

La Prova di Stabilità

1. Scopo della prova

La prova di stabilità rappresenta un momento importante nel processo di progettazione e costruzione della nave; il suo risultato permette infatti di verificare aspetti essenziali concernenti gli obblighi contrattuali, le richieste dei regolamenti, le ipotesi di progetto.

Scopo della prova è quello di determinare i seguenti elementi:

- LTW: peso nave vuota con liquidi in circolazione
- Xg: posizione longitudinale, dalla PP_{ad}, del baricentro di LTW
- Yg: posizione trasversale, dal piano diametrale, del baricentro di LTW
- Zg: posizione verticale, dalla linea di costruzione, del baricentro di LTW.

La conoscenza del peso della nave vuota e del relativo baricentro permette di eseguire le verifiche brevemente descritte nei tre paragrafi seguenti.

Data l'estrema importanza di dette verifiche sia dal punto di vista dell'adempimento alle richieste del contratto e dei regolamenti nonché della conoscenza di dati tecnici essenziali al continuo miglioramento del processo di progettazione, la prova di stabilità deve essere condotta nel modo più scrupoloso possibile. La prova, quando condotta con le dovute attenzioni, garantisce un risultato tecnico affidabile da inserire nel patrimonio culturale aziendale nonché un lineare processo di approvazione della prova stessa da parte dei registri.

1.1. Verifica della portata

La portata lorda contrattuale (DWT) è definita come segue:

$$DWT = D_c - LTW$$

dove "D_c" è il dislocamento all'immersione contrattuale in acqua di mare con densità 1.025 t/m³ e "LTW" il peso della nave vuota.

Il fatto che la portata sia un dato contrattuale implica conseguenze economiche nel caso essa si discosti da quanto stabilito.

Solitamente ogni contratto prevede una franchigia, cioè una diminuzione di portata (conseguente ad un incremento di LTW rispetto a quanto previsto in sede di progetto) per la quale non sono previste penalità. Nel caso la diminuzione di portata sia superiore alla franchigia il cantiere è obbligato a compensare economicamente l'armatore secondo quanto stabilito in contratto; è comunque fissato un limite alla diminuzione di portata oltre il quale l'armatore può rescindere il contratto (rifiuto nave).

Nel caso opposto in cui si presenti invece un eccesso di portata alcuni contratti prevedono un compenso a favore del cantiere.

1.2. Verifica delle condizioni di carico (assetto e stabilità)

Le molteplici condizioni di carico in cui una nave navigherà nel corso della sua vita sono legate al profilo operativo il quale è determinato dal impiego commerciale previsto dal cliente. Esse vengono definite dall'armatore in sede contrattuale e costituiscono un elemento essenziale per l'impostazione del progetto soprattutto per quanto riguarda gli aspetti di architettura navale (carena, assetto, stabilità) e robustezza dello scafo. In aggiunta a queste condizioni il progettista deve anche considerare le condizioni di carico richieste dai registri di classifica.

Tutte le condizioni previste vanno riportate nel documento "Istruzioni al Comandante", approvato dal registro.

I parametri che caratterizzano ogni condizione devono soddisfare a specifici requisiti dettati dalle condizioni contrattuali e dai regolamenti. L'immersione, l'assetto e la stabilità sono certamente i parametri più importanti e sono strettamente correlati al risultato della prova di stabilità.

- Immersione ed assetto: la specifica contrattuale prescrive, almeno per i casi operativi più frequenti, limiti di immersione ed assetto in relazione a problemi di entrata in alcuni porti. Inoltre, aspetti di natura idrodinamica (velocità, consumi, carichi dinamici a prora e sulla volta di poppa, vibrazioni e rumore) possono a loro volta imporre alcuni vincoli. Poiché il calcolo l'immersione e l'assetto dipendono in larga parte dal peso della nave vuota e dalla posizione longitudinale del suo baricentro, risulta chiaro che l'accuratezza nell'eseguire la prova di stabilità è essenziale per verificare con la dovuta certezza i vincoli contrattuali e/o tecnici
- Stabilità: la stabilità della nave è la capacità di contrastare un effetto tendente ad inclinare la nave (spostamento di pesi, forze generate dal vento o dal mare, ecc.) con un momento raddrizzante. Quest'ultimo è dato dalla seguente relazione (fig.1)

$$M = D * GZ$$

dove il braccio di stabilità GZ , funzione dell'angolo di sbandamento, è la distanza del baricentro dalla linea verticale lungo la quale agisce la spinta. Tanto più basso è il baricentro tanto maggiore è GZ e quindi tanto più stabile è la nave.

Per piccoli angoli, non superiori a 4° - 5° , il momento raddrizzante può essere espresso dalla seguente relazione (fig.2)

$$M = D * GM * \sin\alpha$$

dove GM , detta altezza metacentrica, dipende dall'altezza del baricentro KG e dalla posizione verticale del metacentro KM , facilmente derivabile dalle curve idrostatiche della carena.

L'altezza metacentrica GM è considerata come il principale indice di stabilità di una nave e per essa i regolamenti di sicurezza (SOLAS ed eventuali regolamenti nazionali) prescrivono dei valori minimi per ogni condizione di carico prevista dal profilo operativo.

Detti valori minimi, calcolati in base alla geometria della nave (carena e compartimentazione), devono essere tali da soddisfare i criteri dettati dai regolamenti e mirati a garantire la sicurezza della nave sia allo stato integro che in caso di falla. Essi devono essere approvati dal registro e riportati sulle "Istruzioni al Comandante" nonché nel "Loading Computer".

Alternativamente a GM si può utilizzare come indice di stabilità l'altezza del baricentro KG, essendo esso legato a GM dalla semplice relazione

$$KG = KM - GM$$

In questo caso il valore di KG non può superare un valore limite massimo facilmente derivabile da quello minimo di GM.

L'esempio rappresentato in fig. 3 riporta le condizioni di carico previste per una nave da crociera, ciascuna caratterizzata dall'immersione media e dall'altezza del baricentro. Esse risultano in linea con il regolamento per quanto riguarda la stabilità, anche se alcune di esse presentano un margine ridotto (circa 10 cm) rispetto al valore limite. A questo proposito si vuol far notare come la nave vuota LWT ed il suo baricentro abbiano un grosso peso nel calcolo del baricentro della condizione di carico, soprattutto nel caso di una nave passeggeri dove il peso della nave vuota rappresenta circa l'80% del peso totale. Come già detto a proposito dell'immersione ed assetto, l'accuratezza nell'eseguire la prova di stabilità è essenziale per verificare con la dovuta certezza i vincoli contrattuali e di regolamento.

1.3.Verifica delle ipotesi di progetto

Il risultato della prova di stabilità è un dato di ritorno essenziale per il progettista. Permette infatti di verificare le ipotesi di progetto riguardanti la nave vuota (peso e baricentro), analizzare le differenze riscontrate e conseguentemente rivedere criticamente ed aggiornare gli strumenti ed i database normalmente utilizzati nella fase di progettazione di base.

2. Basi teoriche

La teoria su cui si basa la prova di stabilità è molto semplice. Si tratta infatti di applicare i noti concetti della geometria dei galleggianti e della statica della nave, soprattutto per quanto riguarda l'effetto dell'imbarco, dello sbarco e dello spostamento di pesi.

Altra cosa è invece la realizzazione pratica della prova la quale richiede la dovuta attenzione da parte di tutti gli enti aziendali coinvolti nell'esecuzione delle attività necessarie alla corretta preparazione della nave ed alla conduzione della prova stessa.

2.1. La condizione di carico alla prova

Come già detto lo scopo della prova è la determinazione delle caratteristiche della nave vuota finita al 100%. Non è però mai possibile realizzare tale situazione in cantiere per ovvie ragioni operative: infatti la prova è normalmente eseguita non meno di un mese dalla consegna quando la nave non è ancora completa, sono presenti a bordo attrezzature per le attività di cantiere non facenti parte del peso nave, alcune casse contengono liquidi. La condizione di carico alla prova è quindi ben diversa da quella ideale per la presenza dei seguenti elementi:

- Pesi estranei: costituiti da attrezzature, protezioni, impianti provvisori, ponteggi, ecc.
- Liquidi nelle casse
- Pesi mancanti: costituiti dal materiale ancora da imbarcare per il completamento della nave. Allo scopo di ottenere un risultato attendibile è necessario che i pesi mancanti non siano superiori al 2% del peso nave vuota, come anche richiesto dagli enti di sorveglianza (registri ed amministrazioni di bandiera)
- Peso dei liquidi in circolazione mancanti: solitamente non tutti gli impianti di bordo sono funzionanti al momento della prova per cui è possibile che essi non contengano il 100% del liquido previsto.

Si rende quindi necessario valutare i suddetti pesi, con il relativo baricentro, allo scopo di calcolare i dati della nave vuota secondo lo schema riportato nella seguente tabella:

Peso	Coordinate del Baricentro			Note
Peso nave alla prova (D)	X_{gp}	Y_{gp}	Z_{gp}	Risultato della prova
Pesi estranei	X_{ge}	Y_{ge}	Z_{ge}	Da sottrarre
Liquidi nelle casse	X_{gl}	Y_{gl}	Z_{gl}	Da sottrarre
Pesi mancanti	X_{gm}	Y_{gm}	Z_{gm}	Da aggiungere
Liquidi in circolazione mancanti	X_{gcm}	Y_{gcm}	Z_{gcm}	Da aggiungere
Peso nave vuota con liquidi in circolazione (LTW)	Xg	Yg	Zg	Risultato Finale

2.2. Determinazione del dislocamento alla prova "D"

Il dislocamento "D" al momento della prova si ottiene dalla relazione:

$$D = V * \gamma$$

Dove "V" è il volume della carena e "γ" il peso specifico dell'acqua di mare.

Il volume “V” si ricava dalle curve idrostatiche in base al valore delle immersioni lette in corrispondenza alle 6 marche (prora SN&DS, centro SN&DS, poppa SN&DS). Le letture, come si dirà più in dettaglio al punto 2.7, vanno solitamente effettuate da una barca la quale permette di avvicinarsi alle marche per un rilievo quanto più accurato possibile.

Il peso specifico “ γ ” si misura con un densimetro su campioni di acqua prelevata almeno in due posizioni lungo nave e ad almeno due profondità. Il valore medio delle misure è utilizzato nei calcoli.

2.3. Determinazione di Z_{g_p}

Come già detto al punto 1.2 il momento raddrizzante generato dalla nave quando è sottoposta ad un’azione sbandante è dato dalla relazione:

$$M = D * GM * \sin\alpha$$

Detta relazione permette di calcolare l’altezza del baricentro Z_{g_p} della nave alla prova in base all’angolo di inclinazione assunto dalla nave a seguito dello spostamento di un peso noto di una quantità nota. La sequenza delle operazioni da compiere alla prova ed i calcoli da eseguire per arrivare al valore di Z_{g_p} (comunemente identificato con il simbolo KG) sono descritte brevemente qui si seguito:

- Un peso noto “P” viene spostato trasversalmente di una quantità nota “ Y_p ” (fig. 4). In pratica detto movimento si può realizzare in due modi:
 - a) Spostamento di un peso solido (autocarri, massi di cemento movimentati con fork lift o gru di banchina). È usato su quelle navi (traghetti, cisterne, bulk carriers, ecc.) che dispongono di un ponte sufficientemente ampio e robusto per questa operazione
 - b) Spostamento di un peso liquido tra due casse poste per quanto possibile a murata (generalmente si utilizzano le casse di bilanciamento trasversale). È utilizzato soprattutto sulle navi da crociera data l’impossibilità ad usare pesi solidi
- La nave si dispone in una posizione di equilibrio inclinata trasversalmente di un angolo “ α ” misurabile tramite un pendolo (fig. 5)
- In questa situazione il momento sbandante creato dal peso “P” è:

$$M_p = P * Y_p * \cos\alpha$$

- All’angolo d’inclinazione “ α ” contribuisce anche il momento sbandante creato dalla presenza di liquidi in casse smezzate. Infatti in una cassa non completamente piena il liquido si muove con l’inclinazione della nave e cambia di conseguenza la posizione del suo centro di gravità (fig. 4). Ciò provoca un momento sbandante dato dalla relazione:

$$M_w = W * Y_w$$

Dove “W” è il peso del liquido e “ Y_w ” lo spostamento trasversale del baricentro del liquido. Da semplici considerazioni geometriche si può dimostrare che la relazione precedente può essere anche scritta nella seguente forma:

$$M_w = \omega * I * \sin\alpha$$

dove “ ω ” è il peso specifico del liquido, “I” il momento d’inerzia dello specchio libero della cassa rispetto all’asse di inclinazione longitudinale della nave, “ α ” l’angolo di inclinazione

- Il momento raddrizzante generato dalla nave è:

$$M_D = D * GM * \sin\alpha$$

- Poiché la nave, inclinata dell'angolo "α", si trova in una posizione di equilibrio, la somma dei momenti sbandanti è uguale al momento raddrizzante per cui vale la relazione:

$$\frac{P * Y_p * \cos\alpha}{\text{momento sbandante dovuto al peso}} + \frac{\sum (\omega * I * \sin\alpha)}{\text{momento sbandante dovuto ai liquidi di tutte le casse smezzate}} = \frac{D * GM * \sin\alpha}{\text{momento raddrizzante}}$$

- A questo punto si può ricavare facilmente il valore dell'altezza metacentrica GM dalla suddetta condizione di equilibrio:

$$GM = \{(P * Y_p) / (D * \text{tg}\alpha)\} + \{\sum (\omega * I) / D\}$$

- L'altezza del baricentro "KG" della nave alla prova si ricava sfruttando la già vista relazione "KG = KM - GM":

$$KG = KM - \{(P * Y_p) / (D * \text{tg}\alpha)\} - \{\sum (\omega * I) / D\}$$

Il valore di KM si ricava dalle curve idrostatiche in base al valore delle immersioni lette.

2.4. Effetto degli specchi liquidi

L'effetto della presenza di casse non completamente riempite sulla posizione verticale del baricentro "KG" è rappresentato dall'espressione $\{\sum (\omega * I) / D\}$, dove la sommatoria "Σ" è estesa a tutte le casse che risultino smezzate al momento della prova. È solitamente chiamato "correzione per specchi liquidi" in quanto rappresenta la correzione (espressa in m o cm) da applicare al valore di KG per tenere conto della presenza di casse smezzate. Deve essere accuratamente valutata per ottenere un risultato tecnicamente attendibile e condiviso dal registro di classifica e dalla società armatrice.

Gli elementi per la valutazione sono il peso specifico del liquido "ω" ed il momento d'inerzia "I" dello specchio libero, ricavabile dal piano di capacità il quale è l'unico documento ufficiale di riferimento al riguardo. A questo proposito sono da mettere in evidenza due aspetti fondamentali:

1. Il piano di capacità riporta convenzionalmente il momento d'inerzia dello specchio liquido relativo ad un riempimento attorno al 50% e comunque tale da non far variare la geometria della superficie libera del liquido quando la nave sbanda. In una cassa "quasi piena" o "quasi vuota" (fig. 6) lo specchio libero varia sensibilmente anche per piccole inclinazioni per cui in questo caso i valori derivati dal piano di capacità non sono applicabili
2. Il piano di capacità riporta solamente le casse contenenti liquidi consumabili e zavorra nonché alcuni spazi vuoti. Non riporta invece tutti quegli spazi quali sentine, intercapedini, marginali, spazi sotto i macchinari, ecc. nei quali comunque si può accumulare dell'acqua per i più svariati motivi (spandimenti, acqua piovana, ecc.).

Per quanto sopra detto è importantissimo porre particolare attenzione alla presenza di liquidi a bordo allo scopo di garantire il buon risultato della prova. In particolare è obbligatorio mettere in atto le seguenti azioni:

- a) Le casse devono essere completamente piene o completamente vuote, compatibilmente con le esigenze operative
- b) Le casse parzialmente riempite devono essere ridotte al minimo al fine di minimizzare la correzione per specchi liquidi la quale, di norma, non deve superare i 10 cm
- c) Non sono ammessi riempimenti maggiori del 90% e minori del 10% in quanto la correzione per specchi liberi sarebbe sensibilmente diversa da quella ricavabile dal piano di capacità. Nel caso ciò avvenga il registro non ammette la correzione per specchio liquido il che comporta una evidente penalizzazione in quanto il valore "ufficiale" di "KG" risulterebbe superiore a quello reale.
- d) Tutti gli spazi quali sentine, vuoti, intercapedini, ecc. devono essere perfettamente asciutti. Un'eventuale presenza di acqua penalizzerebbe pesantemente il risultato finale (similmente al punto c) in quanto la relativa correzione per specchio liquido non è ammessa non essendo possibile la sua valutazione.

2.5. Determinazione di X_{g_p}

La determinazione della posizione longitudinale del baricentro è semplice: infatti la nave, liberamente galleggiante nella condizione di carico prevista alla prova, è in condizione di equilibrio per cui il baricentro si trova necessariamente sulla stessa verticale del centro di carena (fig. 7). Poiché la coordinata " X_{c_p} " di quest'ultimo si ricava dalle curve idrostatiche in base al valore delle immersioni lette risulta che:

$$X_{g_p} = X_{c_p}$$

2.6. Determinazione di Y_{g_p}

È possibile che la nave, nella condizione di carico prevista alla prova, abbia il baricentro spostato rispetto al piano diametrale (fig. 7). In questo caso la nave risulta inclinata trasversalmente di un angolo " β " calcolabile dalla differenza " ΔT " tra le immersioni lette rispettivamente a destra ed a sinistra sulle marche a centro nave:

$$\text{tg}\beta = \Delta T/B$$

In questa condizione la nave è sottoposta ad un momento sbandante dovuto all'eccentricità del baricentro e ad uno raddrizzante dovuto alla stabilità; poichè la nave è in equilibrio i due momenti sono uguali:

$$\frac{D \cdot Y_{g_p} \cdot \cos\beta}{\text{momento sbandante dovuto all'eccentricità del baricentro}} = \frac{D \cdot GM \cdot \sin\beta}{\text{momento raddrizzante}}$$

da cui

$$Y_{g_p} = GM \cdot \text{tg}\beta = GM \cdot (\Delta T/B)$$

2.7. Misure da eseguire durante la prova

Si è visto che il calcolo del peso e delle coordinate baricentriche della nave vuota si basa su semplici formulazioni matematiche le quali, per essere risolte, richiedono la conoscenza di vari elementi ricavabili da misure e rilievi da eseguire a bordo. Detti rilievi non sono sempre di facile attuazione e si basano generalmente su numerose attività le quali richiedono un'accurata programmazione ed un buon coordinamento.

Nella seguente tabella vengono indicate le misure fondamentali da eseguire assieme ad una breve descrizione delle modalità esecutive e delle grandezze che ne derivano.

Misure da eseguire		Modalità	Per ricavare cosa	Come
Immersioni		Lettura sulle 6 marche (prora SN&DS, centro SN&DS, poppa SN&DS) da una barca	- Volume di carena V - KM - X_{cp} - ΔT - β	-Dalle curve idrostatiche (database Napa) - $\beta = \text{artang}(\Delta T/B)$
Densità acqua di mare		Prelievo di un campione d'acqua a 2÷3 profondità fino all'immersione nave e misura densità γ con densimetro tarato	Dislocamento "D" alla prova	$D = V * \gamma$
Riempimento delle casse		Rilievo del livello del liquido tramite sonda manuale o misuratore di livello locale (KDG)	-Peso del liquido in ogni cassa -Momento d'inerzia dello specchio liquido	-Tabelle sonda -Piano di capacità
Peso solido	Peso per lo sbandamento	Pesatura di ciascun componente la massa totale utilizzata per gli sbandamenti (autocarro, blocco di cemento, ecc.) con uno strumento certificato (pesa pubblica, dinamometro, ecc.)	Peso di ciascun elemento costituente la massa complessiva da spostare	
	Spostamento peso	Segnare sul ponte la posizione di ciascun elemento sia sul lato destro che quello sinistro. La distanza tra la posizione SN e quella DS va misurata con una corda metrica	Spostamento trasversale Y_p del peso movimentato	
Peso liquido	Peso per lo sbandamento	Verifica dimensionale delle casse utilizzate per il travaso di liquido e confronto con i dati teorici ricavati dai piani costruttivi	-Eventuale correzione da applicare alla geometria della casse descritte nel database di bordo -Peso spostato e relativo momento sbandante in funzione del livello del liquido in ciascuna cassa letto su tubi di plastica trasparente predisposti per la prova	-Capacità a strati -Database di bordo
	Spostamento peso			
Lunghezza pendolo		Misurare con una corda metrica la distanza "L" tra il punto di sospensione del pendolo e l'asta sulla quale si leggono le oscillazioni (fig. 5)	Angolo d'inclinazione " α "	$\alpha = \text{artang}(S/L)$
Oscillazione pendolo		Ad ogni sbandamento misurare l'oscillazione "S" del pedolo sull' asta graduata (fig. 5)		
Pesi estranei presenti alla prova		Rilevare ed elencare peso e baricentro dei pesi estranei presenti a bordo al momento della prova. Il rilievo va effettuato per ponte e per zona e registrato su appositi statini	Peso e baricentro degli elementi non facenti parte del peso nave	
Pesi mancanti		Rilevare ed elencare peso e baricentro dei pesi mancanti al completamento della nave. Il rilievo va effettuato per ponte e per zona e registrato su appositi statini	Peso e baricentro degli elementi mancanti al completamento nave 100%	
Liquidi in circolazione presenti alla prova		Verificare il grado di riempimento di tutti gli impianti entro e fuori apparato motore controllando il livello nelle casse non strutturali, la pressione negli impianti, ecc.	Peso e baricentro dei liquidi in circolazione mancanti al riempimento 100%	Utilizzando il documento "Liquidi in circolazione"

3. Conduzione della prova

La prova di stabilità richiede l'esecuzione di ulteriori attività in aggiunta a quelle di base già descritte al 2.7. Si tratta di attività collaterali, ma ugualmente importanti per la buona riuscita della prova, quali la predisposizione della documentazione propedeutica e quella relativa ai risultati, la preparazione della nave, l'organizzazione logistica.

Nei seguenti paragrafi vengono descritte dettagliatamente tutte le attività iniziando da quelle preparatorie per finire con quelle relative all'elaborazione del risultato finale.

3.1. Preparazione della prova

La prova va preparata con la predisposizione dei documenti necessari e la programmazione di tutte le attività previste le quali possono coinvolgere non solo enti aziendali, ma anche i registri e la società armatrice. In dettaglio la preparazione si basa sulle seguenti attività:

3.1.1. Data della prova: La prova di stabilità andrebbe teoricamente eseguita con la nave completa al 100%, ma poiché nella pratica ciò non è realizzabile i registri ammettono un completamento inferiore al 100%, ma comunque non minore del 98%. Ciò significa che è ammesso non avere a bordo elementi appartenenti alla nave, purchè il loro peso sia inferiore al 2% del peso finale previsto.

In questo contesto la data della prova va decisa in base all'avanzamento lavori in modo che il periodo prescelto sia quello in cui i pesi mancanti al completamento nave siano inferiori al 2%.

3.1.2. Documenti di riferimento: Le attività relative alla prova fanno riferimento ai seguenti documenti:

- SOLAS
- Regolamenti nazionali
- Risoluzione IMO 749 (18), "Code of Intact Stability", chap. 7: riporta le modalità di esecuzione della prova raccomandate dall'IMO
- Piano generale
- Caratteristiche idrostatiche della carena
- Piano di capacità
- Tabelle sonda
- Procedura della prova
- Certificati di collaudo dei misuratori di livello locali (KDG)
- Certificati dei pesi da muovere, nel caso si utilizzino pesi solidi
- Certificato della verifica dimensionale delle casse utilizzate per il travaso, nel caso si utilizzino pesi liquidi
- Liquidi in circolazione
- Esponente di carico

3.1.3. Pesì estranei, mancanti, liquidi in circolazione: almeno qualche giorno prima della prova è necessario redigere una situazione chiara, anche se preliminare, dei seguenti elementi, da verificare e confermare successivamente in sede di prova alla presenza di registri e società armatrice:

- Pesì estranei, per ponte e per zona, con relativo baricentro
- Pesì mancanti, per ponte e per zona, con relativo baricentro
- Riempimento, espresso in %, di tutti gli impianti di bordo, entro e fuori apparato motore

3.1.4. Stabilire la condizione di carico: la condizione di carico alla prova va elaborata con congruo anticipo in base alla quantità di liquidi previsti nelle casse (nafta, acqua dolce, zavorra, grey water, olio, ecc.) concordata con lo stabilimento. La condizione di carico, con i valori di immersioni, assetto e stabilità previsti alla prova, va presentata a registri e società armatrice.

I criteri da seguire per lo zavorramento sono i seguenti:

- Disponibilità delle casse in relazione a problemi operativi
- Quantità di liquidi generalmente non superiore a 10%÷15% del peso nave vuota
- Specchi liquidi ridotti al minimo (correzione massima di GM circa 10 cm)
- Casse piene al 100% o completamente vuote
- Casse smezzate ridotte al minimo e comunque con riempimento compreso tra il 10% ed il 90%.

3.1.5. Procedura della prova: prima della prova il cantiere prepara il documento “Procedura della prova di stabilità” da inviare in approvazione ai registri. Vanno incluse le seguenti informazioni:

- Condizione di carico prevista
- Pesi usati per le inclinazioni: devono essere tali da garantire un’inclinazione massima non inferiore a 1° e non superiore a 4°
- Nel caso si utilizzino pesi solidi:
 - indicare il ponte sul quale saranno sistemati
 - segnare la posizione dei singoli componenti la massa totale unitamente al relativo peso
 - indicare per ciascun componente la distanza tra le posizioni assunte a SN e DS per poter calcolare il relativo momento sbandante
 - indicare la sequenza della movimentazione dei pesi per realizzare 8 sbandamenti, 4 a destra e 4 a sinistra; indicare, per ogni sbandamento, il peso spostato, il momento sbandante, l’angolo d’inclinazione previsto

I pesi e le distanze sopra menzionate sono indicativi in quanto devono essere verificati con apposite misure in presenza dei registri
- Nel caso si utilizzino pesi liquidi:
 - indicare le casse utilizzate per il travaso
 - indicare la posizione dei tubi trasparenti sui quali misurare il livello del liquido
 - indicare la sequenza della movimentazione del liquido per realizzare 8 sbandamenti, 4 a destra e 4 a sinistra; indicare, per ogni inclinazione, il livello del liquido nelle casse, il peso spostato ed il momento sbandante, l’angolo d’inclinazione
- Posizionamento e lunghezza dei pendoli
- Descrizione del sistema di ormeggio

3.1.6. Preparazione dei pesi da muovere:

- Pesi solidi: ciascun peso costituente la massa totale (blocchi di cemento, autocarri, ecc.) deve essere identificato con una marcatura e pesato in presenza del registro con un mezzo certificato (solitamente pesa pubblica)
- Pesi liquidi:
 - Le casse da/a cui il liquido sarà travasato devono essere misurate in presenza del registro ed il risultato confrontato con le dimensioni teoriche
 - Se del caso la procedura di calcolo del volume e del baricentro delle casse deve essere corretta per tenere in conto le dimensioni reali

3.2. Esecuzione della prova

A conclusione delle attività preparatorie inizia lo svolgimento della prova. Tutte le attività correlate, qui di seguito descritte, sono “ufficiali” nel senso che vanno eseguite in presenza di registro e società armatrice ed i risultati delle misure ed ispezioni vanno condivisi e siglati per accettazione.

3.2.1. Blocco delle attività: tutte le attività devono essere sospese prima dell’inizio della prova. In particolare deve essere impedito qualsiasi travaso di liquidi

3.2.2. Verifica spazi vuoti e sentine: tutti gli spazi vuoti e le sentine vanno ispezionati per verificare l’assenza di acqua

3.2.3. Lettura sonde: Lettura e registrazione dei livelli delle casse tramite sonde e livellostatici locali. Le casse vuote devono avere i passi d’uomo aperti per l’ispezione

3.2.4. Lettura immersioni, densità e lunghezza dei pendoli:

- Lettura e registrazione delle immersioni:
 - Prora, DS & SN
 - Centro, DS & SN
 - Poppa, DS & SN
- Lettura e registrazione della densità ad almeno due profondità
- Lettura e registrazione della lunghezza dei pendoli

3.2.5. Inizio sbandamenti: per prima cosa si esegue la lettura dello zero dei pendoli. Si eseguono quindi gli sbandamenti, 4 a DS, 4 a SN, nella sequenza riportata nella procedura. Alla fine di ogni sbandamento si registrano:

- Spostamento dei pendoli rispetto allo zero
- Pesi liquidi: livelli nelle casse
- Pesi solidi: peso spostato
- Velocità e direzione del vento

È inoltre necessario verificare continuamente i cavi di ormeggio ed allentarli se necessario, compatibilmente con le condizioni meteo. La sistemazione dei cavi deve essere tale da non interferire con le inclinazioni della nave (fig. 8).

3.2.6. Registrazione dati: le letture vengono trasmesse al centro raccolta dati il quale, alla fine di ogni inclinazione “i”, le elabora per calcolare in tempo reale l’angolo d’inclinazione “ α_i ”, il momento sbandante “ $(P*Y_p)_i$ ” ed il valore di GM_i :

$$GM_i = (P*Y_p)_i / (D*tg\alpha_i)$$

In teoria i valori di GM_i dovrebbero essere uguali per tutte le 8 inclinazioni e quindi il momento sbandante “ $(P*Y_p)_i$ ” variare linearmente con “ $tg\alpha_i$ ”. In realtà i valori di GM_i si discostano uno dall’altro poiché le condizioni al contorno non sono mai identiche per le 8 oscillazioni. Infatti vento, corrente, qualche cavo in forza possono creare dei disturbi sulle letture con una conseguente disomogeneità nei risultati.

Solitamente la qualità della prova è giudicata dal diagramma che correla il momento sbandante con l’angolo di oscillazione (fig.9). Una lettura che si scosti dall’andamento

lineare teorico indica la presenza di un momento aggiuntivo dovuto a qualche fattore esterno. In questo caso i regolamenti non stabiliscono alcun criterio di accettabilità; in particolare il “Code of Intact Stability” raccomanda semplicemente di identificare le cause esterne che hanno prodotto il disturbo e ripetere la lettura.

Il valore di GM alla prova è alla fine determinato dalla media dei valori relativi alle singole oscillazioni corretto per l'effetto degli specchi liquidi (si utilizza la formulazione già riportata al paragrafo 2.3.)

$$GM = \Sigma(GM_i)/8 + \Sigma (\omega * I) /D$$

3.3.Elaborazione dei dati

A conclusione della prova il cantiere elabora le letture eseguite e prepara il relativo rapporto da inviare al registro per l'approvazione. Il rapporto deve contenere le seguenti informazioni:

- Registrazione di tutte le letture eseguite
- Calcolo del peso dei liquidi nelle casse e correzione per specchio liquido nel caso di casse smezzate utilizzando le tabelle sonda
- Per la nave alla prova: calcolo dell'angolo di sbandamento, del momento inclinante e del valore di GM relativi ad ognuna delle 8 oscillazioni, nonché dei relativi valori medi
- Calcolo del peso e del baricentro della nave alla prova
- Calcolo del peso della nave vuota con liquidi in circolazione
- Calcolo delle tre coordinate baricentriche della nave vuota con liquidi in circolazione

$$M = D * GZ$$

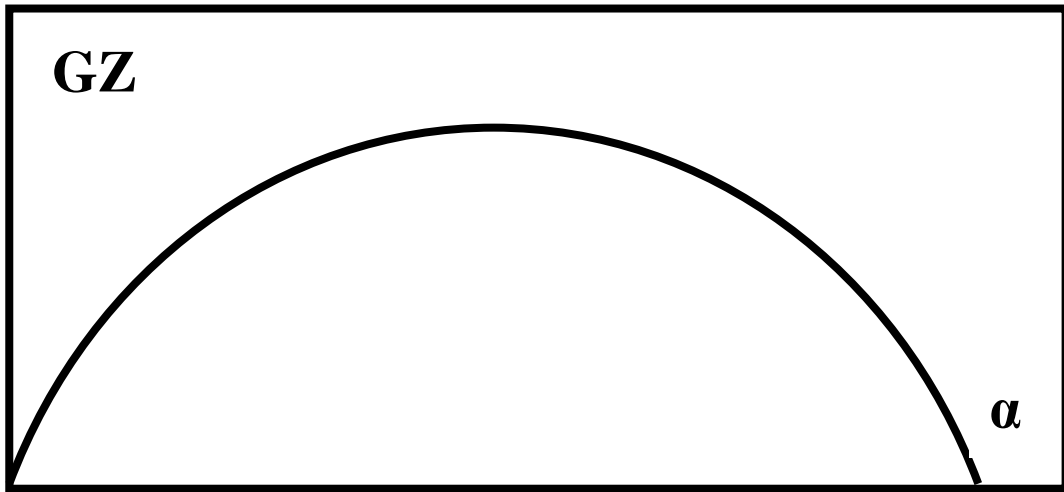
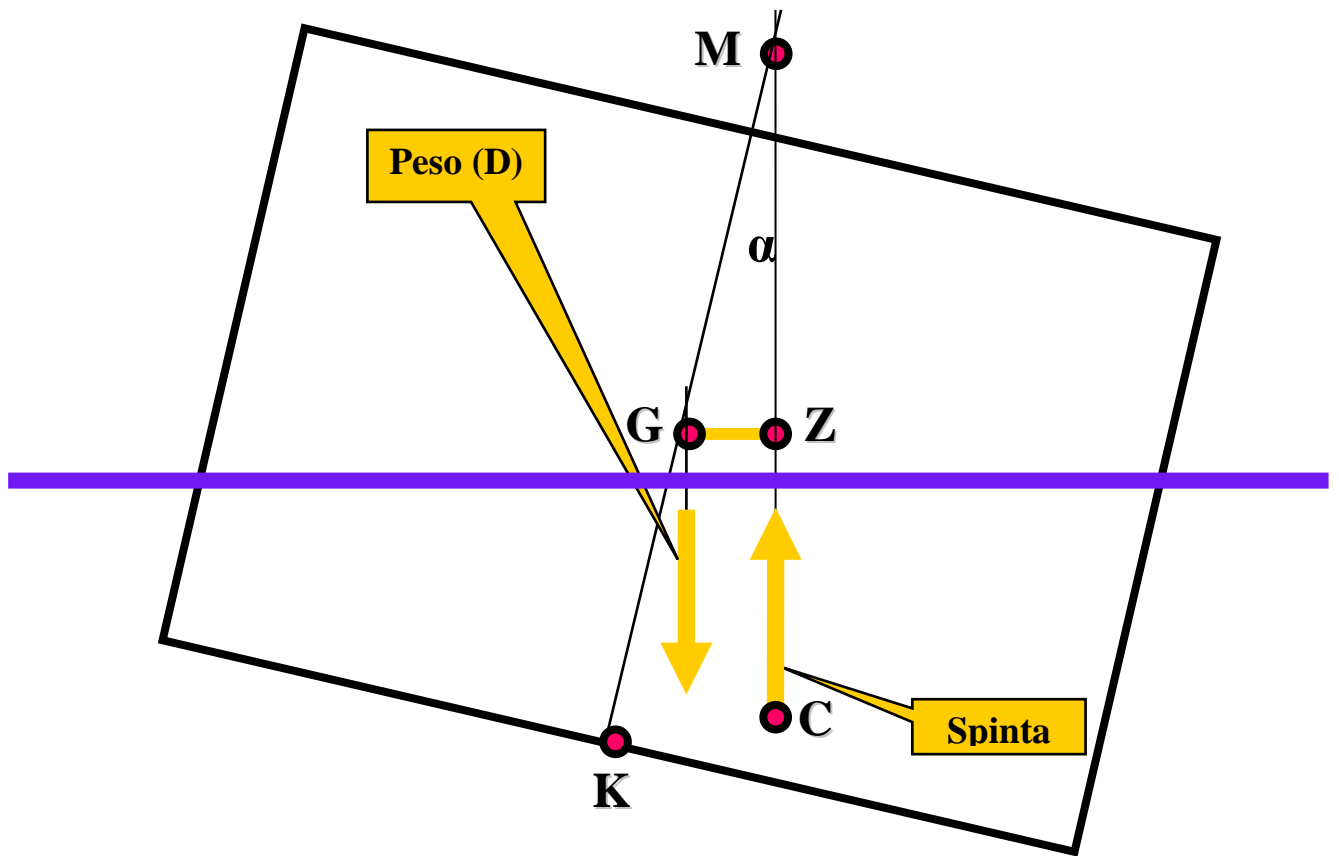


Fig.1



$$\underline{M = D * GZ}$$

$$GZ = GM * \sin\alpha$$

$$GZ = (KM - KG) * \sin\alpha$$

Fig. 2

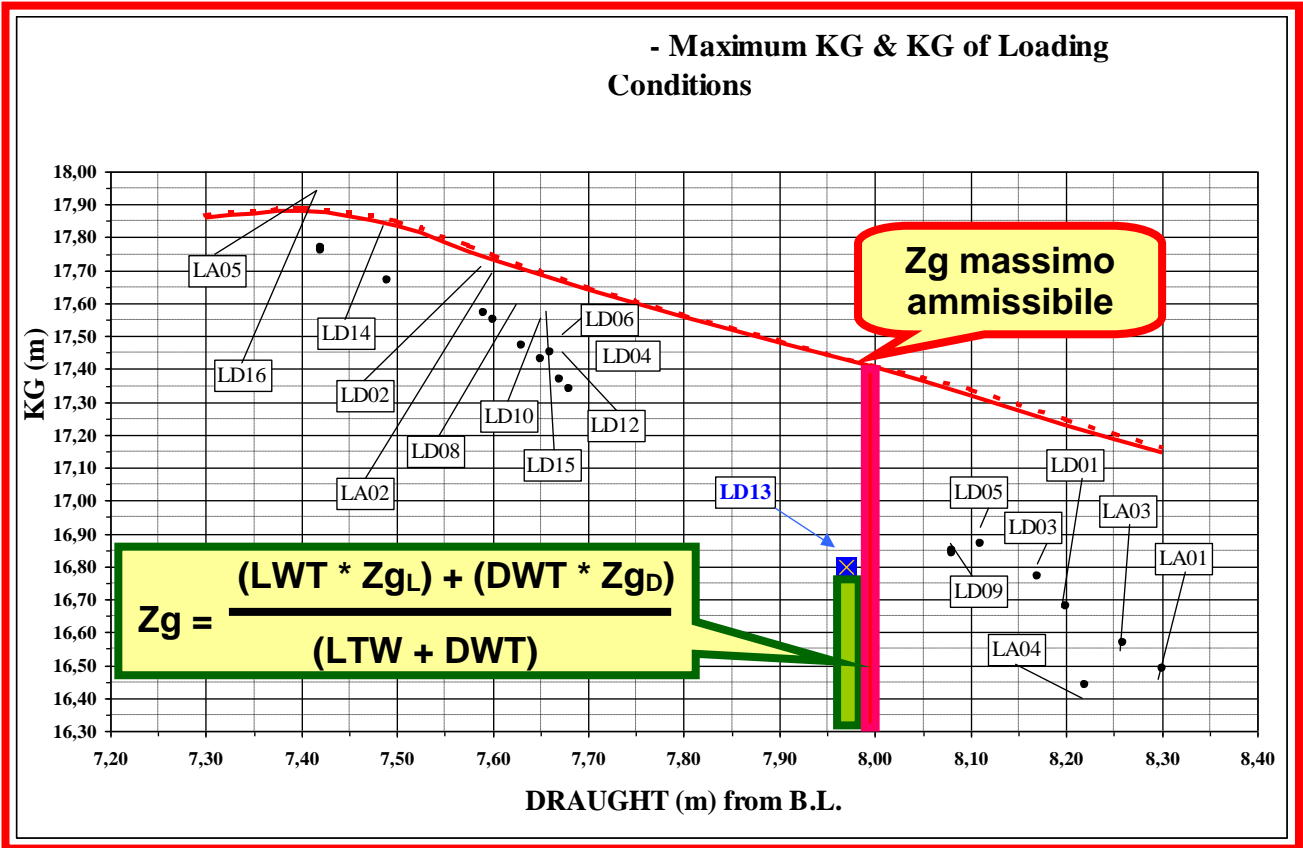
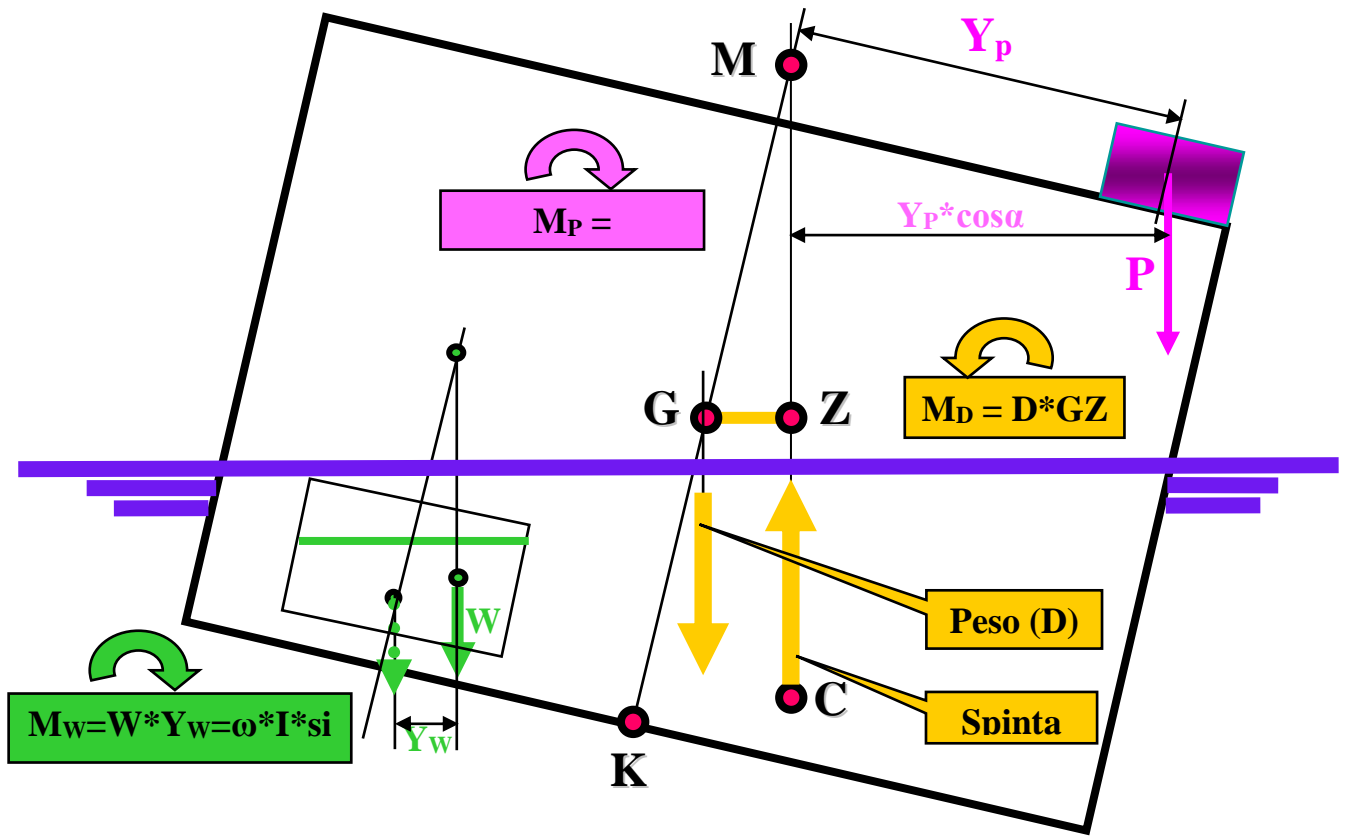


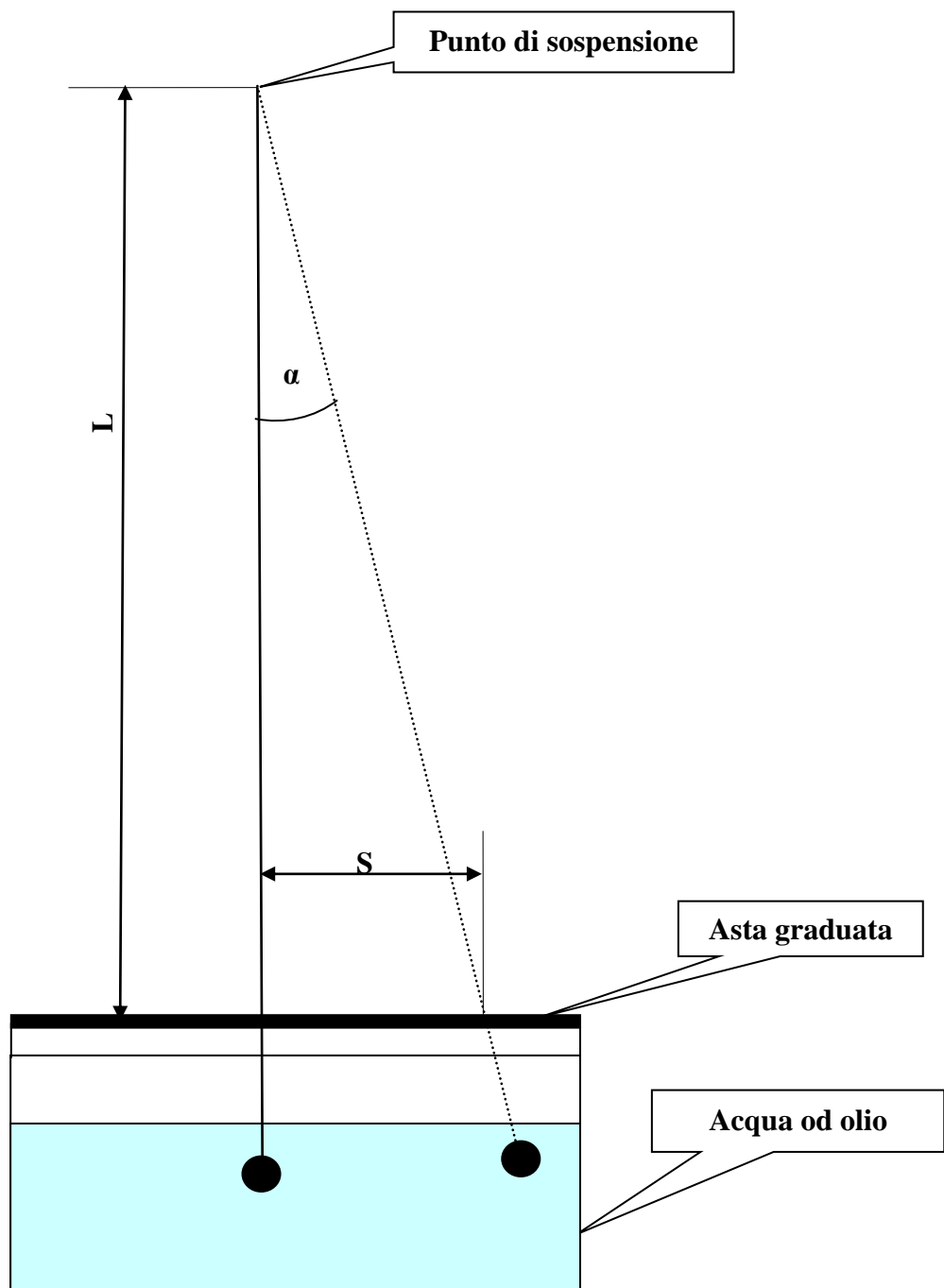
Fig. 3



$$\{P \cdot (Y_P \cdot \cos \alpha) + \Sigma(M_W)\} = D \cdot GZ = D \cdot GM \cdot \sin \alpha = D \cdot (KM - KG) \cdot \sin \alpha$$

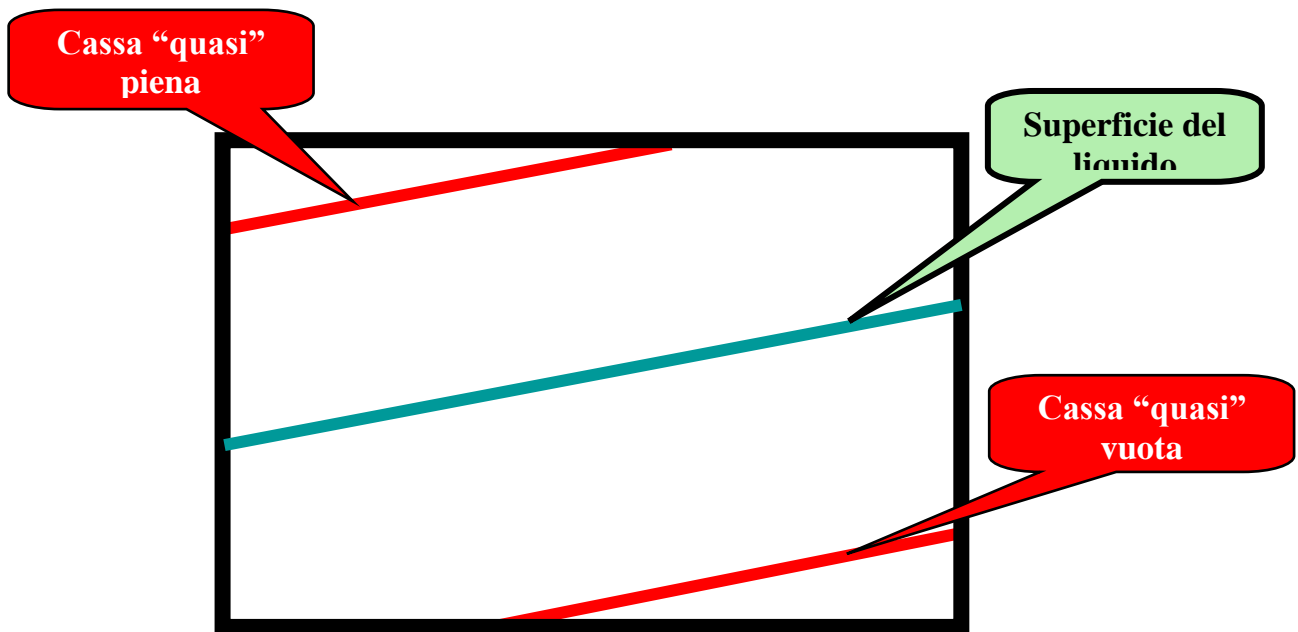
$$KG = KM - \left\{ \frac{P \cdot Y_P}{D \cdot \tan \alpha} \right\} - \left\{ \frac{\Sigma(\omega \cdot I)}{D} \right\}$$

Fig. 4



$$\alpha = \arctan (S/L)$$

Fig. 5



Correzione di GM per specchio liquido = $(\omega * I) / D$

"I" costante durante gli sbandamenti

Fig. 6

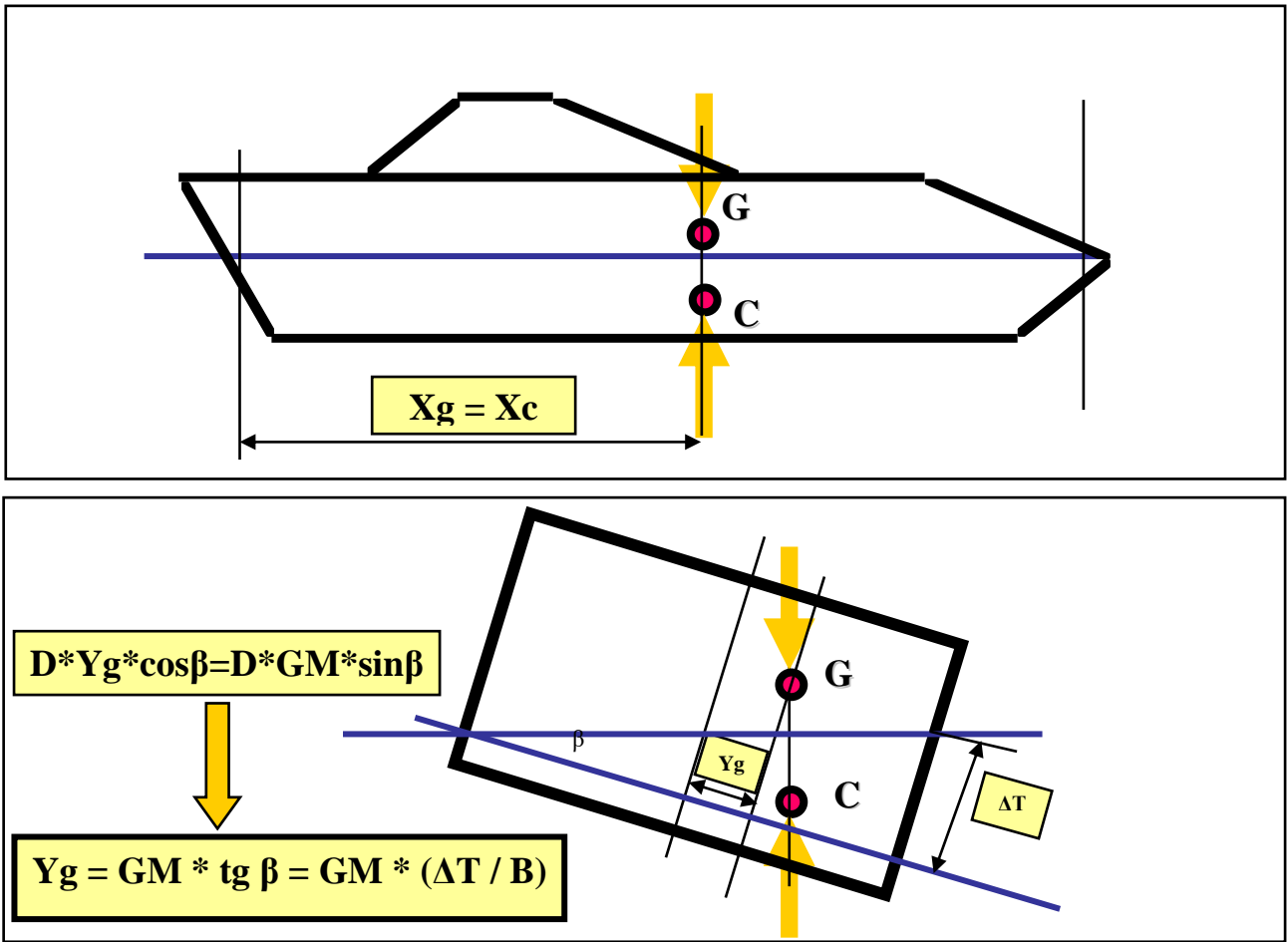


Fig. 7

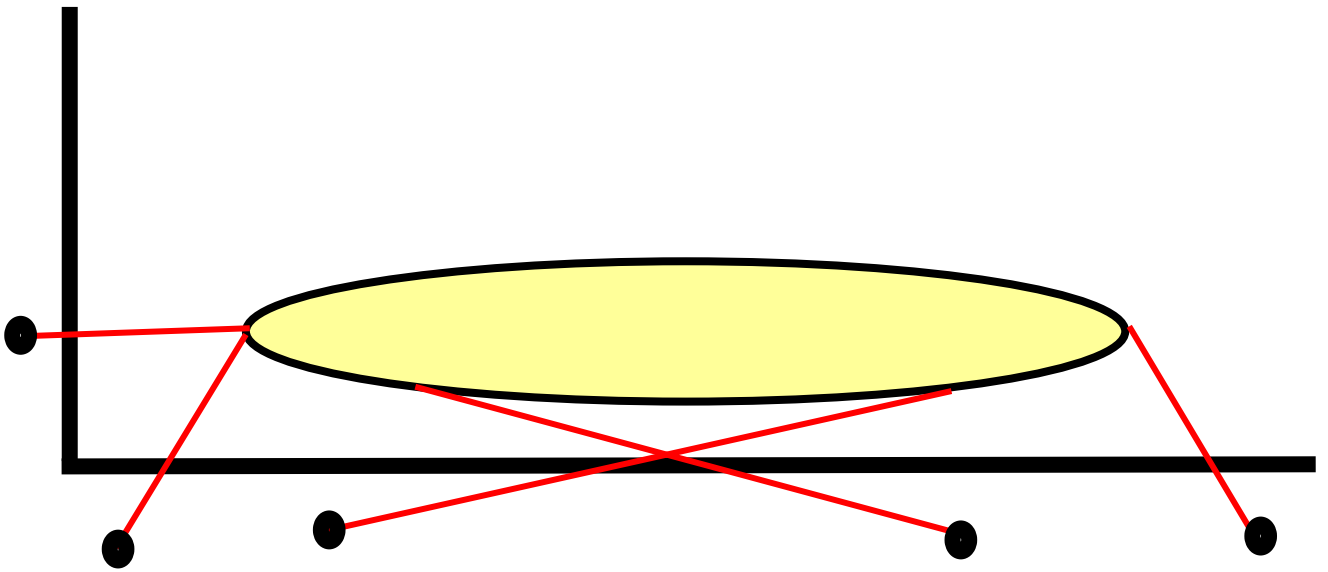
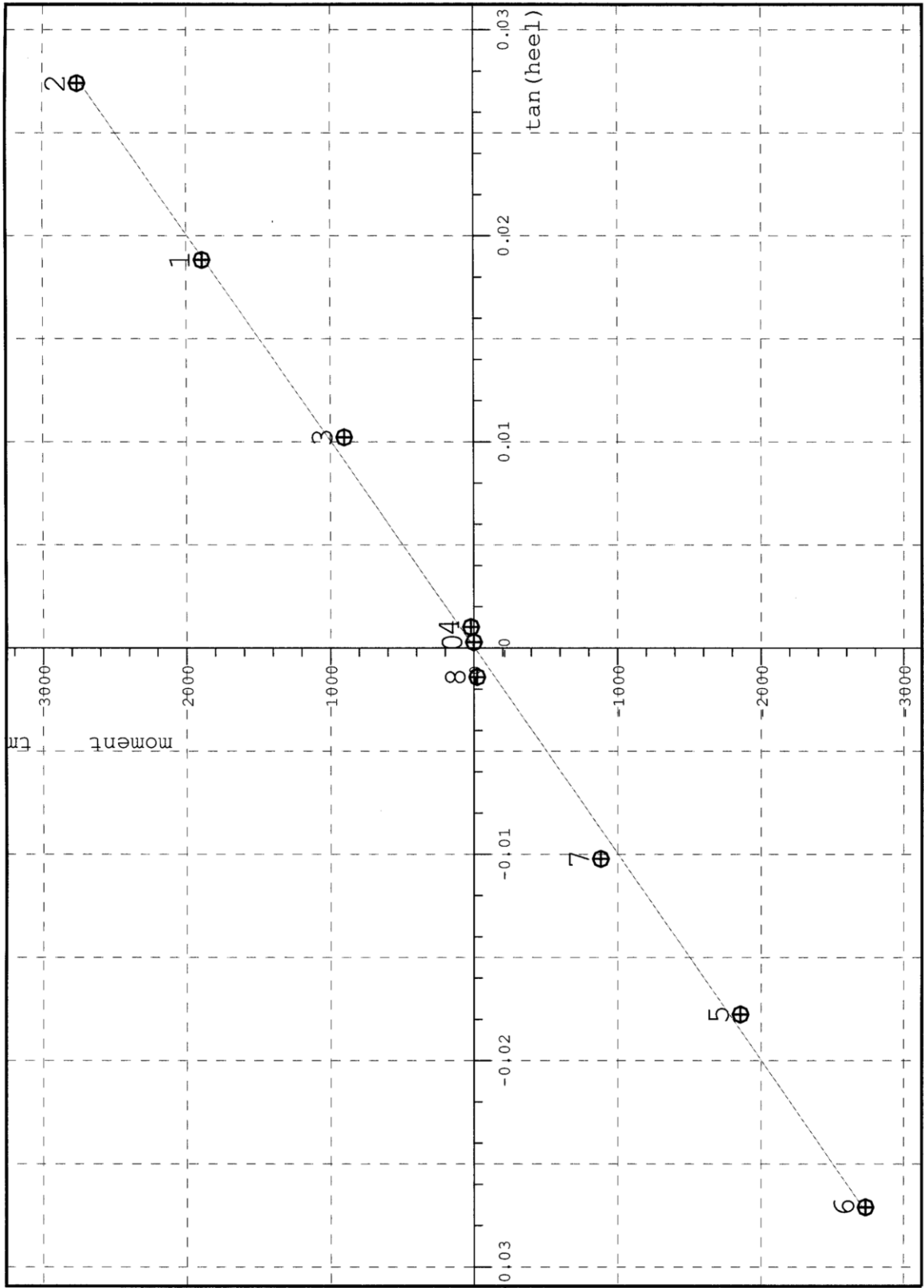


Fig. 8

DIAGRAM OF MOMENTS-TANGENTS



18

Fig. 9