



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA

*La stabilità della nave in mare ondosso: l'influenza delle condizioni meteo-marine nell'ambito dei nuovi criteri IMO*



**C.U.G.R.I.**

Consorzio inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi  
University Consortium for Research on Great Hazards  
University of Salerno – “Federico II” University of Naples  
[www.cugri.it](http://www.cugri.it)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



ORDINE  
INGEGNERI  
GENOVA

## **“TEMPESTE ESTREME”**

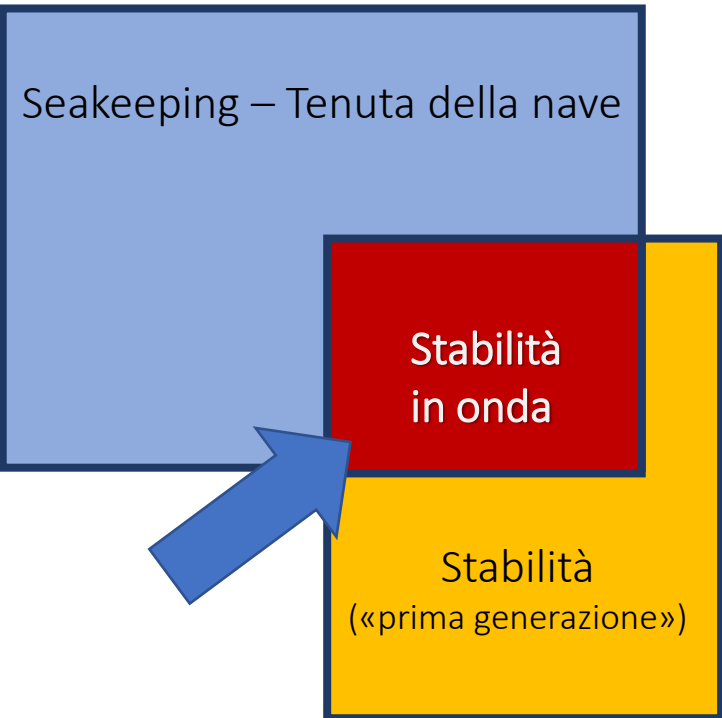
**Aspetti tecnici, gestionali ed assicurativi**



**La stabilità della nave in mare ondosso: l'influenza delle condizioni meteo-marine nell'ambito dei nuovi criteri IMO**

**Paola Gualeni Nicola Petacco**  
**(Università di Genova)**

**Seminario Telematico nel quadro della Genoa Shipping Week  
tenuto Martedì 5 Ottobre 2021 - Ore 15.00  
sulla Piattaforma dell'Ordine degli Ingegneri di Genova**





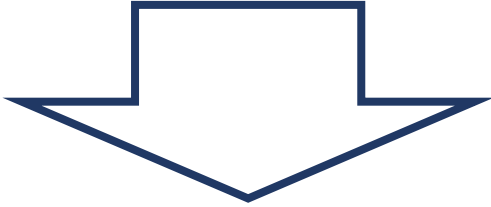
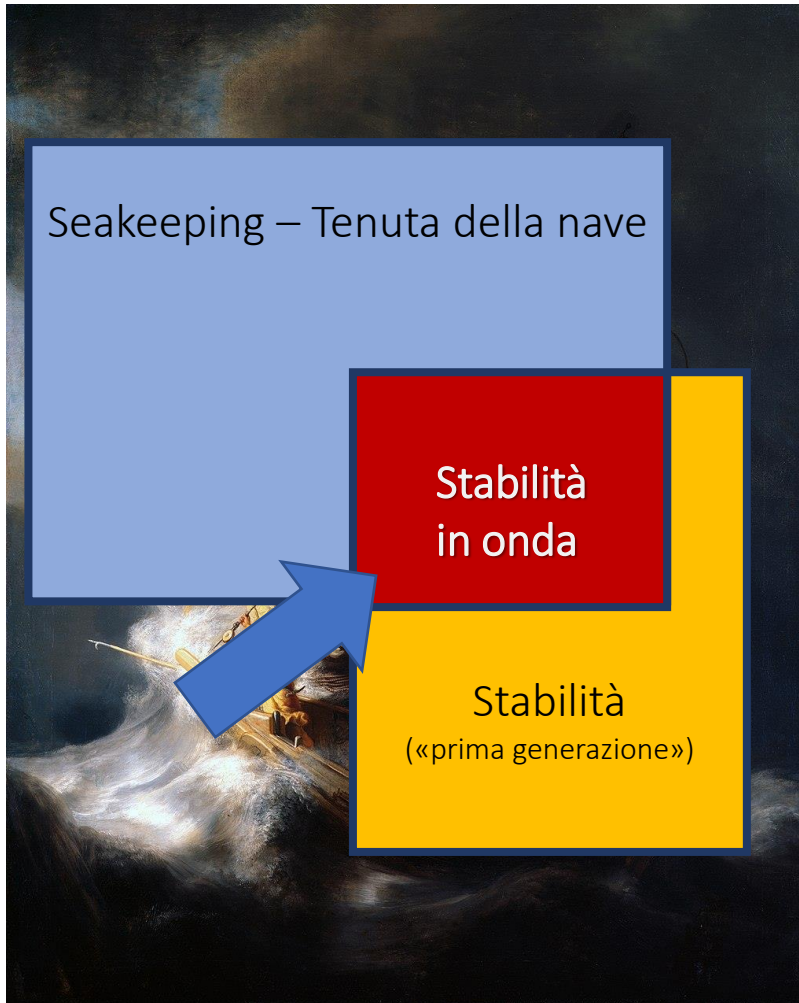
## OPERATIONAL PERFORMANCE

Seakeeping – Tenuta della nave


Stabilità  
in onda

Stabilità  
(«prima generazione»)

SAFETY



***GRANDI angoli di rollio  
e/o  
accelerazioni  
ECESSIVE***





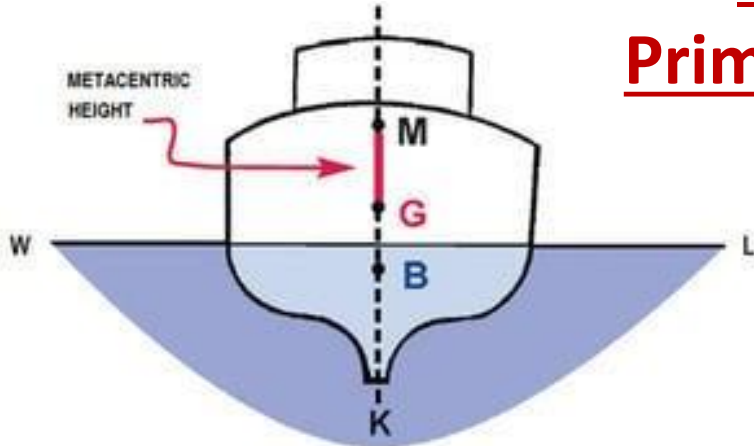


## STABILITÀ... in onda

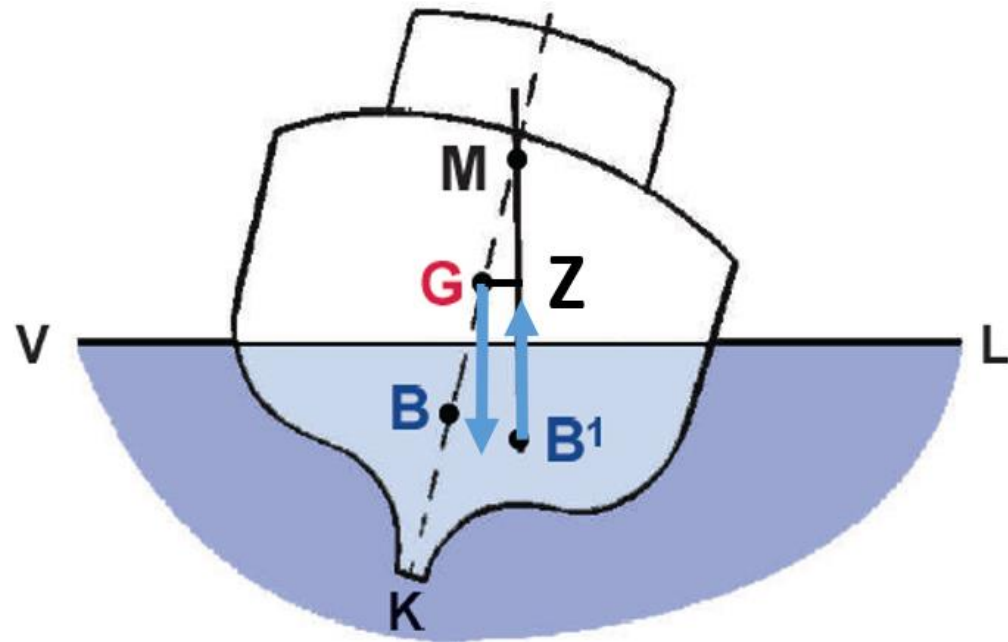




## STABILITY.... Prima generazione!

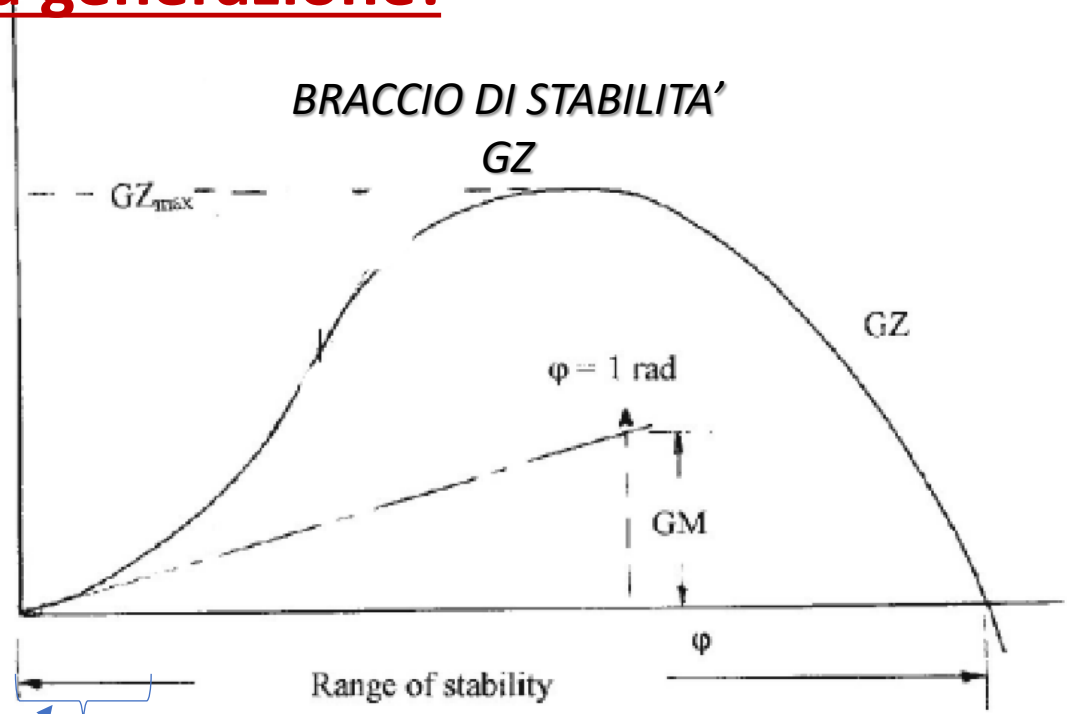
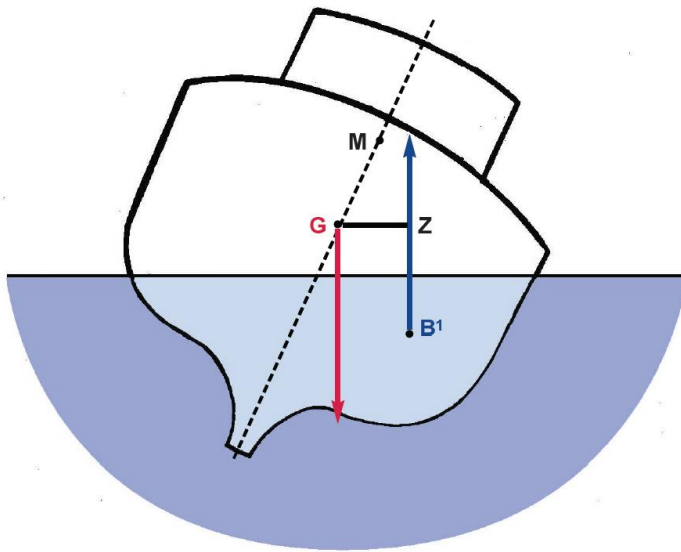


ALTEZZA METACENTRICA  
GMT





# STABILITY.... Prima generazione!



$$GZ = KZ - ZG \sin \theta$$

*( $GZ = GMT \sin \theta$  fino a 10-12°)*

# Le radici nell' IS code 2008 dell'IMO

“ PREAMBLE

4. *It was recognized* that in view of a wide variety of types, sizes of ships and their operating and environmental conditions, problems of safety against accidents related to stability have generally not yet been solved. In particular, *the safety of a ship in a seaway involves complex hydrodynamic phenomena which up to now have not been fully investigated and understood.*

[...] Based on hydrodynamic aspects and stability analysis of a ship in a seaway, *stability criteria development poses complex problems that require further research.* “



Credits: Resolution MSC.267(85) - Adoption of the international code on Intact Stability. IMO, 2008





# • Identificazione degli «**stability failures**»

*“ Part A – Chapter 1 – GENERAL*

*1.2 [...] The phenomena in seaways which may cause large roll angles and/or accelerations have been identified hereunder [...] ”*

**Restoring variation in waves**

**Roll in dead ship condition**

**Manoeuvring related phenomena**

**Excessive accelerations**

# • Identificazione degli «**stability failures**»

“ Part A – Chapter 1 – GENERAL

1.2 [...] The phenomena in seaways which may cause large roll angles and/or accelerations have been identified hereunder [...] ”

**Restoring variation in waves**



**Pure loss of stability**

**Parametric roll**

**Roll in dead ship condition**

**Manoeuvring related phenomena**

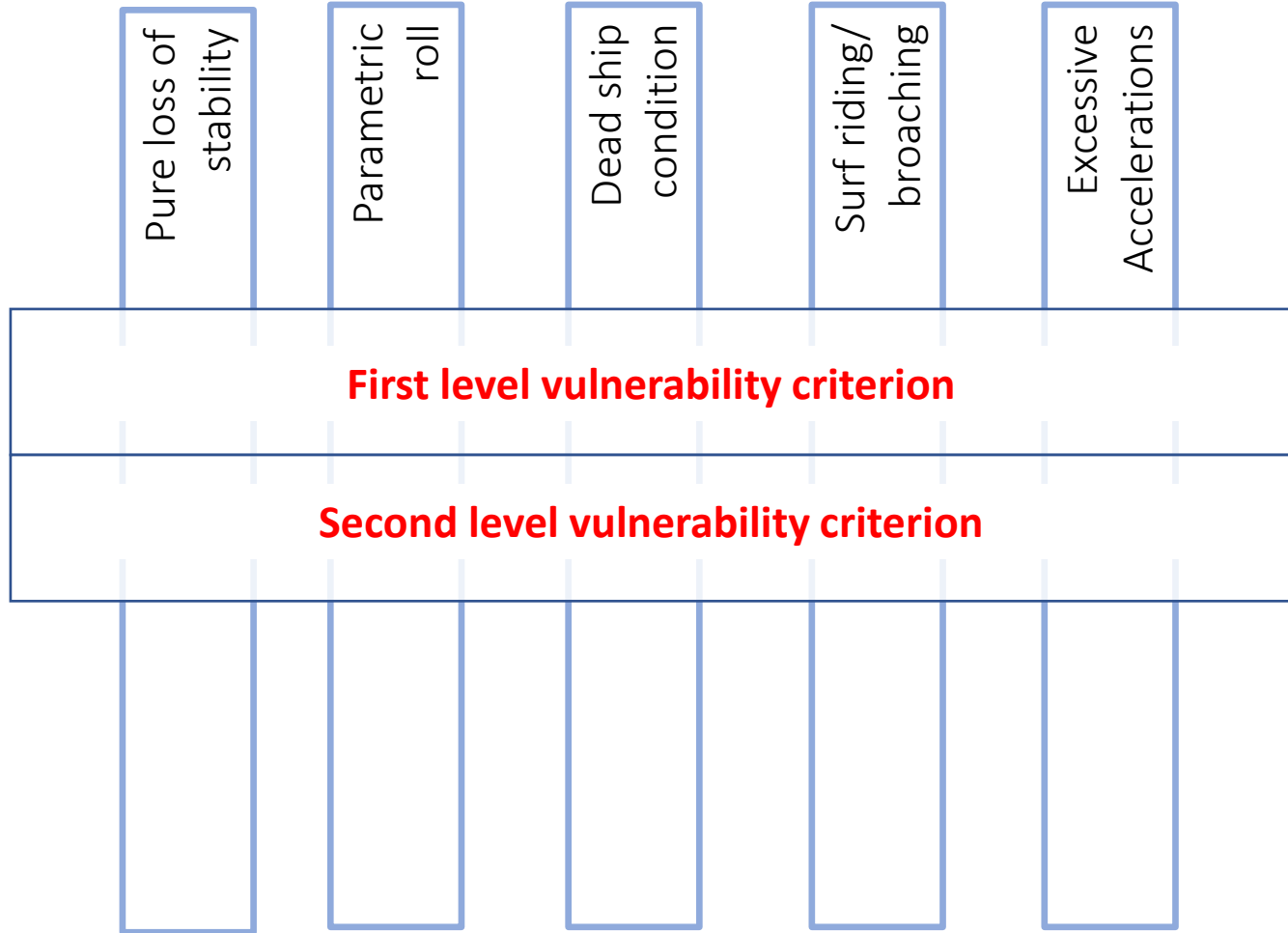


**Surf riding/broaching**

**Excessive accelerations**

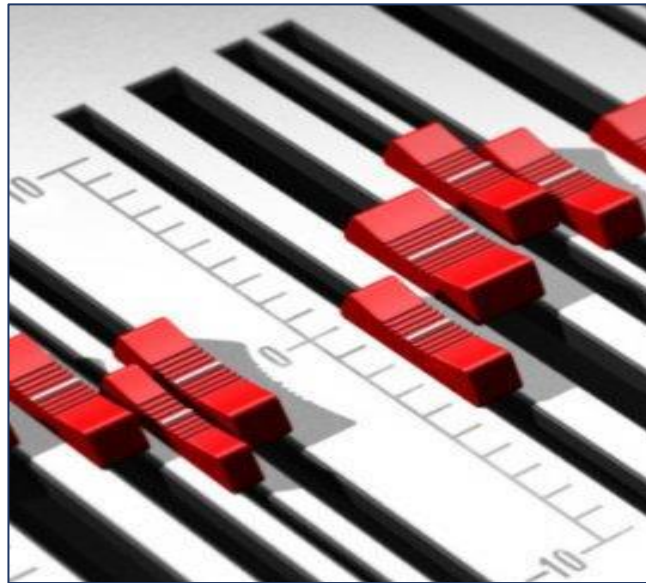
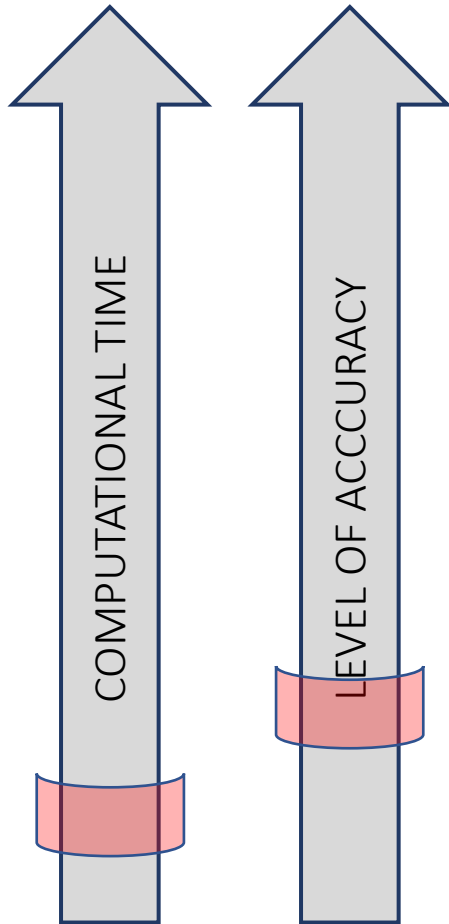


# MULTILAYERED APPROACH

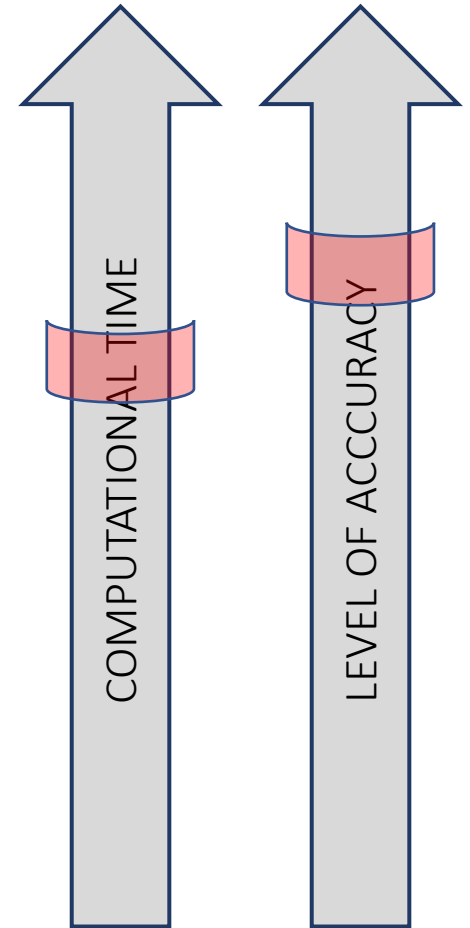




## LEVEL 1



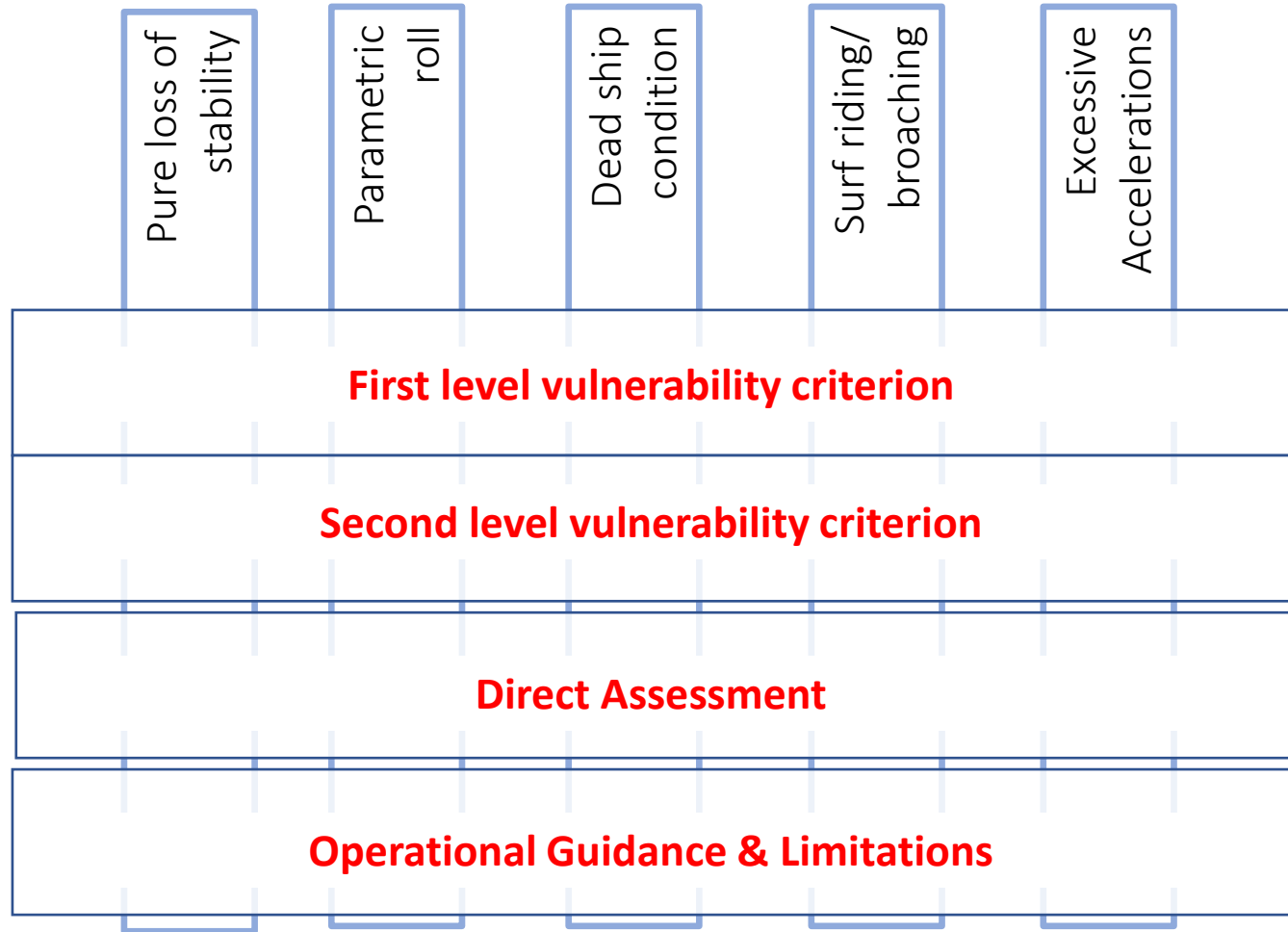
## LEVEL 2







# MULTILAYERED APPROACH



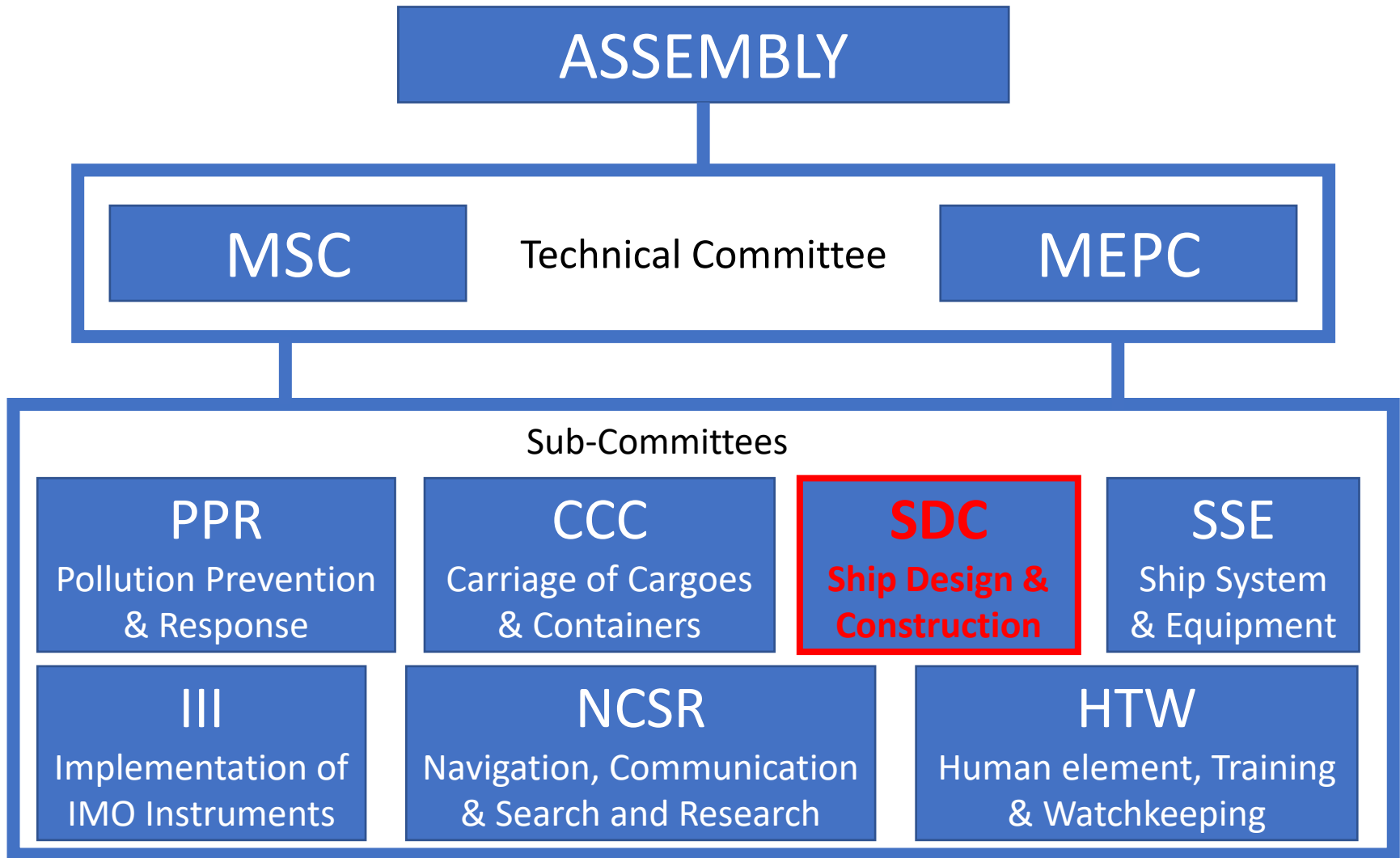


# IMO: Safe, secure and efficient shipping on clean oceans ([www.imo.org](http://www.imo.org))



**INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION**

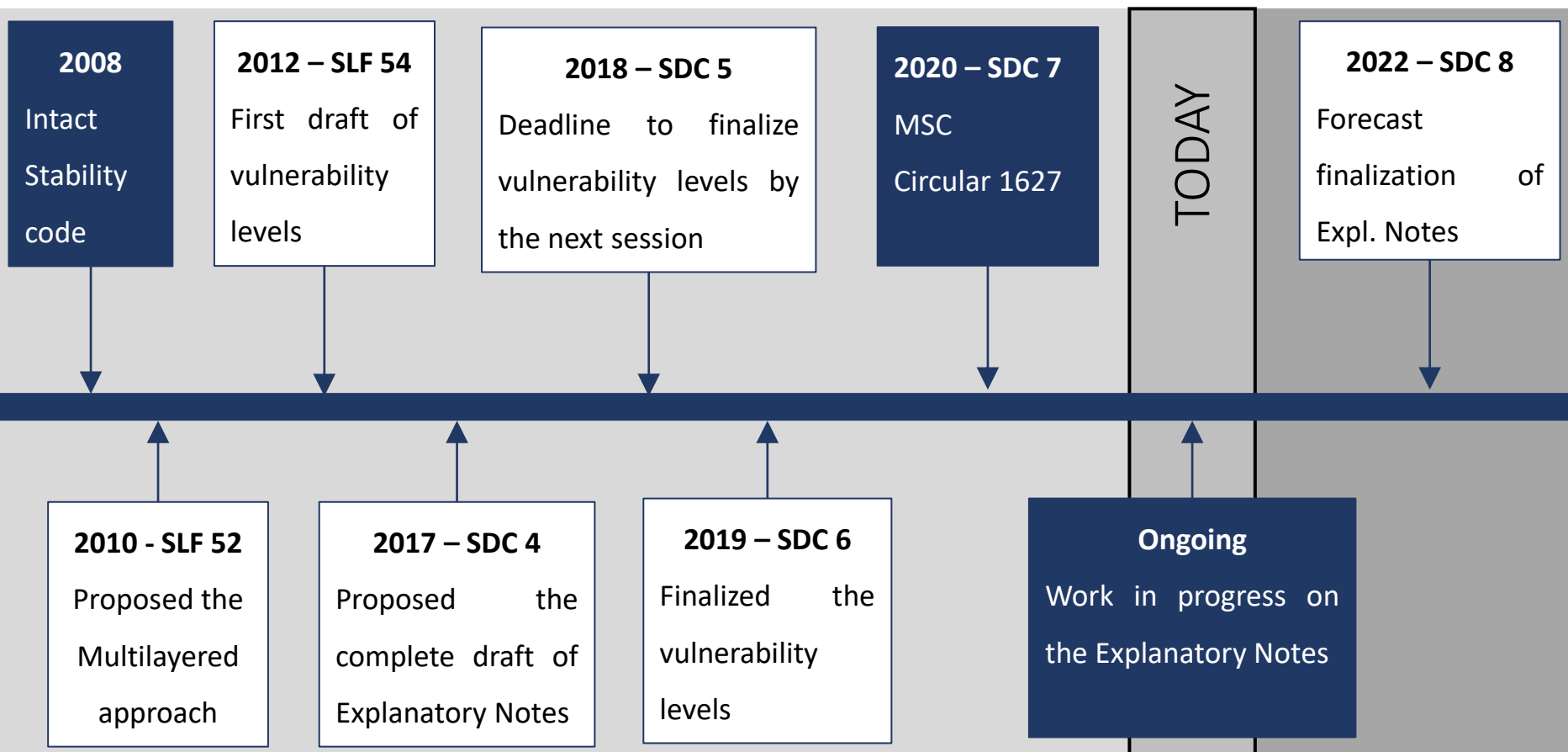






# SGISc TIMELINE

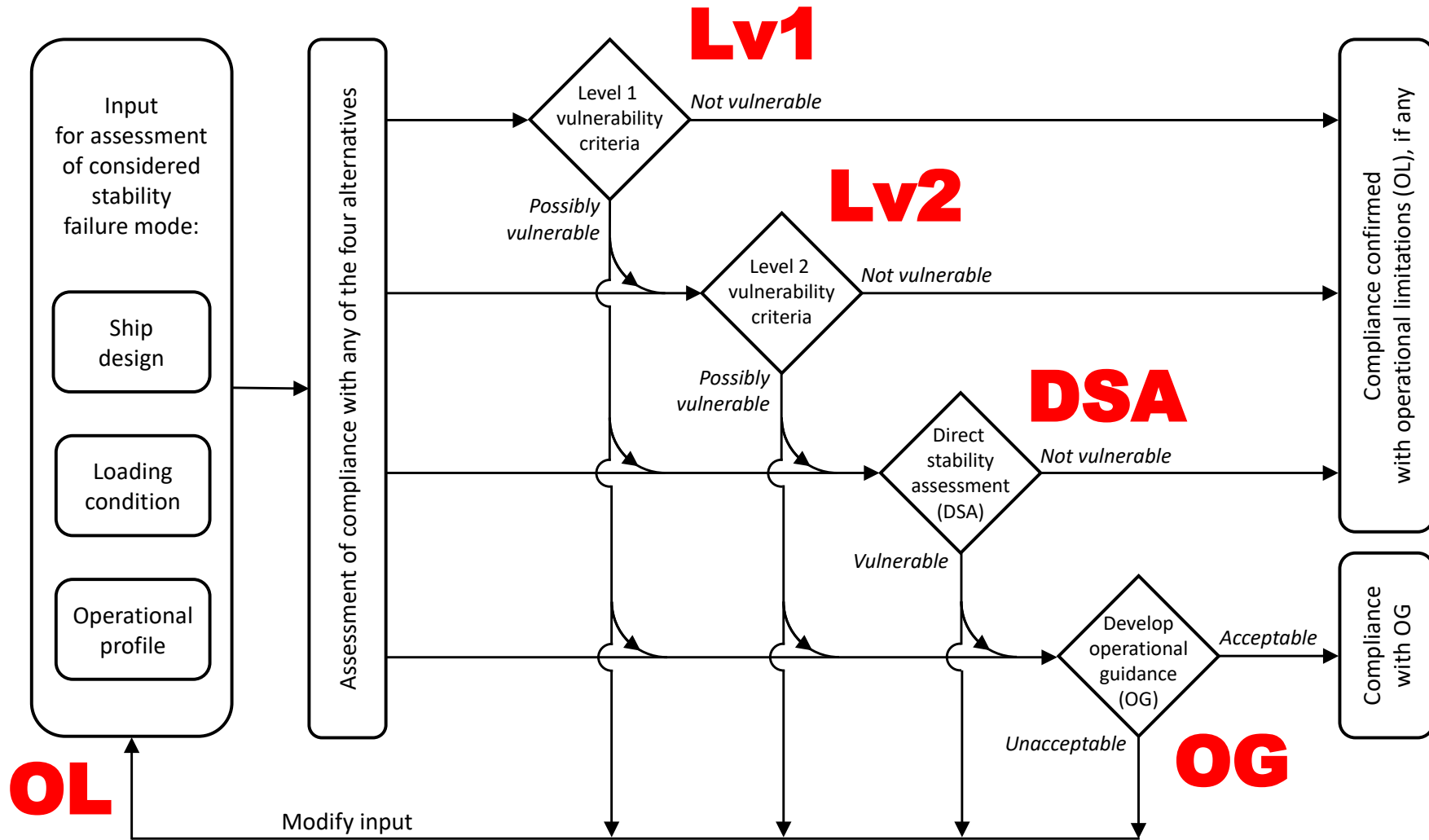
**MSC**  
**Sub Committee**  
**SDC**





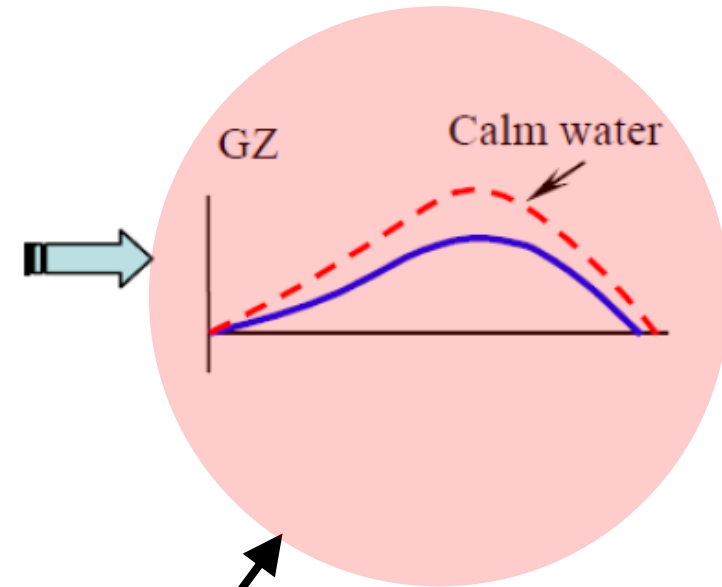
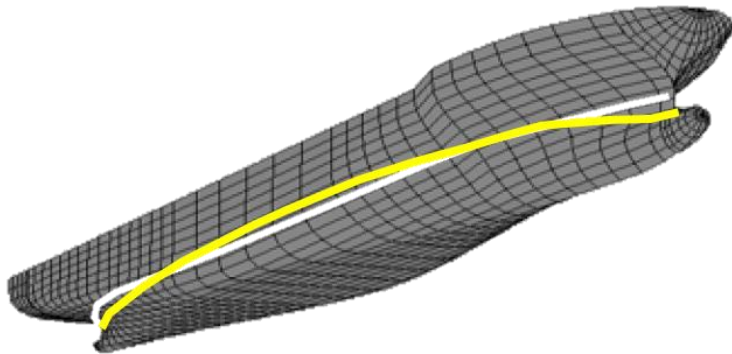
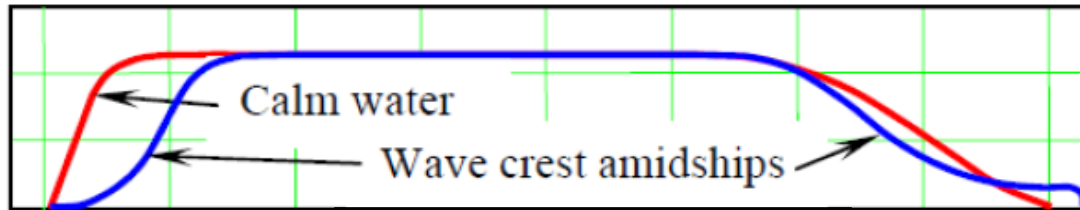


# MULTILAYERED APPROACH





## CRESTA A CENTRO NAVE

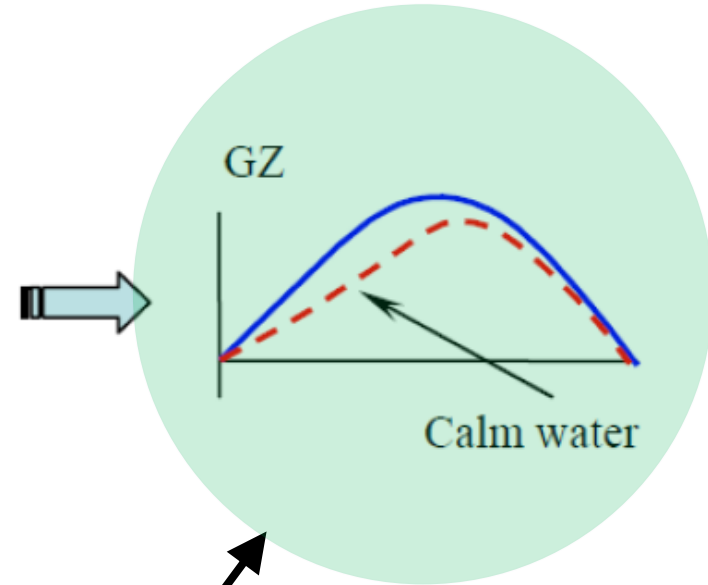
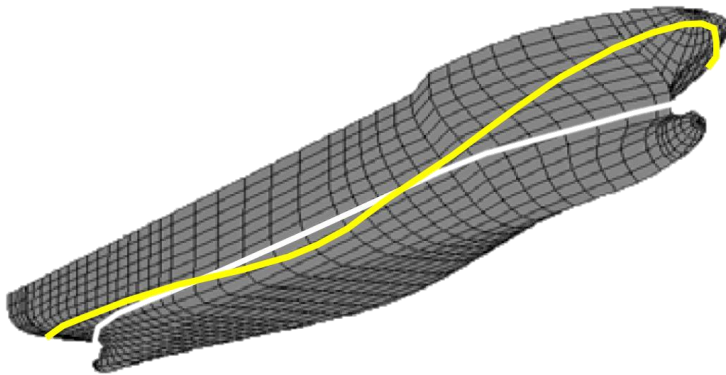
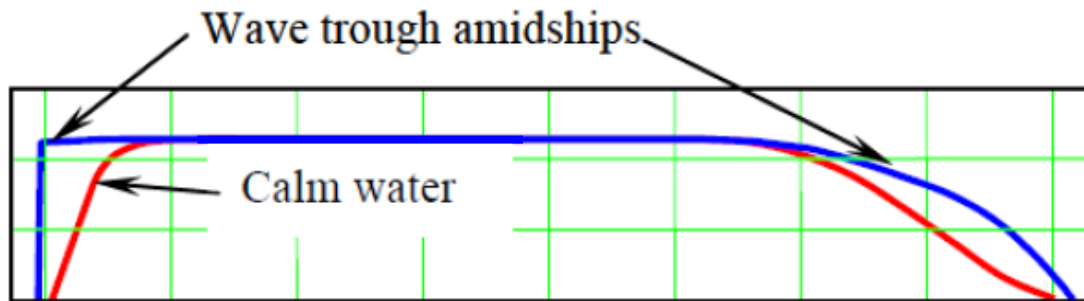


Il braccio raddrizzante è ridotto rispetto al caso di nave in acqua tranquilla.

Credits: V. Belenky, et al. Development of second generation intact stability criteria. Hydromechanics Department Report, Carderock, USA, 2011



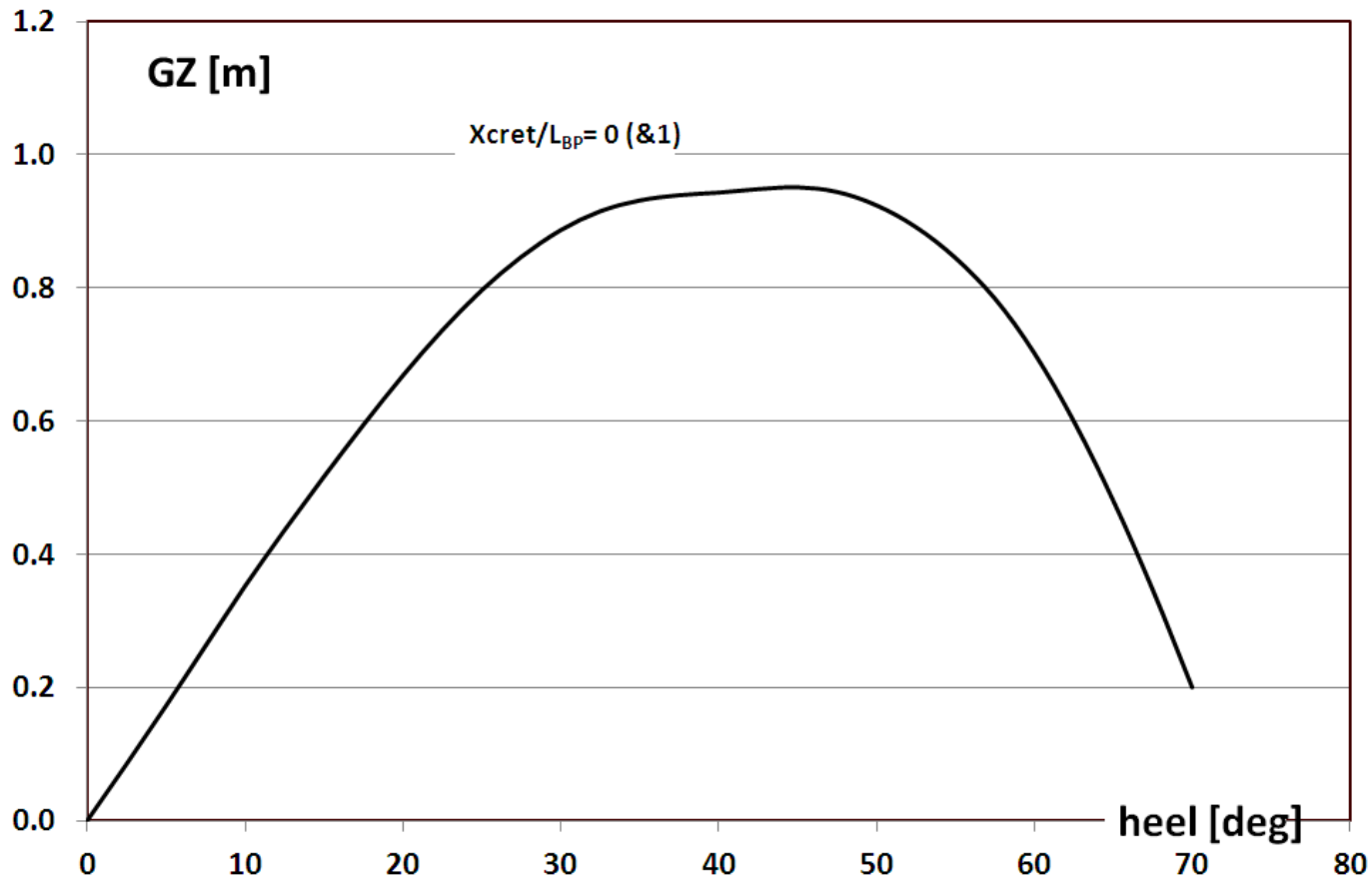
## CAVO A CENTRO NAVE



Il braccio raddrizzante è umentato rispetto al caso di nave in acqua tranquilla.



## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

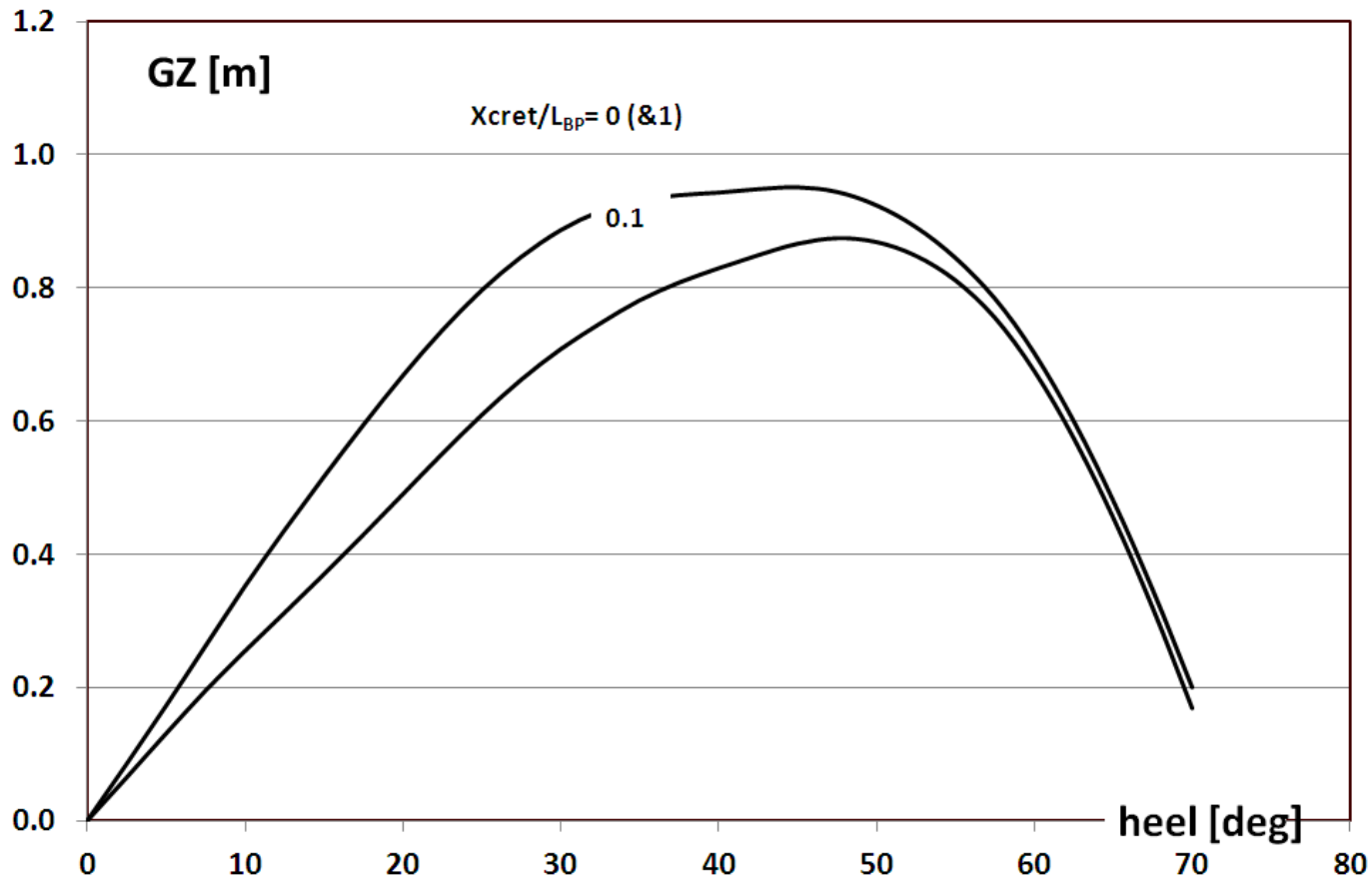
$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

$$0.00$$





## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



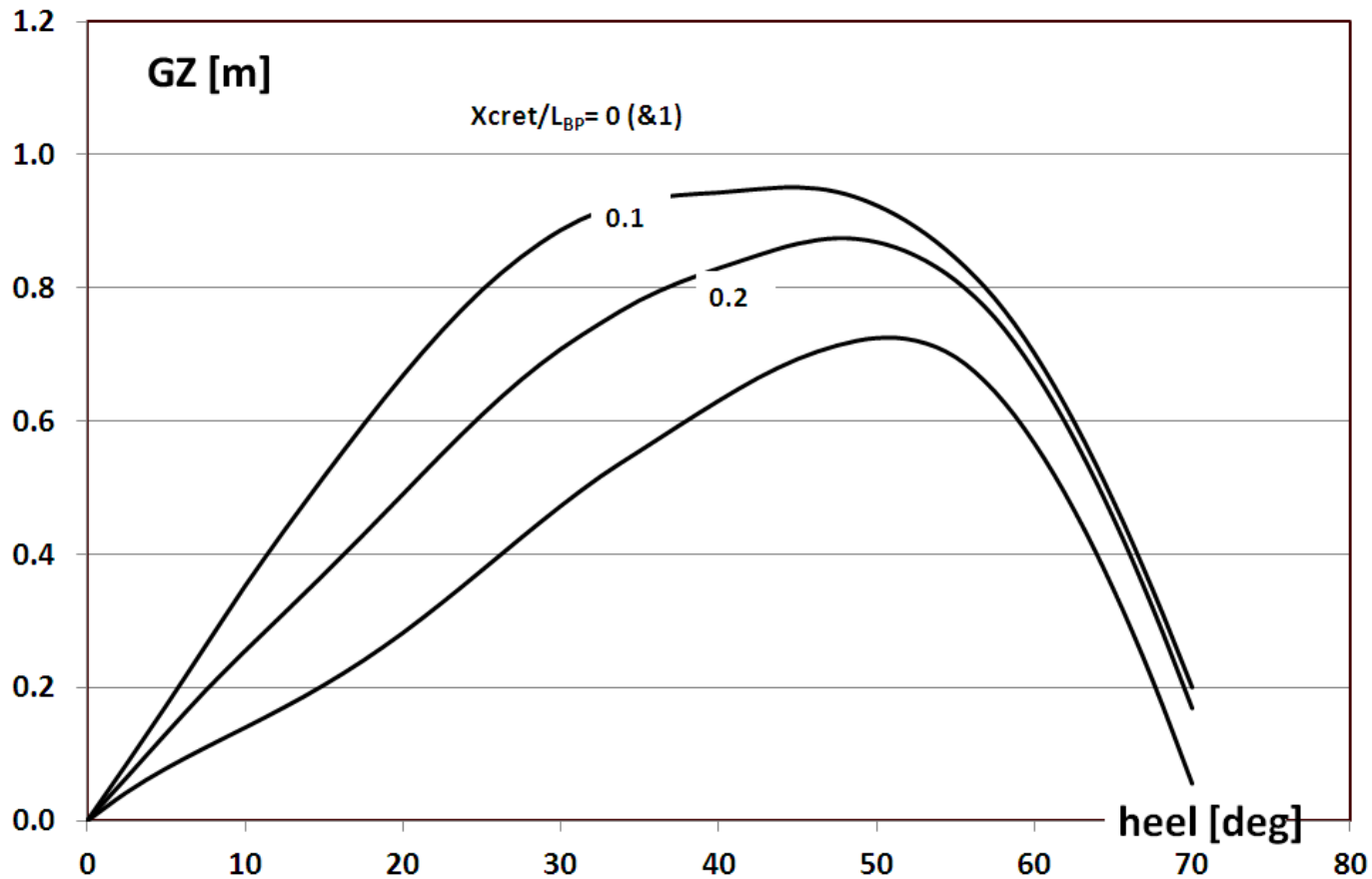
$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

0.10



## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



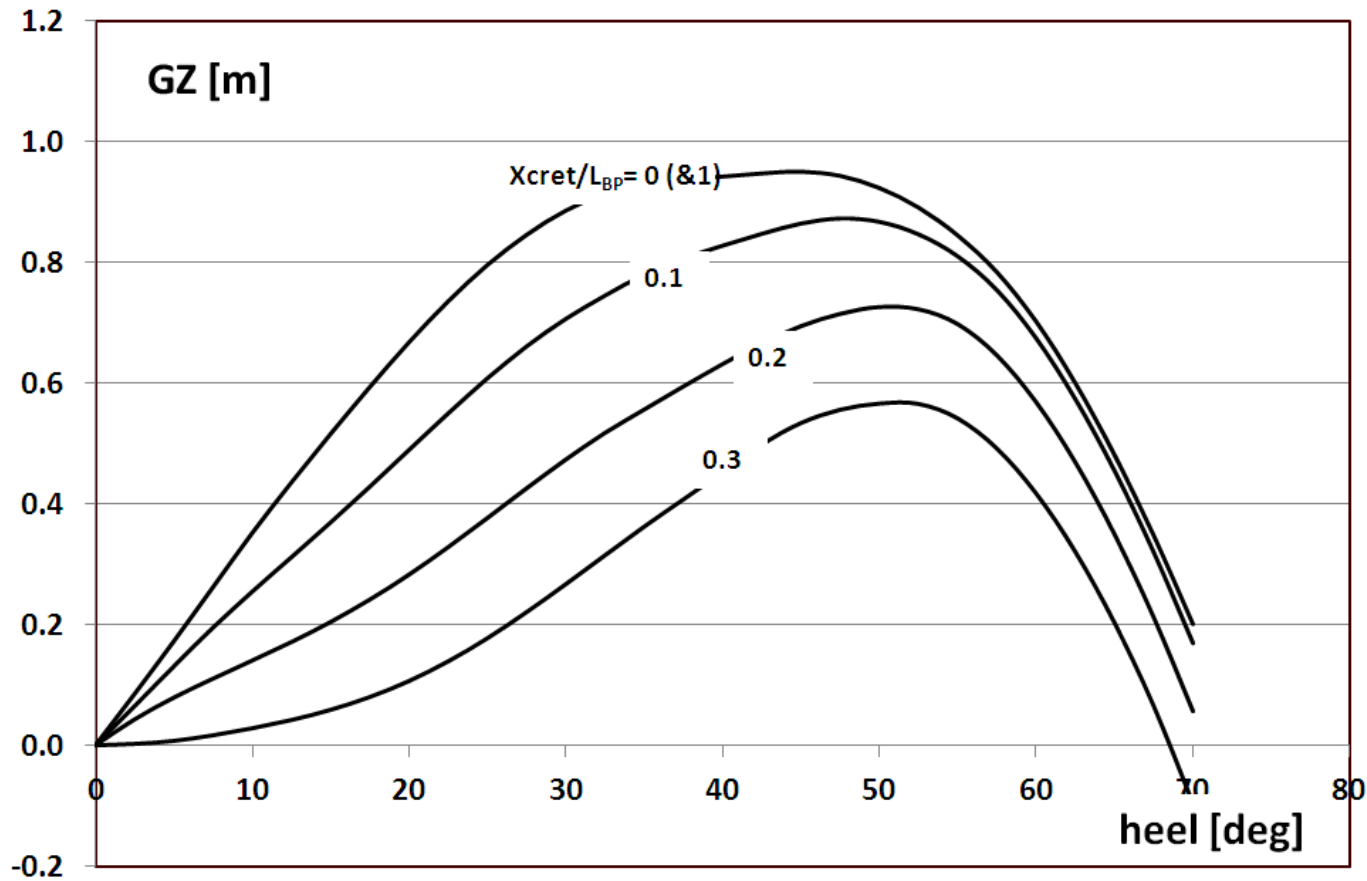
$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

$$0.20$$



## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



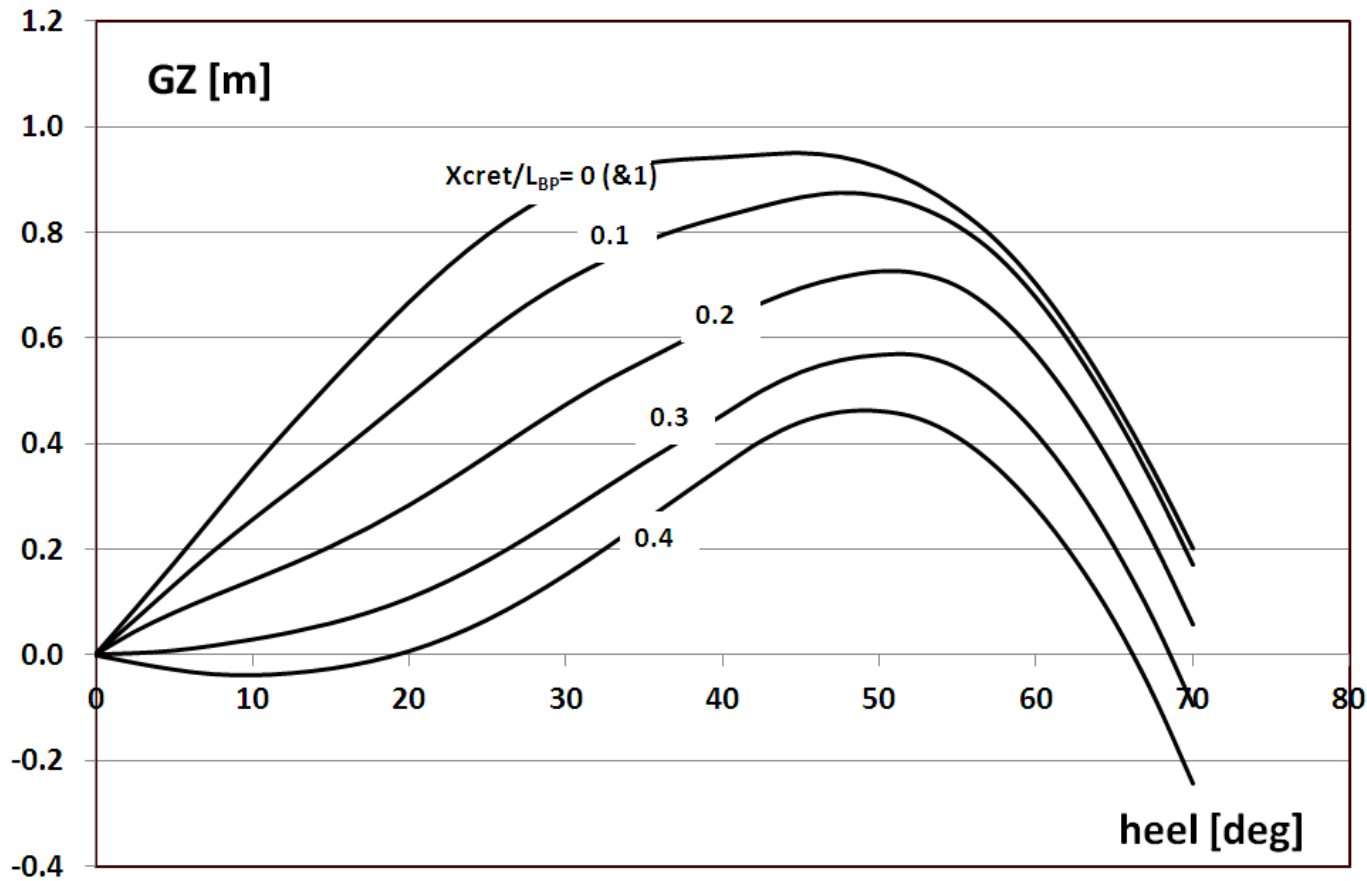
$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

0.30



## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

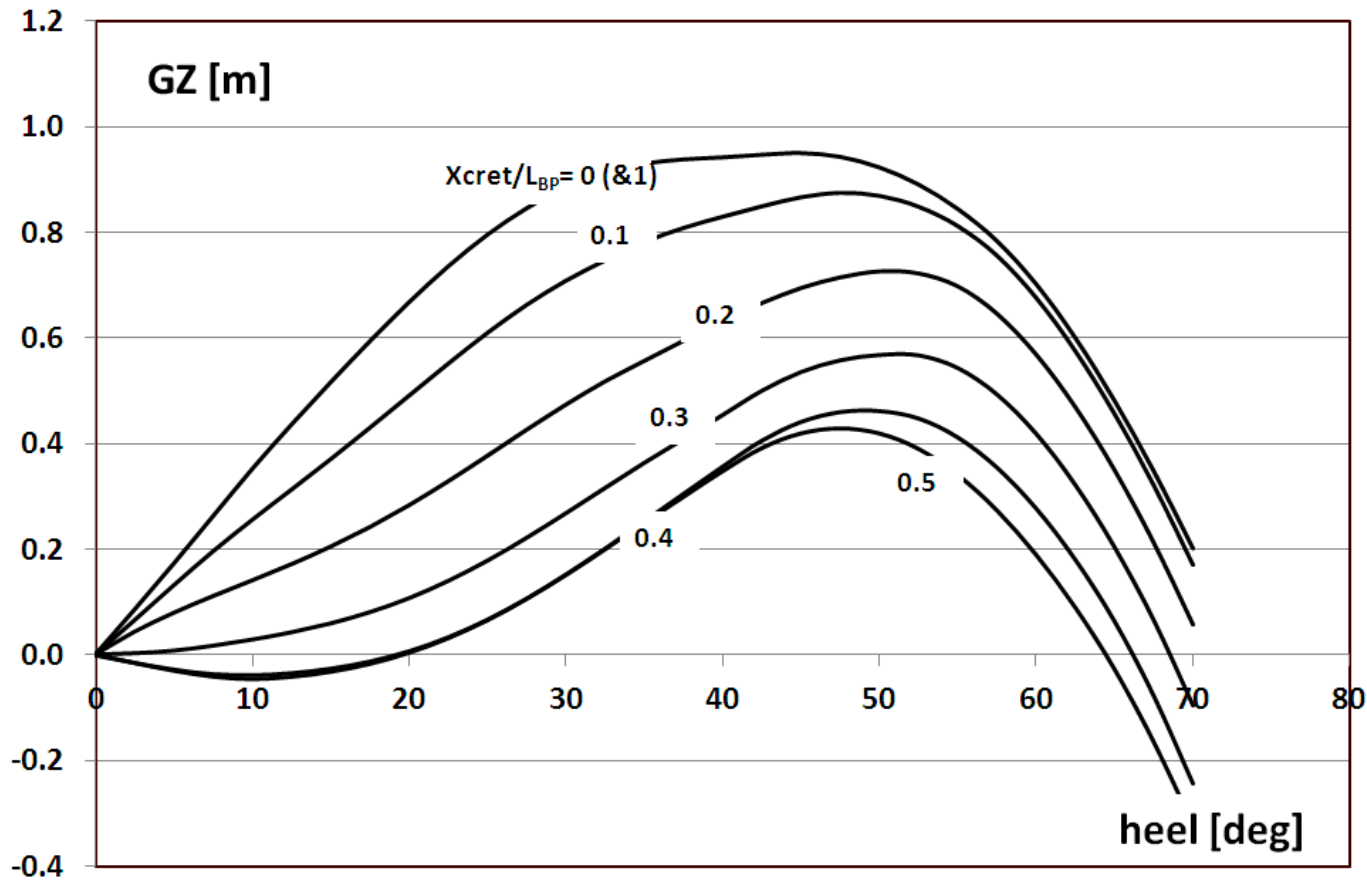
$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

0.40





## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



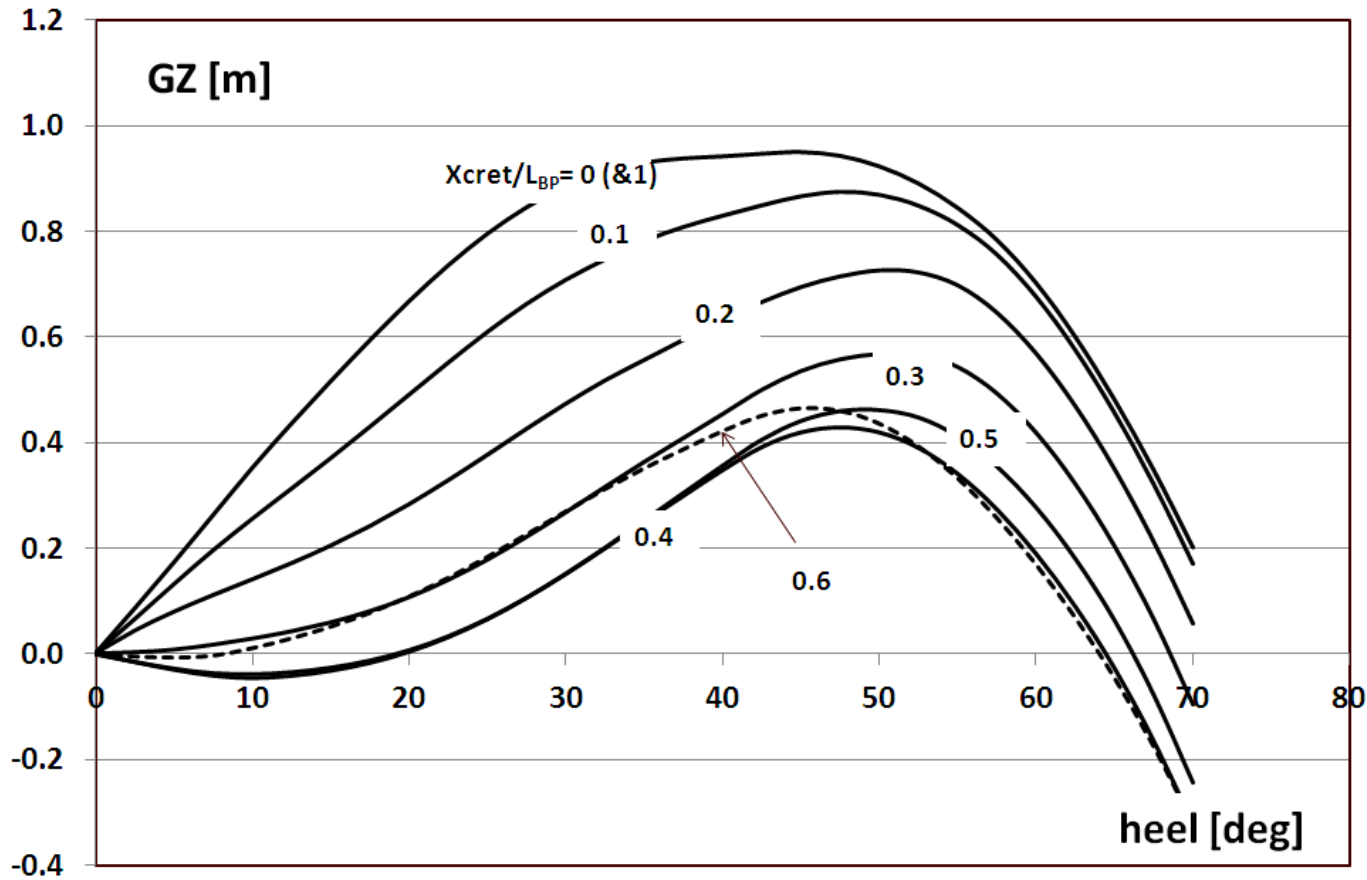
$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

$$0.50$$



## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



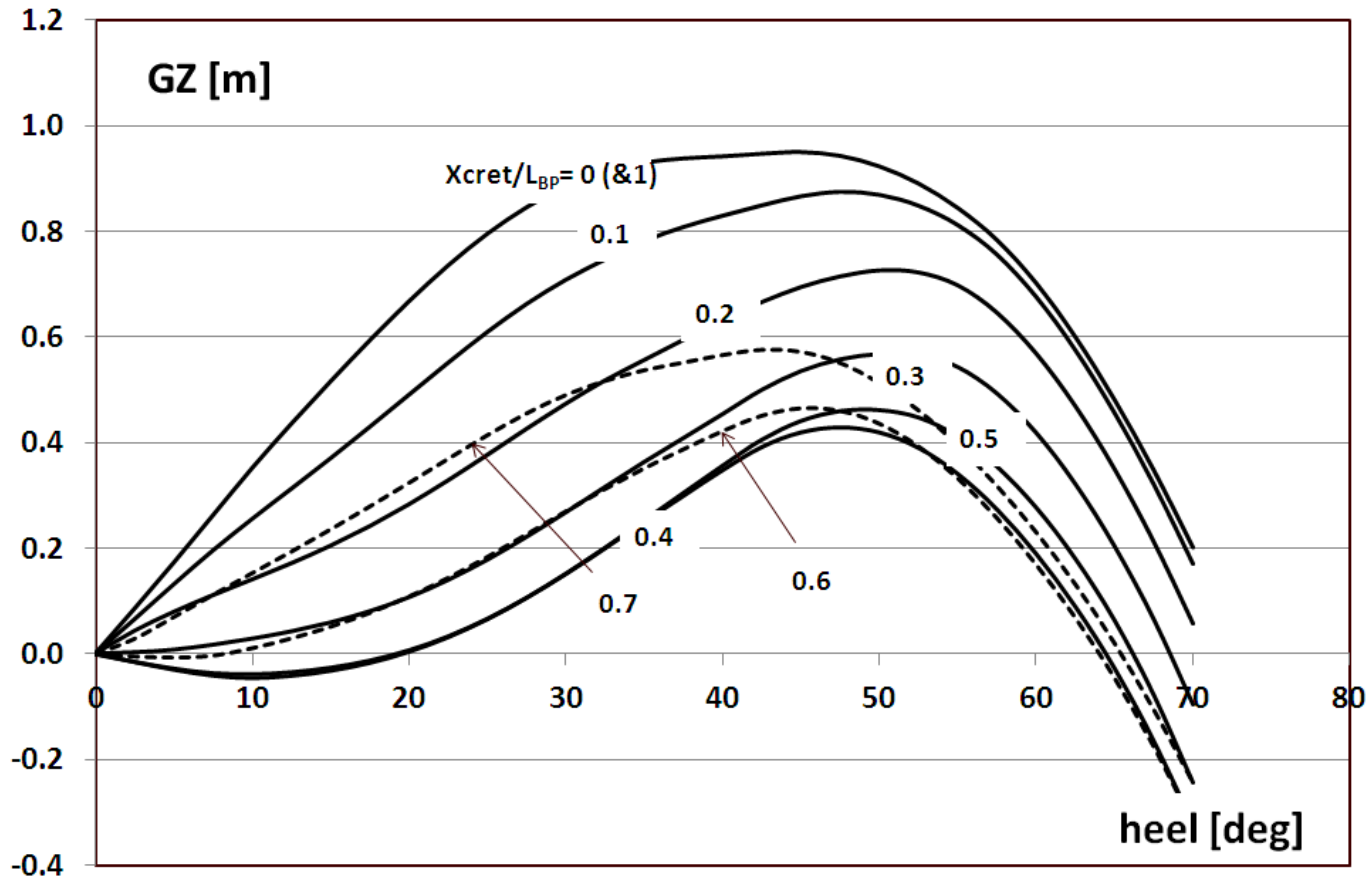
$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

$$0.60$$



## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA



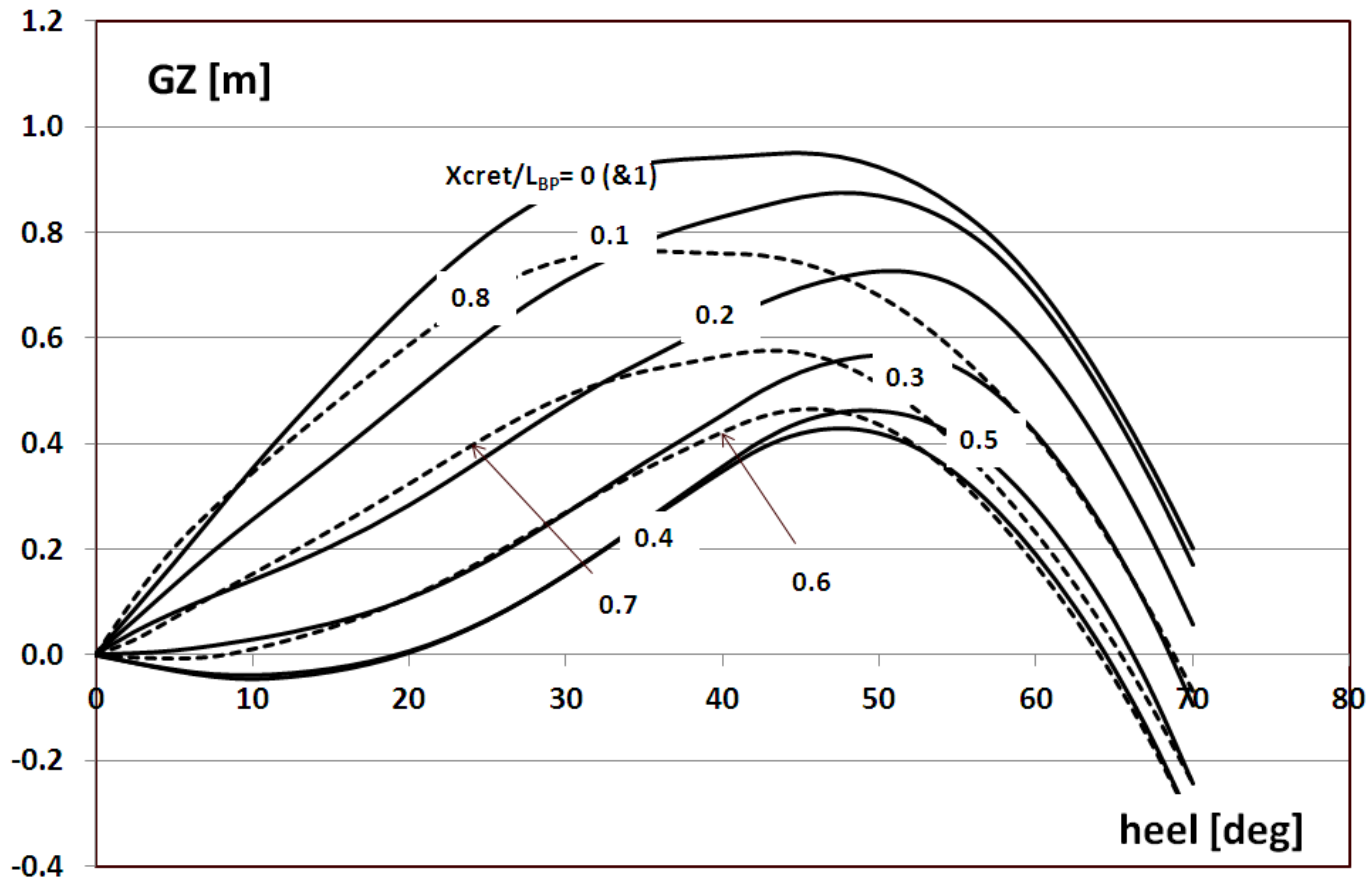
$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

$$0.70$$



## BRACCIO RADDRIZZANTE IN ONDA

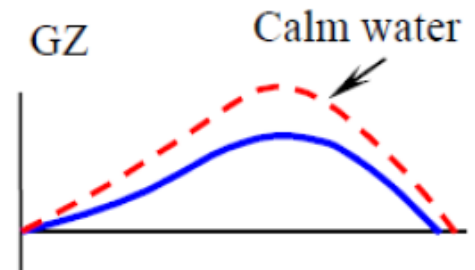
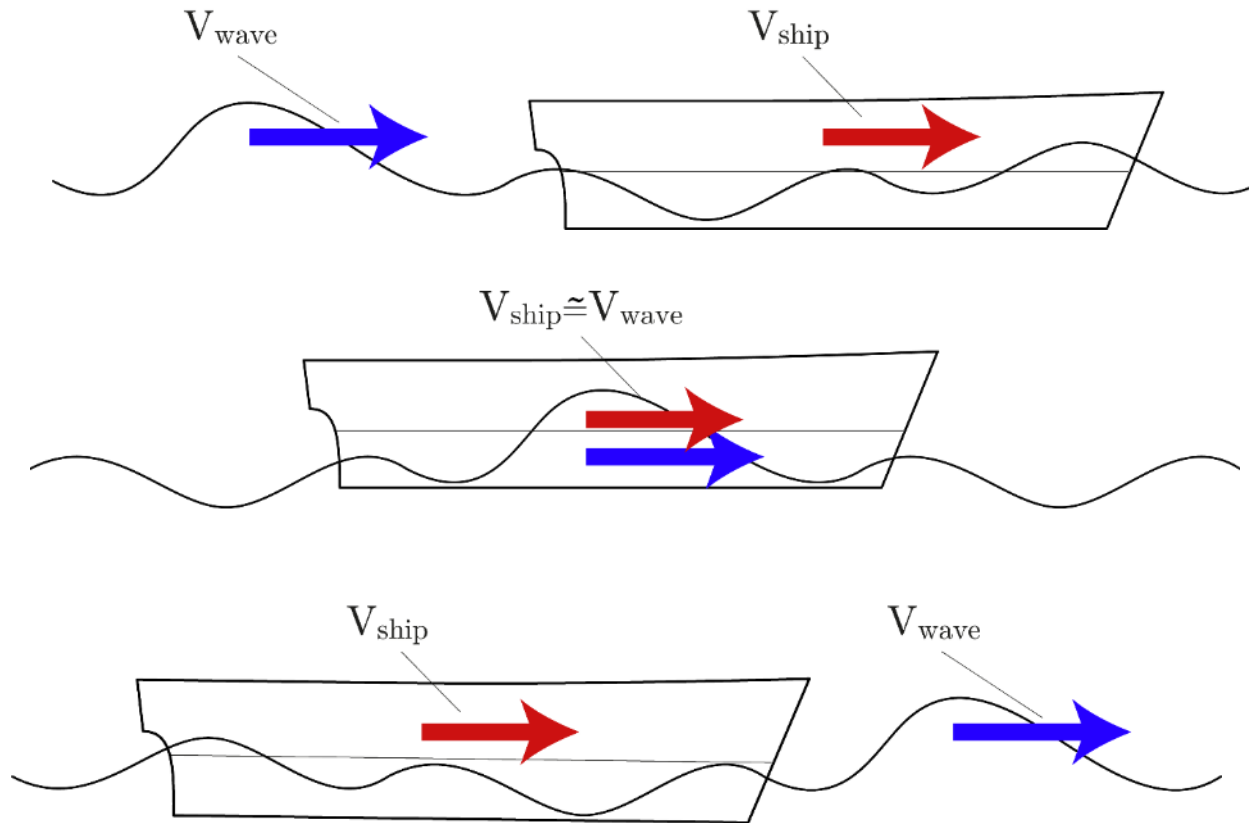


$$L_{ONDA} = L_{PP}$$

$$X_{CRESTA} / L_{PP}$$

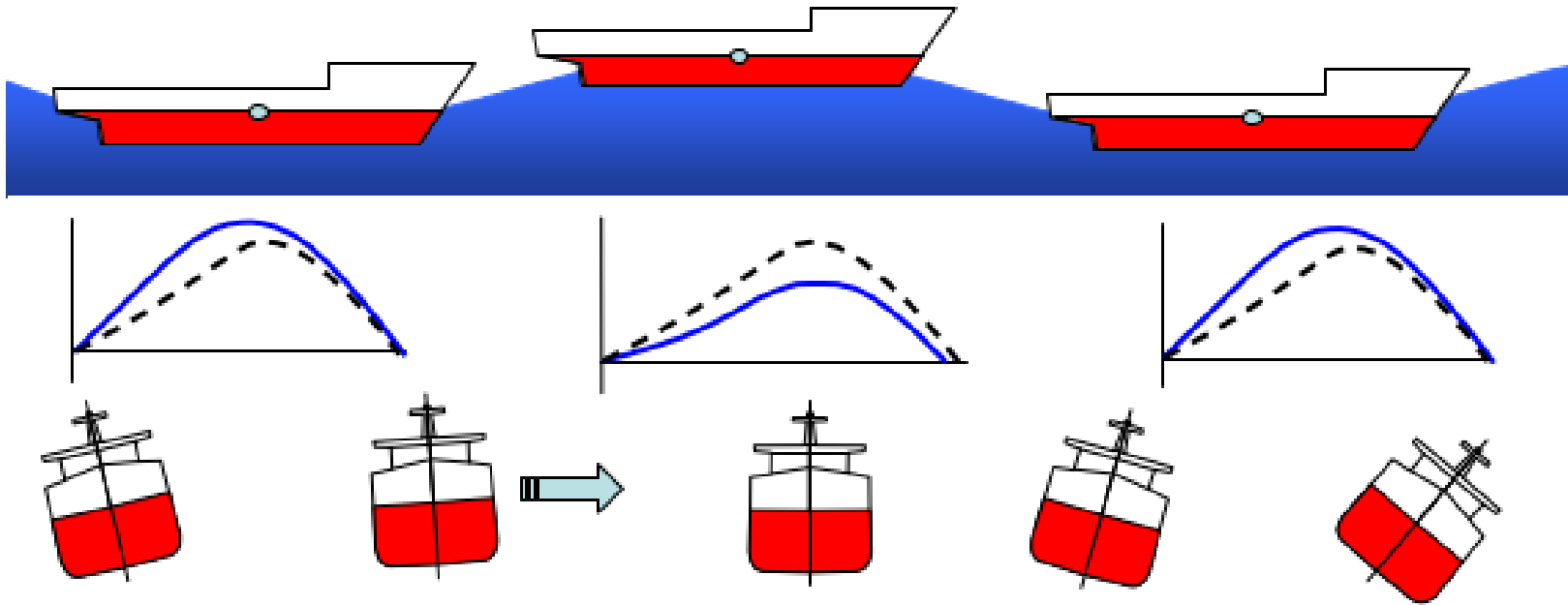
0.80

## • PURE LOSS OF STABILITY



Il braccio raddrizzante è ridotto  
per un periodo di tempo molto  
lungo

## • ROLLIO PARAMETRICO (PARAMETRIC ROLL)



Credits: V. Belenky, et al. Development of second generation intact stability criteria. Hydromechanics Department Report, Carderock, USA, 2011

Lunghezza della nave è comparabile alla lunghezza d'onda mentre si ha uno specifico periodo di incontro:

$$T_{\text{nat}} = 2 \cdot T_{\text{enc}}$$





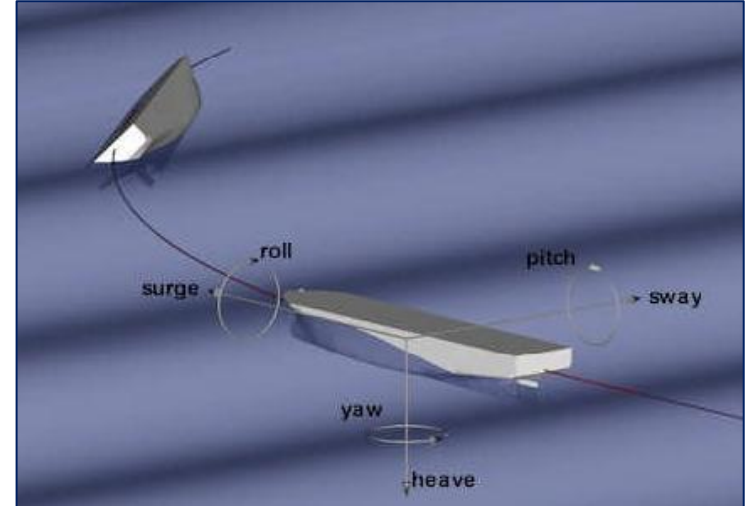
## • BROACHING-TO / SURF-RIDING



Credits: Osaka University – <http://nife.fra.affrc.go.jp/plant/kaiyou/capsizing-e.html>

Durante il Surf-riding una nave è accelerata alla velocità dell'onda proveniente da poppa.

A causa di possibili instabilità direzionali, questa condizione può causare il fenomeno del broaching-to

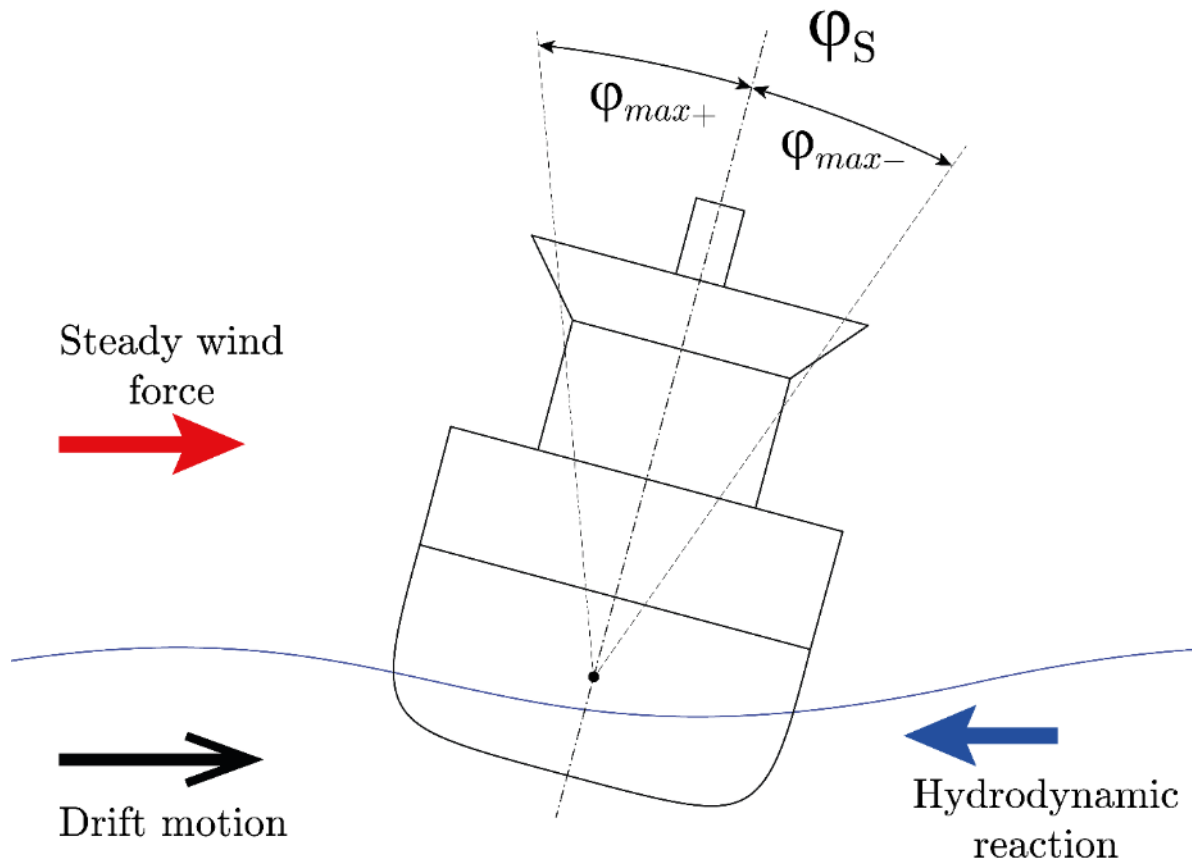


Credits: [http://www.phisicalpsience.com/public/Tumblehome\\_Hull\\_DDG-1000/Tumblehome\\_Hull\\_DDG-1000.html](http://www.phisicalpsience.com/public/Tumblehome_Hull_DDG-1000/Tumblehome_Hull_DDG-1000.html)

Il Broaching è un'improvvisa e incontrollabile accostata della nave nonostante l'azione del timone.



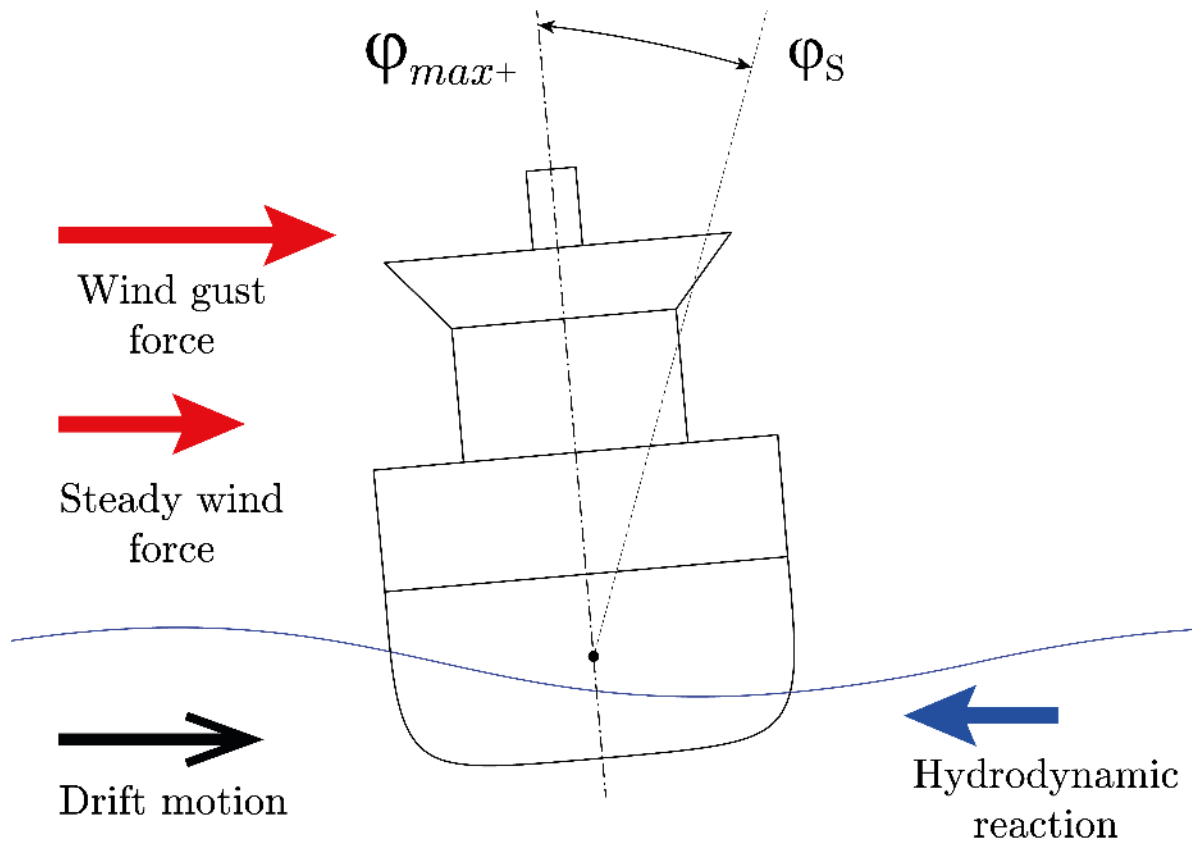
## • DEAD SHIP CONDITION



- 1) Una nave incapace di governare si dispone al traverso rispetto alla direzione del vento e delle onde. La nave rolla intorno ad un angolo di equilibrio statico.
- 2) A sudden wind gust hit the ship when she is at her maximum windward heel angle.
- 3) The wind gust is assumed to last enough time to push the vessel toward the leeward roll angle.



## • DEAD SHIP CONDITION



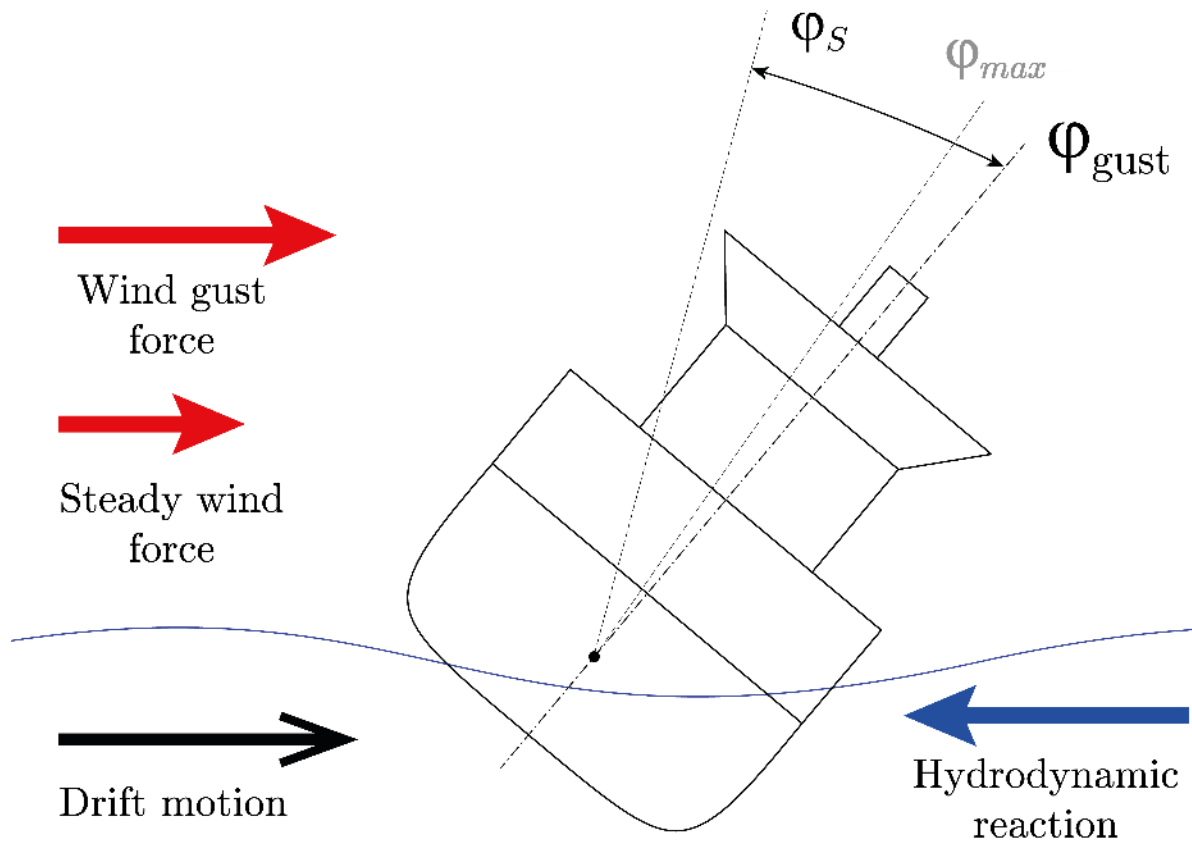
1) A vessel has lost its power and has turned in beam seas. The vessel is rolling around a stable heel angle under the action of waves and steady wind

2) Un'improvvisa raffica di vento investe la nave quando si trova al suo massimo angolo sopravvento.

3) The wind gust is assumed to last enough time to push the vessel toward the leeward roll angle



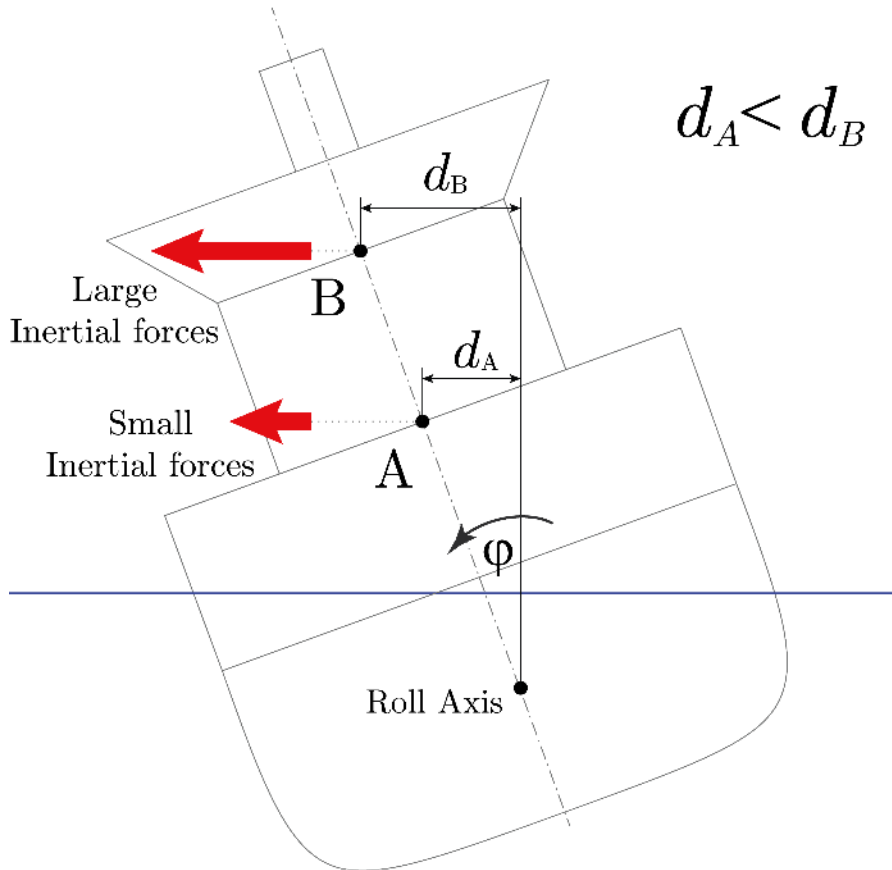
## • DEAD SHIP CONDITION



- 1) A vessel has lost its power and has turned in beam seas. The vessel is rolling around a stable heel angle under the action of waves and steady wind
- 2) A sudden wind gust hit the ship when she is at her maximum windward heel angle.
- 3) Si ipotizza che la raffica duri un tempo sufficiente per inclinare la nave sul lato sottovento.



## • EXCESSIVE ACCELERATION



Poiché la velocità di rollio è costante su tutta la nave, il Punto B deve percorrere una distanza maggiore del Punto A nello stesso periodo di tempo. Pertanto la velocità lineare di B sarà maggiore di quella di A.

Aumentando il GMT, il periodo di rollio diventa più breve, di conseguenza la variazione di velocità sul tempo (accelerazione) diventa più elevata

# Livelli di Vulnerabilità

## Descrizione generale del primo livello

### Pure Loss of Stability

$$GM_{\min} = KB + \frac{I_{TL}}{\nabla} - KG$$

KB = Quota verticale del centro di carena

$I_{TL}$  = Mom. Inerzia della fig. di gallegg.  $d_L$

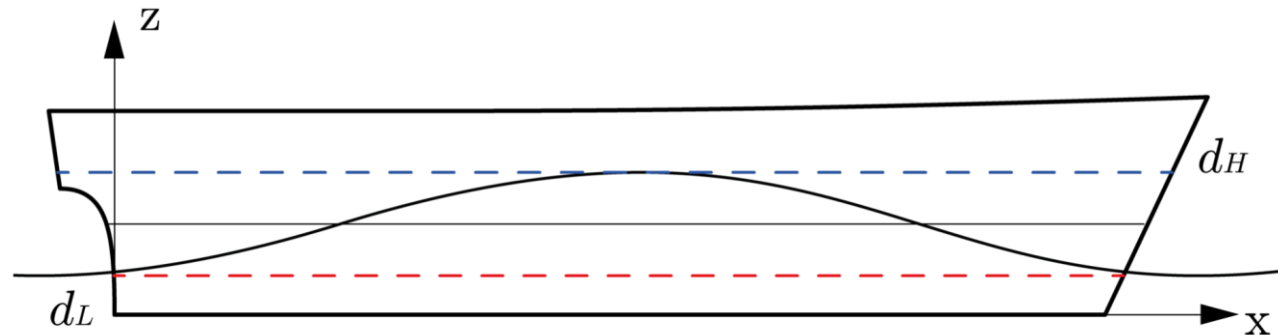
$\nabla$  = Volume di carena;

### Parametric Rolling

$$\delta GM_1 = \frac{I_{TH} - I_{TL}}{2\nabla}$$

KG = Quota verticale del centro di gravità

$I_{TH}$  = Mom. Inerzia della fig. di gallegg.  $d_H$







# Condizioni Ambientali

## Stato di Mare nei 2° Livelli di Vulnerabilità

I primi livelli di vulnerabilità sono stati sviluppati prendendo in considerazione una specifica condizione ambientale ritenuta come la più gravosa possibile.

All'intero dei secondi livelli di vulnerabilità, al contrario, sono considerati differenti condizioni ambientali indicate dal nome Stato di Mare.

Uno Stato di Mare rappresenta una particolare condizione ambientale descritta da un periodo e da un'altezza d'onda statisticamente rappresentative.

**Tz**

Number of occurrences: 100 000 / $T_z$ (s) = average zero-crossing wave period / $H_s$ (m) = significant wave height																
Tz (s) ►	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
Hs (m) ▼																
0.5	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0
3.5	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0
4.5	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0
5.5	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

**Hs**



# Livelli di Vulnerabilità

## Descrizione generale dei secondi livelli

$$C_{Lungo Termine} = \sum_{j=1}^{Tz} \sum_{i=1}^{Hs} C_{Breve Termine_{i,j}} \cdot W_{S_{i,j}}$$

I secondi livelli di vulnerabilità condividono la stessa struttura generale in cui valuta il rischio di failure di lungo termine .

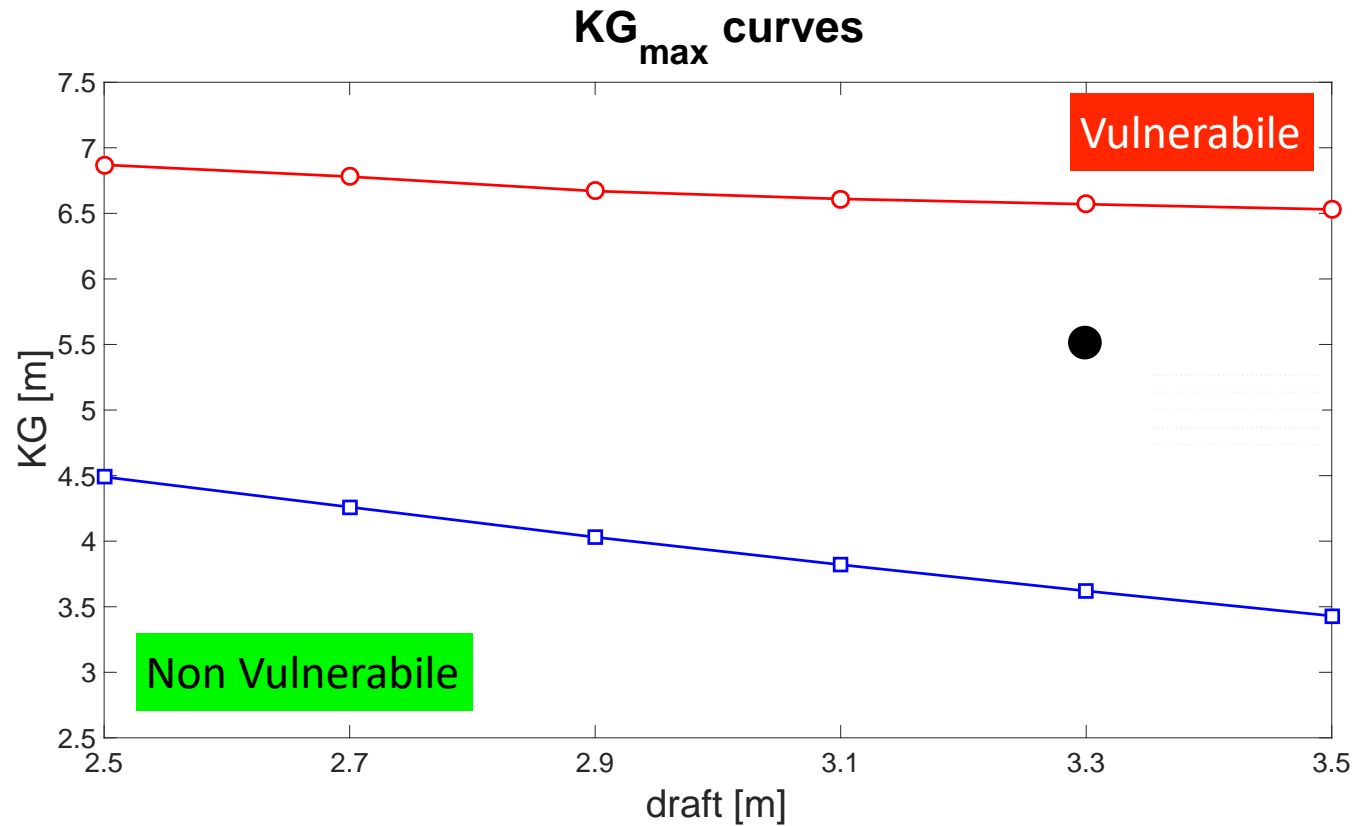
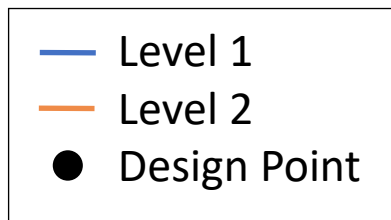
Si differenziano nelle metodologie con cui è calcolato il rischio di failure per il singolo stato di mare (Breve termine)

$$C_{Lungo Termine} < R_{Failure}$$

Hs (m)	Tz (s) = average up-crossing wave period															
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
0.5	1,3	133,7	865,6	1186	634,2	186,3	36,9	5,6	0,7	0,1	0	0	0	0	0	0
1.5	0	29,3	986	4976	7738	5569,7	2375,7	703,5	160,7	30,5	5,1	0,8	0,1	0	0	0
2.5	0	2,2	197,5	2158,8	6230	7449,5	4860,4	2066	644,5	160,2	33,7	6,3	1,1	0,2	0	0
3.5	0	0,2	34,9	695,5	3226,5	5675	5099,1	2838	1114,1	337,7	84,3	18,2	3,5	0,6	0,1	0
4.5	0	0	6	196,1	1354,3	3288,5	3857,5	2685,5	1275,2	455,1	130,9	31,9	6,9	1,3	0,2	0
5.5	0	0	1	51	498,4	1602,9	2372,7	2008,3	1126	463,6	150,9	41	9,7	2,1	0,4	0,1
6.5	0	0	0,2	12,6	167	690,3	1257,9	1268,6	825,9	386,8	140,8	42,2	10,9	2,5	0,5	0,1
7.5	0	0	0	3	52,1	270,1	594,4	703,2	524,9	276,7	111,7	36,7	10,2	2,5	0,6	0,1
8.5	0	0	0	0,7	15,4	97,9	255,9	350,6	296,9	174,6	77,6	27,7	8,4	2,2	0,5	0,1
9.5	0	0	0	0,2	4,3	33,2	101,9	159,9	152,2	99,2	48,3	18,7	6,1	1,7	0,4	0,1
10.5	0	0	0	0	1,2	10,7	37,9	67,5	71,7	51,5	27,3	11,4	4	1,2	0,3	0,1
11.5	0	0	0	0	0,3	3,3	13,3	26,6	31,4	24,7	14,2	6,4	2,4	0,7	0,2	0,1
12.5	0	0	0	0	0,1	1	4,4	9,9	12,8	11	6,8	3,3	1,3	0,4	0,1	0
13.5	0	0	0	0	0	0,3	1,4	3,5	5	4,6	3,1	1,6	0,7	0,2	0,1	0
14.5	0	0	0	0	0	0,1	0,4	1,2	1,8	1,8	1,3	0,7	0,3	0,1	0	0
15.5	0	0	0	0	0	0	0,1	0,4	0,6	0,7	0,5	0,3	0,1	0,1	0	0
16.5	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0

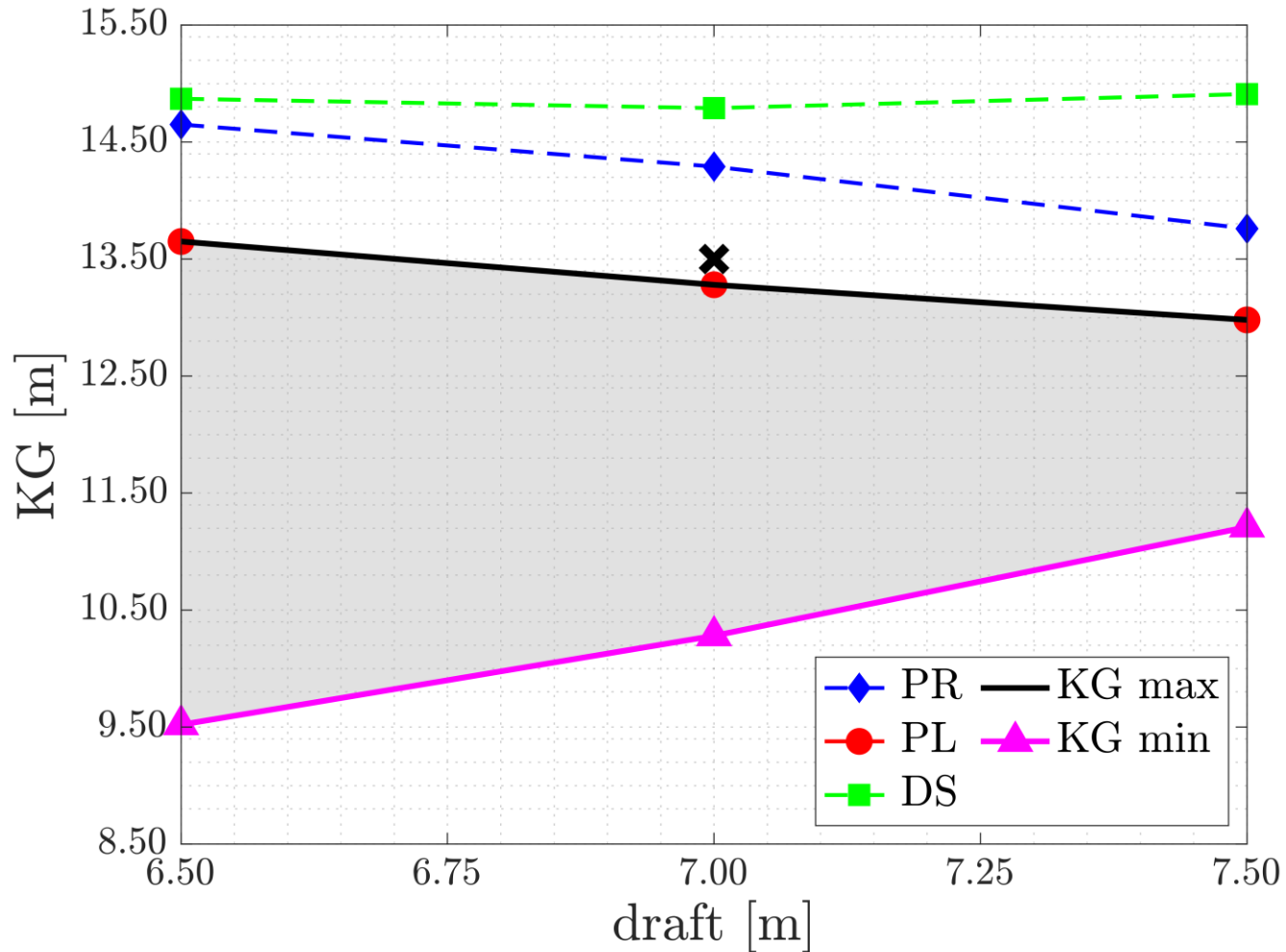
# • CONFRONTO TRA LIVELLI DI VULNERABILITÀ

Curve dei massimi KG calcolati per il Pure Loss of Stability





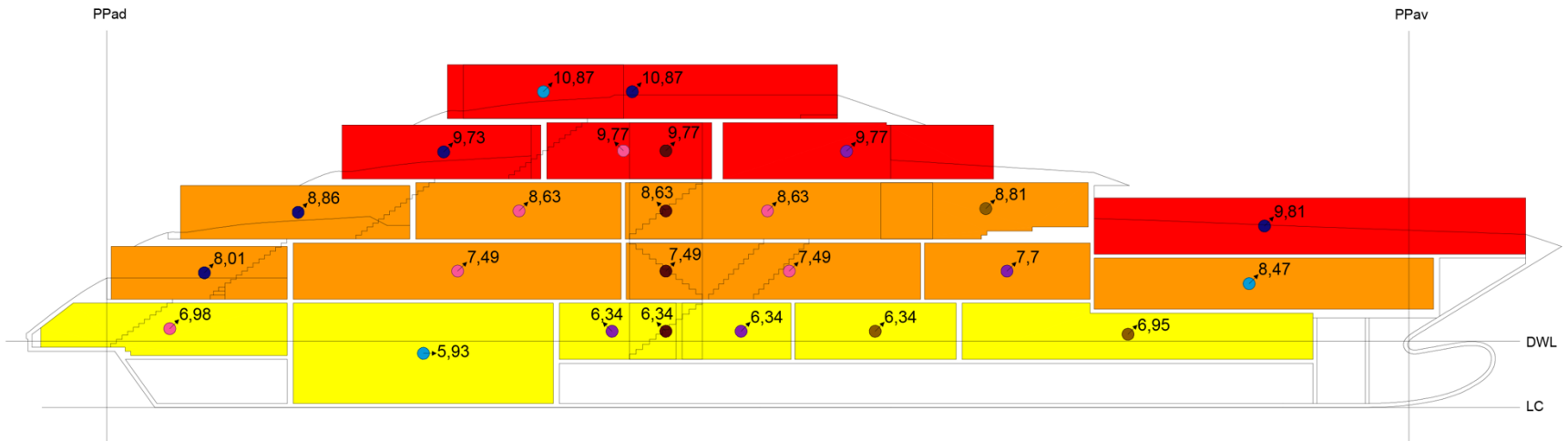
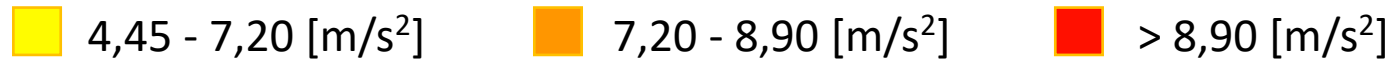
## • CONFRONTO TRA STABILITY FAILURE MODES





## • EXCESSIVE ACCELERATION

Valutazione per un'unità megayacht di 70 m



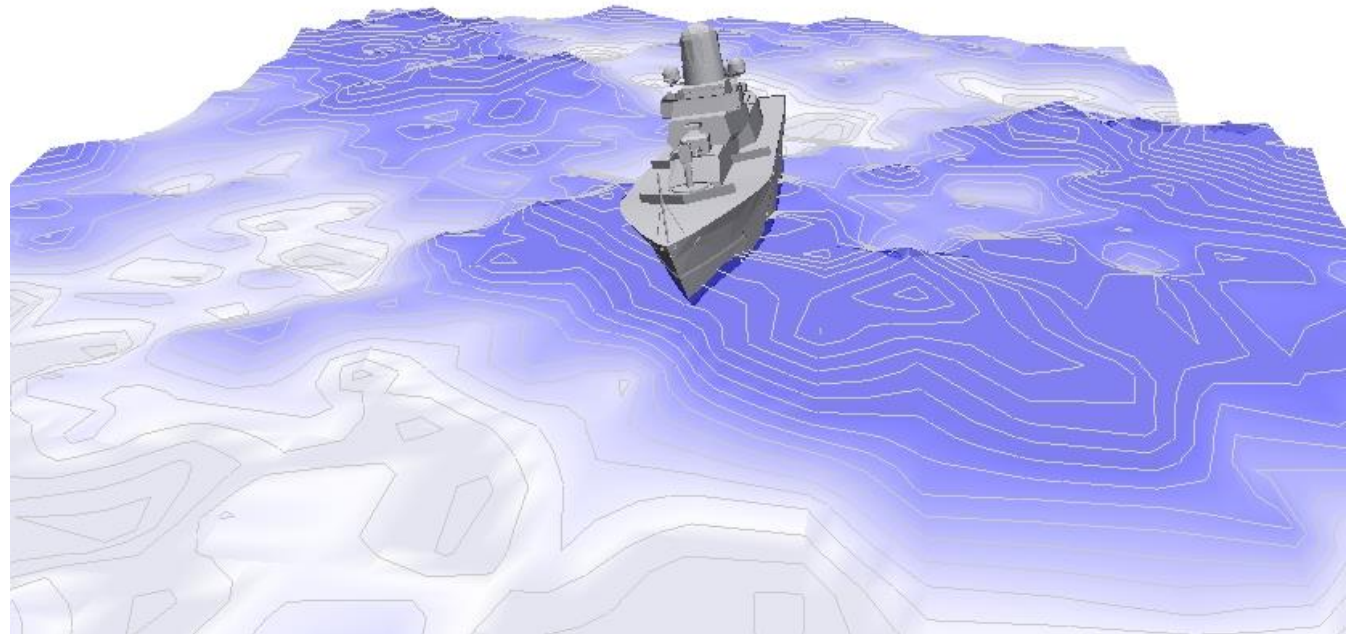
Applicazione del 1° livello di vulnerabilità per ogni zona  
 $KG = 5,5$  [m]



# Direct Stability Assessment

T= 7.7s, H 1/3= 11.5m  
no wind, Speed: 0.0knots  
9979.5s

Il Direct Stability Assessment è un metodo di calcolo diretto che richiede l'utilizzo di codici di calcolo avanzati capaci di riprodurre i moti della nave (6 GdL) in navigazione.





# Operational Limitation

## Tipologie di limitazioni operative

### Massima altezza d'onda

Questa tipologia di limitazione permette alla nave di navigare in qualsiasi zona del mondo.

Viene imposto un limite di altezza d'onda massimo in cui è permesso navigare.

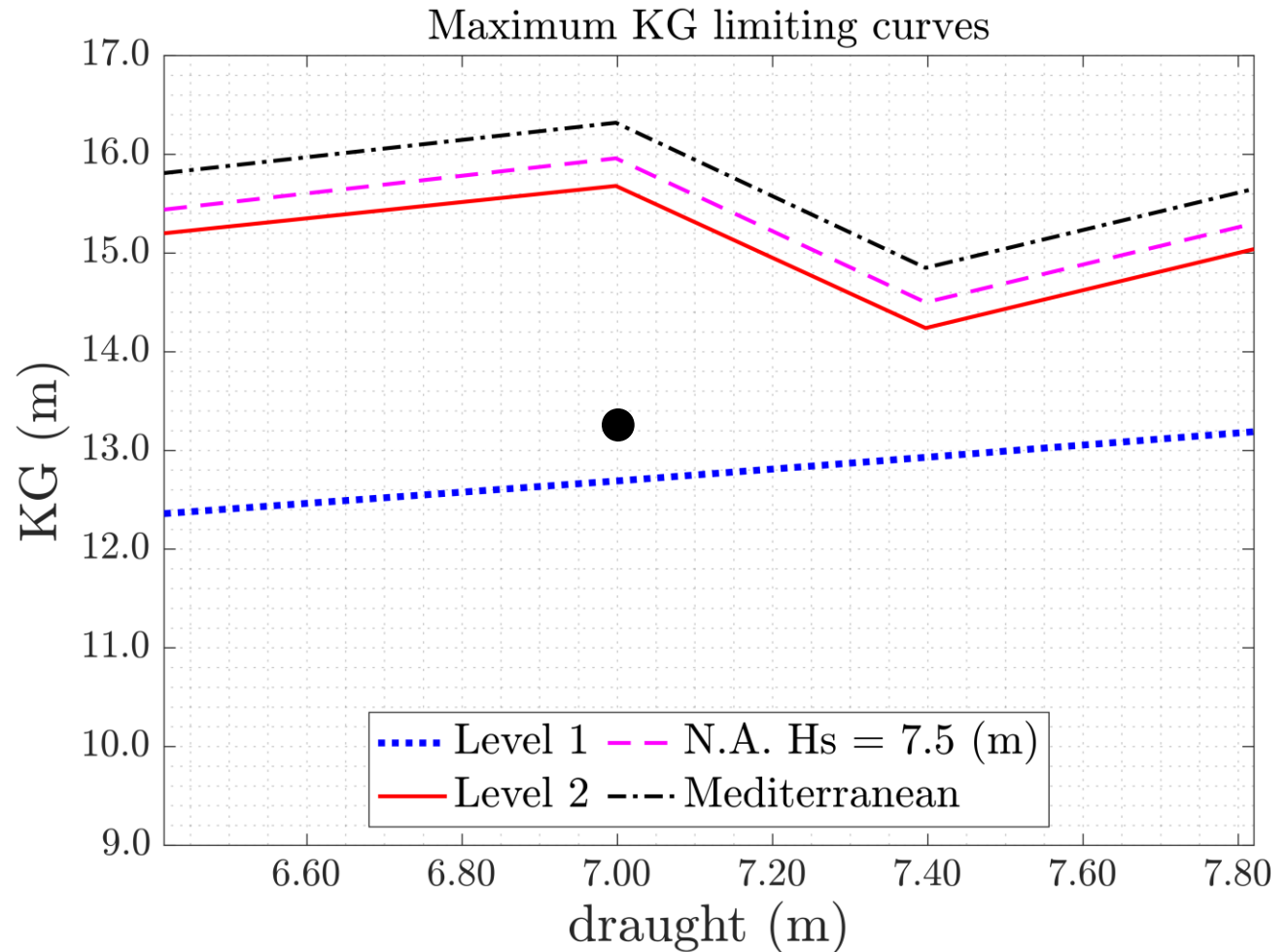
### Area geografica





# • OPERATIONAL LIMITATION

Esempio  
applicativo delle  
OL riferito al  
Pure Loss of  
Stability

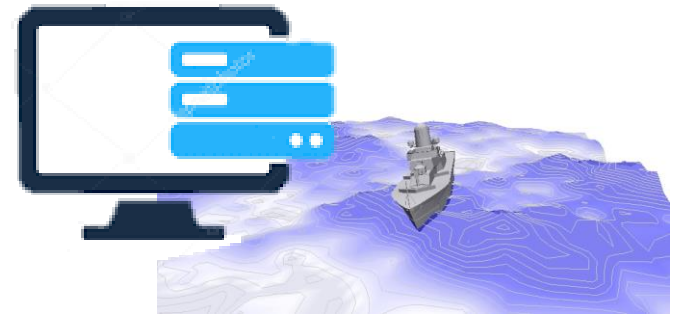




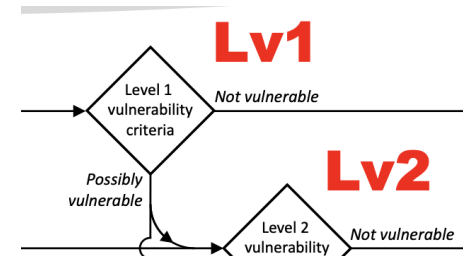
# Operational Guidance

## Tipologie di indicazioni operative

- OG Probabilistiche
- OG Deterministiche



- OG Semplificate



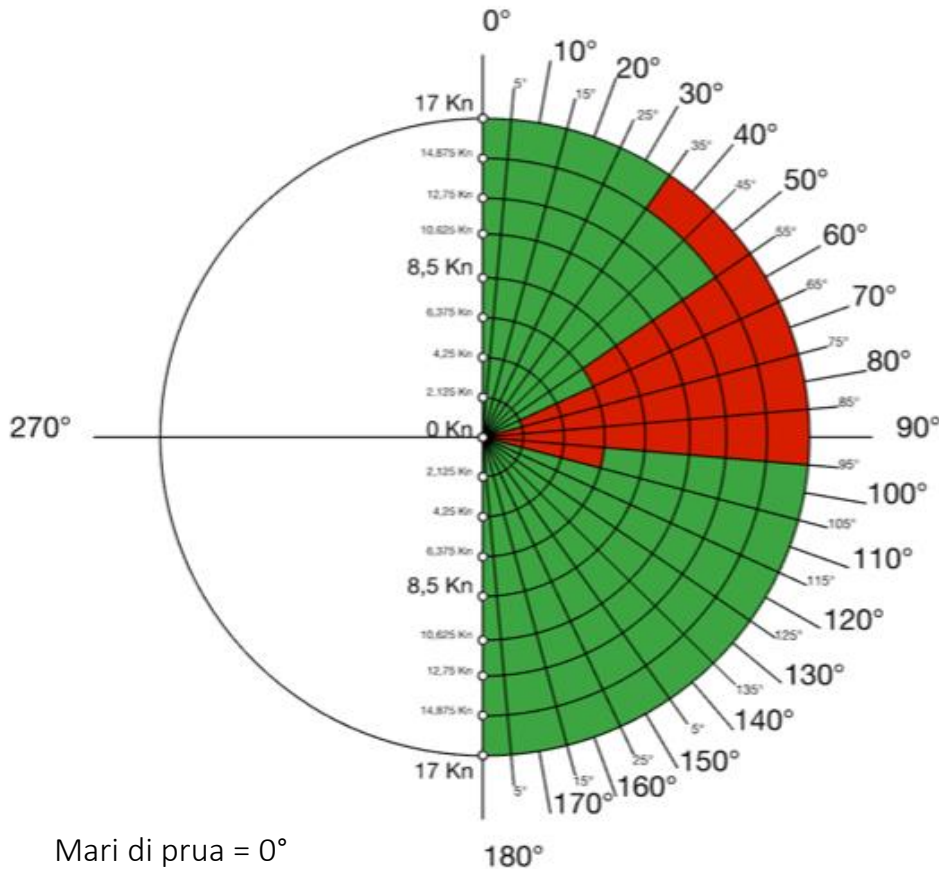
Basate sulle metodologie dei

Livelli di Vulnerabilità



# • OPERATIONAL GUIDANCE SEMPLIFICATE

## Esempio applicativo



Rappresentazione con diagramma polare derivata dell'applicazione delle Operational Guidance semplificate.

Condizioni Ambientali:

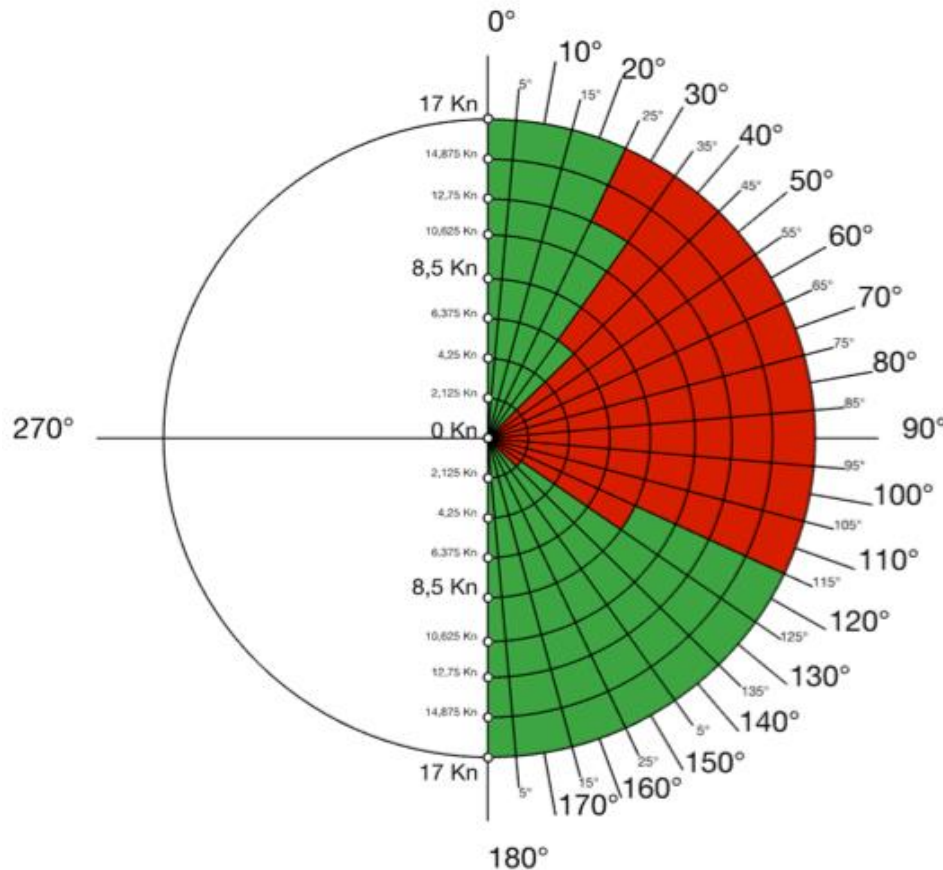
$H_s = 2,5$  [m]

$T_z = 6,5$  [m]



## • OPERATIONAL GUIDANCE SEMPLIFICATE

### Esempio applicativo



Rappresentazione con diagramma polare derivata dall'applicazione delle Operational Guidance semplificate.

Condizioni Ambientali:

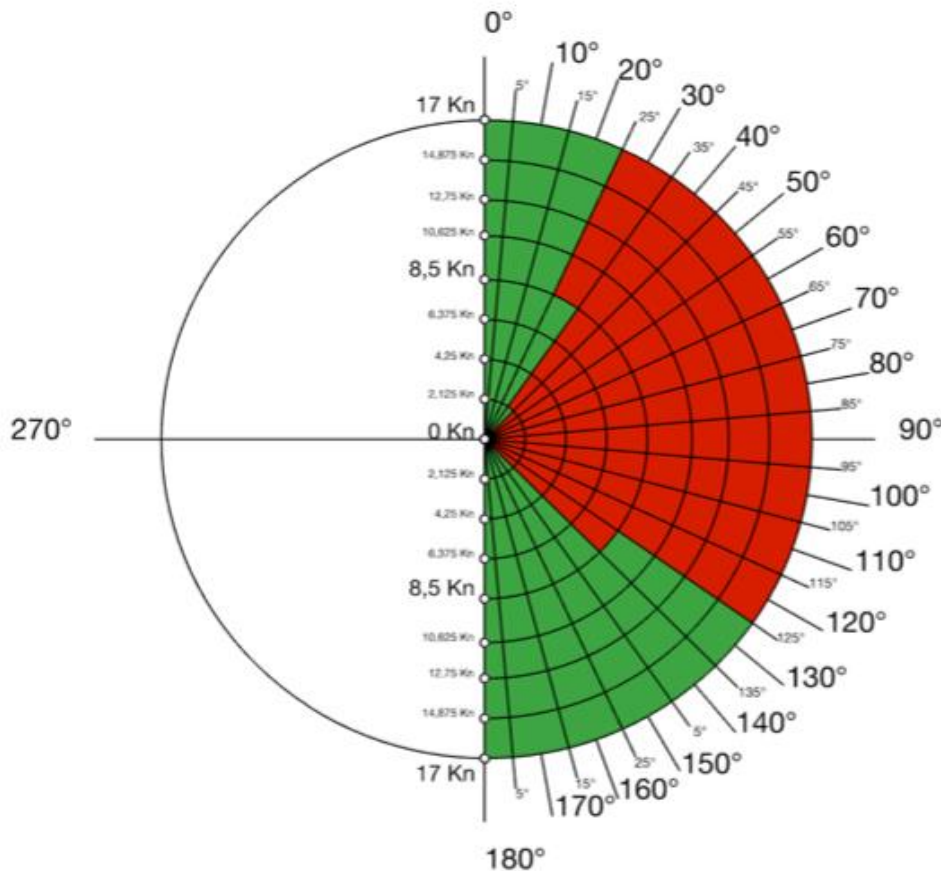
$H_s = 3,5$  [m]

$T_z = 6,5$  [m]



# • OPERATIONAL GUIDANCE SEMPLIFICATE

## Esempio applicativo



Rappresentazione con diagramma polare derivata dall'applicazione delle Operational Guidance semplificate.

Condizioni Ambientali:

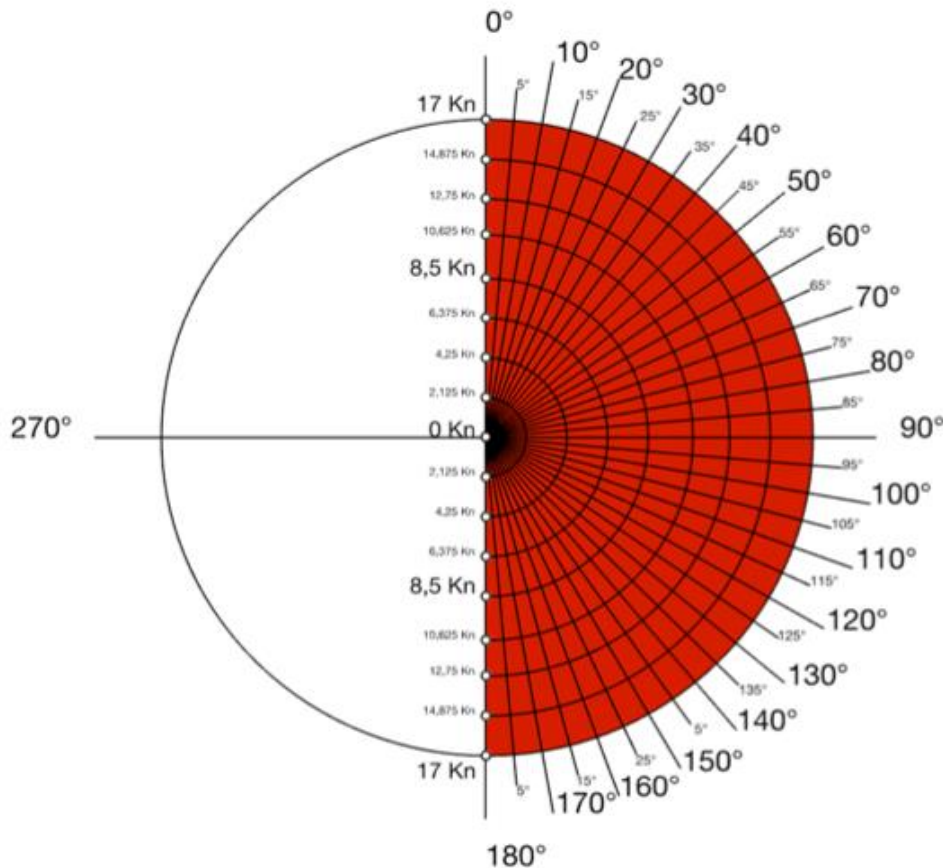
$H_s = 4,5$  [m]

$T_z = 6,5$  [m]



## • OPERATIONAL GUIDANCE SEMPLIFICATE

### Esempio applicativo



Rappresentazione con diagramma polare derivata dell'applicazione delle Operational Guidance semplificate.

Condizioni Ambientali:

$H_s = 5,5$  [m]

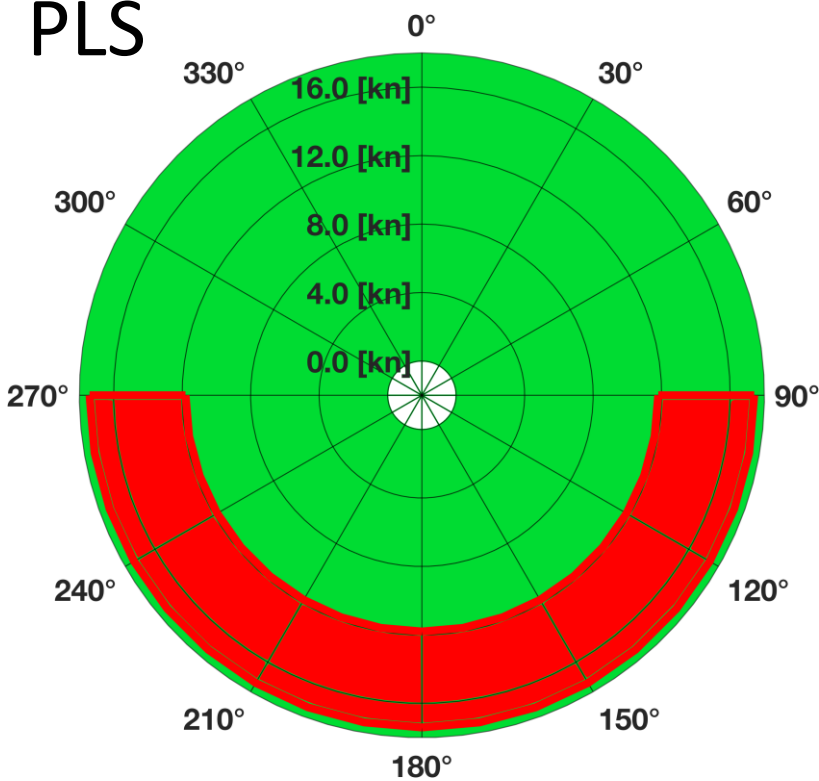
$T_z = 6,5$  [m]



# OPERATIONAL GUIDANCE SEMPLIFICATE

## Esempio applicativo

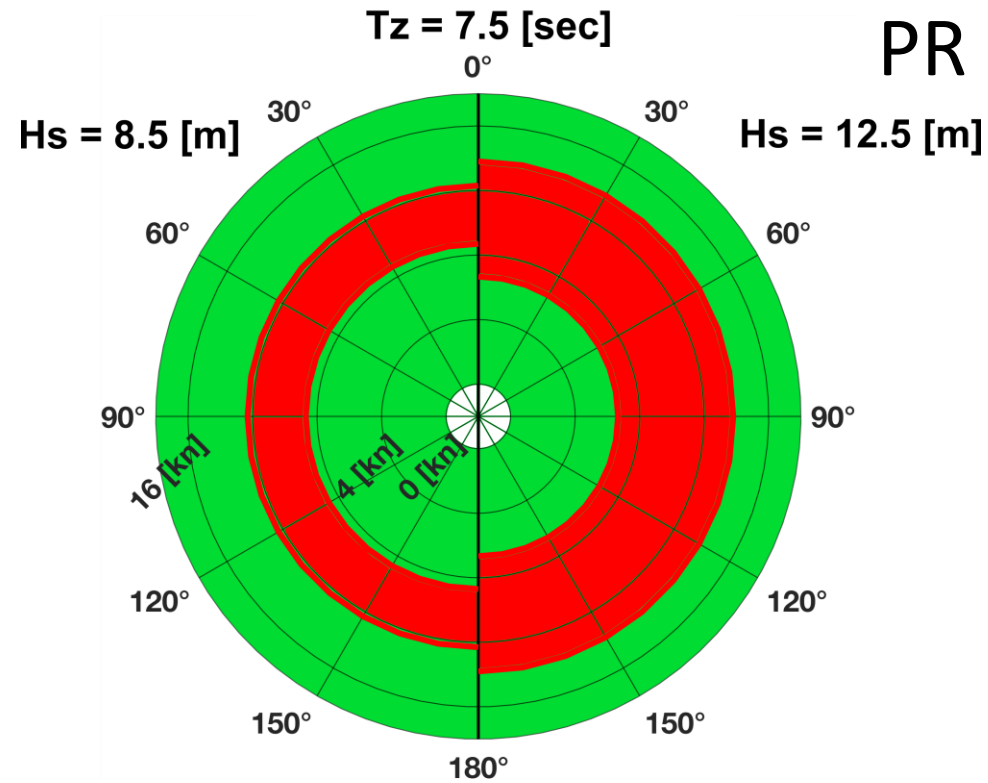
PLS



Mari di prua = 0°

$T_z = 7.5$  [sec]

PR







## CONCLUSIONI



# DESIGN & OPERATION



METHODODOLOGIES  
AND  
TOOLS



SAFER SHIP



- I SGISc nascono dall'esigenza espressa nell'IS Code di studiare la **stabilità della nave in presenza di onde** anche ai grandi angoli e con valutazioni di tipo dinamico.
- I SGISc sono stati finalizzati all'IMO ma adesso deve iniziare una grande **campagna di applicazione** su base volontaria per verifica e validazioni.
- La struttura complessiva è articolata e propone una possibile **integrazione tra la fase di progetto e la fase operativa**. Questa è un'importante innovazione introdotta dalla normativa.