Sezione online del Capitolo C.2

STABILITÀ E ASSETTO DELLA NAVE

Nave inclinata a causa dello scorrimento accidentale di parte del carico.

Indice:

1. TEST A SCELTA MULTIPLA 2

2. VARIAZIONE DI PESO SPECIFICO 4

3. ESERCIZI 5

4. SOLUZIONE DEGLI ESERCIZI 12

5. SOLUZIONE DEI TEST A SCELTA MULTIPLA 20

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

1. Se la nave ha una chiglia parallela al galleggiamento di progetto:
a) La linea di base corrisponde con la linea di costruzione;
b) Le linea di base corrisponde con la linea di sottochiglia;
c) La linea di costruzione corrisponde con la linea di sottochiglia;
d) La portata netta sarà molto piccola.

2. Quale delle seguenti grandezze non è reperibile nelle tavole idrostatiche?
a) *VCB*;
b) *KMT*;
c) *LCG*;
d) *KML*.

3. Una nave ha $L_{WL} = 120$ m, $B_X = 20$ m, $T_m = 5$ m, $C_B = 0{,}8$ m. Determinare il volume di carena.
a) 15.000 m^3;
b) 12.000 m^3;
c) 9600 m^3;
d) 7000 m^3.

4. Sapendo che l'immersione relativa al bordo libero estivo di una nave è 5,76 m, quanto sarà distante la linea di carico invernale da quella estiva?
a) 0,12 m;
b) 2,77 cm;
c) 0,57 m;
d) Di una distanza pari alla *FWA*.

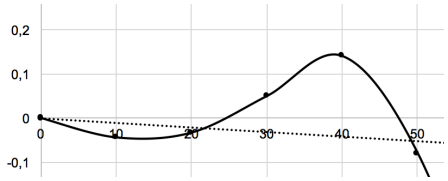
5. Si calcoli il dislocamento relativo all'immersione isocarenica di 8,00 m se il peso specifico dell'acqua fosse di 1,010 t/m^3.

T	DISP	DW	LCB	VCB	LCF	KMT	MCT	TPC	CB	WLA	WSA
m	t	t	m	m	m	m	tm/cm	t/cm		m2	m2
8.00	39251	28206	99.61	4.15	95.83	15.00	664.4	53.8	0.807	5245	7491
8.10	39789	28745	99.56	4.21	95.65	14.93	668.5	53.9	0.808	5256	7535
8.20	40328	29284	99.51	4.26	95.48	14.86	672.7	54.0	0.809	5267	7579

a) 39.789 t;
b) 40.181,0 t;
c) 38.676,6 t;
d) 37.000 t.

6. Which of the following elements is necessary to calculate the first trim correction?
a) *KG*;
b) *KML*;
c) *VCB*;
d) *LCF*.

7. La nave il cui diagramma dei bracci è riportato di lato:
a) È in equilibrio stabile quando si trova trasversalmente dritta;
b) Non rispetta i requisiti IMO per lo stato integro;
c) È una nave sbandata;
d) Ha $TCG \neq 0$.



8. L'area compresa tra l'asse delle ascisse e il diagramma dei bracci di stabilità da 0° fino all'angolo di capovolgimento è:
a) La riserva di spinta;
b) Il lavoro per unità di peso che serve per capovolgere la nave;
c) Una grandezza che si misura in $[\mathrm{t} \cdot \mathrm{m}]$;
d) Un lavoro.

9. Quale delle seguenti azioni può far tornare dritta una nave sbandata?
a) Riduzione degli specchi liberi;
b) Sbarco di peso dal centro di galleggiamento;
c) Aumento dell'altezza metacentrica longitudinale;
d) Sbarco di peso dal lato verso il quale la nave è inclinata.

10. Quale delle seguenti azioni aumenta la stabilità di forma?
a) Inserimento di bottazzi;
b) Imbarco di acqua nelle casse di zavorra;
c) Riduzione degli specchi liberi;
d) Sbarco di peso dal ponte di coperta.

11. Quale delle seguenti azioni fa aumentare il periodo di rollio della nave?
a) Ridurre gli specchi liberi;
b) Imbarcare acqua di zavorra nei doppifondi riempiendoli del tutto;
c) Spostare pesi verso l'alto;
d) Spostare trasversalmente dei pesi verso il centro della nave.

2. VARIAZIONE DI PESO SPECIFICO (*specific gravity variation*)

A pagina 672 del volume si è descritto un metodo per valutare la variazione d'assetto causata dalla variazione di peso specifico dell'acqua di mare. In questa sede si vuole proporre un esempio di calcolo, per capire l'entità di tale fenomeno a livello pratico.

La Good Hope galleggia in acqua con $\gamma = 1{,}025\ \mathrm{t/m^3}$ e ha $TRIM = +1{,}026\ m$, $\Delta = 7524{,}35$ t, $LCG = 70{,}071$ m. Vogliamo calcolare la variazione d'assetto che subirà la nave se il peso specifico dell'acqua diventasse $\gamma' = 1{,}000\ \mathrm{t/m^3}$.

Svolgimento

Interpolando le tavole idrostatiche con $\Delta = 7524{,}35$ t si ottiene $T = 4{,}270$ m e $TPC = 22{,}64$ t/cm. Passando da $\gamma = 1{,}025\ \mathrm{t/m^3}$ a $\gamma' = 1{,}000\ \mathrm{t/m^3}$ la nuova immersione isocarenica sarà quindi:

$$T' = 4{,}270 + \frac{7524{,}35}{4000 \cdot 22{,}64} = 4{,}353\ \mathrm{m}$$

Per questa nuova immersione si interpolano le tavole ricavando la nuova coordinata del centro della nuova carena dritta $LCB'_0 = 72{,}428$ m. Con la stessa immersione si interpolano le tavole per trovare il nuovo momento unitario d'assetto, riferito al peso specifico standard, $MTC'_{1{,}025} = 181{,}055\ \mathrm{t \cdot m/cm}$. Tale valore, essendo un elemento meccanico della carena dritta, va riportato al peso specifico attuale con la proporzione lineare:

$$MTC'_{1{,}025} : 1{,}025 = MTC' : \gamma$$

Nel nostro caso si ottiene:

$$MTC' = \frac{MTC'_{1{,}025}}{1{,}025} = 176{,}639\ \mathrm{t \cdot m/cm}$$

Il nuovo momento longitudinale a cui è soggetta la nave è:

$$M_L = 7524{,}35(72{,}428 - 70{,}071) = 17.734{,}89\ \mathrm{t \cdot m}$$

Il nuovo assetto è:

$$TRIM' = \frac{17734{,}89}{100 \cdot 176{,}639} = 1{,}004\ \mathrm{m}$$

Si è stimato un appruamento di soli 2,2 cm, valore trascurabile nella maggior parte dei casi a livello pratico. Ciò ci fa comprendere come questa valutazione non abbia un'importanza centrale nella stabilità che si troverà a gestire l'Ufficiale di coperta, mentre può essere rilevante per delle valutazioni di dettaglio o per i progettisti navali.

3. ESERCIZI (*exercises*)

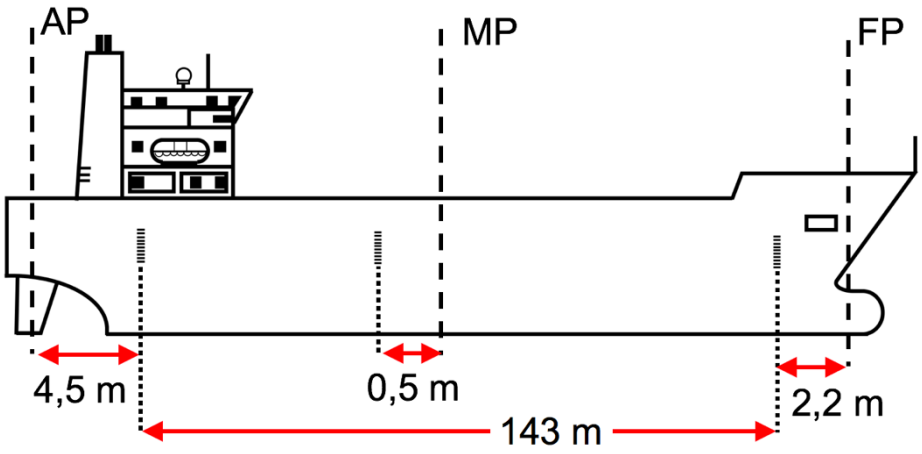
Per risolvere gli esercizi relativi alla Good Hope potrebbero essere necessarie le tavole idrostatiche e/o le tavole *KN* che, oltre a essere presenti nel volume, si riportano in coda al presente paragrafo.

Esercizio 1

La general cargo ship Good Hope è trasversalmente dritta con $KG = 8{,}649\ m$. Si leggono i seguenti pescaggi sulle scale di poppa, centro nave e prora:

$P_A = 6{,}20\ m$	$P_M = 5{,}68\ m$	$P_F = 5{,}24\ m$

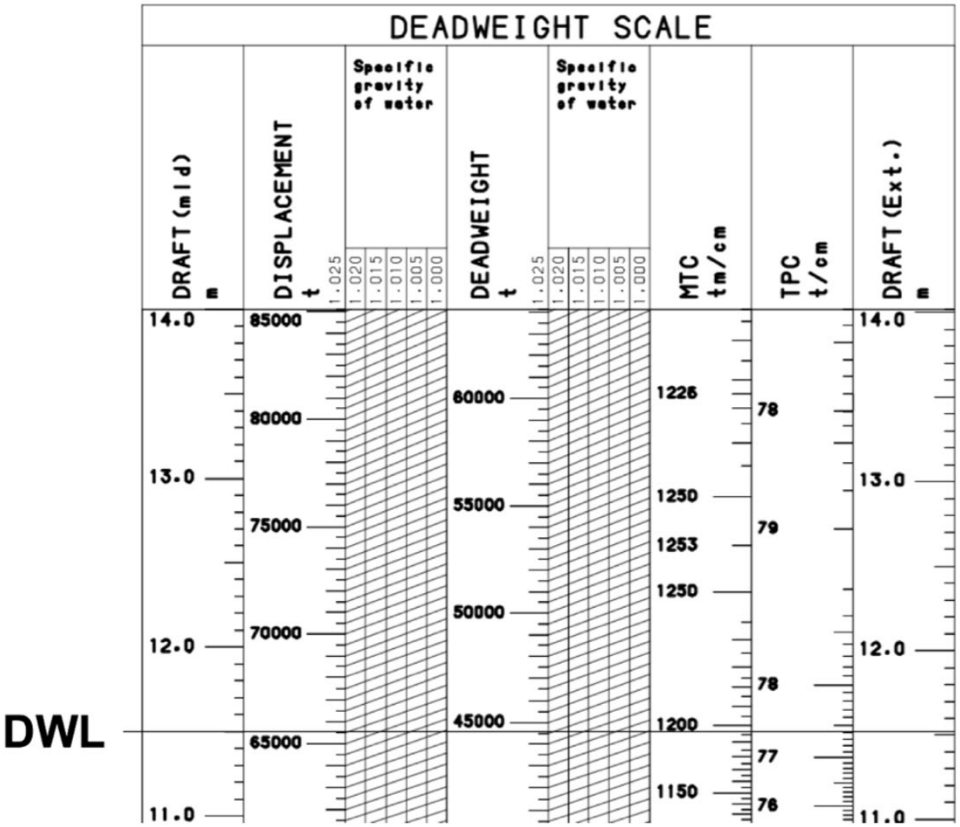
Sapendo che $\gamma = 1{,}022\ \mathrm{t/m^3}$, che lo spessore di chiglia è 2 cm e che le scale dei pescaggi hanno le caratteristiche riportate in figura, valutare se la nave rispetta il requisito IMO sull'altezza metacentrica allo stato integro e ricavare il dislocamento.



Lo stability booklet suggerisce di usare una media ponderata con denominatore 8 per il calcolo dell'immersione media ponderata.

Esercizio 2

Una nave deve affrontare un viaggio di 14 giorni, di cui i primi 5 in zona estiva e gli altri 9 in zona invernale. Il consumo giornaliero di bunker è di 95 t, quello di acqua dolce è di 11 t. A bordo si ha una rimanenza di bunker di 230 t e si vuole avere una riserva pari al 15% del bunker necessario per l'intero viaggio. I pesi morti sono 130 t, l'acqua di zavorra da imbarcare 1200 t, l'acqua dolce da imbarcare è invece 120 t. Determinare la portata netta usando l'estratto della scala delle portate esposto nella pagina successiva.



(estratto della scala delle portate necessaria per risolvere l'esercizio 2)

Esercizio 3

Un pontone ha $L = 110\ m$, $B = 14\ m$, $T_A = 4{,}6\ m$, $T_F = 4{,}2\ m$, $KG = 4{,}624\ m$ e galleggia in acqua di mare con $\gamma = 1{,}024\ \mathrm{t/m^3}$. Determinare quanto segue:

- l'altezza metacentrica trasversale;
- di quanto spostare verso prora un container oversize di 80 t per portare il pontone on even keel;
- il massimo effetto squat a cui sarebbe soggetto se navigasse con $STW = 7\ kts$;
- la nuova immersione isocarenica del pontone se il peso specifico dell'acqua di mare diventasse $\gamma' = 1{,}024\ \mathrm{t/m^3}$.

Esercizio 4
Si riportano di seguito i risultati della prova di stabilità della Good Hope.

INCLINING TEST REPORT	
Displacement	5660,7 t
LCG	62,546 m
TCG	0,000 m
VCG	7,827 m

Rispetto alla condizione di nave vacante a bordo sono presenti i seguenti pesi:

TIPO DI PESO	PESO [t]	*VCG* [m]	*FSE* complessivo [m]
Ballast (fore peak)	120	3,00	0,350
Ballast (lateral tanks)	150	5,90	
Ballast (double bottom)	654	1,50	
Fuel oil tanks	256	0,80	
	244	1,30	
F.W tanks	160	1,20	
Stores	280	6,00	N.A
Cargo	1697,4	12,00	N.A

Sapendo che la nave è *on even keel* a caricazione ultimata, determinare:

- la quota del baricentro e il dislocamento nell'attuale condizione di carico;
- tracciare il diagramma dei bracci di stabilità;
- tracciare sullo stesso foglio il diagramma dei bracci inclinanti causato dallo spostamento accidentale di un peso di 300 t di una distanza trasversale di 20,7 m;
- determinare l'angolo di equilibrio statico;
- determinare l'angolo di equilibrio dinamico.

NOTA: la parte grafica del presente esercizio può essere svolta tracciando i diagrammi a mano su un foglio di carta oppure, più semplicemente, usando un foglio di calcolo.

Esercizio 5
La Good Hope a caricazione quasi ultimata ha $T_A = 6{,}32\ m$, $T_F = 5{,}88\ m$, ed è inclinata trasversalmente di 0,5° verso dritta. L'acqua di mare ha $\gamma = 1{,}025\ \mathrm{t/m^3}$.

– Calcolare il peso di acqua di lavanda ($\gamma = 1{,}000\ \mathrm{t/m^3}$) da spostare dalla cassa 29 C alla 9 PS per raggiungere l'assetto ottimale di $+0{,}6\ m$. Si determini poi il tempo dell'operazione sapendo che la pompa sulla linea ha una portata di $300\ \mathrm{m^3/h}$;

– A operazione terminata la nave ha $KG = 7{,}994\ m$ (già corretto per l'effetto dei carichi liquidi). Calcolare la coordinata trasversale a cui imbarcare un contenitore di $32\ t$ sul ponte di coperta ($VCG\ =\ 17{,}4\ m$) per portare la nave trasversalmente dritta.

TANK	VOLUME TOT $[m^3]$	*VCG* $[m]$	*LCG* $[m]$	*TCG* $[m]$	Max *FSM* $[m^4]$
29 C	60,54	4,135	19,020	0,000	18
9 PS	178,12	3,037	95,311	0,000	1458

Esercizio 6
La Good Hope si trova sbandata di 1,5° a sinistra ed ha $T_A = 6{,}32\ m$, $T_F = 6{,}02\ m$, $KG = 8{,}104\ m$. Di seguito si riporta un estratto del piano delle capacità della nave.

TANK	*VCG* $[m]$	*LCG* $[m]$	*TCG* $[m]$	L · B · h	Elevation of the bottom
32 P	4,500	77,458	- 8,835	10,2 m · 3 m · 6,6 m	1,2 m
33 S	1,500	73,620	+ 2,614	8,4 m · 5,4 m · 3 m	0,0 m

– Calcolare il peso di acqua di zavorra da spostare dalla cassa 32 P (totalmente piena) alla cassa 33 S (totalmente vuota) per riportare la nave dritta a livello trasversale

– si valuti poi l'esatto valore di altezza metacentrica trasversale dopo tali operazioni e l'eventuale variazione d'assetto subita dalla nave.

Esercizio 7
La Good Hope galleggia con $T_{ISO} = 6{,}00\ m$, $KG = 8{,}10\ m$, inclinata trasversalmente di 0,5° verso dritta ($TCG = +\ 0{,}012\ m$). Si vuole usare una gru di bordo per imbarcare un contenitore oversize di $50\ t$. Sapendo che la testa della gru è posta a 21 m dalla linea di base e a 12 m dal piano diametrale dallo stesso lato dello sbandamento, calcolare l'angolo di sbandamento della nave durante le operazioni d'imbarco.

Esercizio 8
La nave da carico Good Hope è trasversalmente dritta con $T_A = 6{,}24\ m$, $T_F = 6{,}16\ m$, $KG = 9{,}013\ m$, $LCG = 70{,}58\ m$. Si intende sbarcare il carico riportato di seguito.

Disembarking plan

CARGO	WEIGHT $[t]$	*LCG* $[m]$	*TCG* $[m]$	*VCG* $[m]$
Trailers	2400 (to disembark)	73,7	+ 0,03	10,1

Contemporaneamente si procede a riempire le due casse di zavorra simmetriche WB7 (precedentemente vuote) fino all'80%. Di seguito un estratto della *sounding table*.

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	$\pm$ 2,406	0,329	59,6
40%	23,35	99,166	$\pm$ 2,528	0,562	59,6
60%	35,03	99,167	$\pm$ 2,569	0,792	59,6
80%	46,70	99,168	$\pm$ 2,589	1,022	59,6

Determinare:
- l'altezza metacentrica trasversale dopo tali operazioni;
- l'angolo di inclinazione trasversale dopo tali operazioni;
- le immersioni estreme al termine delle operazioni;
- la posizione dei punti neutri al termine delle operazioni.

HYDROSTATIC TABLES AD USO DIDATTICO

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

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).

4. SOLUZIONE DEGLI ESERCIZI

Svolgimento dell'esercizio 1
Per prima cosa occorre sottrarre lo spessore di chiglia ai pescaggi per ricavare le immersioni riferite alle marche:

POPPA	CENTRO NAVE	PRORA
$A = 6{,}18\ m$	$M = 5{,}66\ m$	$F = 5{,}22\ m$

Dalla figura si evince che $C_1 = +4{,}5\ m$, $C_2 = -0{,}5\ m$, $C_3 = -2{,}2\ m$, $L = 143\ m$ (si ricorda che i criteri con cui assegnare i segni alle distanze C sono riportati a pag. 633 del volume). Possiamo adesso calcolare le immersioni riferite alle perpendicolari:

$$T_A = A + \frac{A-F}{L} \cdot C_1 = 6{,}18 + \frac{0{,}96}{143} \cdot (+4{,}5) = 6{,}210\ m$$

$$T_M = M + \frac{A-F}{L} \cdot C_2 = 5{,}66 + \frac{0{,}96}{143} \cdot (-0{,}5) = 5{,}657\ m$$

$$T_F = F + \frac{A-F}{L} \cdot C_3 = 5{,}22 + \frac{0{,}96}{143} \cdot (-2{,}2) = 5{,}205\ m$$

L'immersione media ponderata risulta quindi:

$$T_P = \frac{T_A + 6 \cdot T_M + T_F}{8} = \frac{6{,}210 + 6 \cdot 5{,}657 + 5{,}205}{8} = 5{,}670\ m$$

Interpolando le tavole con tale immersione si ricava $LCF = 67{,}261\ m$, valore che ci permette di calcolare la *first trim correction* (come esposto a pag. 649 del volume):

$$C = \frac{(T_A - T_F)}{L_{pp}} \cdot \left(\frac{L_{pp}}{2} - LCF\right) = \frac{(6{,}21 - 5{,}205)}{149{,}7} \cdot (74{,}85 - 67{,}261) = +0{,}051\ m$$

Si conclude che: $T_{ISO} = T_P + C = 5{,}670 + 0{,}051 = 5{,}721\ m$. Interpolando le tavole idrostatiche con l'immersione isocarenica si ricava $\Delta = 10980\ t$, $KMT = 9{,}601\ m$.

Poiché le tavole idrostatiche sono riferite al peso specifico standard di 1,025 $\mathrm{t/m^3}$ si deve ricavare il dislocamento riferito al peso specifico attuale (1,022 $\mathrm{t/m^3}$):

$$\Delta_{1{,}022} = \frac{\Delta_{1{,}025}}{1{,}025} \cdot 1{,}022 = \frac{10980}{1{,}025} \cdot 1{,}022 = 10947{,}9\ t$$

Si ricava $GM = 9{,}601 - 8{,}649 = 0{,}952\ m$, che rientra nel minimo ammissibile sia per tutte le navi (0,15 m), sia per quelle che trasportano granaglie (0,30 m).

Svolgimento dell'esercizio 2
La *designed water line* (DWL) è riferita all'immersione estiva T_S, che è 11,5 m. Tuttavia, in questo esercizio, la minima portata lorda (DWT_{min}) deve corrispondere all'immersione invernale T_W, che fa parte dei dati. Essa può essere ricavata ricordando quanto previsto dalla *International Load Line Convention* (pag. 621 del volume):

$$T_W = T_S - \frac{T_S}{48} = 11{,}5 - \frac{11{,}5}{48} = 11{,}26\ m$$

Entrando nella scala delle portate con tale valore si ricava $DWT_{min} \cong 42.700\ t$. Il calcolo del bunker, esposto a pag. 644 del volume, è il seguente:

$$bunker = 95 \cdot 14 + 95 \cdot 14 \cdot 0{,}15 - 230 = 1299{,}5\ t$$

Si può adesso calcolare la portata netta, utilizzando sempre le formule esposte a pag. 644 del volume:

$$NWT = 42.700 + (5 \cdot 95 + 5 \cdot 11) - (1299{,}5 + 230 + 1200 + 120 + 130) \rightarrow$$

$$NWT = 40.250{,}5\ t$$

Svolgimento dell'esercizio 3
Si tratta di un problema di stabilità statica riferito a un pontone, simile a quelli esposti a pagina 668 e 673 del volume. Seguono i passaggi più importanti dello svolgimento.

L'immersione media risulta essere $T = 4{,}4\ m$. La quota del metacentro trasversale è:

$$KMT = \frac{T}{2} + \frac{B^2}{12 \cdot T} = 5{,}912\ m \rightarrow GM_T = KMT - KG = 1{,}288\ m$$

Per rispondere al secondo quesito si calcola prima MTC, poi la distanza:

$$KML = \frac{T}{2} + \frac{L^2}{12 \cdot T} = 231{,}367\ m \rightarrow GM_L = KML - KG = 226{,}743\ m$$

$$MTC = \frac{B \cdot T \cdot \gamma \cdot GM_L}{100} = 142{,}5\ t \cdot \mathrm{m/cm} \qquad C_T = -0{,}40\ m$$

$$x = \frac{100 \cdot MTC \cdot |C_T|}{p} = 71{,}25\ m$$

Lo squat massimo si stima facilmente (essendo $C_B = 1$): $s = 7^2/100 = 0{,}49\ m$. Usando sia il metodo esatto (pag. 638 del volume) sia quello approssimato (pag. 639 del volume) si ricava un'immersione di 4,383 m dopo il cambio di peso specifico.

Svolgimento dell'esercizio 4
La nuova quota del baricentro si ricava applicando il teorema dei momenti statici:

$$M_z = 120 \cdot 3 + 150 \cdot 5{,}9 + 654 \cdot 1{,}5 + 256 \cdot 0{,}8 + 244 \cdot 1{,}3 + 160 \cdot 1{,}2 + 280 \cdot 6 + 1697{,}4 \cdot 12$$

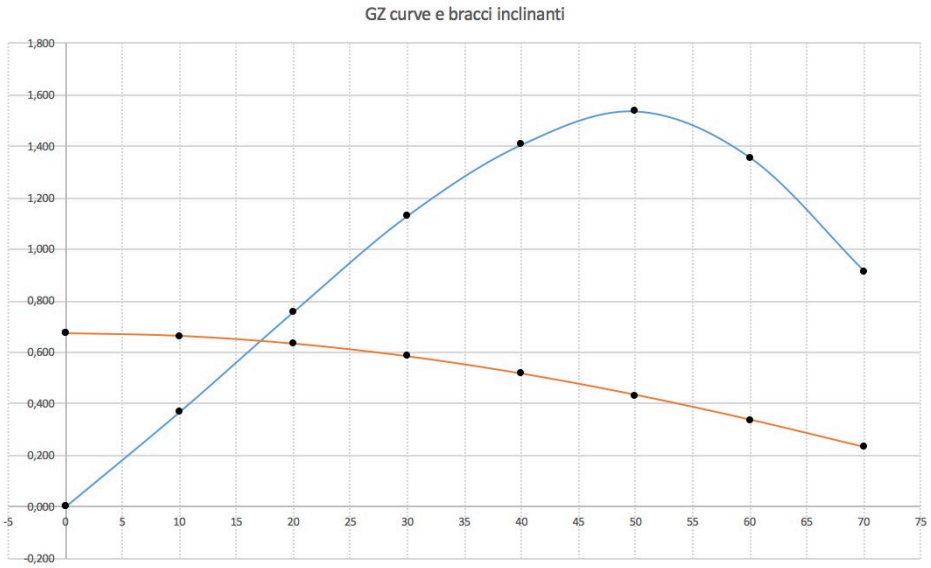
$$\rightarrow M_z = 24.988{,}8 \ \mathrm{t \cdot m}$$

$$P_{TOT} = 3561{,}4\ t \qquad \Delta = \Delta_{LS} + P_{TOT} = 5660{,}7 + 3561{,}4 = 9222{,}1\ t$$

Il dislocamento nelle tavole idrostatiche corrisponde a un'immersone isocarenica di esattamente 5,00 m.

$$KG = \frac{\Delta_{LS} \cdot KG_{LS} + M_z}{\Delta} + FSE = \frac{5660{,}7 \cdot 7{,}827 + 24.988{,}8}{9222{,}1} + 0{,}350 = 7{,}864\ m$$

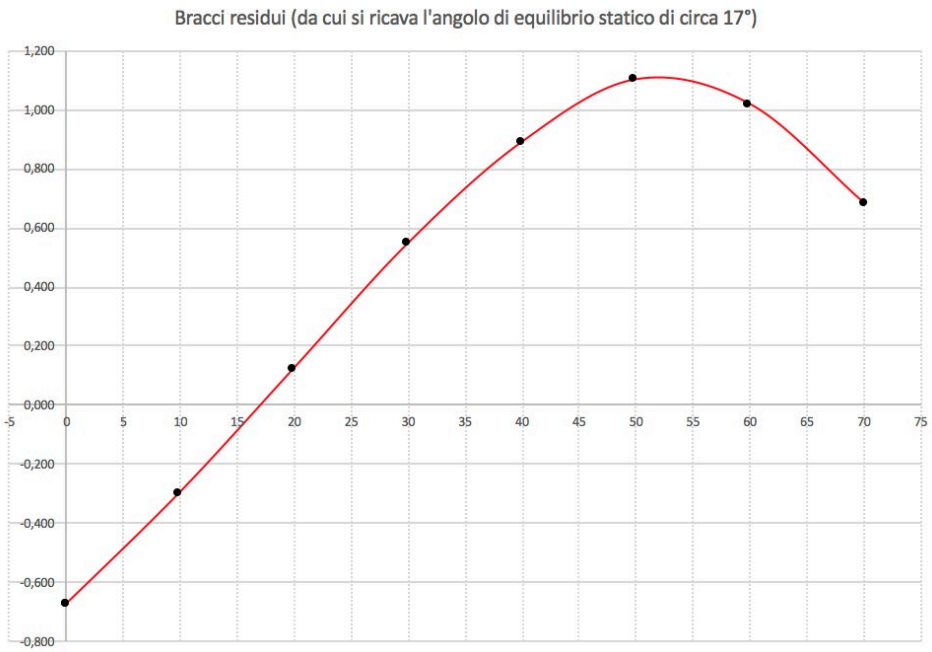
Il diagramma dei bracci si costruisce usando *KG* e le tavole *KN*, con il procedimento esposto a pag. 664 del volume. Il diagramma dei bracci inclinanti, da sovrapporre a quello dei bracci di stabilità, si ottiene dividendo il momento sbandante per Δ. Nelle figure seguenti si riportano i risultati e i passaggi su di un foglio di calcolo.



Angl [rad]	Angle of heel [°]	KN	KG*sin heel	GZ	(P*y*cos heel)/disp
0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,673
0,002	0,1	0,017	0,014	0,003	0,673
0,175	10	1,734	1,366	0,368	0,663
0,349	20	3,448	2,690	0,758	0,633
0,524	30	5,064	3,932	1,132	0,583
0,698	40	6,463	5,055	1,408	0,516
0,873	50	7,561	6,024	1,537	0,433
1,047	60	8,167	6,810	1,357	0,337
1,222	70	8,305	7,390	0,915	0,230

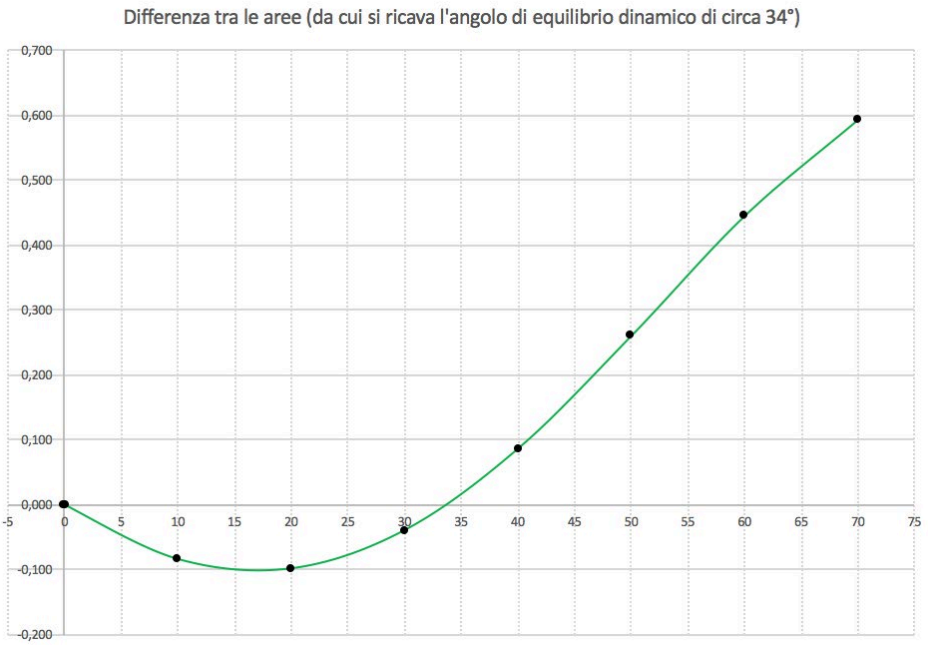
Sottraendo ai bracci di stabilità quelli inclinanti si ottiene il diagramma dei bracci residui di una nave sbandata, la cui intersezione con l'asse delle ascisse (circa 17°) è l'angolo di equilibrio statico.

Angle of heel [°]	KN	KG*sin heel	GZ	(P*y*cos heel)/disp	Bracci residui
0	0,000	0,000	0,000	0,673	-0,673
0,1	0,017	0,014	0,003	0,673	-0,670
10	1,734	1,366	0,368	0,663	-0,295
20	3,448	2,690	0,758	0,633	0,126
30	5,064	3,932	1,132	0,583	0,549
40	6,463	5,055	1,408	0,516	0,892
50	7,561	6,024	1,537	0,433	1,104
60	8,167	6,810	1,357	0,337	1,020
70	8,305	7,390	0,915	0,230	0,685



Per trovare l'angolo di equilibrio dinamico si deve tracciare la curva che, per ogni angolo, indica l'area sottesa dalla curva dei bracci residui da 0° fino a quell'angolo. Possiamo ricavare tali valori usando il metodo di Bézout (sempre riportato nei libri di testo scolastici) oppure con la semplice logica, immaginando che i punti della curva dei bracci residui siano uniti da segmenti rettilinei. Si può dimostrare che dove il citato diagramma delle aree interseca l'asse delle ascisse abbiamo l'angolo di equilibrio dinamico, perché si verifica la condizione esposta a pag. 707 del volume. Nel nostro caso tale angolo equivale a circa 34°.

Angl [rad]	Angle of heel [°]	KN	KG*sin heel	GZ	(P*y*cos heel)/disp	Bracci residui	Aree bracci residui [m*rad]
0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,673	-0,673	0,000
0,002	0,1	0,017	0,014	0,003	0,673	-0,670	-0,001
0,175	10	1,734	1,366	0,368	0,663	-0,295	-0,085
0,349	20	3,448	2,690	0,758	0,633	0,126	-0,099
0,524	30	5,064	3,932	1,132	0,583	0,549	-0,040
0,698	40	6,463	5,055	1,408	0,516	0,892	0,085
0,873	50	7,561	6,024	1,537	0,433	1,104	0,260
1,047	60	8,167	6,810	1,357	0,337	1,020	0,445
1,222	70	8,305	7,390	0,915	0,230	0,685	0,594



Il tracciamento del diagramma dei bracci *GZ* può essere quindi molto utile per stimare la stabilità della nave quando sono possibili angoli di inclinazione non trascurabili. Nel volume 2 tratteremo in dettaglio questa tematica, riportando dei casi pratici legati anche all'inclinazione che può subire la nave sottoposta all'azione del vento.

Risultati dell'esercizio 5
L'immersione media risulta $T_m = 6{,}10\ m$ perciò non è necessario far interpolazioni sulle tavole idrostatiche. Usando il piano delle capacità si ricava che le due casse distano longitudinalmente di $76{,}291\ m$. La variazione d'assetto richiesta è $+0{,}16\ m$. Ne consegue che il peso da spostare (calcolato sulla base di quanto esposto a pag. 681 del volume) è circa $49\ t$ (che equivalgono a $49\ m^3$ nel nostro esempio). In base alla portata della pompa l'operazione richiederà $\cong$ 10 minuti. Utilizzando il teorema dei momenti statici si ricava che, in seguito all'imbarco, $KG' = 8{,}019\ m$. Poiché il peso è minore di 10 volte il *TPC* si può ritenere l'operazione un imbarco di lieve entità, quindi $KMT' \cong KMT = 1{,}469\ m$. Si può quindi calcolare la distanza dell'imbarco:

$$y = \frac{\Delta' \cdot GM'_T \cdot \tan\varphi}{p} = 4{,}79\ m \qquad \text{(lato di sinistra)}$$

Svolgimento dell'esercizio 6
Non essendo specificato nel testo, si considera $\gamma = 1{,}025\ \mathrm{t/m^3}$ per l'acqua di mare e per quella di zavorra. La componente trasversale dello spostamento, che si ricava dal piano delle capacità, è $y = 8{,}835 + 2{,}614 = 11{,}449\ m$. L'immersione media è $6{,}17\ m$ per la quale, interpolando le tavole idrostatiche, si ricavano i seguenti valori:

$$\Delta = 12108{,}1\ t, \qquad MTC = 235{,}4\ \mathrm{t \cdot m/cm}, \qquad KMT = 9{,}468\ m$$

Quindi l'altezza metacentrica iniziale è $GM = KMT - KG = 1{,}364\ m$. Con questi dati si ricava facilmente il peso da spostare, come esposto a pagina 677 del volume:

$$p = \frac{12.108{,}1 \cdot 1{,}364 \cdot \tan 1{,}5°}{11{,}449} = 37{,}8\ t\ \cong 36{,}9\ m^3$$

Con qualche semplice considerazione logica si conclude che la 32P passerà da un riempimento del 100% a uno dell'82%, mentre la 33S passerà dallo 0% al 27%. A operazioni terminate si deve quindi considerare l'effetto degli specchi liberi per le casse (*FSE*). Calcoliamo questo effetto, come esposto a pag. 714 e 715 del volume:

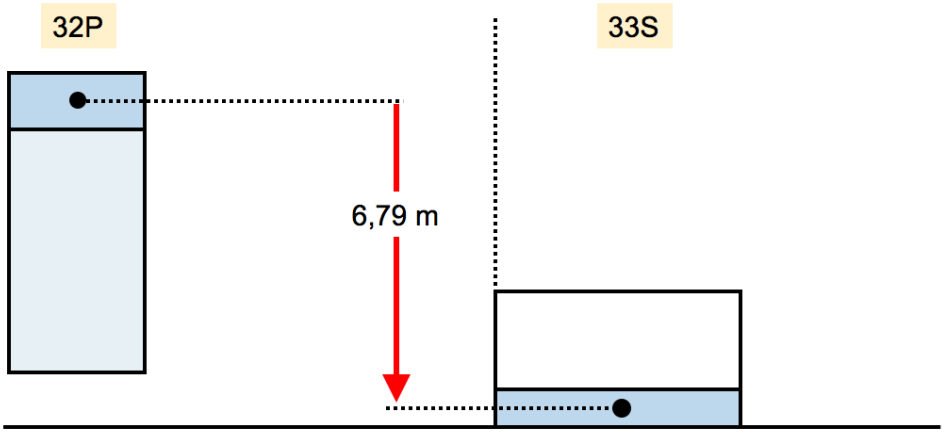
$$FSE_{TOT} = \sum FSE = FSE_{32P} + FSE_{33S}$$

Poiché le due casse sono dei parallelepipedi si conclude che:

$$FSE_{TOT} = \frac{\gamma}{12 \cdot \Delta} \cdot (L_{32P} \cdot B_{32P}^3 + L_{33S} \cdot B_{33S}^3) = 0{,}011\ m$$

Tuttavia, a esser precisi, si deve osservare che lo spostamento di un carico liquido a livello trasversale ha spesso anche una componente verticale che influisce sulla

posizione del baricentro della nave. Tale fenomeno, per il nostro esempio, è spiegato nella seguente figura (la parte in blu scuro rappresenta l'acqua spostata tra le casse).



$$GG'_V = \frac{p \cdot z}{\Delta} = \frac{37{,}8 \cdot 6{,}79}{12108{,}1} = 0{,}021\ m$$

L'altezza metacentrica finale sarà quindi: $GM'_T = GM_T - FSE + GG'_V = 1{,}374\ m$.
La variazione d'assetto, calcolabile conoscendo MTC e la componente longitudinale dello spostamento, è in questo esercizio inferiore ad 1 cm e quindi trascurabile.

Svolgimento dell'esercizio 7
Entrando nelle tavole con $T_{ISO} = 6\ m$ si ricava $\Delta = 11.678{,}1\ t$ e $KMT = 9{,}52\ m$. Poiché $p < 10 \cdot TPC$ si ritiene un imbarco di lieve entità, quindi $KMT' \cong KMT$. Quando la gru sarà in forza per imbarcare il peso, ai fini della statica, quest'ultimo comparirà sulla testa della stessa ($z_T = 21\ m$, $y_T = 12\ m$). Si applica il teorema dei momenti statici:

$$KG' = \frac{\Delta \cdot KG + p \cdot z_T}{\Delta + p} = \frac{11.678{,}1\ \cdot 8{,}1 + 50 \cdot 21}{11678{,}1\ + 50} = 8{,}155\ m$$

$$TCG' = \frac{\Delta \cdot TCG + p \cdot y_T}{\Delta + p} = \frac{11.678{,}1\ \cdot 0{,}012 + 50 \cdot 12}{11.678{,}1\ + 50} = 0{,}063\ m$$

Si ricava l'angolo di inclinazione seguendo le indicazioni esposte a pagina 689 del volume.

$$\tan \varphi = \frac{TCG'}{GM'_T} = \frac{0{,}063}{(9{,}52 - 8{,}155)} \rightarrow \varphi \cong 2{,}6°$$

Risultati dell'esercizio 8
L'immersione media iniziale è $6{,}2\ m$ a cui corrisponde nelle tavole $\Delta = 12184{,}2\ t$, $LCB = 70{,}729\ m$. Risulta $\Delta' = 9880\ t$, con cui interpolando le tavole si ricava:

$T'_{ISO} = 5{,}273\ m$, $MTC' = 211{,}3$ tm/cm, $LCF' = 67{,}618\ m$, $LCB' = 71{,}535\ m$, $KMT' = 9{,}790\ m$

Applicando quanto esposto a pagina 688 del volume si ricava $KG' = 8{,}671\ m$. Le correzioni per i carichi liquidi relative alle due casse risultano $FSE_{TOT} = 0{,}012\ m$. Quindi $GM'_T = 1{,}107\ m$.

Applicando quanto esposto a pagina 689 del volume si ricava $TCG' = -0{,}007\ m$ e quindi un angolo di inclinazione trasversale di circa 0,4° a sinistra.

Le nuove immersioni si possono calcolare con il metodo tradizionale, esposto a pagina 690 del volume. Risulta $X_{Bz} = 67{,}273\ m$, $C_T = 0{,}585\ m$, $TRIM' = 0{,}665\ m$, $\delta T_A = 0{,}300\ m$, $\delta T_F = -0{,}365\ m$, $T'_A = 5{,}573\ m$, $T'_F = 4{,}908\ m$.

♦ *Approfondimento.*

La gran parte degli *stability booklets* suggerisce un metodo alternativo per il calcolo delle nuove immersioni, che si basa sul *trimming moment* di cui si è parlato a pagina 672 del volume. In particolare viene suggerito di calcolare l'assetto finale ($TRIM'$) in seguito all'imbarco di uno o più pesi con la relazione:

$$TRIM' = \frac{\Delta(LCB' - LCG')}{100 \cdot MTC'}$$

dove LCG' si calcola grazie al teorema dei momenti statici come segue:

$$LCG' = \frac{\Delta \cdot LCG + \sum p \cdot x}{\Delta'}$$

Nel volume 1 si è scelto per motivi di spazio di non esporre questo metodo che, sebbene più legato alle reali necessità, non veniva proposto in ambito scolastico fino al recente passato. Infatti la gran parte degli esercizi di stabilità (anche in sede d'esame per i titoli professionali) non fornisce l'iniziale coordinata longitudinale del baricentro (LCG), indispensabile per calcolare LCG' e quindi l'assetto finale. Tratteremo in modo approfondito di questo metodo nel volume 2.

Il metodo alternativo appena esposto si può applicare all'esercizio 8, perché è fornito il valore iniziale di LCG. Con il teorema dei momenti statici si ricava $LCG' = 70{,}1\ m$. L'assetto finale risulta $TRIM' = 0{,}671\ m$, che differisce di meno di 1 cm dal valore calcolato con il metodo tradizionale.

5. SOLUZIONE DEI TEST A SCELTA MULTIPLA

QUESITO	RISPOSTA CORRETTA
1	a
2	c
3	c
4	a
5	c
6	d
7	b
8	b
9	d
10	a
11	c