

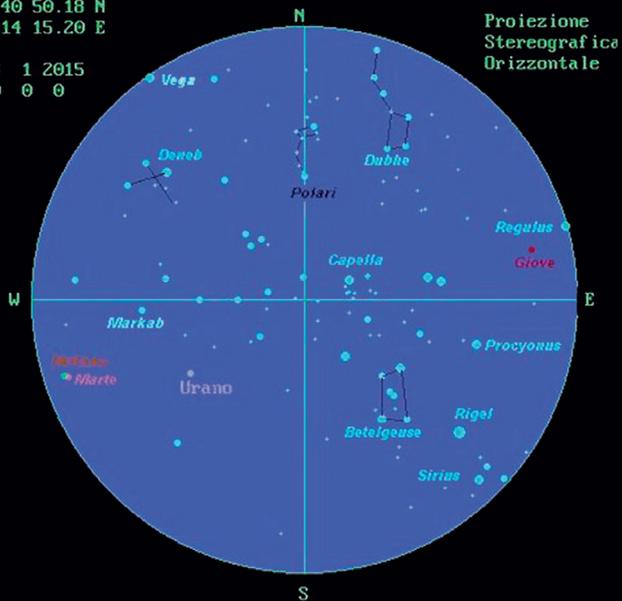
Università degli Studi di Napoli *Parthenope*  
DiST (Dipartimento Scienze e Tecnologie)  
(Già Facoltà di Scienze e Tecnologie)

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



GIANNINI EDITORE

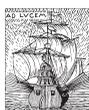


Università degli Studi di Napoli *Parthenope*  
DiST (Dipartimento Scienze e Tecnologie)  
(Già Facoltà di Scienze e Tecnologie)

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](http://www.tekstostudio.com) - [info@tektostudio.com](mailto: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](http://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

<b>1.1 - La sfera delle direzioni</b>	pag.	15
<b>1.2 - La matrice di rotazione</b>	pag.	16
<b>1.3 - Relazioni trigonometriche fondamentali</b>	pag.	21
<i>1.3.1 - Relazioni di prima specie</i>	pag.	23
<i>1.3.2 - Relazioni di seconda specie</i>	pag.	26
<b>1.4 - Relazioni per triangoli sferici rettangoli e rettilateri</b>	pag.	28
<b>1.5 - Relazioni di terza specie</b>	pag.	31
<i>1.5.1 - Formule di Borda</i>	pag.	31
<i>1.5.2 - Analogie di Neper</i>	pag.	35
<b>1.6 - Trasformazione di coordinate fra sistemi di riferimento</b>	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
<b>1.7 - Visibilità dei satelliti</b>	pag.	44

### CAPITOLO 2 COORDINATE DEGLI ASTRI E MOTO DIURNO

<b>2.0 - Sfera celeste - Generalità sugli astri - Coordinate</b>	pag.	47
<b>2.1 - Sfera celeste delle direzioni</b>	pag.	47
<b>2.2 - Gli astri</b>	pag.	48
<b>2.3 - Le stelle</b>	pag.	49
<b>2.4 - Misure radio astronomiche</b>	pag.	52
<b>2.5 - Circonferenze fondamentali sulla sfera celeste legate alla verticale e all'asse terrestre</b>	pag.	53
<b>2.6 - L'eclittica</b>	pag.	56
<b>2.7 - Circonferenze fondamentali sulla sfera celeste legate alla eclittica</b>	pag.	59
<b>2.8 - Sistemi di coordinate sulla sfera celeste</b>	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
<b>2.9 - Moto apparente diurno della sfera celeste triangolo di posizione e sua risoluzione</b>	pag.	65
2.9.1 - <i>Considerazioni generali</i>	pag.	65
<b>2.10 - Astrisorgenti tramontanti, circumpolare anticircumpolari</b>	pag.	68
<b>2.11 - Sfera celeste retta e parallela</b>	pag.	70
<b>2.12 - Triangolo di posizione</b>	pag.	72
<b>2.13 - Risoluzione del triangolo di posizione</b>	pag.	75

### CAPITOLO 3 TEMPO E SUA MISURA

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

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

## CAPITOLO 4 VARIAZIONE DELLE COORDINATE E CORREZIONE DELLE ALTEZZE DEGLI ASTR

<b>4.1 - Rifrazione astronomica</b>	pag.	119
<b>4.2 - La curva di rifrazione geodetica</b>	pag.	126
<b>4.3 - Orizzonte geometrico</b>	pag.	129
<b>4.4 - Orizzonte marino</b>	pag.	131
<b>4.5 - La parallasse</b>	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
<b>4.6 - Semidiametro</b>	pag.	145
<b>4.7 - Precessione e nutazione</b>	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
<b>4.8 - Il sestante e le correzioni delle altezze</b>	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
<b>4.9 - Misure delle altezze</b>	pag.	171
4.9.1 - <i>Correzioni delle altezze</i>	pag.	172
<b>4.10 - Sorgere e tramonto della Luna e del Sole - Crepuscoli</b>	pag.	174
<b>4.A.1 - Appendice A</b>	pag.	176
<b>4.B.1 - Appendice B</b>	pag.	183

## CAPITOLO 5 CIRCONFERENZA DI ALTEZZA

<b>5.0 - Cenni storici</b>	pag.	187
<b>5.1 - Circonferenza di altezza e punto sub-astroale</b>	pag.	187

<b>5.2 - Equazione della circonferenza di altezza</b>	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
<b>5.3 - Rappresentazione della circonferenza di altezza sulla carta di Mercatore</b>	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
<b>5.4 - Altezze circumzenitali</b>	pag.	205
5.4.1 - <i>Metodo per tracciare il cerchio associato alle altezze circumzenitali</i>	pag.	208
<b>5.A.1 - Appendice A</b>	pag.	209
<b>5.B.1 - Appendice B</b>	pag.	212

## CAPITOLO 6

### DETERMINAZIONE DEL PUNTO NAVE CON RETTE DI ALTEZZA CIRCONFERENZE DI ALTEZZA

<b>6.0 - La retta di altezza</b>	pag.	215
<b>6.1 - Metodi di tracciamento della retta di altezza</b>	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
<b>6.2 - Metodo Saint-Hilaire</b>	pag.	221
<b>6.3 - Formule dell'Alessio</b>	pag.	222
<b>6.4 - Linearizzazione della circonferenza di altezza e sua equazione</b>	pag.	224
<b>6.5 - Alcune considerazioni sul tracciamento della retta di altezza</b>	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
<b>6.6 - Casi particolari - Osservazione meridiana</b>	pag.	234
<b>6.7 - Casi particolari - Osservazione della polare</b>	pag.	237
<b>6.8 - Casi particolari - Riduzione al meridiano</b>	pag.	240
<b>6.9 - Casi particolari - Altezza di culminazione</b>	pag.	242
<b>6.A - Appendice A</b>	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

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

## CAPITOLO 8 ACCURATEZZA DELLA POSIZIONE

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

## CAPITOLO 9 LE EFFEMERIDI NAUTICHE

<b>9.0 - Cenni storici</b>	pag.	283
<b>9.1 - Le effemeridi Nautiche</b>	pag.	283
<b>9.2 - Le interpolazioni</b>	pag.	285
9.2.1 - Calcolo delle coordinate locali orarie	pag.	286
<b>9.3 - Relazioni sui tempi</b>	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
<b>9.4 - Relazione fra giorno medio e giorno lunare</b>	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
<b>9.5 - Calcolo del passaggio al meridiano dei corpi celesti</b>	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
<b>9.6 - Ricerca dell'ora media locale della Luna al meridiano Superiore</b>	pag.	295
<b>9.7 - Calcolo dell'ora media locale dei pianeti al meridiano Superiore</b>	pag.	297
<b>9.8 - Calcolo dell'ora media locale del sorgere o tramonto di un astro</b>	pag.	298
<b>9.9 - Crepuscolo civile e crepuscolo nautico</b>	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
<b>9.10 - Riconoscimento di un astro</b>	pag.	309
<b>9.11 - Determinazione del punto (fix) astronomico</b>	pag.	312

## CAPITOLO 10

### ALGORITMI PER IL CALCOLO AUTOMATICO DELLE EFFEMERIDI NAUTICHE

<b>10.1 - Introduzione</b>	pag.	349
<b>10.2 - Definizione del tempo</b>	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
<b>10.3 - Il Tempo delle effemeridi (ET)</b>	pag.	351
<b>10.4 - La data giuliana (JD)</b>	pag.	352
<b>10.5 - Il tempo siderale a Greenwich</b>	pag.	355

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

