

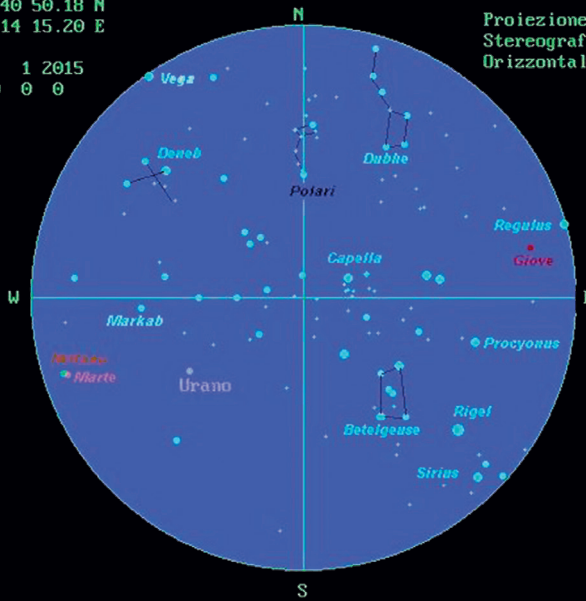
MARIO VULTAGGIO

NAVIGAZIONE ASTRONOMICA

Anno Accademico 2012/2013

lat. 40 50.18 N
long. 14 15.20 E
Data 13 1 2015
tf 20 0 0

Proiezione
Stereografica
Orizzontale



Università degli Studi di Napoli *Parthenope*
DiST (Dipartimento Scienze e Tecnologie)
(Già Facoltà di Scienze e Tecnologie)

MARIO VULTAGGIO

NAVIGAZIONE ASTRONOMICA
OSSERVAZIONE ASTRONOMICA NELL'AREA ANTARTICA
(MARE DI ROSS - GENNAIO 2014, M/N ITALICA)

Anno Accademico 2012/2013



GIANNINI EDITORE

Volume stampato con il contributo di
TEKTO STUDIO
Ing. Gianluca Vultaggio
www.tekstostudio.com - info@tektostudio.com

©2015 dell'Autore

ISBN 978-88-7431-806-3

Giannini Editore
Via Cisterna dell'Olio 6/b
80134 Napoli
www.gianninispa.it

*Ai miei cari
Giorgia, Gianluca e Giuseppe*

Presentazione

Questo volume raggruppa un insieme di argomenti sviluppati durante il corso di Astronomia Nautica del corso triennale in Scienze Nautiche a partire dal 2002/03; esso tiene conto delle esigenze didattiche di base maturate in quest'ultimo ventennio durante il quale l'Autore è stato titolare degli insegnamenti di Navigazione Spaziale, Istituzione di Navigazione (Navigazione I), Navigazione (Navigazione II), Astronomia Nautica, Navigazione Spaziale.

Il testo non ha l'obiettivo di essere un trattato completo di Astronomia ma contiene tutti gli argomenti ritenuti indispensabili per gli studenti di Scienze Nautiche che affrontano lo studio della Navigazione Satellitare, Astronomica e Spaziale.

Molti argomenti sono stati precedentemente trattati da colleghi che negli anni passati hanno tenuto il corso di Astronomia Generale e Sferica e Astronomia Nautica.

Nel primo capitolo sono riportate la quasi totalità delle relazioni trigonometriche per la risoluzione dei triangoli sferici; oltre ai metodi tradizionali, è riportato un metodo originale, applicando la matrice di rotazione, per definire le formule fondamentali sui triangoli sferici.

Il secondo capitolo tratta la sfera celeste, il moto diurno, i sistemi di riferimento e la risoluzione del triangolo di posizione.

Il terzo capitolo analizza tutte le questioni relative al Tempo e alla sua misura. Il quarto capitolo tratta le variazioni delle coordinate associate ai moti propri dei corpi celesti e la strumentazione necessarie per la loro osservazione. Il quinto capitolo riguarda la circonferenza di altezza, le sue proprietà e la sua rappresentazione nelle carte di navigazione.

Nei capitoli sesto, settimo, ottavo e nono sono trattati tutti i metodi grafici e numerici, con numerosissimi esempi, per la determinazione della posizione da misure astronomiche in mare con sestante.

L'ultimo capitolo, infine, tratta la costruzione delle Effemeridi Nautiche mediante l'uso di serie secolari del sistema solare inclusa la Luna a partire da una Epoca di riferimento (equatore ed equinozio medio 1900 e/o 2000) con alcune applicazioni che permettono eventuali verifiche degli algoritmi utilizzati. Il lettore, con questo capitolo, ha tutti gli elementi necessari per una propria costruzione delle Effemeridi Nautiche. L'applicazione delle serie astronomiche ha reso possibile di ottenere, in tempo reale con le osservazioni, gli elementi necessari al calcolo automatico della posizione.

L'ottimizzazione degli algoritmi è stata necessaria nella ricerca, sviluppo e realizzazione da parte dell'autore nella automazione del sestante marino.

Mario Vultaggio

INDICE

CAPITOLO 1 I SISTEMI DI RIFERIMENTO

1.1 - La sfera delle direzioni	pag.	15
1.2 - La matrice di rotazione	pag.	16
1.3 - Relazioni trigonometriche fondamentali	pag.	21
<i>1.3.1 - Relazioni di prima specie</i>	pag.	23
<i>1.3.2 - Relazioni di seconda specie</i>	pag.	26
1.4 - Relazioni per triangoli sferici rettangoli e rettilateri	pag.	28
1.5 - Relazioni di terza specie	pag.	31
<i>1.5.1 - Formule di Borda</i>	pag.	31
<i>1.5.2 - Analogie di Neper</i>	pag.	35
1.6 - Trasformazione di coordinate fra sistemi di riferimento	pag.	36
<i>1.6.1 - Trasformazione fra due generici sistemi di riferimento</i>	pag.	37
<i>1.6.2 - Applicazioni</i>	pag.	40
<i>1.6.3 - Il sistema inerziale terrestre (ECI)</i>	pag.	40
<i>1.6.4 - Il sistema geocentrico terrestre (ECEF)</i>	pag.	41
<i>1.6.5 - Il sistema topocentrico piano (LTP)</i>	pag.	41
<i>1.6.6 - I sistemi topocentrico ENU-NED</i>	pag.	41
1.7 - Visibilità dei satelliti	pag.	44

CAPITOLO 2 COORDINATE DEGLI ASTRI E MOTO DIURNO

2.0 - Sfera celeste - Generalità sugli astri - Coordinate	pag.	47
2.1 - Sfera celeste delle direzioni	pag.	47
2.2 - Gli astri	pag.	48
2.3 - Le stelle	pag.	49
2.4 - Misure radio astronomiche	pag.	52
2.5 - Circonferenze fondamentali sulla sfera celeste legate alla verticale e all'asse terrestre	pag.	53
2.6 - L'eclittica	pag.	56
2.7 - Circonferenze fondamentali sulla sfera celeste legate alla eclittica	pag.	59
2.8 - Sistemi di coordinate sulla sfera celeste	pag.	60
<i>2.8.1 - Generalità</i>	pag.	60

2.8.2 - <i>Sistema di coordinate altazimutali</i>	pag.	60
2.8.3 - <i>Sistema di coordinate orarie</i>	pag.	61
2.8.4 - <i>Sistema di coordinate uranografiche equatoriali</i>	pag.	63
2.8.5 - <i>Sistema di coordinate uranografiche eclittiche</i>	pag.	64
2.8.6 - <i>Sistema di coordinate uranografiche galattiche</i>	pag.	65
2.9 - Moto apparente diurno della sfera celeste triangolo di posizione e sua risoluzione	pag.	65
2.9.1 - <i>Considerazioni generali</i>	pag.	65
2.10 - Astrisorgenti tramontanti, circumpolare anticircumpolari	pag.	68
2.11 - Sfera celeste retta e parallela	pag.	70
2.12 - Triangolo di posizione	pag.	72
2.13 - Risoluzione del triangolo di posizione	pag.	75

CAPITOLO 3 TEMPO E SUA MISURA

3.1 - Introduzione	pag.	81
3.2 - Sfera celeste in proiezione ortografica equatoriale - Diagramma orario	pag.	82
3.3 - Relazione fra simultanei angoli orari relativi a due meridiani	pag.	83
3.4 - Relazione fondamentale degli angoli orari	pag.	84
3.5 - Giorno stellare e giorno sidereo	pag.	85
3.6 - Giorno solare vero e medio	pag.	88
3.7 - Tempo Medio	pag.	94
3.8 - Linee di cambiamento di data	pag.	96
3.9 - Data giuliana	pag.	98
3.10 - Tempo universale	pag.	102
3.11 - Tempo delle Effemeridi	pag.	104
3.12 - Tempo Atomico e Tempo Universale Coordinato	pag.	105
3.13 - Tempo dinamico e scale di tempo dinamico TDB e TDT	pag.	106
3.14 - Cronometri marini	pag.	107
3.15 - Notizie storiche sul cronometro	pag.	108
3.16 - Calendario	pag.	109
3.17 - Data della Pasqua	pag.	111
3.18 - Effemeridi nautiche	pag.	112
3.18.1 - <i>Definizione del tempo effemeridi</i>	pag.	113
3.18.2 - <i>Tempo dinamico</i>	pag.	113
3.18.3 - <i>Tempo atomico</i>	pag.	113
3.18.4 - <i>Tempo siderale</i>	pag.	114
3.18.5 - <i>Tempo universale (UT)</i>	pag.	114
3.18.6 - <i>Tempo delle effemeridi (ET)</i>	pag.	114

3.19 - La data giuliana (JD)	pag.	116
3.20 - Il tempo sidereo a Greenwich	pag.	117

CAPITOLO 4 VARIAZIONE DELLE COORDINATE E CORREZIONE DELLE ALTEZZE DEGLI ASTR

4.1 - Rifrazione astronomica	pag.	119
4.2 - La curva di rifrazione geodetica	pag.	126
4.3 - Orizzonte geometrico	pag.	129
4.4 - Orizzonte marino	pag.	131
4.5 - La parallasse	pag.	134
4.5.1 - <i>Parallasse geocentrica</i>	pag.	136
4.5.2 - <i>La parallasse del Sole</i>	pag.	139
4.5.3 - <i>Parallasse eliocentrica o annua</i>	pag.	143
4.5.4 - <i>L'unità di distanza stellare: parsec, anno luce</i>	pag.	145
4.5.5 - <i>Parallasse diurna della Luna</i>	pag.	146
4.6 - Semidiametro	pag.	145
4.7 - Precessione e nutazione	pag.	151
4.7.1 - <i>L'interpretazione di Newton</i>	pag.	153
4.7.2 - <i>Precessione e nutazione lunisolare; nutazione totale</i>	pag.	155
4.7.3 - <i>Precessione planetaria e precessione generale</i>	pag.	160
4.7.4 - <i>Visione globale dei fenomeni di precessione e nutazione</i>	pag.	162
4.8 - Il sestante e le correzioni delle altezze	pag.	164
4.8.1 - <i>Il principio ottico</i>	pag.	165
4.8.2 - <i>Verifiche e rettifiche del sestante</i>	pag.	167
4.8.3 - <i>Correzione d'indice</i>	pag.	168
4.8.4 - <i>Correzione strumentale</i>	pag.	170
4.9 - Misure delle altezze	pag.	171
4.9.1 - <i>Correzioni delle altezze</i>	pag.	172
4.10 - Sorgere e tramonto della Luna e del Sole - Crepuscoli	pag.	174
4.A.1 - Appendice A	pag.	176
4.B.1 - Appendice B	pag.	183

CAPITOLO 5 CIRCONFERENZA DI ALTEZZA

5.0 - Cenni storici	pag.	187
5.1 - Circonferenza di altezza e punto sub-astroale	pag.	187

5.2 - Equazione della circonferenza di altezza	pag.	189
5.2.1 - <i>Classificazione delle circonferenza di altezza</i>	pag.	190
5.2.2 - <i>Scostamento della circonferenza di altezza dal cerchio massimo tangente</i>	pag.	192
5.2.3 - <i>Tracciamento per punti della circonferenza di altezza</i>	pag.	193
5.2.3.1 - <i>Calcolo di latitudine</i>	pag.	194
5.2.3.2 - <i>Calcolo della longitudine</i>	pag.	195
5.3 - Rappresentazione della circonferenza di altezza sulla carta di Mercatore	pag.	195
5.3.1 - <i>Equazione della circonferenza di altezza</i>	pag.	196
5.3.1.1 - <i>Curva di altezza di prima specie</i>	pag.	198
5.3.1.2 - <i>Curva di altezza di seconda specie</i>	pag.	201
5.3.1.3 - <i>Curva di altezza di terza specie</i>	pag.	204
5.4 - Altezze circumzenitali	pag.	205
5.4.1 - <i>Metodo per tracciare il cerchio associato alle altezze circumzenitali</i>	pag.	208
5.A.1 - Appendice A	pag.	209
5.B.1 - Appendice B	pag.	212

CAPITOLO 6 DETERMINAZIONE DEL PUNTO NAVE CON RETTE DI ALTEZZA CIRCONFERENZE DI ALTEZZA

6.0 - La retta di altezza	pag.	215
6.1 - Metodi di tracciamento della retta di altezza	pag.	216
6.1.1 - <i>Metodo Summer o della corda</i>	pag.	216
6.1.2 - <i>Metodo Johnson o della longitudine</i>	pag.	218
6.1.3 - <i>Metodo della latitudine</i>	pag.	219
6.2 - Metodo Saint-Hilaire	pag.	221
6.3 - Formule dell'Alessio	pag.	222
6.4 - Linearizzazione della circonferenza di altezza e sua equazione	pag.	224
6.5 - Alcune considerazioni sul tracciamento della retta di altezza	pag.	227
6.5.1 - <i>Rette di altezze successive</i>	pag.	230
6.5.2 - <i>Tracciamento delle rette di altezza</i>	pag.	232
6.6 - Casi particolari - Osservazione meridiana	pag.	234
6.7 - Casi particolari - Osservazione della polare	pag.	237
6.8 - Casi particolari - Riduzione al meridiano	pag.	240
6.9 - Casi particolari - Altezza di culminazione	pag.	242
6.A - Appendice A	pag.	245

6.A.0 - Risoluzione numerica del triangolo di posizione	pag.	245
6.A.1 - Risoluzione non logaritmica	pag.	245
6.A.2 - Risoluzione logaritmica	pag.	248

CAPITOLO 7 DETERMINAZIONE DEGLI AZIMUT

7.0 - Considerazioni generali	pag.	249
7.1 - La misura di azimut	pag.	249
7.2 - L'azimut in funzione del tempo	pag.	252
7.2.1 - Errori sul calcolo dell'azimut in funzione del tempo	pag.	253
7.3 - L'azimut in funzione dell'altezza osservata	pag.	255
7.4 - L'azimut al sorgere e tramonto dell'astro - Amplitudine	pag.	256
7.5 - L'azimut della polare	pag.	258

CAPITOLO 8 ACCURATEZZA DELLA POSIZIONE

8.0 - Generalità	pag.	261
8.1 - Classificazione degli errori	pag.	261
8.2 - Punto astronomico e incertezza della posizione con rette di altezza	pag.	262
8.3 - Punto più probabile (PPP) con rette di altezza	pag.	269
8.4 - Punto più probabile (PPP) con tre rette di altezza	pag.	274
8.5 - Punto più probabile (PPP) con le simediane	pag.	276
8.A - Appendice A	pag.	279
8.A.1 - Calcolo dell'incertezza della bisettrice di altezza	pag.	279

CAPITOLO 9 LE EFFEMERIDI NAUTICHE

9.0 - Cenni storici	pag.	283
9.1 - Le effemeridi Nautiche	pag.	283
9.2 - Le interpolazioni	pag.	285
9.2.1 - Calcolo delle coordinate locali orarie	pag.	286
9.3 - Relazioni sui tempi	pag.	287

9.3.1 - <i>Relazione fra giorno medio e giorno sidero</i>	pag.	288
9.3.2 - <i>Interpolazione dell'intervallo medio in intervallo sidero</i>	pag.	289
9.4 - Relazione fra giorno medio e giorno lunare	pag.	290
9.4.1 - <i>Periodo o mese sinodico</i>	pag.	290
9.4.2 - <i>Giorno lunare</i>	pag.	291
9.4.3 - <i>Conversione dell'intervallo medio in intervallo lunare</i>	pag.	292
9.4.4 - <i>Conversione dell'intervallo medio in intervallo pianeta</i>	pag.	293
9.5 - Calcolo del passaggio al meridiano dei corpi celesti	pag.	293
9.5.1 - <i>Calcolo dell'ora locale del passaggio al meridiano del Sole e del punto vernale</i>	pag.	294
9.5.2 - <i>Calcolo dell'ora locale del passaggio al meridiano di Giove e della Luna</i>	pag.	295
9.6 - Ricerca dell'ora media locale della Luna al meridiano Superiore	pag.	295
9.7 - Calcolo dell'ora media locale dei pianeti al meridiano Superiore	pag.	297
9.8 - Calcolo dell'ora media locale del sorgere o tramonto di un astro	pag.	298
9.9 - Crepuscolo civile e crepuscolo nautico	pag.	301
9.9.1 - <i>Calcolo della fine del crepuscolo serale</i>	pag.	302
9.9.2 - <i>Calcolo dell'altezza e dell'ora locale del passaggio al primo verticale (Est/Ovest)</i>	pag.	303
9.9.3 - <i>Calcolo dell'altezza e dell'ora locale del passaggio di un astro alla massima digressione</i>	pag.	306
9.10 - Riconoscimento di un astro	pag.	309
9.11 - Determinazione del punto (fix) astronomico	pag.	312

CAPITOLO 10 ALGORITMI PER IL CALCOLO AUTOMATICO DELLE EFFEMERIDI NAUTICHE

10.1 - Introduzione	pag.	349
10.2 - Definizione del tempo	pag.	349
10.2.1 - <i>Tempo dinamico</i>	pag.	350
10.2.2 - <i>Tempo atomico</i>	pag.	350
10.2.3 - <i>Tempo siderale</i>	pag.	350
10.2.4 - <i>Tempo universale (UT)</i>	pag.	351
10.3 - Il Tempo delle effemeridi (ET)	pag.	351
10.4 - La data giuliana (JD)	pag.	352
10.5 - Il tempo siderale a Greenwich	pag.	355

10.6 - Le coordinate dei pianeti del sistema solare	pag.	357
10.6.1 - <i>Le coordinate geocentriche apparenti del Sole</i>	pag.	357
10.6.2 - <i>Calcolo della posizione geocentrica apparente dei pianeti</i>	pag.	361
10.7 - Calcolo della nutazione in longitudine ed in obliquità	pag.	366
10.8 - Calcolo della posizione della Luna	pag.	368
10.9 - Calcolo delle coordinate equatoriali apparenti delle stelle	pag.	370
10.A - Appendice A	pag.	374
10.B - Appendice B	pag.	376
10.C - Appendice C	pag.	377
10.D - Appendice D	pag.	384
10.E - Appendice E	pag.	386
10.F - Appendice F	pag.	389
<i>Costanti del Sistema Astronomico (IAU - 1976)</i>	pag.	393
<i>Bibliografia</i>	pag.	399

