

**Riccardo Tarchini**

# **NAVIGATOR'S MANUAL**

**Prontuario completo per Allievi e Ufficiali di Coperta  
della Marina Mercantile**

**il** <sup>E D I Z I O N I</sup> **Frangente**  
**EDUCATIONAL**

# SOMMARIO

## 1 NAVIGAZIONE

### 1.1 ORIENTAMENTO SULLA TERRA 32

1.1.1 Forma della terra	32
1.1.2 Coordinate terrestri	34
1.1.3 Il miglio marino	34
1.1.3.1 Conversioni	35
1.1.4 Casi particolari di navigazione	35
1.1.5 Orizzonte	36
1.1.5.1 Portata geografica	37
1.1.5.2 Distanza da un oggetto di elevazione nota situato entro l'orizzonte	37
1.1.6 Linea meridiana	38
1.1.7 Rosa dei venti	38
1.1.8 Rotta e Prora	38
1.1.9 Semiretta di rilevamento	39
1.1.9.1 Relazioni	40

### 1.2 NAVIGAZIONE STIMATA 42

1.2.1 Misura della velocità	42
1.2.1.1 Tachimetro e solcometro a pressione idraulica (a tubo di Pitot)	42
1.2.1.2 Solcometro Doppler	43
1.2.2 Errore di stima	44

### 1.3 MAGNETISMO E BUSSOLA MAGNETICA 45

1.3.1 Campo magnetico terrestre	45
1.3.2 Bussola magnetica	46
1.3.2.1 Ferri dolci e ferri duri	46
1.3.2.2 Parti di una bussola magnetica	47
1.3.2.3 Determinazione della declinazione magnetica	48
1.3.2.4 Determinazione della deviazione magnetica	49
1.3.2.5 Compensazione	49
1.3.2.6 Conversione e correzione di prora e rilevamenti	52
1.3.2.7 Caratteristiche della bussola magnetica	52

<b>1.4 LA GIROBUSSOLA</b>	<b>54</b>
1.4.1 Girostato e giroscopio	54
1.4.1.1 Inerzia giroscopica	54
1.4.1.2 Precessione	55
1.4.2 Orientamento del giroscopio	56
1.4.2.1 Sospensione e zavorramento del giroscopio	57
1.4.3 Deviazioni della girobussola	58
1.4.3.1 Parti di una girobussola	59
<b>1.5 BUSSOLE A FIBRE OTTICHE</b>	<b>61</b>
<b>1.6 BUSSELA SATELLITARE</b>	<b>62</b>
<b>1.7 CARTE NAUTICHE</b>	<b>63</b>
1.7.1 Tipi di carte	63
1.7.1.1 Proiezione cilindrica centrale	63
1.7.1.2 Conica centrale (di Lambert)	63
1.7.1.3 Proiezioni prospettiche	64
1.7.1.4 Carta gnomonica	64
1.7.1.5 Carte stereografiche	65
1.7.1.6 Carte ortografiche	65
1.7.1.7 Carta di Mercatore	67
1.7.1.8 Piano nautico	68
1.7.1.9 Aggiornamento carte nautiche	68
<b>1.8 PUBBLICAZIONI NAUTICHE ITALIANE</b>	<b>70</b>
1.8.1 Portolani	70
1.8.2 Elenco dei fari e dei segnali da nebbia	70
1.8.3 Radioservizi per la navigazione	72
<b>1.9 PUBBLICAZIONI NAUTICHE STRANIERE</b>	<b>73</b>
1.9.1 Admiralty Sailing Directions	73
1.9.2 Mariners Handbook - NP 100	73
1.9.3 Guide to port entries	73
1.9.4 Admiralty List of light and fog signals (ALL)	73
1.9.5 Admiralty List of radio signals - NP282	74
1.9.6 Admiralty Tide Tables – NP201-206	74
1.9.7 Admiralty Ocean Passages for the World - NP136	74

1.9.8 INT-1	75
1.9.9 Correzioni/aggiornamenti delle Pubblicazioni	75
1.9.10 IALA – NP 735	77
1.9.10.1 Segnali laterali	77
1.9.10.2 Segnali canale preferenziale	77
1.9.10.3 Segnali cardinali	77
1.9.10.4 Pericolo Isolato	77
1.9.10.5 Acque sicure	78
1.9.10.6 Segnali speciali	78
1.9.10.7 Relitto affondato	80
1.9.11 Ship's Routeing	81
<b>1.10 NAVIGAZIONE COSTIERA</b>	<b>85</b>
1.10.1 Luogo di posizione	85
1.10.2 Nozioni basilari di carteggio nautico	86
1.10.3 Luoghi di posizione della navigazione costiera	89
1.10.3.1 Semiretta di Rilevamento (o azimut)	89
1.10.3.2 Cerchio di uguale distanza	90
1.10.3.3 Cerchio capace	90
1.10.3.4 Come costruire i cerchi capaci	90
1.10.3.5 Allineamento	90
1.10.3.6 Linea batimetrica	92
1.10.3.7 Metodo del raddoppio di un rilevamento polare (45 e trasverso)	92
1.10.3.8 Metodo della «Serie di Troub»	92
1.10.3.9 Trasporto di un luogo di posizione	93
1.10.3.10 Rotta di soccorso	94
<b>1.11 VENTO E CORRENTE</b>	<b>96</b>
1.11.1 Azione del vento	96
1.11.1.1 Vento reale e vento apparente	96
1.11.2 Azione della corrente	98
1.11.3 Azione combinata vento e corrente	98
1.11.4 Problemi delle correnti	98
<b>1.12 MISURA DELL PROFONDITÀ</b>	<b>102</b>
1.12.1 Scandagli ultrasonori	102
<b>1.13 PIANIFICAZIONE DEL VIAGGIO</b>	<b>105</b>

1.13.1 Appraisal	106
1.13.2 Planning	109
1.13.3 Execution	114
1.13.4 Monitoring	115
<b>1.14 CARTOGRAFIA ELETTRONICA</b>	<b>117</b>
1.14.1 ECDIS	117
1.14.2 Tipi di carte elettroniche	118
1.14.3 Livelli di prestazione dell'ECDIS	121
1.14.4 Pianificazione con l'ECDIS	122
1.14.5 Distribuzione, acquisto e aggiornamento della cartografia elettronica	131
1.14.6 Registrazione dei dati	134
<b>1.15 TRAIETTORIE NAUTICHE</b>	<b>135</b>
1.15.1 Lossodromia	135
1.15.1.1 Equazione della lossodromia	135
1.15.1.2 Lossodromie degeneri	135
1.15.1.3 Problemi nautici della lossodromia	136
1.15.1.4 Primo problema della Lossodromia – piccole distanze $m \leq 500$ nm	136
1.15.1.5 Secondo problema della Lossodromia – piccole distanze $m \leq 500$ nm	137
1.15.1.6 Primo problema della Lossodromia – grandi distanze $m > 500$ nm	138
1.15.1.7 Secondo problema della Lossodromia – grandi distanze $m > 500$ nm	139
1.15.1.8 Intersezione della lossodromia con un parallelo di latitudine $\varphi_x$	140
1.15.1.9 Intersezione della lossodromia con un meridiano di longitudine $\lambda_x$	140
1.15.2 Ortodromia	141
1.15.2.1 Equazione dell'ortodromia	141
1.15.2.2 Calcoli ortodromici	142
1.15.2.3 Metodi per seguire l'ortodromia	146
1.15.2.4 Spezzata lossodromica	147
1.15.2.5 Navigazione mista	150
<b>1.16 NAVIGAZIONE INTEGRATA</b>	<b>152</b>
1.16.1 Autopilota	154
1.16.1.1 Funzioni del Trackpilot	156
1.16.2 RADAR	161
1.16.2.1 Principio di funzionamento	162
1.16.2.2 Caratteristiche di un radar	162

1.16.2.3	Regolazioni del radar	163
1.16.2.4	Settori ciechi e disturbi	164
1.16.2.5	Utilizzo pratico del radar	165
1.16.2.6	Visualizzazioni radar	165
1.16.2.7	Il radar ARPA	168
1.16.2.8	Racon e Ramark	170
1.16.3	Cinematica navale	171
1.16.3.1	Plotting	172
1.16.3.2	Rapportatore diagramma	173
1.16.3.3	Problema preliminare	178
1.16.3.4	Manovra evasiva	180
1.16.3.5	Rendez-vous	182
1.16.3.6	Vento reale e vento apparente	183
1.16.3.7	Problemi della corrente	184
<b>1.17</b>	<b>NAVIGAZIONE SATELLITARE</b>	<b>186</b>
1.17.1	GNSS	186
1.17.2	NAVSTAR GPS	187
1.17.2.1	Segmento spaziale	187
1.17.2.2	Frequenze in uso	188
1.17.2.3	Segmento di controllo	189
1.17.2.4	Segmento utenti	190
1.17.2.5	Errori nel sistema	190
1.17.2.6	Accuratezza della posizione	190
1.17.2.7	Differential GPS	193
1.17.3	GLONASS	193
1.17.4	EGNOS	194
1.17.5	GALILEO	196
<b>1.18</b>	<b>BNWAS</b>	<b>197</b>
<b>1.19</b>	<b>VDR</b>	<b>198</b>
<b>1.20</b>	<b>AIS</b>	<b>199</b>
<b>1.21</b>	<b>LRIT</b>	<b>201</b>
<b>1.22</b>	<b>NAVIGAZIONE ASTRONOMICA</b>	<b>202</b>
1.22.1	Coordinate locali altazimutali	203

1.22.2 Coordinate locali orarie	203
1.22.3 Il moto apparente degli astri	204
1.22.4 L'eclittica	205
1.22.5 Coordinate uranografiche equatoriali	208
1.22.6 L'amplitudine	208
1.22.7 Il tempo e la sua misura	208
1.22.7.1 I fusi	210
1.22.7.2 Il cronometro marino	211
1.22.7.3 I crepuscoli	212
1.22.8 Le effemeridi nautiche	212
1.22.9 La misura delle altezze dei corpi celesti	213
1.22.9.1 Il sestante	217
1.22.10 La retta d'altezza	219
1.22.10.1 Triangolo astronomico	221
1.22.10.2 Calcolo degli elementi di una retta d'altezza	222
1.22.10.3 Tracciamento delle rette di altezza e determinazione del $P_N$	225
1.22.10.4 Trasporto di una retta d'altezza	227
1.22.10.5 Errori nelle rette d'altezza	227
1.22.10.6 Come tracciare le bisettrici	229
1.22.10.7 Punto nave a due rette	230
1.22.10.8 Punto nave con tre rette	231
1.22.10.9 Punto nave con quattro rette	232
1.22.10.10 Calcolo degli errori	232
1.22.10.11 Astro incognito	234
1.22.10.12 Punto nave con due rette di sole	234
1.22.10.13 Retta antimeridiana	235
1.22.10.14 Retta meridiana	236
1.22.10.15 Retta di velocità e di direzione	237
1.22.10.16 Passaggi al meridiano superiore e inferiore	238
1.22.10.17 Calcolo della latitudine con la Polare	239
1.22.11 Controllo delle bussole a bordo	242
1.22.11.1 Sorgere e tramonto veri del Sole	243
1.22.11.2 Sorgere e tramonto visibili del Sole	243
1.22.11.3 Come effettuare la correzione della bussola	244
1.22.11.4 Osservazione di un astro	245
1.22.11.5 Al sorgere e al tramonto del Sole	245

<b>2.1 L'ATMOSFERA</b>	<b>248</b>
<b>2.2 PARAMETRI METEOROLOGICI</b>	<b>251</b>
2.2.1 Temperatura	251
2.2.2 Pressione	252
2.2.3 Vento	256
2.2.3.1 Vento geostrofico	257
2.2.3.2 Vento di gradiente	259
2.2.4 Umidità	261
2.2.5 Forme di condensazione	264
2.2.5.1 Nebbia	264
2.2.5.2 Nubi	265
2.2.5.3 Fenomeno dello Stau e Föhn	266
2.2.5.4 Pioggia	268
2.2.5.5 Neve	268
2.2.5.6 Grandine	268
<b>2.3 CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA</b>	<b>269</b>
2.3.1 Circolazione periodica	272
<b>2.4 I FRONTI</b>	<b>274</b>
2.4.1 Fronte caldo	274
2.4.2 Fronte freddo	274
2.4.3 Fronte occluso	276
2.4.4 Fronte stazionario	276
2.4.5 Vento di groppo	276
<b>2.5 CICLONI EXTRATROPICALI</b>	<b>279</b>
<b>2.6 CICLONI TROPICALI</b>	<b>282</b>
2.6.1 Traiettoria di un ciclone	284
2.6.1.1 Semicerchio pericoloso e maneggevole	285
2.6.2 Dissolvenza	287
<b>2.7 NAVIGAZIONE CLIMATOLOGICA</b>	<b>288</b>
2.7.1 Pilot Charts	289
2.7.2 Routeing Charts	290



<b>2.8 NAVIGAZIONE METEOROLOGICA</b>	<b>291</b>
2.8.1 Previsioni meteorologiche	292
2.8.1.1 Forecasting	292
2.8.1.2 Nowcasting	292
2.8.1.3 Carte meteorologiche	293
2.8.1.4 Messaggi meteorologici	296
2.8.1.5 Bollettini meteo italiani	297
2.8.1.6 Analisi di una carta meteorologica	298
<b>2.9 OCEANOGRAFIA</b>	<b>305</b>
2.9.1 Onde marine	306
2.9.1.1 Cavallone	308
2.9.1.2 Rifrazione e diffrazione della costa	308
2.9.2 Temperatura dell'acqua di mare	309
2.9.3 Densità e salinità dell'acqua di mare	310
2.9.3.1 Grande Nastro Trasportatore	311
<b>2.10 LE CORRENTI MARINE</b>	<b>312</b>
2.10.1 Correnti di deriva	312
2.10.1.1 Upwelling e downwelling	313
2.10.2 Circolazione mondiale	313
2.10.2.1 Correnti nel Mediterraneo	314
2.10.3 Correnti di densità	315
<b>2.11 LE MAREE</b>	<b>316</b>
2.11.1 Le maree teoriche	316
2.11.1.1 Il sistema Terra-Luna	316
2.11.1.2 Il sistema Terra-Sole	317
2.11.1.3 Le fasi lunari	317
2.11.1.4 I moti della Luna	318
2.11.1.5 Il sistema Terra-Luna-Sole	318
2.11.2 Le maree reali	320
2.11.2.1 Tipi di maree reali	321
2.11.3 Tavole di marea italiane	323
2.11.3.1 Metodi di previsione	323
2.11.3.2 Metodo del rapporto	323
2.11.3.3 Metodo della differenza	324

2.11.4 Le Tavole di marea Admiralty	325
2.11.5 I problemi nautici delle maree	326
2.11.5.1 Influenza della pressione atmosferica	328
2.11.5.2 Applicazione pratica dei calcoli di marea	328
2.11.6 Le correnti di marea	329
2.11.6.1 I problemi nautici delle correnti di marea	331
2.11.6.2 I problemi delle correnti di marea sulle Tavole di marea italiane	332
2.11.6.3 I problemi delle correnti di marea sulle Tavole di marea Admiralty	333
2.11.7 Fenomeni particolari	334
<b>2.12 NAVIGAZIONE FRA I GHIACCI</b>	<b>336</b>
2.12.1 Formazione del ghiaccio	336
2.12.2 Tipi di ghiaccio	337
2.12.2.1 Ghiacci di mare	337
2.12.2.2 Ghiacci di acqua dolce	338
2.12.2.3 Ghiacci di terra	338
2.12.3 Formazione del ghiaccio a bordo	338
2.12.4 Regioni mondiali affette dal ghiaccio	338
2.12.4.1 Segnali della presenza di ghiaccio in mare	339
2.12.5 Ice class	340
2.12.6 Polar class	341
2.12.7 Double Acting Vessels	341
2.12.8 International Ice Patrol	341
2.12.9 Egg Code	342

## 3 STABILITÀ

<b>3.1 QUALITÀ NAUTICHE E QUALITÀ ESSENZIALI</b>	<b>344</b>
<b>3.2 DIMENSIONI PRINCIPALI DELLE NAVI</b>	<b>345</b>
<b>3.3 PIANO DI COSTRUZIONE</b>	<b>352</b>
3.3.1 Rapporti e coefficienti di carena	353
3.3.1.1 Rapporti lineari	353
3.3.1.2 Rapporti di superfici	353

<b>3.4 STRUTTURE NAVALI</b>	<b>357</b>
3.4.1 Struttura prevalentemente trasversale	357
3.4.2 Struttura prevalentemente longitudinale	359
3.4.3 Struttura mista	360
3.4.4 Struttura del fondo	360
3.4.5 Struttura dei fianchi	361
3.4.6 Struttura di rinforzo e di sostegno del ponte	361
3.4.7 Il fasciame	362
<b>3.5 COMPARTIMENTAZIONE STAGNA</b>	<b>363</b>
3.5.1 Valvole di compartimentazione	365
3.5.2 Metodi di compartimentazione	365
3.5.3 Porte stagne	366
3.5.4 Damage Control Plan	368
3.5.5 Sistemi per il prosciugamento delle sentine	371
3.5.6 Sistemazioni per la zavorra	371
<b>3.6 PROTEZIONE CATODICA</b>	<b>373</b>
<b>3.7 IMMERSIONE E PESCAGGIO</b>	<b>374</b>
<b>3.8 IL BORDO LIBERO</b>	<b>376</b>
3.8.1 Marche di compartimentazione	378
3.8.2 Certificato di Bordo Libero	379
3.8.3 Visite e ispezioni	380
3.8.4 Riserva di spinta	381
<b>3.9 GALLEGGIABILITÀ DELLE NAVI</b>	<b>382</b>
3.9.1 La spinta idrostatica	382
3.9.2 Il dislocamento	383
3.9.2.1 Il dislocamento unitario	383
<b>3.10 ASSETTO</b>	<b>385</b>
3.10.1 Passaggi da acqua salata ad acqua di diversa densità	386
<b>3.11 LA STAZZA</b>	<b>387</b>
3.11.1 International Convention on Tonnage Measurement of Ships	387
<b>3.12 LA PORTATA</b>	<b>388</b>
3.12.1 Calcolo della portata netta in relazione al Bunker e al Bordo Libero	388

<b>3.13 CONDIZIONE DI EQUILIBRIO DEI SOMMERGIBILI</b>	<b>389</b>
<b>3.14 CONDIZIONI DI EQUILIBRIO DELLE NAVI</b>	<b>390</b>
3.14.1 Ipotesi metacentrica	392
3.14.2 Considerazioni su GM	393
3.14.3 Considerazioni su BM	394
3.14.4 Stabilità di forma e di peso	395
3.14.5 Tavole delle Carene Dritte	395
3.14.6 Metodo dei prometacentri	398
3.14.7 Cross curves	399
3.14.8 Stability Booklet	401
<b>3.15 DIAGRAMMA DI STABILITÀ</b>	<b>403</b>
3.15.1 Riserva di stabilità e stabilità dinamica	404
3.15.2 Momenti inclinanti	406
3.15.3 Diagramma di stabilità residua	407
<b>3.16 PROVA DI STABILITÀ</b>	<b>408</b>
<b>3.17 PESATA NAVE</b>	<b>410</b>
<b>3.18 DRAFT SURVEY</b>	<b>411</b>
<b>3.19 INCREMENTO DELL'IMMERSIONE DOVUTO ALLO SBANDAMENTO</b>	<b>412</b>
<b>3.20 STABILITÀ STATICA LONGITUDINALE</b>	<b>413</b>
<b>3.21 CRITERI DI STABILITÀ SOLAS ALLO STATO INTEGRO</b>	<b>414</b>
<b>3.22 CRITERIO METEOROLOGICO</b>	<b>415</b>
<b>3.23 SPOSTAMENTO DI PESI A BORDO</b>	<b>417</b>
3.23.1 Spostamento verticale	417
3.23.1.1 Ingavonamento	420
3.23.2 Spostamento trasversale	421
3.23.3 Spostamento longitudinale	422
<b>3.24 IMBARCO E SBARCO DI PESI</b>	<b>425</b>
3.24.1 Pesi di lieve entità	425
3.24.2 Imbarco di pesi di grande entità	426
3.24.3 Sbarco di pesi di grande entità	428

<b>3.25 CARICHI DEFORMABILI</b>	<b>430</b>
3.25.1 Carichi liquidi	430
3.25.2 Carichi sospesi	432
3.25.3 Carichi rotolanti	433
3.25.4 Carichi scorrevoli	434
<b>3.26 PUNTI NEUTRI</b>	<b>436</b>
<b>3.27 INCAGLIO</b>	<b>437</b>
3.27.1 Valutazione della stabilità	438
3.27.2 Sbandamento trasversale	439
3.27.3 Disincaglio	439
<b>3.28 FALLA</b>	<b>440</b>
3.28.1 Come fronteggiare la falla	442
<b>3.29 IMMISSIONE DELLA NAVE IN BACINO</b>	<b>443</b>

<b>4.1 STIVAGGIO DEL CARICO</b>	<b>446</b>
4.1.1 Buona stabilità e rispetto delle marche di bordo libero	446
4.1.2 Movimenti contenuti	447
4.1.3 Sollecitazioni e sforzi contenuti nei limiti ammissibili	451
4.1.4 Buona resa all'arrivo e possibilità di scaricare in tempi brevi	453
<b>4.2 MANEGGIO DEL CARICO</b>	<b>456</b>
4.2.1 Codici del capitolo VI della SOLAS	456
4.2.2 Material Safety Data Sheet	458
4.2.3 Codici del capitolo VII della SOLAS	458
4.2.3.1 Codice IMDG	459
<b>4.3 NAVE PORTACONTAINER</b>	<b>467</b>
<b>4.4 NAVE PETROLIERA</b>	<b>470</b>
4.4.1 Caricazione	470
4.4.2 Discarica	471
4.4.3 Crude Oil Washing	471
4.4.4 Inert Gas System	472

<b>4.5 NAVE GASIERA</b>	<b>474</b>
<b>4.6 NAVE CHIMICHIERA</b>	<b>475</b>
<b>4.7 NAVE TRAGHETTO</b>	<b>476</b>

## 5 MANOVRA E GOVERNO DELA NAVE

<b>5.1 LA MANOVRABILITÀ</b>	<b>480</b>
<b>5.2 ARMAMENTO MARINARESCO</b>	<b>481</b>
<b>5.3 IL TIMONE</b>	<b>482</b>
5.3.1 Sistemi di movimentazione del timone	483
5.3.2 Effetti del timone	485
<b>5.4 LE PROVE DI MANOVRABILITÀ</b>	<b>487</b>
5.4.1 Prove di velocità	487
5.4.2 Manovra di evoluzione	488
5.4.2.1 Il pivot point	488
5.4.2.2 Parametri della curva di evoluzione	490
5.4.3 Manovra a Zig-Zag	492
5.4.4 Manovra a spirale	494
5.4.5 Manovra Pull-out	495
5.4.6 Manovra di arresto	497
5.4.7 Informazioni di manovrabilità	498
<b>5.5 L'ELICA</b>	<b>502</b>
5.5.1 Principio di funzionamento dell'elica	504
5.5.2 Resistenza al rimorchio	505
5.5.3 Determinazione della Potenza installata	506
5.5.4 Cavitazione dell'elica	507
5.5.5 Effetti evolutivi dell'elica	508
5.5.5.1 Nave monoelica destrorsa a passo fisso	509
5.5.5.2 Nave monoelica destrorsa a passo variabile	509
5.5.5.3 Nave bielica	510
5.5.5.4 Nave bielica passo fisso	510
5.5.6 Tipi di eliche	511

5.5.6.1 Propulsore cicloidale	511
5.5.6.2 Tandem	511
5.5.6.3 AZIPOD	512
5.5.6.4 Idrogetto	513
5.5.6.5 Eliche di manovra	513
5.5.6.6 Sistema di posizionamento dinamico	517
<b>5.6 STUDIO DELLA MANOVRABILITÀ DELLA NAVE IN DIVERSE CIRCOSTANZE</b>	<b>519</b>
5.6.1 Nave in un canale	519
5.6.2 Effetto dinamico	520
5.6.3 Effetto squat	520
5.6.4 Effetto sponda	521
5.6.5 Interazioni tra navi	522
<b>5.7 OPERAZIONI DI ORMEGGIO</b>	<b>524</b>
5.7.1 Cavi di ormeggio	525
5.7.1.1 Cavi di ormeggio sintetici	525
5.7.1.2 Caratteristiche dei cavi di ormeggio	526
5.7.1.3 Angolo verticale e orizzontale	527
5.7.2 Il posto di manovra	529
5.7.2.1 Snap-back	532
5.7.3 Manovra di ormeggio	533
5.7.3.1 Tipi di manovre	537
5.7.4 Manovra di disormeggio	538
5.7.4.1 Tipi di manovre	538
5.7.5 Pilotaggio	539
<b>5.8 OPERAZIONI DI ANCORAGGIO</b>	<b>541</b>
5.8.1 L'ancora	541
5.8.1.1 Parti di un'ancora	543
5.8.1.2 Come fa presa l'ancora	544
5.8.1.3 Potere di tenuta dell'ancora	545
5.8.1.4 Ancore di una nave	547
5.8.2 Sistemazioni per la movimentazione delle ancore	548
5.8.3 Manovra di ancoraggio	549
5.8.3.1 Ancoraggio a ruota	551
5.8.3.2 Afforco	551

5.8.4	Manovra per salpare	553
5.8.5	Dragare e girare sull'ancora	553
<b>5.9</b>	<b>MANOVRE CON RIMORCHIATORI</b>	<b>555</b>
5.9.1	Manovre con conventional tug	556
5.9.2	Manovre con tractor tug	558
5.9.3	Manovre con ASD tug	559
5.9.4	Considerazioni sul pivot point	560
5.9.5	Rimorchio diretto e indiretto	561
5.9.6	Rimorchio di emergenza	563

## 6 LA GESTIONE DELLA SICUREZZA E LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

<b>6.1</b>	<b>IMO</b>	<b>566</b>
6.1.1	Perché nascono le Convenzioni	567
<b>6.2</b>	<b>SOLAS</b>	<b>568</b>
6.2.1	Chapter I	568
6.2.2	Chapter II-1	569
6.2.3	Chapter II-2	569
6.2.4	Chapter III	569
6.2.5	Chapter IV	569
6.2.6	Chapter V	569
6.2.7	Chapter VI	569
6.2.8	Chapter VII	570
6.2.9	Chapter VIII	570
6.2.10	Chapter IX	570
6.2.11	Chapter X	570
6.2.12	Chapter XI-1	570
6.2.13	Chapter XI-2	571
6.2.14	Chapter XII	571
6.2.15	Chapter XIII	571
6.2.16	Chapter XIV	571
<b>6.3</b>	<b>ANTINCENDIO</b>	<b>572</b>
6.3.1	Classificazione degli incendi	572



6.3.2 FSS Code	573
6.3.3 Protezione antincendio passiva	573
6.3.3.1 FTP Code	573
6.3.3.2 Prova standard del fuoco	573
6.3.3.3 Divisioni di classe A	574
6.3.3.4 Divisioni di classe B	574
6.3.3.5 Divisioni di classe C	574
6.3.3.6 Mezzi di sfuggita	574
6.3.3.7 Main Vertical Zones	575
6.3.3.8 Porte tagliafuoco	576
6.3.3.9 Serrande taglia fuoco	577
6.3.3.10 Tagliatiraggio	578
6.3.3.11 Impianti fissi di rilevazione e segnalazione	579
6.3.3.12 Estrazione dei fumi	581
6.3.4 Protezione antincendio attiva	581
6.3.4.1 Mezzi estinguenti principali	581
6.3.4.2 Estintori	583
6.3.4.3 Impianto antincendio	585
6.3.4.4 Le manichette	587
6.3.4.5 Squadra antincendio	589
6.3.4.6 Apparato di respirazione	590
6.3.4.7 Respiratori di emergenza	590
6.3.4.8 Piani antincendio	591
6.3.4.9 Ronde antincendio	592
6.3.4.10 Impianto sprinkler	592
6.3.4.11 Impianto Watermist (HI-Fog)	594
6.3.4.12 Impianto ad Anidride Carbonica	596
6.3.4.13 Impianto a schiuma	598
6.3.5 Simbologia antincendio IMO	599
<b>6.4 GESTIONE DELLE EMERGENZE DI BORDO</b>	<b>600</b>
6.4.1 Emergenza locale	600
6.4.2 Emergenza generale	601
6.4.3 Ruolo d'appello	602
6.4.4 Decision Support System	603
6.4.5 Esercitazioni di emergenza	604

<b>6.5 ALTERNATIVE DESIGN</b>	<b>606</b>
<b>6.6 SAFE RETURN TO PORT</b>	<b>607</b>
6.6.1 Requisiti delle Safe Areas	607
<b>6.7 INTERNATIONAL SAFETY MANAGEMENT CODE</b>	<b>609</b>
<b>6.8 BRIDGE PROCEDURES GUIDE</b>	<b>614</b>
<b>6.9 CSR</b>	<b>615</b>
<b>6.10 IMO NUMBER</b>	<b>616</b>
<b>6.11 INTERNATIONAL SHIP AND PORT FACILITY SECURITY CODE</b>	<b>617</b>
6.11.1 Pirateria	620
<b>6.12 PORT STATE CONTROL</b>	<b>622</b>
6.12.1 MOU	623
6.12.2 NIR	623
6.12.3 Profilo di rischio	623
6.12.4 Ispezioni	624
<b>6.13 VETTING</b>	<b>628</b>
<b>6.14 DIRETTIVA MED</b>	<b>629</b>
<b>6.15 REGOLAMENTO DI SICUREZZA</b>	<b>630</b>
6.15.1 Tabelle RINA	631
<b>6.16 STCW '78/95</b>	<b>632</b>
<b>6.17 MLC 2006</b>	<b>635</b>
<b>6.18 ILO 147</b>	<b>638</b>
<b>6.19 DECRETO LEGISLATIVO 81/2008</b>	<b>639</b>
<b>6.20 DECRETO LEGISLATIVO 271/99</b>	<b>641</b>
<b>6.21 SPAZI CHIUSI</b>	<b>644</b>
<b>6.22 MANUALE HACCP</b>	<b>648</b>
<b>6.23 COLREG 1972</b>	<b>649</b>
6.23.1 Parte A – Generalità	649

6.23.1.1	Regola 1 – Applicazione	649
6.23.1.2	Regola 2 – Responsabilità	650
6.23.1.3	Regola 3 – Definizioni generali	650
6.23.2	Parte B – Governo e Manovra	651
6.23.3	Sezione I – In qualsiasi condizione di visibilità (In any condition of visibility)	651
6.23.3.1	Regola 4 – Applicazione	651
6.23.3.2	Regola 5 – Servizio di vedetta	651
6.23.3.3	Regola 6 – Velocità di sicurezza	651
6.23.3.4	Regola 7 – Rischio di collisione	652
6.23.3.5	Regola 8 – Manovra per evitare la collisione	652
6.23.3.6	Regola 9 – Canali stretti	652
6.23.3.7	Regola 10 – Schemi di separazione del traffico	653
6.23.4	Sezione II – In vista l'una dell'altra (In sight of one other)	654
6.23.4.1	Regola 11 – Applicazione	654
6.23.4.2	Regola 12 – Navi a vela	654
6.23.4.3	Regola 13 – Nave raggiungente	655
6.23.4.4	Regola 14 – Rotte opposte	656
6.23.4.5	Regola 15 – Rotte incrociate	656
6.23.4.6	Regola 16 – Nave che deve manovrare	657
6.23.4.7	Regola 17 – Nave privilegiata	657
6.23.4.8	Regola 18 – Responsabilità tra navi	657
6.23.5	Sezione III – In visibilità limitata (In restricted visibility)	658
6.23.5.1	Regola 19 – Condotta delle navi in visibilità limitata	658
6.23.6	Parte C – Fanali e segnali	660
6.23.6.1	Regola 20 – Applicazione	660
6.23.6.2	Regola 21 – Definizioni	660
6.23.6.3	Regola 22 – Visibilità dei fanali	660
6.23.6.4	Regola 23 – Nave a propulsione meccanica in navigazione	662
6.23.6.5	Regola 24 – Nave che rimorchia o spinge	663
6.23.6.6	Regola 25 – Navi a vela in navigazione e barche a remi	664
6.23.6.7	Regola 26 – Pescherecci	664
6.23.6.8	Regola 27 – Navi che non governano o con difficoltà di manovra	665
6.23.6.9	Regola 28 – Navi condizionate dal proprio pescaggio	666
6.23.6.10	Regola 29 – Navi pilota	666
6.23.6.11	Regola 30 – Navi ancorate e navi incagliate	667
6.23.6.12	Regola 31 – Idrovolanti	667

6.23.7 Parte D – Segnali sonori e luminosi	667
6.23.7.1 Regola 32 – Definizioni	667
6.23.7.2 Regola 33 – Apparecchiature per segnali sonori	668
6.23.7.3 Regola 34 – Segnali di manovra e di avvertimento	668
6.23.7.4 Regola 35 – Segnali sonori in condizioni di visibilità ridotta	668
6.23.7.5 Regola 36 – Segnali per attirare l’attenzione	669
6.23.7.6 Regola 37 – Segnali di pericolo	670
6.23.8 Parte E – Esenzioni	670
6.23.8.1 Regola 38 – Esenzioni	670
6.23.9 Parte F – Verifiche di conformità	671
6.23.9.1 Regola 39 – Definizioni	671
6.23.9.2 Regola 40 – Applicazione	671
6.23.9.3 Regola 41 – Verifiche di conformità	671
6.23.10 Annesso I	671
6.23.11 Annesso III	672
<b>6.24 INQUINAMENTO DELL’AMBIENTE MARINO</b>	<b>673</b>
<b>6.25 LA MARPOL</b>	<b>674</b>
6.25.1 Annesso I	674
6.25.1.1 SOPEP	676
6.25.1.2 Certificato IOPP	677
6.25.1.3 Oil Record Book	679
6.25.2 Annesso II	680
6.25.3 Annesso III	681
6.25.4 Annesso IV	681
6.25.5 Annesso V	682
6.25.5.1 Garbage Record Book	683
6.25.6 Annesso VI	684
<b>6.26 CONVENZIONE AFS</b>	<b>687</b>
<b>6.27 LEGGE 979</b>	<b>688</b>
<b>6.28 OPR Convention 1990</b>	<b>689</b>
<b>6.29 BALLAST WATER AND MANAGEMENT CONVENTION</b>	<b>690</b>

<b>7.1 MANUALE SMCP</b>	<b>694</b>
<b>7.2 INTERNATIONAL CODE OF SIGNALS</b>	<b>695</b>
<b>7.3 GMDSS</b>	<b>703</b>
7.3.1 Stazioni costiere	704
7.3.2 Identificazione delle stazioni	705
7.3.3 Aree geografiche di interesse	705
7.3.4 Propagazione delle onde radio	706
7.3.5 Antenne	707
7.3.6 DSC	708
7.3.7 Stazione GMDSS di bordo	709
7.3.8 Canali principali	710
7.3.9 Procedure di soccorso	711
7.3.10 Procedure di urgenza	714
7.3.11 Procedure di sicurezza	715
7.3.12 Comunicazioni di routine	716
7.3.13 Periodi di silenzio	716
7.3.14 INMARSAT	718
7.3.14.1 INMARSAT FLEETBROADBAND	718
7.3.14.2 INMARSAT C	719
7.3.15 Informazioni di sicurezza marittima	720
7.3.16 Ricevitore NAVTEX	721
7.3.17 VHF portatili	722
7.3.18 EPIRB	722
7.3.19 SART	725
7.3.20 Compilazione giornale GMDSS	726
<b>7.4 MEZZI DI SALVATAGGIO</b>	<b>727</b>
7.4.1 Cintura di salvataggio	727
7.4.2 Indumento protettivo termico	729
7.4.3 Tuta d'immersione	730
7.4.4 Salvagente anulare	731
7.4.5 Imbarcazioni di salvataggio	732
7.4.5.1 Battelli di emergenza	734

7.4.5.2 Battelli di emergenza veloci	735
7.4.5.3 Imbarcazioni a caduta libera	735
7.4.6 Zattere di salvataggio	736
7.4.6.1 Zattere di salvataggio gonfiabili	739
7.4.7 Sistemi di evacuazione	739
7.4.8 Atolli	741
7.4.9 Caratteristiche dei sistemi di ammaino e recupero di mezzi di salvataggio	741
7.4.9.1 Imbarco dei passeggeri sui mezzi di salvataggio	744
7.4.9.2 Messa a mare delle zattere di salvataggio	744
7.4.9.3 Ammaino da nave che avanza	745
7.4.9.4 Ammaino con mare mosso	745
7.4.9.5 Metodi di accensione e manovra del motore di un mezzo di salvataggio	746
7.4.10 Azioni da intraprendere dopo l'abbandono della nave	747
7.4.10.1 Razionamento dei viveri del mezzo di salvataggio	748
7.4.10.2 Raddrizzamento di una zattera	749
7.4.10.3 Uso dell'ancora galleggiante	749
7.4.11 Lanciasagole	750
7.4.12 Discensore automatico	751
7.4.13 Sistemi di localizzazione e di recupero	752
7.4.13.1 Uso dell'eliografo	752
7.4.13.2 Radar reflector	753
7.4.13.3 Segnali di soccorso	753
7.4.14 Uso del kit di pronto soccorso e tecniche di rianimazione	755
7.4.14.1 Respirazione artificiale	756
7.4.14.2 Massaggio cardiaco	757
7.4.14.3 Perdita di sangue	758
7.4.14.4 Shock	759
7.4.14.5 Colpo di sole	759
7.4.14.6 Colpo di calore	759
7.4.14.7 Fratture e ferite	760
7.4.14.8 Effetti dell'ipotermia e la sua prevenzione	760
7.4.15 CIRM	761
7.4.16 Segnaletica IMO	764

## 7.5 SEARCH AND RESCUE

7.5.1 Organizzazione	765
----------------------	-----

7.5.2	Manuale IAMSAR	765
7.5.2.1	Livelli di coordinamento	765
7.5.2.2	Fasi di un'emergenza	766
7.5.2.3	Stadi di un'operazione	766
7.5.2.4	Modelli di ricerca	768
7.5.3	Manovre in caso di uomo a mare	769
7.5.3.1	Manovra MOB	770
7.5.3.2	Manovra di Williamson	770
7.5.3.3	Manovra di Scharnov	771
7.5.3.4	Manovra di Anderson	771
7.5.4	Metodi di ricerca con l'elicottero	772
7.5.4.1	Recupero dalla nave (tecnica del cavo lungo)	774
7.5.4.2	Recupero da un mezzo di salvataggio	775
7.5.4.3	Recupero di una persona dall'acqua	776
7.5.5	Sistemi di rapportazione	776

## 7.6 VTS 778

# 8 DIRITTO DELLA NAVIGAZIONE

<b>8.1 IL DIRITTO DELLA NAVIGAZIONE</b>	<b>782</b>
8.1.1 Il Codice della Navigazione	782
8.1.2 Le fonti del Diritto della Navigazione	782
<b>8.2 LA SUDDIVISIONE DEL MARE</b>	<b>783</b>
<b>8.3 AMMINISTRAZIONE DELLA NAVIGAZIONE</b>	<b>785</b>
8.3.1 Autorità Portuale	785
8.3.2 Demanio marittimo	786
8.3.3 Autorità Marittima	787
8.3.4 Ordinanze e Regolamenti	788
8.3.5 La Guardia costiera	789
8.3.6 L'Autorità Consolare	789
<b>8.4 LA GENTE DI MARE</b>	<b>790</b>
8.4.1 I contratti di lavoro della gente di mare	791
8.4.2 Contratto a tempo determinato	791

8.4.3 Contratto a tempo indeterminato	792
8.4.4 Contratto a viaggio	792
8.4.5 Contratto di tirocinio	792
8.4.6 Contenuto della convenzione d'arruolamento	792
8.4.7 Risoluzione del contratto	794
<b>8.5 LA NAVE</b>	<b>795</b>
8.5.1 Contratto di costruzione	795
8.5.2 Comproprietà navale	795
8.5.3 Nazionalità di una nave	796
8.5.4 Dismissione di bandiera	796
8.5.5 Armatore	796
8.5.5.1 Responsabilità dell'armatore	797
8.5.5.2 Limitazione della responsabilità	797
8.5.6 La società di armamento	797
8.5.7 Il raccomandatario marittimo	798
8.5.8 Il Comandante	798
8.5.9 L'equipaggio	800
8.5.10 Tabella di armamento	801
<b>8.6 CARTE DI BORDO</b>	<b>803</b>
8.6.1 Pratiche di imbarco e sbarco dei marittimi a Ruolo Equipaggio	807
<b>8.7 LA NAVIGABILITÀ</b>	<b>810</b>
<b>8.8 ENTI DI CLASSIFICA</b>	<b>811</b>
<b>8.9 VISITE</b>	<b>812</b>
8.9.1 Assegnazione della classe	813
8.9.1.1 Certificato di classe	813
8.9.1.2 Visite di classe	814
<b>8.10 CERTIFICATI INTERNAZIONALI</b>	<b>818</b>
8.10.1 Safety Pax Certificate	820
8.10.2 Safety Radio Certificate	822
8.10.3 Certificato di idoneità	823
<b>8.11 LIBRI DI BORDO</b>	<b>824</b>
8.11.1 Registro degli infortuni	836



8.11.2 Registro degli orari di lavoro	838
<b>8.12 ADEMPIMENTI DELLA NAVE</b>	<b>841</b>
<b>8.13 DENUNCIA DI EVENTO STRAORDINARIO</b>	<b>846</b>
<b>8.14 CONTRATTI DI UTILIZZAZIONE DELLA NAVE</b>	<b>847</b>
8.14.1 Contratto di locazione	847
8.14.1.1 Obblighi del locatore – proprietario	847
8.14.1.2 Obblighi del conduttore – armatore	847
8.14.1.3 Bareboat Charter Registration	847
8.14.2 Contratto di noleggio	848
8.14.2.1 Obblighi del noleggiante – armatore	848
8.14.2.2 Obblighi del noleggiatore – terzi	849
8.14.3 Contratto di trasporto	849
8.14.3.1 Trasporto di persone	850
8.14.3.2 Trasporto di cose	850
8.14.3.3 Stallie e controstallie	851
8.14.3.4 Polizza di carico	852
8.14.3.5 Incoterms	852
<b>8.15 AVARIE</b>	<b>854</b>
<b>8.16 ASSICURAZIONI</b>	<b>857</b>
8.16.1 Assicurazione P&I	857
8.16.2 Abbandoni assicurativi	858
<b>8.17 DIRITTI REALI DI GARANZIA</b>	<b>859</b>
8.17.1 Privilegi marittimi	859
8.17.2 Ipoteca navale	859
8.17.3 Confronto tra privilegio ed ipoteca	860
<b>8.18 URTO TRA NAVI</b>	<b>861</b>
<b>8.19 SOCCORSO IN MARE</b>	<b>862</b>
<b>8.20 TIPI DI SOCCORSO</b>	<b>863</b>
<b>8.21 RECUPERO DI RELITTI</b>	<b>864</b>
<b>8.22 PILOTAGGIO</b>	<b>865</b>

<b>8.23 RIMORCHIO</b>	<b>866</b>
<b>8.24 INCHIESTA</b>	<b>867</b>
<b>8.25 REATI MARITTIMI</b>	<b>868</b>

9 FORMULARIO

<b>9.1 OPERAZIONI BASILARI</b>	<b>870</b>
<b>9.2 LOSSODROMIA</b>	<b>873</b>
<b>9.3 ORTODROMIA</b>	<b>879</b>
<b>9.4 ASTRONOMIA</b>	<b>886</b>
<b>9.5 GIROBUSSOLA</b>	<b>897</b>
<b>9.6 CINEMATICA</b>	<b>902</b>
<b>9.7 STABILITÀ DELLA NAVE</b>	<b>904</b>

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>913</b>
---------------------	------------

# **1 NAVIGAZIONE**



### 1.1 ORIENTAMENTO SULLA TERRA

Per **navigazione** (*navigation*) si intende il trasferimento della nave da un punto di partenza "A" ad un punto di arrivo "B", conciliando i criteri di sicurezza e di economia.

Il termine sicurezza include:

- ▶ salvaguardia della vita umana in mare
- ▶ salvaguardia della nave e del carico
- ▶ salvaguardia dell'ambiente circostante

#### 1.1.1 FORMA DELLA TERRA

La Terra ha una forma tale che non può essere né definita geometricamente, né espressa per mezzo di un'equazione. La forma fisica più aderente alla realtà è il geoide (**geoid**), solido ottenuto con criteri fisici (non geometrici): è definito come la superficie equipotenziale di gravità passante per il livello medio dei mari (*Figura 1.1*). Ogni direzione perpendicolare alla superficie del geoide rappresenta la direzione della gravità ed è detta verticale (**plumb line**). Il geoide, sebbene non possa essere considerato nelle applicazioni per i riferimenti posizionali, è utilizzato per i riferimenti verticali, cioè per la misura delle quote.

Viene individuata, quindi, una figura regolare, definita matematicamente, alla quale si possa riferire un sistema di coordinate, orientata in modo univoco rispetto al geoide e che costituisca, quindi, un sistema di riferimento per le posizioni orizzontali. Tale figura è il **datum**. La superficie più adatta ad essere utilizzata come datum è quella dell'**elissoide** (**elipsoid**), cioè il solido di rotazione ottenuto da una rotazione completa di un'elisse intorno al suo asse minore (*Figura 1.2*). Si ottiene quindi un corpo geometricamente ben definito, per il quale ogni intersezione della sua superficie con i piani contenenti l'asse di rotazione è detta **elisse meridiana** e ogni retta perpendicolare alla sua superficie è detta **normale** (**normal**).

Si chiama **sezione normale** ogni curva ottenuta sull'elissoide come intersezione della sua superficie con un piano contenente la normale in un generico punto, mentre si parla di **sezione obliqua** se esso non contiene la normale (es. i paralleli): per due punti generici non esiste un piano che contenga le normali di entrambi, ma tra essi esiste una traiettoria tale che in tutti i punti la normale alla curva coincida con la normale alla superficie ellissoidica. Essa rappresenta il percorso più breve tra questi punti, è una curva gobba e viene chiamata **geodetica** (**geodesic**).

Un **datum** permette di stabilire una corrispondenza biunivoca tra la posizione di un punto sulla Terra reale e un punto sull'elissoide, attraverso la definizione di un set di tre coordinate (X, Y, Z), definite attraverso una terna cartesiana detta **ECEF** (**Earth Centered Earth Fixed**). Il centro coincide con il baricentro terrestre, l'asse z con l'asse di rotazione, l'asse x verso il piede del meridiano di Greenwich e l'asse y levogiro (ruotato verso sinistra rispetto a x per un osservatore che guarda dal Polo Nord) (*Figura 1.3*).



Figura 1.1 - Geoide

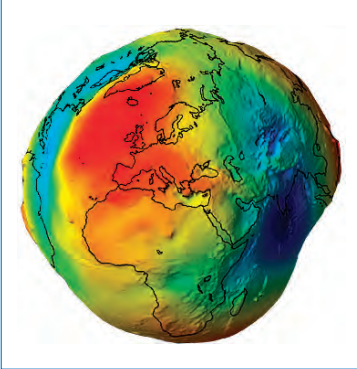


Figura 1.2 - Elissoide

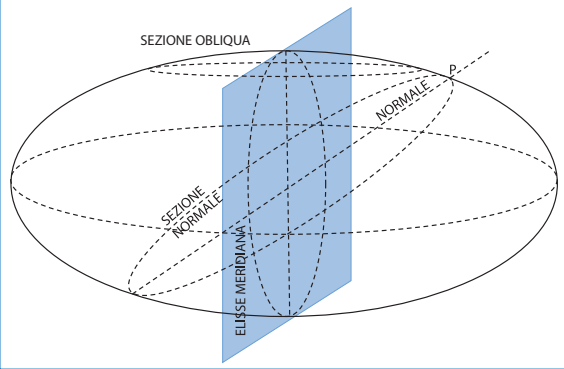


Figura 1.3 - ECEF

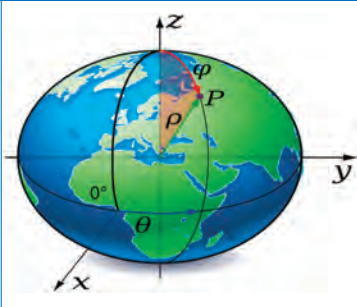
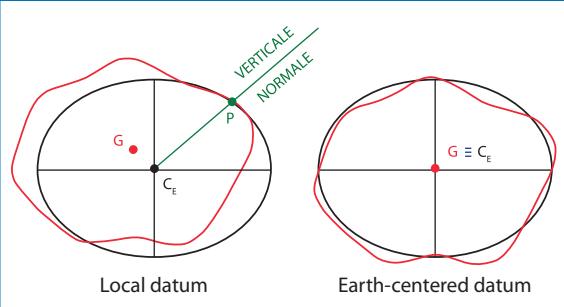


Figura 1.4 - Datum globale e locale



Per far sì che esista questa corrispondenza biunivoca, servono regole per vincolare fra loro le due superfici. Occorre definire le **dimensioni** e l'**orientamento**. Per quanto riguarda le **dimensioni**, ad oggi si utilizza l'**elissoide di Hayford del 1909** come elissoide internazionale avente semiasse maggiore di lunghezza pari a 6.378.388 m. A seconda dell'**orientamento**, invece, si definiscono **datum globali** quelli per i quali è stata imposta la coincidenza del loro asse di rotazione con quello del geoide ed approssimano la superficie del geoide in ogni suo punto. Mentre i **datum locali** sono gli ellipsoidi ai quali è stata imposta, solo in un punto, la coincidenza della normale con la verticale; essi approssimano con grandissima accuratezza la zona circostante il punto di tangenza tra geoide ed elissoide, ma potenzialmente molto male le altre zone terrestri. Esempi di datum globale sono il WGS 84, utilizzato dal GPS, quelli utilizzati dagli altri **GNSS (Global Navigation Satellite System)** o il Cospas-Sarsat. Esempio di datum locale è il **Roma 40** (Figura 1.4).

Per gli usi della navigazione, l'elissoide viene approssimato ad una sfera, per permettere i calcoli di trigonometria sferica (più semplici di quella ellissoidica).

La **sfera terrestre (terrestrial sphere)** è ottenuta a partire dalle dimensioni dell'elissoide, con modalità differenti (Figura 1.5):

- ▶ Ugual volume dell'elissoide
- ▶ Ugual superficie dell'elissoide
- ▶ Media delle dimensioni principali dell'elissoide ( $R^2 = \rho N$ )



Le differenze tra i valori del raggio ottenuti con questi tre diversi metodi sono dell'ordine dei 6 metri al massimo, quindi trascurabili; approssimando alla decina di metri e utilizzando le dimensioni dell'ellissoide internazionale si può dire che in tutti i casi si ottiene una sfera avente raggio  $R=6371,22$  Km.

Un **circolo massimo** si definisce come la circonferenza ottenuta dall'intersezione della superficie sferica con un piano passante per il centro della sfera stessa (equivale alla geodetica sull'ellissoide, quindi rappresenta il percorso più breve fra due punti). Sulla sfera terrestre sono cerchi massimi l'equatore e i meridiani; i paralleli, invece, sono cerchi minori (paralleli all'equatore).

### 1.1.2 COORDINATE TERRESTRI

La **latitudine  $\varphi$  (latitude)** di un punto è l'arco di meridiano, minore di  $90^\circ$ , compreso fra l'equatore e il punto considerato. Se il punto è a Nord dell'equatore, ha segno positivo; se è a Sud, ha segno negativo.

La **longitudine  $\lambda$  (longitude)** di un punto è, invece, l'arco di equatore, minore di  $180^\circ$ , compreso tra il meridiano fondamentale di Greenwich e il meridiano passante per il punto. Se il punto è ad Est del meridiano di Greenwich ha segno positivo; se è ad Ovest, ha segno negativo<sup>1</sup> (Figura 1.6). Si definisce **differenza di latitudine,  $\Delta\varphi$**  l'arco di meridiano compreso tra i paralleli di A e di B. Si conta da 0 a  $180^\circ$  N/S.

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A \quad (\text{algebraica})$$

Si definisce **differenza di longitudine,  $\Delta\lambda$**  l'arco di equatore compreso tra i meridiani di A e di B. Si conta da 0 a  $180^\circ$  E/W. In caso di valori superiori di  $180^\circ$  si calcola l'esplemento (al valore calcolato si tolgono o si sommano  $360^\circ$ ) e si cambia segno!

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A \quad (\text{algebraica})$$

Esempio: calcolare la differenza tra il punto A ( $\varphi_A$   $43^\circ 48.2'N$ – $\lambda_A$   $108^\circ 23.1'E$ ) e il punto B ( $\varphi_B$   $58^\circ 43.3'N$ – $\lambda_B$   $133^\circ 43.9'W$ ). Applicando:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_B - \varphi_A = +58^\circ 43.3' - 43^\circ 48.2' = 14^\circ 55.11' N \\ \Delta\lambda &= \lambda_B - \lambda_A = -133^\circ 43.9' - 108^\circ 23.1' = 242^\circ 07' W\end{aligned}$$

Facendo l'esplemento, risulta:  $\Delta\lambda = -242^\circ 07' + 360^\circ = 117^\circ 53' E$

### 1.1.3 IL MIGLIO MARINO

In mare, l'unità di misura delle **distanze o cammini (distances)** è il miglio marino, o nautico (**nautical mile**), uguale alla lunghezza di un primo d'arco di circolo massimo. Data la forma pressoché ellissoidica della Terra, il miglio presenta l'inconveniente di avere lunghezza

<sup>1</sup> Latitudine, longitudine e relative differenze si misurano in gradi, primi e secondi sessagesimali ( $^\circ, ', ''$ ).



Figura 1.5 - Sfera terrestre

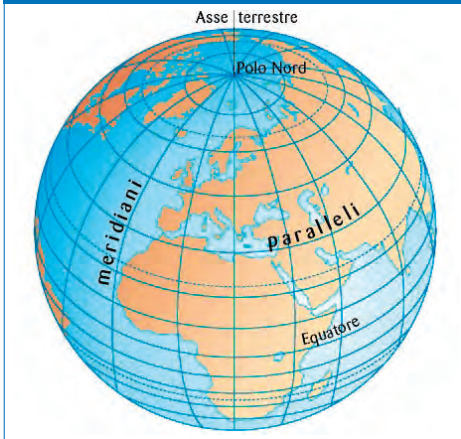
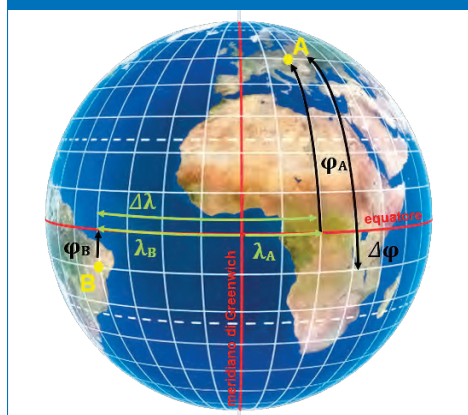


Figura 1.6 - Latitudine e Longitudine e relative differenze



variabile al variare della latitudine e aumenta in lunghezza man mano che ci si sposta dall'equatore al Polo, perché in tal senso aumenta la lunghezza del raggio di curvatura del meridiano e, quindi, quella dell'arco di meridiano (Figura 1.7).

Per ovviare a questo problema è stato adottato il **Miglio Nautico Internazionale** di lunghezza costante, uguale a **1.852 m**, misurato alla latitudine  $\varphi=44^{\circ}20'$  e sotteso da un angolo pari a  $1'$ . L'unità di misura della velocità in navigazione è il **nodo (knot)**. Corrisponde alla velocità di un miglio in un'ora.

35

### 1.1.3.1 Conversioni

Per trasformare i gradi in ore occorre dividere per 15 (infatti  $360^{\circ}/24=15^{\circ}$ ); per trasformare le ore in gradi, invece, si deve moltiplicare per 15. Per i minuti:  $15^{\circ}/60=\frac{1}{4}=15'$  Per i secondi:  $15'/60=1'/4=15''$ . Per trasformare i primi (miglia) in gradi si divide per 60; viceversa per trasformare i gradi in primi (miglia), si moltiplica per 60.

### 1.1.4 CASI PARTICOLARI DI NAVIGAZIONE

In Figura 1.8 si riportano i casi particolari di navigazione, che rappresentano delle **lossodromie degeneri** (questo argomento sarà ripreso nel capitolo 15 di questo manuale).

**Navigazione per meridiano:** la differenza di latitudine, espressa in primi, corrisponde al cammino (m) in miglia.

$$m = |\Delta\varphi| \times 60$$

Il  $\Delta\lambda$  è pari a  $0^{\circ}$  e la Rotta può essere  $000^{\circ}$  (se si naviga verso N) o  $180^{\circ}$  (se si naviga verso S).

**Navigazione per parallelo:** la lunghezza di un arco di parallelo è nota come **allontanamento  $\mu$  (departure)** e rappresenta il cammino percorso sul parallelo. Esso è pari a:

$$\mu = |\Delta\lambda| \times \cos\varphi \quad \text{per ottenerlo in miglia si moltiplica per 60}$$

Figura 1.7 - Il miglio marino

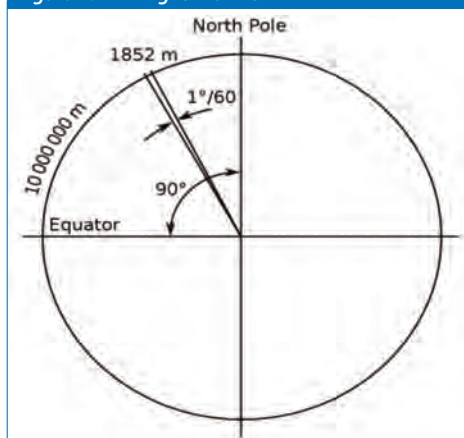
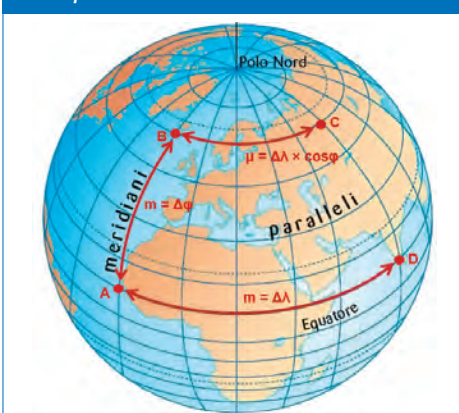


Figura 1.8 - Cammino sul meridiano, sul parallelo e sull'equatore



**Navigando all'equatore**, invece la differenza di longitudine, espressa in primi, corrisponde al cammino (m) in miglia:

$$m = |\Delta\lambda| \times 60$$

solo all'equatore 1' di  $\phi$  corrisponde ad 1' di  $\lambda$ .

Il  $\Delta\phi$  è pari a 0° e la Rotta può essere 090° (se si naviga verso E) o 270° (se si naviga verso W).

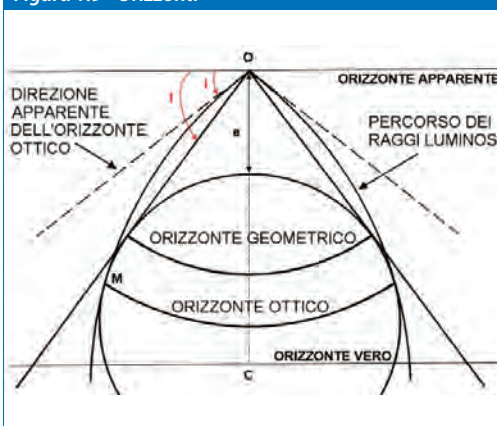
Il **cammino**, **m** si indica in "mg" o "nm".

### 1.1.5 ORIZZONTE

Siano «O» l'**occhio dell'osservatore** ed «e» l'**elevazione dell'occhio sul livello del mare**. Si hanno le seguenti definizioni (Figura 1.9):

- **Orizzonte apparente del punto O** è il piano tangente nel punto O e perpendicolare alla verticale V.
- **Orizzonte astronomico o vero del punto O** è il piano parallelo all'orizzonte apparente e passante per il centro della Terra C.
- **Orizzonte geometrico del punto O** è la base del cono che ha per vertice l'occhio dell'osservatore e per generatrici, le tangenti condotte da tale punto alla superficie terrestre.
- **Orizzonte marino** Per effetto della rifrazione della luce, i raggi luminosi non si propagano in linea retta, ma descrivono una traiettoria curvilinea, la cui concavità è diretta verso la Terra. Tale fenomeno aumenta il limite di visibilità dell'orizzonte e consente ai raggi ottici di estendersi fino al punto M, oltre l'orizzonte geometrico. L'andamento della curva

Figura 1.9 - Orizzonti







di **rifrazione geodetica** dipende dalla densità e dalla temperatura degli strati d'aria che sovrastano la superficie terrestre, per cui l'orizzonte marino non ha un raggio fisso come quello geometrico, ma variabile a seconda della direzione azimutale.

L'angolo «**i**» compreso fra l'orizzonte apparente e l'orizzonte geometrico prende il nome di **depressione vera** mentre l'angolo «**i**» compreso fra l'orizzonte apparente e la tangente condotta all'ultimo tratto della curva di rifrazione geodetica nel punto O, viene chiamato **depressione apparente dell'orizzonte**. Per condizioni normali dell'atmosfera, la depressione apparente media dell'orizzonte è data, con sufficiente approssimazione, dalla formula:

$$i = 1.80 \times \sqrt{e}$$

La **Tavola n. 21** del volume «Tavole Nautiche» dell'Istituto Idrografico della Marina fornisce il valore «**i**» in funzione di «**e**», considerando una temperatura di 10°C e una pressione atmosferica di 760 mm di mercurio. La **Tavola Nautica n.6** fornisce direttamente la distanza dell'orizzonte marino, in miglia, in funzione dell'elevazione «**e**», espressa in metri:

$$D = 2,08 \times \sqrt{e}$$

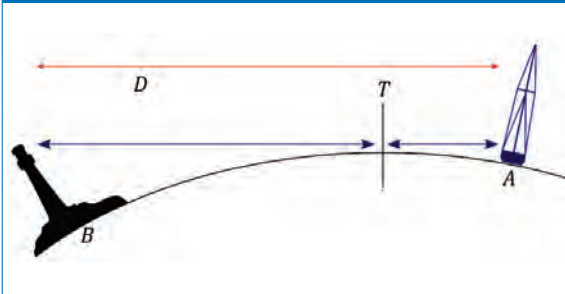
#### 1.1.5.1 Portata geografica

Dalla *Figura 1.10* si ha:  $AT = 2,08 \times \sqrt{e}$  e  $TB = 2,08 \times \sqrt{h}$

La distanza **D**, detta **portata geografica (rising and dipping range)**, è data dalla formula:

$$D = 2,08 \times (\sqrt{e} + \sqrt{h})$$

**Figura 1.10 - Portata geografica di un oggetto**



In cui «**e**» è l'elevazione dell'occhio dell'osservatore, in metri e «**h**» l'elevazione dell'oggetto sul livello medio del mare (dedotta dal portolano o dalla carta nautica), sempre in metri. Rappresenta, in pratica, la somma degli orizzonti marini dei due oggetti. La **Tavola Nautica n. 7** dell'I.I. fornisce la portata geografica

con l'uso di una formula poco dissimile da quella sopra riportata. Il fattore 2.08 viene ridotto a 2.04 per tenere conto del fatto che l'oggetto sarà visibile sull'orizzonte quando avrà una piccola elevazione rispetto al livello del mare.

$$D = 2,04 \times (\sqrt{e} + \sqrt{h})$$

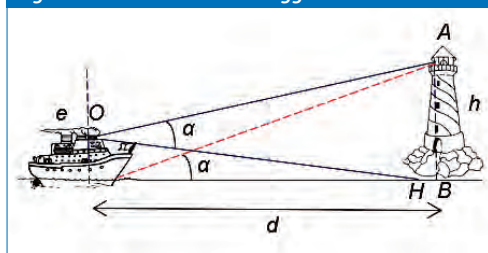
#### 1.1.5.2 Distanza da un oggetto di elevazione nota situato entro l'orizzonte

Con l'ausilio della **Tavola nautica n.8** dell'I.I. è possibile calcolare la distanza (in miglia) con la misura di un angolo verticale. La formula da utilizzare è la seguente:

$$d = \frac{h}{1852} \times \cot \alpha$$

In cui "h" è l'elevazione dell'oggetto sul livello del mare, in metri e "α" l'angolo verticale sotteso (misurato col sestante); "e" si suppone uguale a zero; il triangolo OAB è rettangolo, essendo i punti H e B coincidenti (Figura 1.11).

Figura 1.11 - Distanza da un oggetto



### 1.1.6 LINEA MERIDIANA

A livello locale la definizione degli angoli di riferimento si può ricondurre ad un piano tangente alla sfera terrestre nel punto occupato dall'osservatore, cioè il piano orizzontale: la direzione rispetto a cui contare gli angoli sarà la retta ottenuta come intersezione del piano orizzontale con il piano del meridiano dell'osservatore, detta **linea meridiana (true meridian)**. Pensando a noi stessi come osservatori, la linea meridiana va immaginata sul pavimento, passante per i nostri piedi, orientata nel verso della stella polare. La linea meridiana permette di definire tutte le direzioni cardinali sul piano orizzontale e divide l'orizzonte in quattro quadranti (Figura 1.12).

38

### 1.1.7 ROSA DEI VENTI

L'insieme delle direzioni nell'orizzonte viene chiamato **rosa dei venti (wind rose)**. La direzione di un vento è quella del punto dell'orizzonte dal quale spira. Gli estremi delle linee N-S ed E-W si chiamano **punti cardinali**. I punti cardinali vengono chiamati rispettivamente: **Nord, Tramontana o Borea; Est o Levante; Sud, Mezzogiorno od Ostro; Ovest o Ponente**. Tra due punti cardinali consecutivi, ad eguale distanza angolare da essi, vi è sempre un **punto intercardinale** (Figura 1.13).

### 1.1.8 ROTTA E PRORA

L'angolo formato tra la direzione del meridiano geografico con quella della tangente alla traiettoria (rispetto al fondo del mare) nel punto considerato, si chiama **Rotta vera, R<sub>v</sub> (True Course)**. Si conta circolarmente, in senso orario, a partire dalla direzione del Nord geografico, da 0° a 360°. Il valore 0° si ha quando la tangente alla traiettoria coincide con la direzione del meridiano geografico e la nave dirige verso Nord (Figura 1.14).

La rotta rappresenta, come detto, il moto reale della nave, cioè quello rilevato rispetto a riferimenti solidali con il datum terrestre; è per questo che in inglese si indica più frequentemente con la sigla **COG (Course Over Ground)** o *Course Made Good*.

La **Prora Vera, P<sub>v</sub> (Heading, HDG)** è l'angolo orizzontale delimitato dalla direzione del



Nord geografico passante per quel punto e dall'asse longitudinale della nave. Si conta in senso orario, a partire dalla direzione del meridiano, da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  (Figura 1.15).

La Prora, a causa del vento e della corrente (*drift*), non coinciderà quasi mai con la Rotta: rappresenta infatti la direzione da assumere per contrastare la forza esterna che allontana la nave dalla traiettoria seguita. La Prora può essere **magnetica, bussola, giroscopica** a seconda del meridiano considerato (magnetico, bussola, giroscopico). Gli angoli di rotta, talvolta, si contano da  $0^\circ$  a  $180^\circ$  (**sistema semicircolare**), o da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  (**sistema quadrantale**). In tal caso gli angoli sono preceduti dal nome del cardine dell'orizzonte da cui si inizia a contare (**prefisso**) e seguiti dal nome del cardine verso cui si procede (**suffisso**) (Figura 1.16).

#### Per la rotta quadrantale $r_v$ :

<i>I Quadrante N-E</i>	$r_v = N 45^\circ E$	$R_v = 045^\circ$	$R_v = r_v$	$r_v = R_v$
<i>II Quadrante S-E</i>	$r_v = S 45^\circ E$	$R_v = 135^\circ$	$R_v = 180^\circ - r_v$	$r_v = 180^\circ - R_v$
<i>III Quadrante S-W</i>	$r_v = S 45^\circ W$	$R_v = 225^\circ$	$R_v = 180^\circ + r_v$	$r_v = R_v - 180^\circ$
<i>IV Quadrante N-W</i>	$r_v = N 45^\circ W$	$R_v = 315^\circ$	$R_v = 360^\circ - r_v$	$r_v = 360^\circ - R_v$

**Per la Rotta semicircolare  $R_s$** , che si conta sempre dal cardine Nord, la conversione si esegue in base al suffisso:

se «E»	→	$R_v = R_s$
se «W»	→	$R_v = 360^\circ - R_s$

### 1.1.9 SEMIRETTA DI RILEVAMENTO

Vanno sotto il nome di **traguardi** quegli strumenti di bordo atti a misurare angoli orizzontali (rilevamenti), ovvero i **cerchi azimutali delle bussole** e i cosiddetti **grafometri**, appartenenti al passato (Figura 1.17). Con l'apparecchio azimutale si ricerca l'allineamento tra l'oggetto costiero e un sottile filo metallico verticale posto sullo strumento, da osservare attraverso una feritoia fissata nel punto diametralmente opposto rispetto ad esso; una volta rilevato l'oggetto se ne può leggere il valore grazie ad un prisma ottico che riflette verso l'occhio dell'osservatore il valore della rosa corrispondente alla direzione dell'allineamento descritto.

La **semiretta di Rilevamento vero ( $Ril_v$ ), o azimut (*True Bearing*)**, è l'angolo dell'orizzonte compreso fra la direzione del Nord e la congiungente nave-oggetto rilevato. Esso si conta in senso orario, a partire dal Nord vero, da  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

Dicasi invece, **Rilevamento polare (*Relative Bearing*)**, l'angolo orizzontale compreso fra il piano longitudinale della nave e la congiungente nave-oggetto rilevato. Si conta in senso semicircolare, da  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , verso dritta o verso sinistra dell'osservatore che guarda la prua della nave. Esso si indica con **p** (rò) ed è positivo (+) se è contato verso dritta, negativo (–) se contato verso sinistra (Figura 1.18).

### 1.1.9.1 Relazioni

Le principali relazioni che legano rilevamenti e prora sono algebriche:

$$Ril_v = P_v + (\pm) \rho$$

$$P_v = Ril_v - (\pm) \rho$$

$$\rho = Ril_v - P_v$$

Quando si prendono due rilevamenti è utile che la loro intersezione sia il più possibile a 90° e che siano relativi a oggetti vicini. L'oggetto più vicino è quello al traverso e quindi conviene sempre rilevare un oggetto con 90° di  $Ril_v$  rispetto alla  $R_v$ . In tal caso, però, il  $Ril_v$  al traverso deve essere preso per ultimo rispetto a quelli di prua e di poppa per evitare un errore sul trasporto. Il  $Ril_v$  al traverso cambia velocemente con il passare del tempo e quindi, rilevandolo per ultimo, non lo si deve trasportare.

Figura 1.12 - Linea meridiana

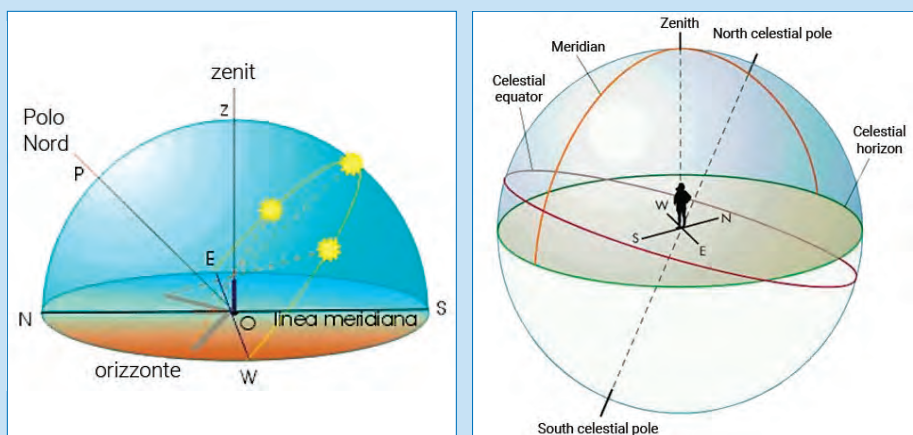


Figura 1.13 - Rosa dei venti

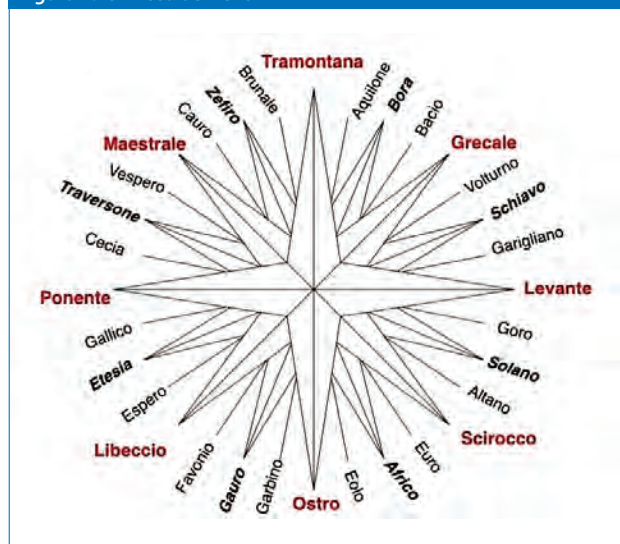


Figura 1.16 - Rotta quadrante, semicircolare e circolare

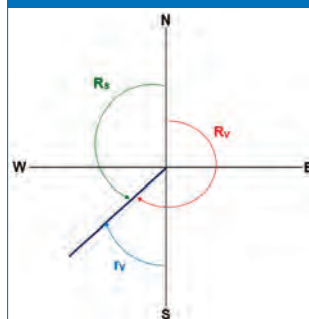


Figura 1.17 - Cerchio azimutale





Figura 1.14 - Rotta vera

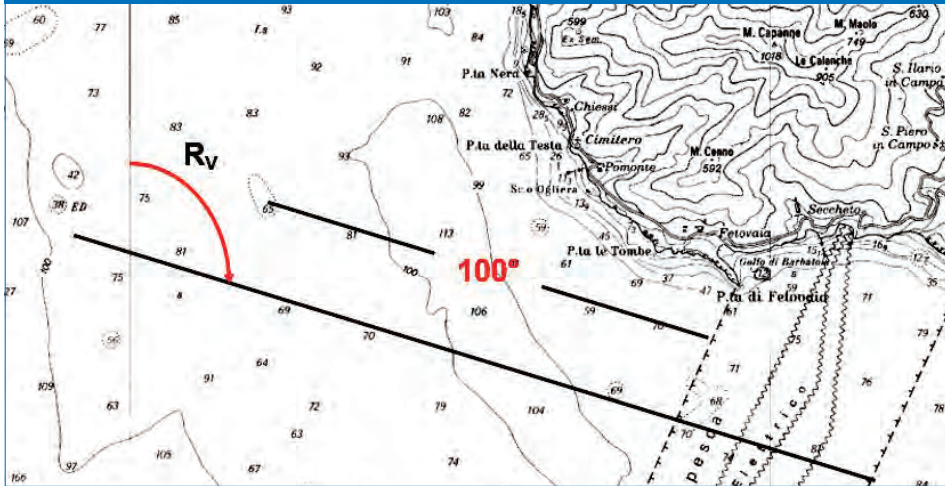


Figura 1.15 - Prora vera

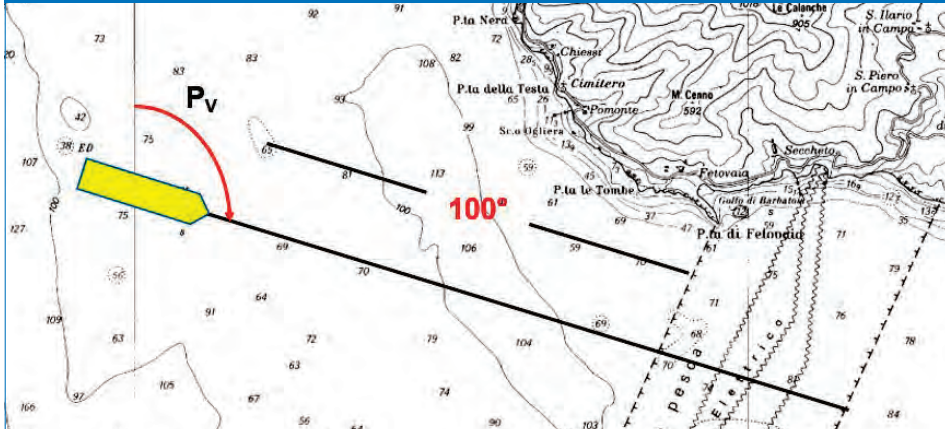
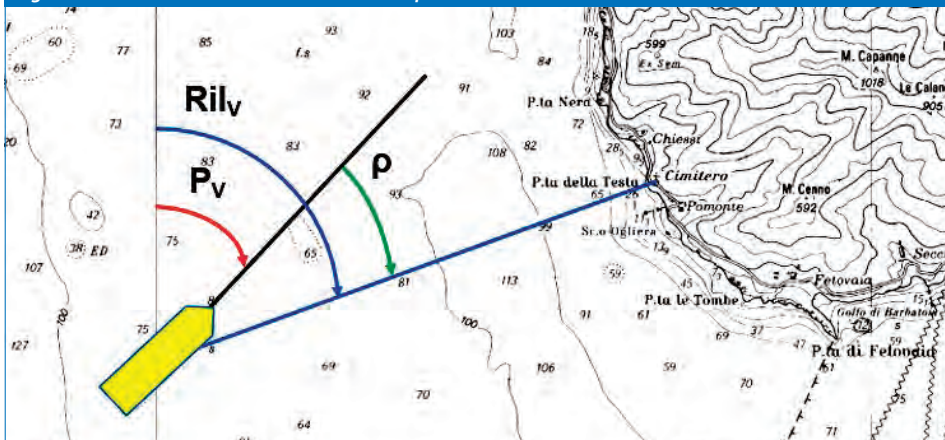


Figura 1.18 - Rilevamento vero e rilevamento polare







## 1.2 NAVIGAZIONE STIMATA

La conoscenza della velocità della nave è molto importante. Essa fornisce il cammino percorso in un intervallo di tempo che, assieme alla Rotta (direzione), consente la determinazione della posizione stimata lungo la traiettoria prescelta.

$$m = V \times \Delta t$$

$m$  = cammino       $V$  = velocità       $\Delta t$  = intervallo di tempo tra due punti

Pertanto, la bussola (magnetica o giroscopica) e il solcometro (o il tachimetro), permettono di ottenere il **punto stimato**,  $P_s$  (**DR – dead reckoning position**). Essi sono gli strumenti indispensabili per condurre una **navigazione stimata** (*estimated navigation*).

### 1.2.1 MISURA DELLA VELOCITÀ

Gli strumenti che forniscono la misura della velocità della nave sono chiamati, in generale **solcometri**. Più precisamente, il **solcometro** (*speed-log*) è lo strumento col quale si misura il cammino percorso dalla nave. È necessario porre attenzione al tipo di dato che viene fornito dallo strumento in quanto i modelli più semplici e tradizionali forniscono la velocità rispetto all'acqua, indicata con la sigla **STW** (*Speed Through the Water*), che può differire da quella riferita al datum terrestre, cioè al fondo marino, a causa dell'influenza degli elementi meteomarinari. I solcometri che misurano la STW sono:

- ▶ **Solcometro ad elica** La velocità è restituita come valore proporzionale al numero di giri nell'unità di tempo di un'elichetta posta sulla carena (utilizzato essenzialmente su imbarcazioni piccole).
- ▶ **Solcometro elettromagnetico** La velocità è restituita come valore proporzionale ad una forza elettromotrice indotta da parte dell'acqua di mare, intesa come mezzo conduttore, su un avvolgimento che genera un campo magnetico (statico a nave ferma).
- ▶ **Solcometro a tubo di Pitot.**

La velocità reale è fornita dal GPS, che determina lo spostamento lungo un arco di geodetica confrontando continuamente le successive posizioni della nave, e in tal caso si parla di **SOG** (*Speed Over Ground*). Altro strumento che fornisce la SOG è il **Solcometro Doppler**.

#### 1.2.1.1 Tachimetro e solcometro a pressione idraulica (a tubo di Pitot)

Tale tachimetro si basa sul principio del **tubo di Pitot**. Questo è costituito da due prese d'acqua (tubi), di cui una statica ed una dinamica. La presa dinamica è realizzata con un tubo sporgente dallo scafo e collocato sotto la chiglia, con l'apertura rivolta dalla parte della prua. In questo tubo l'acqua sale per effetto della pressione dinamica (dovuta alla velocità dei filetti fluidi spostati dalla nave), che è data:



$$\rho_d = \rho_s + \frac{1}{2} \times \omega \times V^2$$

in cui  $\rho_s$  è la pressione statica (idrostatica),  $\omega$  la densità dell'acqua di mare e  $V$  è la velocità della nave. I due tubi mandano l'acqua dalle parti opposte di un diaframma elastico di un manometro differenziale. I valori di  $V$  si ottengono dalla differenza tra le due pressioni (statica e dinamica) e vengono poi trasmessi elettricamente a speciali quadranti che indicano continuamente la velocità e il cammino della nave.

### 1.2.1.2 Solcometro Doppler

Dal principio fisico che definisce la variazione di frequenza ( $\Delta f$ ), subita da un'onda a causa del moto relativo dell'emittente o del ricevente o di entrambe, si risale alla determinazione della velocità della nave (**effetto Doppler**). Due trasduttori sporgenti sotto la chiglia emettono dei segnali ultrasonori alla frequenza  $f_0$ . I segnali raggiungono il fondo e subiscono un primo effetto Doppler, perché esiste un moto relativo tra questo e la nave (sorgente) (Figura 2.1). I segnali vengono riflessi e ritornano ai trasduttori ove subiscono, sempre per il moto relativo, un nuovo effetto Doppler. Complessivamente il segnale ricevuto ha subito un effetto Doppler (variazione della frequenza) pari a:

$$\Delta f = 2f_0 \times \frac{V}{u}$$

$u$  è la velocità delle onde ultrasonore in acqua di mare pari a circa 1500 m/s.

La misura della velocità sino a 600 m di profondità è calcolata dal solcometro tramite la funzione «**bottom track**». Se la profondità del fondale superano i 600 m, il Sonar Doppler calcola la Velocità relativa (rispetto alla superficie), sfruttando il riverbero dall'acqua (funzione «**water track**») (Figura 2.2).

Figura 2.1 - Solcometro Doppler

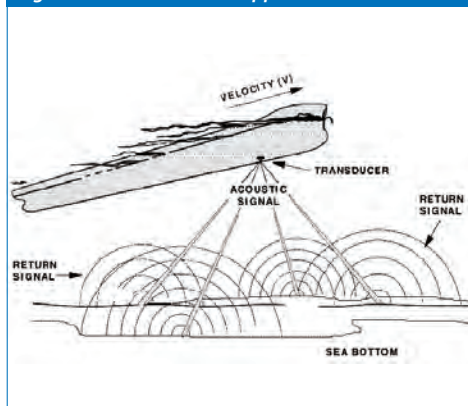
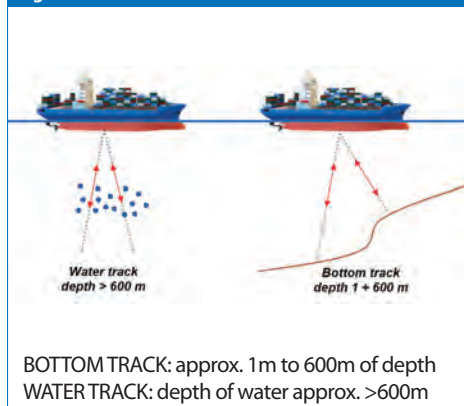


Figura 2.2 - Bottom & water track

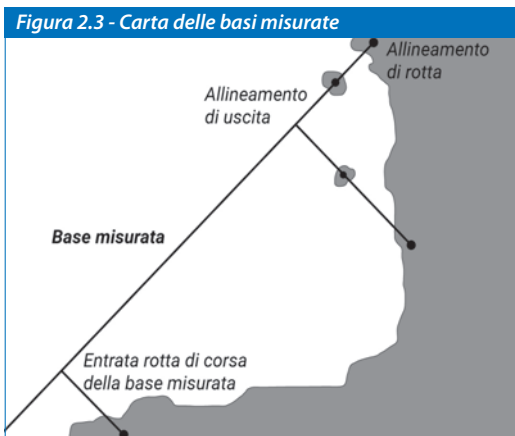


Grazie all'utilizzo di più trasduttori in diverse posizioni sguardati simmetricamente rispetto al piano diametrale (ad esempio due a prua e quattro a poppa), il doppler riesce a

fornire anche la velocità trasversale della sola poppa o della sola prua; questo lo rende utilissimo in fase di manovra perché permette di valutare immediatamente la rotazione della nave, e in navigazione consente di apprezzare gli effetti disturbanti di vento e corrente.

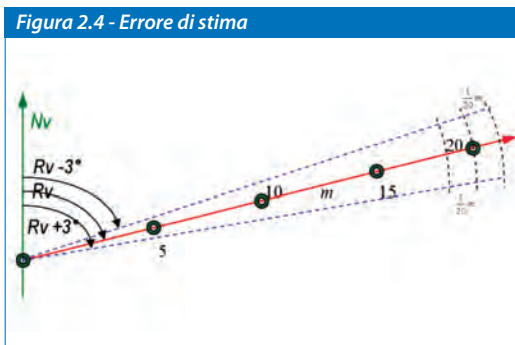
Per calibrare i solcometri si effettua, con la nave, un percorso di lunghezza noto. Dovendo risolvere la formula « $V=m/d_t$ » è necessario conoscere il percorso « $m$ » ed il tempo impiegato « $d_t$ ». È possibile, quindi, per confronto, verificare le indicazioni fornite dai solcometri alle varie andature e ricavare eventuali correzioni. I cammini noti che la nave può percorrere sono forniti dalle **basi misurate**, segnate su alcune carte o Pubblicazioni nautiche (Pubblicazione I.I.M. 3045 - Ed. 1987) (Figura 2.3).

Una base misurata è delineata da alcuni allineamenti facilmente individuabili, in modo che il percorso sia univocamente individuato. La base viene percorsa nel doppio senso per eliminare gli effetti di correnti. Si assume per velocità effettiva la media ottenuta su due tratti.



### 1.2.2 ERRORE DI STIMA

Come detto precedentemente, il punto stimato « $P_s$ » è quello ottenuto stimando la rotta e la velocità. Il calcolo « $m = V \times \Delta t$ » è quello più semplice e risolutivo. L'errore che generalmente viene commesso sulla rotta varia tra  $+2^\circ$  e  $+4^\circ$ , mentre sul cammino si commette un errore tra  $\pm 1/10$  mg e  $\pm 1/20$  mg (Figura 2.4). La somma degli errori su rotta e cammino, comporta un **errore sul punto stimato** ( $e_s$ ) di circa **1/17mg**, che aumenta con l'aumentare del cammino percorso. In altre parole, la nave si trova con molta probabilità in un cerchio avente per centro il  $P_s$  e per raggio l'errore di stima (massimo valore 40 mg).



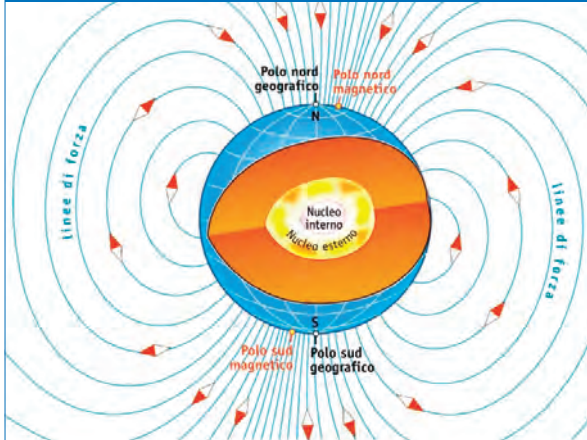




## 1.3 MAGNETISMO E BUSSOLA MAGNETICA

### 1.3.1 CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Figura 3.1 - Campo magnetico terrestre

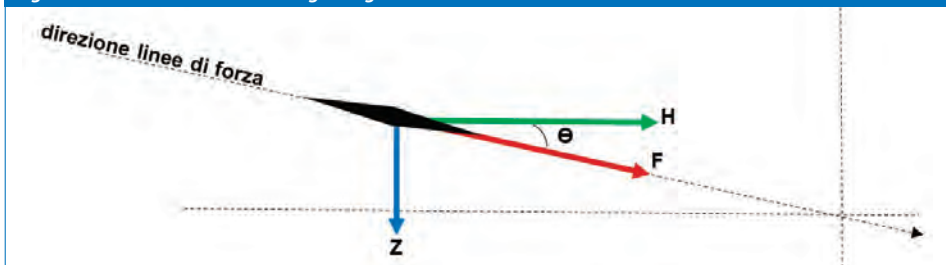


La Terra è sede di un campo magnetico, la cui natura non è completamente nota (Figura 3.1). Le caratteristiche del **campo magnetico terrestre, c.m.t. (earth magnetic field)** sono assimilabili a quelle di un dipolo magnetico, le cui linee di forza si esercitano dal polo magnetico Nord al Polo magnetico Sud.

I poli magnetici terrestri non sono molto lontani da quelli geografici, (circa 1.000 miglia). Un ago magnetico,

sospeso per il suo baricentro, si dispone lungo il **vettore intensità di campo  $F$  (forza magnetica)**, tangente alle linee di forze, che forma col piano orizzontale un angolo « $\theta$ », detto **inclinazione magnetica (magnetic dip)**. La direzione dell'intensità di campo totale « $F$ » (convenzionalmente rivolto verso il Polo Nord Magnetico) forma con la verticale del luogo il piano meridiano magnetico. Se si scompone  $F$  lungo la verticale e nel piano orizzontale si ottengono la componente verticale « $Z$ » del c.m.t. e la componente orizzontale « $H$ » del c.m.t. (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Orientamento di un ago magnetico



All'equatore magnetico, che coincide all'incirca con l'equatore geografico, risulta  $\theta=0^\circ$  e quindi  $Z=0$  e  $H$  massimo. Ai Poli magnetici risulta  $H=0$  e  $Z$  massimo. Il vettore  $F$  risulta depresso nell'emisfero magnetico nord ed elevato sull'orizzonte nell'emisfero magnetico sud. Pertanto,  $\theta$  varia da  $90^\circ$  sotto l'orizzonte a  $90^\circ$  sopra l'orizzonte. Gli aghi magnetici installati sulla rosa della bussola non sono liberi di assumere qualsiasi giacitura nello spazio, bensì sono vincolati al piano orizzontale: questo significa che la loro forza direttiva è

rappresentata dalla sola componente orizzontale  $H$  della forza magnetica, che risulta via via minore man mano che ci si avvicina ai poli magnetici, cioè man mano che  $F$  tende a diventare verticale. Per questo motivo, ai Poli, la bussola magnetica non può essere utilizzata.

### 1.3.2 BUSSOLA MAGNETICA

La **bussola magnetica** (*magnetic compass*) è la bussola che indica il **Nord magnetico**,  $N_m$  (*Magnetic North*), discostato dal **Nord vero**, o **geografico**,  $N_v$  (*True North*) dell'angolo di **declinazione magnetica**,  $d$  (*magnetic variation*).

L'elemento sensibile è rappresentato da aghi magnetici, che compensano l'azione del campo magnetico costante, prodotto dai ferri duri della nave (Figura 3.3). Per effetto della presenza dei ferri di bordo, sulle navi in metallo, la bussola magnetica indicherà il **Nord bussola**,  $N_b$  (*Compass North*), discostato dal  $N_m$  dell'angolo di **deviazione magnetica**,  $\delta$  (*deviation*). Sia la declinazione che la deviazione possono essere E (+) o W (-). La declinazione varia da 0 a 180°. Entrambe variano da luogo a luogo e con il tempo; la deviazione varia anche con la prora della nave. L'**errore totale della bussola** (*compass error*) è la **Variazione Magnetica**, somma algebrica tra la deviazione e la declinazione:

Figura 3.3 - Bussola magnetica



$$V = d + \delta$$

#### 1.3.2.1 Ferri dolci e ferri duri

I metalli dello scafo, sotto l'influenza del campo magnetico terrestre, nel periodo in cui la nave è sullo scalo di costruzione, durante l'allestimento e durante l'esercizio, si magnetizzano con polarità nord - sud. Il comportamento dei vari ferri di bordo, rispetto alla magnetizzazione dovuta al campo magnetico terrestre, non è lo stesso, dipendendo dalla percentuale di carbonio contenuto nel ferro stesso.

Bisogna distinguere i **ferri dolci** (*mild steel*), privi di carbonio (< 0,25%), dai **ferri duri** (*high carbon steel*), ovvero gli **acciai**, con grande percentuale di carbonio (> 0,25%). I ferri dolci, se immersi in un campo magnetico, si magnetizzano e restano magnetizzati finché restano nel campo. Se varia l'orientamento, cambiano polarità; se vengono allontanati dal campo, si smagnetizzano. Poiché gli elementi del campo magnetico terrestre variano da punto a punto della Terra, variando il campo induttore (campo magnetico terrestre), col variare della posizione della nave sulla Terra, varierà il campo indotto nei ferri dolci di bordo. Il campo magnetico dei ferri dolci di bordo si chiama anche **campo magnetico temporaneo di bordo**. Questo viene compensato da altri ferri dolci (sfere di Thomson e sbarra di Flinders).

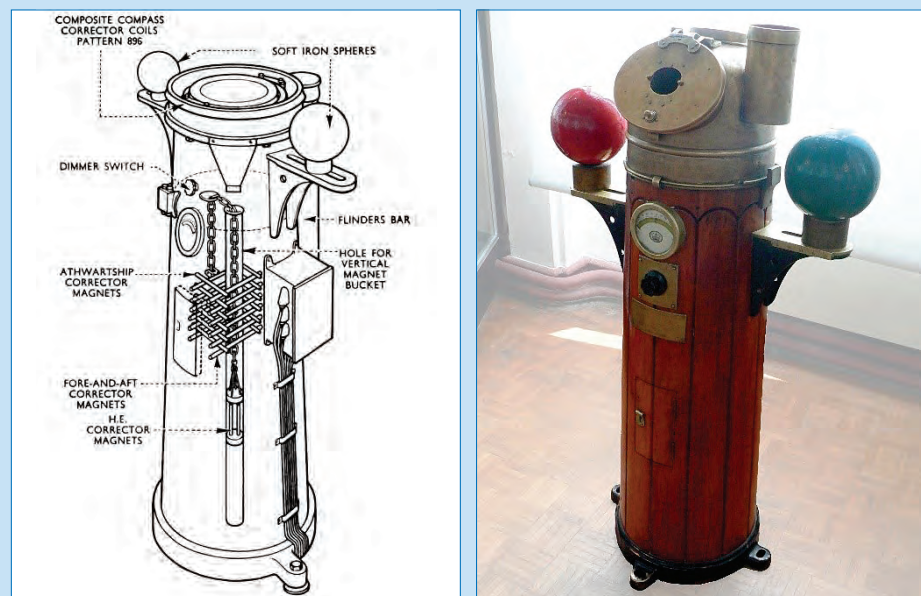


Il campo magnetico indotto nei ferri duri di bordo, il quale nasce durante la costruzione e l'allestimento della nave e che può modificarsi leggermente durante i primi anni di vita della nave, acquista sede e intensità costante, per cui viene chiamato **campo permanente di bordo** (*ship's magnetic field*). Questo viene compensato mediante appositi magneti.

### 1.3.2.2 Parti di una bussola magnetica

La bussola magnetica è costituita essenzialmente da due o più aghi paralleli che portano la **rosa dei venti o quadrante** (*compass card*), solidale ad essi. L'origine della gradazione della rosa coincide col polo nord degli aghi. Rosa ed aghi poggiano su un piccolo telaio di materiale amagnetico, al centro del quale è ricavato un **cappelletto** nel cui interno è posta una pietra dura (rubino, agata). L'insieme di queste parti costituisce l'**equipaggio magnetico** della bussola. Il cappelletto poggia su un perno dalla punta dura (acciaio, iridio), fissato al centro del **mortaio o bossolo** (*compass bowl*), il quale è appesantito di zavorra nella parte inferiore e poggia, mediante una sospensione cardanica, sulla **chiesuola** (*binnacle*), montata nel piano longitudinale della nave (colonnina, di materiale amagnetico, che sostiene la bussola e la tiene saldamente fissata al ponte). All'interno del mortaio, in corrispondenza dell'asse longitudinale della nave, è sistemata la **linea di fede** (*lubber line*), che consente la lettura della Prora. La chiesuola ha due mensole per sostenere le **sfere di Thomson** (*Kelvin's balls*), due semplici sfere o cilindri di ferro. Vi è inoltre un astuccio cilindrico, la **sbarra di Flinders** (*Flinders' bar*), che contiene pezzi di ferro dolce per la compensazione. All'interno della chiesuola è altresì presente un **canestrello**, collegato ad una catenella, contenente appositi aghi magnetici con lo scopo di compensare le oscillazioni della rosa, dovute ai movimenti della nave (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Elementi di una bussola magnetica



Le bussole magnetiche vengono installate, a bordo, in controplancia; grazie ad un sistema di specchi e lenti (tubo ottico), l'immagine della rosa è riprodotta su un visore, montato nella postazione del timoniere, in plancia. La lettura del rilevamento è resa possibile grazie all'utilizzo dell'**apparecchio azimutale (azimuth device)**, una corona metallica o un semplice elemento diametrale, da installare sul mortaio, che può essere ruotato per mirare oggetti costieri determinandone così il rilevamento bussola (è utilizzato anche per le girobussole). Il suo funzionamento è già stato trattato precedentemente, nel *capitolo 1* di questo manuale.

### 1.3.2.3 Determinazione della declinazione magnetica

Su ogni carta nautica è riportato il valore della declinazione magnetica locale, per l'epoca in cui è stata stampata e la sua variazione annuale.

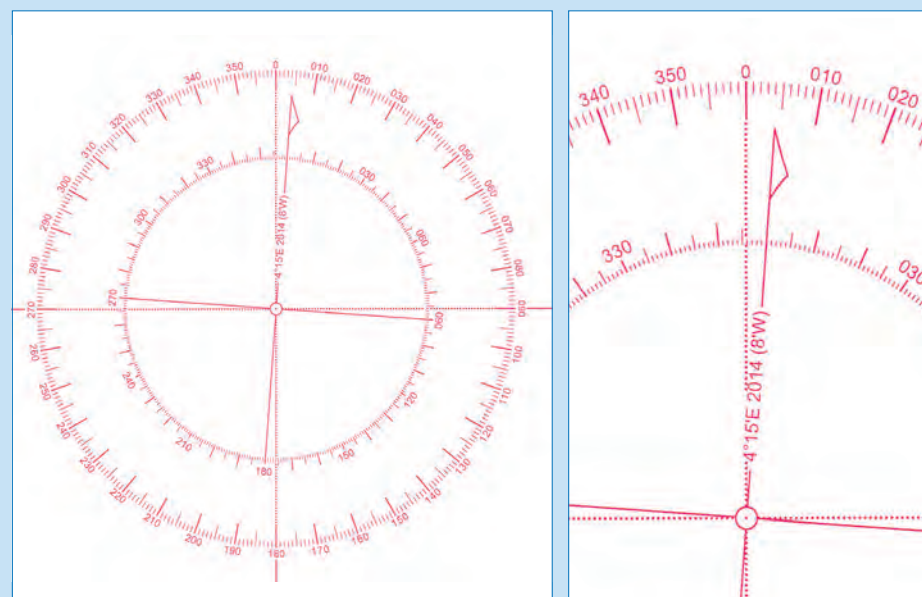
Nell'esempio riportato in *Figura 3.5*:  $d=4^{\circ}15' E$  nel 2014 (8'W). Il suo valore nel 2021 risulta:

$$d_{2021} = 04^{\circ}15' - (8' \times 7) = 03^{\circ}19' E$$

In questo caso - con declinazione E - la variazione della declinazione, avvenendo verso W, va sottratta al valore di partenza. Se la variazione fosse avvenuta verso E, si sarebbe sommata al valore di partenza. In caso di declinazione W avviene l'esatto contrario.

La variazione della declinazione può essere intesa anche come un aumento o una diminuzione annuale: in tal caso occorrerà sommare o sottrarre il valore calcolato in relazione all'intervallo di anni considerati al valore di partenza.

**Figura 3.5 - Rosa di declinazione su una carta tradizionale**





### 1.3.2.4 Determinazione della deviazione magnetica

L'ago della bussola magnetica, sottoposto all'azione dei campi magnetici terrestri, temporaneo e permanente, si orienterà secondo la risultante delle dette forze, dirigendosi non più verso il Nord magnetico, come a terra, ma verso una nuova direzione, che varia al variare della prora della nave, e che si chiama Nord deviato o Nord bussola. L'angolo tra il Nord magnetico e il Nord bussola si definisce deviazione, « $\delta$ ».

### 1.3.2.5 Compensazione

Analizzando l'influenza dei tre campi magnetici su tutti i ferri di bordo (scafo, sovrastrutture, alberatura, macchine e caldaie, ecc.) si riesce, dopo una grande quantità di sviluppi analitici, a stabilire l'**equazione della deviazione** (equazione di Fourier, nota come formula approssimata della deviazione di Smith):

$$\delta = A^\circ + B^\circ \times \text{sen } Pb + C^\circ \times \text{cos} Pb + D^\circ \times \text{sen } 2Pb + E^\circ \times \text{cos } 2Pb$$

La compensazione è un'operazione effettuata periodicamente da tecnici appositi, i **periti compensatori (compass adjuster)**.  $A^\circ$ ,  $B^\circ$ ,  $C^\circ$ ,  $D^\circ$ ,  $E^\circ$  sono **fattori approssimati** (Figura 3.6).

- ▶  $A^\circ$  rappresenta la deviazione costante, detta «apparente», spesso dovuta ad errori sistematici (es. non perfetto allineamento della linea di fede). È trascurabile.
- ▶  $B^\circ$  rappresenta la deviazione massima provocata dai ferri duri longitudinali. Si compensa utilizzando magneti longitudinali. Dipendendo dal «sen» della Pb,  $B^\circ$  è massimo per valori E/W. Il compensatore, pertanto, dopo aver inserito i magneti, verificherà che il valore della deviazione per Pb 090° e 270° sia piccolo.
- ▶  $C^\circ$  rappresenta la deviazione massima provocata dai ferri duri trasversali. Dipendendo dal «cos» della Pb,  $C^\circ$  è massimo per Pb N/S. Il compensatore, pertanto, dopo aver inserito i magneti, verificherà che il valore della deviazione per Pb 000° e 180° sia piccolo.

I magneti per compensare i ferri duri vengono inseriti dal compensatore all'interno della chiesuola.  $D^\circ$  rappresenta la deviazione massima provocata dai ferri dolci orizzontali simmetrici di bordo.

- ▶  $D^\circ$  si compensa con una coppia di sfere (di Thomson) o cilindri di ferro dolce, posta a dritta e a sinistra della bussola (correttori). Dipendendo dal «sen» di 2Pb,  $D^\circ$  è massima per Pb 045°/225°/135°/315° (valori intercardinali). Il compensatore, quindi, verificherà il valore di deviazione per i valori di Pb sopracitati.
- ▶  $E^\circ$  rappresenta la deviazione massima prodotta dai ferri dolci orizzontali asimmetrici di bordo. Generalmente, essendo difficile (impossibile) applicare correttori asimmetricamente intorno alla bussola, non si possono compensare. Tuttavia, se le compensazioni degli altri fattori di

La deviazione prodotta dal ferro dolce verticale di bordo può essere compensata con la sbarra di Flinders, la quale viene introdotta dentro un astuccio di ottone, che è disposto a proravia o a poppavia della rosa della bussola e arriva ad un'altezza di circa 2 cm sulla rosa. La sbarra di Flinders è costituita da una serie di cilindretti di ferro dolce.

deviazione ( $A^\circ$ ,  $B^\circ$ ,  $C^\circ$ ,  $D^\circ$ ) è andata a buon fine, il valore di  $E^\circ$  non dovrebbe essere alto. Il compensatore, quindi, verificherà il valore della deviazione per Pb  $000^\circ/180^\circ/090^\circ/270^\circ$ .

Figura 3.6 - Fattori approssimati della compensazione

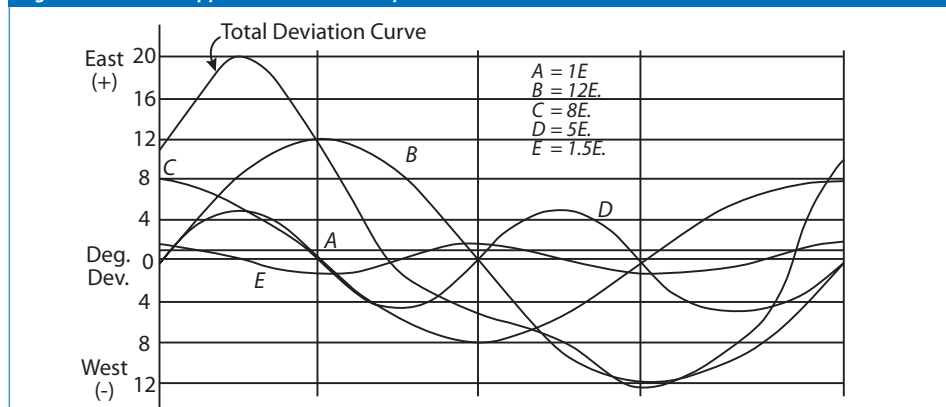
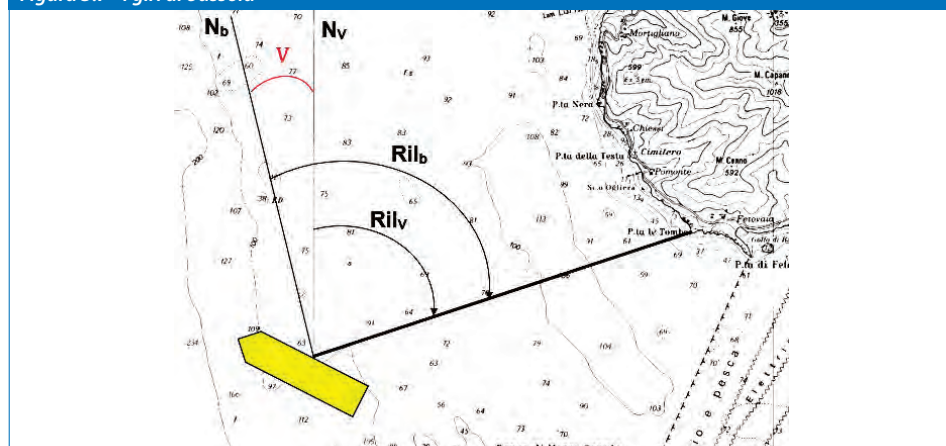


Figura 3.7 - I giri di bussola



La determinazione delle deviazioni viene effettuata confrontando, per un certo numero di Prore (ogni  $15^\circ$ ), i Rilevamenti letti alla bussola ( $Ril_b$ ) di un punto notevole costiero con quelli magnetici, ( $Ril_m = Ril_v - d$ ). L'operazione è detta **giri di bussola** (Figura 3.7) perché implica uno o più giri completi d'orizzonte della nave (almeno due). Per ogni prora assunta della nave, risulta:

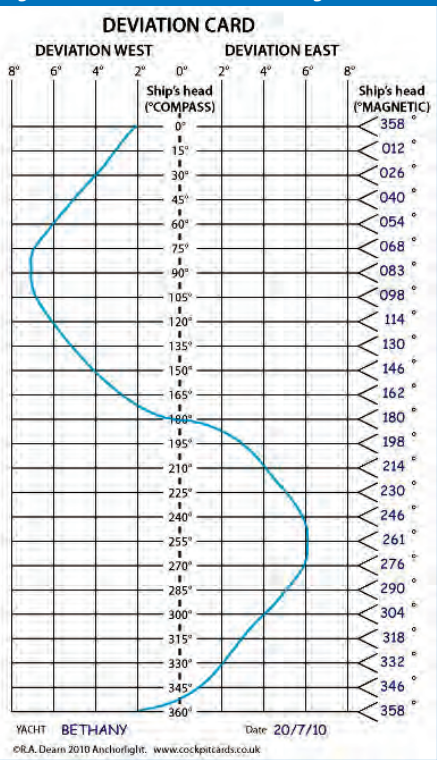
$$\delta = Ril_m - Ril_b$$

Dopo aver effettuato la compensazione, le **deviazioni** vengono ridotte a valori esigui (dell'ordine del grado) e segnate sulla **Tabella delle deviazioni (Deviation Card)**, redatta annualmente (Figure 3.8 e 3.9). Si parla di **deviazioni residue**, in quanto la deviazione non può essere annullata totalmente, ma solo ridotta. Essendo la deviazione un valore che varia in funzione del magnetismo dei ferri di bordo (collegato al c.m.t. e, quindi alla declinazione), la Tabella delle Deviazioni dovrebbe essere redatta ogni volta che la nave cambia drasticamente itinerario.





Figura 3.8 - Curva di deviazione magnetica



**Interpolazione dei dati della tabella delle deviazioni:**

- calcolare la differenza tra i valori di deviazione corrispondenti alle prore tabulate che “contengono” quella per cui si cerca la deviazione;
- dividere tale differenza per il numero di gradi che separa le due prore tabulate, ottenendo così la variazione di deviazione per ogni grado di quell’intervallo;
- moltiplicare questo valore per il numero di gradi che separa una delle prore tabulate da quella per cui si cerca la deviazione;
- sommare o sottrarre il dato ottenuto alla deviazione corrispondente alla prore tabulate considerata.

Figura 3.9 - Tabella delle deviazioni residue

**TABELLA DELLE DEVIAZIONI RESIDUE**  
**IMBARCAZIONE "PALMARIA"**

Prora Magnetica	Deviazione	Prora Bussola
000°	+ 2°,8	357°,2
005°	+ 3°,3	001°,7
010°	+ 3°,9	006°,1
015°	+ 4°,2	010°,8
020°	+ 4°,8	015°,2
025°	+ 5°,3	019°,7
030°	+5°,7	024°,3
035°	+ 6°,0	029°
040°	+ 6°,4	033°,6
045°	+ 6°,7	038°,3
050°	+ 6°,9	043°1

Prora Magnetica	Deviazione	Prora Bussola
185°	- 6°,7	191°,7
190°	- 7°,1	197°,1
195°	- 7°,4	202°,4
200°	- 7°,8	207°,8
205°	- 8°,1	213°,1
210°	- 8°,4	218°,4
215°	- 8°,6	223°,6
220°	- 8°,7	228°,7
225°	- 8°,8	233°,8
230°	- 8°,8	238°,8
235°	-8°,7	243°,7



### 1.3.2.6 Conversione e correzione di prora e rilevamenti

Per quanto detto, la bussola fornisce la direzione dell'asse longitudinale della nave rispetto a quello del campo magnetico di bordo. Se ci riferiamo al meridiano geografico, a quello magnetico o a quello deviato (bussola) si hanno rispettivamente la **Prora vera, Pv (True Heading)**, la **Prora magnetica, Pm (Magnetic Heading)** o la **Prora bussola, Pb (Compass Heading)**.

Analoghe relazioni si stabiliscono facilmente con i rilevamenti veri, magnetici e bussola di un oggetto costiero<sup>2</sup>. Il passaggio da una Prora bussola, Pb (o Rilevamento bussola, Rilb), alle corrispondenti prora magnetica o vera si dice che si opera una **correzione di prora (o di rilevamenti)**. Se invece si effettua l'operazione inversa, se cioè si trasforma una prora vera (o un rilevamento vero) nelle corrispondenti magnetica e bussola, si dice che si opera una **conversione di prora (o di rilevamenti)** (Figura 3.10).

#### CORREZIONE

$$\begin{array}{lll} P_v = P_b + (\pm) \delta + (\pm) d & P_m = P_b + (\pm) \delta & P_v = P_m + (\pm) d \\ R_{ilv} = R_{ilb} + (\pm) \delta + (\pm) d & R_{ilm} = R_{ilb} + (\pm) \delta & R_{ilv} = R_{ilm} + (\pm) \delta \end{array}$$

#### CONVERSIONE

$$\begin{array}{lll} P_b = P_v - (\pm) d - (\pm) \delta & P_m = P_v - (\pm) d & P_b = P_m - (\pm) \delta \\ R_{ilb} = R_{ilv} - (\pm) d - (\pm) \delta & R_{ilm} = R_{ilv} - (\pm) d & R_{ilb} = R_{ilm} - (\pm) \delta \end{array}$$

### 1.3.2.7 Caratteristiche della bussola magnetica

La bussola magnetica, per un buon funzionamento, deve possedere determinati requisiti, dei quali i più importanti sono:

- ▶ **L'orizzontalità della rosa** si ottiene dando all'equipaggio magnetico una sospensione pendolare. In tal modo, la componente verticale Z tende ad inclinare la rosa, spostandone il baricentro dalla verticale del punto di sospensione. Nasce così una coppia raddrizzante che contrasta l'azione inclinante. Si raggiunge l'equilibrio quando le due coppie sono uguali e ciò può ottenersi, in sede di progetto, anche con un angolo di inclinazione della rosa di circa 1°, sufficiente per ritenerla orizzontale.
- ▶ La **stabilità di una rosa** è la sua proprietà a mantenere l'orizzontalità e la direttività anche in presenza di disturbi esterni quali vibrazioni, movimenti di rollio e beccheggio.
- ▶ **L'accuratezza di una bussola** è la capacità di fornire una misura il più possibile vicina al valore vero. Essa dipende dall'orizzontalità della rosa, dalla gradazione della stessa, dalla posizione della linea di fede, dalle oscillazioni, dalla conoscenza degli errori dovuti al campo magnetico prodotto dai ferri di bordo. Ogni occasione è buona per controllare l'accuratezza della bussola che tra l'altro dipende dalla prora della nave, dalla località e dal tipo di carico. Il Regolamento per la sicurezza della navigazione prescrive il controllo

<sup>2</sup> Nelle operazioni di correzione/conversione di rilevamenti, l'elemento di entrata nella Tabella delle deviazioni è la Prora bussola o la Prora magnetica





della bussola al sorgere ed al tramonto del sole.

- La **sensibilità di una bussola** esprime la capacità di rilevare le più piccole accostate della nave. Quando la nave accosta, l'attrito esistente tra perno e cappelletto tende a trascinare la rosa e quindi a portare gli aghi fuori dalle linee di forza di un piccolo angolo. Nasce perciò una coppia direttiva, la quale, se vince l'attrito, riporta gli aghi lungo le linee di forza. Per le buone bussole tale angolo si aggira sul mezzo grado. Una buona sensibilità richiede un elevato momento magnetico della rosa e questo può verificarsi solo con aghi grossi e quindi pesanti. Ciò costituirebbe un inconveniente in quanto aumenterebbe l'attrito tra perno e cappelletto, con rapida usura delle parti. A tale inconveniente si può ovviare con le bussole a liquido, che trasmettendo alla rosa (munita di adatto galleggianti), l'adeguata spinta idrostatica, riduce la reazione tra le parti mobili, e quindi l'attrito e l'usura. Una bussola poco sensibile è pigra, cioè stenta ad orientarsi. Ciò costituisce un grave inconveniente soprattutto nelle accostate. Il liquido è una **miscela di acqua (70%) ed alcool (30%)**, per abbassare il punto di gelo se si naviga in zone fredde (fino a temperature di  $-30^{\circ}\text{C}$ ) e per smorzare rapidamente le oscillazioni della rosa.
- L'**affidabilità di una bussola** indica la proprietà che essa non sia soggetta ad avarie. La bussola magnetica è uno strumento per sua natura molto affidabile se si rispettano le normali ed elementari precauzioni per la sua manutenzione, come evitare urti, protezione dai raggi solari, controllo del liquido, dello stato della rosa, dell'usura del perno, dello stato delle guarnizioni.

La bussola magnetica è trattata nella **SOLAS al cap. V reg. 19**; il suo posizionamento a bordo è definito nella **Risoluzione IMO A.832(X)**.

Figura 3.10 - Conversioni e correzioni di Prore e Rilevamenti

