



**COMPORTAMENTO IN MARE  
MOSSO IRREGOLARE**

# INTRODUZIONE

- Una delle caratteristiche richieste ad imbarcazioni specializzate anche di piccole dimensioni è quella di poter affrontare il mare anche in condizioni avverse: discende allora naturale considerare la tenuta della nave al mare uno degli aspetti più delicati e salienti del progetto.
- Tuttavia i problemi da affrontare sono notevoli: questo è, infatti, un campo ancora per molti aspetti oscuro, ben lungi dall'essere completamente sviluppato
- Soprattutto le difficoltà insorgono per imbarcazioni veloci, quali sono le carene plananti e semi-plananti che pagano l'ottimizzazione della velocità proprio con difficoltà nel tenere il mare

# EFFETTI CAUSATI DAL MARE MOSSO

- moti e accelerazioni della nave
- aumento della resistenza al moto
- *effetti dovuti al moto relativo quali la fuoriscita dell'elica, lo slamming e l'imbarco di acqua in coperta*
- Forze e momenti dovuti al mare mosso
- tank sloshing
- capovolgimento nelle condizioni estreme

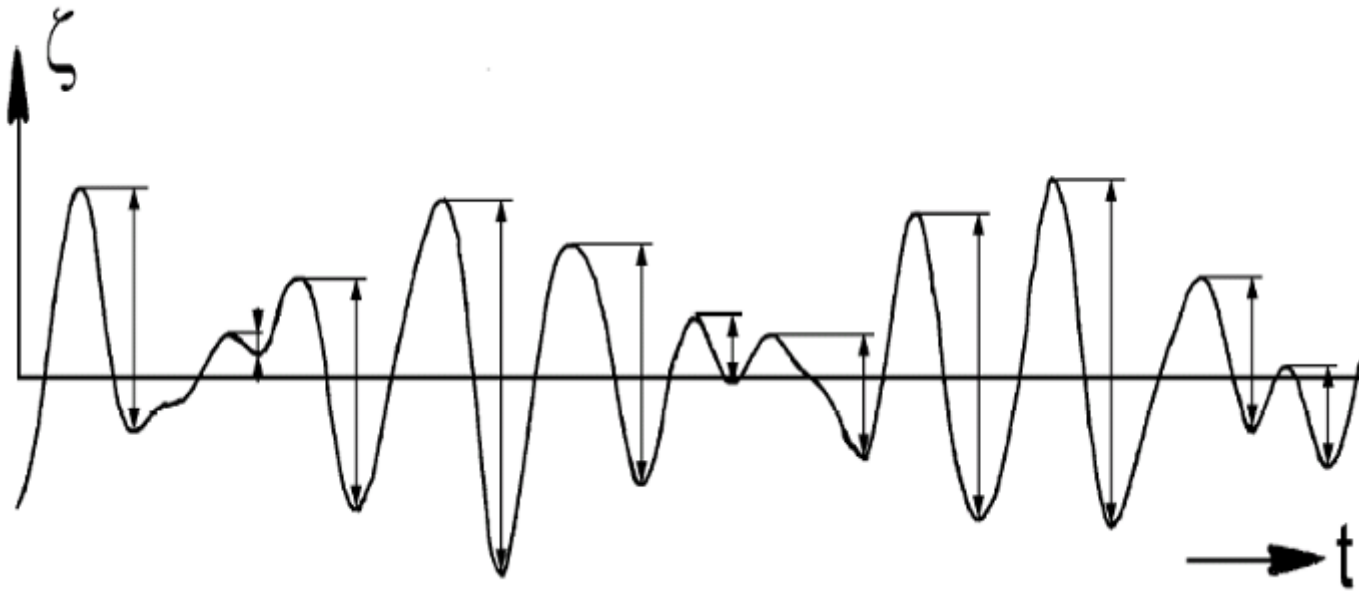
# DEFINIZIONE DI PELO LIBERO

Il livello del pelo libero indisturbato è definito come la media dei valori rilevati e la generica elevazione è misurata a partire da tale livello. La singola onda è per lo più individuata da due passaggi in salita del profilo ondoso attraverso il livello medio; con tale assunzione la cresta precede il cavo e si trascurano le onde secondarie poste tutte al di sopra od al di sotto del livello medio.

Un analogo andamento ha il profilo ondoso, cioè l'intersezione della superficie del mare con un piano verticale in un dato istante.

# IL MARE IRREGOLARE

- la caratterizzazione dello stato di mare può essere realizzata sulla base di criteri statistici
- da una serie di osservazioni al vero si estrapolano le grandezze significative che meglio descrivono lo stato di mare.



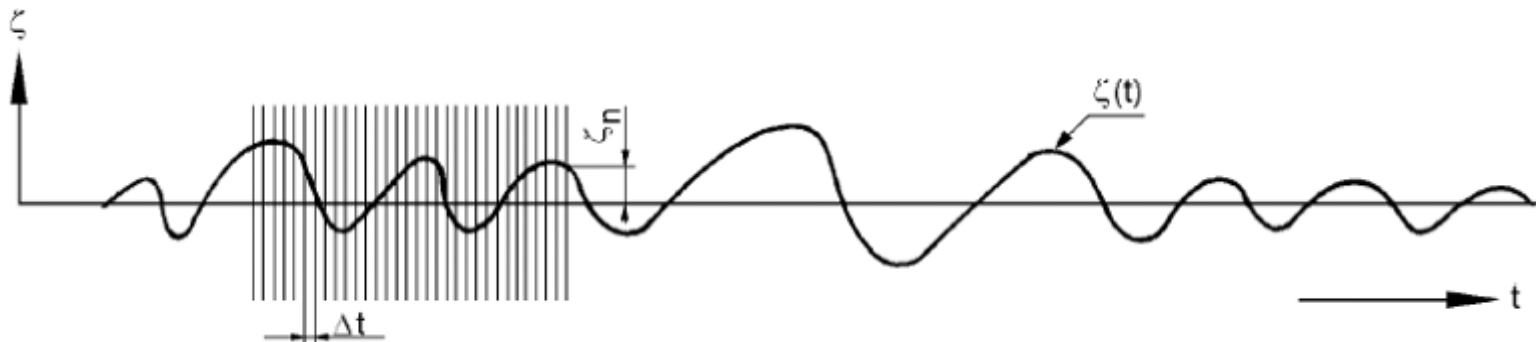
*Una possibile registrazione temporale*

# Per ciascuna onda si definiscono

- Altezza, ossia la differenza di quota tra cavo e cresta
- Periodo apparente, cioè l'intervallo di tempo che intercorre tra i due zeri di estremità
- Lunghezza apparente, ossia la distanza tra i due zeri di estremità

# REGISTRAZIONE DELLE ONDE

- Tipicamente una registrazione abbraccia 100 onde e le misure sono effettuate con la cadenza di 1/10 di sec
- le grandezze principali adottate per caratterizzarla sono:
  - altezza media e periodo *medio apparente*, calcolati facendo la media dei corrispondenti valori di tutte le onde.
  - Altezza e periodo *significativi*, ottenuti dalla media dei corrispondenti valori del 1/3 più alto di onde.
  - Altezza e periodo *massimi*, cioè i corrispettivi valori dell'onda più alta











# SCALA BEAUFORT

- Nel 1805, ammiraglio inglese Sir Francis Beaufort ha inventato la scala visiva per misurare il vento al mare
- Sua scala misura vento osservando i suoi effetti sul pelo libero del mare (onde) e sui velieri
- La scala di Beaufort è stata dopo adottata nelle previsioni ed è rimasta in uso fin oggi



## WIND SPEEDS

## BEAUFORT WIND FORCE SCALE

Beaufort Number	knots	miles per hr. (U.S. Statute)	meters per sec.	km per hr.	Wind Press. $\frac{1}{2}v^2$	Beaufort description for square rigged ships 1806	Racing Sailor's description (C.A. Marchay, 1964)	U.S. Weather Service description	Dutch KMO description	Beaufort Number
0	0		0	0				Calm	Windstil	0
1	1	1	0.5	2	0.14	Just Stowage Way	Foredoon	Light air		1
	2	2	1.1	4	0.14				zwaak	
2	4	4	2.1	7	1.4	1-3 knots close hauled	With pleasure	Light breeze		2
	6	6	3.1	11	2.4					
3	7	8	3.6	13	2.7	4-5 knots close hauled	Pleasure	Gentle breeze		3
	10	10	5.1	19	3.6					
4	11	13	5.7	20	3.9	6-7 knots close hauled	Great Pleasure	Moderate breeze	matige	4
	16	16	8	30	4.5					
5	17	19	9	32	4.6	8-11 Speed Full Sail	 Delight	Fresh breeze	wt. j. brack- tige	5
	21	21	11	39	6.7					
6	22	25	11	41	7.7		 Delight tinged with anxiety	Strong breeze	krachtige	6
	27	27	14	50	11.5					
7	28	32	14	52	12.5		 Anxiety tinged with fear	Moderate Gale	harde	7
	33	33	17	61	17.2					
8	34	39	18	63	18.2		 Fear tinged with terror	Gale	stormacht- tige	8
	40	40	21	74	25.0					
9	41	47	21	76	27.0		 Great terror	Strong Gale	store	9
	47	47	24	87	35.0					
10	48	55	25	89	36.0		 Panic	Whole Gale	ware storm	10
	55	55	28	102	48.0					
11	56	64	29	104	50.0		 I want my mummy!!	Storm	zware storm	11
	63	63	33	120	63.0					
12	above 63	above 75	above 33	above 120	above 63.0	bare poles	 Yes, Mr. Jones	Hurricane	orkaan	12



**Beaufort 1**



**Beaufort 2**



**Beaufort 3**



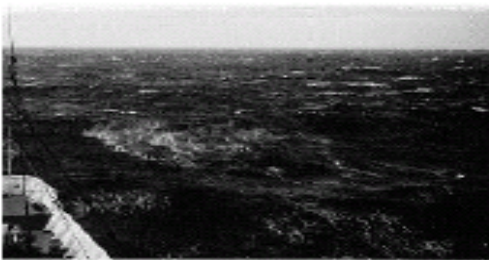
**Beaufort 4**



**Beaufort 5**



**Beaufort 6**



**Beaufort 7**



**Beaufort 8**



**Beaufort 9**



**Beaufort 10**



**Beaufort 11**



**Beaufort 12**

# SCALA WMO (World Meteorological Organisation)

<b>STATO DEL MARE (mare forza)</b>	<b>TERMINE DESCRITTIVO</b>	<b>Campo delle altezze di onda significativa (in metri)</b>
<b>0</b>	<b>Calmo</b>	<b>0</b>
<b>1</b>	<b>Quasi calmo</b>	<b>0 ÷ 0.10</b>
<b>2</b>	<b>Poco mosso</b>	<b>0.10 ÷ 0.50</b>
<b>3</b>	<b>Mosso</b>	<b>0.50 ÷ 1.25</b>
<b>4</b>	<b>Molto mosso</b>	<b>1.25 ÷ 2.50</b>
<b>5</b>	<b>Agitato</b>	<b>2.50 ÷ 4</b>
<b>6</b>	<b>Molto agitato</b>	<b>4 ÷ 6</b>
<b>7</b>	<b>Grosso</b>	<b>6 ÷ 9</b>
<b>8</b>	<b>Molto grosso</b>	<b>9 ÷ 14</b>
<b>9</b>	<b>Tempestoso</b>	<b>Oltre 14</b>

# Ipotesi

- heading 0 gradi (mare di prua)
- spinta costante
- solo moti sul piano verticale (*sussulto e beccheggio*)

## Determiniamo:

- AMPIEZZA DEI MOTI (Fridsma)
- ACCELERAZIONI IN VARI PUNTI (Savitsky e Ward Brown, M. M. Hoggard e M. P. Jones, Lloyd)
- RESISTENZA AGGIUNTIVA (Savitsky e Ward Brown)

# AMPIEZZA DEI MOTI DI SUSSULTO E BECCHEGGIO

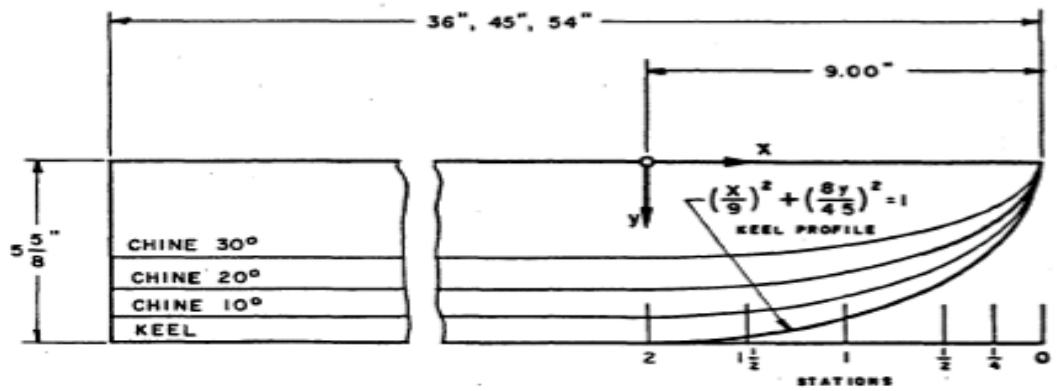
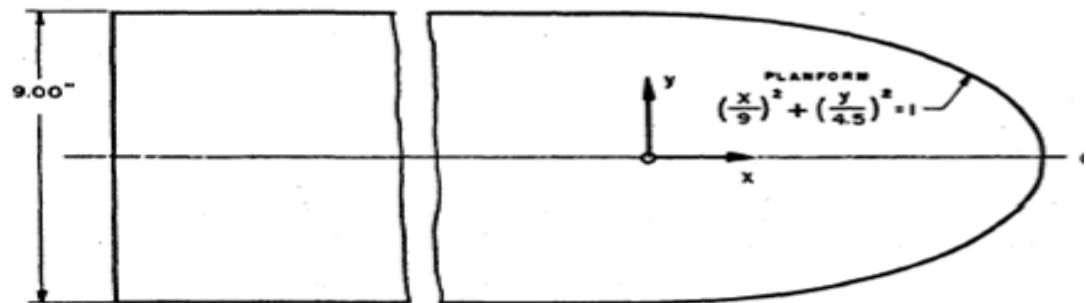
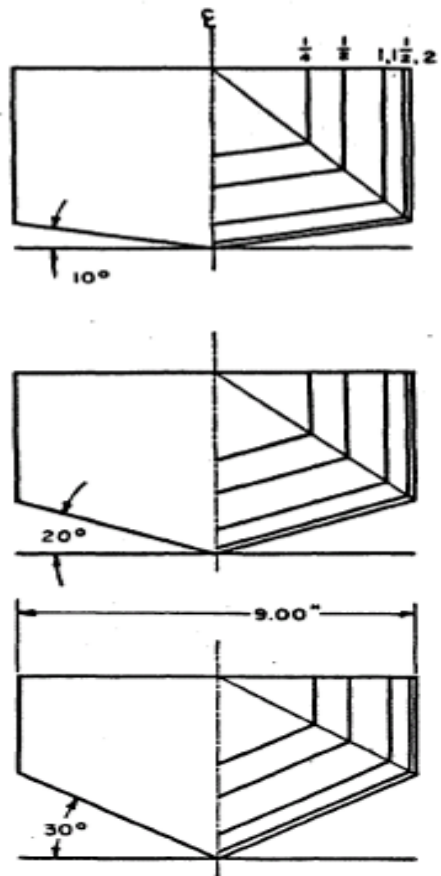
- Nel 1971 il *Fridsma* presentò i risultati di uno studio sistematico sul comportamento in **mare mosso irregolare di carene a spigolo** con diverso angolo di rialzamento del fondo  $\beta$ , coefficiente di carico  $e$  e rapporto  $H/B$  al variare dello stato del mare irregolare, nel campo di velocità relative

- Sono state considerate le velocità che realizzano il rapporto  $V/L^{1/2}$  pari a:

$$V/L^{1/2} = 2; 4; e 6$$

- L'altezza dell'onda significativa tale da realizzare rispettivamente

$$H_{1/3}/B = 0.222, 0.444 e 0.666.$$



*Piano di costruzione dei modelli di Fridsma*

# STUDIO DEL FRIDSMA

- Le prove vennero condotte su modelli, geometricamente semplici, aventi :
- $\beta = 10^\circ \ 20^\circ \ 30^\circ$
- $L/B = 4 - 5$
- Erano inoltre caratterizzati dall'aver tutti  $\beta$  costante nel corpo poppiero, identica larghezza, ruota di prua e linea dello spigolo a prua ad arco di parabola. Le prove furono eseguite:
  - Al variare del coefficiente di carico  $C_\Delta$  nel campo 0.38-0.72.
  - A diversa ubicazione del baricentro navale  $\frac{H_1}{B}$  con  $LCG=(54-68)\% L$  a partire da prua.
  - In modo da garantire l'incontro della carena con almeno 75 onde.
  - Con stati di mare definiti attraverso lo spettro di Pierson-Moskovitz

# STUDIO DEL FRIDSMA

I risultati furono elaborati in modo tale da conseguire:

- Il valore medio del moto di beccheggio, ottenuto come media su un 1/10 dei moti più elevati
- Il valore medio del moto di sussulto, ottenuto dalla media di un 1/10 dei moti, quelli più elevati
- Il valore medio di tutti gli incrementi di resistenza registrati (dei quali non abbiamo tenuto conto)
- I valori medi delle accelerazioni, relativamente alla prua ed al baricentro nave  $G$
- L'accelerazione complessiva sarà data allora dalla somma di quella "normale"  $g$  e di quella dovuta all'impatto con le onde



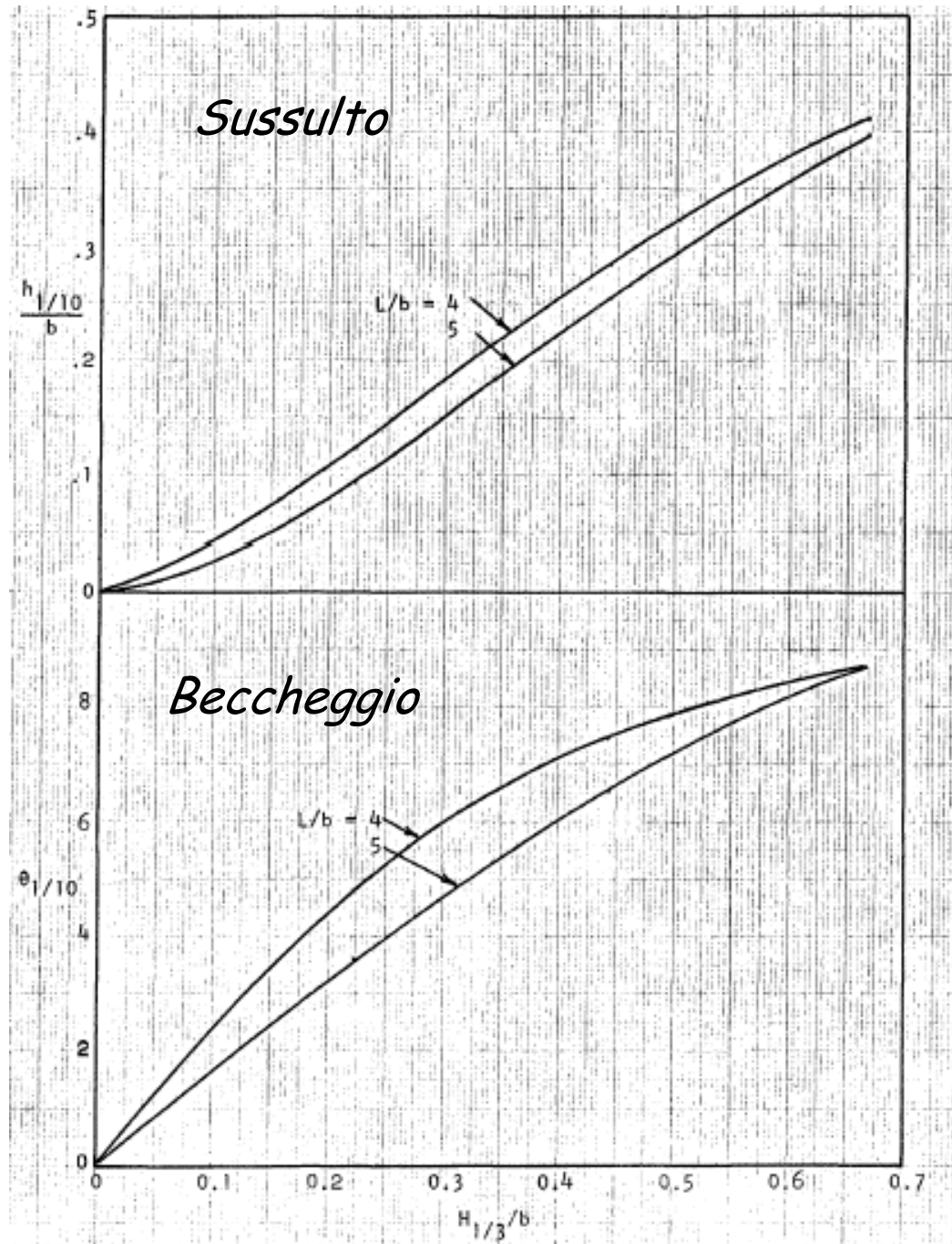
# STUDIO DEL FRIDSMA

Il *Fridsma* ha poi elaborato una serie di grafici che consentono di ricavare il comportamento della nave in vera grandezza (di realizzare cioè il trasferimento vasca-mare) se sono noti i seguenti parametri:

- il dislocamento  $\Delta$
- la lunghezza fuori tutto  $L$
- la larghezza media tra gli spigoli  $B$  (\*)
- l'angolo medio di rialzamento del fondo (\*)
- la velocità  $V$
- l'assetto in corsa alla velocità  $V$  ed in mare calmo
- l'altezza d'onda significativa  $H_{1/3}$  del mare mosso irregolare

(\*) calcolate come media dei valori presenti sull'80% di  $L$ , escludendo la prua

Risultati di 1/10 di  
ampiezze di moti  
massime per  
 $V/L^{1/2} = 2$



# INCREMENTO DI RESISTENZA AL MOTO DOVUTA AL MARE MOSSO

- lavoro di Savitsky e Ward Brown del 1976
- studio sul comportamento delle carene a spigolo in mare mosso irregolare di prua, elaborando i risultati ottenuti dal Fridsma e ricavando le formule che di seguito verranno utilizzate

# Incremento di resistenza per mare mosso

- Le formule che rendono possibile tale indagine sono tre, ciascuna è relativa ad un valore del rapporto  $V/L^{1/2}$ ,  $V$  velocità dell'imbarcazione in nodi ed  $L$  lunghezza in piedi. Si ha:

- per  $V/L^{1/2}=2$ :
$$\frac{R_{AW}}{\gamma \cdot B^3} = 66 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{H_{1/3}}{B} + 0.5 \right) \cdot \frac{L/B}{C_{\Delta}} + 0.0043 \cdot (\tau - 4)$$

- per  $V/L^{1/2}=4$ :

$$\frac{R_{AW}}{\Delta} = \frac{0.3 \cdot \frac{H_{1/3}}{B}}{1 + 2 \cdot \frac{H_{1/3}}{B}} \cdot \left( 1.76 - \frac{\tau}{6} - 2 \cdot \text{tg}^3 \beta \right)$$

- per  $V/L^{1/2}=6$ :

$$\frac{R_{AW}}{\gamma \cdot B^3} = \frac{0.158 \cdot H_{1/3} / B}{1 + (H_{1/3} / B) \cdot [0.12 \cdot \beta - 21 \cdot C_{\Delta} \cdot (L/B) + 7.5 \cdot (6 - L/B)]}$$

dove:

- $R_{AW}$  è la resistenza in libbre
- $g$  è il peso specifico dell'acqua di mare, 64 lb/ft<sup>3</sup>
- $H^{1/3}$  è l'altezza d'onda significativa in piedi
- $B$  è la larghezza al galleggiamento in piedi
- $L$  è la lunghezza al galleggiamento in piedi
- $\tau$  è l'angolo di assetto longitudinale in corsa in gradi
- $\beta$  è l'angolo di rialzamento del fondo a poppa in gradi
- $C_{\Delta}$  è il coefficiente di carico

$$C_{\Delta} = \frac{W}{\rho g B_C^3}$$

$R_{AW}$  si ricava relativamente all'effettivo valore di  $V/L^{1/2}$  interpolando linearmente tra i valori ottenuti con le formule di sopra.

# ACCELERAZIONI D'URTO

- Le formule proposte da Savitsky e Ward Brown per la stima delle accelerazioni medie d'urto in mare mosso, valutate al baricentro e a prua, sono le seguenti:

- accelerazione media al baricentro

$$\bar{\eta}_{CG} = 0.0104 \cdot \left( \frac{H_{1/3}}{B} + 0.084 \right) \cdot \frac{\tau}{4} + \left( \frac{5}{3} - \frac{\beta}{30} \right) \cdot \frac{L/B}{C_{\Delta}} \quad C_{\Delta} = \frac{W}{\rho g B_c^3}$$

- accelerazione media a prua

$$\bar{\eta}_b = \bar{\eta}_{CG} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{3.8 \cdot \frac{L}{B} - 2.25}{V / \sqrt{L}} \right) \right]$$

- tali formule restituiscono l'accelerazione in g (accelerazione di gravità = 9.807 m/s<sup>2</sup>)

# FORMULE DI M. M. Hoggard E M. P. Jones.

- Un altro valido strumento di indagine, sulle accelerazioni 1/10 più alte al baricentro e a prua della barca, è costituito dalle formule proposte da M. M. Hoggard e M. P. Jones

$$\bar{\eta}_{1/10CG} = 7 \cdot (H_{1/3} / B) \cdot (1 + \tau / 2)^{0.25} \cdot F_{N\nabla} / (L_P / B)^{1.25}$$

$$\bar{\eta}_{1/10b} = 10.5 \cdot (H_{1/3} / B) \cdot (1 + \tau / 2)^{0.5} \cdot [F_{N\nabla} / (L_P / B)]^{0.75}$$

# OPERABILITY

- La percentuale di tempo in cui la nave riesce ad espletare il profilo di missione
- Ovvero la percentuale di tempo in cui il criterio scelto non viene ottemperato
  
- I criteri di valutazione
  - MSI
  - Accelerazione max
  - Ogni criterio appropriato