Sezione online del Capitolo D.3

INCAGLIO, COLLISIONE E FALLA

Nave incagliata su una barriera corallina. Si noti che lo scafo ha subito un cedimento strutturale, che probabilmente ha causato l'infiltrazione d'acqua.

Indice:

1. TEST A SCELTA MULTIPLA 2

2. ESERCIZI 4

3. SOLUZIONE DEGLI ESERCIZI 11

4. SOLUZIONE DEI TEST A SCELTA MULTIPLA 25

1. TEST A SCELTA MULTIPLA (*multiple choice test*)

1. Una nave che incaglia ad estrema prora:

a. Varia il suo assetto;
 VERO FALSO

b. Ha un aumento di altezza metacentrica;
 VERO FALSO

c. Ha una diminuzione di immersione isocarenica;
 VERO FALSO

d. Mantiene inalterato il suo momento unitario d'assetto.
 VERO FALSO

2. In caso di allagamento:

a. La nave perde il cosiddetto stato integro;
 VERO FALSO

b. La presenza di *cross-flooding devices* può ridurre gli effetti negativi di un allagamento simmetrico;
 VERO FALSO

c. Si trova sul ponte una *emergency response* checklist di supporto all'Ufficiale;
 VERO FALSO

d. È importante consultare il *damage control plan*.
 VERO FALSO

3. La protezione strutturale della nave contro gli allagamenti prevede:

a. Ronde periodiche anti-falla;
 VERO FALSO

b. Il frequente spostamento di acqua di zavorra;
 VERO FALSO

c. La suddivisione dello scafo in compartimenti stagni;
 VERO FALSO

d. La presenza di sensori di allagamento su certi tipi di nave.
 VERO FALSO

4. Quando è imminente la collisione occorre:

a) Concentrare l'energia dell'urto in una zona limitata dell'altra nave;
b) Fare in modo che la nave urti l'altra con un angolo lontano dai 90°;
c) Dare il "pronti in macchina";
d) Chiamare il Direttore di macchina.

5. Disporre in ordine cronologico le azioni da intraprendere in seguito ad un incaglio (si evidenzia che le quattro azioni proposte da sole non bastano a fronteggiare in modo efficace l'incaglio. Il candidato le può comunque disporre in ordine cronologico).

a. *Prima azione*: _____;

Opzioni: Avvisare il Comandante; Comunicare l'evento alle stazioni radio circostanti; Annotare la posizione sulle carte nautiche e valutare la natura del fondale; Fermare la propulsione;

b. *Seconda azione*: _____;

Opzioni: Avvisare il Comandante; Comunicare l'evento alle stazioni radio circostanti; Annotare la posizione sulle carte nautiche e valutare la natura del fondale; Fermare la propulsione;

c. *Terza azione*: _____;

Opzioni: Avvisare il Comandante; Comunicare l'evento alle stazioni radio circostanti; Annotare la posizione sulle carte nautiche e valutare la natura del fondale; Fermare la propulsione;

d. *Quarta azione*: _____;

Opzioni: Avvisare il Comandante; Comunicare l'evento alle stazioni radio circostanti; Annotare la posizione sulle carte nautiche e valutare la natura del fondale; Fermare la propulsione.

6. Before grounding a ship was on even keel with a draft of 6 m and $TPC = 23\ \mathrm{t/cm}$, after the grounding the ship has $T'_A = 5{,}95\ m$, $T'_F = 5{,}85\ m$. The ground reaction is about:

a) 2 t;
b) 2300 t;
c) 230 t;
d) 100 t.

7. At the moment of the grounding explained in question 6 the height of tide was 0,4 m. What is the height should reach the tide to permit at vessel to float again?

a) 1 m;
b) 1,5 m;
c) 0,5 m;
d) 0,3 m.

2. ESERCIZI (*exercises*)

Svolgere gli esercizi proposti di seguito utilizzando, se necessario, gli estratti delle tavole idrostatiche e delle tavole KN riportati nel volume o alla fine del paragrafo.

Esercizio 1

La nave da carico Goode Hope ha subito un grave incaglio e sta attendendo l'arrivo dei mezzi di una società specializzata in disincagli. Quest'ultima, al fine di pianificare le operazioni, chiede al Comandante le coordinate del punto d'incaglio e l'altezza metacentrica trasversale dopo l'incaglio. Determinare quanto richiesto sapendo che:

PRIMA DELL'INCAGLIO	DOPO L'INCAGLIO
$KG = 7{,}463\ m$ $T_A = 6{,}52\ m, \quad T_F = 6{,}08\ m$ $\varphi = 0°$	$T'_A = 6{,}00\ m, \quad T'_F = 4{,}86\ m$ $\varphi = 0°$

Esercizio 2

La nave da carico Good Hope ha subito un incaglio alle 09:12 del 03/03 (ora locale) durante il riflusso di marea. Riportiamo alcuni valori prima e dopo tale evento.

PRIMA DELL'INCAGLIO	DOPO L'INCAGLIO
$KG = 8{,}134\ m$ $T_A = 6{,}32\ m, \quad T_F = 6{,}08\ m$ $\varphi = 0°$	$T'_A = 6{,}07\ m, \quad T'_F = 6{,}17\ m$ A centro nave: $T_{dritta} = 6{,}21\ m, \quad T_{sinistra} = 6{,}03\ m$

Di lato si riportano gli estratti delle tavole di marea.

	Time	m
03	0145	0.4
	0712	1.1
SU	1401	0.2
	2045	1.6

Determinare quanto segue:

- coordinate del punto d'incaglio;
- altezza metacentrica trasversale dopo l'incaglio;
- l'ora locale di possibile disincaglio sapendo che la pressione atmosferica in zona è di 1023 hPa.

Esercizio 3
La nave da carico Good Hope si è incagliata di prora su di un fondale sabbioso e non ha riportato danni strutturali o falle. Prima dell'incaglio procedeva *on even keel* con un'immersione di $6{,}00\ m$. Dopo l'incaglio si sono misurate le seguenti immersioni: $T'_A = 6{,}22\ m$, $T'_F = 5{,}62\ m$. Visto e considerato che a poppa non ci sono problemi di bassi fondali, il Comandante vuole sbarcare una piccola quantità di acqua di zavorra al fine di far emergere la prora ed immergere la poppa. Si hanno a disposizione le seguenti casse da cui è possibile effettuare uno sbarco:

CASSA	LCG [m]
5 C	110,749
34 C	80,620
26 P/S	29,294

Descrivere le possibili soluzioni di sbarco motivando la risposta data.

Esercizio 4
Si vuole pianificare un disincaglio senza rotazione della nave da carico Good Hope. Seguono i dati di galleggiamento prima e dopo l'incidente.

PRIMA DELL'INCAGLIO	DOPO L'INCAGLIO
$T_A = 4{,}90\ m, \quad T_F = 4{,}90\ m$ $\varphi = 0°$	$T'_A = 5{,}03\ m, \quad T'_F = 4{,}63\ m$ $\varphi = 0°$

Sapendo che lo sbarco di acqua di zavorra deve provenire dalle seguenti casse, si valuti il peso da sbarcare da ciascuna di esse.

CASSA	LCG [m]
4 C	128,000
7 C	99,000

Esercizio 5

La nave da carico generico Good Hope naviga con $T_A = 6{,}26\ m$, $T_F = 6{,}14\ m$, $LCG = 70{,}504\ m$, $KG = 9{,}013\ m$ ed è trasversalmente dritta. Durante la navigazione in acque ristrette la nave urta il fondale e subisce una falla che porta all'allagamento della cassa di zavorra WB7 di dritta, precedentemente vuota. Essendo la cassa parte del doppiofondo, l'allagamento si arresta ed interessa il solo locale coinvolto. Di seguito si riporta un estratto delle *sounding tables*:

Sounding table TANK WB7 port and starboard

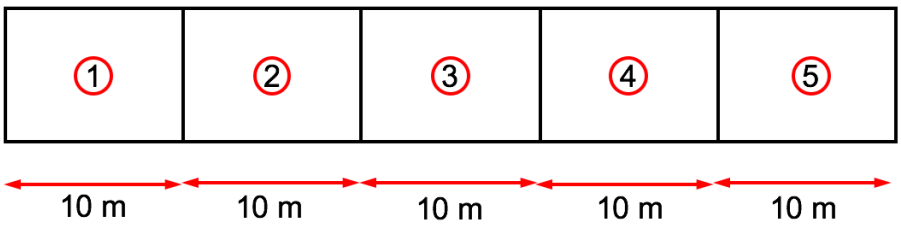
Percentage	Volume $[m^3]$	LCG $[m]$	TCG $[m]$	VCG $[m]$	FSM $[m^4]$
20%	11,68	99,162	± 2,406	0,329	59,6
40%	23,35	99,166	± 2,528	0,562	59,6
60%	35,03	99,167	± 2,569	0,792	59,6
80%	46,70	99,168	± 2,589	1,022	59,6
100%	58,38	99,168	± 2,601	1,252	00,0

(I coefficienti di permeabilità dei locali sono già stati considerati nelle tavole)

Determinare quanto segue:

- l'altezza metacentrica trasversale;
- l'angolo di sbandamento che subisce la nave;
- il diagramma dei bracci di stabilità ad allagamento avvenuto;
- l'estensione della falla sapendo che il locale si è allagato completamente in circa 4 secondi;
- l'assetto e le immersioni estreme in seguito all'allagamento.

Esercizio 6
Una chiatta ha la forma di un pontone con lunghezza 50 m, larghezza 12 m, altezza 7,5 m ed è suddivisa in 5 compartimenti stagni descritti nella seguente figura.



Il ponte di coperta svolge anche la funzione di ponte delle paratie, non è presente il doppiofondo. La chiatta ha $KG = 4{,}3\ m$, si trova *on even keel* con un'immersione di 3 m ed è trasversalmente dritta. Ipotizzando l'allagamento per falla del compartimento 2 determinare quanto segue:

- immersioni estreme e altezza metacentrica trasversale dopo l'allagamento usando il metodo dell'imbarco del peso;
- immersioni estreme e altezza metacentrica trasversale dopo l'allagamento usando il metodo di sottrazione di carena;
- comparare i risultati ottenuti con i due metodi.

NOTA: i due metodi si sono accennati a pagina 856 del volume senza fornire una dettagliata spiegazione. Il lettore potrà cimentarsi nella soluzione dell'esercizio, alla quale si può arrivare con le nozioni esposte nel volume, quelle riportate nel successivo approfondimento e un poco di ragionamento. Si riporta anche la soluzione di dettaglio nel prossimo paragrafo.

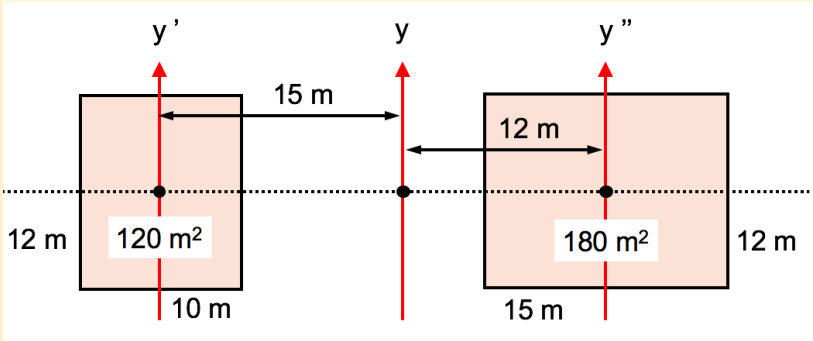
♦ *Approfondimento.* Per applicare il metodo di sottrazione di carena si deve utilizzare il teorema del trasporto del momento d'inerzia, noto anche come teorema di Huygens-Steiner. Di seguito se ne riportano gli aspetti fondamentali applicati ai momenti d'inerzia di area, che sono quelli che si devono trasportare nell'esercizio 6.

Il momento d'inerzia di area I_S rispetto ad un'asse S che non passa per il centro della figura si può determinare a partire dal momento d'inerzia $I_{S'}$ calcolato rispetto all'asse parallelo S' passante per il centro della figura stessa come segue:

$$I_S = I_{S'} + A \cdot d^2$$

dove A indica l'area della figura e d la distanza tra i due assi (S ed S').

Facciamo una semplice applicazione: calcoliamo il momento d'inerzia di area rispetto all'asse y della figura composta da *entrambi* i rettangoli di seguito riportati.



I momenti calcolati rispetto agli assi passanti per i centri dei due rettangoli sono:

$$I_{y'} = \frac{12 \cdot 10^3}{12} = 1000 \text{ m}^4 \qquad I_{y''} = \frac{12 \cdot 15^3}{12} = 3375 \text{ m}^4$$

Trasportiamo di seguito tali momenti rispetto all'asse y per entrambe le figure:

$$I_{1y} = 1000 + 120 \cdot 15^2 = 28.000 \text{ m}^4 \qquad I_{2y} = 3375 + 180 \cdot 12^2 = 28.-295 \text{ m}^4$$

Il momento d'inerzia che si vuole è dato infine dalla somma dei due momenti ottenuti:

$$I_y = 28.000 + 28.295 = 56.295 \text{ m}^4$$

HYDROSTATIC TABLES AD USO DIDATTICO

(sea water specific gravity $1{,}025\ t/m^3$)

M/V Good Hope - $L_{pp} = 149{,}7\ m, B = 20{,}7\ m, \Delta_{LS} = 5661\ t$

Draft $[m]$	**Displ.** [*metric tons*]	**TPC** $\left[\frac{t}{cm}\right]$	**MTC** $\left[\frac{t \cdot m}{cm}\right]$	**KMT** $[m]$ *above BL*	**KML** $[m]$ *above BL*	**LCF** $[m]$ *fwd AP*	**LCB** $[m]$ *fwd AP*	**VCB** $[m]$ *above BL*
3,30	5405,0	20,9	150,6	11,769	417,2	71,133	73,426	1,862
3,40	5615,7	21,1	153,6	11,603	409,5	70,926	73,333	1,918
3,50	5828,5	21,4	156,6	11,449	402,3	70,722	73,239	1,974
3,60	6043,1	21,5	159,6	11,290	395,4	70,528	73,142	2,030
3,70	6259,5	21,7	162,7	11,145	389,2	70,328	73,044	2,087
3,80	6477,8	21,9	165,9	11,014	383,4	70,121	72,945	2,143
3,90	6698,1	22,1	169,2	10,896	378,1	69,908	72,845	2,199
4,00	6919,4	22,2	169,8	10,785	367,4	69,959	72,751	2,256
4,10	7142,0	22,3	172,7	10,664	362,0	69,781	72,661	2,312
4,20	7366,2	22,5	175,8	10,553	357,4	69,587	72,570	2,368
4,30	7592,1	22,7	179,2	10,453	353,3	69,375	72,478	2,424
4,40	7819,8	22,9	182,7	10,362	349,8	69,147	72,384	2,481
4,50	8049,2	23,0	185,7	10,278	345,4	68,969	72,289	2,537
4,60	8280,3	23,2	189,4	10,198	342,5	68,746	72,193	2,593
4,70	8513,2	23,4	193,1	10,126	339,6	68,531	72,096	2,650
4,80	8747,8	23,5	196,6	10,061	336,4	68,336	71,998	2,706
4,90	8984,1	23,7	200,0	10,003	333,2	68,152	71,899	2,763
5,00	9222,1	23,9	203,2	9,950	329,9	67,981	71,800	2,819
5,10	9461,7	24,0	206,3	9,886	326,4	67,840	71,702	2,876
5,20	9702,7	24,2	209,3	9,829	322,9	67,704	71,605	2,933
5,30	9945,0	24.3	212,1	9,776	319,3	67,587	71,509	2,989
5,40	10188,7	24,4	214,9	9,729	315,8	67,471	71,414	3,046
5,50	10433,8	24,6	217,6	9,686	312,3	67,375	71,320	3,102
5,60	10680,1	24,7	220,4	9,645	309,0	67,306	71,229	3,159
5,70	10927,7	24,8	223,2	9,608	305,8	67,242	71,140	3,216
5,80	11176,6	25,0	225,9	9,575	302,6	67,191	71,053	3,272
5,90	11426,7	25,1	228,5	9,545	299,4	67,143	70,968	3,329
6,00	11678,1	25,2	231,2	9,520	296,4	67,096	70,886	3,385
6,10	11930,6	25,3	233,7	9,488	293,2	67,069	70,806	3,442
6,20	12184,2	25,4	236,2	9,460	290,1	67,045	70,729	3,498
6,30	12438,9	25,5	238,6	9,435	287,2	67,025	70,654	3,555
6,40	12694,6	25,6	241,1	9,414	284,3	67,007	70,581	3,611

Draft is counted above the base line (BL).

KN TABLES AD USO DIDATTICO

M/V Good Hope

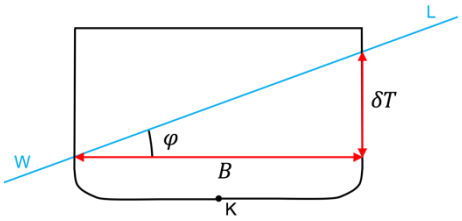
Draft	ANGLE OF HEEL							
$[m]$	**0,1°**	**10°**	**20°**	**30°**	**40°**	**50°**	**60°**	**70°**
3,30	0,021	2,032	3,902	5,396	6,561	7,557	8,333	8,582
3,40	0,020	2,004	3,863	5,368	6,549	7,563	8,333	8,579
3,50	0,020	1,978	3,825	5,342	6,538	7,569	8,329	8,576
3,60	0,020	1,954	3,790	5,317	6,528	7,576	8,324	8,571
3,70	0,019	1,931	3,756	5,294	6,520	7,581	8,316	8,565
3,80	0,019	1,909	3,724	5,272	6,512	7,587	8,307	8,558
3,90	0,019	1,888	3,694	5,251	6,504	7,591	8,302	8,548
4,00	0,019	1,869	3,665	5,231	6,497	7,594	8,300	8,538
4,10	0,019	1,851	3,638	5,211	6,491	7,595	8,295	8,527
4,20	0,018	1,835	3,612	5,192	6,486	7,596	8,287	8,507
4,30	0,018	1,819	3,587	5,174	6,481	7,595	8,276	8,488
4,40	0,018	1,805	3,563	5,157	6,476	7,593	8,264	8,469
4,50	0,018	1,791	3,541	5,140	6,473	7,591	8,250	8,450
4,60	0,018	1,778	3,520	5,124	6,470	7,587	8,235	8,430
4,70	0,018	1,766	3,500	5,108	6,467	7,582	8,219	8,411
4,80	0,018	1,755	3,482	5,093	6,465	7,576	8,202	8,391
4,90	0,017	1,744	3,464	5,078	6,464	7,569	8,185	8,370
5,00	0,017	1,734	3,448	5,064	6,463	7,561	8,167	8,350
5,10	0,017	1,725	3,432	5,051	6,462	7,553	8,148	8,329
5,20	0,017	1,716	3,417	5,038	6,462	7,543	8,129	8,309
5,30	0,017	1,708	3,404	5,026	6,462	7,533	8,110	8,288
5,40	0,017	1,700	3,391	5,014	6,462	7,522	8,090	8,267
5,50	0,017	1,693	3,378	5,004	6,461	7,511	8,071	8,246
5,60	0,017	1,686	3,367	4,993	6,460	7,499	8,052	8,225
5,70	0,017	1,680	3,356	4,983	6,458	7,487	8,032	8,204
5,80	0,017	1,674	3,346	4,974	6,455	7,473	8,013	8,182
5,90	0,017	1,668	3,337	4,966	6,451	7,459	7,994	8,160
6,00	0,017	1,663	3,328	4,957	6,446	7,444	7,974	8,139
6,10	0,017	1,658	3,319	4,950	6,440	7,428	7,953	8,117
6,20	0,017	1,654	3,312	4,943	6,433	7,412	7,933	8,095
6,30	0,016	1,650	3,304	4,936	6,425	7,395	7,911	8,073
6,40	0,016	1,646	3,298	4,930	6,416	7,378	7,890	8,051

Draft is counted above the base line (BL).

3. SOLUZIONE DEGLI ESERCIZI

Risultati dell'esercizio 1
Si tratta di un incaglio di grande entità (l'emersione è di 87 cm). Al fine di dare alla società specializzata dei valori accurati si decide di applicare il metodo esatto, esposto alle pagine 845 ed 846 del volume. Si ricava $R = 2176{,}7\ t$, $x_I = 6{,}47\ m$ (positiva, quindi a proravia del centro di zona), $x_{Bz} = 67{,}20\ m$, $X_I = 73{,}67\ m$. Poiché la nave resta trasversalmente dritta si conclude che $y_I = 0\ m$. Usando il teorema dei momenti statici si ricava $KG' = 9{,}046\ m$ e risulta quindi $GM' = 0{,}670\ m$.

Risultati dell'esercizio 2
Essendo l'emersione media di 8 cm si può studiare l'incaglio col metodo approssimato (usando le approssimazioni esposte nella parte finale della pagina 846 del volume). Data l'esigua emersione si è trascurata anche la variazione di MTC. Si ottiene una reazione d'incaglio di $203{,}2\ t$, $x_I = -39{,}52\ m$, $X_I = 27{,}52\ m$. Considerando che a centro nave si ha una variazione tra le immersioni laterali $\delta T_m = 0{,}18\ m$ e che la larghezza della nave è $B = 20{,}7\ m$ (ricavabile dalle tavole idrostatiche), l'angolo di inclinazione trasversale si può ricavare con la seguente considerazione:



$$\tan\varphi = \frac{\delta T_m}{B} \rightarrow \varphi \cong +0{,}5\ °$$

L'altezza metacentrica dopo l'incaglio risulta $GM' = 1{,}223\ m$, che permette di determinare la coordinata trasversale del punto d'incaglio: $y_i = -0{,}64\ m$ (a sinistra perché l'incaglio ha causato un'inclinazione della nave a dritta). Risolvendo il primo problema di marea si ricava che alle 09:12 l'altezza di marea era di $0{,}82\ m$. Pertanto per un possibile disincaglio la marea deve avere $h' = h + \delta T_m = 0{,}9\ m$. Tale altezza, ormai possibile nella successiva finestra di flusso, si avrà alle 17:41.

Risultati dell'esercizio 3
Per rispondere alla domanda occorre calcolare la coordinata dei punti neutri. Risulta $x_A = 16{,}63\ m$, $x_F = 20{,}47\ m$. Essendo $LCF = 67{,}096\ m$ il punto neutro di poppa ha una coordinata di $50{,}466\ m$, quello di prora ha invece $87{,}566\ m$, entrambe riferite alla perpendicolare addietro. Facendo riferimento a quanto esposto a pagina 850 del volume, si conclude che l'unica possibilità per far diminuire l'immersione a prora ed aumentarla a poppa è di sbarcare acqua di zavorra dalla cassa 5 C.

Risultati dell'esercizio 4

Si ha un'emersione media di soli 7 cm, quindi si possono effettuare i calcoli con il metodo approssimato. Si ottiene $R = 165{,}9\ t$, $x_I = 48{,}22\ m$, $y_I = 0\ m$. Poiché si ha $LCF = 68{,}152\ m$ possiamo stabilire le distanze tra il centro di galleggiamento e il centro di entrambe le casse: per la 4C $x_1 = 59{,}848\ m$, per la 7C $x_2 = 30{,}848\ m$. Indicando con p_1 il peso da sbarcare dalla 4C e con p_2 quello da sbarcare dalla 7C si può impostare il seguente sistema (come si è spiegato a pagina 849 del volume):

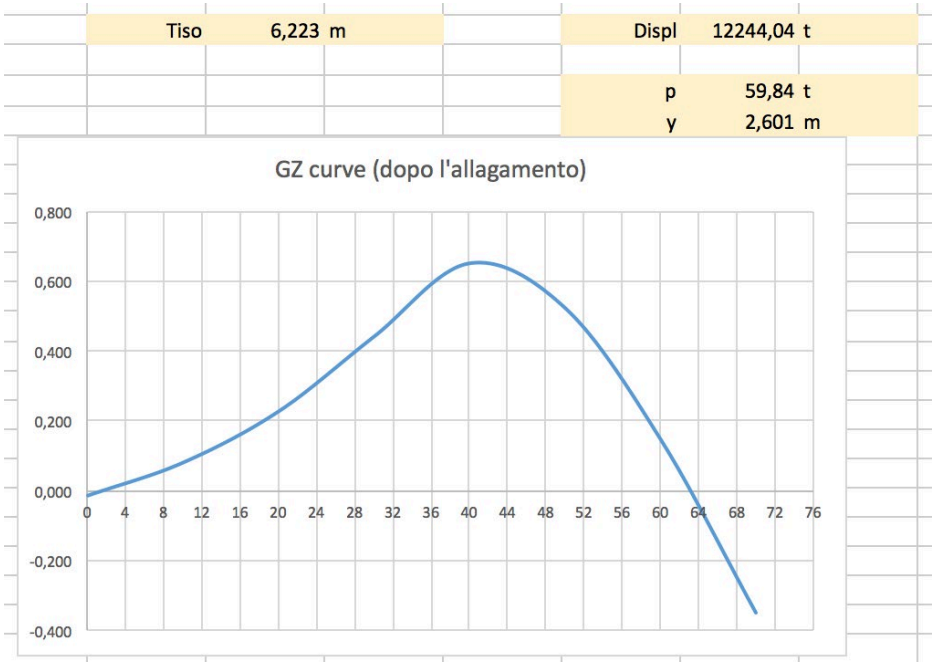
$$\begin{cases} p_1 + p_2 = 165{,}9 \\ p_1 x_1 + p_2 x_2 = 165{,}9 \cdot 48{,}22 \end{cases}$$

Si ricavano come soluzioni $p_1 = 99{,}4\ t$, $p_2 = 66{,}5\ t$.

Risultati dell'esercizio 5

Ipotizzando un peso specifico standard dell'acqua di mare (in quanto non è specificato diversamente nel testo) si conclude che l'allagamento corrisponde all'imbarco di un peso $p = 59{,}84\ t$ alla quota $z = 1{,}252\ m$. Applicando il teorema dei momenti statici si ha $KG' = 8{,}975\ m$, quindi l'altezza metacentrica trasversale dopo l'allagamento è $GM' = 0{,}479\ m$. L'angolo di inclinazione trasversale dopo l'allagamento, calcolato con il metodo metacentrico, risulta $\varphi = 1{,}5°$ (a dritta). Usando le tavole in allegato e ricordando che l'imbarco si può studiare prima come un imbarco sul piano diametrale e poi come uno spostamento, si ricava il seguente grafico (ottenuto nel nostro caso con il foglio di calcolo elettronico):

			KG	8,975 m	
HEEL ANGLE [°]	KN	KG*SIN(HEEL)	GZ	p*y*COS(HEEL)/DISPL	GZ FINAL
0	0,000	0,000	0,000	0,013	-0,013
10	1,653	1,558	0,095	0,013	0,082
20	3,310	3,070	0,241	0,012	0,229
30	4,941	4,488	0,454	0,011	0,443
40	6,431	5,769	0,662	0,010	0,652
50	7,408	6,875	0,533	0,008	0,525
60	7,928	7,773	0,155	0,006	0,149
70	8,090	8,434	-0,344	0,004	-0,348



Si nota, in modo quasi impercettibile, che si tratta del diagramma di una nave sbandata in cui l'angolo di inclinazione è poco meno di 2°.

La portata della falla si può calcolare conoscendo il volume totale della cassa:

$$Q = \frac{58{,}38}{4} = 14{,}6 \ {}^{\mathrm{m}^3}/_{\mathrm{s}}$$

Ipotizzando poi che il battente idrostatico sia uguale all'immersione iniziale (essendo la cassa una parte del doppiofondo) la superficie della falla si ottiene con la formula inversa di quella della portata:

$$S = \frac{Q}{3 \cdot \sqrt{T}} \cong 2 \ m^2$$

Utilizzando poi le formule dell'imbarco di un peso di piccola entità si ricavano una variazione d'assetto $C_T = -0{,}08 \ m$ e le immersioni finali $T'_A = 6{,}24 \ m$, $T'_F = 6{,}2 \ m$. Saremmo giunti alle stesse conclusioni utilizzando il metodo alternativo esposto nella sezione online del capitolo C.2, che prevede la iniziale conoscenza della coordinata longitudinale del baricentro della nave (LCG), che infatti era disponibile nei dati.

Svolgimento dell'esercizio 6
Prima di svolgere il quesito è opportuno calcolare gli elementi geometrici e meccanici delle carene dritte del pontone allo stato integro, seguendo le procedure esposte alle pagine 668 e 673 del volume. Ipotizzando che l'acqua di mare abbia il peso specifico standard si ottiene:

$\nabla = L \cdot B \cdot T = 1800\ m^3 \rightarrow \Delta = \nabla \cdot \gamma = 1845\ t, \quad VCB = 1{,}5\ m, LCB = 25\ m$

$LCG = 25\ m$ (perché è *on even keel*), $TCG = 0\ m$ (perché è trasversalmente dritto)

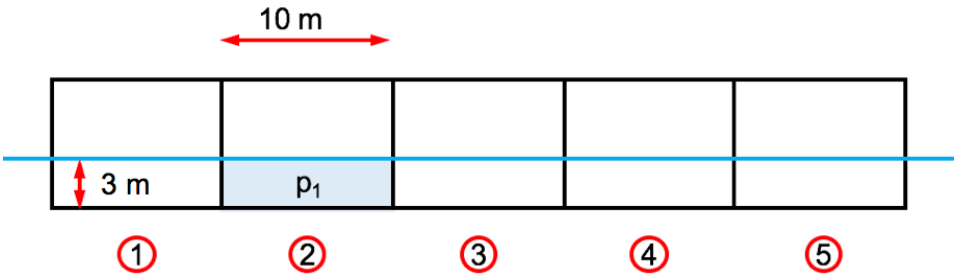
$$r = \frac{I_x}{\nabla} = \frac{B^2}{12 \cdot T} = 4\ m \rightarrow KMT = 5{,}5\ m \rightarrow GM_T = KMT - KG = 1{,}2\ m$$

$$R = \frac{I_y}{\nabla} = \frac{L^2}{12 \cdot T} = 69{,}44\ m \rightarrow KML = 70{,}94\ m \rightarrow GM_L = KML - KG = 66{,}64\ m$$

$$MTC = \frac{\Delta \cdot GM_L}{100 \cdot L} = 24{,}6\ \ {}^{\mathrm{tm}}/_{\mathrm{cm}} \qquad TPC = \frac{L \cdot B \cdot \gamma}{100} = 6{,}15\ \ {}^{\mathrm{t}}/_{\mathrm{cm}}$$

Metodo dell'imbarco del peso
Come abbiamo accennato a pagina 856 del volume si tratta di un metodo iterativo. Inizialmente, per semplicità, si ipotizza l'imbarco di un peso la cui quota corrisponde a quella del piano di galleggiamento dritto del pontone prima della falla.

1° tentativo



$p_1 = 10 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 1{,}025 = 369\ t,\ z_1 = 1{,}5\ m,\ x_1 = 15\ m,\ y_1 = 0\ m$; ne consegue:

$$KG' = \frac{1845 \cdot 4{,}3 + 369 \cdot 1{,}5}{1845 + 369} = 3{,}83\ m$$

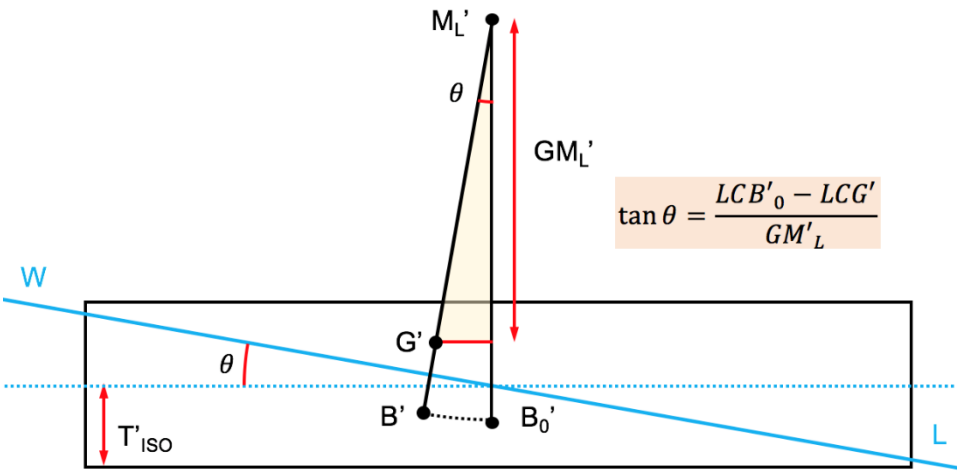
$$LCG' = \frac{1845 \cdot 25 + 369 \cdot 15}{1845 + 369} = 23{,}33\ m \qquad TCG' = 0\ m$$

$$\nabla' = \frac{\Delta'}{\gamma} = \frac{1845 + 369}{1{,}025} = 2160\ m^3 \quad \rightarrow \quad T'_{ISO} = \frac{\nabla'}{L \cdot B} = \frac{2160}{50 \cdot 12} = 3{,}6\ m$$

La variazione di immersione porta al cambiamento di varie grandezze: $VCB' = 1{,}8\ m$

$$R' = \frac{L^2}{12 \cdot T'} = 57{,}87\ m \quad \rightarrow \quad KML' = 59{,}67\ m \quad \rightarrow GM'_L = 55{,}84\ m$$

Per determinare il nuovo piano di galleggiamento (e quindi l'angolo d'assetto θ) si deve riflettere sul fatto che il centro di carena dritta B'_0 si dovrà spostare in B' affinché la spinta di Archimede e la forza peso della nave agiscano sulla stessa retta. Nella figura che segue si riportano questa considerazione grafica e la formula che permette di valutare l'angolo θ.

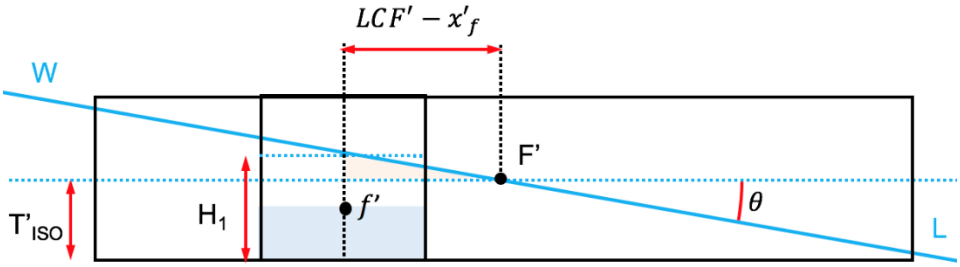


Poiché il pontone ha una forma regolare la posizione del centro di galleggiamento non cambia ($LCF' = 25\ m$), come non cambia la coordinata longitudinale del centro della carena dritta ($LCB'_0 = 25\ m$). Adottando il consueto sistema di riferimento, che vede l'origine delle coordinate longitudinali nella perpendicolare addietro, la coordinata longitudinale del centro f dello specchio libero del carico imbarcato è $x'_f = 15\ m$.

L'equilibrio idrostatico, quindi la fine dell'allagamento, si raggiunge quando il livello dell'acqua nel compartimento raggiunge la quota H che ha la linea di galleggiamento nel centro dello specchio libero dell'acqua imbarcata. Nel nostro esempio tale quota si può ricavare dalle considerazioni che faremo nella figura riportata nella pagina successiva.

$$H_1 = T'_{ISO} + \left(LCF' - x'_f\right) \cdot \tan\theta \;\rightarrow$$

$$H_1 = T'_{ISO} + \left(LCF' - x'_f\right) \cdot \frac{(LCB' - LCG')}{GM'_L}$$



$$H_1 = 3{,}6 + (25 - 15) \cdot \frac{(25 - 23{,}33)}{55{,}84} = 3{,}9\ m$$

Poiché il livello d'acqua iniziale nel compartimento era $3\ m$, si ha un dislivello $\delta_1 = 0{,}9\ m$ che richiede l'imbarco di un peso ulteriore d'acqua:

$p_2 = 0{,}9 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 1{,}025 = 110{,}7\ t$ applicato alla quota:

$$z_2 = 3 + \frac{\delta_1}{2} = 3{,}45\ m$$

2° tentativo

Ulteriore imbarco di un peso $p_2 = 110{,}7\ t$ alla quota $z_2 = 3{,}45\ m$.

$$KG'' = \frac{2214 \cdot 3{,}83 + 110{,}7 \cdot 3{,}45}{2214 + 110{,}7} = 3{,}81\ m$$

$$LCG'' = \frac{2214 \cdot 23{,}33 + 110{,}7 \cdot 15}{2214 + 110{,}7} = 22{,}93\ m \qquad TCG'' = 0\ m$$

$$\nabla'' = \frac{\Delta''}{\gamma} = \frac{2214 + 110{,}7}{1{,}025} = 2268\ m^3 \;\rightarrow\; T''_{ISO} = \frac{\nabla''}{L \cdot B} = \frac{2268}{50 \cdot 12} = 3{,}78\ m$$

$VCB'' = 1{,}89\ m, \quad LCF'' = 25\ m, \quad LCB''_0 = 25\ m$

$$R'' = \frac{L^2}{12 \cdot T''} = 55{,}11\ m \quad \rightarrow \quad KML'' = 58{,}89\ m \quad \rightarrow GM_L' = 55{,}08\ m$$

$$H_2 = 3{,}78 + (25 - 15) \cdot \frac{(25 - 22{,}93)}{55{,}08} = 4{,}15\ m$$

$$\delta_2 = H_2 - H_1 = 0{,}25\ m$$

Si rende pertanto necessario l'ulteriore imbarco di un peso:

$p_3 = 0{,}25 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 1{,}025 = 30{,}75\ t$ applicato alla quota:

$$z_3 = 3{,}9 + \frac{\delta_2}{2} = 4{,}025\ m$$

3° tentativo
Ulteriore imbarco di un peso $p_3 = 30{,}75\ t$ alla quota $z_3 = 4{,}025\ m$.

$$KG''' = \frac{2324{,}7 \cdot 3{,}81 + 30{,}75 \cdot 4{,}025}{2324{,}7 + 30{,}75} \cong 3{,}81\ m$$

$$LCG''' = \frac{2324{,}7 \cdot 22{,}93 + 30{,}75 \cdot 15}{2324{,}7 + 30{,}75} = 22{,}83\ m \qquad TCG''' = 0\ m$$

$$\nabla''' = \frac{\Delta'''}{\gamma} = \frac{2324{,}7 + 30{,}75}{1{,}025} = 2298\ m^3 \quad \rightarrow \quad T_{ISO}''' = \frac{\nabla'''}{L \cdot B} = \frac{2298}{50 \cdot 12} = 3{,}83\ m$$

$VCB''' = 1{,}915\ m, \quad LCF''' = 25\ m, \quad LCB_0''' = 25\ m$

$$R''' = \frac{L^2}{12 \cdot T'''} = 54{,}39\ m \quad \rightarrow \quad KML''' = 56{,}305\ m \quad \rightarrow GM_L''' = 52{,}495\ m$$

$$H_3 = 3{,}83 + (25 - 15) \cdot \frac{(25 - 22{,}83)}{52{,}495} = 4{,}24\ m$$

$$\delta_3 = H_3 - H_2 = 0{,}09\ m$$

Si rende pertanto necessario l'ulteriore imbarco di un peso:

$p_4 = 0{,}09 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 1{,}025 = 11{,}07\ t$ applicato alla quota:

$$z_4 = 4{,}15 + \frac{\delta_3}{2} = 4{,}195\ m$$

4° tentativo
Ulteriore imbarco di un peso $p_4 = 11{,}07\ \ t$ alla quota $z_4 = 4{,}195\ m$.

$$KG^{IV} = \frac{2355{,}45 \cdot 3{,}81 + 11{,}07 \cdot 4{,}195}{2355{,}45 + 11{,}07} \cong 3{,}81\ m$$

$$LCG^{IV} = \frac{2355{,}45 \cdot 22{,}83 + 11{,}07 \cdot 15}{2355{,}45 + 11{,}07} = 22{,}79\ m \qquad TCG^{IV} = \ 0\ m$$

$$\nabla^{IV} = \frac{\Delta^{IV}}{\gamma} = \frac{2355{,}45 + 11{,}07}{1{,}025} = 2308{,}8\ m^3 \rightarrow T_{ISO}^{IV} = \frac{\nabla^{IV}}{L \cdot B} = \frac{2308{,}8}{50 \cdot 12} = 3{,}85\ m$$

$$VCB^{IV} = 1{,}925\ m, \quad LCF^{IV} = 25\ m, \quad LCB_0^{IV} = 25\ m$$

$$R^{IV} = \frac{L^2}{12 \cdot T^{IV}} = 54{,}14\ m \quad \rightarrow \quad KML^{IV} = 56{,}065\ m \quad \rightarrow GM_L^{IV} = 52{,}255\ m$$

$$H_4 = 3{,}85 + (25 - 15) \cdot \frac{(25 - 22{,}79)}{52{,}255} = 4{,}27\ m$$

$$\delta_4 = H_4 - H_3 = 0{,}03\ m$$

Si rende pertanto necessario l'ulteriore imbarco di un peso:

$p_5 = 0{,}03 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 1{,}025 = 3{,}69\ t$

Si tratta però di un peso trascurabile in quanto assai minore del dislocamento unitario del pontone, ci fermiamo quindi a questo livello di iterazione. Riassumiamo di seguito i valori ottenuti, che ci permetteranno di ricavare le immersioni estreme e l'altezza metacentrica trasversale dopo l'allagamento.

$\Delta = 2366{,}52\ t$, $\nabla = 2308{,}8\ m^3$, $T_{ISO} = 3{,}85\ m$, $LCG = 22{,}79\ m$, $KG = 3{,}81\ m$, $LCB_0' = 25\ m$, $LCF' = 25\ m$, $VCB' = 1{,}925\ m$, $R = 54{,}14\ m$. Si determina quindi:

$$r = \frac{B^2}{12 \cdot T} = 3{,}117\ m \ \rightarrow KMT = 1{,}925 + 3{,}117 = 5{,}042\ m$$

Il momento d'inerzia dello specchio libero del carico imbarcato, fatto rispetto all'asse longitudinale passante per il suo centro, è:

$$i_x = \frac{l \cdot b^3}{12} = \frac{10 \cdot 12^3}{12} = 1440 \text{ m}^4$$

L'innalzamento della quota del baricentro dovuto al carico liquido è pertanto:

$$FSE = \frac{i_x \cdot \gamma}{\Delta} = \frac{1440 \cdot 1{,}025}{2366{,}52} = 0{,}624\ m$$

Possiamo quindi ricavare le altezze metacentriche effettive:

$$GM_T = 5{,}042 - (3{,}81 + 0{,}624) = 0{,}608\ m$$

$$GM_L = 56{,}065 - (3{,}81 + 0{,}624) = 51{,}631\ m$$

Possiamo ora ricavare il momento unitario d'assetto:

$$MTC = \frac{\Delta \cdot GM_L}{100 \cdot L} = \frac{2366{,}52 \cdot 51{,}631}{100 \cdot 50} = 24{,}44\ {}^{\text{tm}}/_{\text{cm}}$$

L'assetto finale si può ricavare facilmente con la relazione esposta nella sezione online del capitolo C.2:

$$TRIM = \frac{\Delta \cdot (LCB - LCG)}{100 \cdot MTC} = \frac{2366{,}52 \cdot (25 - 22{,}79)}{100 \cdot 24{,}44} = +\ 2{,}14\ m$$

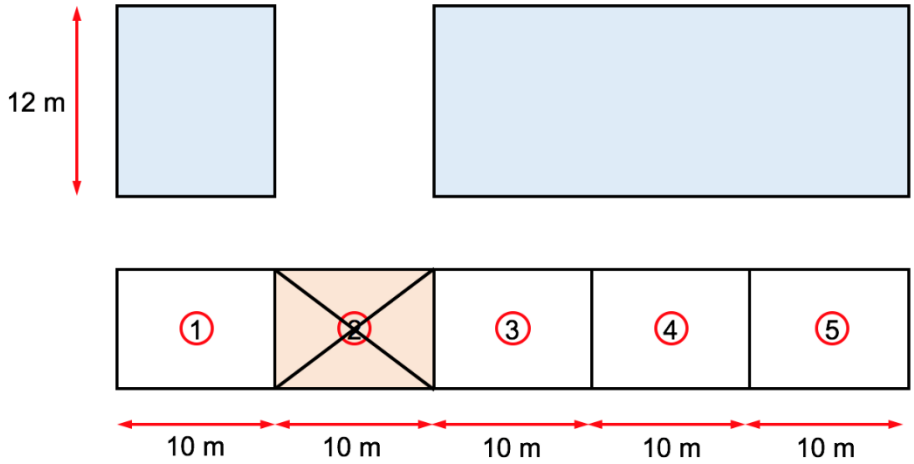
Le immersioni finali, essendo la chiatta un semplice pontone, saranno quindi:

$$T_A = T_{ISO} + \frac{TRIM}{2} = 4{,}92\ m$$

$$T_F = T_{ISO} - \frac{TRIM}{2} = 2{,}78\ m$$

Metodo di sottrazione di carena

In questo metodo, come abbiamo accennato a pagina 856 del volume, si ritiene che il dislocamento (e quindi il valore numerico del volume di carena) non cambino. Così come non cambiano le coordinate del baricentro del corpo galleggiante. Cambia però la sua forma e, di conseguenza, la forma della figura di galleggiamento. In pratica si studia un nuovo galleggiante (*residual buoyant body*) ottenuto sottraendo a quello iniziale il compartimento allagato. Si riporta in scala il galleggiante che andremo a studiare: in rosso è evidenziato, nel piano longitudinale, il compartimento sottratto al galleggiante, in blu la nuova figura di galleggiamento.



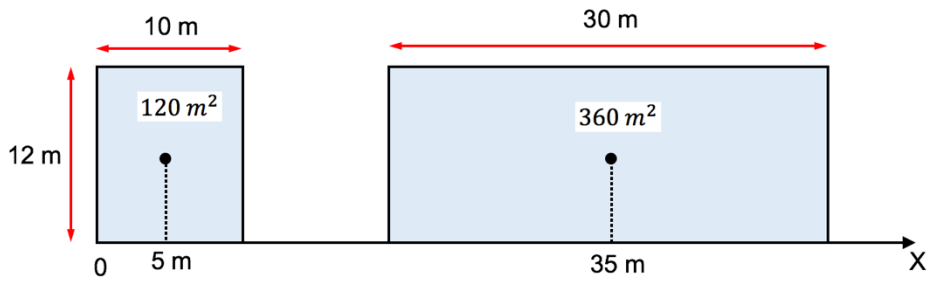
Ricapitolando, abbiamo come valori iniziali del nuovo galleggiante:

$\Delta = 1845\ t$, $\nabla = 1800\ m^3$, $LCG = 25\ m$, $KG = 4{,}3\ m$. La nuova A_{WL} sarà quindi:

$$A_{WL} = 50 \cdot 12 - 10 \cdot 12 = 480\ m^2$$

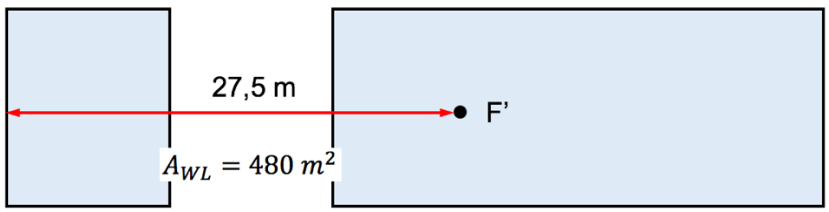
$$T'_{ISO} = \frac{\nabla}{A_{WL}} = 3{,}75\ m \quad \rightarrow \quad VCB' = 1{,}875\ m$$

Il centro F' della nuova figura di galleggiamento, in quanto essa è simmetrica, si trova sull'asse longitudinale di simmetria. La sua coordinata longitudinale la si può ricavare applicando il teorema dei momenti statici, con il sistema di riferimento esposto nella pagina seguente:

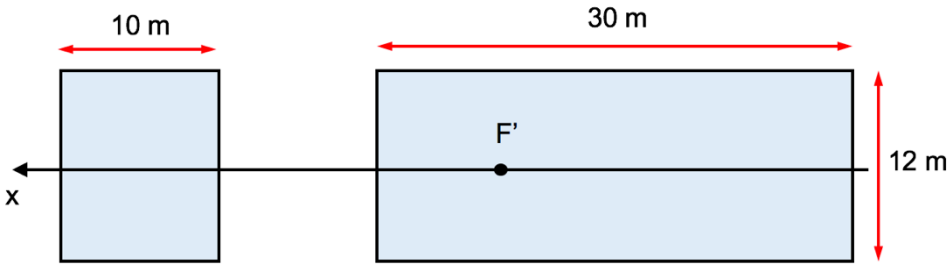


$$LCF' = \frac{120 \cdot 5 + 360 \cdot 35}{480} = 27{,}5\ m$$

La situazione è quindi la seguente:



Si può adesso calcolare il momento d'inerzia dell'area di galleggiamento rispetto all'asse longitudinale passante per F':

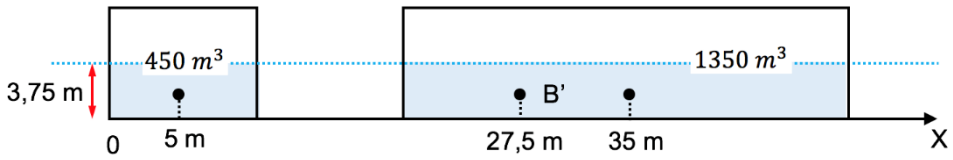


$$I'_x = \frac{10 \cdot 12^3}{12} + \frac{30 \cdot 12^3}{12} = 5760\ \mathrm{m}^4$$

$$r' = \frac{I'_x}{\nabla} = \frac{5760}{1800} = 3{,}2\ m \quad \rightarrow \quad KMT' = 1{,}875 + 3{,}2 = 5{,}075\ m \quad \rightarrow$$

$$GM_T = 5{,}075 - 4{,}3 = 0{,}775\ m$$

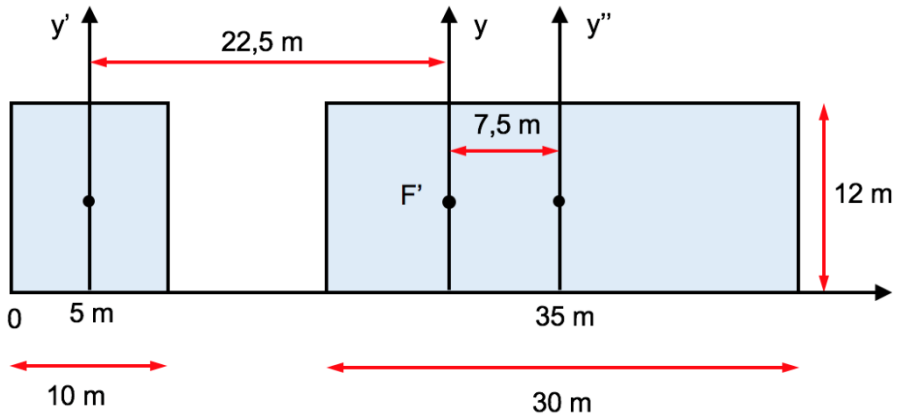
Usando il teorema dei momenti statici si ricava facilmente la coordinata longitudinale del centro della carena dritta.



$$LCB_0' = \frac{450 \cdot 5 + 1350 \cdot 35}{1800} = 27{,}5\ m$$

A tale risultato si poteva arrivare anche con la semplice logica, ma si sono voluti esporre tutti i passaggi per chiarezza.

Si deve adesso calcolare il momento d'inerzia dell'area di galleggiamento rispetto all'asse trasversale y passante per F'. Possiamo calcolare prima i momenti d'inerzia dei due rettangoli rispetto agli assi trasversali passanti per i loro centri e poi usare il teorema del trasporto.



MOMENTI NON TRASPORTATI	
$I_{y'} = \frac{12 \cdot 10^3}{12} = 1000\ \mathrm{m}^4$	$I_{y''} = \frac{12 \cdot 30^3}{12} = 27.000\ \mathrm{m}^4$

MOMENTI TRASPORTATI
$I_{y1} = 1000 + 120 \cdot 22{,}5^2 = 61.750\ \mathrm{m}^4$ $I_{y2} = 27.000 + 360 \cdot 7{,}5^2 = 47.250\ \mathrm{m}^4$
MOMENTO FINALE
$I'_y = 61.750 + 47.250 = 109.000\ m^4$

$$R' = \frac{I'_y}{\nabla} = \frac{109.000}{1800} = 60{,}555\ m \quad \rightarrow \quad KML' = 1{,}875 + 60{,}555 = 62{,}43\ m$$

$$GM_L = KML' - KG = 62{,}43 - 4{,}3 = 58{,}13\ m$$

$$MTC' = \frac{\Delta \cdot GM_L}{100 \cdot L} = \frac{1845 \cdot 58{,}13}{100 \cdot 50} = 21{,}45\ {}^{\mathrm{tm}}/_{\mathrm{cm}}$$

Si può adesso calcolare l'assetto finale del nuovo galleggiante:

$$TRIM' = \frac{\Delta \cdot (LCB' - LCG)}{100 \cdot MTC'} = \frac{1845 \cdot (27{,}5 - 25)}{100 \cdot 21{,}45} = +2{,}15\ m$$

Si possono quindi ricavare le immersioni finali:

$$\delta T_A = LCF' \cdot \frac{TRIM'}{L} = 27{,}5 \cdot \frac{2{,}15}{50} = +1{,}18\ m \rightarrow$$

$$\delta T_F = \delta T_A - TRIM' = -0{,}97\ m$$

$$T_A = T_{ISO} + \delta T_A = 3{,}75 + 1{,}18 = 4{,}93\ m$$

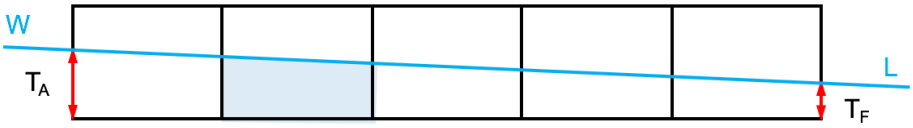
$$T_F = T_{ISO} + \delta T_F = 3{,}75 - 0{,}97 = 2{,}78\ m$$

Conclusioni

Paragoniamo i risultati ottenuti con i due metodi:

IMBARCO PESO	SOTTRAZIONE DI CARENA
$T_A = 4{,}92\ m, \quad T_F = 2{,}78\ m$ $\Delta = 2366{,}52\ t, \quad GM_T = 0{,}608\ m$	$T_A = 4{,}93\ m, \quad T_F = 2{,}78\ m$ $\Delta = 1845\ t, \quad GM_T = 0{,}775\ m$

Le immersioni sono praticamente le stesse. In figura si riporta la condizione finale.



Come è normale che sia, i due metodi portano a valori diversi di dislocamento ed altezza metacentrica. La loro equivalenza ai fini della stabilità è comunque dimostrata dal fatto che, a livello pratico, il coefficiente di resistenza alle inclinazioni trasversali resta lo stesso:

IMBARCO PESO	SOTTRAZIONE DI CARENA
$\Delta \cdot GM_T = 1438{,}8 \ \ \mathrm{t \cdot m}$	$\Delta \cdot GM_T = 1429{,}9 \ \ \mathrm{t \cdot m}$

Infine, è interessante osservare che:

- IL METODO DI SOTTRAZIONE DI CARENA non può essere usato dagli ufficiali a bordo perché sono necessarie le tavole idrostatiche del galleggiante residuo, che non si trovano nei manuali tecnici in dotazione alla nave. Tale metodo però è quello utilizzato dai software di gestione della stabilità, in quanto è espressamente richiesto nel capitolo II-1 della SOLAS per valutare le condizioni di stabilità di una nave che ha perso lo stato integro;

- IL METODO DELL'IMBARCO DEL PESO per essere messo in pratica necessita delle tavole idrostatiche a nave integra e del piano delle capacità, disponibili nello *stability booklet*. Può quindi essere messo in pratica dagli Ufficiali. Tuttavia si deve osservare che è un procedimento lungo e laborioso, che non fornisce valori di dislocamento e di altezza metacentrica confrontabili con i requisiti IMO per una nave allagata che, come si è detto, sono valutati con la sottrazione di carena.

4. SOLUZIONE DEI TEST A SCELTA MULTIPLA

QUESITO	RISPOSTA CORRETTA
1	Vero, Falso, Vero, Falso
2	Vero, Falso, Vero, Vero
3	Falso, Falso, Vero, Vero
4	b
5	Fermare la propulsione - Avvisare il Comandante - Annotare la posizione sulle carte nautiche e valutare la natura del fondale - Comunicare l'evento alle stazioni radio circostanti
6	c
7	c