formare un profilato a I

La prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹. Sono stati trascurati i leggeri cambiamenti possibili nella posizione del centro di taglio, dovuti alle curve non lineari tensione/deformazione dell'acciaio inossidabile.

4.4 Distanza dei collegamenti in elementi compressi

La prescrizione corrispondente del Manuale AISI¹ è stata leggermente modificata per tener conto del comportamento anelastico dell'acciaio inossidabile. Nel comma b) la distanza tra i collegamenti è una funzione della tensione critica della barra compressa, perciò il modulo di elasticità iniziale è stato sostituito dal modulo tangente. La prescrizione del comma c) è la stessa del manuale AISI¹, eccetto che la distanza minima a meno che non sia diversamente prescritto, è presa per semplicità uguale a 30 t per qualunque valore della tensione nell'elemento non irrigidito.

4.5 Collegamenti con bulloni

In genere le prescrizioni di calcolo sono state prese dal Manuale AISI¹. Le necessarie modifiche sono indicate qui di seguito.

4.5.3 Tensioni di rifollamento nei collegamenti con bulloni

La tensione ammissibile di rifollamento è funzione delle proprietà della lamiera di acciaio inossidabile. Il valore massimo di 65.000 p.s.i. è stato determinato nel seguente modo. Prove su giunti bullonati di acciaio al carbonio di spessore sottile hanno mostrato che il cedimento della sede del giunto

si verifica per una tensione pari a 4,8 volte la resistenza allo snervamento (vedi AISI²). Il Manuale AISI¹ dà una tensione ammissibile di rifollamento pari a 3,5 volte la tensione base di calcolo. Con un fattore di sicurezza di 1,65 per la tensione base di calcolo, questa tensione ammissibile di rifollamento è calcolata con un coefficiente di sicurezza contro il cedimento di $4,8 \times 1,65/3,5 = 2,26$.

Per acciai inossidabili dei tipi considerati, il MIL-HDBK-5¹⁰ dà come tensione massima di penetrazione nella lamiera 150.000 p.s.i. Prendendo lo stesso coefficiente di sicurezza contro il cedimento, come è stato detto per l'acciaio normale al carbonio, la tensione ammissibile di rifollamento per acciaio inossidabile diventa $150.000/2,26$ o all'incirca 65.000 p.s.i.

4.5.4 Tensioni tangenziali nei bulloni

Le tensioni tangenziali ammissibili nei bulloni sono funzione del tipo di bullone e del materiale con cui esso è fabbricato. Per giunti bullonati di acciaio inossidabile, il materiale dei bulloni deve essere compatibile con la lamiera, in modo che la resistenza alla corrosione non venga indebolita dall'azione elettrolitica fra materiali diversi. Poichè molti bulloni sono prodotti da ditte specializzate, la prescrizione stabilisce che la tensione tangenziale ammissibile deve essere determinata da procedimenti di controllo adeguati o da valori raccomandati dai fabbricanti. Dal momento che i bulloni normalmente sono collaudati a trazione è stato stabilito che il carico di rottura a taglio sull'area di nocciolo, deve essere considerato come il 60% del carico di rottura a trazione. Questa relazione fra il taglio e carico di rottura a trazione è usata normalmente per i bulloni e rispecchia le effettive caratteristiche di resistenza al taglio del materiale dei bulloni, quando sono usati in un collegamento. Per determinare la tensione tangenziale ammissibile si deve applicare alla resistenza di taglio massima un fattore di sicurezza di 2,5.

CAPITOLO 5 - ESIGENZE DI CONTROVENTATURA

5.1 Profilati a C e a Z usati come travi

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹. Le possibili piccole modifiche nella posizione del centro di taglio dovute alle curve tensione-deformazione non lineari dell'acciaio inossidabile sono state trascurate. La prescrizione deve essere usata in unione con il paragrafo 3.4 per la determinazione delle tensioni ammissibili per questi elementi.

5.2 Travi a scatola non controventate lateralmente

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹.

CAPITOLO 6 - PROVE

6.1 Determinazione delle relazioni tensione-deformazione

Questa prescrizione è inclusa per il caso in cui il materiale non corrisponda alle proprietà meccaniche indicate nel paragrafo 3 oppure per determinare le proprietà meccaniche e dati particolareggiati qualora lo richieda l'applicazione specifica.

6.2 Prove per casi particolari

6.2.1 Generalità

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹.

6.2.2 Prove per determinare il comportamento della struttura

Questa prescrizione è stata presa dal Manuale AISI¹. Le sole modifiche sono l'impiego di un coefficiente di sicurezza di 1,85 e l'inclusione della nota a piè pagina nel testo.

6.2.3 Prove per le proprietà della sezione totale

Questa prescrizione è essenzialmente la medesima di quella del Manuale AISI¹, tranne che deve assumersi come resistenza allo snervamento la tensione determinata con il metodo convenzionale dello scostamento dalla proporzionalità dello 0,2%.

BIBLIOGRAFIA

- (1) AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE « Specification for the Design of Light Gage Cold-Formed Steel Structural Members », New York, 1962.
- (2) WINTER, G. « Commentary on the 1962 Edition, Light Gage Cold-Formed Steel Design Manual », New York: America Iron and Steel Institute, 1962.
- (3) JOHNSON, A. L. and G. WINTER « Behaviour of Stainless Columns and Beams », Proc. ASCE vol. 92, No. ST 5, (Oct. 1966), pp. 97-118.
- (4) CALLENDER, J. H. « The Design of Stainless Steel Curtain Walls », Architectural Record, Oct. 1955.
- (5) SKALLOUD, M. « Oberkritisches Verhalten Gedrückter, mit Nachgiebigen Rippen Versteifter Platten », Acta Technica CSAV (Prague) No. 5, p. 459, 1963.
- (6) JOHNSON, A. L. « The Structural Performance of Austenitic Stainless Steel Members », PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y. February 1967; also Cornell University Department of Structural Engineering Report No. 327, Nov. 1966.
- (7) AMERICAN INSTITUTE of STEEL CONSTRUCTION « Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings », New York, N. Y., 1963.
- (8) TIMOSHENKO, S. P. and GERE, J. M. « Theory of Elastic Stability », 2nd Ed. New York: McGraw-Hill, 1961.
- (9) BIJLAARD, P. P. « Theory of Plastic Buckling of Plates and Application to Simply Supported Plates Subjected to Bending or Eccentric Compression in Their Plane », J. Appl. Mech., vol. 23, pp. 27-34, 1956.
- (10) DEPARTMENT of DEFENSE « Metallic Materials and Elements for Flight Vehicle Structures » (MIL-HDBK-5), Washington, D. C. 1962.
- (11) GERARD, G. « Introduction to Structural Stability Theory », New York: McGraw-Hill, 1962.
- (12) BLEICH, F. « Buckling Strength of Metal Structures » New York: McGraw-Hill, 1952.
- (13) WINTER, G. « Performance of Thin Steel Compression Flanges », Int. Assoc. Bridge & Struc. Eng., Third Congress, Liege, Prelim. Publ., p. 317, 1948 (Reprinted in Four Papers on the Performance of Thin Walled Steel Structures, Cornell Univ. Eng. Exp. Station, Reprint No. 33).

DOCUMENTAZIONE TECNICA IN DISTRIBUZIONE GRATUITA

FIAT - Sez. Ferriere	Acciai inossidabili FIAT - Come si lavorano.
Dott. ing. R. KUCICH	Elementi di metallurgia nella saldatura degli acciai inossidabili.
FIAT - Sez. Ferriere	Acciai inossidabili FIAT - Serie 300 / Serie 400.
FIAT - Sez. Ferriere	Acciai inossidabili FIAT - Come si saldano.
Dott. ing. L. FASSINA	Acciai inossidabili ed enologia (disponibile anche in lingua francese).
Dott. ing. R. KUCICH	Tecniche di saldatura e controllo dei manufatti saldati.
Dott. N. GOLDONI	Lavorazioni per deformazione plastica a caldo e a freddo.
Dott. ing. L. FASSINA	Note sul comportamento di acciai inossidabili FIAT in acqua di mare.

TABELLE FUORI TESTO

Proprietà meccaniche degli acciai inossidabili

Tipo	Carico rottura min. p.s.i.	Carico snervam. min. p.s.i.	Allungam. (2'), min. %	Durezza max.	
				Brinell	Rockwell B
301	75 000	30 000	40,0	202	88
302	75 000	30 000	40,0	202	88
302 B	75 000	30 000	40,0	217	95
304	75 000	30 000	40,0	202	88
304 L	70 000	25 000	40,0	202	88
305	70 000	25 000	40,0	202	88
308	75 000	30 000	40,0	202	88
309	75 000	30 000	40,0	217	95
309 S	75 000	30 000	40,0	217	95
310	75 000	30 000	40,0	217	95
310 S	75 000	30 000	40,0	217	95
316	75 000	30 000	40,0	217	95
316 L	70 000	25 000	40,0	217	95
317	75 000	30 000	35,0	217	95
317 L	75 000	30 000	35,0	217	95
321	75 000	30 000	40,0	202	88
347	75 000	30 000	40,0	202	88
348	75 000	30 000	40,0	202	88

(Da ASTM: A 167 - 63)

Tabelle di conversione

p.s.i.	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
	kg/mm ²									
0	0	0,70307	1,40614	2,10922	2,81229	3,51536	4,21843	4,92150	5,62458	6,32765
10 000	7,03072	7,73379	8,43686	9,13994	9,84301	10,5461	11,2492	11,9522	12,6553	13,3584
20 000	14,0614	14,7645	15,4676	16,1707	16,8737	17,5768	18,2799	18,9829	19,6860	20,3891
30 000	21,0922	21,7952	22,4983	23,2014	23,9044	24,6075	25,3106	26,0137	26,7167	27,4198
40 000	28,1229	28,8260	29,5290	30,2321	30,9352	31,6382	32,3413	33,0444	33,7475	34,4505
50 000	35,1536	35,8567	36,5597	37,2628	37,9659	38,6690	39,3720	40,0751	40,7782	41,4812
60 000	42,1843	42,8874	43,5905	44,2935	44,9966	45,6997	46,4028	47,1058	47,8089	48,5120
70 000	49,2150	49,9181	50,6212	51,3243	52,0273	52,7304	53,4335	54,1365	54,8396	55,5427
80 000	56,2458	56,9488	57,6519	58,3550	59,0580	59,7611	60,4642	61,1673	61,8703	62,5734
90 000	63,2765	63,9796	64,6826	65,3857	66,0888	66,7918	67,4949	68,1980	68,9011	69,6041

Pollici	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	mm									
0	0	0,254	0,508	0,762	1,016	1,27	1,524	1,778	2,032	2,286
0,01	2,54	2,794	3,048	3,302	3,556	3,81	4,064	4,318	4,572	4,826
0,02	5,08	5,334	5,588	5,842	6,096	6,35	6,604	6,858	7,112	7,366
0,03	7,62	7,874	8,128	8,382	8,636	8,89	9,144	9,398	9,652	9,906
0,04	10,16	10,414	10,668	10,922	11,176	11,43	11,684	11,938	12,192	12,446
0,05	12,7	12,954	13,208	13,462	13,716	13,97	14,224	14,478	14,732	14,986
0,06	15,24	15,494	15,748	16,002	16,256	16,51	16,764	17,018	17,272	17,526
0,07	17,78	18,034	18,288	18,542	18,796	19,05	19,304	19,558	19,812	20,066
0,08	20,32	20,574	20,828	21,082	21,336	21,59	21,844	22,098	22,352	22,606
0,09	22,86	23,114	23,368	23,622	23,876	24,13	24,384	24,638	24,892	25,146

metri m		pollici in
0,0254	1	39,37
0,0508	2	78,74
0,0762	3	118,11
0,1016	4	157,48
0,1270	5	196,85
0,1524	6	236,22
0,1778	7	275,59
0,2032	8	314,96
0,2286	9	354,33

libbre/pollice lb/in		chilogrammi/metro Kg/m
0,055997	1	17,85787
0,111994	2	35,71575
0,167991	3	53,57362
0,223988	4	71,43150
0,279985	5	89,28937
0,335982	6	107,14724
0,391979	7	125,00511
0,447976	8	142,86299
0,503973	9	160,72086

metri m		piedi ft
0,305	1	3,281
0,610	2	6,562
0,914	3	9,843
1,219	4	13,123
1,524	5	16,404
1,829	6	19,685
2,134	7	22,966
2,438	8	26,247
2,743	9	29,528

libbre/piede lb/ft		chilogrammi/metro Kg/m
0,67197	1	1,48816
1,34394	2	2,97632
2,01591	3	4,46448
2,68788	4	5,95264
3,35986	5	7,44080
4,03183	6	8,92896
4,70380	7	10,41712
5,37577	8	11,90528
6,04774	9	13,39344

chilogrammi Kg		libbre lb
0,454	1	2,205
0,907	2	4,409
1,361	3	6,614
1,814	4	8,818
2,268	5	11,023
2,722	6	13,228
3,175	7	15,432
3,629	8	17,637
4,082	9	19,842

SERIE FIAT 300

FIAT	301	Cb	317	309	310
COMPOSIZIONE CHIMICA INDICATIVA IN %	C 0,15 Max. Mn 2,00 Max. Si 1,00 Max. Cr 16-18 Ni 6-8	0,08 Max. 2,00 Max. 1,00 Max. 0-18 0-14 2-3 8 x C Min.	C 0,06 Max. Mn 2,00 Max. Si 1,00 Max. Cr 18-20 Ni 11-15 Mo 3-4	C 0,20 Max. Mn 2,00 Max. Si 1,00 Max. Cr 22-24 Ni 12-15	C 0,25 Max. Mn 2,00 Max. Si 1,50 Max. Cr 24-26 Ni 19-22
PROPRIETÀ FISICHE					
Peso specifico Kg/dm ³	8,02	8,02	8,02	8,02	8,02
Modulo di elasticità a trazione, Kg/mm ²	19.687	19.687	19.687	20.390	20.390
Struttura	Austenitica	Austenitica	Austenitica	Austenitica	Austenitica
Calore specifico, cal/°C g 0-100 °C	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Conducibilità termica cal/cm °C sec	100 °C 0,0385 500 °C 0,0510	0,0385 0,0510	0,0385 0,0510	0,0300 0,0420	0,0300 0,0420
Coefficiente di dilatazione termica medio x 10 ⁻⁶ in °C ⁻¹	0-100 °C 16,92 0-300 °C 17,10 0-500 °C 18,18 0-700 °C 18,72	6,50 8,00 9,00 —	16,02 16,20 17,46 18,54	14,90 16,70 17,30 18,00	14,40 16,20 16,90 17,50
Intervallo di fusione	1398-1420 °C	1398-1420 °C	1371-1398 °C	1398-1454 °C	1398-1454 °C
PROPRIETÀ ELETTRICHE					
Permeabilità magnetica, ricotto	Non magnetico	Magnetico	Non magnetico	Non magnetico	Non magnetico
Resistività elettrica microhm cm ² /cm a 21 °C	μ = 1,02 72	μ = 1,02 75	μ = 1,008 74	μ = 1,008 78	μ = 1,008 79
PROPRIETÀ MECCANICHE					
Durezza Brinell (barre) Ricotto (barre) Trafilato a freddo	135-185 210-330	0-190 —	135-185 180-300	140-185 —	145-210 —
Durezza Rockwell (lamiere o nastri) Ricotto (lamiere o nastri) Laminato a freddo	75-85 HR _A 25-45 HR _C	35 HR _B 30 HR _C	70-85 HR _B 10-30 HR _C	70-85 HR _B —	70-85 HR _B —
Carico di rottura a trazione, Kg/mm ²	Ricotto 63-77 Lavorato a freddo ** 89-130	0-75 —	53-63 70-105	53-67 —	53-67 —
Carico di snervamento, Kg/mm ²	Ricotto 25-35 Lavorato a freddo ** 53-98	min. —	21-42 35-88	25-38 —	25-38 —
Allungamento su 2" (= 50,8 mm)	Ricotto 65-55 % Lavorato a freddo ** 25-8 %	0 min. —	60-45 % 50-10 %	55-40 % —	55-40 % —
Strizione	Ricotto 70-60 % Lavorato a freddo ** —	60 % —	75-65 % —	70-50 % —	70-50 % —
Resistenza all'urto Izod, ft x lbs	Ricotto 120-100	10-95	120-95	120-100	115-100
Imbutitura, Olsen - in pollici ricotto Erichsen in mm	0,425-0,500 10-14	0-0,500 0-14	0,400-0,500 10-14	— —	— —
Resistenza allo scorrimento viscoso per 10.000 ore con un allungamento dell'1%, Kg/mm ²	538 °C 593 °C 649 °C 704 °C	— — — —	15,75 11,81 7,87 4,85	11,95 9,13 5,97 3,16	11,95 9,13 6,32 3,16
Carico di rottura a trazione a temperature elevate. Prove di breve durata, Kg/mm ²	704 °C 816 °C 927 °C	— — —	33,74 19,68 12,65	31,63 19,68 11,25	35,15 22,50 12,65
TRATTAMENTI TERMICI					
Ricottura completa	Raffreddamento rapido 1008-1120 °C	Raffreddamento rapido 1070 °C	Raffreddamento rapido 981-1093 °C	Raffreddamento rapido 1036-1120 °C	Raffreddamento rapido 1036-1149 °C
Ricottura industriale	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
Tempra	Non temprabile	Temprabile	Non temprabile	Non temprabile	Non temprabile
Rinvenimento	Non temprabile	Temprabile	Non temprabile	Non temprabile	Non temprabile
Intervallo di fucinatura	Inizio 1204 °C Fine oltre 926 °C	50 °C 750 °C	1204 °C oltre 926 °C	1176 °C oltre 981 °C	1176 °C oltre 981 °C
RESISTENZA AL CALORE					
Temperatura di formazione di scaglia	Servizio continuo 898 °C Servizio intermittente 815 °C	26 °C 42 °C	926 °C 842 °C	1093 °C 1008 °C	1120 °C 1036 °C
SALDABILITÀ	Molto buona Saldature tenaci	Molto buona Saldature tenaci	Molto buona Saldature tenaci	Buona Saldature tenaci	Buona Saldature tenaci
LAVORABILITÀ, paragonata all'acciaio Bessemer per viti B 1112	45 % circa	—	45 % circa	45 % circa	45 % circa
STAMPAGGIO O IMBUTITURA	Buona	Buona	Buona	Buona	Buona

Tutta la serie 300 ha un elevato peso specifico.

Tutta la serie 300 non è magnetica allo stato ricotto.

La serie 300 è caratterizzata da alti valori di resistenza e duttilità e può essere indurita solo mediante lavorazione a freddo. Tutta la serie ha una elevata tenacità e possiede alti valori di resilienza anche a temperature sotto zero.

Buona resistenza alla trazione nelle applicazioni ad elevata temperatura. Buone proprietà di resistenza alla formazione di scaglia anche ad alte temperature.

Tutta la serie possiede buone proprietà di saldabilità.

Tutti i tipi al cromo-nichel posseggono una buona resistenza allo scorrimento viscoso.

Tutta la serie 300 può essere fucinata ma occorre rispettare rigorosamente l'intervallo di temperatura indicato.

Tutta la serie 300 possiede buone proprietà di stampaggio e di imbutitura.

* Questa composizione è indicata per lavorazioni di stampaggio e di imbutitura che richiedono rilevanti deformazioni.
** Particolarmente indicati per ricalcature a freddo.
*** Proprietà meccaniche valgono per lamiere o nastri laminati di 1" di diametro.

