



**The Steel
Construction
Institute**

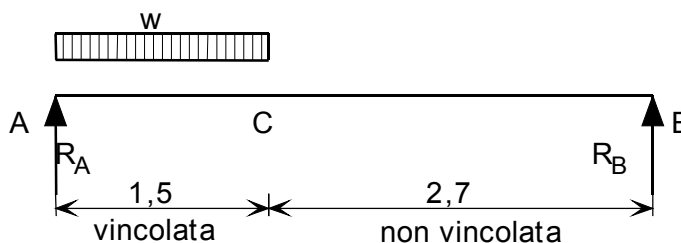
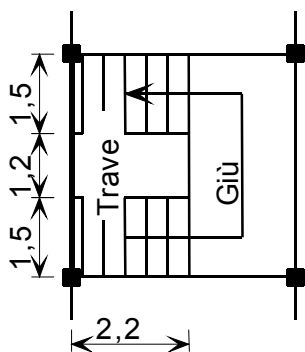
Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	1	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata					
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

ESEMPIO DI PROGETTO 9 – TRAVE CON LA FLANGIA COMPRESSA NON VINCOLATA

Progettare una trave di supporto di una scala. La trave è a sezione a C singola, semplicemente appoggiata tra due colonne. La rampa delle scale poggia tra A e C e fornisce un vincolo alla flangia superiore di questa parte della trave. La flangia tra B e C è senza vincolo. La lunghezza totale della trave è 4,2 m.



Azioni

Supponendo che la trave supporti solo il carico della prima rampa di scale ad essa appoggiata:

Azioni permanenti (G): Carico sulla scala $1,0 \text{ kN/m}^2 = (1,0 \times 2,2) = 2,2 \text{ kN/m}$
 Peso proprio della trave $0,13 \text{ kN/m}$

Azioni variabili (Q): Carico sulla scala $4 \text{ kN/m}^2 = (4,0 \times 2,2) = 8,8 \text{ kN/m}$

Combinazione di carico da considerare (stato limite ultimo):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Eq. 2.3

Poichè agisce un solo carico variabile ($Q_{k,1}$) l'ultimo termine della precedente espressione non viene considerato in questo esempio.

$\gamma_{G,j} = 1,35$ (effetti sfavorevoli)

$\gamma_{Q,1} = 1,5$

Par. 2.3.2

Azioni amplificate:

Azioni permanenti: Carico sulla scala $= 1,35 \times 2,2 = 2,97 \text{ kN/m}$

Peso proprio della trave $= 1,35 \times 0,13 = 0,17 \text{ kN/m}$

Azioni variabili: Carico sulla scala $= 1,5 \times 8,8 = 13,2 \text{ kN/m}$

Analisi strutturale

Reazioni ai punti di appoggio

$$R_A + R_B = (2,97 + 13,2) \times 1,5 + 0,17 \times 4,2 = 24,97 \text{ kN}$$



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	2	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata					
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

Considerando i momenti attorno ad A

$$R_B = \frac{1,5 \times 16,17 \times 0,75 + 0,17 \times 4,2 \times (4,2/2)}{4,2} = 4,69 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow R_A = 24,97 - 4,69 = 20,28 \text{ kN}$$

Il momento flettente massimo si ha alla distanza $1,5 \left(1 - \frac{1,5}{2 \times 4,2} \right) = 1,23 \text{ m}$ da A

$$M_{\max} = 20,28 \times 1,23 - 16,17 \times \frac{1,23^2}{2} - 0,17 \times \frac{1,23^2}{2} = 12,58 \text{ kNm}$$

Il massimo sforzo di taglio si ha in A

$$F_{Sd} = 20,28 \text{ kN}$$

Proprietà del materiale

Usare acciaio del tipo 1.4401

Tensione di scostamento dalla proporzionalità dello 0,2% = 220 N/mm²

Prendere f_y come tensione di scostamento dalla proporzionalità dello 0,2% = 220 N/mm²

$E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$ e $G = 76\,900 \text{ N/mm}^2$

Predimensionamento: sezione ad U 200 × 75, spessore = 5 mm

Proprietà della sezione trasversale

$$I_y = 9,456 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad W_{el,y} = 94,56 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 0,850 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad W_{pl,y} = 112,9 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 5085 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad A_g = 1650 \text{ mm}^2$$

$$I_t = 1,372 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Classificazione della sezione trasversale

$$\varepsilon = 1,01$$

Assumendo per l'anima conservativamente $c = h - 2t = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$

$$\text{Anima inflessa: } \frac{c}{t} = \frac{190}{5} = 38$$

Per sezioni di Classe 1, $\frac{c}{t} \leq 56\varepsilon$, allora l'anima è di Classe 1

$$\text{Ala esterna in compressione: } \frac{c}{t} = \frac{75}{5} = 15$$

Tabella 3.1
Par. 3.2.4
Par. 3.2.4

Tabella 4.2

Tabella 4.2

Tabella 4.2



Commessa N.	OSM 466	Foglio	3	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata					
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

Per sezioni di Classe 3, $\frac{c}{t} \leq 11,9\varepsilon = 12,0$, allora l'ala è di Classe 4

Allora la sezione è globalmente di Classe 4

Calcolo delle proprietà della sezione efficace

Calcolo del fattore di riduzione ρ per elementi esterni formati a freddo

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,231}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{ma } \leq 1$$

Eq. 4.1b

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad \text{dove } \bar{b} = c = 75\text{mm}$$

Eq. 4.2

Assumendo una distribuzione uniforme delle tensioni nella flangia compressa si ha:

Tabella 4.4

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$$

$$\Rightarrow k_\sigma = 0,43$$

Tabella 4.4

$$\bar{\lambda}_p = \frac{75/5}{28,4 \times 1,01 \times \sqrt{0,43}} = 0,797$$

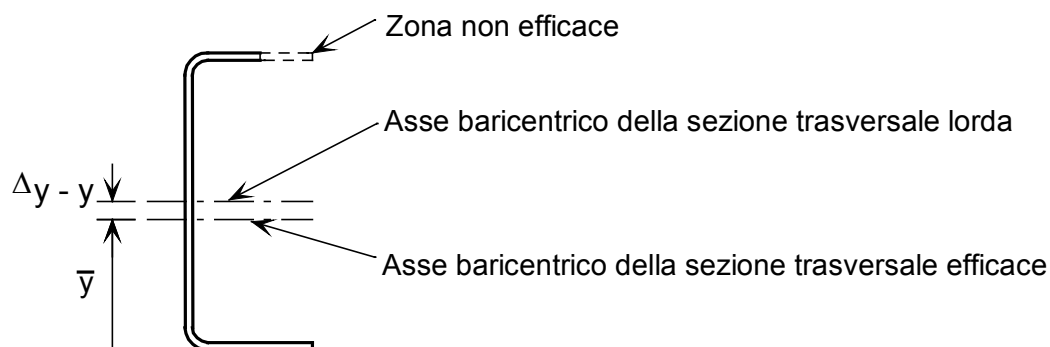
$$\rho = \frac{1}{0,797} - \frac{0,231}{0,797^2} = 0,891$$

$$c_{\text{eff}} = 0,891 \times 75 = 66,8 \text{ mm}$$

Tabella 4.4

$$A_{\text{eff}} = A_g - (1 - \rho)ct = 1650 - (1 - 0,891) \times 75 \times 5 = 1609 \text{ mm}^2$$

Calcolo dell'eccentricità dell'asse neutro in flessione:





**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	4	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata					
Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

$$\bar{y} = \frac{A_g \times \frac{h}{2} - (1-\rho) \times c \times t \times \left(h - \frac{t}{2}\right)}{A_{eff}} = \frac{1650 \times \frac{200}{2} - (1-0,891) \times 75 \times 5 \times \left(200 - \frac{5}{2}\right)}{1609}$$

$$\bar{y} = 97,53 \text{ mm}$$

$$\text{Spostamento dell'asse neutro, } \Delta_{y-y} = \frac{h}{2} - \bar{y} = \frac{200}{2} - 97,53 = 2,47 \text{ mm}$$

Calcolo di $I_{eff,y}$

$$I_{eff,y} = \left(I_y - \frac{(1-\rho)ct^3}{12} - (1-\rho)ct \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right)^2 - A_{eff} \Delta_{y-y}^2 \right)$$

$$I_{eff,y} = 9,456 \times 10^6 - \frac{(1-0,891) \times 75 \times 5^3}{12} - (1-0,891) \times 75 \times 5 \times (100 - 2,5)^2 - 1609 \times 2,47^2$$

$$= 9,06 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{eff,y} = \frac{I_{eff,y}}{\frac{h}{2} + \Delta_{y-y}} = \frac{9,06 \times 10^6}{\frac{200}{2} + 2,47} = 88,4 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Effetto della diffusione del taglio nella flangia

Par. 4.4.2

L'effetto della diffusione per taglio nella flangia può essere trascurato quando $b_0 \leq L_e/50$ per flangia esterna

L_e = distance between points of zero moment = 4200 mm

$L_e/50 = 84 \text{ mm}$, $b_0 = 75 \text{ mm}$, therefore shear lag can be neglected

Arricciamento della flangia

Par. 4.4.3
EN 1993-1-3:2004
par. 5.4(2)
eq. 5.3a

$$u = \frac{2\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z}$$

σ_a = sollecitazione longitudinale media nella flangia = 220 N/mm² (massimo valore possibile)

$$b_s = (75 - 5) = 70 \text{ mm}$$

$$z = (100 - 2,5) = 97,5 \text{ mm}$$

$$\therefore u = \frac{2 \times 220^2 \times 70^4}{200000^2 \times 5^2 \times 97,5} = 0,024 \text{ mm}$$



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	5 di 8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata			
Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001	
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

L'accorciamento della flangia può essere trascurato se $u < 0,05 \times 200 = 10 \text{ mm}$

Pertanto, l'accorciamento è trascurabile

Coefficienti parziali di sicurezza

Nell'esempio di progetto vengono usati i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{M0} = 1,1 \text{ and } \gamma_{M1} = 1,1$$

Momento resistente della sezione trasversale

Per una sezione trasversale di Classe 4

$$M_{c,Rd} = W_{\text{eff,min}} f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{88,4 \times 10^3 \times 220}{1,1 \times 10^6} = 17,7 \text{ kNm}$$

Momento di progetto = 12,58 kNm, \therefore il momento resistente della sezione è sufficiente

Resistenza al taglio della sezione trasversale

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$$A_v = h \times t = 200 \times 5 = 1000 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{1000 \times 220}{\sqrt{3} \times 1,1 \times 1000} = 115,5 \text{ kN}$$

Lo sforzo di taglio di progetto è 20,28 kN, pertanto la resistenza al taglio della sezione trasversale è sufficiente.

Verificare che la resistenza al taglio non sia limitata dall'instabilità per taglio

Si assume $h_w = h - 2t = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$

$$\frac{h_w}{t} = \frac{190}{5} = 38$$

si deve verificare la resistenza all'instabilità per taglio se $\frac{h_w}{t} \geq \frac{52\varepsilon}{\eta} = 43,2\varepsilon$

La resistenza al taglio non è limitata dall'instabilità per taglio.

Resistenza all'instabilità flessione-torsionale

La flangia in compressione della trave non è vincolata lateralmente tra B e C. Verificare l'instabilità flessione-torsionale di questa porzione di trave.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{\text{eff,y}} f_y / \gamma_{M1} \text{ per una sezione trasversale di Classe 4}$$

EN 1993-1-3:2004
par. 5.4(1)

Tabella 2.1

Par. 4.7.4

Eq. 4.29

Par. 4.7.5

Eq. 4.30

Par. 5.4.3

Par. 5.4.2

Eq. 5.8



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	6	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata					
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

$$W_{\text{eff},y} = 88.4 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\chi_{\text{LT}} = \frac{1}{\varphi_{\text{LT}} + [\varphi_{\text{LT}}^2 - \bar{\lambda}_{\text{LT}}^2]^{0.5}} \leq 1$$

$$\varphi_{\text{LT}} = 0.5 \left(1 + \alpha_{\text{LT}} (\bar{\lambda}_{\text{LT}} - 0.4) + \bar{\lambda}_{\text{LT}}^2 \right)$$

$$\bar{\lambda}_{\text{LT}} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{\text{cr}}}}$$

Determinare la snellezza per instabilità flessione-torsionale:

$$M_{\text{cr}} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left(\left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{1/2} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right)$$

C è un appoggio semplice, mentre B è schematizzabile come un incastro. Supponendo il caso più prudente: $k_z = k_w = 1,0$.

C_1 , C_2 and C_3 si determinano sulla base di considerazioni sul diagramma del momento flettente e sulle condizioni agli estremi.

Dal diagramma del momento flettente, $\psi = 0$

$$\Rightarrow C_1 = 1,77, C_2 = 0 \text{ and } C_3 = 1,00$$

$z_j = 0$ per una sezione trasversale a flange uguali

$$M_{\text{cr}} = 1,77 \times \frac{\pi^2 \times 200000 \times 0,850 \times 10^6}{(1,00 \times 2700)^2} \times$$

$$\left(\left[\left(\frac{1,00}{1,00} \right)^2 \frac{5085 \times 10^6}{0,850 \times 10^6} + \frac{(1,00 \times 2700)^2 \times 76900 \times 1,372 \times 10^4}{\pi^2 \times 200000 \times 0,850 \times 10^6} \right]^{0.5} \right)$$

$$M_{\text{cr}} = 41,9 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{\text{LT}} = \sqrt{\frac{88,4 \times 10^3 \times 220}{41,9 \times 10^6}} = 0,68$$

Utilizzando un fattore d'imperfezione $\alpha_{\text{LT}} = 0,34$ adatto a sezioni formate a freddo

$$\varphi = 0.5 \left(1 + 0,34(0,68 - 0.4) + 0,68^2 \right) = 0,779$$

$$\chi_{\text{LT}} = \frac{1}{0,779 + [0,779^2 - 0,68^2]^{0.5}} = 0,863$$

$$M_{\text{b,Rd}} = 0,863 \times 88.4 \times 10^3 \times 220 \times 10^{-6} / 1,1$$

$$= 15,3 \text{ kNm}$$

Eq. 5.9

Eq. 5.10

Eq. 5.11

Appendice B

Par. B.1

Tabella B.1

Eq. 5.11

Par. 5.4.2



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	7	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata					
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

Dal diagramma del momento flettente, il momento massimo nella porzione non vincolata della trave è = 12,0 kNm.

L'elemento ha, così, una resistenza all'instabilità flessione-torsionale adeguata.

Deformazioni

Combinazione dei carichi allo Stato Limite di Servizio (SLS): $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Poichè in questo esempio è prevista una sola azione variabile ($Q_{k,1}$) l'ultimo termine della precedente espressione non deve essere considerato.

Per il calcolo della freccia si usa il modulo secante; è così necessario trovare la sollecitazione massima per le azioni permanenti e per quelle variabili non amplificate

Il modulo secante è $E_S = \left(\frac{E_{S1} + E_{S2}}{2} \right)$,

Dove:

$$E_{s,i} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{i,Ed,ser}} \left(\frac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y} \right)^n} \quad \text{e } i = 1,2$$

Da calcoli di analisi strutturale, si è trovato quanto segue:

Momento massimo dovuto ad azioni permanenti = 1,90 kNm

Momento massimo dovuto ad azioni imposte = 6,68 kNm

Momento totale dovuto ad azioni non amplificate = 8,58 kNm

La sezione è di Classe 4, pertanto si utilizza W_{eff} nei calcoli della sollecitazione massima sull'elemento.

Si supponga prudenzialmente che le sollecitazioni in trazione e in compressione sulla flangia siano approssimativamente uguali, cioè $E_{S1} = E_{S2}$.

Si utilizzano le seguenti costanti per determinare i moduli secanti:

Per il tipo di acciaio inossidabile 1.4401, n (direzione longitudinale) = 7,0

Tensione di progetto allo SLS, $\sigma_{i,Ed,ser} = \frac{M_{max}}{W_{eff,y}} = \frac{8,58 \times 10^6}{88,4 \times 10^3} = 97,1 \text{ N/mm}^2$

$$E_{s,i} = \frac{200000}{1 + 0,002 \times \frac{200000}{97,1} \times \left(\frac{97,1}{220} \right)^7} = 197\,348 \text{ N/mm}^2$$

La freccia massima dovuta ad una porzione di carico distribuito si trova ad una distanza approssimativa di 1,9 m dal supporto A .

La freccia alla distanza x dal supporto A dovuta a porzione di carico distribuito che si estende per una distanza a dal supporto A , è data dalle seguenti formule:

Par. 5.4.6

Eq. 2.8

Appendice C

Tabella C.1



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	8 di 8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
Argomento		Esempio di progetto 9 – Trave con la flangia compressa non vincolata			
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001	
	Verificato da	NRB	Data	Dicembre 2001	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

Dove $x \geq a$ $\delta = \frac{waL^4}{24aE_sI} n^2 [2m^3 - 6m^2 + m(4+n^2) - n^2]$

Dove $m = x/L$ e $n = a/L$

Dove $x = 1,9$ m, e $a = 1,5$ m: $m = 1,9/4,2 = 0,452$, $n = 1,5/4,2 = 0,357$

Per una porzione del carico (azione permanente+azione variabile non amplificata)
 $w = 11,0$ kN/m

Per carico uniforme (azione permanente) $w = 0,128$ kN/m

Freccia dovuta alla porzione di carico distribuito ad una distanza di 1,9 m dal supporto A, δ_1

$$\delta_1 = \frac{11000 \times 1,5 \times 4200^4}{24 \times 1500 \times 197348 \times 9,06 \times 10^6} \times 0,357^2 [2 \times 0,452^3 - 6 \times 0,452^2 + 0,452(4 + 0,357^2) - 0,357^2]$$

$$= 7,09 \text{ mm}$$

Freccia in mezzeria dovuta al peso proprio della trave, δ_2

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{(w \times L)L^3}{E_s I} = \frac{5}{384} \times \frac{(0,128 \times 10^3 \times 4,2) \times 4200^3}{197348 \times 9,06 \times 10^6} = 0,29 \text{ mm}$$

Freccia totale $\approx \delta_1 + \delta_2 = 7,09 + 0,29 = 7,38$ mm

$$\delta_{\text{limiting}} = \frac{\text{span}}{250} = \frac{4200}{250} = 16,8 \text{ mm}$$

Pertanto, la freccia è accettabilmente piccola.

Steel
Designer's
Manual
(5th Ed)