



COORDINAMENTO  
TECNICO  
INTERREGIONALE  
DELLA PREVENZIONE  
NEI LUOGHI DI LAVORO



Regione Toscana



# FORMAZIONE NAZIONALE GRUPPO PORTI E NAVI DEL COORDINAMENTO TECNICO INTERREGIONALE DELLA PREVENZIONE NEI LUOGHI DI LAVORO

(Prevenzione e vigilanza dei rischi nelle operazioni portuali, nella cantieristica navale e nel settore della pesca)

## I luoghi della sicurezza

# *LA STABILITÀ DELLA NAVE*

*Prof. Enzo Guasti*

# PREMESSA

La stabilità delle unità navali è la capacità, l'attitudine o la tendenza dell'unità a non capovolgersi e ritornare dritta qualora, per una causa qualsiasi, sia soggetta ad inclinazione.

Lo studio della stabilità di una nave è molto affascinante quanto complesso e consiste, in parole semplici, nello studio dell'effetto di una coppia di forze risultante, generalmente, dalla differenza fra una coppia raddrizzante ed una coppia capovolgente.

La coppia capovolgente è solitamente dovuta alla disposizione dei pesi di bordo, alla posizione del **centro di gravità** al quale si considera applicato il peso della nave (**dislocamento**).

La coppia raddrizzante è dovuta alla forma dello scafo ed in particolare alla posizione del **centro di carena** al quale si considera applicata la **spinta idrostatica**, per i vari angoli di sbandamento.

Se la forma dello scafo ha sempre effetto raddrizzante il peso della nave ha solitamente effetto capovolgente, ma può succedere raramente che abbia anch'esso effetto raddrizzante.

## I PUNTI PRINCIPALI DELLA STABILITÀ

I punti importanti dello scafo sono la **linea di base “Keel”** (oppure la **Linea di Costruzione**), il **Centro di Carena “Buoyancy”**, il **Centro di Gravità “Centre of Gravity”** ed il **Metacentro Trasversale “Trasversal Metacentre”**.

Il Keel è preso in considerazione come punto dal quale si contano le ordinate degli altri punti.

Al Buoyancy è applicata la spinta idrostatica o di Archimede.

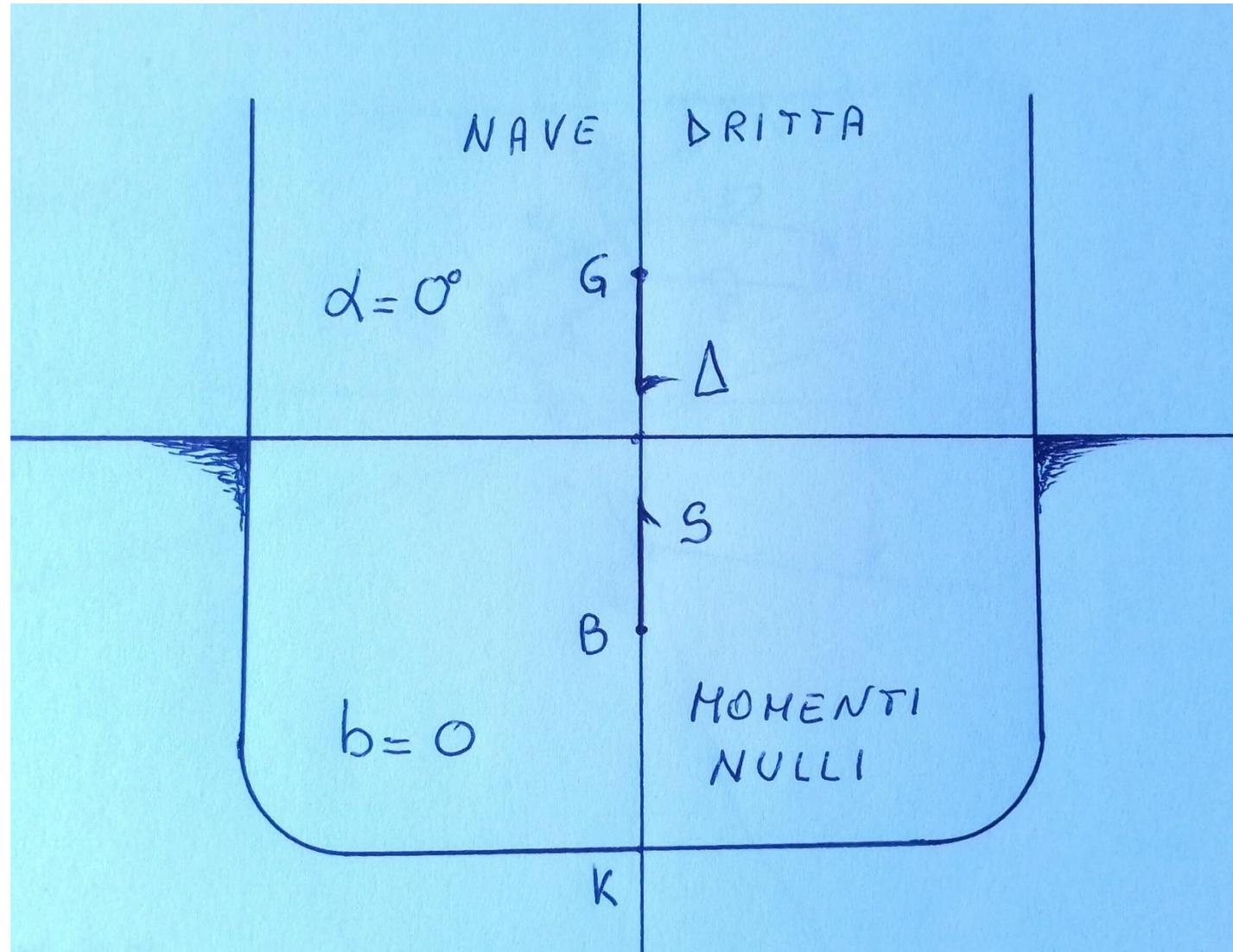
Il Centre of Gravity è il punto al quale si considera applicato il **Dislocamento (Displacement)**,

Il Metacentre è il punto di intersezione fra la retta passante per la spinta istantanea per angoli di inclinazione inferiori ai  $10^\circ - 12^\circ$  e il piano di simmetria.

Le varie considerazioni vengono fatte su di un piano trasversale sul quale, con buona approssimazione, si considerano appartenenti i quattro punti, che, a nave dritta, si trovano anche sul piano di simmetria.

Il Keel si considera sulla superficie superiore della chiglia, il Buoyancy è il baricentro (o centro di figura) della carena, il Centre of Gravity è il punto di applicazione del peso della nave ed il Metacentre è un punto che, per una data immersione e per piccoli angoli di sbandamento, rimane fisso.

# I PUNTI PRINCIPALI DELLA STABILITÀ



# LE DISTANZE PRINCIPALI DELLA STABILITÀ

Le distanze verticali dei tre punti principali  
al di sopra della chiglia sono:

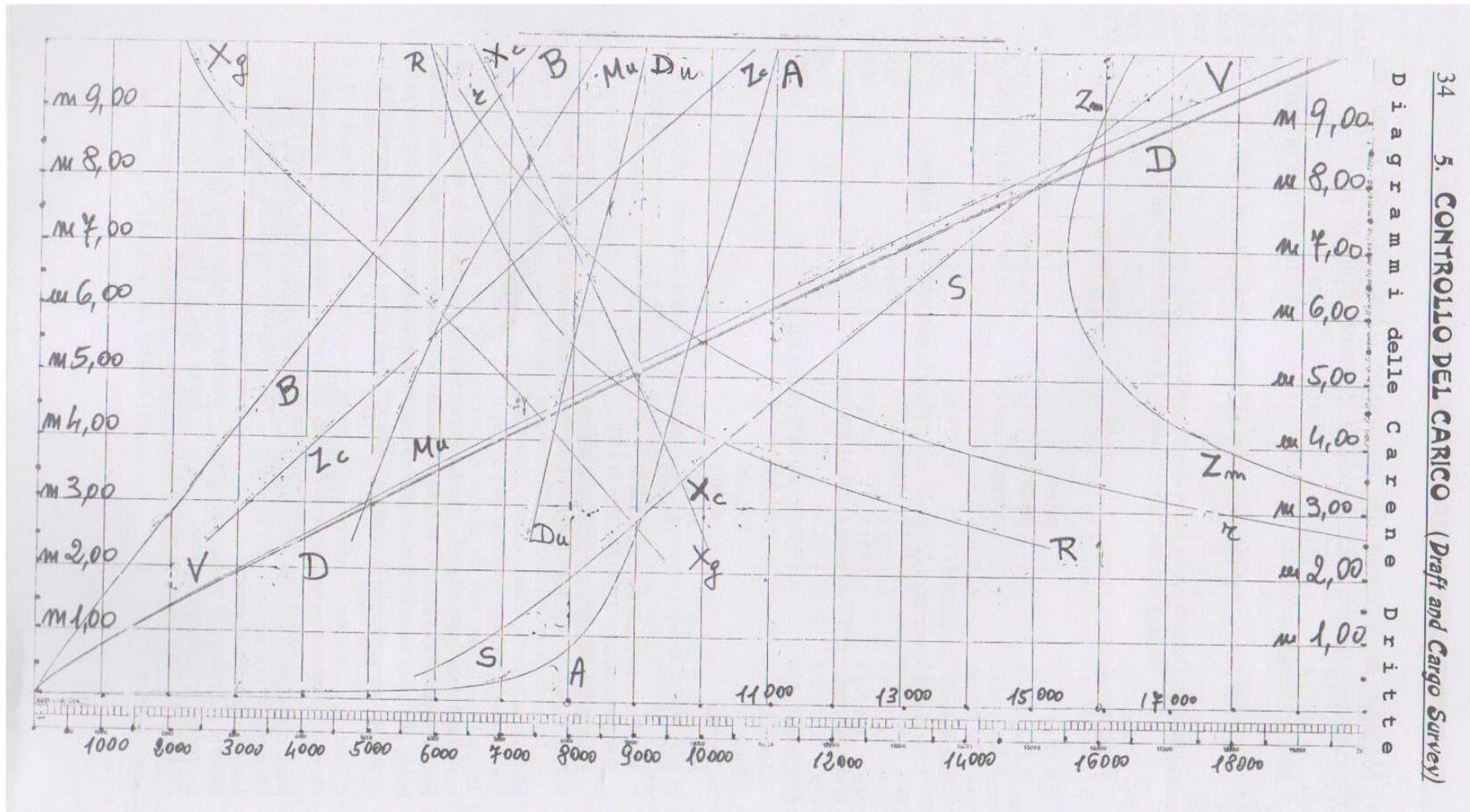
- **KB** o **VCB** (Vertical Centre of Buoyancy), ordinata del centro di carena (funzione dell'immersione),
- **KG**, ordinata del centro di gravità (funzione dei pesi di bordo),
- **KMT**, ordinata del metacentro trasversale (funzione dell'immersione).

# LE DISTANZE PRINCIPALI DELLA STABILITÀ

Diversa maniera per esprimere le medesime distanze verticali:

- “**a**” distanza fra il Centro di Carena e il Centro di Gravità (con qualche imprecisione chiamata Distanza Baricentrica) corrispondente a  $(KG - VCB)$ ,
- “**r**” distanza fra il Centro di Carena e il Metacentro Trasversale (Raggio Metacentrico Trasversale) corrispondente a  $(KMT - VCB)$ ,
- “**r - a**” distanza fra il Centro di Gravità e il Metacentro Trasversale (Altezza Metacentrica Trasversale) corrispondente a  $(KMT - KG)$ .

# CURVE IDROSTATICHE (Diagrammi delle Carene Dritte)



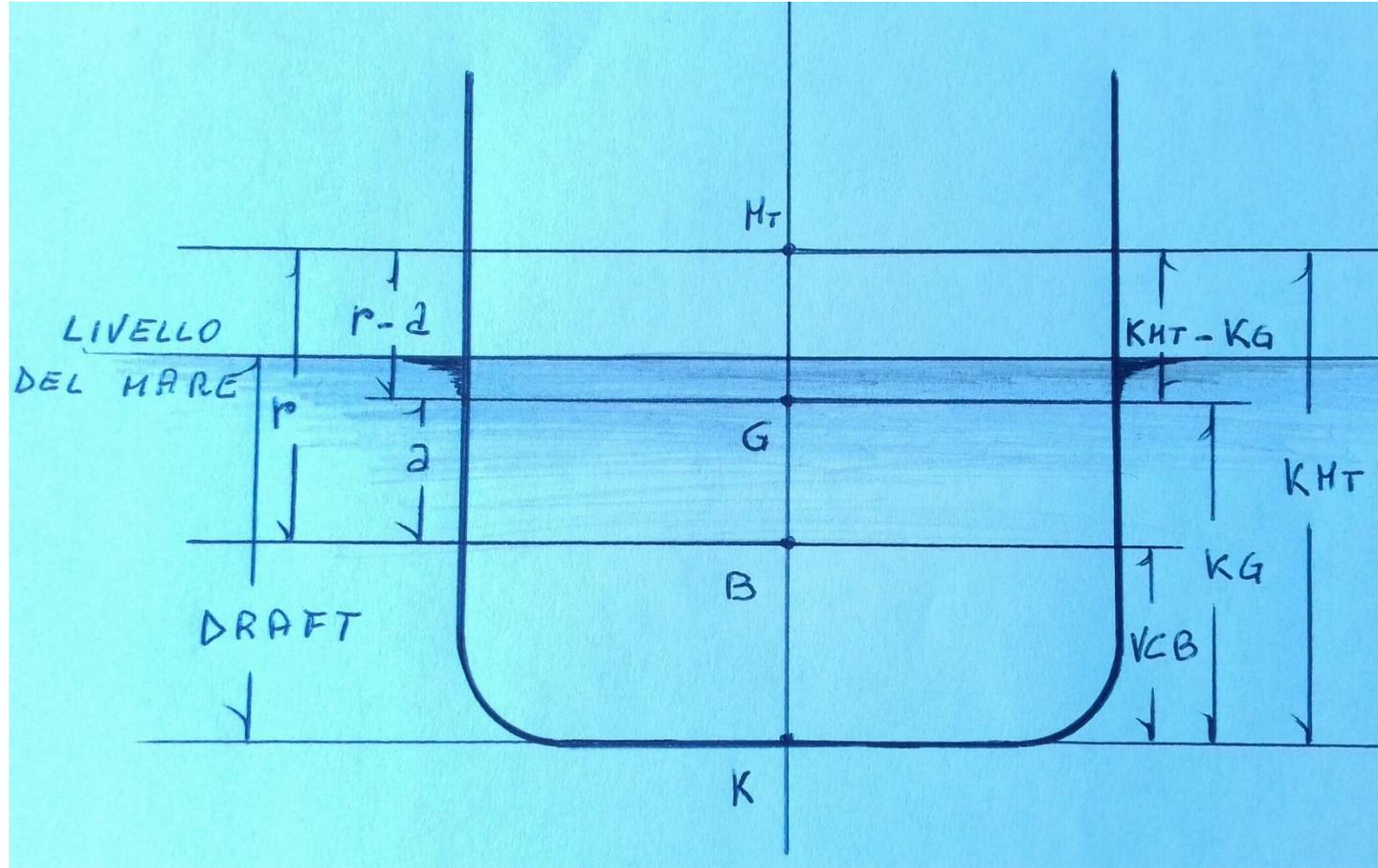
# CURVE IDROSTATICHE

## (Curve Idrostatiche Numeriche)

Draught B.K. (Metres)	Displacement (Metric Tonnes) <i>peso dello scafo</i>	T.P.C. (Tonnes per Cm.) <i>sulla scheda</i>	M.C.T.C. (Moment to change Trim one cm)	L.C.B. F.W.D. of A.P. (metres)	L.C.F. from Amidships (metres)	V.C.B. Above Base (metres) <i>K.B.</i>	K. M. (T) Transverse Metacentre A.B. (Metres)	K. M. (L) Longl. Metacentre A.B. (Metres)
2.80	5063	20.72	145.2	72.946	F 1.537	1.496	12.152	415.4
3.00	5478	20.90	148.0	72.958	F 1.551	1.604	11.674	391.3
3.20	5897	21.09	150.7	72.970	F 1.565	1.712	11.234	369.2
3.40	6320	21.24	153.2	72.981	F 1.565	1.822	10.834	349.5
3.60	6746	21.38	155.2	72.992	F 1.565	1.930	10.478	332.5
3.80	7174	21.50	157.1	73.000	F 1.565	2.038	10.154	317.0
4.00	7605	21.62	158.9	73.010	F 1.551	2.146	9.864	303.3
4.20	8038	21.72	160.7	73.014	F 1.523	2.256	9.610	290.1
4.40	8473	21.82	162.4	73.017	F 1.480	2.366	9.386	278.4
4.60	8910	21.91	163.8	73.019	F 1.437	2.472	9.196	267.5
4.80	9348	21.99	165.4	73.018	F 1.394	2.576	9.032	257.3
5.00	9788	22.08	166.8	73.016	F 1.337	2.684	8.890	247.7
5.20	10230	22.16	168.2	73.013	F 1.266	2.768	8.770	238.8
5.40	10674	22.24	169.6	73.005	F 1.181	2.892	8.664	230.9
5.60	11120	22.32	171.0	72.992	F 1.095	2.998	8.578	223.3
5.80	11569	22.39	172.4	72.979	F 1.010	3.102	8.502	216.4
6.00	12019	22.47	174.0	72.962	F 0.896	3.204	8.438	210.6
6.20	12472	22.56	175.7	72.941	F 0.755	3.308	8.384	205.0
6.40	12927	22.66	177.5	72.916	F 0.596	3.412	8.340	200.0
6.60	13383	22.75	179.3	72.889	F 0.425	3.516	8.304	195.8
6.80	13840	22.85	181.4	72.858	F 0.226	3.620	8.280	191.6
7.00	14299	22.95	183.8	72.821	A 0.026	3.724	8.258	188.0
7.20	14761	23.07	186.4	72.781	A 0.187	3.828	8.244	184.7
7.40	15226	23.19	189.0	72.737	A 0.387	3.934	8.238	181.7
7.60	15693	23.29	191.8	72.690	A 0.601	4.040	8.238	178.9
7.80	16161	23.41	194.6	72.641	A 0.800	4.144	8.240	176.6
8.00	16635	23.54	197.4	72.588	A 0.985	4.252	8.250	174.1
8.20	17116	23.66	200.2	72.532	A 1.171	4.356	8.270	172.0
8.40	17598	23.78	203.1	72.473	A 1.342	4.460	8.292	170.2
8.60	18081	23.90	206.0	72.413	A 1.513	4.566	8.318	168.2
8.80	18565	24.02	209.0	72.351	A 1.669	4.674	8.352	166.3
9.00	19051	24.14	211.8	72.288	A 1.812	4.782	8.388	164.6
9.20	19537	24.26	214.5	72.223	A 1.969	4.892	8.428	162.9
9.40	20024	24.36	217.4	72.159	A 2.097	5.000	8.468	161.1
9.60	20514	24.46	220.0	72.093	A 2.225	5.108	8.514	159.2
9.80	21006	24.57	222.6	72.027	A 2.339	5.216	8.562	157.4
10.00	21498	24.69	225.0	71.962	A 2.453	5.324	8.618	155.8

Note: The hydrostatic curves given above have been developed with the vessel floating on water lines which are level to the keel.

# LE DISTANZE PRINCIPALI DELLA STABILITÀ



# EQUILIBRIO DELLA NAVE

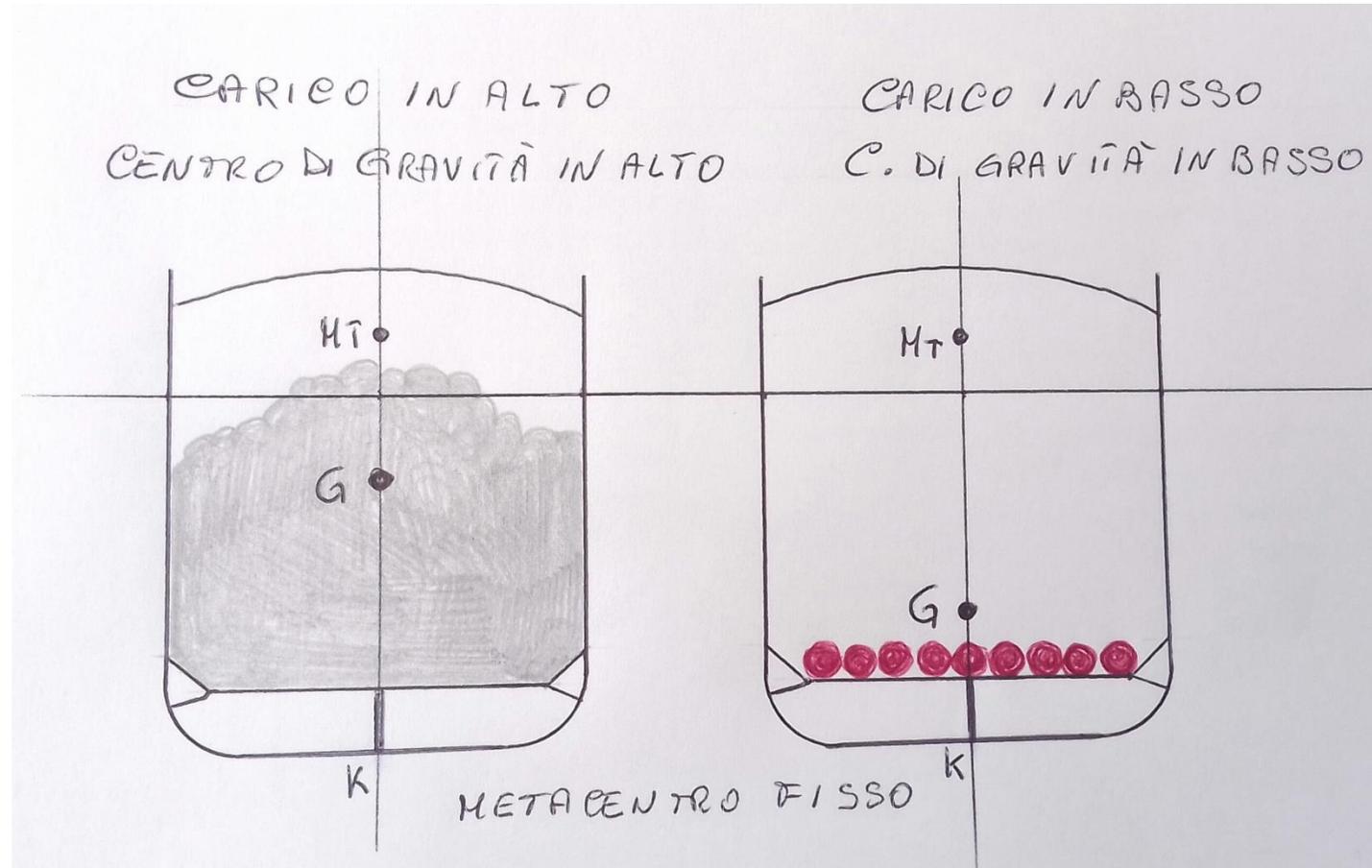
Una unità navale è in equilibrio quando è ferma, quando non esistono coppie di forza oppure quando le coppie di forza che agiscono in un senso o nell'altro sono di uguale entità ed il corpo non ruota.

Quando vediamo uno scafo che non ruota possiamo affermare che esso **“è in equilibrio”**.

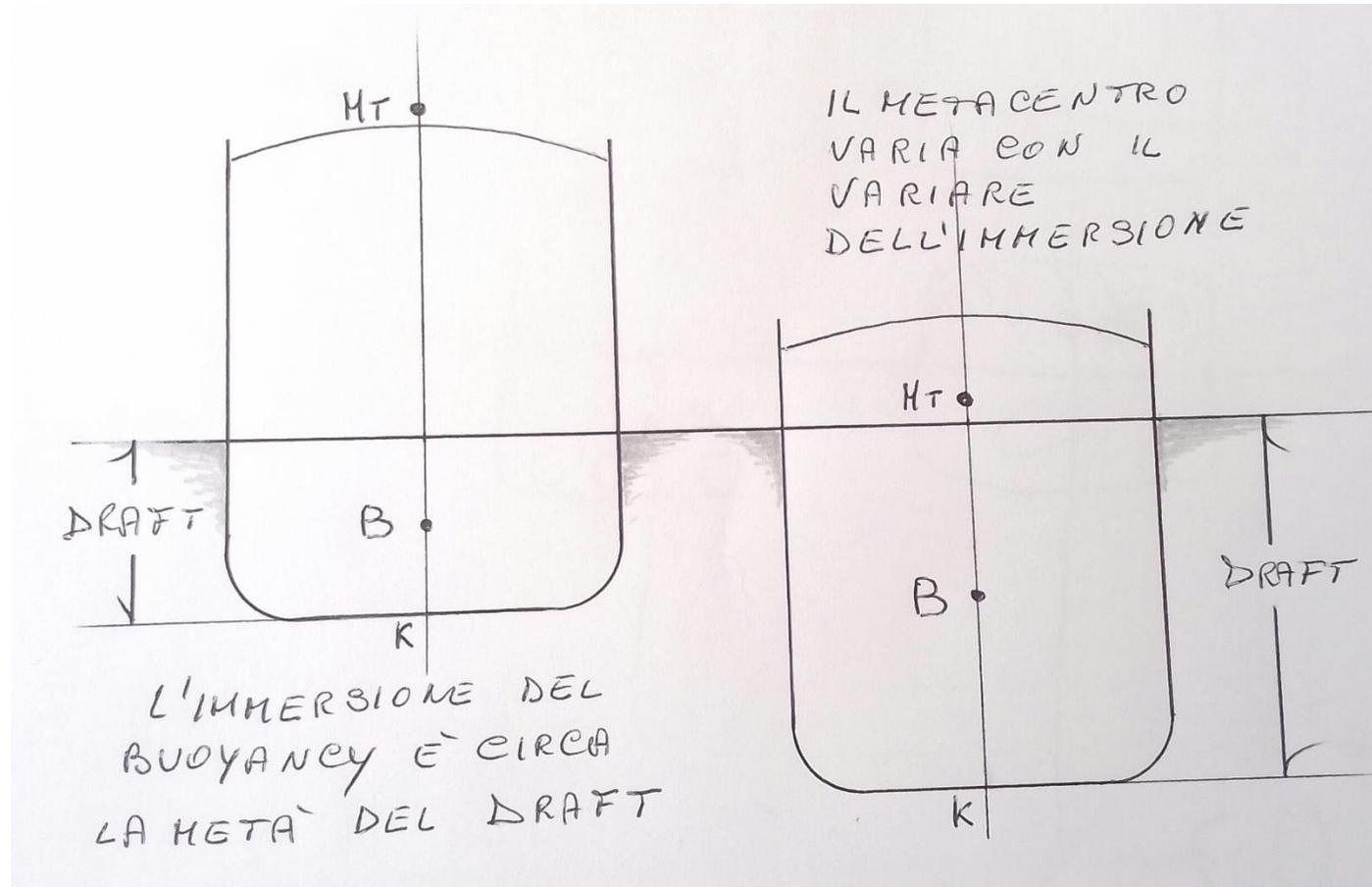
## CENTRO DI CARENA – CENTRO DI GRAVITÀ – METACENTRO TRASVERSALE

Il Buoyancy si trova a circa metà immersione perché la carena è pressoché a forma di parallelepipedo, la posizione del Centre of Gravity dipende dalla disposizione dei pesi a bordo ed è sempre diversa a seconda delle condizioni del momento, il Metacentre è tanto più in alto quanto più è largo lo scafo. A nave dritta tutti i punti principali si trovano sulla stessa verticale, ed anche il dislocamento e la spinta di Archimede si trovano lungo la stessa verticale quindi non esiste coppia di forze, o meglio la coppia di forze formata dal dislocamento e dalla spinta ha momento nullo perché nullo è il braccio.

# LA POSIZIONE DEL CENTRO DI GRAVITÀ

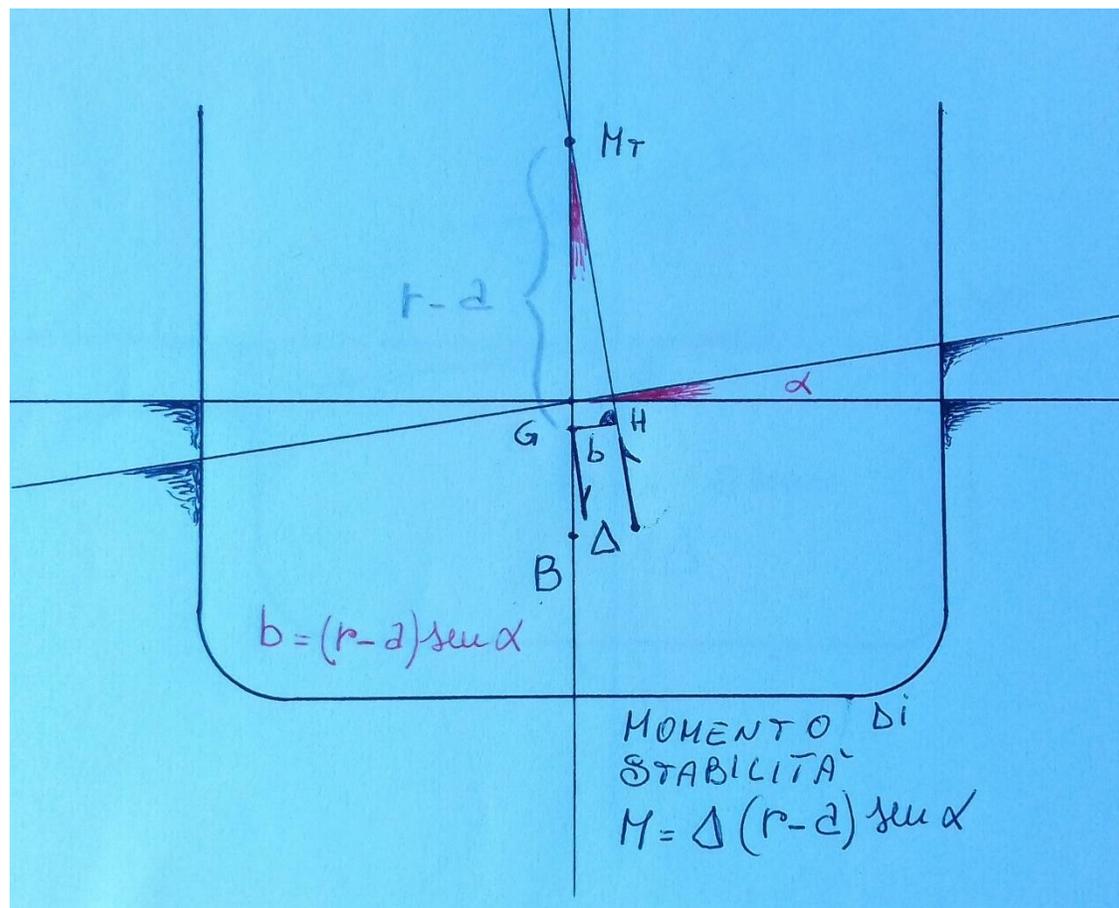


# LA POSIZIONE DEL CENTRO DI CARENA E DEL METACENTRO TRASVERSALE



## MOMENTO DI STABILITÀ

Il momento di stabilità è dato allora dalla somma algebrica fra due momenti, quello dovuto alla spinta di Archimede sempre raddrizzante e quello dovuto al dislocamento, di solito capovolgente e talvolta anch'esso raddrizzante.



# COPPIA DI FORMA

La **coppia di forma** è una coppia di forze che genera rotazione attorno all'asse longitudinale e tende sempre a raddrizzare la nave inclinata.

È generata dalla spinta di Archimede applicato al centro di carena.

Man mano che la nave si inclina il centro di carena istantaneo si sposta verso il lato che scende, verso il lato ove la carena aumenta di volume, tanto più quanto maggiore è la larghezza dello scafo.

Maggiore è la larghezza dello scafo più grande è il braccio della coppia raddrizzante.

La coppia di forma e la coppia di peso sono quasi sempre in contrasto e, fino ad una inclinazione di 60 – 70 gradi, vince la coppia di forma, poi si uguagliano. Per sbandamento superiore vince la coppia di peso e la nave si capovolge.

Per le unità a vela può succedere invece che siano sempre concordi e positive.

# COPPIA DI PESO

La **coppia di peso** è una coppia di forze che genera rotazione attorno all'asse longitudinale, che di solito tende ad inclinare la nave e, raramente, cerca di raddrizzarla. È generata dal peso della nave (dislocamento) applicato al centro di gravità.

Di solito il centro di gravità si trova al di sopra del centro di carena e, quando la nave si inclina, il dislocamento genera tendenza al capovolgimento.

Sulle barche a vela con il bulbo può succedere che il centro di gravità cada al di sotto del centro di carena e nel momento in cui la nave sbanda il dislocamento genera tendenza al raddrizzamento.

# COPPIA DI PESO POSITIVA

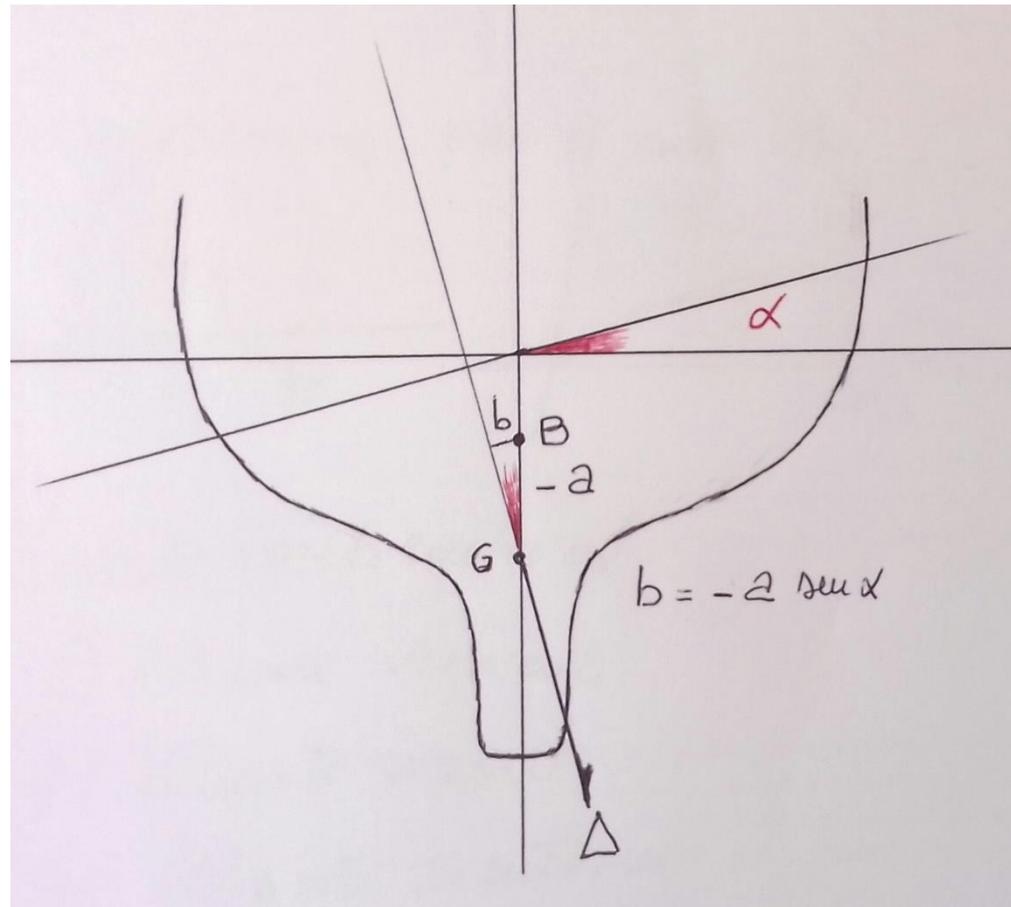
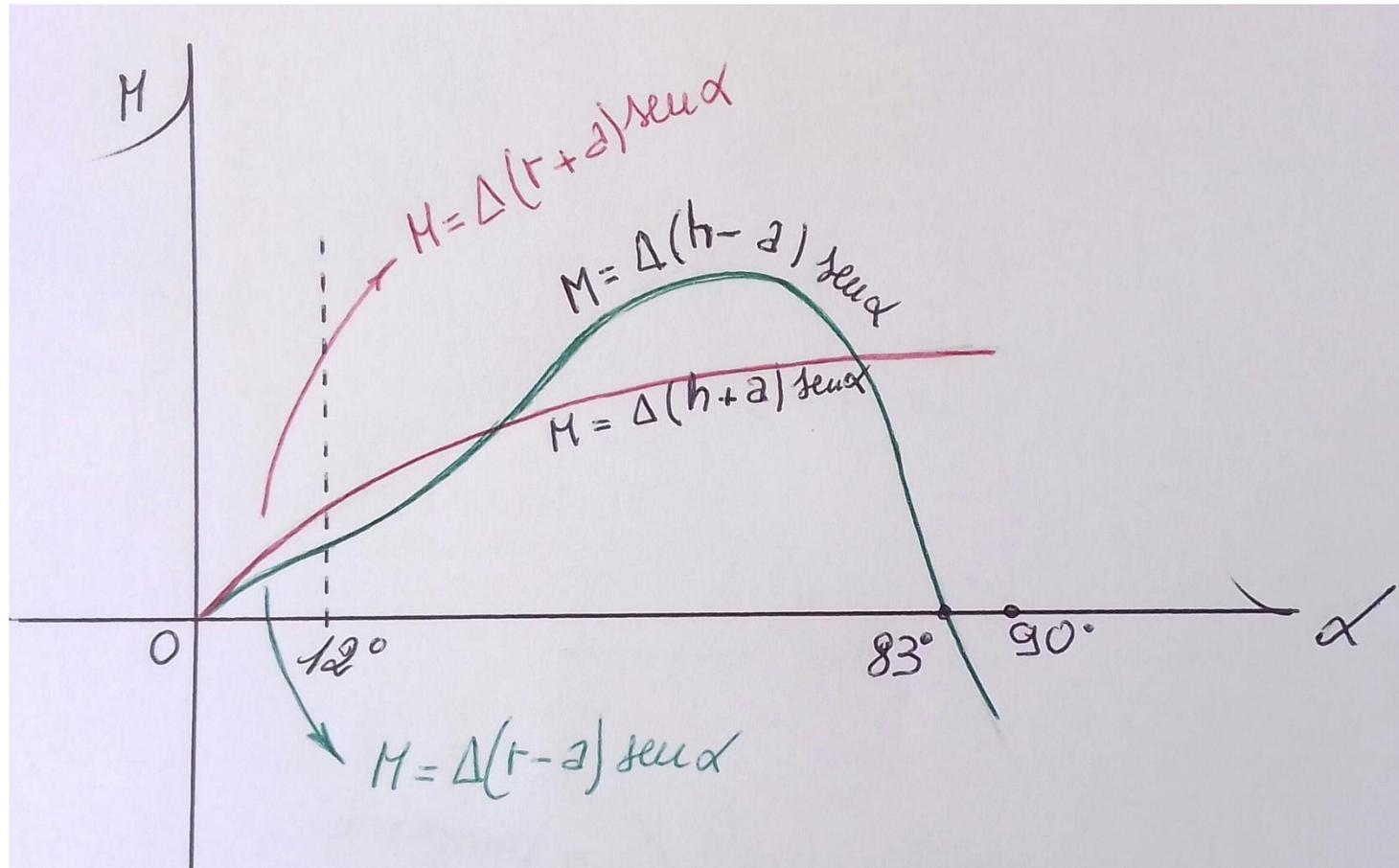


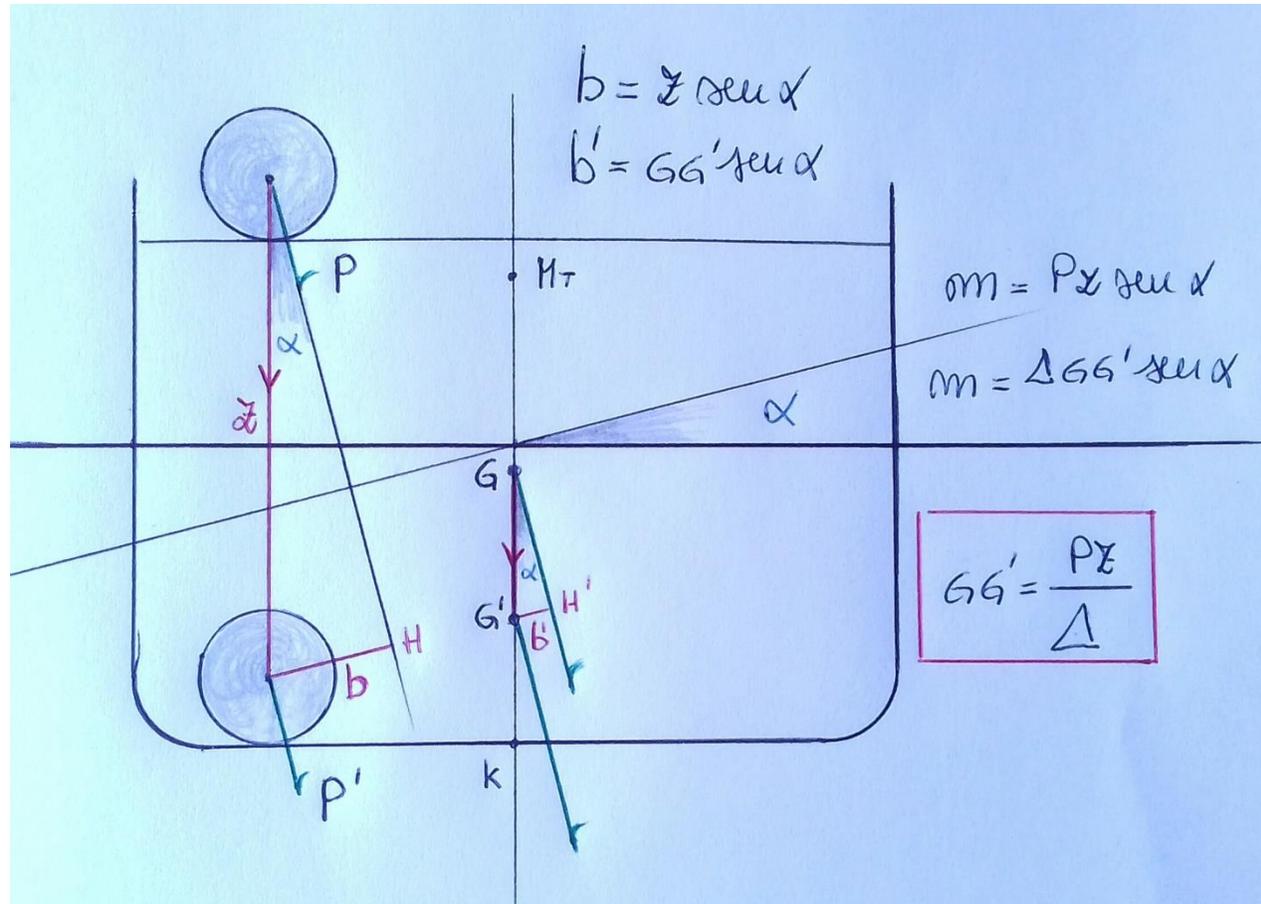
DIAGRAMMA VERDE: scafo tradizionale dislocante

DIAGRAMMA ROSSO: scafo con centro di gravità al di sotto del centro di carena



# SPOSTAMENTO VERTICALE DI UN PESO

(A SEGUITO DI UNO SPOSTAMENTO VERTICALE DI UN PESO IL CENTRO DI GRAVITÀ SI SPOSTA NELLA STESSA DIREZIONE DI UNA QUANTITÀ PROPORZIONALE ALL'ENTITÀ DEL PESO E ALLA DISTANZA DI SPOSTAMENTO ED INVERSAMENTE PROPORZIONALE AL DISLOCAMENTO)



## SPOSTAMENTO VERTICALE DI UN PESO

Lo spostamento verticale di un peso comporta uno

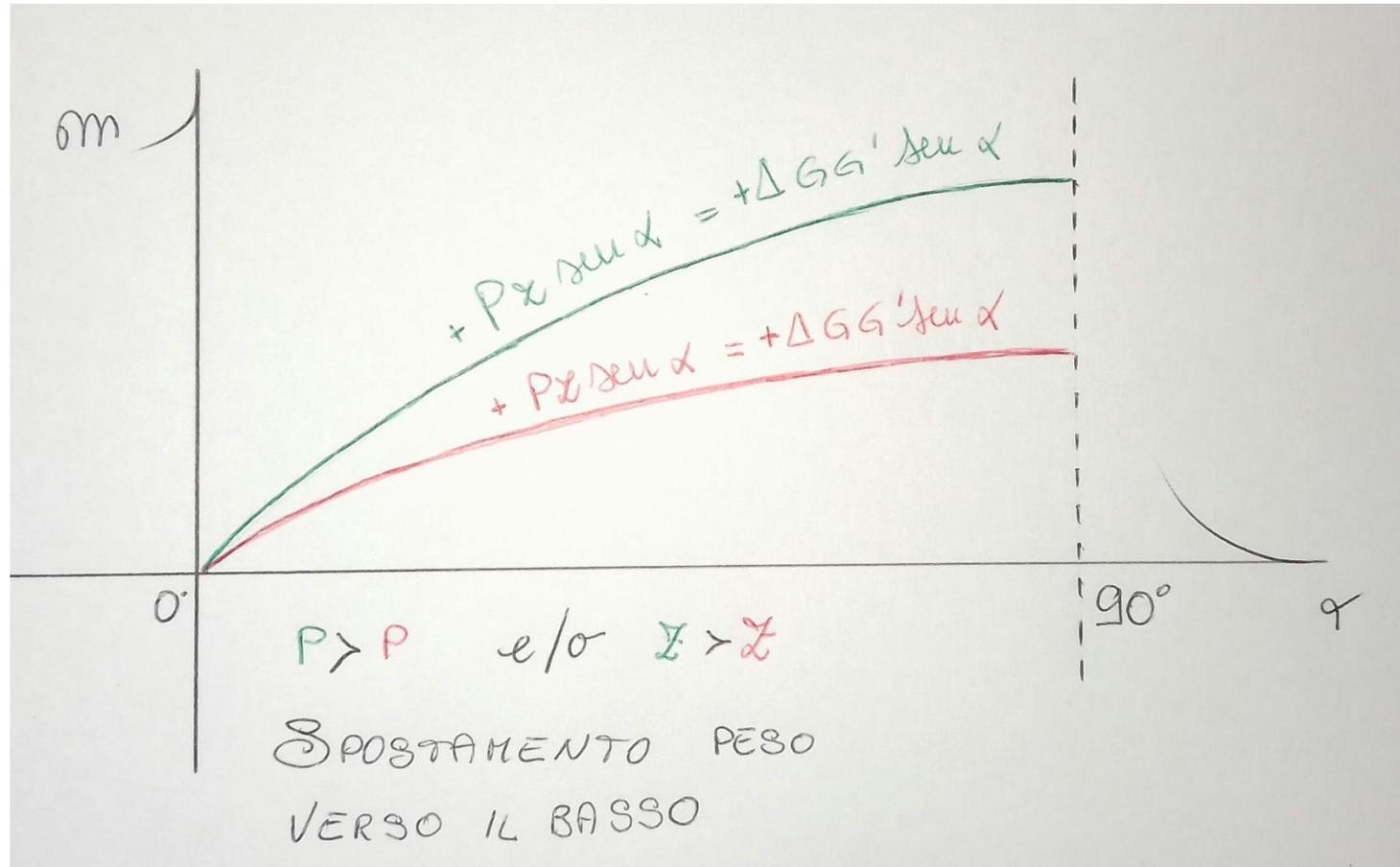
**spostamento verticale del centro di gravità (G)** tanto maggiore quanto maggiore è l'entità del peso spostato, tanto maggiore quanto maggiore è la distanza di spostamento e tanto minore quanto maggiore è il dislocamento.

**Ne consegue che:**

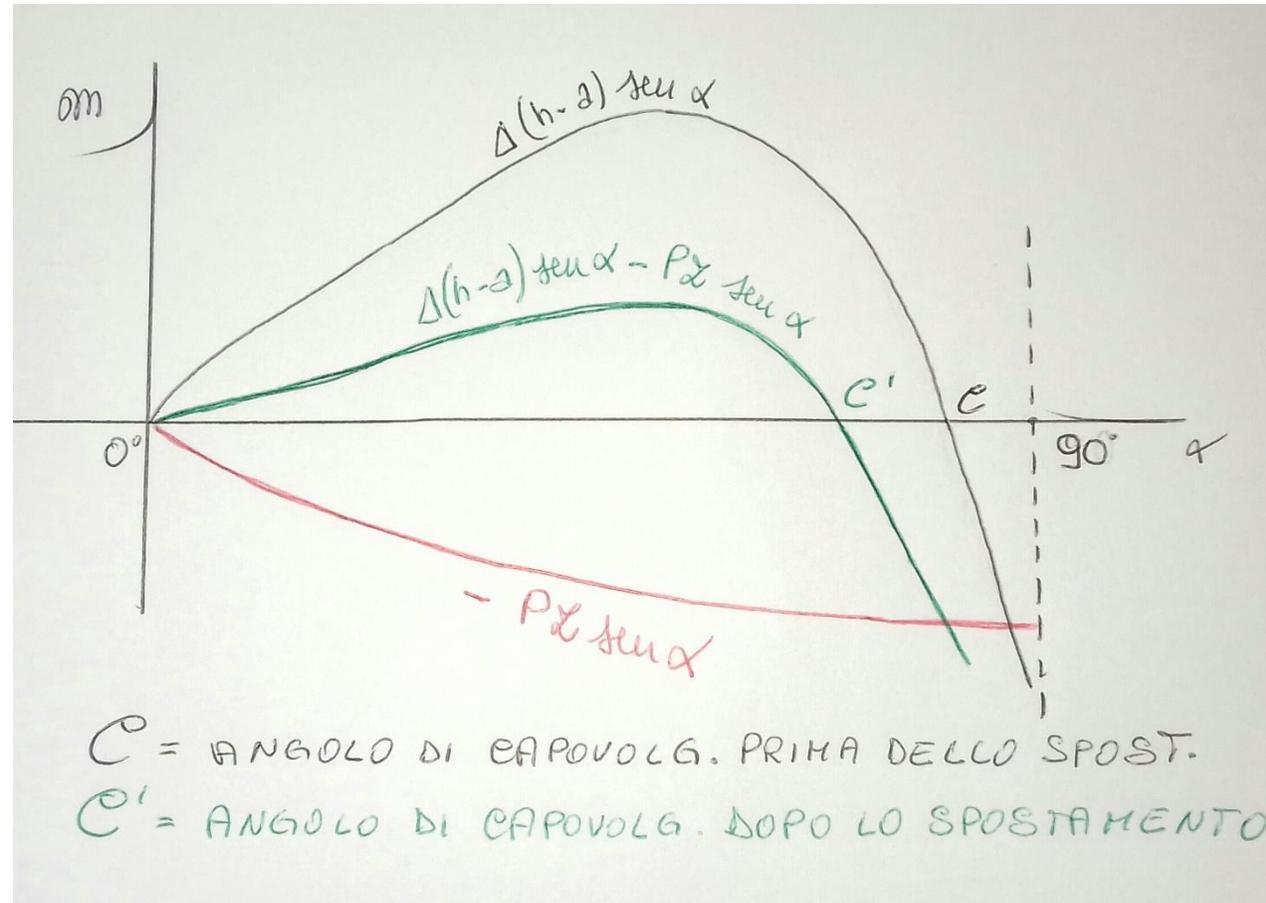
- ✓ il centro di gravità si avvicina al metacentro, per spostamento verso l'alto, con diminuzione dell'altezza metacentrica e della stabilità,
- ✓ il centro di gravità si allontana dal metacentro, per spostamento verso il basso, con aumento dell'altezza metacentrica e della stabilità.

Lo spostamento verticale non provoca sbandamento della nave, se non qualora, per spostamenti verso l'alto, il centro di gravità va a coincidere con il metacentro, quando cioè, per angoli di inclinazione inferiori a 12 gradi, il momento si annulla e l'equilibrio diventa indifferente.

# SPOSTAMENTO UN PESO VERSO IL BASSO



# SPOSTAMENTO UN PESO VERSO L'ALTO



## SPOSTAMENTO UN PESO VERSO L'ALTO

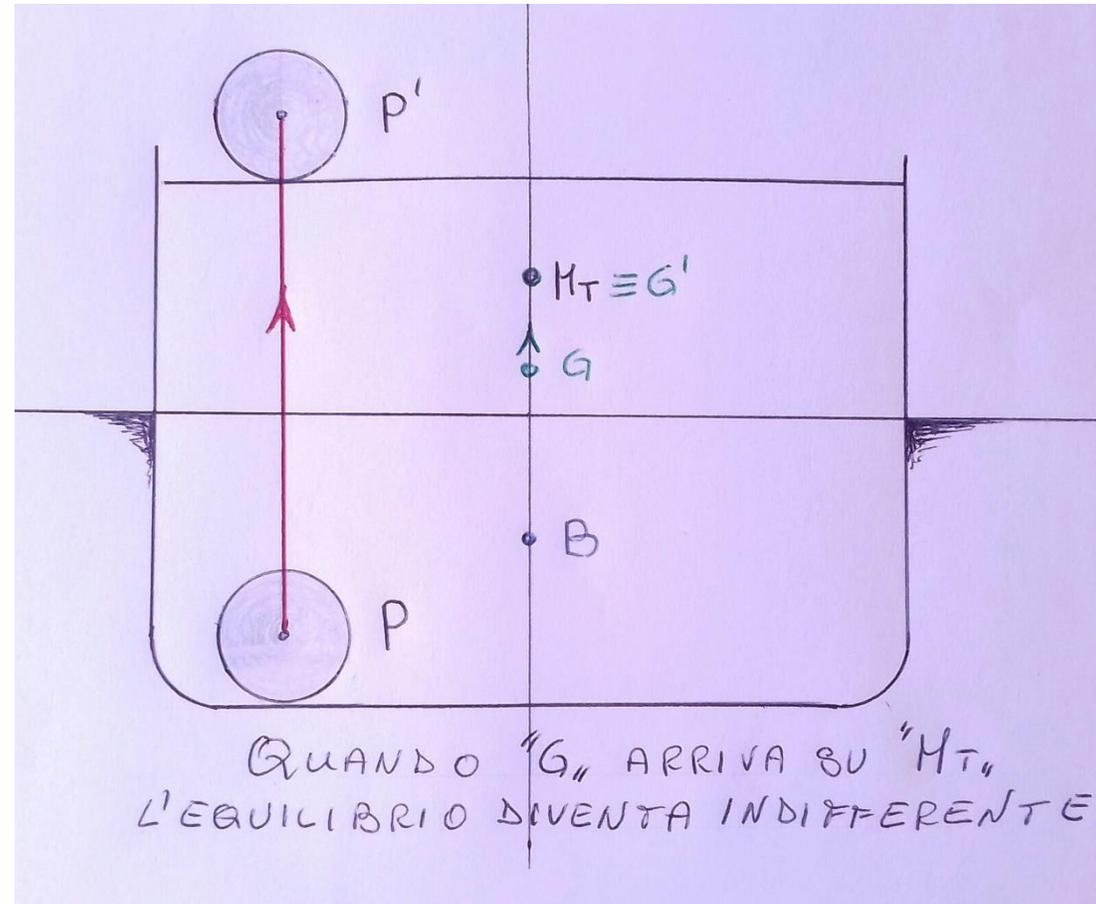
(Il centro di gravità raggiunge il metacentro)

Continuando a spostare un peso verso l'alto può succedere che il centro di gravità vada a sovrapporsi al metacentro, l'equilibrio diventa inizialmente indifferente e la nave non avrà stimolo al raddrizzamento in un lasso compreso fra  $10^\circ - 12^\circ$  a sinistra e  $10^\circ - 12^\circ$  a dritta.

Per una inclinazione maggiore "r" diventa "h", interviene il falso metacentro e viene a crearsi equilibrio positivo.

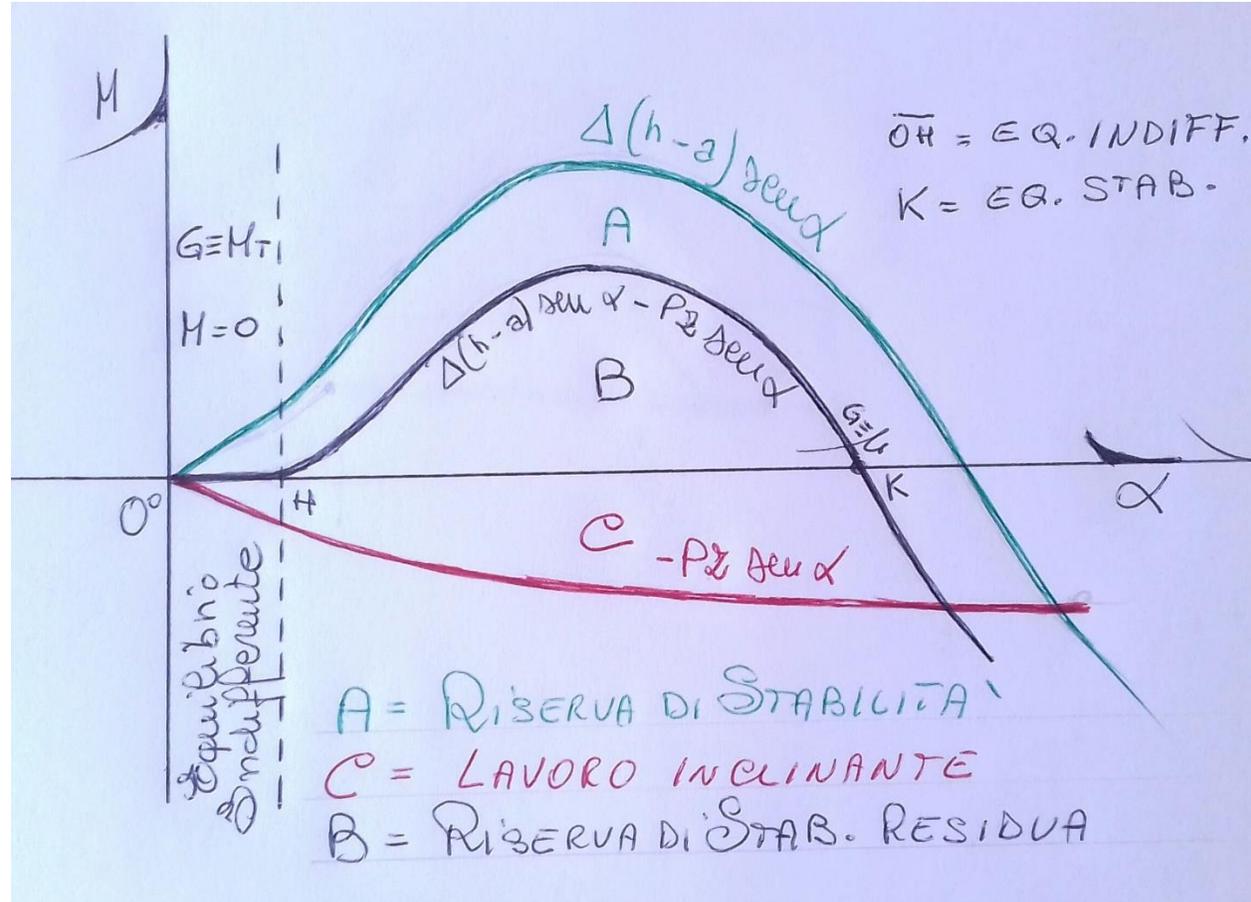
# SPOSTAMENTO UN PESO VERSO L'ALTO

(Il centro di gravità raggiunge il metacentro)



# SPOSTAMENTO UN PESO VERSO L'ALTO

(Il centro di gravità raggiunge il metacentro)



# SPOSTAMENTO UN PESO VERSO L'ALTO

(Il centro di gravità raggiunge il metacentro)

Nell'istante in cui il centro di gravità raggiunge il metacentro ed il momento di stabilità si annulla e la nave rimane in equilibrio indifferente succede che per tutte le inclinazioni fra  $10^\circ - 12^\circ$  a sinistra e  $10^\circ - 12^\circ$  a dritta la nave naviga sbandata senza tendenza né a raddrizzarsi né a capovolgersi.

In condizioni normali di navigazione, e se siamo a conoscenza degli elementi delle curve idrostatiche e della posizione istantanea del centro di gravità, risulta possibile calcolare il peso «P» da spostare verticalmente verso l'alto per una determinata distanza «z», oppure calcolare la distanza di spostamento «z» verticale verso l'alto di un peso noto «P», per raggiungere la condizione di equilibrio indifferente.

$$P = \Delta (r - a) / z$$

$$z = \Delta (r - a) / P$$

## SPOSTAMENTO TRASVERSALE DI UN PESO

Lo spostamento trasversale di un peso comporta uno **spostamento trasversale del centro di gravità (G)**

tanto maggiore quanto maggiore è l'entità del peso spostato, tanto maggiore quanto maggiore è la distanza di spostamento e tanto minore quanto maggiore è il dislocamento.

Lo spostamento trasversale di un peso comporta inoltre un inevitabile sbandamento proporzionale al peso spostato ed alla distanza di spostamento ed inversamente proporzionale al dislocamento ed all'altezza metacentrica trasversale.

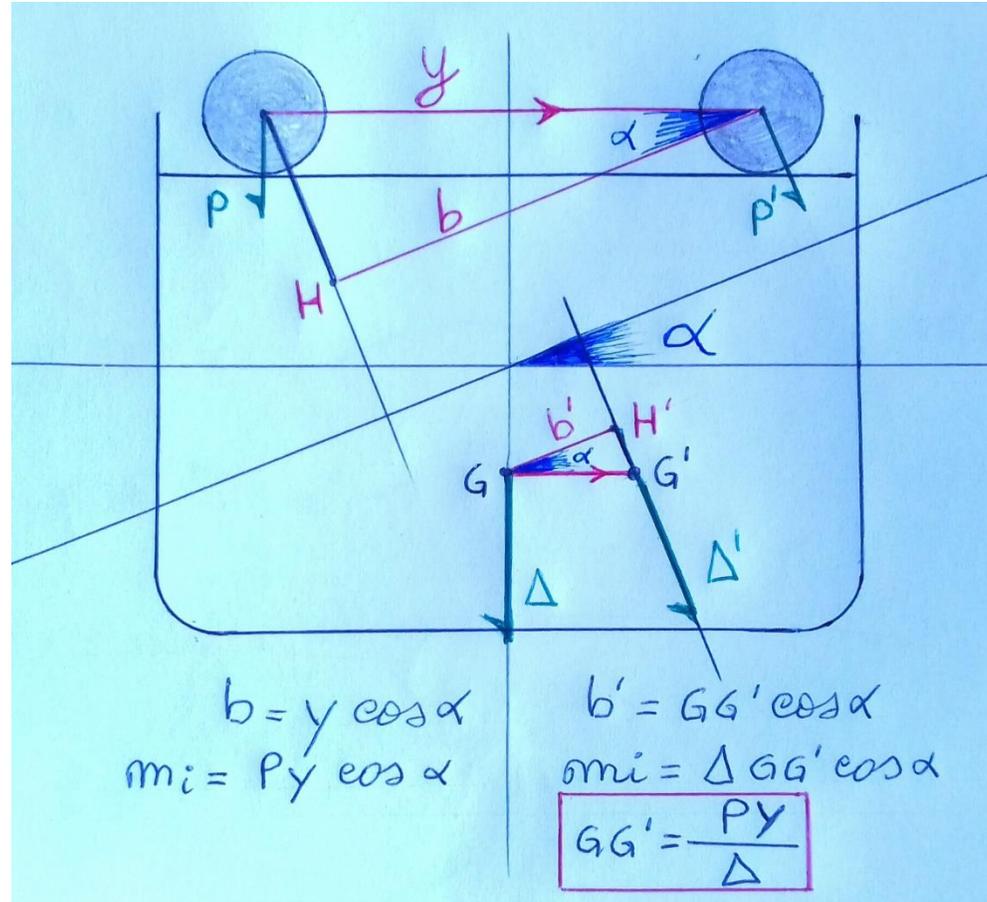
$$\mathbf{tg\alpha = py / \Delta (r - a)} \text{ e per } \alpha > 12^\circ \mathbf{tg\alpha = py / \Delta (h - a)}$$

«h» risulta di difficile determinazione

Lo sbandamento può essere annullato con uno spostamento trasversale opposto e si può diminuire, ma non annullare, con spostamento verticale finalizzato allo spostamento verso il basso del centro di gravità.

## SPOSTAMENTO TRASVERSALE DI UN PESO

(A SEGUITO DI UNO SPOSTAMENTO TRASVERSALE DI UN PESO IL CENTRO DI GRAVITÀ SI SPOSTA NELLA STESSA DIREZIONE DI UNA QUANTITÀ PROPORZIONALE ALL'ENTITÀ DEL PESO E ALLA DISTANZA DI SPOSTAMENTO ED INVERSAMENTE PROPORZIONALE AL DISLOCAMENTO)



# SPOSTAMENTO TRASVERSALE DI UN PESO

Nel caso in cui lo spostamento trasversale comporti una inclinazione inferiore a 12 gradi la curva risultante di interesse è data dalla somma fra una senoide positiva ed una cosenoide negativa e nella relazione atta al calcolo dell'angolo di sbandamento interviene il raggio metacentrico trasversale "r".

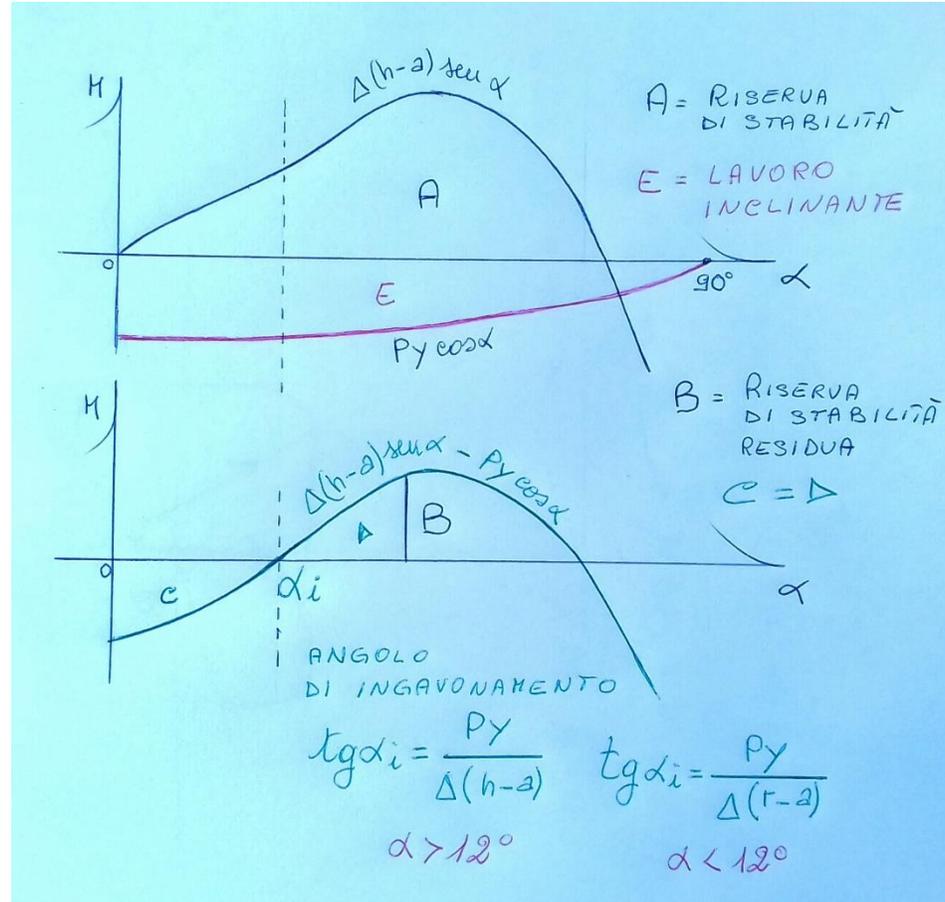
$$\mathbf{tg\alpha = py / \Delta (r - a)}$$

Nel caso in cui lo spostamento trasversale comporti una inclinazione superiore a 12 gradi la curva risultante di interesse è data dalla somma fra la curva del momento di stabilità non più senoide positiva e la medesima cosenoide negativa. Nella relazione atta al calcolo dell'angolo di sbandamento interviene la distanza fra il centro di carena e il falso metacentro "h".

$$\mathbf{tg\alpha = py / \Delta (h - a)}$$

«h» di più difficile determinazione.

# SPOSTAMENTO TRASVERSALE DI UN PESO



## EVOLUTA METACENTRICA

Per conoscere la posizione di “h” bisogna conoscere la posizione dei falsi metacentri per ogni inclinazione superiore a 12 gradi e per ogni immersione. Sarebbe necessario cioè conoscere per ogni inclinazione e per ogni immersione la curva dei centri isocarenici di carena ed i punti in cui le rette passanti per ogni spinta vanno ad intersecare il piano di simmetria (falsi metacentri).

Diventa anche curioso conoscere la forma delle evolute metacentriche per le varie immersioni.

***FINE***

**Grazie per la cortese  
attenzione !**