



Università degli Studi di Napoli "*Parthenope*"

Dipartimento di Scienze e Tecnologie

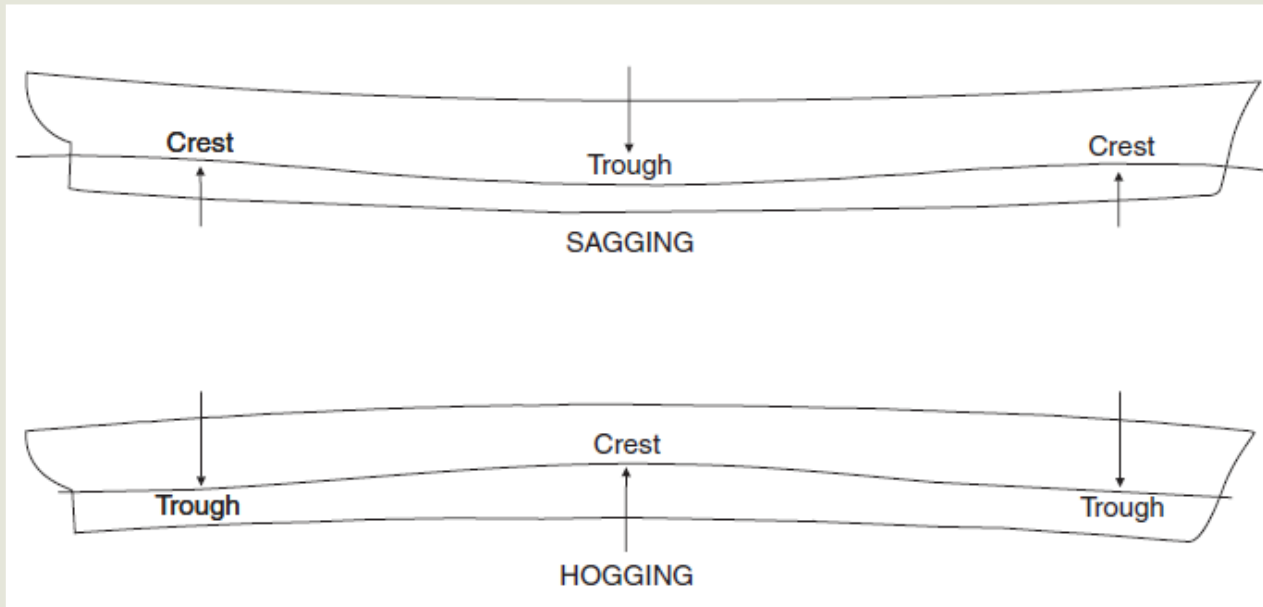
Tecnologia delle costruzioni ed allestimento navale

Vincenzo Piscopo

Sollecitazioni di trave-nave e modulo di resistenza della sezione maestra
Lezione 17 (34/48)

1.1 Momento flettente verticale

Come già anticipato, la caratteristica di sollecitazione di momento flettente verticale genera la flessione globale di trave-nave e un corrispondente stato tensionale che può essere determinato mediante la formula di Navier della flessione retta. Il momento flettente verticale, come già esplicitato, può essere insellante o inarcante. Nel primo caso le strutture del ponte sono compresse mentre quelle del fondo sono tese. Nel secondo caso, invece, le strutture del fondo sono compresse mentre quelle del ponte sono tese.

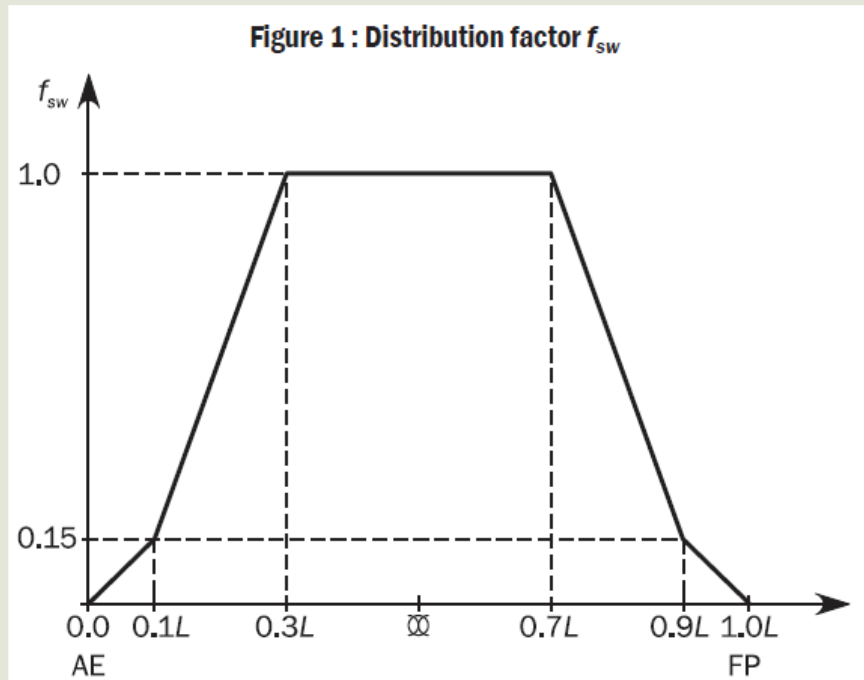


Il momento flettente verticale di trave-nave è dato dalla somma di due contributi:

1. **Momento flettente verticale in acqua tranquilla (*vertical still water bending moment*)**: è la sollecitazione generata dalla distribuzione longitudinale dei carichi idrostatici e del carico pagante;
2. **Momento flettente verticale d'onda (*vertical wave bending moment*)**: è la sollecitazione generata dalla distribuzione dei carichi d'onda sulla carena.

1.2 Momento flettente verticale in acqua tranquilla

Gli Enti di Classifica e le normative internazionali propongono diverse formulazioni per la stima del minimo momento flettente verticale in acqua tranquilla agente sulla trave-nave. Si considera di seguito la formulazione proposta nelle *Harmonized Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers*. In particolare il minimo momento flettente in acqua tranquilla in kNm è calcolato mediante le seguenti relazioni:



Nave inarcata (*hogging condition*):

$$M_{sw-h-min} = f_{sw}(171C_w L^2 B(C_B + 0.7)10^{-3} - M_{wv-h-mid})$$

Nave insellata (*sagging condition*):

$$M_{sw-s-min} = -0.85f_{sw}(171C_w L^2 B(C_B + 0.7)10^{-3} + M_{wv-s-mid})$$

dove C_w è il coefficiente d'onda:

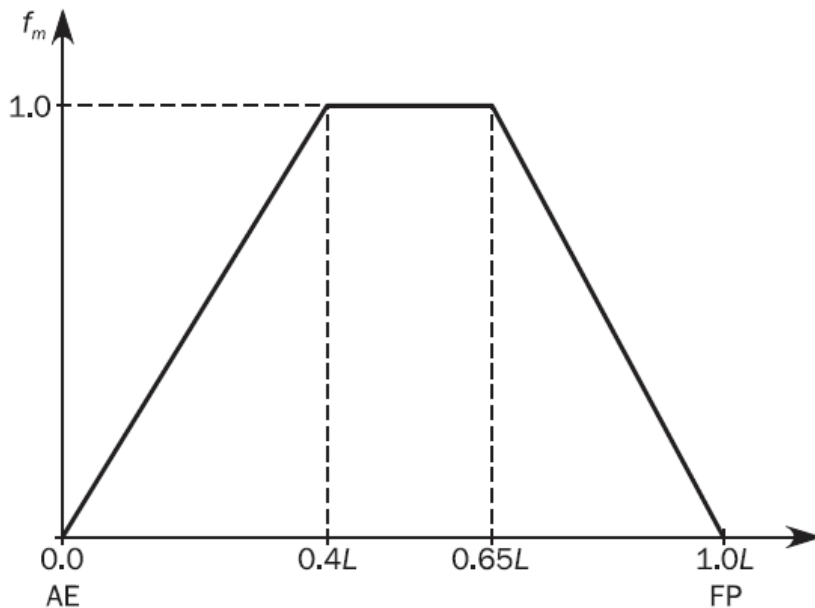
$$C_w = \begin{cases} 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{1.5} & \text{se } 90 \leq L \leq 300 \\ 10.75 & \text{se } 300 < L \leq 350 \\ 10.75 - \left(\frac{L - 350}{150}\right)^{1.5} & \text{se } 350 < L \leq 500 \end{cases}$$

e $M_{wv-h-mid}$ e $M_{wv-s-mid}$ sono i momenti flettenti d'onda a centro nave.

1.3 Momento flettente verticale d'onda

Similarmente al caso precedente il momento flettente verticale d'onda è calcolato mediante le seguenti relazioni

Figure 2 : Distribution factor f_{mm}



Nave inarcata (*hogging condition*):

$$M_{vw-h} = 0.19 f_m f_p C_W L^2 B C_B$$

Nave insellata (*sagging condition*):

$$M_{vw-s} = -0.11 \left(\frac{C_B + 0.7}{C_B} \right) f_m f_p C_W L^2 B C_B$$

$$f_{ps} = \begin{cases} 1.0 & \text{extreme sea loads design scenario} \\ 0.8 & \text{ballast water exchange design load scenario} \\ 0.8 & \text{accidental flooded design load scenario at sea} \\ 0.4 & \text{harbour or sheltered water design load scenario} \end{cases}$$

1.4 Tensioni primarie di trave-nave

Una volta determinate le caratteristiche di sollecitazione di momento flettente verticale statico e d'onda, è possibile determinare facilmente le tensioni massime di trave nave al ponte e al fondo come di seguito indicato:

- Nave inarcata – tensione al fondo: $\sigma_b = -\frac{M_{sw-h}+M_{vw-h}}{W_b}$ (tensione negativa ad indicare che le strutture sono compresse)
- Nave inarcata – tensione al ponte: $\sigma_d = \frac{M_{sw-h}+M_{vw-h}}{W_d}$ (tensione positiva ad indicare che le strutture sono trazionate)
- Nave insellata – tensione al fondo: $\sigma_b = -\frac{M_{sw-s}+M_{vw-s}}{W_b}$ (tensione positiva ad indicare che le strutture sono trazionate)
- Nave insellata – tensione al ponte: $\sigma_d = \frac{M_{sw-s}+M_{vw-s}}{W_d}$ (tensione negativa ad indicare che le strutture sono compresse)

Il calcolo delle tensioni di trave nave può dunque essere effettuato non appena sono noti i moduli di resistenza al fondo W_b e al ponte W_d della sezione resistente costituita da tutti e soli gli elementi longitudinalmente continui che, in accordo alla formula di Navier della flessione retta, sono calcolati come segue:

$$W_b = \frac{I_{an}}{z_{an}} \qquad W_d = \frac{I_{an}}{D - z_{an}}$$

avendo indicato con I_{an} il momento di inerzia della sezione resistente rispetto all'asse neutro, z_{an} la quota verticale dell'asse neutro dalla linea di base, D l'altezza di costruzione della nave.

2.1 Calcolo del modulo di resistenza di trave-nave

Per determinare il modulo di resistenza di trave-nave si considerano gli elementi della semisezione, dal momento che la stessa è simmetrica rispetto alla traccia del piano diametrale. La coordinata verticale dell'asse neutro rispetto alla linea di base si determina mediante la seguente relazione, basata sul teorema dei momenti statici, avendo indicato con a_i l'area dell'i-mo elemento e con z_i la coordinata verticale del suo centro geometrico rispetto alla linea di base:

$$z_{an} = \frac{\sum_i a_i z_i}{\sum_i a_i}$$

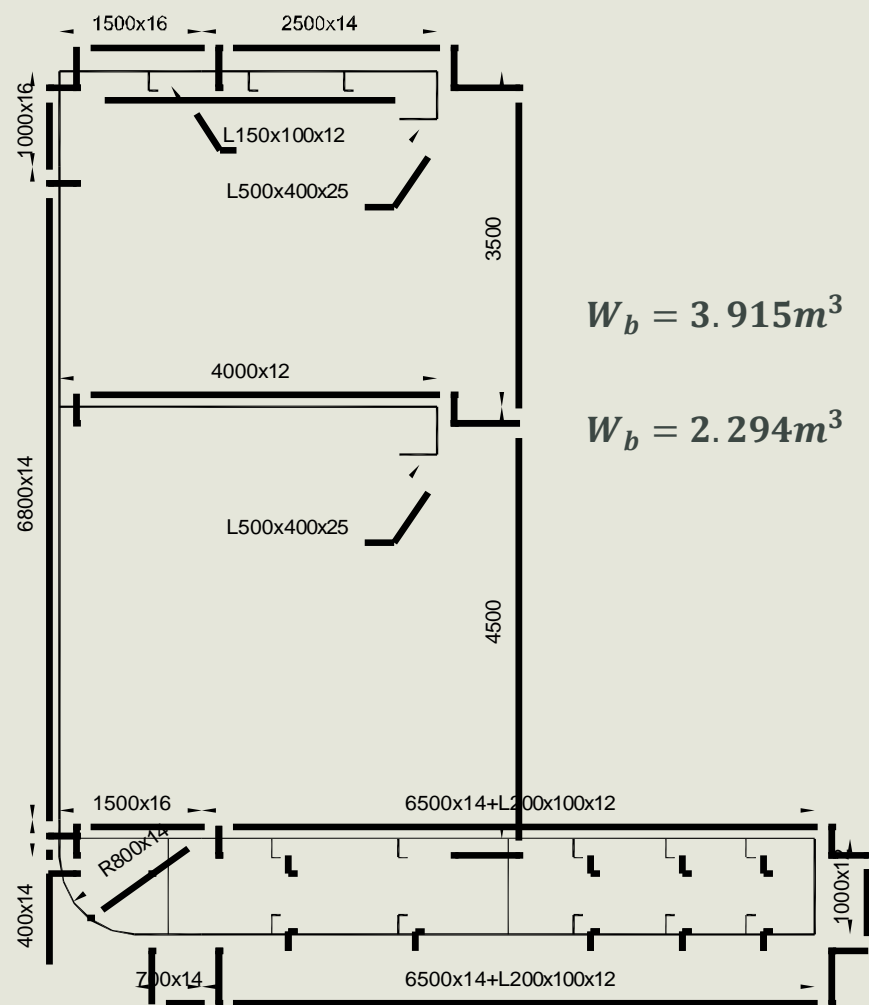
Il momento di inerzia della sezione resistente rispetto all'asse neutro, invece, si determina come segue, applicando il teorema di Huygens-Steiner in forma inversa:

$$I_{an} = 2 \left[\sum_i (i_i + a_i z_i^2) - \sum_i a_i z_{an}^2 \right]$$

avendo indicato con i_i il momento di inerzia proprio dell'i-mo elemento strutturale concorrente al calcolo del modulo di resistenza di trave-nave.

Il calcolo del modulo di resistenza si esegue normalmente in forma tabulare come specificato di seguito.

2.2 Esempio di calcolo: nave da carico generale



Elementi	Dimensioni		a_i	z_i	$a_i z_i$	$a_i z_i^2$	i_i
	mm	mm	cm ²	cm	cm ³	cm ⁴	cm ⁴
Fasciame del fondo	7200	14	1008	0	0	0	0
Fasciame del ginocchio	1257	14	175.98	29.1	5121	149022	107000
Fasciame del cielo del d.f.	6500	14	910	100	91000	9100000	0
Marginale	1500	16	240	100	24000	2400000	0
Paramezzale centrale 1/2	1000	12	60	50	3000	150000	50000
Paramezzali laterali n.2	1000	12	240	50	12000	600000	200000
Fasciame del fianco	7200	14	1008	440	443520	195148800	43546000
Cinta	1000	16	160	850	136000	115600000	133000
Trincarino del ponte di coperta	1500	16	240	900	216000	194400000	0
Fasciame del ponte di coperta	2500	14	350	900	315000	283500000	0
Fasciame del ponte di stiva	4000	12	480	550	264000	145200000	0
Anima dell'anguilla del ponte di coperta	500	25	125	875	109375	95703125	26000
Piattabanda dell'anguilla del ponte di coperta	400	25	100	850	85000	72250000	0
Anima dell'anguilla del ponte di stiva	500	25	125	525	65625	34453125	26000
Piattabanda dell'anguilla del ponte di stiva	400	25	100	500	50000	25000000	0
Correnti del fondo n.5	L200x100x12		174	13	2262	29406	7000
Correnti del cielo del d.f. n. 5	L200x100x12		174	87	15138	1317006	7000
Correnti del ponte di coperta n.3	L150x100x12		86	889.9	76531	68105293	2000
			5755.98		1913572	1243105776	44104000