4) Sul ponte di una nave di dislocamento $\Delta = 2040$ tonnellate e con altezza metacentrica trasversale $GM = 0{,}10$m si imbarca un contenitore del peso p = 120 ton, il cui baricentro è alto 4,0 m al di sopra del centro di gravità (G) della nave e sulla stessa verticale di esso. Il raggio metacentrico trasversale, dopo l'imbarco è BM = 3,20 m .
Il Candidato calcoli il valore della variabile che caratterizza il nuovo equilibrio della nave.

Il problema è il quarto della simulazione della seconda prova dell'Esame di Stato inviato dal ministero, per il corso di Coperta dei (sig) Nautici Italiani.

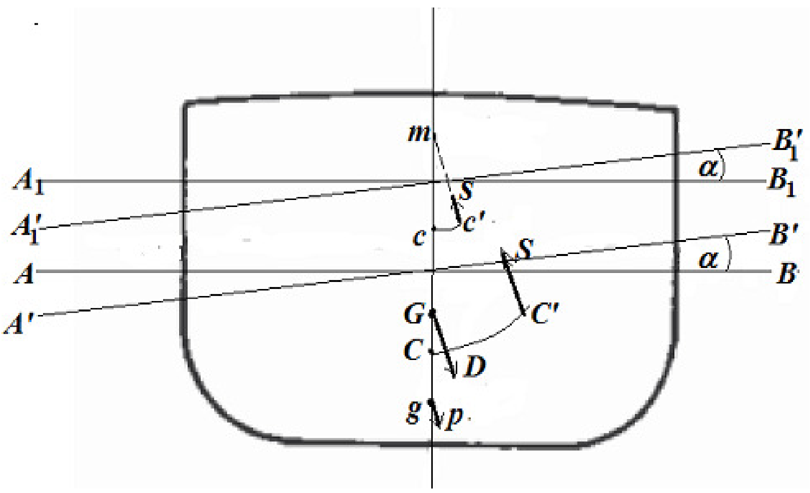
Indubbiamente il testo ha dell'incredibile, come minimo, per due ragioni:

1. l'altezza metacentrica trasversale è di 10 cm, al di sotto del minimo valore consentito di 15 cm;
2. i contenitori (containers) non superano le 40 tonnellate di peso.

Ma, inoltre, vista la così esigua altezza metacentrica, come si può proporre di caricare un peso in coperta?
Forse è proprio questa critica che l'estensore del testo si aspettasse da uno studente che ragiona e che abbia assimilato coscientemente i vari concetti della materia.
Al di là di tutte le cose dette, mi accingo a risolvere il problema a seguito del valore assegnato del raggio metacentrico *r'* a caricazione ultimata.
Credo che se è assegnato il valore *r'*, si debba essere in grado di calcolare il valore *a'*, ed è quello che mi accingo di fare.

Parto da alcune considerazioni teoriche.

Suppongo di imbarcare un peso *p* in modo che la nave passi dal galleggiamento *AB* a quello isoclino (da *iso-* e *–clino* «*ugualmente inclinato*») A_1B_1; consegue che alla carena iniziale, data dal galleggiamento *AB*, viene addizionato lo strato di maggiore immersione formato dai due galleggiamenti isoclini predetti. Questa *zona di sovraimmersione* genera una spinta *s* addizionale, applicata nel suo baricentro *c*.



Se interviene una forza esterna che fa sbandare la nave di un angolo α minore di 12°, il centro c dello strato descrive la curva cc' (curva dei centri degli strati isocarenici) che, per l'ipotesi fatta sull'angolo α, è un arco di circonferenza avente centro in m, detto **metacentro addizionale**.
Il teorema di Gleijeses (Gleijeses Mario era ingegnere italiano di Napoli (1877 – 1971), professore (1907-52) di architettura navale all'università di Napoli) consente di determinare la posizione di m, e precisamente:
indicati con:

- G il baricentro della nave, C il centro di carena, M (non segnato in figura) il metacentro nella situazione precedente all'imbarco del peso p;
- G_1 il baricentro della nave, C_1 il centro di carena, M_1 il metacentro (nessuno di essi segnati in figura) nella situazione ad imbarco avvenuto;
- il baricentro del peso imbarcato p,c il centro dello strato, m il metacentro addizionale, abbiamo

$$\frac{\overline{Mm}}{\overline{M_1m}} = \frac{V_1}{V},$$

nella quale V e V_1 sono rispettivamente i volumi di carena prima e dopo l'imbarco; moltiplicando ambo i termini del secondo membro per il peso specifico dell'acqua di mare, è:

$$\frac{\overline{Mm}}{\overline{M_1m}} = \frac{D_1}{D}, \qquad (1)$$

nella quale D e D_1 sono rispettivamente i dislocamenti prima e dopo l'imbarco.

Indicati ora con z_M, z_{M_1}, z_m rispettivamente le ordinate di M, M_1, m misurate dalla linea di costruzione, la (1) si trasforma come segue:

$$\frac{z_M - z_m}{z_{M_1} - z_m} = \frac{D_1}{D}. \qquad (2)$$

Risolviamo l'equazione (2) rispetto alla variabile z_m:

$$z_m = \frac{D_1 \cdot z_{M_1} - D \cdot z_M}{D_1 - D}$$

ovvero:

$$z_m = \frac{D_1 \cdot z_{M_1} - D \cdot z_M}{p}.$$

Pertanto il problema rimane determinato se si ha a disposizione il diagramma delle *carene diritte* in cui si possa utilizzare la curva dei metacentri trasversali in funzione delle immersioni medie, a loro volta, determinate dai due dislocamento D e D_1.

Nota. Affinché i due galleggiamenti AB eA_1B_1 siano isoclini, occorre che il peso p sia imbarcato sulla verticale di c; se ciò non si verifica allora le forze p ed s formano una coppia che crea una rotazione dello scafo in un certo senso che dipende dalla mutua posizione delle due verticali di g e c.

Consideriamo il caso di g sulla verticale di c; in questa circostanza, a seguito di una forza esterna trasversale, la nave sbanda ed avviene che:

- la coppia di forze D e S dà luogo al momento di stabilità statica trasversale della navenella situazione antecedente all'imbarco del peso, cioè:
  $M_s = D\cdot(r-a)\cdot\sin\alpha$;
- la coppia di forze p e s dà luogo al momento

$$\mu = p\cdot\overline{gm}\cdot\sin\alpha$$

il quale è:

— raddrizzante se g è situato al di sotto di m,

— abbattente se g è situato al di sopra di m.

Pertanto il momento di stabilità trasversale a caricazione avvenuta è:

$$M_s^{'} = D_1\cdot(r'-a')\cdot\sin\alpha = D\cdot(r-a)\cdot\sin\alpha \pm p\cdot z\cdot\sin\alpha,$$

in cui è $z = \overline{gm}$.

Risolviamo l'equazione

$$D_1\cdot(r'-a')\cdot\sin\alpha = D\cdot(r-a)\cdot\sin\alpha \pm p\cdot z\cdot\sin\alpha$$

rispetto alla variabile $r'-a'$:

$$r'-a' = \frac{D\cdot(r-a)\pm p\cdot z}{D_1},$$

ovvero

$$r'-a' = \frac{D\cdot(r-a)\pm p\cdot z}{D+p}. \qquad (3)$$

Ovviamente per il problema di sbarco di peso, è:

$$r'-a'=\frac{D\cdot(r-a)\mu\, p\cdot z}{D+p}\;.$$

La (3) può essere scritta anche:

$$r'-a'=\frac{D\cdot\left(r-a\pm\dfrac{p\cdot z}{D}\right)}{D+p},$$

che, risolviamo rispetto alla variabile *a’*:

$$a'=r'-\frac{D\cdot\left(r-a\pm\dfrac{p\cdot z}{D}\right)}{D+p}\quad(4)$$

La (4) è l’equazione che (credo) risolva il problema; dai valori assegnati, è:

$$a'=3.20-\frac{2040\cdot\left(0.10-\dfrac{120\cdot 4}{2040}\right)}{2040+120}\approx 3.33$$

In conclusione il valore che caratterizza il nuovo equilibrio della nave è

$r' - a' = (3.20 - 3.33)\ m = -0.13\ m$

che esprime una stabilita iniziale negativa e che, al primo soffio di vento, quanto meno, ingavona la nave se non addirittura la abbatte.

Indubbiamente è   necessario fare alcune considerazioni:

- supponendo di considerare il peso imbarcato di piccola entità ammettendo un dislocamento unitario intorno alle 10 tonnellate (dipendente anche dalla forma della nave di cui, per altro, non si ha nessuna notizia), la variazione di immersione media potrebbe ritenersi intorno ai 12 cm,
- considerata valida la precedente ipotesi, è lecito considerare il metacentro *m* (metacentro differenziale) dello strato sul piano di galleggiamento della nave, prima della caricazione, se la nave è a murate diritte; rimane allora giustificato il valore $z = 4\ m$ come è stato utilizzato.