

ISTITUTO TECNICO TRASPORTI E LOGISTICA “ARTIGLIO”

MANUALE
DI SCIENZE DELLA NAVIGAZIONE
E STRUTTURA DELLA NAVE



*Manuale Tecnico pratico ad uso dell'Allievo di Istituto Tecnico Trasporti e Logistica
e d'Ufficiali di coperta*

PREMESSA

Da anni esistono in commercio manuali tecnici destinati ai vari ordini professionali: ingegneri, chimici, periti, geometri, ragionieri, avvocati, ecc. ecc. Non esiste invece in commercio un manuale per gli allievi degli Istituti tecnici trasporti e logistica (ex nautici) e per l'ufficiale della marina mercantile. A dire il vero esiste il “Manuale dell'ufficiale di Rotta” edito dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e destinato all'uso degli ufficiali della Marina Militare; tuttavia tale manuale è molto costoso e non contiene tutti gli elementi che sono oggetto di studio degli studenti delle scuole ad indirizzo nautico.

Lungi dagli scriventi l'idea di voler realizzare un manuale esaustivo sull'argomento, il presente ha lo scopo di colmare, almeno in parte tale lacuna. Esso è destinato all'utilizzo da parte degli studenti degli Istituti Tecnici Trasporti e Logistica – Sezioni “Conduttori del Mezzo Navale” sia per lo studio e consolidamento delle nozioni acquisite nel corso degli anni scolastici, sia come manuale di pronto impiego da usare durante l'Esame di Stato, come previsto dalla normativa e per il successivo periodo d'imbarco.

Un vivo ringraziamento va ai docenti e colleghi che hanno collaborato e contribuito alla stesura del medesimo ed in particolare il prof. Manlio Milazzo, Luciano Ciomei e David Lucchesi.

Viareggio, 8 maggio 2016

L'autore

Prof. Andrea Costantino

SIMBOLOGIA

φ	Latitudine	α	Ascensione retta
λ	Longitudine	$co\alpha$	Coascensione retta
$\Delta\varphi$	Differenza di latitudine	Ts	Angolo orario del punto γ misurato dal meridiano celeste di Greenwich
$\Delta\lambda$	Differenza di longitudine		
μ	Appartamento	ts	Angolo orario del punto γ misurato dal meridiano celeste dell'osservatore
φ_m	Latitudine media		
φ_c	Latitudine crescente	is	Intervallo sidereo
Rv	Rotta vera	Iv	Intervallo vero
Rvs	Rotta vera superficiale	i	Intervallo lunare
Pv	Prora vera	i	Intervallo planetario
Pm	Prora magnetica	hi	Altezza strumentale
Pb	Prora bussola	ho	Altezza osservata
Rlv	Rilevamento vero	hv	Altezza vera
Rlm	Rilevamento magnetico	Δh	Differenza di altezza
Rlb	Rilevamento bussola	γ_c	Correzione d'indice del sestante
D	Declinazione magnetica	C1	Prima correzione delle altezze
δ	Deviazione magnetica	C2	Seconda correzione delle altezze
V	Variazione magnetica	C3	Terza correzione delle altezze
ρ	Rilevamento polare	as	Azimut stimato
Lsc	Angolo di scarroccio	Pc	Angolo al polo calcolato
Ldr	Angolo di deriva	t*c	Tempo dell'astro calcolato
Ri	Rotta iniziale	hAM	Altezza dell'alta marea
Ris	Rotta iniziale semicircolare	hBM	Altezza della bassa marea
Rf	Rotta finale	tAM	Tempo dell'alta mare
Rfs	Rotta finale semicircolare	tBM	Tempo della bassa marea
φ_v	Latitudine del vertice	A	Ampiezza di marea
λ_v	Longitudine del vertice	T	Periodo
φ_n	Latitudine del nodo	B	Quota letta sulla carta
λ_n	Longitudine del nodo	Δt	Intervallo di tempo
φ_l	Latitudine limite	Vc	Velocità corrente
m	Cammino lossodromico	Ac	Azimut corrente
d	Cammino ortodromico	ρT	Velocità di rotazione terrestre
R	Risparmio del cammino	RT	Raggio terrestre
R%	Risparmio percentuale	Zo	Altezza del livello medio sul Chart Datum
Tm\equivUT	Tempo medio di Greenwich	L.R.S.\equivC.D.	Livello di riferimento scandaglio
tm	Tempo medio locale	Nv	Nord vero
tf	Tempo medio del fuso	Nm	Nord magnetico
λ_f	Longitudine del fuso	Nb	Nord bussola
λ_h	Longitudine in ore	Ngb	Nord girobussola
Cf	Correzione del fuso	Cg$\equiv$$\delta g$	Deviazione della girobussola
h	Altezza	Vsc	Velocità di scarroccio
a	Azimut	es	Errore sistematico
Z	Angolo azimutale	ea	Errore accidentale
ampl	Amplitudine	$\Delta h \equiv h_v - h_s$	Differenza di altezza
z	Distanza zenitale	Pn	Punto nave
t	Tempo dell'astro	Ps	Punto stimato
δ^*	Declinazione dell'astro	PnPs	Scarto o errore di stima
P	Angolo al polo	\perp	Traverso
p	Distanza polare	Q	Quota satellite dalla superficie terrestre

COSTANTI

Costante di gravitazione universale:.....	$G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$
Accelerazione di gravità terrestre:.....	$g_0 = 9.80665 \text{ m/s}^2$
Velocità delle luce (nel vuoto):.....	$c = 2,99798 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Velocità della luce approssimata:.....	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Terra sferica:	
- Massa:.....	$M = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ kg};$
- Raggio:.....	$R = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m};$
- Giorno Sidereo:.....	23h 56m 04s
- Giorno sidereo (misura in tempo medio):.....	24h sideree
- Velocità angolare di rotazione:.....	$\rho T = 7,29214 \cdot 10^{-5} \text{ rad/sec}$
- Prodotto GM:.....	$GM = 3.99 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
Luna sferica:	
- Massa:.....	$M = 7.38 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- Raggio:.....	$R = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$
- Prodotto GM:	$GM = 4.93 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{s}^2$
- Distanza Terra Luna media:.....	$3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$ (o 60.34 R Terra)
Sole:	
- Massa.....	$M = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg};$
- Raggio:.....	$R = 6,960 \cdot 10^8 \text{ m}$ (o 109.25 volte R Terra)
- Prodotto GM:.....	$GM = 1.33 \cdot 10^{20} \text{ m}^3/\text{s}^2$
- Distanza Terra Sole media:.....	$1,49597870691 \cdot 10^{11} \text{ m}$

CAP. 1° - UNITA' DI MISURA

1. SISTEMA INTERNAZIONALE

Secondo il D.P.R. 12.08.1992, nA 802, le unità di misura legali, in Italia, per esprimere grandezze sono quelle del Sistema Internazionale (S.I.).

Vediamo nella tabella seguente come vengono espresse le grandezze che interessano la Topografia:

GRANDEZZA	UNITA'		
	NOME	SIMBOLO	CORRISPONDENZE
Lunghezza	Metro	m	-
	Miglio	mg	1 mg = 1852 m
Angolo piano	radiante	rad	-
	angolo giro	angolo giro	1 angolo giro = 2π rad
	grado sessagesimale	°	$1^{\circ} = \pi / 180$ rad
	minuto d'angolo	'	$1' = \pi / 10.800$ rad
	secondo d'angolo	"	$1'' = \pi / 648.000$ rad
Area delle superfici	metro quadro	m²	-
Energia	Joule	J	1J = 1N * 1m
	Watt	W	1W = 1J * 1s
Frequenza	Hertz o cicli/s	Hz	
Lunghezza d'onda	Lunghezza d'onda	λ	
Potenza	Watt	W	1W = 1J/1s
Volume	metro cubo	m³	-

Misure di lunghezza anglosassoni:

- Un pollice (one inch, scritto 1") = 2,54 cm
- 12 inches = 1 foot (piede, scritto 1')
- 3 feet = 1 yard = 91,44 cm
- 1.760 yards = 1 mile [terrestre] = 1,609 km
- 1 km = 0,621 miles
- 1 nautical mile (miglio nautico) = 1852 m.

2. UNITA' DI MISURA PER LUNGHEZZE, AREE E VOLUMI

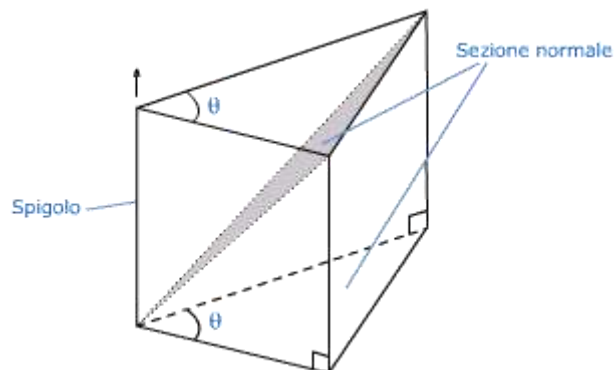
Secondo la risoluzione nA1 della 17A Conferenza Generale Pesi e Misure del 1983, il metro è definito come la lunghezza del tragitto percorso dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a $1 / 299.792.458$ di secondo.

I suoi sottomultipli ammessi dal S.I. sono:

MULTIPLI			SOTTOMULTIPLI		
Fattore	Prefisso	Simbolo	Fattore	Prefisso	Simbolo
10^{18}	<i>exa</i>	E	10^{-1}	<i>deci</i>	d
10^{15}	<i>peta</i>	P	10^{-2}	<i>centi</i>	c
10^{12}	<i>tera</i>	T	10^{-3}	<i>milli</i>	m
10^9	<i>giga</i>	G	10^{-6}	<i>micro</i>	μ
10^6	<i>mega</i>	M	10^{-9}	<i>nano</i>	n
10^3	<i>chilo</i>	K	10^{-12}	<i>pico</i>	p
10^2	<i>etto</i>	h	10^{-15}	<i>femto</i>	f
10^1	<i>deca</i>	da	10^{-18}	<i>atto</i>	a

3. UNITA' DI MISURA PER GLI ANGOLI

Gli angoli possono essere piani o diedri. In un piano due semirette uscenti dal medesimo punto dividono lo stesso piano in due parti: ciascuna di esse è un angolo piano. Considerando invece due semipiani uscenti da una stessa retta, detta anche spigolo, le due parti di spazio delimitate dai semipiani sono **angoli diedri**: come misura dell'angolo diedro si assume quella dell'angolo piano ottenuta dall'intersezione dei due semipiani con un piano normale allo spigolo.



Per gli angoli esistono diversi sistemi di misura che vengono utilizzati:

- sistema sessagesimale
- sistema sessadecimale

- radianti

4. SISTEMA SESSAGESIMALE

L'unità di misura è il grado sessagesimale che corrisponde alla trecentosessantesima parte dell'angolo giro.

I suoi sottomultipli sono:

- il **primo sessagesimale** corrispondente alla sessantesima parte del grado sessagesimale
- il **secondo sessagesimale** corrispondente alla sessantesima parte del primo sessagesimale

ESEMPIO

Un angolo che comprende:

- **45 gradi**
- **22 primi**
- **41 secondi**
- **88 centesimi di secondo**

si scrive nel modo seguente:

45° 22' 41",88

Lo svantaggio di tale sistema è che le operazioni tra angoli non possono essere eseguite nel modo decimale, ma devono essere eseguite separatamente per i gradi, i primi ed i secondi.

5. SISTEMA SESSADECIMALE

L'unità di misura è sempre il **grado sessagesimale** ma i sottomultipli sono quelli del sistema decimale: decimi, centesimi, millesimi, ecc. E' il sistema normalmente impiegato in navigazione..

La conversione tra i due sistemi si esegue nel modo seguente:

conversione da sessagesimale a sessadecimale

$$52^{\circ} 41' 24'' = 52^{\circ} + \frac{41^{\circ}}{60} + \frac{24''}{3600} = 52^{\circ},6900$$

conversione da sessadecimale a sessagesimale

$$52^{\circ},6900 = 52^{\circ} + 0,6900 \times 60' =$$
$$52^{\circ} 41',4 = 52^{\circ} 41' + 0,4 \times 60'' = 52^{\circ} 41' 24''$$

8. CONVERSIONI ANGOLARI

Per passare da un sistema ad un altro vale la seguente proporzione:

$$\frac{\alpha^{\circ}}{360^{\circ}} = \frac{\alpha^r}{2\pi}$$

Esempio n°1

Trasformare l'angolo $\alpha^{\circ} = 25^{\circ} 32' 44''$ in gradi centesimali ed in radianti.

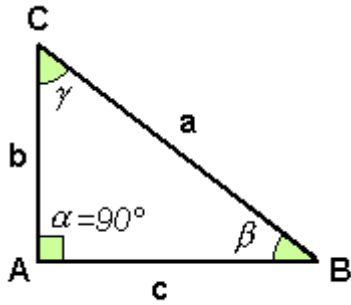
$$25^{\circ} 32' 44'' = 25^{\circ} + \frac{32'}{60} + \frac{44''}{3600} = 25^{\circ},5455$$

$$\frac{\alpha^{\circ}}{360^{\circ}} = \frac{\alpha^g}{400^g} \Rightarrow \alpha^g = \frac{400^g}{360^{\circ}} \alpha^{\circ} = \frac{400^g}{360^{\circ}} 25^{\circ},5455 = 28^g,3839$$

$$\frac{\alpha^{\circ}}{360^{\circ}} = \frac{\alpha^r}{2\pi} \Rightarrow \alpha^r = \frac{2\pi}{360^{\circ}} \alpha^{\circ} = \frac{2\pi}{360^{\circ}} 25^{\circ},5455 = 0^r,4458$$

CAP. 2° - RICHIAMI DI TRIGONOMETRIA PIANA

» Risoluzione dei triangoli rettangoli.



In un triangolo rettangolo, la misura di un cateto è uguale al prodotto della misura dell'ipotenusa per il *seno* dell'angolo opposto oppure per il *coseno* dell'angolo adiacente.

$$b = a \operatorname{sen} \beta, \quad c = a \operatorname{sen} \gamma$$

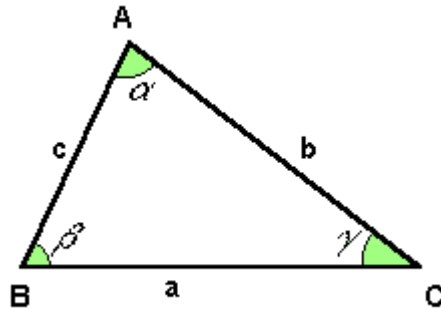
$$b = a \operatorname{cos} \gamma, \quad c = a \operatorname{cos} \beta$$

In un triangolo rettangolo, la misura di un cateto è uguale a quella dell'altro cateto per la *tangente* dell'angolo opposto al primo, o per la *cotangente* dell'angolo adiacente.

$$c = b \operatorname{tg} \gamma, \quad b = c \operatorname{tg} \beta$$

$$c = b \operatorname{ctg} \beta, \quad b = c \operatorname{ctg} \gamma$$

» Triangoli qualsiasi.



» Risoluzione dei triangoli qualsiasi.

Teorema dei seni

In un triangolo qualunque è *costante* il rapporto tra la misura di un lato e il *seno* dell'angolo opposto:

$$\frac{a}{\operatorname{sen} \alpha} = \frac{b}{\operatorname{sen} \beta} = \frac{c}{\operatorname{sen} \gamma}$$

Nota. La *costante* è la misura del diametro della circonferenza circoscritta.

Teorema del coseno (o di Carnot)

In un triangolo qualsiasi il quadrato di un lato è uguale alla somma dei quadrati degli altri due diminuita del prodotto di questi due lati per il *coseno* dell'angolo fra essi compreso:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \operatorname{cos} \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \operatorname{cos} \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \operatorname{cos} \gamma$$

Nota. Il teorema di Carnot generalizza il Teorema di Pitagora, a cui si riduce se si considera un triangolo rettangolo.

Teorema delle proiezioni

In un triangolo qualunque, la misura di un lato è uguale alla somma dei prodotti delle misure di ciascuno degli altri due per il *coseno* degli angoli che essi formano con il primo:

$$a = b' \operatorname{cos} \gamma + c' \operatorname{cos} \beta$$

$$b = a' \operatorname{cos} \gamma + c' \operatorname{cos} \alpha$$

$$c = a' \operatorname{cos} \beta + b' \operatorname{cos} \gamma$$

» Area di un triangolo qualsiasi.

L'area di un triangolo qualsiasi è uguale al semiprodotto delle misure di due suoi lati per il *seno* dell'angolo fra essi compreso.

$$Area = \frac{a \cdot b \cdot \text{sen } \gamma}{2} = \frac{b \cdot c \cdot \text{sen } \alpha}{2} = \frac{a \cdot c \cdot \text{sen } \beta}{2}$$

IN PRATICA

Per risolvere un triangolo qualsiasi devono essere noti tre elementi di cui almeno un lato. Dunque si possono presentare quattro casi:

- 1) due angoli e un lato (il problema presenta una sola soluzione)
- 2) tre lati (il problema presenta una sola soluzione)
- 3) due lati e l'angolo compreso (il problema presenta una sola soluzione)
- 4) due lati e un angolo opposto ad uno di essi (il problema può avere nessuna, una o due soluzioni).

Archi associati

Funz.	90°-a	90 + a	180 – a	180 +a	360 – a
Sen	cos a	cos a	sen a	- sen a	- sen a
Cos	sen a	- sen a	- cosa	- cosa	Cosa
Tang	cotg a	- ctg a	- tang a	tang a	- tanga
Cotg	tang a	- tang a	- cotg a	cotg a	- cotga

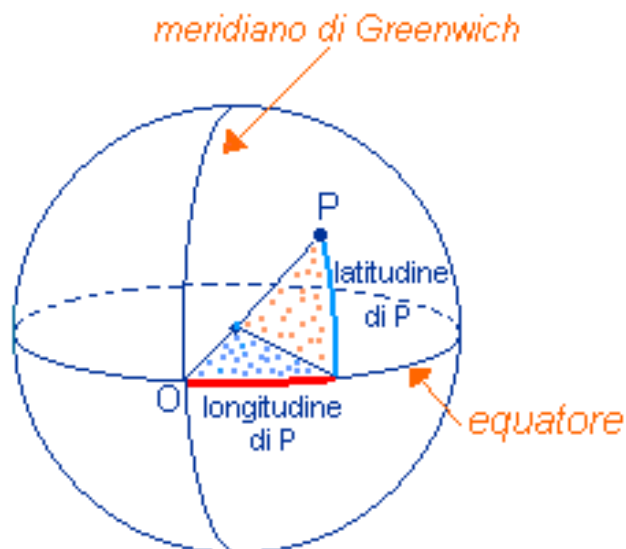
CAP. 3° - RICHIAMI SULLE COORDINATE GEOGRAFICHE

Le coordinate geografiche stabiliscono la posizione di un qualunque punto sulla superficie terrestre rispetto a due circoli massimi fondamentali (detti Circoli di riferimento) che sono l'**Equatore** ed il **meridiano** passante per l'Osservatorio di **Greenwich** in Inghilterra (detto meridiano ZERO).

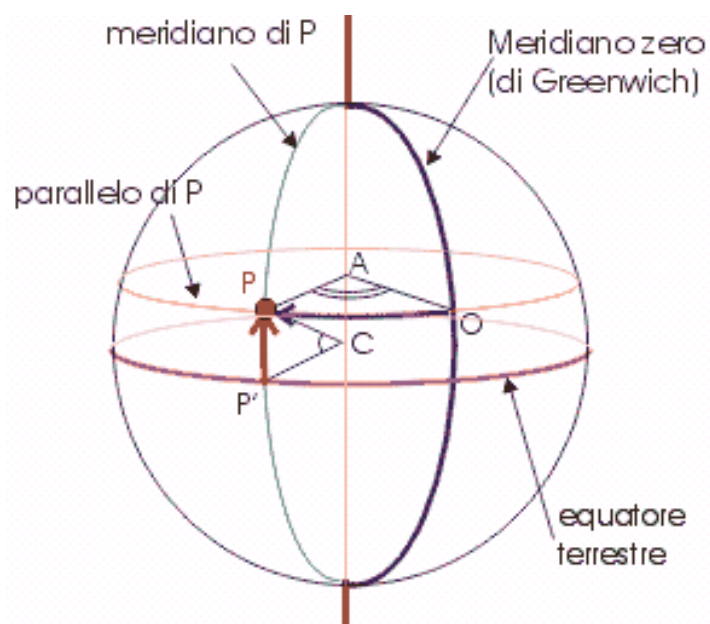
Le due coordinate geografiche di un punto prendono il nome di **latitudine** e **longitudine**.

La **latitudine** di un punto è l'arco di meridiano, misurato in gradi, compreso fra l'Equatore ed il parallelo passante per il punto. Essa corrisponde all'angolo compreso tra la verticale del luogo e il piano dell'*equatore*. La latitudine si misura in gradi, primi o secondi d'arco da 0° a 90° dall'Equatore verso Sud e verso Nord, e quindi tutti i punti sull'Equatore hanno 0° di latitudine. Il polo Nord ha 90° di latitudine Nord, il Polo Sud ha 90° di latitudine Sud.

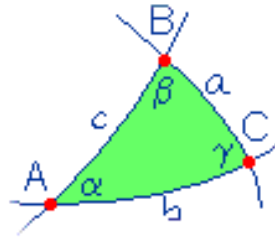
La **longitudine** di un punto è l'arco di Equatore misurato in gradi, compreso fra il meridiano ZERO e il meridiano passante per il punto. Essa corrisponde all'angolo compreso tra il piano del *meridiano del punto* e il piano del *meridiano fondamentale*. La longitudine si conta in gradi, primi e secondi d'arco da 0° a 180° verso Est e verso Ovest, iniziando dal meridiano di Greenwich. Tutti i punti, quindi, sul meridiano ZERO hanno 0° di longitudine e tutti quelli sull'antimeridiano di Greenwich hanno 180° di longitudine.



Si deduce allora che ogni parallelo ha un proprio valore di latitudine e che ogni meridiano ha un proprio valore di longitudine; perciò quando si individua un punto per mezzo dei suoi valori di latitudine e di longitudine, si individuano un parallelo ed un meridiano che con il loro incrocio ne stabiliscono la posizione.



CAP 4° - RICHIAMI DI TRIGONOMETRIA SFERICA



triangolo sferico Fig.1B

Teorema di Eulero (o del coseno)

Il teorema di Eulero afferma che, in un triangolo sferico, il coseno di un lato è uguale al prodotto dei coseni degli altri due lati più il prodotto dei seni degli stessi per il coseno dell'angolo compreso :

$$\begin{aligned} \text{Cos } a &= \text{Cos } b \text{ Cos } c + \text{Sen } b \text{ Sen } c \text{ Cos } \alpha \\ \text{Cos } b &= \text{Cos } a \text{ Cos } c + \text{Sen } a \text{ Sen } c \text{ Cos } \beta \\ \text{Cos } c &= \text{Cos } a \text{ Cos } b + \text{Sen } a \text{ Sen } b \text{ Cos } \gamma \end{aligned}$$

Questo teorema può essere utilizzato nel calcolo della distanza ortodromica d di un triangolo sferico ABP (vedi Fig.2B), di cui si conoscano le coordinate geografiche del punto di partenza e di arrivo. In tal caso, il valore di d , espresso in primi d'arco, rappresenterà la distanza in miglia (sempre supponendo la terra sferica).

$$\cos d = \cos C_A \cos C_B + \text{sen } C_A \text{ sen } C_B \cos \Delta\lambda$$

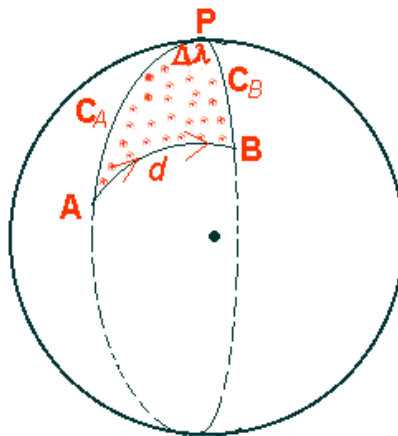


Fig. 2B

La formula è naturalmente algebrica, cioè occorrerà badare ai segni di ciascun termine, rispettando la convenzione di aver scelto come terzo vertice del triangolo ortodromico, il polo dell'emisfero del punto di partenza. In base a tale convenzione, immaginando che il punto di partenza e quello di arrivo siano nello stesso emisfero, tenendo presente che:

$$\cos(90^\circ - \varphi) = \text{sen } \varphi;$$

$$\text{sen}(90^\circ - \varphi) = \text{cos } \varphi;$$

il teorema di Eulero assume la forma semplice:

$$\cos d = \text{sen } \varphi_A \text{ sen } \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta\lambda$$

Ma se il punto di partenza e quello di arrivo stanno in emisferi opposti, essendo

$$\cos(90^\circ + \varphi) = - \text{sen}\varphi; \quad \text{sen}(90^\circ + \varphi) = \cos\varphi;$$

le cose inevitabilmente si complicano e si dovrà prestare attenzione all'attribuzione dei segni. Si rammenti che le complicazioni più grandi della navigazione ortodromica scaturiscono dal fatto che i punti di partenza e di arrivo si trovano in emisferi opposti.

Teorema dei seni

In un triangolo sferico il rapporto fra il seno di un angolo ed il seno del lato opposto è costante.

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } a} = \frac{\text{Sen } \beta}{\text{Sen } b} = \frac{\text{Sen } \gamma}{\text{Sen } c}$$

Regola di Vieta o formula delle cotangenti

E' una formula empirica che lega tra loro quattro elementi consecutivi di un triangolo sferico: due lati e due angoli. La regola è descritta dalla seguente struttura di formula:

$$\text{Cotg } () \text{ Sen } () = \text{Cos } () \text{ Cos } () + \text{Sen } () \text{ Cotg } ()$$

Per individuare gli argomenti delle sei funzioni trigonometriche si procede come segue:

Si disegna dapprima il triangolo sferico e dentro di esso una particolare linea spezzata come nella figura seguente:



Fig. 3B

Gli argomenti restano individuati rispettando l'ordine delle frecce della spezzata, con l'accortezza di ripetere due volte gli elementi corrispondenti alle freccette: il lato CA e l'angolo Δλ.

Si parte dal lato CB, si va verso il lato opposto CA, e lo si ripete due volte, si va all'angolo compreso Δλ e lo si ripete due volte, infine si va al rimanente angolo (nel nostro caso è l'incognita Ri).

Pertanto, la formula si precisa come segue:

$$\text{Ctg } C_B \text{ Sen } C_A = \text{Cos } C_A \text{ Cos } \Delta\lambda + \text{Sen } \Delta\lambda \text{ Ctg } R_i$$

dove R_i , C_A , $\Delta\lambda$, C_B sono i quattro elementi consecutivi presi in esame. Nelle problematiche di navigazione, si sa che C_A , $\Delta\lambda$, C_B sono spesso elementi noti, pertanto la suddetta formula servirà essenzialmente per il calcolo dell'unica incognita : la rotta iniziale R_i .

Anche qui la formula è naturalmente algebrica, cioè occorrerà badare ai segni di ciascun termine, rispettando la solita convenzione di *aver scelto* come terzo vertice del triangolo ortodromico, il polo dell'emisfero del punto di partenza. In base a tale convenzione, *immaginando che il punto di partenza e quello di arrivo siano nello stesso emisfero*, tenendo presente che:

$$\text{ctg}(90^\circ - \alpha) = \text{tg } \alpha; \quad \text{sen}(90^\circ - \alpha) = \text{cos } \alpha; \quad \text{cos}(90^\circ - \alpha) = \text{sen } \alpha$$

la regola di Vieta ci consente di determinare la rotta iniziale attraverso la formula:

$$\text{tg} R_i = \frac{\text{sen } \Delta\lambda}{\text{tg} \varphi_B \text{ cos } \varphi_A - \text{sen } \varphi_A \text{ cos } \Delta\lambda}$$

Se il punto di partenza e quello di arrivo stanno in emisferi opposti, per il fatto che:

$$\text{ctg}(90^\circ + \alpha) = - \text{tg } \alpha$$

anche qui le cose inevitabilmente si complicano e si dovrà fare particolare attenzione all'attribuzione dei segni.

Allora la rotta iniziale, essendo un angolo di un triangolo sferico e potendo quindi raggiungere il valore di 180° , verrà espressa nel sistema semicircolare (cioè da 0° a 180°) e sarà preceduta da un prefisso che dipende dall'emisfero del punto di partenza e da un suffisso che dipende da $\Delta\lambda$, come per la lossodromia. In questo caso, la regola di VIETA, pur rimanendo valida matematicamente, può perdere di validità nelle applicazioni di navigazione (le convenzioni sugli angoli si scontrano con le convenzioni che attribuiscono al Nord e all'Est il segno + e al Sud e all'Ovest il segno -).

La regola mnemonica di Nepero

La regola mnemonica di Nepero è valida solo per triangoli sferici rettangoli. Non è altro che il teorema di Eulero nel caso particolare che un angolo sia retto.

Questa regola viene principalmente utilizzata nel calcolo delle coordinate dei vertici, e ciò perché il vertice dell'ortodromia incontra il meridiano in un angolo retto. In vero questa regola conosce diverse applicazioni, consentendo infatti di verificare molte proprietà dell'ortodromia.

Sia dato il triangolo sferico rettangolo in V (vedi *Fig. 4B*).

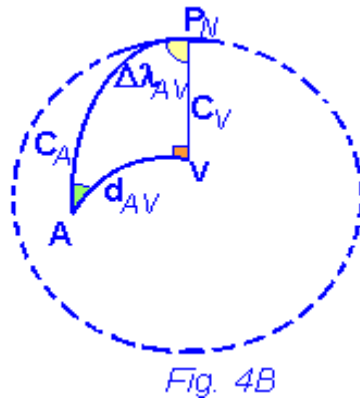


Fig. 4B

In questo triangolo è sufficiente conoscere soltanto due elementi (e non più tre come per Eulero e Vieta) per determinare tutti i dati incogniti; anche se di fatto gli elementi noti continuano ad essere 3, essendo il terzo pari a 90° . Nepero, per questi triangoli, ha trovato una regoletta che è ricordata con il suo nome: **regola mnemonica di Nepero**.

Immaginiamo di considerare un pentagono, il pentagono di Nepero: cinque raggi che lasciano liberi 5 posti. Inseriamo ogni elemento del triangolo sferico in uno dei 5 posti a disposizione, in senso orario, con il seguente criterio: si esclude l'angolo retto (infatti gli elementi del triangolo sono 6, mentre i posti a disposizione nel pentagono sono 5, bisognerà sopprimerne uno).

Nel pentagono, al posto dei cateti, si inseriscono i loro complementi (90° - cateto); nei rimanenti tre posti si mette l'ipotenusa C_A e gli altri due angoli $\Delta\lambda$ ed R_i .

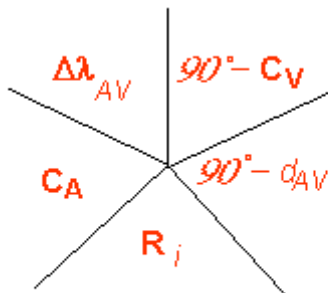


Fig. 5B

In ogni settore del pentagono si scrivono consecutivamente tutti gli elementi del triangolo saltando l'angolo retto e sostituendo i cateti con i loro complementi. Il coseno di un elemento è uguale al prodotto delle cotangenti degli elementi adiacenti oppure è uguale al prodotto dei seni degli elementi opposti (lontani).

Calcolo delle coordinate dei vertici

Nel calcolo delle coordinate dei vertici, le incognite sono: φ_V e λ_V , cioè C_V e $\Delta\lambda_{AV}$, mentre i dati sono le coordinate del punto di partenza e la rotta iniziale. Così costruiamo il pentagono di Nepero ed incominciamo il calcolo di $\Delta\lambda_{AV}$ che consentirà di conoscere λ_V .

Scegliamo come elemento centrale C_A . Allora:

$$\cos C_A = \cotg R_i \cotg \Delta\lambda_{AV}$$

da cui, ricordando che $\cos(90^\circ - \varphi) = \sin \varphi$ si ha:

$$\cotg \Delta\lambda_{AV} = \operatorname{sen} \varphi_A \operatorname{tg} R_i \quad (*)$$

Questa è la formula che consente il calcolo della differenza di longitudine tra il punto di partenza ed il vertice. Riferendoci sempre alla stessa figura, per determinare la latitudine del vertice φ_V , scegliamo come elemento centrale ($90^\circ - C_V$) e gli altri elementi entrambi lontani. Allora ricordando quello che dice Nepero, dopo semplici passaggi si avrà:

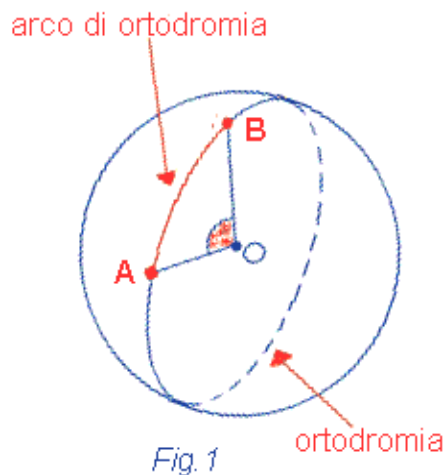
$$\cos \varphi_V = \cos \varphi_A \operatorname{sen} R_i \quad (**)$$

che è la formula che dà la latitudine del vertice. Quindi la (*) e la (**) ci permettono di ottenere le coordinate dei vertici conoscendo le coordinate del punto di partenza e la R_i .

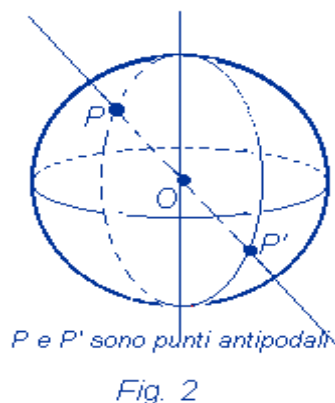
CAP. 5° - SFERA E TRIANGOLO SFERICO

Supponiamo che il nostro ambiente geometrico non sia il piano euclideo ma la superficie di una sfera. Gli enti geometrici fondamentali nel piano euclideo sono punti e rette; proviamo a capire quali siano gli enti corrispondenti sulla superficie di una sfera. Ai punti del piano corrispondono naturalmente i punti della sfera. Ma cosa dobbiamo intendere per "linea retta" sulla superficie sferica. Così come nel piano la linea retta è il cammino più breve che unisce il punto A al punto B, sulla sfera seguiremo il cammino più breve per andare da A a B percorrendo un arco di circonferenza massima, come di seguito specificato. E' evidente allora che, muovendoci su una sfera, la "retta" diventa una circonferenza massima e pertanto una linea finita e chiusa (GEOMETRIA NON EUCLIDEA di tipo ellittico). Le circonferenze massime ottenute dall'intersezione di un piano passante per il centro della sfera con la sfera stessa le chiameremo **ortodromie**. Ortodromia deriva dal greco e significa cammino diritto. Naturalmente, assimilando la Terra ad una sfera, le proprietà geometriche del circolo massimo varranno conseguentemente per il nostro pianeta. I meridiani sono ortodromie, particolari ortodromie passanti per i poli geografici. L'ortodromia è il percorso più breve che unisce due punti, ma, attenzione, taglia i meridiani sotto angoli variabili.

Si dice **distanza sferica fra due punti A e B**, o **arco di ortodromia tra A e B**, l'arco di circolo massimo, sotteso ad un angolo minore di 180° , che ha per estremi quei punti. La distanza viene normalmente misurata in gradi e corrisponde all'angolo al centro sotteso.



Due punti P , P' sulla superficie di una sfera si dicono **agli antipodi** (o *opposti*) se sono allineati con il centro O della sfera. Vedi i punti P e P' nella Figura seguente:



Poli di un circolo massimo:

Si dicono poli della circonferenza massima i punti ottenuti dall'intersezione del diametro normale al piano della circonferenza massima, con la sfera stessa. Essi sono quindi gli estremi del diametro della sfera, perpendicolare al piano del circolo e passante per il centro della sfera. In Fig.3 i punti C e C' sono i poli del circolo massimo s.

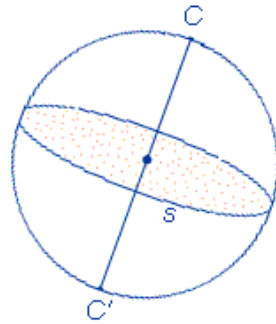


Fig. 3

Angolo fra due circoli massimi:

è l'angolo formato dalle tangenti in uno dei loro due punti comuni (Fig. 4). Se uno dei due circoli passa per i poli dell'altro, l'angolo fra i due è retto come in Fig. 4 Bis.

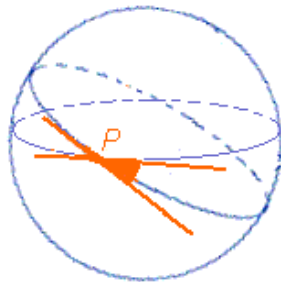


Fig. 4

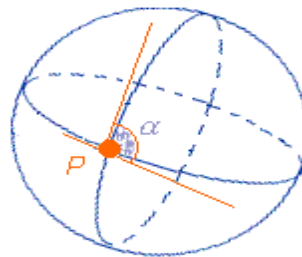


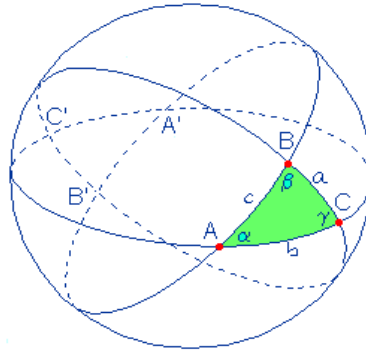
Fig. 4 Bis

Problematiche della navigazione ortodromica

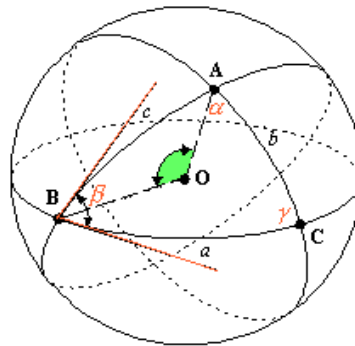
La navigazione ortodromica è una navigazione che viene usata quando si devono effettuare navigazioni oceaniche, cioè quando le distanze sono grandi e si rende quindi necessario seguire il percorso più breve. In questa navigazione è fondamentale conoscere le coordinate dei **vertici dell'ortodromia**, potendo questi capitare in zone pericolose per ragioni geografiche o meteorologiche: si ricordi infatti che al crescere della latitudine diminuisce l'affidabilità sia della bussola magnetica che degli strumenti giroscopici a causa rispettivamente dell'indebolimento della componente orizzontale del campo magnetico terrestre e delle precessioni apparenti. Quando non è possibile seguire l'ortodromia per i motivi suddetti, si adotta la strategia della *navigazione mista*, che consiste nello stabilire un parallelo limite che delimita la calotta di impraticabilità da non superare. La navigazione avviene in tal caso su due tratti di ortodromia e un tratto di parallelo limite.

Triangolo sferico:

Il triangolo sferico ABC, propriamente detto euleriano, è quello i cui lati sono archi di circonferenze massime, passanti per tre punti che non devono appartenere allo stesso circolo massimo. I lati del triangolo sferico sono le lunghezze degli archi $AB = c$, $BC = a$, $CA = b$ e si misurano in gradi. Un primo di circolo massimo corrisponde ad un **miglio nautico**. Gli angoli sono α , β , γ .

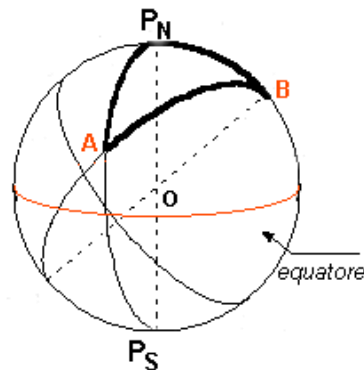


Un angolo è formato dalle tangenti ai due cerchi massimi passanti per esso. Se uno dei due cerchi passa per i poli dell'altro, l'angolo fra i due è retto. Ponendoci al centro della sfera e considerando la circonferenza massima passante per A e B, se uniamo il centro O della sfera terrestre con A e B, l'arco AB sottende l'angolo al centro AOB, che è misurato in gradi.



Eccesso sferico: Si definisce eccesso sferico la differenza $\epsilon = \alpha + \beta + \gamma - 180^\circ$

Questa definizione ha senso in quanto nei triangoli sferici la somma degli angoli interni può superare abbondantemente i 180° fino ad arrivare a 540° . Conseguentemente i noti teoremi di trigonometria piana, per i triangoli sferici, sono generalmente inapplicabili. In navigazione il triangolo sferico si chiama triangolo ortodromico ed avrà come vertici certamente i due punti dell'ortodromia e come terzo vertice uno dei poli geografici.



Si è convenuto di adottare la convenzione di assumere come terzo vertice il polo geografico dell'emisfero del punto di partenza. La scelta del terzo vertice come polo geografico della latitudine di partenza sarà determinante nell'attribuzione dei segni nelle formule che interverranno nei teoremi di seguito trattati.

CAP. 6 - NAVIGAZIONE

FORMULARIO DI NAVIGAZIONE

1. CORREZIONE E CONVERSIONE DI PRORE BUSSOLA E GIROBUSSOLA

a. Formule di correzione della prora bussola in prora vera

$$\begin{array}{ll}
 P_b = \dots\dots\dots & P_b = \dots\dots\dots \\
 +\delta = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (1)} & +v = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (3)} \\
 P_m = \dots\dots\dots & P_v = \dots\dots\dots \\
 +d = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (2)} & \\
 P_v = \dots\dots\dots & \\
 & \delta = \dots\dots\dots \text{ (+/-) (1)} \\
 & +d = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (2)} \\
 & v = \dots\dots\dots \text{ (+/-) (3)}
 \end{array}$$

b. Formule di conversione della prora vera in prora bussola

$$\begin{array}{ll}
 P_v = \dots\dots\dots & P_v = \dots\dots\dots \\
 -d = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (2)} & -v = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (3)} \\
 P_m = \dots\dots\dots & P_b = \dots\dots\dots \\
 -\delta = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (4)} & \\
 P_b = \dots\dots\dots &
 \end{array}$$

- 1) Dalle tabelle delle deviazioni residue, in funzione della P_b , (+ = est, - = ovest).
- 2) Dalla carta nautica, (+ = est, - = ovest).
- 3) Variazione, somma algebrica della declinazione magnetica d e della deviazione δ relativa alla P_b dell'istante del rilevamento.
- 4) Dalle tabelle delle deviazioni residue, in funzione della P_m , (+ = est, - = ovest).

c. Formule di correzione della prora girobussola e di conversione della prora vera in prora girobussola

$$\begin{array}{ll}
 P_{gb} = \dots\dots\dots & P_v = \dots\dots\dots \\
 +\delta_{gb} = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (1)} & -\delta_{gb} = \underline{\dots\dots\dots} \text{ (+/-) (1)} \\
 P_v = \dots\dots\dots & P_{gb} = \dots\dots\dots
 \end{array}$$

NB: Per le girobussole non dotate di correttore automatico va apportata la correzione della deviazione dovuta al moto della nave calcolabile dalla seguente formula:

$$\text{tg } \delta = - \frac{V \cos P_v}{900 \cos \varphi}$$

in cui V è la velocità in nodi, P_v la prora vera, φ la latitudine.
 Il valore della correzione δ può essere letto sulla n. 11 delle Tavole nautiche.

d. Formule di correzione del rilevamento bussola Rlb

$$\begin{aligned}
 Rlb &= \dots\dots\dots (1) \\
 +\delta &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (2) \\
 Rlm &= \dots\dots\dots \\
 +d &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (3) \\
 Rlv &=
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rlb &= \dots\dots\dots \\
 +v &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (4) \\
 Rlv &=
 \end{aligned}$$

NB: il valore della δ dipende da quello della bussola normale

e. Formule di conversione del rilevamento vero in rilevamento bussola

$$\begin{aligned}
 Rlv &= \dots\dots\dots \\
 -d &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (3) \\
 Rlm &= \dots\dots\dots \\
 -\delta &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (2) \\
 Rlb &=
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rlv &= \dots\dots\dots \\
 -v &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (4) \\
 Rlb &=
 \end{aligned}$$

- 1) Rilevamento bussola letto sul rilevatore.
- 2) Dalle tabelle delle deviazioni residue, in funzione della Pb dell'istante del rilevamento., (+ = est, - = ovest).
- 3) Dalla carta nautica, (+ = est, - = ovest).
- 4) Variazione, somma algebrica della declinazione magnetica d e della deviazione δ relativa alla Pb dell'istante del rilevamento.

f. Formule di correzione e conversione dei rilevamenti girobussola

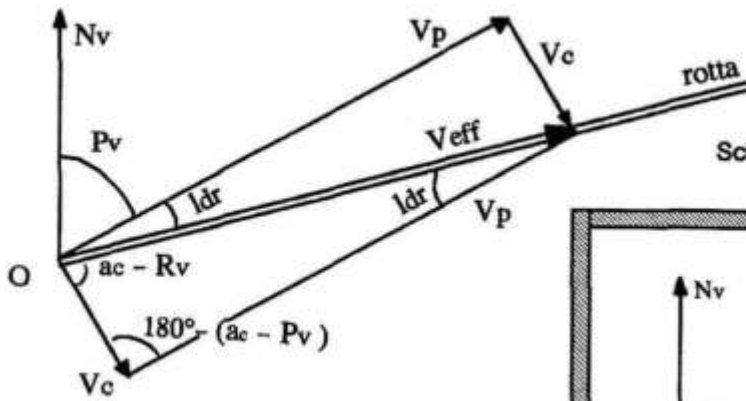
$$\begin{aligned}
 Rlv &= \dots\dots\dots \\
 -\delta_{gb} &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (1) \\
 Rilgb &= \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rilgb &= \dots\dots\dots \\
 +\delta_{gb} &= \underline{\dots\dots\dots} (+/-) (1) \\
 Rlv &=
 \end{aligned}$$

2. FORMULE RIEPILOGATIVE DI CONVERSIONI DI ROTTE E PRORE

$Pv = Pb + \delta + d;$	$Pm = Pb + \delta$	$Pv = Pm + d$	$Pv = Pb + v$	$v = \delta + d$
$Pb = Pv - d - \delta;$	$Pm = Pv - d$	$Pb = Pm - \delta$	$Pb = Pv - v$	
$Rlv = Rlb + \delta + d$	$Rlm = Rlb + \delta$	$Rlv = Rlm + d$	$Rlv = Rlm + v$	
$Rlb = Rlv - d - \delta$	$Rlm = Rlv - d$	$Rlb = Rlm - \delta$	$Rlb = Rlv - v$	
$Rlv = Pv + \rho$	$Pv = Rlv - \rho$	$Rlv = Pb + \delta + d + \rho$		
$Rv = Pv + lsc + ldr$	$Rvs = Pv + lsc$	$Rv = Rvs + ldr$	$Rv = Pb + \delta + d + lsc + ldr$	
$Pv = Pgb + \delta$	$Pgb = Pv - \delta$			

3. PROBLEMI DELLE CORRENTI



Schema emblematico di riferimento

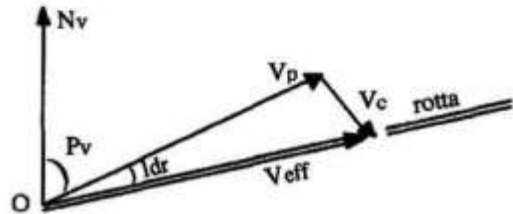


Fig. I 1° problema :

noti: \vec{V}_p e \vec{V}_c Determinare \vec{V}_{eff}
 (Pv) (ac) (Rv)

Risoluzione : da O si riporta V_p lungo la prora vera P_v ; consecutivamente si riporta V_c lungo l'azimut della corrente . La congiungente O con la cuspide di V_c definisce V_{eff} ed il prolungamento è la rotta .

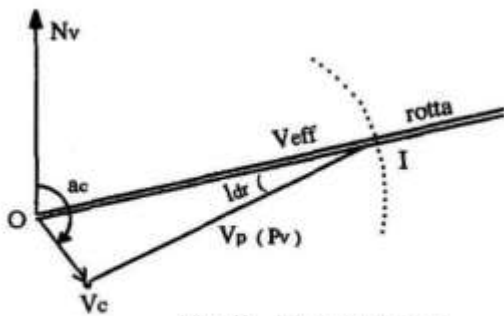


Fig. II 2° problema

Noti: \vec{V}_c V_p rotta ; determinare: P_v \vec{V}_{eff}
 (ac) (Pv) (Rv)

Risoluzione : da O si riporta V_c . Con apertura di compasso uguale a V_p si punta il compasso sulla cuspide di \vec{V}_c e s'interseca la rotta in I . O I è il vettore \vec{V}_{eff} . L'orientamento V_c -I è P_v

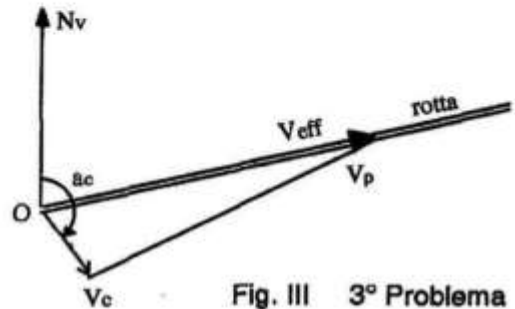


Fig. III 3° Problema

Noti: \vec{V}_{eff} e \vec{V}_c Determinare \vec{V}_p
 (Rv) (ac) (Pv)

Risoluzione : da O si riportano sia \vec{V}_{eff} sia \vec{V}_c . Si unisce V_c con V_{eff} ; si ottiene \vec{V}_p il cui orientamento è P_v

Leggasi nota par. 4

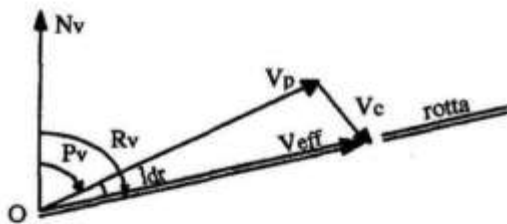


Fig. IV 4° Problema

Noti: \vec{V}_p e \vec{V}_{eff} . Determinare \vec{V}_c
 (Pv) (Rv) (ac)

Risoluzione : da O si riportano sia V_p sia V_{eff}

La congiungente $\vec{V}_p - \vec{V}_{eff}$ dà il vettore \vec{V}_c

4. COSTRUZIONE DELLA CARTA DI MERCATORE

Data una serie di punti di coordinate note

Si scelgono fra essi quello più a N e quello più a S

Il punto più a N si considera come punto di partenza

Si calcola la $D\varphi'$ e la $D\lambda'$ tra il punto più a N e gli altri punti.

Si calcola poi la φ_m tra il punto più a N e quello più a S.

In base alla $D\varphi'$ e alla $D\lambda'$ e alla dimensione del foglio si costruisce la scala della $D\lambda'$ su di un asse orientato x, (1 quadretto = 1'di longit., o 2 quadretti =2'di longitud. etc.). Su di una semiretta orientata rispetto all'asse x dell'angolo φ_m si traccia la scala della φ e del cammino m.. La scala della φ la si ottiene innalzando le perpendicolari all'asse x ad ogni primo, bastano comunque le righe verticali del foglio quadrettato a fare da indicatrici. Su tale scala si misurano le $D\varphi$, m , v e in astronomia le Dh. Se con la scala scelta risulta che i punti non rientrano nel foglio occorre ridurre la scala. E' bene però tener presente che più si riduce la scala meno preciso è il grafico.

Stabilita definitivamente la scala si traccia con una crocetta il punto più a N a sinistra se tutte le $D\lambda$ sono a E o a destra se tutte le $D\lambda$ sono a W.

A partire dal punto A si porta la $D\varphi$ del punto B (verso S) e la $D\lambda$ dello stesso punto verso E o verso W a seconda del segno.

Sempre a partire da A si portano la $D\varphi'$ e $D\lambda'$ del punto C, si traccia con una crocetta il punto C e così via per gli altri punti.

Ciò fatto si passa poi alla risoluzione del problema di costiera o di astronomia a seconda del caso.

5. REGRESSO ELICA VELOCITA' TAKE HOME

REGRESSO DELL'ELICA

La nave nell'acqua non può avanzare del passo p perché deve vincere una certa resistenza; si ha una perdita di velocità che s'identifica con la velocità della scia dell'elica e della scia concomitante di tutta la carena.

Avanzo dell'elica 'a': è la distanza di cui avanza la nave nell'acqua dopo un giro dell'elica: $a < p$
Regresso per giro è il valore della differenza $(p - a)$. Passo e avanzo vengono espressi in metri. Il loro ordine di grandezza è: qualche metro. L'avanzo, si vedrà, è determinato sulla base misurata.

Regresso percentuale: è il valore di $\varepsilon = [(p - a)/p] \cdot 100$.

Se indichiamo con "g/m" il numero dei giri dell'elica in 1 minuto, valore letto in plancia sull'indicatore dei giri (v. Tav. 3) o tratto in sala macchine dal contagiri continuo, siamo in grado di esprimere la velocità teorica dell'elica V_e e della nave V_n , in nodi :

$$V_e = (p \cdot g \cdot 60) / 1852 \quad (3) \qquad V_n = (a \cdot g \cdot 60) / 1852 \quad (4)$$

Si fa notare che i prodotti " $p \cdot g$ " e " $a \cdot g$ " danno i metri in 1 minuto.

Sostituendo nell'espressione del regresso percentuale ε , sopra scritta, le relazioni di " p " e di " a " ricavabili dalle formule (3 e 4), si ha un'altra relazione, equivalente, di *regresso percentuale*

$$\varepsilon = [(V_e - V_n) / V_e] \cdot 100 \quad (5)$$

CALCOLO DELLA VELOCITA' DI RITORNO RIDOTTA (TAKE HOME) PER GIUNGEREA DESTINAZIONE CON IL COMBUSTIBILE DISPONIBILE

$$(1) \quad \frac{M}{G} = \frac{D}{W}$$

ove:

M	q.tà di combustibile	(Kg)
G	consumo orario	(Kg/h)
D	distanza	(miglia)
W	velocità di navigazione ridotta	(nodi)

Il consumo orario G si determina con la formula:

$$(2) \quad G = KW^3$$

6. TRASFORMAZIONE DI ROTTE CIRCOLARI, QUADRANTALI E SEMICIRCOLARI

a. Trasformazione da Rotta circolare a quadrantale

La Rotta circolare R può assumere valori: $0^\circ \leq R \leq 360^\circ$.

La rotta semicircolare r può assumere valori: $0^\circ \leq r \leq 90^\circ$ e necessita di prefisso e suffisso.

Rotta circolare R_v	Prefisso	Rotta quadrantale r_v	Suffisso
0 – 90	N	$r_v=R_v$	E
90 – 180	S	$r_v=180-R_v$	E
180 – 270	S	$r_v=R_v-180$	W
270 – 360	N	$r_v=360-R_v$	W

b. TRASFORMAZIONE DA ROTTA QUADRANTALE A CIRCOLARE

Rotta quadrantale r_v	Rotta circolare
Nr_vE	$R_v=r_v$
Sr_vE	$R_v=180-r_v$
Sr_vW	$R_v=180+r_v$
Nr_vW	$R_v=360-r_v$

c. TRASFORMAZIONE DA ROTTA CIRCOLARE A SEMICIRCOLARE

$0^\circ \leq R \leq 360^\circ$

$0^\circ \leq r_s \leq 180^\circ$ necessita di suffisso E o W

Rotta circolare	Rotta semicircolare
$R < 180^\circ$	$R_s = RE$
$R = 180^\circ$	$R_s = 180^\circ E$ $R_s = 180^\circ W$
$R > 180^\circ$	$R_s = (360^\circ - R)W$

7. CALCOLO DELL'ORIZZONTE OTTICO E PORTATA RADAR

Calcolo della distanza per mezzo della misura dell'angolo verticale sotteso: α : $d = h \cot \alpha$

Distanza dell'orizzonte marino: $d = K \sqrt{e}$ ove d in miglia ed e elevazione osservatore in metri

Distanza alla quale si avvista un faro o altro oggetto sull'orizzonte: $P = K (\sqrt{E} + \sqrt{e})$

Portata del rada in banda X: $P = K (\sqrt{E} + \sqrt{H})$ Tabulata sulla tav. 10 delle T.N.

8. DIFFERENZA DI LATITUDINE E DI LONGITUDINE – LATITUDINE MEDIA

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi$$

Differenza di latitudine

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda$$

Differenza di longitudine

$$\varphi_m = (\varphi + \varphi_1) / 2$$

Latitudine media

9. NAVIGAZIONI ELEMENTARI

a. NAVIGAZIONE SULL'EQUATORE

$$m = \Delta\lambda' \quad R_v = 90^\circ \text{ se } \Delta\lambda \text{ E,} \quad R_v = 270^\circ \text{ se } \Delta\lambda \text{ W}$$

b. NAVIGAZIONE PER MERIDIANO

$$m = \Delta\varphi' \quad R_v = 000^\circ \text{ se } \Delta\varphi \text{ N} \quad R_v = 180^\circ \text{ se } \Delta\varphi \text{ S}$$

c. NAVIGAZIONE SUL PARALLELO

$$\mu = m = \Delta\lambda \cdot 60 \cos \varphi \quad \text{con } \mu \text{ denominato "appartamento" o "allontanamento".}$$

10. LOSSODROMIA

a. I problemi fondamentali della lossodromia si dividono in due tipi:

1° probl. della loss. per piccole distanze: noti il punto A (φ, λ), R, m, calcolare il punto B (φ_1, λ_1).

2° probl. della loss. per piccole distanze.: noti il punto A (φ, λ), B (φ_1, λ_1) calcolare R, m.

b. Risoluzione lossodromia con il metodo per piccole distanze ($m \leq 500 \text{ mg}$):

$$1^\circ \text{ probl.: } \Delta\varphi' = m \cos r_v \quad ; \quad \varphi_1 = \varphi + \Delta\varphi \quad ; \quad \Delta\lambda' = m \sin r_v / \cos \varphi_m \quad ; \quad \lambda_1 = \lambda + \Delta\lambda$$

$$2^\circ \text{ probl.: } \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi \quad ; \quad \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda \quad ; \quad \text{tg } r_v = (\Delta\lambda' \cos \varphi_m) / \Delta\varphi' \quad ; \quad m = \Delta\varphi' / \cos r_v$$

c. Risoluzione della lossodromia con il metodo sferico per qualsiasi distanza:

$$\Delta\varphi c = (\varphi c_1 - \varphi c)$$

$$\text{Equazione della lossodromia sferica: } \Delta\lambda = \Delta\varphi c \text{ tg } R_v$$

$$1^\circ \text{ probl.: } \Delta\varphi' = m \cos R \quad \varphi_1 = \varphi + \Delta\varphi \quad \Delta\lambda' = \Delta\varphi c' \text{ tg } R \quad \lambda_1 = \lambda + \Delta\lambda$$

$$2^\circ \text{ probl.: } \text{tg } r_v = \Delta\lambda' / \Delta\varphi c' \quad m = \Delta\varphi' / \cos r_v$$

d. Risoluzione della lossodromia con il metodo ellissoidale per qualsiasi distanza:

Si impiegano le medesime formule del metodo sferico per lunghe distanze utilizzando la latitudine crescente ellissoidale ricavabile dalle tavole nautiche tav. 4.

e. Intersezione di lossodromie:

1. *Determinazione della longitudine λ_i del punto d'intersezione di una lossodromia con un dato parallelo φ_i : $\lambda_i = \lambda + (\varphi c_i - \varphi c) \text{ tg } R_v$ (φc sulla sfera, φc sull'ellissoide).*

2. *Determinazione della latitudine φ_i del punto d'intersezione di una lossodromia con un dato meridiano λ_i :*

$$\Delta\lambda = (\lambda_i - \lambda) \quad ; \quad \varphi c_i = \varphi c + \Delta\lambda / \text{tg } R_v,$$

da φc_i a φ_i risolvendo la formula $\ln \text{tg}(45^\circ + |\varphi|/2) = (\varphi c \pi) / 180^\circ$ da cui:

$$\varphi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} e^{\frac{\pi \varphi_c}{10800}} - 90^\circ$$

3. *Determinazione delle coordinate del punto d'intersezione di due lossodromie note:*

Si dispone dei seguenti dati:

1^a lossodromia: passante per A (φ_1, λ_1) con angolo R_{v1} ;

2^a lossodromia: passante per B (φ_2, λ_2) con angolo R_{v2}

$$\varphi_{cx} = [\Delta\lambda + \varphi_{c1} \operatorname{tg} R_{v1} - \varphi_{c2} \operatorname{tg} R_{v2}] / (\operatorname{tg} R_{v1} - \operatorname{tg} R_{v2}) ;$$

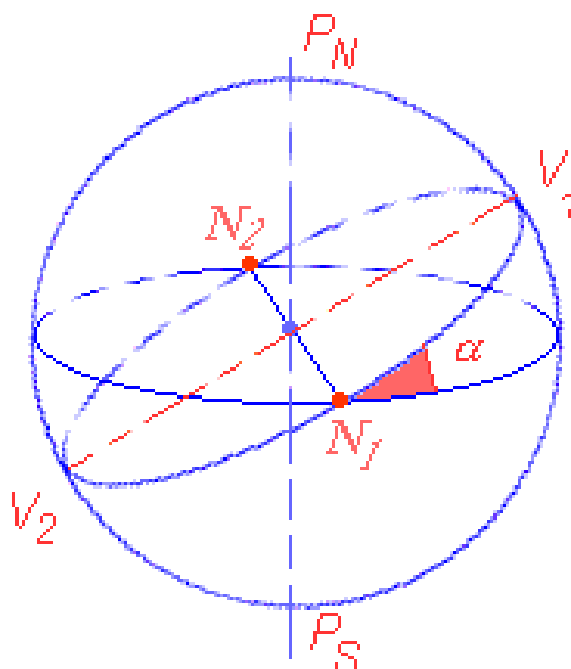
da φ_{cx} (φ crescente di x) a φ_x tramite formula inversa della latitudine crescente;

$$\lambda_x = \lambda_1 + (\varphi_{cx} - \varphi_{c1}) \operatorname{tg} R_{v1}.$$

Le differenze di longitudine devono sempre essere minori di 180 gradi con i loro segni appropriati.

11. ORTODROMIA

a. PROPRIETA' DELL'ORTODROMIA



Vertici V1 e V2: punti di massima e minima latitudine sul c.m.

La latitudine del vertice V1 rappresenta anche l'angolo d'inclinazione α tra l'equatore ed il C.M.

Nei vertici la $R = 90^\circ$ se la navigazione avviene verso E mentre è 270° se la navigazione avviene verso W.

Se $R_{is} + R_{fs} < 180^\circ \rightarrow$ il primo vertice è esterno oppure $\Delta\lambda_v > \Delta\lambda \rightarrow$ il primo vertice è esterno

Se $R_{is} + R_{fs} > 180^\circ \rightarrow$ il primo vertice è interno oppure $\Delta\lambda_v < \Delta\lambda \rightarrow$ il primo vertice è interno

Nodi N1 e N2: punti di intersezione del c.m. con l'equatore

N.B. V1 e V2 e N1 e N2 sono rispettivamente agli antipodi.

b. ORTODROMIA E CALCOLI DI NAVIGAZIONE PER CIRCOLO MASSIMO

NB: nelle funzioni trigonometriche gli angoli devono essere sempre espressi in gradi.

tg φ = tg φ_v cos (λ_v - λ)

equazione dell'ortodromia

cosd = senφ senφ₁ + cosφ cosφ₁ cos Δλ

distanza tra due punti

cosRis = (senφ₁ - senφ cosd) : (cosφ send)

rotta iniziale semicircolare

cosRfs = (senφ₁ cosd - senφ) : (cosφ₁ send)

rotta finale semicircolare

tanri = senΔλ : (tanφ₁ cosφ - senφ cosΔλ)

rotta iniziale quadrantale

tanrf = senΔλ : (senφ₁ cosΔλ - tgφcosφ₁)

rotta finale quadrantale

cosφ_v = cosφ | sen R | ; cosΔλ_{AV} = tg φ/tgφ_v ; λ_v=λ+Δλ_{AV}

coordinate del primo vertice

Se Ris < 90° ---> φ_v = N

Se Ris > 90° ---> φ_v = S

λ_N = λ_v + 90° ; λ_S = λ_v - 90°

coordinate del nodo

senRo = cosφ_v / cosφ

rotta ort. Ro in un punto qualsiasi

cosΔλ_{KV} = tgφ_K / tgφ_v ; λ_{K'} = λ_v - Δλ_{KV} ; λ_{K''} = λ_v + Δλ_{KV}

inters. con un dato parallelo φ_K

tgφ_K = tgφ_v cos (λ_v - λ_K)

inters. di un c. m. con un meridiano λ_K

tgφ_K = { [senφcos(λ_K - λ)+sen(λ_K - λ)/tgR]/cosφ }

*inters. di un c. m. con un meridiano λ_K
(R rotta circolare)*

Calcolo delle coordinate di un punto H nota la distanza d_{AH} dal punto di partenza e la Ri:

$$\text{sen } \varphi_H = \text{sen } \varphi \cos d_H + \cos \varphi \text{ sen } d_H \cos R_i \quad ; \quad \cos \Delta\lambda_{AH} = \frac{(\cos d - \text{sen } \varphi \text{ sen } \varphi_1)}{(\cos \varphi \cos \varphi_H)} \quad ; \quad \lambda_H = \lambda + \Delta\lambda_{AH}$$

Determinazione del punto d'intersezione di due circoli massimi dati:

$$\text{tg } \frac{\lambda_x}{2} = \frac{(\text{tg } \varphi_v \text{ sen } \lambda_v - \text{tg } \varphi_v' \text{ sen } \lambda_v') \pm \sqrt{\Delta}}{(\text{tg } \varphi_v \cos \lambda_v - \text{tg } \varphi_v' \cos \lambda_v')}$$

$$\Delta = (\text{tg } \varphi_v \text{ sen } \lambda_v - \text{tg } \varphi_v' \text{ sen } \lambda_v')^2 + (\text{tg } \varphi_v \cos \lambda_v - \text{tg } \varphi_v' \cos \lambda_v')^2$$

Applicando l'eq. dell'ortodromia si trova φ_x

12. SPEZZATA LOSSODROMICA

a. in punti equidistanti in $\Delta\lambda$ tra A e B:

$$\lambda_k = \lambda_A + k\Delta\lambda_{AB} / (n+1); \quad \text{tg}\varphi_k = \text{tg}\varphi_V \cos(\lambda_V - \lambda_k) \text{ alg. con } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad ; n: 10-25$$

b. in punti simmetrici rispetto al vertice interno:

$$\lambda'_k = \lambda_V - k \Delta\lambda_p \quad (\text{prima del vertice}) \quad ; \quad \lambda''_k = \lambda_V + k \Delta\lambda_p \quad (\text{dopo il vertice})$$

$$\text{tg}\varphi_k = \text{tg}\varphi_V \cos(k\Delta\lambda_p) \text{ con } k = 1, 2, 3, \dots, n/2 \quad ; \quad \Delta\lambda_p = 5^\circ \text{ o } 10^\circ \text{ o } 15^\circ \quad (\text{al massimo})$$

c. In punti equidistanti in $\Delta\varphi$ tra A e B:

$$\varphi_k = \varphi + k(\varphi' - \varphi)/(n+1) \quad ; \quad k = 1, 2, 3, \dots, n; \quad \cos \Delta\lambda_{kV} = \text{tg}\varphi_k / \text{tg}\varphi_V$$

$$\Delta\lambda_{kV} \text{ ha il segno di } \Delta\lambda_{AB} \quad ; \quad \lambda_k = \lambda_V - \Delta\lambda_{kV}$$

d. 4n punti equidistanti in cammino:

$$m \text{ è il percorso ortodromico espresso in gradi} \quad ; \quad m_k = km/(n+1)$$

$$\text{sen}\varphi_k = \text{sen}\varphi \cos m_k + \cos\varphi \text{sen} m_k \cos R_i$$

$$\cos \Delta\lambda_{Ak} = \cos m_k / (\cos\varphi \cos\varphi_k) - \text{tg}\varphi \text{tg}\varphi_k$$

$$\Delta\lambda_{Ak} \text{ ha il segno di } \Delta\lambda_{AB} \quad ; \quad \lambda_k = \lambda + \Delta\lambda_{Ak} \quad ; \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$$

e. metodo delle successive rotte iniziali

Gli elementi noti sono (φ, λ) di partenza, di un punto stimato, di un punto nave (φ', λ')

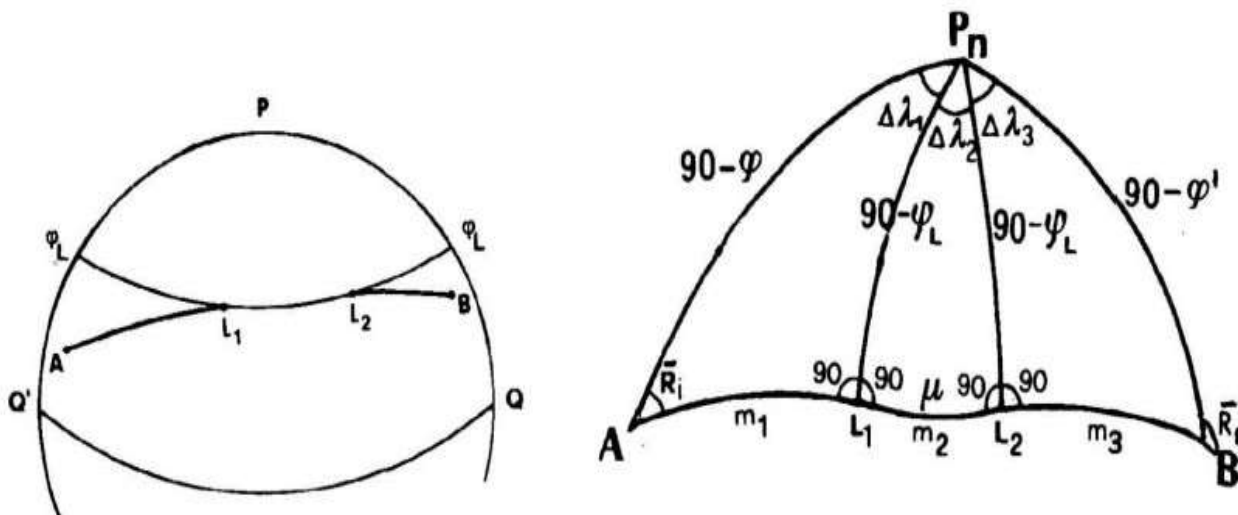
Calcolare R_i , rotta ortodromica circolare nel punto (φ, λ) .

$$\cot R_i = \frac{\text{tg}\varphi' \cos \varphi}{\text{sen}|\Delta\lambda|} - \frac{\text{sen}\varphi}{\tan|\Delta\lambda|} \quad ; \quad \cos R_i = \frac{\cos R_1}{\sqrt{1 + (\cot R_1)^2}}$$

$$\text{con} \quad R = R_{iE} \text{ oppure } R = 360^\circ - R_{iW}$$

13. NAVIGAZIONE MISTA O COMPOSITA

La navigazione mista è composta da un tratto di ortodromia m_1 dal punto di partenza A (φ, λ) tangente fino al parallelo limite nel vertice L_1 (φ_L, λ_{L1}), da un tratto di lossodromia m_2 tra i vertici L_1 e L_2 e da un tratto di ortodromia m_3 tra il vertice L_2 tangente al parallelo limite ed il punto di arrivo B (φ', λ').



$$\cos \Delta\lambda_1 = \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \varphi_L$$

$$\cos \Delta\lambda_3 = \operatorname{tg} \varphi' / \operatorname{tg} \varphi_L$$

$\Delta\lambda_1$ e $\Delta\lambda_3$ stesso segno $\Delta\lambda_{AB}$

$$\lambda_{L1} = \lambda + \Delta\lambda_1$$

$$\lambda_{L2} = \lambda_1 - \Delta\lambda_3$$

$$\cos m_1 = \operatorname{sen} \varphi / \operatorname{sen} \varphi_L$$

$$\cos m_3 = \operatorname{sen} \varphi' / \operatorname{sen} \varphi_L$$

Cammini tratti m_1, m_2 in gradi

$$m_2 = |(\lambda_{L2} - \lambda_{L1})| \cos \varphi_L$$

Percorso complessivo in miglia m della navigazione mista:

$$m = (m_1 + m_2 + m_3) 60$$

Rotta iniziale e finale:

$$\cos R_{is} = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} m_1$$

$$\cos R_{fs} = - \operatorname{tg} \varphi' \operatorname{tg} m_3$$

$$R = R_{is}/R_{fsE} ; R = 360^\circ - R_{is}/R_{fsW}$$

CAP. 7 – ASTRONOMIA NAUTICA

1. FORMULARIO DI ASTRONOMIA NAUTICA

$\text{sen}h_s = \text{sen}\varphi_s \text{sen}\delta + \text{cos}\varphi_s \text{cos}\delta \text{cos}P$ Calcolo dell'altezza di un astro

$\text{cos}Z_s = (\text{sen}\delta - \text{sen}\varphi_s \text{sen}h_v) : (\text{cos}\varphi_s \text{cosh}_v)$ Calcolo dell'angolo azimutale

astro a E $Az_s = Z_s$, astro a W $Az_s = 360^\circ - Z_s$

$\text{sen}\delta_c = \text{sen}\varphi_s \text{sen}h_i + \text{cos}\varphi_s \text{cosh}_i \text{cosa}_z$ Identificazione di un astro

$\text{cos}P_c = (\text{sen}h_i - \text{sen}\varphi_s \text{sen}\delta_c) : (\text{cos}\varphi_s \text{cos}\delta_c)$ P_c ha lo stesso segno di Z

da P_c si passa a t_c (angolo orario calcolato) e poi si determina $\text{coa} = t_c - t_s$

con δ_c , coa si cerca l'astro incognito sulle effemeridi nautiche.

se $t^* \leq 180^\circ$ l'astro è a W per cui $P_w = t^*$; se $t^* > 180^\circ$ l'astro è a E per cui $P_E = 360^\circ - t^*$

se $az \leq 180^\circ$ l'astro è a E per cui $t^* = 360 - P_E$; se $az > 180^\circ$ l'astro è a W e $t^* = P_w$

Intervallo che separa l'istante di un'osservazione di Sole meridiana dall'istante in cui il Sole transiterà al meridiano superiore mobile della nave:

$$\Delta t = \frac{P'}{(900 + \frac{V \text{sen} R_v}{\text{cos} \varphi_s})} ; \quad \text{ove } P' = \text{angolo al polo in primi, } V \text{ velocità e rotta nave,}$$

Latitudine dell'osservatore al passaggio di un astro al meridiano superiore:

$$\varphi_v = z_v + \delta = (90 - h_v) + \delta$$

Latitudine con la Polare:

$\varphi_v = h_v + c' + c'' + c'''$ (c' , c'' , c''' sono le correzioni della polare sulle effemeridi); h_v si ricava da h_i come qualunque altro astro, sommando C_1 , C_2 e sottraendo un grado.

Azimuth con la Polare:

$$\text{sen} Z = - \frac{\text{cos} \delta}{\text{cos} \varphi} \text{sen} (t_s + \text{coa}) ; \quad \text{se } Z \text{ è negativo il segno è } W, \text{ altrimenti } E$$

si passa da Z ad av con le note relazioni: $av = Z_E$; $av = 360^\circ - |Z_w|$

Condizioni di visibilità ed invisibilità di astri:

- | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| a) astri sorgenti e tramontanti: | $ \delta + \varphi < 90$ | |
| b) massimo degli apparenti: | $ \delta + \varphi = 90$ | φ e δ sono omonime |
| c) massimo degli occulti: | $ \delta + \varphi = 90$ | φ e δ eteronime |
| e) circumpolare visibile: | $ \delta + \varphi > 90$ | φ e δ omonime |
| f) circumpolare invisibile: | $ \delta + \varphi > 90$ | φ e δ eteronime |

Condizione di passaggio di un astro allo zenit:

quando $\delta = \varphi$ (con φ e δ omonime)

Equazione del tempo vero:

$$tm = tv + \epsilon v \quad \text{ove } \epsilon v = \alpha v - \alpha m \text{ (ascensione vera – ascensione media)}$$

Calcolo della deviazione della giobussola o della bussola magnetica mediante la misura dell'amplitudine del sole al sorgere (ortiva) o al tramonto (occasa):

$$\text{sen amp} = \text{sen} \delta / \cos \varphi ; \quad \text{con amp amplitudine apparente (centro del sole sulla linea dell'orizzonte)}$$

$$\text{Si passa dall'amplitudine all'azimuth come segue: } a_{zv} = 90^\circ - A ; a_{zv} = 270^\circ + A$$

$$\text{Le correzioni delle bussole sono: } C_g = a_{zv} - a_{zg} ; v = a_{zv} - a_{zb} ; \delta = v - d \text{ (}\delta \text{ indica la dev. magn.)}$$

Non potendo collimare esattamente il centro del sole è consuetudine osservare il Sole nell'istante in cui il lembo superiore si trova sull'orizzonte. In tal caso è necessario apportare al valore dell'amplitudine la seguente correzione:

$$Ca = \frac{0,9 \text{sen } \varphi}{\sqrt{\cos^2 \varphi - \text{sen}^2 \delta}} \quad \text{positiva se latitudine e declinazione sono omonimi, negativo se eteronimi}$$

$$\text{quindi Ampv} = \text{Amp} + Ca$$

$$\text{Al sorgere sar\`a: } a_v = 90^\circ \pm \text{Ampv}$$

$$\text{Al tramonto sar\`a: } a_v = 270 \pm (\text{ampl})m$$

La correzione ha segno positivo se latitudine e declinazione sono omonimi, negativo se eteronomi.

Calcolo dell'azimut di un astro in istante qualunque per la determinazione della deviazione della giobussola o della bussola magnetica:

$$\text{senh} = \text{sen } \varphi_s \text{sen } \delta + \cos \varphi_s \cos \delta \cos P$$

$$\cos Z = (\text{sen } \delta - \text{sen } \varphi_s \text{sen } h_s) : (\cos \varphi_s \cos h_s)$$

da Z si passa all'azimut: se l'astro è a E $a = Z$; se l'astro è a W $a = 360^\circ - Z$

2. CALCOLI CON I TEMPI

UTC : Tempo universale coordinato, è il tempo irradiato dai segnali radio orari ed è usato come base per il T_m .

T_m o GMT (Greenwich Medium Time o UTC Universal Time Coordinated): Tempo medio di Greenwich.

t_m : Tempo medio locale, si conta dal meridiano inferiore dell'osservatore (tempo civile).

t_f o t_{mf} : Tempo medio del fuso, detta anche ora legale, da non confondere con l'ora estiva che è anch'essa un'ora legale in vigore in determinati periodi dell'anno.

λ_f : Longitudini dei fusi, sono ore intere. Per calcolare la λ_f di un luogo nota la longitudine occorre dividerla per 15 e arrotondare il risultato all'unità più vicina.

$C_f = (\lambda_f - \lambda)$: Correzione del fuso, da applicare all'ora media locale t_m per ottenere l'ora fuso t_f . E' pari alla differenza fra la longitudine del meridiano centrale del fuso e quella dell'osservatore. Ha valore positivo se l'osservatore è a W del meridiano centrale del fuso, segno negativo se l'osservatore è a E di esso.

Relazione fondamentale dei tempi:

$$t = T + \lambda \quad ; \quad T = t - \lambda \quad ; \quad \lambda = t - T$$

Da cui derivano le altre relazioni:

t_f	T_m	t_f	t_m	t_f
$- \lambda_f$	$+ \lambda_f$	$- T_m$	$+ C_f$	$- C_f$
-----	-----	-----	-----	-----
$= T_m$	$= t_f$	$= \lambda_f$	$= t_f$	$= t_m$

Esempio n. 1: Noto il $T_m = 12.30$, determinare il valore del t_f per un osservatore avente $\lambda = 10^\circ$ E.

T_m	12.30
$+ \lambda_f$	1.00

$= t_f$	13.30

Esempio n. 2: calcolare il t_f del sorgere e del tramonto del Sole per il giorno 24 aprile 2008 per un osservatore la cui posizione è $\varphi = 42^\circ 30' N$, $\lambda = 010^\circ 15' E$.

$\lambda = 010^\circ 15' E$ in ore = $0^h 41^m$ (tavola di conversione dell'arco in tempo)

Fuso orario: - 1 h (dal grafico dei fusi orari in contro copertina delle effemeridi)

Osservatore ad EST del meridiano centrale del fuso, C_f positiva $C_f = 19^m$

Sorgere		Tramonto	
t_m	05.03	t_m	18.54
$+ C_f$	0.19	$+ C_f$	0.19
-----		-----	
$= t_f$	05.22	$= t_f$	19.13

3. CALCOLO DI RETTE D'ALTEZZA

1.1 Calcolo dei seguenti elementi:

angolo al Polo (P), declinazione (δ), altezza vera (h_v), altezza stimata (h_s), azimut (az) e Δh

UT = Tm Tempo Universale o Tempo medio di Greenwich

1.1 Risoluzione della ambiguità del cronometro (note le coordinate del Punto Stimato Ps: φ_s, λ_s)

Tm = tf - λf (algebrica) noto il tempo fuso (con λf la longitudine fuso);

Tm = tm - λ^h (algebrica) noto il tm locale (crepuscolo, sorgere, ...);

Tempo del cronometro (tempo di Greenwich ± 12 h) Tc (con K la correzione del cronometro)

Tm = Tc + K Tempo medio, si risolve l'ambiguità con una delle precedenti relazioni;

λf (longitudine fuso, ovvero del meridiano centrale del fuso) deve essere convertita in tempo con la tavola A1 delle effemeridi o, più semplicemente, con l'ultima pagina di copertina delle effemeridi $\lambda f > 0$ se di specie E, $\lambda f < 0$ se di specie W (analogamente per λ_s).

$\lambda f = \lambda^\circ / 15$ (il risultato algebrico va approssimato all'ora intera più vicina)

Esempio 1: $t_f = 23h 15m$, $\lambda = 120^\circ 15' E$, determinare il Tm

$\lambda f = + 120^\circ 15' / 15 = + 8h$ (approssimato per difetto);

$Tm = t_f - \lambda f = 23h 15m - 8h = 15h 15m$ dello stesso giorno! Greenwich è più "giovane"

1.2 Calcolo dell'angolo al polo della declinazione e della altezza vera

Stelle

Tm = Tm in ore intere; Im = intervallo di tempo medio (incremento) in ore e minuti; Ts = tempo siderale (Greenwich); ts = tempo siderale locale; $co\alpha$ = co-ascensione retta; t^* = tempo dell'astro (locale); P = angolo al polo; h_i = altezza instrumentale, γ = correzione d'indice; h_o = altezza osservata; C1 = correzione elevazione (e); C2 = correzione h_0 ; h_v = altezza vera;

Angolo al Polo P:

$$Tm = \rightarrow T'_S =$$

$$Im = \rightarrow I_S =$$

$$T'_S =$$

$$+ \lambda_s =$$

$$t_S =$$

$$+ co\alpha =$$

$$t_* =$$

Altezza vera h_v :

$$h_i =$$

$$+ \gamma =$$

$$h_0 =$$

$$+ c1$$

$$+ c2$$

$$h_v + 1^\circ =$$

$$- 1^\circ$$

$$h_v =$$

con $t_* \leq 180^\circ$ $P_W = t_*$; con $t_* > 180^\circ$ $P_E = t_* - 360^\circ$

Sole (valido anche per un pianeta e la Luna)

Angolo al Polo P:	Declinazione:	Altezza vera h_v :
$Tm = \rightarrow Tv =$		$h_i =$
$Im = \rightarrow Iv =$		$+ \gamma =$
-----		-----
$\left\{ \begin{array}{l} Im = \\ v = \end{array} \right. \rightarrow pp =$	$Tm = \rightarrow \delta =$	$h_0 =$
-----	$\left\{ \begin{array}{l} Im = \\ d = \end{array} \right. \rightarrow pp =$	$+ c1$
$T_v =$	-----	$+ c2$
$+ \lambda_S =$		$+ c3$
-----	$\delta =$	-----
$t_v =$		$h_v + 1^\circ =$
		$- 1^\circ$

		$h_v =$

con $t_x \leq 180^\circ$ $P_w = t_x$; con $t_x > 180^\circ$ $P_E = t_x - 360^\circ$

Per il calcolo della parti proporzionali (pp), Im si arrotonda al minuto intero e si entra con la variazione v per l'angolo orario e con la variazione d per la declinazione.

Nel caso della Luna, la correzione $c2$ è per la rifrazione (si entra con h_0). Nel caso del Sole, la correzione $c3$ è per il lembo superiore o inferiore (si entra con il mese). Nel caso della Luna, la correzione $c3$ è per la parallasse. Nel caso di un pianeta, la correzione $c3$ è per la parallasse e si applica solo a Venere e a Marte (si entra con il mese).

1.3 Calcolo dell'altezza stimata, dell'azimut e del Δh

Il seguente calcolo è applicabile a tutti i casi.

$\sinh_s = \sin \varphi_s \sin \delta + \cos \varphi_s \cos \delta \cos \hat{P}$ formula di Eulero per l'altezza stimata h_s ;

$\cos \hat{Z}_S = \frac{(\sin \delta - \sin \varphi_s \sinh_s)}{(\cos \varphi_s \cosh_s)}$ formula inversa di Eulero per l'angolo azimutale Z_S ;

Z_S E se P_E ; Z_S W se P_W ;

$az_v = \hat{Z}_S$ se P_E ; $az_v = 360^\circ - \hat{Z}_S$ se P_W ;

Si determina infine $\Delta h = h_v - h_s$. Gli elementi az_v e Δh rappresentano le coordinate polari del punto determinativo D necessario per il tracciamento della retta di altezza.

4. CALCOLO DEL PASSAGGIO DELLA MERIDIANA

Se P è vicino a "0" l'astro è molto vicini al meridiano e si può trattare la sua altezza come se fosse meridiana.

Calcolo dell'ora del passaggio del Sole al meridiano di bordo

Le effemeridi forniscono il Tm a Greenwich del passaggio in meridiano del Sole. Tale valore coincide in pratica con il tm locale ad una qualsiasi longitudine λ . Si può determinare il tf corrispondente tramite la correzione fuso Cf,

$$tf = tm + Cf \quad \text{con } Cf = (\lambda_f - \lambda) \text{ correzione del fuso}$$

$$tf = tm + Cf$$

Esempio:

$$\lambda = 60^\circ 15' \text{ E}$$

Dalle effemeridi l'ora di passaggio alla meridiana è 12h 08m

$$\lambda = 60^\circ 15' \text{ E} = 4h 01m \quad \text{allora il fuso è } 4h$$

$$tm + Cf = tf$$

$$12h 08m + (4h - 4h 01m) = 12h 07m$$

$$tf = 12h 07m \quad (\text{questa è l'ora del passaggio del Sole al meridiano di bordo})$$

Per il passaggio al meridiano mobile si veda indietro.

Altezze meridiane

Al passaggio di un astro al meridiano superiore (MS) dell'osservatore l'angolo al polo risulta pari a 0° , al passaggio di un astro al meridiano inferiore (MI) dell'osservatore l'angolo al polo risulta pari a 180° .

Passaggio al MS (P= 0°)



$$z_{mer} = \varphi_s - \delta \text{ algebrica}$$

Passaggio al MI (P= 180°)



$$z_{mer} = 180^\circ - (|\varphi_s| + |\delta|)$$

(altezza meridiana nei due casi:)

$$h_{mer} = 90^\circ - |z_{mer}|$$



$$az = 0^\circ \text{ se } z_{mer} < 0$$

$$az = 180^\circ \text{ se } z_{mer} > 0$$



$$az = 0^\circ \text{ se } \varphi_s > 0$$

$$az = 180^\circ \text{ se } \varphi_s < 0$$

Praticamente, nel caso del passaggio al meridiano superiore dell'osservatore, la distanza zenitale meridiana z_{mer} , risulta positiva se osservata con la faccia rivolta a Sud, negativa se osservata con la faccia rivolta a Nord.

5. PUNTO NAVE CON QUATTRO RETTE D'ALTEZZA

Schema riassuntivo degli elementi calcolati

A	a = ...	Dh = ...	Dt = tc ₄ – tc ₁	m ₁ = ...	Rv =
B	a = ...	Dh = ...	Dt = tc ₄ – tc ₂	m ₂ =	V =
C	a = ...	Dh = ...	Dt = tc ₄ – tc ₃	m ₃ =	
D	a = ...	Dh = ...	Dt = 0		

Grafico

Si rappresenta con una crocetta il Ps al centro del foglio quadrettato, a partire da tale punto si costruisce una scala costante (Dl) e una scala delle distanze formante l'angolo js con la precedente (scala delle latitudini).

Dal Ps si tracciano gli azimut degli astri, agli estremi si segna una cuspide e il nome dell'astro; dal punto stimato si traccia poi la Rv.

Con il compasso si misura, sulla scala delle distanze il Dh della prima stella e la si riporta a partire dal Ps verso l'astro se il Dh è * o nel verso contrario se il Dh = - in tal modo si ottiene un punto che è detto punto determinativo D. la perpendicolare alla direzione azimutale è la retta d'0'altezza se non bisogna effettuare il trasporto.

Trattandosi di più stelle occorre effettuare il trasporto della prima, seconda, terza etc. retta all'istante dell'ultima osservazione. In pratica si procede nel seguente modo:

Dal punto determinativo si traccia la parallela alla rotta e su di essa si porta il cammino m₁ della prima stella (il cammino m₁ è quello fatto dalla nave nel Dt compreso fra il tc o il Tm dell'ultima osservazione e quello della prima). L'estremo del segmento tracciato è il punto determinativo trasportato. Per esso si traccia la perpendicolare all'azimut. Tale perpendicolare è la retta d'altezza trasportata. Ai suoi estremi si tracciano poi due freccette nella direzione dell'azimut. Tale operazione la si esegue poi per le stelle B e C. L'ultima, cioè la D non la si trasporta.

Le quattro rette, che formano un quadrilatero, si suddividono in due coppie tali che gli azimut di ogni coppia formano l'angolo più grande possibile (cioè un angolo quanto più prossimo a 180° azimut opposti).

Per ogni coppia di rette si traccia poi la bisettrice secondo il seguente procedimento.

1) Se le due rette s'intersecano formando un angolo si cerca con un compasso, per tentativi un punto O che è centro di due archi di circonferenza tangenti ai due lati dell'angolo e quindi alle due rette fig. 1. la congiungente VO è la bisettrice.

2) Se le due rette non si incontrano si farà la stessa operazione col compasso, due volte, agli estremi opposti. La bisettrice passerà per i due centri O ed O'

Il punto nave è il punto d'intersezione delle due bisettrici.

A partire dal Ps si misura col compasso la Dj e la Dl del Pn per cui le sue coordinate saranno:

$$P_n (\varphi = \varphi_s + D\varphi ; \lambda = \lambda_s + D\lambda)$$

Ricordare che sul lato orizzontale si misura la sola $D\lambda$ mentre sul lato inclinato si misurano: Dh, m, $D\varphi$ e V.

Il Pn si dice ottimo se la differenza tra gli azimut, presi a due a due, è 180° e le bisettrici formano un angolo di 90° o prossimo ad esso.

L'errore sistematico è dato da:

$$\varepsilon_s = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{alg.}$$

Mentre l'errore accidentale è:

$$\varepsilon_a = \pm |d_1 - d_2| \quad \text{alg.}$$

I segni di d_1 e d_2 sono:

+ se le frecce della coppia divergono entrambe rispetto al Pn.

– se entrambe convergono.

ε_a deve essere dell'ordine di qualche primo (1',2') . Se maggiore vuol dire che è stato commesso un errore di calcolo a partire dal tc o dalla hi.

6. PUNTO NAVE CON TRE RETTE

Schema riassuntivo degli elementi calcolati

A	a = ...	Dh = ...	Dt = tc ₄ - tc ₁	m ₁ = ...	Rv =
B	A = ...	Dh = ...	Dt = tc ₄ - tc ₂	m ₂ =	V =
C	A = ...	Dh = ...	Dt = 0		

Si esegue il grafico limitandosi a solo tre rette. Poi si tracciano le bisettrici del triangolo che hanno o due frecce entrambe convergenti o divergenti. Il punto nave è l'incontro delle due bisettrici. La terza passa per lo stesso punto.

Casi particolari.

* Se la differenza d'azimut tra gli astri è $< 180^\circ$, ovvero se i tre azimut sono contenuti in un arco di orizzonte $< 180^\circ$ il Pn cade al di fuori del triangolo. Se però durante le osservazioni è stato notato qualcosa di anomalo) si assume come P'n l'incontro della bisettrice dell'angolo interno del triangolo con la terza retta.(fig. 1) .

* se una delle tre osservazioni, cioè quella non trasportata, ottenuta con l'osservazione di un astro in meridiano ($P = 0$, o $P = 180^\circ$) per cui la retta è un parallelo di posizione (calcolo di latitudine meridiana), si assume come punto nave l'intersezione della bisettrice delle altre due rette con la meridiana.

La retta meridiana è un luogo di posizione più sicuro perché esente dagli errori di trasporto e di cronometro. Fig. 2

CAP. 8 - MAREE E CORRENTI DI MAREA

1. MAREE (I METODO)

Primo problema della marea: calcolo dell'altezza del livello del mare sul C.D. ad una data ora t_f

Dati: t_f AM, t_f BM, h_{AM} , h_{BM} le altezze dell'A.M. e B.M. dal C.D. (L.R.S.), altezze già corrette per la pressione atmosferica)

$$h(t) = h_{BM} + \frac{h_{AM} - h_{BM}}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{180^\circ}{(t_{fAM} - t_{fBM})} (t_f - t_{fAM}) \right] \right\}$$

Secondo problema della marea: calcolo dell'ora t_f in cui il livello del mare raggiunge una data altezza sul C.D.

(Sono noti t_{fAM} , t_{fBM} sono i t_f dell'A.M. e B.M., h_{AM} , h_{BM} le altezze dell'A.M. e B.M. sul C.D., altezze già corrette per la pressione atmosferica)

$$\cos \alpha = \frac{2h(t) - (h_{AM} + h_{BM})}{h_{AM} - h_{BM}}$$

$$t_{fh} = t_{fAM} + \frac{\alpha}{180} (t_{fBM} - t_{fAM})$$

2. MAREE (II METODO)

Primo problema della marea: calcolo dell'altezza h del mare sul C.D. ad una data ora t

Sono noti: t_{AM} , t_{BM} (sono ore dell'AM e della BM); AM, BM (altezze dell'alta marea e della bassa marea dal C.D. (L.R.S.), altezze già corrette per la pressione atmosferica); t (ora t_f per la quale si vuol determinare h)

$$H = \frac{AM - BM}{2}$$

Ampiezza della marea sul L.M.M

$$h_0 = \frac{AM + BM}{2}$$

Altezza del L.M.M. rispetto al C.D. (Livello di Riferimento degli Scandagli: L.R.S.)

h

Altezza della marea rispetto al C.D.

$$\Delta h = h - h_0$$

Altezza della marea rispetto al L.M.M.

$$\Delta t = t - t_{AM}$$

Intervallo di tempo dalla AM (se AM precede BM)

$$\Delta t = t - t_{BM}$$

Intervallo di tempo dalla BM (se BM precede AM)

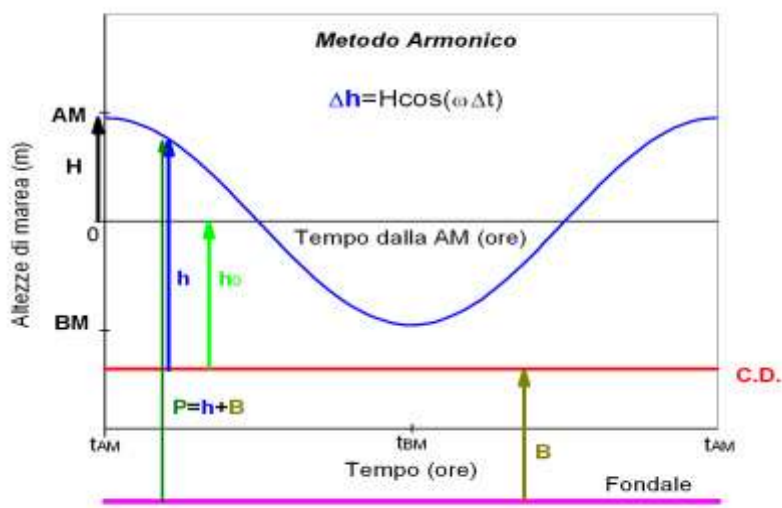
$$\omega = \frac{360}{T}$$

Pulsazione, con $T = |t_{BM} - t_{AM}| \cdot 2$ periodo della marea

$$\Delta h = H \cos(\omega \cdot \Delta t)$$

Profilo armonico della marea rispetto al L.M.M. (+H se si parte dalla AM;

-H se si parte dalla BM)



1° passo: si determinano H , h_0 , Δt , T , ω ;

2° passo: si determina $\Delta h = H \cos(\omega \cdot \Delta t)$;

3° passo: si determina $h = h_0 + \Delta h$;

Secondo problema della marea: calcolo della ora t in cui il mare raggiunge una data altezza dal livello del C.D.

Sono noti: t_{AM} , t_{BM} (sono ore dell'AM e della BM); AM, BM (altezze dell'alta marea e della bassa marea dal C.D. (L.R.S.), altezze già corrette per la pressione atmosferica); h (altezza della marea sul C.D. per la quale si vuol determinare t)

1° passo: si determinano H , h_0 , T , ω ;

2° passo: si determina $\Delta h = h - h_0$;

3° passo: si determina $\Delta t = \frac{1}{\omega} \arccos\left(\frac{\Delta h}{H}\right)$;

4° passo: si determina $t = t_{AM} + \Delta t$; oppure $t = t_{BM} + \Delta t$;

3. METODO DEI DODICESIMI

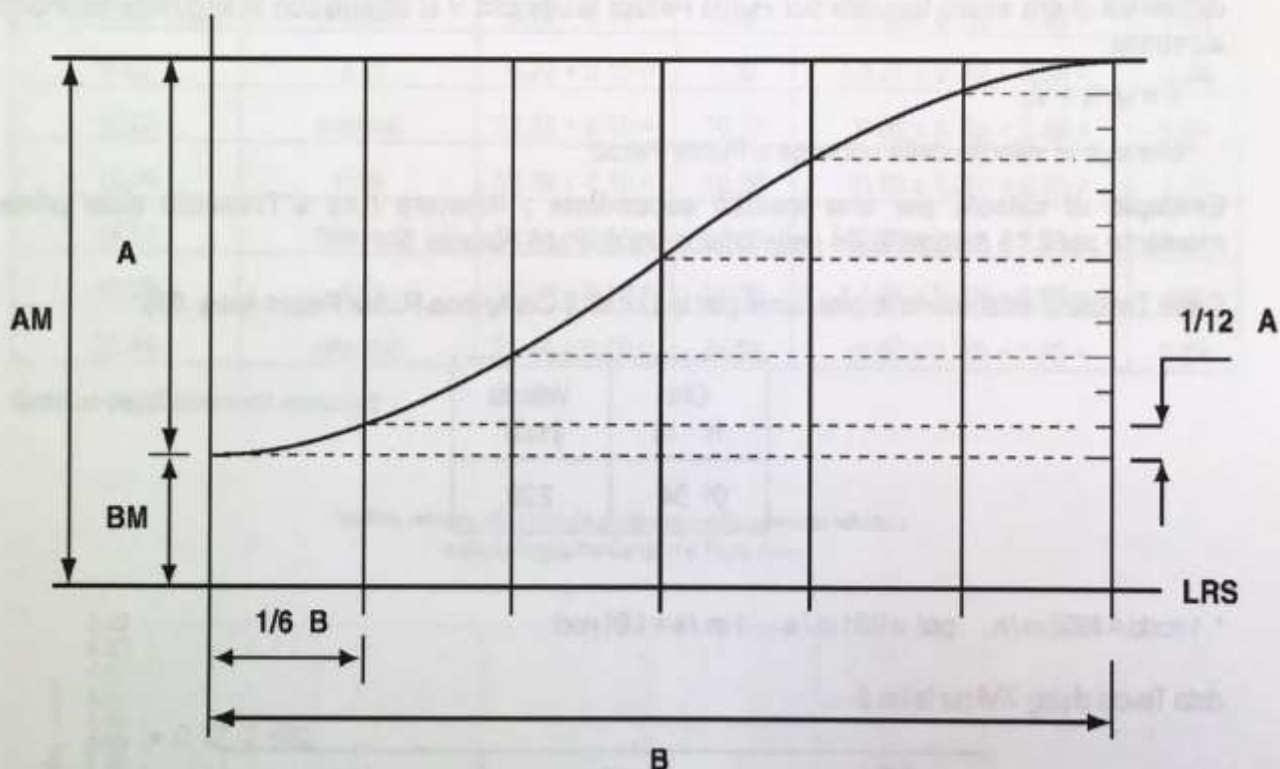
Costruzione della curva di marea con la regola dei dodicesimi

L'altezza di marea in un istante intermedio tra una AM e la seguente BM (o viceversa), in un porto qualsiasi, può essere calcolata con buona approssimazione utilizzando la "Regola dei dodicesimi", che si basa sul presupposto che la curva di marea abbia carattere sinusoidale.

Si calcola l'ampiezza locale "A" della marea (differenza tra l'altezza dell'AM e della BM), e la durata "B" dell'intervallo di tempo fra l'AM e la BM.

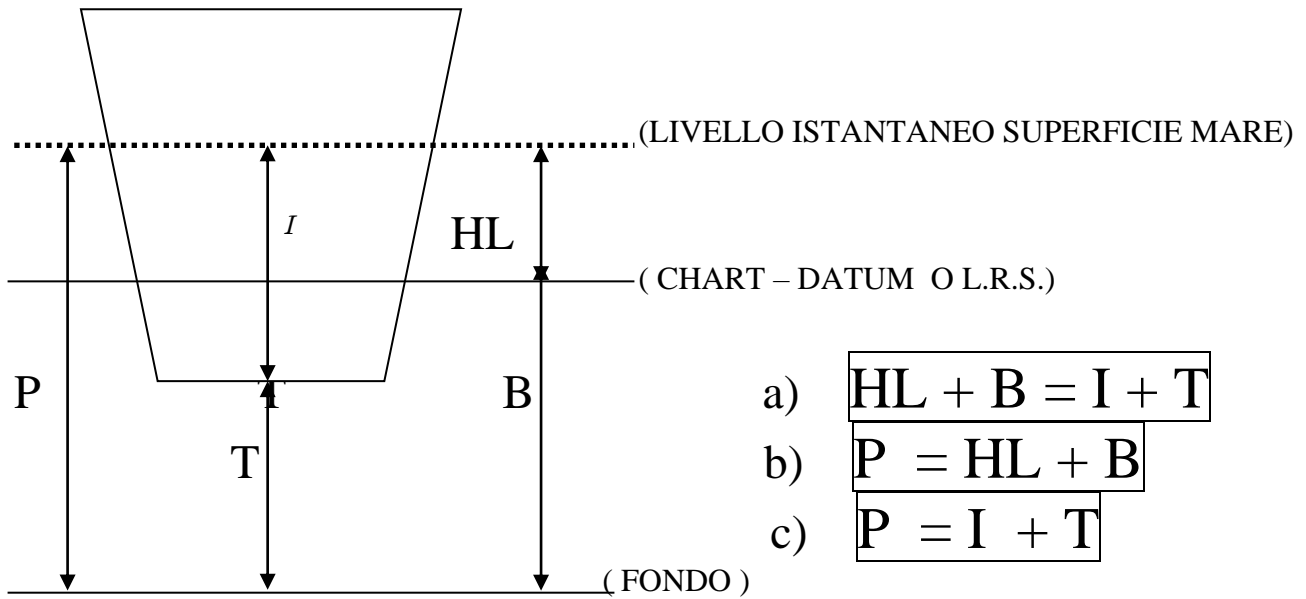
Si sottrae, poi, dall'altezza prevista per la AM (vedi figura sotto):

1/12 A	per un intervallo di AM	1/6 B
3/12 A	»	2/6 B
6/12 A	»	3/6 B
9/12 A	»	4/6 B
11/12 A	»	5/6 B
12/12 A	»	6/6 B



4. SIMBOLISMO UTILIZZATO PER LA RISOLUZIONE DEI PROBLEMI

- I = Immersione della nave
- T = Tirante d'acqua (distanza verticale tra la chiglia e il fondo)
- HL = Altezza della marea (distanza verticale tra il chart – datum e il livello istantaneo della superficie marina)
- B = Bassofondo (distanza verticale tra il fondo e il chart – datum . In pratica rappresenta il valore letto , in un dato punto, sulla carta nautica) (vedi nota**)
- P = Profondità (distanza verticale tra il fondo e il livello istantaneo della superficie marina)



Dalla a) si possono ricavare :

- 1) $HL = I + T - B$ - B e I sono costanti al variare del tempo
- 2) $B = I + T - HL$ - HL e T sono funzioni del tempo : cioè
- 3) $I = HL + B - T$ significano che i loro valori variano con il
- 4) $T = HL + B - I$ trascorrono del tempo.

Per una data verticale:

Dalla b e dalla c si ha anche :

- 5) $HL = P - B$
- 6) $B = P - HL$
- 7) $I = P - T$
- 8) $T = P - I$

Nota (**)

- Può qualche volta capitare che HL risulti negativo : in ogni caso , nelle formule suddette , bisogna applicare la regola dei segni;
- Può anche capitare di avere un valore di B negativo , ciò accade quando uno scoglio emerge dall'acqua : in tal caso B (negativo) rappresenta la distanza verticale tra la cresta e il chart – datum (vedasi il quesito sulle maree – maturità 2000/2001) . Ovviamente bisogna applicare , anche in questo caso , la regola dei segni.

5. CORRENTE DI MAREA

Calcolo della velocità della corrente $v(t)$ ad una data ora dati: V vel. max corrente in nodi, tf_2 , tf_1 ore stanca, t ora considerata)

$$v(t) = V \operatorname{sen} \left[\frac{180^\circ}{(tf_2 - tf_1)} (t - tf_1) \right]$$

Calcolo dell'ora in cui la corrente raggiunge una certa velocità: (V vel. max corrente in nodi, tf_2 , tf_1 ore stanca, v velocità considerata in nodi)

$$\operatorname{sen} \alpha = v/V \quad ; \quad tf(v) = tf_1 + \frac{\alpha}{180^\circ} (tf_2 - tf_1) \quad ; \quad t'(v) = tf_1 + \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ} (tf_2 - tf_1)$$

Calcolo del cammino m percorso da una corrente d'inversione in una data direzione tra gli istanti tf_1 e tf_2 . $\Delta t = tf_2 - tf_1$ e' l'intervallo tra le due stanche:

$$m = - \frac{V}{\pi} \Delta t \left[\cos \frac{180^\circ}{T} (tf_2 - tf_1) - \cos \frac{180^\circ}{T} (tf_1 - T_1) \right]$$

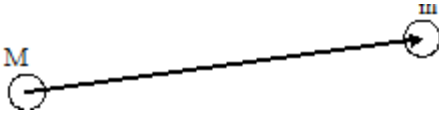
$$\text{Velocità media della corrente: } v_m = \frac{m}{(tf_2 - tf_1)}$$

CAP. 9 - SATELLITI ARTIFICIALI

1. ELEMENTI DI MECCANICA CELESTE (COSTANTI A PAG. 4)

$$(1) F = \frac{GMm}{r^2}$$

Legge di gravitazione universale



Rappresenta la forza che M esercita su m diretta lungo la congiungente i due corpi e verso M . Nel caso di un satellite di massa m in orbita attorno alla Terra di massa M , m risulta trascurabile rispetto al M .

(2) Leggi di Keplero:

- I. I pianeti descrivono orbite ellittiche attorno al Sole, che occupa uno dei due fuochi.
- II. Il raggio vettore che congiunge un pianeta con il Sole descrive aree uguali in tempi uguali.
- III. Il quadrato del periodo di rivoluzione di un pianeta attorno al Sole è proporzionale al cubo del semiasse maggiore.

Per un satellite in orbita ad una **quota Z** sopra la Terra di **raggio R** risulta (costanti a pag. 4):

$$(3) \frac{a^3}{T^2} \cong \frac{GM}{4\pi^2} \quad \text{Dalla legge di Keplero e dalla conservazione del momento angolare}$$

$$(4) g_z = g_0 \left(\frac{R}{R+Z} \right)^2 \quad \text{gravità } g_z \text{ alla quota } Z \text{ in funzione di } g_0$$

$$(5) V \cong \sqrt{\frac{GM}{R+Z}} \quad \text{Velocità cosmica o orbitale (in funzione di } G)$$

$$(6) V = R \sqrt{\frac{g_0}{R+Z}} \quad \text{Velocità cosmica o aeronautica (in funzione di } g_0)$$

$$(7) T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+Z)^3}{R^2 g_0}} \quad \text{Periodo di rivoluzione}$$

$$(8) \cos D = \frac{R}{R+Z} \quad \text{Raggio sferico } D \text{ (in gradi) dell'area di acquisizione di un satellite.}$$

$$(9) \Delta t = T \frac{D}{180^\circ} \quad \text{Durata del passaggio di un satellite (senza contare il mascheramento)}$$

2. SATELLITI GEOSTAZIONARI ED ORIENTAMENTO DELLE ANTENNE

Un satellite geostazionario ha l'importante proprietà di apparire fisso sulla volta celeste; per questo, qualsiasi osservatore terrestre, situato entro l'area di copertura del satellite, può captare i suoi segnali orientando opportunamente un'antenna altamente direttiva (normalmente di tipo parabolico).

L'orientamento è facilitato se sono note le coordinate altazimutali del satellite, ossia l'azimut e l'altezza (per le loro definizioni vedere "[Introduzione al Planetario](#)"). Tali coordinate sono ovviamente fisse per una data località terrestre e si possono ricavare da grafici oppure da semplici calcoli analitici come esposti successivamente.

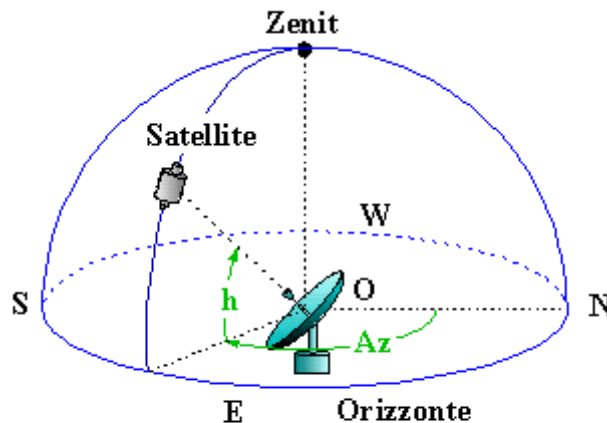


Figura 1 - Azimut (Az) ed altezza (h) di un satellite in un qualsiasi punto O della superficie terrestre

Satelliti geosincroni

Un satellite si definisce **geostazionario** quando il suo periodo è esattamente uguale alla durata del giorno sidereo (23 ore, 56 minuti e 4 secondi), ossia al tempo impiegato dalla Terra ad effettuare una rotazione completa attorno al proprio asse. Per raggiungere tale periodo un satellite deve avere una quota di circa 35.730 Km; che si ricava dalla seguente espressione semplificata del periodo:

$$T = 1,662 \cdot 10^{-4} \cdot (R_T + Z)^{3/2}$$

Dove:

- T è il periodo in minuti e pari a $23 \cdot 60 + 56 + 4 / 60 = 1436,07$ min
- R_T è il raggio della Terra supposta sferica e pari a 6371 Km
- Z è la quota del satellite in Km
- $R_T + Z$ è il raggio dell'orbita pari a circa 42101 Km

In base alla definizione data un satellite è sincrono con la rotazione della Terra indipendentemente dalla forma e dall'inclinazione dell'orbita, infatti essa può essere più o meno ellittica e più o meno inclinata rispetto al piano dell'equatore.

3. SATELLITI GEOSTAZIONARI

Un satellite geosincrono si definisce **geostazionario** se la sua orbita:

- è circolare
- si trova nello stesso piano dell'equatore terrestre

è diretta, ossia è descritta in senso antiorario (da ovest ad est).

In tal caso il moto relativo fra satellite e superficie terrestre è nullo e quindi, ad un osservatore situato sulla Terra, il satellite appare stazionario sulla verticale di un particolare punto dell'equatore (punto subsatellitare o [subsatellite](#)). La suddetta proprietà rende tali satelliti insostituibili nelle comunicazioni radiotelefoniche ed in quelle televisive, infatti ciascun satellite riesce a coprire con i suoi segnali quasi un terzo della superficie terrestre ("[Area di copertura](#)"); con tre satelliti equidistanti in longitudine è quindi possibile garantire la copertura dell'intera superficie. Un altro importante settore in cui si utilizzano i satelliti geostazionari è quello meteorologico; dalla quota di circa 36.000 Km è infatti possibile fotografare quasi l'intero disco terrestre e quindi avere con continuità immagini dettagliate dei vari sistemi nuvolosi

4. SUBSATELLITE E SUE COORDINATE

Il punto in cui la congiungente il centro della Terra con il satellite interseca la superficie terrestre è definito punto subsatellitare o **subsatellite** (S' in figura); esso è anche il punto in cui si osserva il satellite allo zenit.

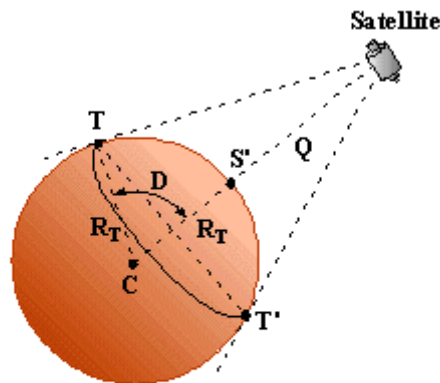


Figura 2 - Subsatellite ed area d'acquisizione di un satellite

La posizione di un satellite si può individuare se sono note la sua quota e le coordinate geografiche del subsatellite. In generale tali dati sono continuamente variabili e richiedono calcoli complessi per determinarli; nel caso di un satellite geostazionario essi sono costanti e precisamente:

- la latitudine (simbolo ϕ) è nulla essendo il subsatellite sull'equatore;
- la longitudine (simbolo λ) dipende dalla collocazione del satellite (vedi tabella);
- la quota Q è circa 35.730 Km

Satellite	Utilizzo	Longitudine
Meteosat 7	Meteorologico	0°
Meteosat 5	Meteorologico	65° E
GOES	Meteorologico	135° W
Inmarsat AOR-E	Comunicazioni	18,5° W
Inmarsat AOR-W	Comunicazioni	55,5° W
Inmarsat IOR	Comunicazioni	63,0° E
Inmarsat POR	Comunicazioni	180° E
Eutelsat II F4	Trasmissioni TV	7° E
Eutelsat II F4	Trasmissioni TV	7° E
Eutelsat II F2	Trasmissioni TV	10° E
Astra	Trasmissioni TV	19,2° E

Tabella 1 - Alcuni satelliti geostazionari

5. AREA D'ACQUISIZIONE O DI COPERTURA

Conducendo dal satellite le semirette tangenti alla sfera terrestre (Figura 2), su di essa s'individua un cerchio minore che rappresenta la linea dell'**orizzonte geometrico** del satellite. La porzione di superficie terrestre, racchiusa da tale linea, rappresenta l'**area d'acquisizione** o **di copertura** ossia l'area entro la quale si possono captare gli eventuali segnali trasmessi dal satellite. Tale area è anche ovviamente la frazione di superficie terrestre visibile o "fotografabile" dal satellite.

Come si vede dalla figura 3, l'area ha per centro il subsatellite S' e raggio sferico D che si può calcolare risolvendo il triangolo piano con vertici nel satellite, nel centro C della Terra e nel punto T di tangenza. Si ha quindi:

$$\cos D = R_T / (R_T + Q)$$

Nel caso dei satelliti geostazionari, un raggio sferico $D = 81,3$ gradi, equivalenti a circa 4900 miglia nautiche (si rammenta che 1 miglio nautico equivale ad 1 primo di circolo massimo terrestre e a l'applicazione della precedente relazione fornisce 1852 m).

Le zone polari della Terra non sono pertanto osservabili dai satelliti geostazionari; analogamente, gli osservatori terrestri situati in tali aree non possono ricevere i segnali emessi dai satelliti. L'area utile, in realtà, è minore di quella indicata per i seguenti motivi:

Normalmente si considera un'altezza minima di 5° per cui il raggio sferico dell'area di acquisizione si riduce dal valore teorico di 81,3° a circa 76°.

6. COORDINATE ALTAZIMUTALI

La posizione di un satellite, rispetto ad un osservatore terrestre, è determinata quando sono noti l'azimut e l'altezza che si calcolano conoscendo le coordinate del subsatellite e la quota del satellite. Il problema si risolve applicando i concetti della **trigonometria sferica** al triangolo sferico $P_N S' Z$ dove:

- P_N è il polo nord
- S' è la posizione del subsatellite di coordinate $\varphi_S = 0^\circ$ e λ_S .
- O è la posizione dell'osservatore di coordinate φ_O e λ_O .

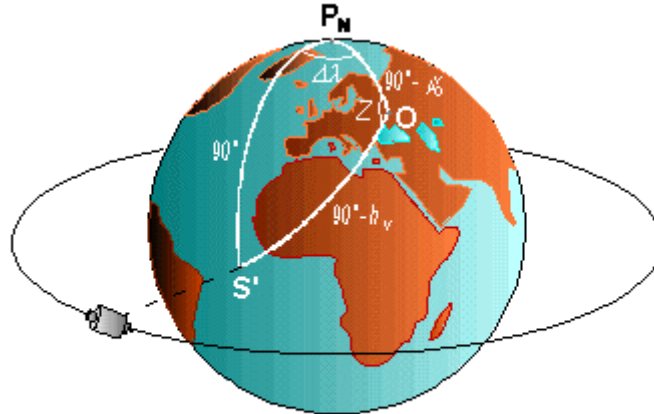


Figura 3 - Triangolo sferico con vertici nel polo nord P_N , osservatore O , subsatellite S'

Indicando con $\Delta\lambda = \lambda_S - \lambda_O$ la differenza di longitudine fra i meridiani dell'osservatore e del satellite ed applicando la formula d'Eulero si ottengono le seguenti relazioni:

$$\sin h_v = \cos \varphi_O \cos \Delta\lambda \quad (1)$$

$$\cos Z = - \tan \varphi_O \tan h_v \quad (2)$$

che danno l'**altezza vera h_v** e l'**angolo azimutale Z** .

Tali coordinate sono riferite ad un ipotetico osservatore situato nel centro della Terra ed al piano dell'orizzonte astronomico.

Volendo determinare le analoghe coordinate per un osservatore situato sulla superficie terrestre, occorre considerare la **parallasse diurna** come nel caso degli astri più vicini alla Terra. La parallasse ha effetto sulla sola altezza e non sull'azimut, perciò l'azimut apparente e geocentrico sono coincidenti.

7. ESEMPI DI CALCOLO

Primo esempio:

Calcolare le coordinate altazimutali del satellite meteorologico Meteosat 7

Coordinate antenna ricevente: $\varphi_0 = 43^\circ 50' N$; $\lambda_0 = 10^\circ 14' E$.

Coordinate subsatellite: $\varphi_S = 0^\circ$; $\lambda_S = 0^\circ$.

Calcolo differenza di longitudine: $\Delta\lambda = \lambda_S - \lambda_0 = 0^\circ - 10^\circ 14' = 10^\circ 14' W$

Calcolo altezza vera:

$\sin h_v = \cos(+43^\circ 50') \cos(10^\circ 14')$, da cui $h_v = 45^\circ 13' 31''$

Calcolo angolo azimutale:

$\cos Z = -\tan(+43^\circ 50') \tan(45,22534631)$, da cui $Z = 165^\circ 24' W$

Calcolo azimut: $a = 360 - 165,4 = 194^\circ,6$ essendo W il secondo segno di Z.

Calcolo distanza topocentrica ossia distanza fra antenna e satellite:

$d_a = (1812999641 - 536438200 \sin(45,22534631))^{1/2} = 37844,31 \text{ Km}$

Calcolo altezza apparente ossia elevazione dell'antenna rispetto al piano orizzontale:

$\cos h_a = (42100 / 37844,31) \cos(45,22534631) = 0,783522917$ da cui

$h_a = 38,41572821^\circ$.

Risultati: Azimut = 195° ; Altezza = 38° ; Distanza = 37.844 Km

Secondo esempio:

Calcolare le coordinate altazimutali del satellite per comunicazioni Inmarsat AOR-W (Atlantic Ocean Region W)

Coordinate antenna ricevente (Cile): $\varphi_0 = 45^\circ S$ e $\lambda_0 = 74^\circ W$.

Coordinate subsatellite: $\varphi_S = 0^\circ$; $\lambda_S = 55,5^\circ W$.

Calcolo differenza di longitudine: $\Delta\lambda = \lambda_S - \lambda_0 = -55,5 - (-74) = +18,5^\circ = 18,5^\circ E$

Calcolo altezza vera o geocentrica:

$\sin h_v = \cos(-45) \cos(18,5) = 0,670566087$ da cui $h_v = 42,11077075^\circ$

Calcolo angolo azimutale: $\cos Z = -\tan(-45) \tan(42,11077075) = +0,903910858$ da cui $Z = N 25,3^\circ E$

Calcolo azimut: Az = Z = $25,3^\circ$ essendo Est il secondo segno di Z.

Calcolo distanza topocentrica:

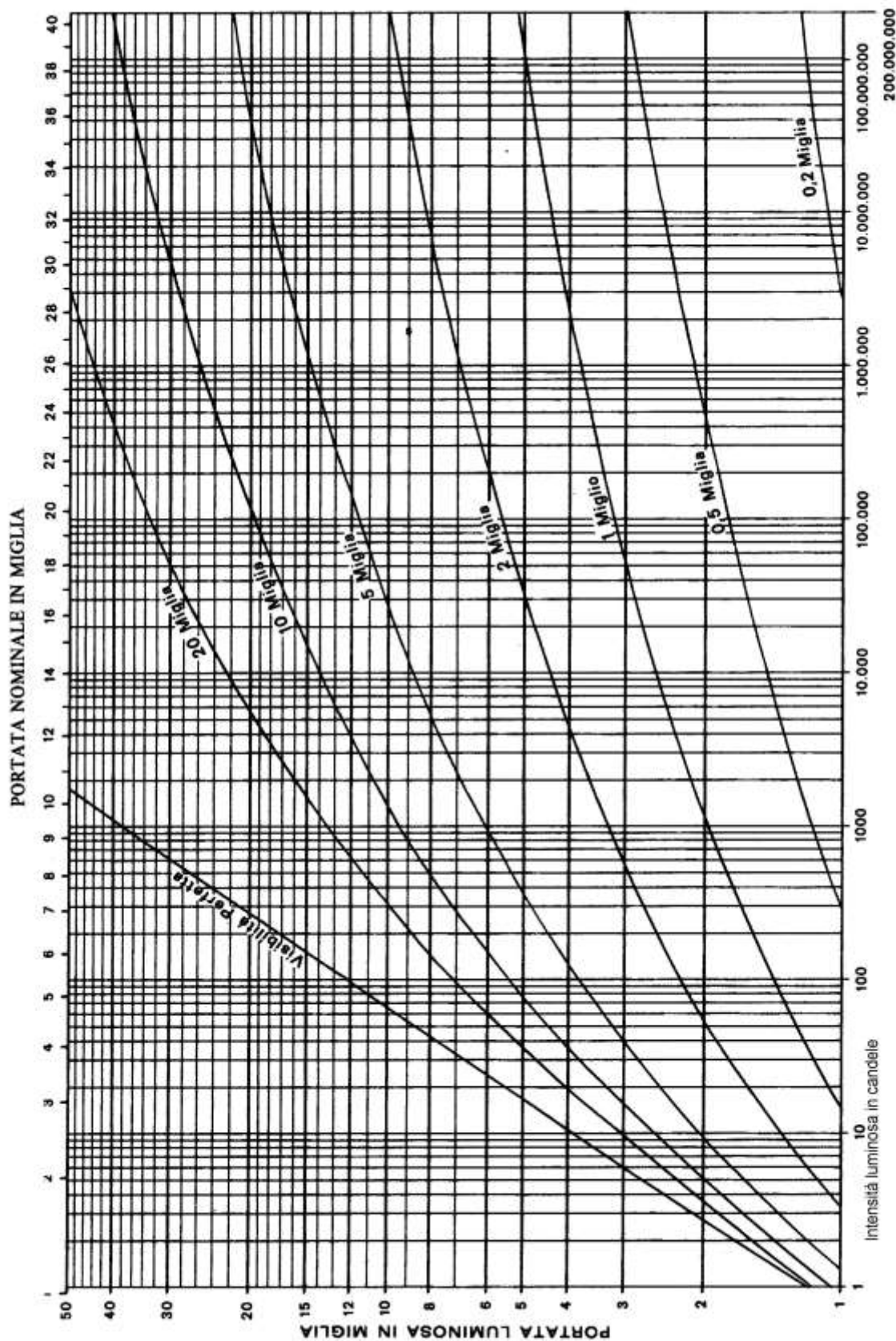
$d_a = (1812999641 - 536438200 \sin(42,11077075))^{1/2} = 38121,94 \text{ Km}$

Calcolo altezza apparente:

$\cos h_a = (42100 / 38121,94) \cos(42,11077075) = 0,819262497$ da cui $h_a = 34,98896508^\circ$.

Risultati: Azimut = 25° ; Altezza = 35° ; Distanza = 38.122 Km

DIAGRAMMA PORTATA LUMINOSA



Esempio: Un faro ha una portata nominale di 20 mg. (intensità luminosa di 100.000 candele).

Quando la visibilità meteorologica è di 20 mg. il faro può essere visto alla distanza di circa 31 mg.

Quando la visibilità meteorologica è di sole 2 mg. il faro può essere avvistato alla distanza di circa 5.5 mg.

TABLE 6
Meridional Parts

Lat	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	Lat
0	599.1	659.7	720.5	781.6	842.9	904.5	966.4	1028.6	1091.1	1154.0	0
1	600.1	661.7	723.6	785.9	848.7	911.6	975.1	1038.7	1102.8	1167.5	1
2	01.1	61.7	22.6	83.6	45.9	08.6	67.4	30.7	93.2	56.1	2
3	02.1	62.7	23.6	84.7	46.0	07.6	69.5	31.7	94.2	57.1	3
4	03.1	63.7	24.6	85.7	47.0	08.6	70.5	32.7	95.3	58.2	4
5	04.1	64.8	25.6	86.8	47.9	09.6	71.6	33.8	96.4	59.3	5
6	05.1	65.8	26.6	87.7	49.1	10.7	72.6	34.8	97.4	60.3	6
7	06.1	66.8	27.6	88.7	50.1	11.7	73.6	35.9	98.4	61.4	7
8	07.1	67.8	28.7	89.8	51.1	12.7	74.7	36.9	99.5	62.4	8
9	08.2	68.8	29.7	90.8	52.1	13.8	75.7	37.9	100.5	63.5	9
10	09.2	69.8	30.7	91.8	53.2	14.8	76.7	38.9	101.6	64.5	10
11	10.2	70.8	31.7	92.8	54.2	15.8	77.8	40.0	102.6	65.6	11
12	11.2	71.8	32.7	93.8	55.2	16.9	78.8	41.1	103.7	66.6	12
13	12.2	72.9	33.7	94.9	56.2	17.9	79.8	42.1	104.7	67.7	13
14	13.2	73.9	34.8	95.9	57.3	18.9	80.9	43.1	105.7	68.7	14
15	14.2	74.9	35.8	96.9	58.3	19.9	81.9	44.1	106.8	69.8	15
16	15.2	75.9	36.8	97.9	59.3	21.0	82.9	45.2	107.8	70.8	16
17	16.2	76.9	37.8	98.9	60.3	22.0	84.0	46.3	108.9	71.9	17
18	17.2	77.9	38.8	99.9	61.4	23.0	85.0	47.3	109.9	72.9	18
19	18.3	78.9	39.8	101.0	62.4	24.1	86.0	48.3	111.0	74.0	19
20	19.3	79.9	40.8	102.0	63.4	25.1	87.0	49.3	112.0	75.0	20
21	20.3	81.0	41.9	103.0	64.4	26.1	88.1	50.4	113.1	76.1	21
22	21.3	82.0	42.9	104.1	65.5	27.2	89.1	51.5	114.1	77.1	22
23	22.3	83.0	43.9	105.1	66.5	28.2	90.2	52.5	115.2	78.2	23
24	23.3	84.0	44.9	106.1	67.5	29.2	91.2	53.5	116.2	79.3	24
25	24.3	85.0	45.9	107.1	68.5	30.2	92.2	54.5	117.3	80.3	25
26	25.3	86.0	46.9	108.1	69.5	31.3	93.3	55.5	118.3	81.4	26
27	26.3	87.1	47.9	109.2	70.6	32.3	94.3	56.5	119.4	82.4	27
28	27.3	88.1	48.9	110.2	71.6	33.3	95.4	57.5	120.4	83.5	28
29	28.4	89.1	50.0	111.2	72.6	34.4	96.4	58.5	121.5	84.5	29
30	29.4	90.1	51.0	112.2	73.6	35.4	97.4	59.5	122.5	85.5	30
31	30.4	91.1	52.1	113.2	74.7	36.4	98.5	60.6	123.5	86.6	31
32	31.4	92.1	53.1	114.3	75.7	37.5	99.5	61.6	124.5	87.7	32
33	32.4	93.1	54.1	115.3	76.8	38.5	100.5	62.7	125.5	88.7	33
34	33.4	94.1	55.1	116.3	77.8	39.5	101.6	63.7	126.5	89.8	34
35	34.4	95.1	56.1	117.3	78.8	40.5	102.6	64.7	127.5	90.9	35
36	35.4	96.2	57.1	118.4	79.8	41.6	103.7	65.7	128.5	91.9	36
37	36.4	97.2	58.2	119.4	80.9	42.6	104.7	66.7	129.5	93.0	37
38	37.4	98.2	59.2	120.4	81.9	43.7	105.7	67.7	130.5	94.0	38
39	38.5	99.2	60.2	121.4	82.9	44.7	106.8	68.7	131.5	95.1	39
40	39.5	100.2	61.2	122.5	83.9	45.7	107.8	69.7	132.5	96.1	40
41	40.5	101.2	62.2	123.5	85.0	46.8	108.8	70.7	133.5	97.2	41
42	41.5	102.3	63.3	124.5	86.0	47.8	109.9	71.7	134.5	98.2	42
43	42.5	103.3	64.3	125.5	87.0	48.8	110.9	72.7	135.5	99.3	43
44	43.5	104.3	65.3	126.5	88.1	49.9	112.0	73.7	136.5	100.4	44
45	44.5	105.3	66.3	127.6	89.1	50.9	113.0	74.7	137.5	101.4	45
46	45.5	106.3	67.3	128.6	90.1	51.9	114.0	75.7	138.5	102.5	46
47	46.5	107.3	68.4	129.6	91.1	52.9	115.1	76.7	139.5	103.5	47
48	47.5	108.4	69.4	130.6	92.2	54.0	116.1	77.6	140.5	104.5	48
49	48.5	109.4	70.4	131.7	93.2	55.0	117.1	78.6	141.5	105.6	49
50	49.5	110.4	71.4	132.7	94.2	56.0	118.1	79.6	142.5	106.6	50
51	50.5	111.4	72.4	133.7	95.2	57.1	119.1	80.6	143.5	107.7	51
52	51.5	112.4	73.4	134.7	96.3	58.1	120.1	81.6	144.5	108.8	52
53	52.5	113.4	74.4	135.7	97.3	59.1	121.1	82.6	145.5	109.9	53
54	53.5	114.4	75.4	136.7	98.3	60.2	122.1	83.6	146.5	111.0	54
55	54.5	115.4	76.4	137.7	99.3	61.2	123.1	84.6	147.5	112.0	55
56	55.5	116.4	77.4	138.7	100.4	62.2	124.1	85.6	148.5	113.0	56
57	56.5	117.4	78.4	139.7	101.4	63.2	125.1	86.6	149.5	114.0	57
58	57.5	118.4	79.4	140.7	102.4	64.2	126.1	87.6	150.5	115.0	58
59	58.5	119.4	80.4	141.7	103.4	65.2	127.1	88.6	151.5	116.0	59
60	59.5	120.4	81.4	142.7	104.4	66.2	128.1	89.6	152.5	117.0	60

TABLE 6
Meridional Parts

Lat	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	Lat
0	0.0	59.6	119.2	178.9	238.6	298.4	358.3	418.2	478.4	538.6	0
1	01.0	60.6	20.2	79.9	39.6	299.4	59.3	19.2	79.4	39.6	1
2	02.0	61.6	21.2	80.9	40.6	300.4	60.3	20.2	80.4	40.6	2
3	03.0	62.6	22.2	81.9	41.6	01.4	61.3	21.2	81.4	41.7	3
4	04.0	63.6	23.2	82.9	42.6	02.4	62.3	22.2	82.4	42.7	4
5	5.0	64.6	24.2	83.9	43.6	03.4	63.3	23.2	83.4	43.7	5
6	06.0	65.6	25.2	84.8	44.6	04.4	64.2	24.2	84.4	44.7	6
7	07.0	66.6	26.2	85.8	45.6	05.4	65.2	25.3	85.4	45.7	7
8	08.0	67.5	27.2	86.8	46.6	06.4	66.2	26.3	86.4	46.7	8
9	08.9	68.5	28.2	87.8	47.6	07.4	67.2	27.3	87.4	47.7	9
10	9.9	69.5	29.2	88.8	48.5	08.3	68.2	28.3	88.4	48.7	10
11	10.9	70.5	30.2	89.8	49.5	09.3	69.2	29.3	89.4	49.7	11
12	11.9	71.5	31.1	90.8	50.5	10.3	70.2	30.3	90.4	50.7	12
13	12.9	72.5	32.1	91.8	51.5	11.3	71.2	31.3	91.4	51.7	13
14	13.9	73.5	33.1	92.8	52.5	12.3	72.2	32.3	92.4	52.7	14
15	14.9	74.5	34.1	93.8	53.5	13.3	73.2	33.3	93.4	53.7	15
16	15.9	75.5	35.1	94.8	54.5	14.3	74.2	34.3	94.4	54.7	16
17	16.9	76.5	36.1	95.8	55.5	15.3	75.2	35.3	95.4	55.7	17
18	17.9	77.5	37.1	96.8	56.5	16.3	76.2	36.3	96.4	56.7	18
19	18.9	78.5	38.1	97.8	57.5	17.3	77.2	37.3	97.4	57.7	19
20	19.9	79.5	39.1	98.8	58.5	18.3	78.2	38.3	98.4	58.7	20
21	20.9	80.5	40.1	99.8	59.5	19.3	79.2	39.3	99.4	59.7	21
22	21.9	81.5	41.1	100.8	60.5	20.3	80.2	40.3	100.4	60.7	22
23	22.8	82.5	42.1	101.8	61.5	21.3	81.2	41.3	101.4	61.7	23
24	23.8	83.4	43.1	102.8	62.5	22.3	82.2	42.3	102.4	62.7	24
25	24.8	84.4	44.1	103.8	63.5	23.3	83.2	43.3	103.4	63.7	25
26	25.8	85.4	45.1	104.7	64.5	24.3	84.2	44.3	104.4	64.7	26
27	26.8	86.4	46.1	105.7	65.5	25.3	85.2	45.3	105.4	65.7	27
28	27.8	87.4	47.1	106.7	66.5	26.3	86.2	46.3	106.4	66.7	28
29	28.8	88.4	48.0	107.7	67.5	27.3	87.2	47.3	107.4	67.7	29
30	29.8	89.4	49.0	108.7	68.5	28.3	88.2	48.3	108.4	68.7	30
31	30.8	90.4	50.0	109.7	69.5	29.3	89.2	49.3	109.4	69.7	31
32	31.8	91.4	51.0	110.7	70.5	30.3	90.2	50.3	110.4	70.7	32
33	32.8	92.4	52.0	111.7	71.5	31.3	91.2	51.3	111.4	71.7	33
34	33.8	93.4	53.0	112.7	72.5	32.3	92.2	52.3	112.4	72.7	34
35	34.8	94.4	54.0	113.7	73.5	33.3	93.2	53.3	113.4	73.7	35
36	35.8	95.4	55.0	114.7	74.5	34.3	94.2	54.3	114.4	74.7	36
37	36.8	96.4	56.0	115.7	75.4	35.3	95.2	55.3	115.4	75.7	37
38	37.7	97.4	57.0	116.7	76.4	36.3	96.2	56.3	116.4	76.7	38
39	38.7	98.4	58.0	117.7	77.4	37.3	97.2	57.3	117.4	77.7	39
40	39.7	99.3	59.0	118.7	78.4	38.3	98.2	58.3	118.4	78.7	40
41	40.7	100.3	60.0	119.7	79.4	39.3	99.2	59.3	119.4	79.7	41
42	41.7	101.3	61.0	120.7	80.4	40.3	100.2	60.3	120.4	80.7	42
43	42.7	102.3	62.0	121.7	81.4	41.3	101.2	61.3	121.4	81.7	43
44	43.7	103.3	63.0	122.7	82.4	42.3	102.2	62.3	122.4	82.7	44
45	44.7	104.3	64.0	123.7	83.4	43.3	103.2	63.3	123.4	83.7	45
46	45.7	105.3	65.0	124.7	84.4	44.3	104.2	64.3			

TABLE 6
Meridional Parts

Lat.	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	Lat.
0	1876.9	1946.2	2016.2	2087.0	2158.6	2231.1	2304.5	2378.8	2454.1	2530.4	0
1	78.0	47.3	17.4	88.2	59.8	32.3	05.7	80.0	55.3	31.7	1
2	79.2	48.5	18.5	89.4	61.0	33.5	06.9	81.3	56.6	33.0	2
3	80.3	49.6	19.7	90.5	62.2	34.7	08.1	82.5	57.9	34.3	3
4	81.5	50.8	20.9	91.7	63.4	35.9	09.4	83.8	59.1	35.6	4
5	1882.6	1952.0	2022.1	2092.9	2164.6	2237.2	2310.6	2385.0	2460.4	2536.8	5
6	83.8	53.1	23.2	94.1	65.8	38.4	11.8	86.3	61.7	38.1	6
7	84.9	54.3	24.4	95.3	67.0	39.6	13.1	87.5	62.9	39.4	7
8	86.1	55.4	25.6	96.5	68.2	40.8	14.3	88.8	64.2	40.7	8
9	87.2	56.6	26.8	97.7	69.4	42.0	15.5	90.0	65.5	42.0	9
10	1888.4	1957.8	2027.9	2098.9	2170.6	2243.2	2316.8	2391.3	2466.7	2543.3	10
11	88.5	58.9	28.1	2100.1	71.8	44.5	18.0	92.5	68.0	44.5	11
12	89.7	60.1	30.3	01.2	73.0	45.7	19.2	93.8	69.3	45.8	12
13	91.8	61.3	31.5	02.4	74.2	46.9	20.5	95.0	70.5	47.1	13
14	93.0	62.4	32.6	03.6	75.4	48.1	21.7	96.3	71.8	48.4	14
15	1894.1	1963.5	2033.8	2104.8	2176.5	2249.5	2322.9	2397.5	2473.3	2549.7	15
16	95.3	64.8	33.0	06.0	77.8	50.6	24.2	2398.8	74.3	51.0	16
17	96.4	65.9	36.2	07.2	79.0	51.8	25.4	2400.0	75.6	52.3	17
18	97.6	67.1	37.3	08.4	80.3	53.0	26.6	01.3	76.9	53.6	18
19	98.7	68.2	38.5	09.6	81.5	54.2	27.9	02.5	78.1	54.8	19
20	1899.9	1969.4	2039.7	2110.8	2182.7	2255.4	2329.1	2403.8	2479.4	2556.1	20
21	1901.0	70.6	40.9	12.0	83.9	56.7	30.4	05.0	80.7	57.4	21
22	02.2	71.7	42.1	13.1	85.1	57.9	31.6	06.3	82.0	58.7	22
23	03.3	72.9	43.2	14.3	86.3	59.1	32.8	07.5	83.2	60.0	23
24	04.5	74.1	44.4	15.5	87.5	60.3	34.1	08.8	84.5	61.3	24
25	1905.6	1975.5	2045.6	2116.7	2188.7	2261.5	2335.3	2410.0	2485.8	2562.6	25
26	06.8	76.4	46.8	17.9	89.9	62.8	36.5	11.3	87.0	63.9	26
27	08.0	77.6	47.9	19.1	91.1	64.0	37.8	12.5	88.3	65.1	27
28	09.1	78.7	49.1	20.3	92.3	65.2	39.0	13.8	89.6	66.4	28
29	10.3	79.9	50.3	21.5	93.5	66.4	40.3	15.0	90.9	67.7	29
30	1911.4	1981.1	2051.5	2122.7	2194.7	2267.6	2341.5	2416.3	2492.1	2569.0	30
31	12.6	82.2	52.7	23.9	95.9	68.9	42.7	17.6	93.4	70.3	31
32	13.7	83.4	53.8	25.1	97.1	70.1	44.0	18.8	94.7	71.6	32
33	14.9	84.6	55.0	26.3	98.4	71.3	45.2	20.1	95.9	72.9	33
34	16.0	85.7	56.2	27.5	2199.6	72.5	46.4	21.3	97.2	74.2	34
35	1917.2	1986.9	2057.1	2128.7	2200.8	2273.8	2347.7	2422.6	2498.5	2575.5	35
36	18.4	88.1	58.6	29.9	02.0	75.0	48.9	23.8	2499.8	76.8	36
37	19.5	89.2	59.7	31.1	03.2	76.2	50.2	25.1	2501.0	78.1	37
38	20.7	90.4	60.9	32.2	04.4	77.4	51.4	26.3	02.3	79.4	38
39	21.8	91.6	62.1	33.4	05.6	78.7	52.6	27.6	03.6	80.6	39
40	1924.6	1992.8	2063.3	2134.6	2206.8	2279.9	2353.9	2428.9	2504.9	2581.9	40
41	24.1	93.9	64.5	35.8	08.0	81.1	55.1	30.1	06.1	83.2	41
42	25.3	95.1	65.7	37.0	09.2	82.3	56.4	31.4	07.4	84.5	42
43	26.4	96.3	66.8	38.2	10.5	83.6	57.6	32.6	08.7	85.8	43
44	27.6	97.4	68.0	39.4	11.7	84.8	58.9	33.9	01.0	87.1	44
45	1928.8	1998.8	2069.2	2140.6	2212.9	2286.0	2360.0	2435.2	2511.2	2588.4	45
46	29.9	1999.8	70.4	41.8	14.1	87.2	61.3	36.4	12.5	89.7	46
47	31.1	2000.9	71.6	43.0	15.3	88.5	62.6	37.7	13.8	91.0	47
48	32.2	02.1	72.8	44.2	16.5	89.7	63.8	38.9	15.1	92.3	48
49	33.4	03.3	73.9	45.4	17.7	90.9	65.1	40.2	16.4	93.6	49
50	1934.6	2004.5	2075.1	2146.6	2218.9	2292.2	2366.3	2441.5	2517.6	2594.9	50
51	35.7	05.6	76.3	47.8	20.1	93.4	67.6	42.7	18.9	96.2	51
52	36.9	06.8	77.5	49.0	21.4	94.6	68.8	44.0	20.2	97.5	52
53	38.0	08.0	78.7	50.2	22.6	95.8	70.0	45.2	21.5	2598.8	53
54	39.2	09.1	79.9	51.4	23.8	97.1	71.2	46.5	22.8	2600.1	54
55	1940.4	2010.3	2081.1	2152.6	2225.0	2298.3	2372.4	2447.7	2524.0	2601.4	55
56	41.5	11.5	82.2	53.8	26.2	2299.5	73.8	49.0	25.3	02.7	56
57	42.7	12.7	83.4	55.0	27.4	2300.8	75.0	50.3	26.6	04.0	57
58	43.8	13.8	84.6	56.2	28.6	02.0	76.3	51.6	27.9	05.3	58
59	45.0	15.0	85.8	57.4	29.9	03.2	77.5	52.8	29.2	06.6	59
60	1946.2	2016.2	2087.0	2158.6	2231.1	2304.5	2378.8	2454.1	2530.4	2607.9	60

TABLE 6
Meridional Parts

Lat.	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	Lat.
0	1217.3	1280.9	1345.1	1409.6	1474.7	1540.3	1606.4	1673.1	1740.4	1808.3	0
1	18.3	82.0	46.1	10.7	75.8	41.4	07.5	74.2	41.5	09.4	1
2	19.4	83.1	47.2	11.8	76.9	42.5	08.6	75.3	42.6	10.5	2
3	20.4	84.1	48.3	12.9	78.0	43.6	09.7	76.4	43.7	11.7	3
4	21.5	85.2	49.4	14.0	79.0	44.7	10.8	77.5	44.9	12.8	4
5	1222.6	1286.3	1350.4	1415.0	1480.1	1545.6	1611.9	1678.8	1746.0	1814.0	5
6	23.6	87.3	51.5	16.1	81.2	46.9	13.0	79.8	47.1	15.1	6
7	24.7	88.4	52.6	17.2	82.3	48.0	14.1	80.9	48.2	16.2	7
8	25.7	89.5	53.6	18.3	83.4	49.0	15.2	82.0	49.4	17.4	8
9	26.8	90.5	54.7	19.4	84.5	50.1	16.3	83.1	50.5	18.5	9
10	1227.9	1291.0	1355.8	1420.4	1485.6	1551.2	1617.5	1684.2	1751.6	1819.7	10
11	28.9	92.7	56.9	21.5	86.7	52.3	18.6	85.4	52.8	20.8	11
12	30.0	93.7	57.9	22.6	87.8	53.4	19.7	86.5	53.9	21.9	12
13	31.0	94.8	59.0	23.7	88.9	54.5	20.8	87.6	55.0	23.1	13
14	32.1	95.9	60.1	24.8	89.9	55.6	21.9	88.7	56.1	24.2	14
15	1233.1	1296.9	1361.2	1425.9	1491.0	1556.7	1623.1	1689.8	1757.3	1825.4	15
16	34.2	98.0	62.2	26.9	92.1	57.8	24.1	90.9	58.4	26.3	16
17	35.3	1299.1	63.3	28.0	93.2	58.9	25.2	92.1	59.5	27.6	17
18	36.3	1300.1	64.4	29.1	94.3	60.0	26.3	93.2	60.7	28.8	18
19	37.4	01.2	65.5	30.2	95.4	61.1	27.4	94.3	61.8	29.9	19
20	1238.4	1302.3	1366.5	1431.3	1496.5	1562.2	1628.5	1695.4	1762.9	1831.1	20
21	39.5	03.3	67.6	32.3	97.6	63.3	29.7	96.5	64.1	32.2	21
22	40.6	04.4	68.7	33.4	98.7	64.4	30.8	97.7	65.2	33.3	22
23	41.6	05.5	69.8	34.5	99.8	65.5	31.9	98.8	66.3	34.5	23
24	42.7	06.6	70.8	35.6	1500.9	66.6	33.0	1699.9	67.4	35.6	24
25	1243.7	1307.6	1371.9	1436.7	1502.0	1567.7	1634.1	1701.0	1768.6	1836.8	25
26	44.8	08.7	73.0	37.8	03.0	68.8	35.2	02.1	69.7	37.9	26
27	45.9	09.7	74.1	38.8	04.1	69.9	36.3	03.3	70.8	39.1	27
28	46.9	10.8	75.1	39.9	05.2	71.0	37.4	04.4	72.0	40.2	28
29	48.0	11.9	76.2	41.0	06.3	72.2	38.5	05.5	73.1	41.3	29
30	1249.1	1312.9	1377.3	1442.1	1507.4	1573.3	1639.6	1706.6	1774.2	1842.5	30
31	50.1	14.0	78.4	43.2	08.5	74.4	40.8	07.8	75.6	43.6	31
32	51.2	15.1	79.4	44.3	09.6	75.5	41.9	08.9	76.7	44.8	32
33	52.2	16.2	80.5	45.4	10.7	76.6	43.0	010.0	77.8	45.9	33
34	53.3	17.3	81.6	46.4	11.8	77.7	44.1	11.1	78.8	47.1	34
35	1254.4	1318.2	1382.7	1447.5	1512.9	1578.8	1645.2	1712.2	1779.9	1848.2	35
36	55.4	19.4	83.7	48.6	14.0	79.9	46.3	13.4	81.0	49.3	36
37	56.5	20.4	84.8	49.7	15.1	81.0	47.4	14.5	82.2	50.5	37
38	57.5	21.5	85.9	50.8	16.2	82.1	48.5	15.6	83.3	51.6	38
39	58.6	22.6	87.0	51.9	17.3	83.2	49.7	16.7	84.4	52.8	39
40	1259.7	1323.0	1388.1	1453.0	1518.3	1584.3	1650.8	1717.9	1785.6	1853.9	40
41	60.7	24.7	89.1	54.0	19.4	85.4	51.9	19.0	86.7	55.1	41
42	61.8	25.8	90.2	55.1	20.5	86.5	53.0	20.1	87.8	56.2	42
43	62.9	26.9	91.3	56.2	21.6	87.6	54.1	21.2	88.9	57.4	43
44	63.9	27.9	92.4	57.3	22.7						

TABLE 6
Meridional Parts

Lat.	50°	51°	52°	53°	54°	55°	56°	57°	58°	59°	Lat.
0	3456.8	3550.9	3647.0	3745.4	3846.0	3949.1	4054.8	4163.3	4274.8	4389.4	0
1	58.4	52.5	48.7	47.0	47.7	50.8	56.6	65.1	76.6	91.3	1
2	59.9	54.1	50.3	48.7	49.4	52.6	60.2	70.3	82.6	97.3	2
3	61.5	55.7	51.9	50.3	51.1	54.3	62.0	72.6	85.6	100.2	3
4	63.0	57.2	53.5	52.0	52.8	56.1	63.9	74.9	88.4	103.1	4
5	3464.6	3558.8	3655.1	3753.7	3854.5	3957.8	4063.7	4172.2	4283.2	4396.1	5
6	66.1	60.4	56.8	55.3	56.2	59.5	67.3	78.4	92.1	106.0	6
7	67.7	62.0	58.4	57.0	57.9	61.3	69.1	80.4	94.1	108.0	7
8	69.2	63.6	60.0	58.6	59.6	63.0	70.8	82.3	96.3	110.1	8
9	70.8	65.2	61.6	60.3	61.3	64.8	72.6	84.3	98.4	112.2	9
10	3472.4	3566.8	3663.3	3762.0	3863.0	3966.5	4072.7	4181.7	4293.6	4408.8	10
11	73.9	68.4	64.9	63.6	64.7	68.3	76.2	88.1	102.1	116.0	11
12	75.5	70.0	66.5	65.3	66.4	70.0	78.0	90.0	104.0	118.0	12
13	77.0	71.5	68.1	67.0	68.1	71.8	79.8	91.9	105.9	120.0	13
14	78.6	73.1	69.8	68.6	69.8	73.5	82.4	94.4	107.2	121.6	14
15	3480.2	3574.7	3671.4	3770.3	3871.5	3975.3	4081.7	4190.9	4303.1	4418.6	15
16	81.7	76.3	73.0	72.0	73.2	77.0	85.0	97.1	110.2	124.0	16
17	83.3	77.9	74.7	73.6	74.9	78.8	86.8	98.9	112.1	125.9	17
18	84.8	79.5	76.3	75.3	76.7	80.5	88.6	100.7	113.0	126.8	18
19	86.4	81.1	77.9	77.0	78.4	82.3	90.2	102.0	113.9	127.7	19
20	3488.0	3582.7	3679.6	3778.6	3880.1	3984.0	4090.4	4200.1	4312.6	4428.3	20
21	89.5	84.3	81.2	80.3	81.6	85.5	93.5	105.6	118.7	132.3	21
22	91.1	85.9	82.8	82.0	83.3	87.2	95.2	107.3	120.4	133.3	22
23	92.6	87.5	84.3	83.5	84.7	88.6	96.6	108.7	121.3	134.2	23
24	94.2	89.1	86.1	85.3	86.5	90.4	98.4	110.1	122.2	135.1	24
25	3495.8	3590.7	3687.7	3787.7	3888.6	3992.8	4099.2	4209.4	4322.1	4438.1	25
26	97.3	92.3	89.4	88.7	90.0	93.9	101.9	113.9	126.9	140.0	26
27	98.9	93.9	91.0	90.3	91.6	95.5	103.5	115.5	128.4	141.0	27
28	3500.5	3595.5	3692.6	3792.6	3893.5	3998.1	4104.1	4214.9	4328.2	4444.0	28
29	102.0	97.1	94.3	93.7	95.0	98.9	106.9	118.9	131.8	145.0	29
30	3503.6	3598.7	3695.9	3795.4	3897.2	4001.6	4108.7	4218.6	4331.7	4448.0	30
31	105.2	100.3	97.6	97.1	98.4	102.3	110.3	122.3	135.2	148.0	31
32	106.7	101.9	99.2	98.7	100.0	103.9	111.9	123.9	136.8	149.0	32
33	108.3	103.5	100.8	100.3	101.6	105.5	113.5	125.5	139.1	150.0	33
34	109.9	105.1	102.4	101.9	103.2	107.1	115.1	127.1	140.0	151.0	34
35	3511.5	3606.7	3704.1	3803.8	3905.8	4010.4	4117.7	4227.9	4341.2	4457.8	35
36	113.0	108.3	105.6	105.1	106.4	110.3	118.3	130.3	143.2	156.0	36
37	114.6	109.9	107.2	106.7	108.0	111.9	119.9	131.9	144.8	157.0	37
38	116.2	111.5	108.8	108.3	109.6	113.5	121.5	133.5	146.4	158.0	38
39	117.7	113.1	110.4	109.9	111.2	115.1	123.1	135.1	147.7	159.0	39
40	3519.3	3614.8	3712.3	3812.2	3914.4	4019.3	4126.8	4237.3	4350.8	4467.7	40
41	120.9	116.4	113.7	113.2	114.5	118.4	126.4	138.4	151.3	164.0	41
42	122.5	118.0	115.3	114.8	116.1	120.0	128.0	140.0	152.9	165.0	42
43	124.0	119.6	116.9	116.4	117.7	121.6	129.6	141.6	154.5	166.0	43
44	125.6	121.2	118.5	118.0	119.3	123.2	131.2	142.8	155.5	167.0	44
45	3527.2	3622.8	3720.6	3820.6	3923.1	4028.1	4135.9	4246.6	4360.4	4477.6	45
46	128.8	124.4	121.7	121.2	122.5	126.4	134.4	146.4	159.3	172.0	46
47	130.3	126.0	123.3	122.8	124.1	128.0	136.0	148.0	160.9	173.0	47
48	131.9	127.6	124.9	124.4	125.7	129.6	137.6	149.6	162.5	174.0	48
49	133.5	129.2	126.5	126.0	127.3	131.2	139.2	151.2	164.1	175.0	49
50	3535.1	3630.9	3728.9	3828.9	3931.7	4037.1	4145.0	4256.0	4370.0	4487.5	50
51	136.7	132.5	129.8	129.3	130.6	134.5	142.5	154.5	167.4	180.0	51
52	138.2	134.1	131.4	130.9	132.2	136.1	144.1	156.1	169.0	181.0	52
53	139.8	135.7	133.0	132.5	133.8	137.7	145.7	157.7	170.6	182.0	53
54	141.4	137.3	134.6	134.1	135.4	139.3	147.3	159.3	172.1	183.0	54
55	3543.0	3638.9	3737.1	3837.1	3940.4	4045.9	4154.1	4265.3	4379.7	4497.4	55
56	144.6	140.6	137.9	137.4	138.7	142.6	150.6	162.6	175.5	188.0	56
57	146.1	142.6	140.0	139.5	140.8	144.7	152.7	164.7	177.6	190.0	57
58	147.7	144.3	141.6	141.1	142.4	146.3	154.3	166.3	179.2	191.0	58
59	149.3	146.0	143.3	142.8	144.1	148.0	156.0	168.0	180.6	192.0	59
60	3550.9	3647.0	3745.4	3846.0	3949.1	4054.8	4163.3	4274.8	4389.4	4507.4	60

TABLE 6
Meridional Parts

Lat.	40°	41°	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	Lat.
0	2607.9	2686.5	2766.3	2847.4	2929.8	3013.6	3099.0	3185.9	3274.4	3364.7	0
1	06.2	87.8	67.6	48.7	31.2	15.1	3100.4	87.3	75.9	66.2	1
2	10.5	89.1	69.0	50.1	32.6	16.5	3101.8	88.8	77.4	67.7	2
3	11.8	90.4	70.3	51.5	34.0	17.9	3103.3	90.2	78.9	69.3	3
4	13.1	91.8	71.7	52.8	35.4	19.3	3104.7	91.7	80.4	70.8	4
5	2614.4	2693.1	2773.0	2854.2	2936.7	3020.7	3106.2	3193.2	3281.9	3372.3	5
6	15.7	94.4	74.3	55.6	38.1	22.1	3107.6	94.6	83.4	73.8	6
7	17.0	95.7	75.7	56.9	39.5	23.5	3109.0	96.1	84.8	75.3	7
8	18.3	97.1	77.0	58.3	40.9	24.9	3110.4	97.6	86.3	76.8	8
9	19.6	98.4	78.4	59.7	42.3	26.4	3111.9	99.1	87.8	78.4	9
10	2620.9	2699.7	2779.7	2861.0	2943.7	3027.8	3113.3	3200.5	3289.3	3379.9	10
11	22.2	2701.0	81.1	62.4	45.1	29.2	3114.8	102.0	90.8	81.4	11
12	23.5	82.4	63.8	46.5	30.6	30.6	3116.2	103.4	92.3	83.0	12
13	24.8	83.7	65.1	47.9	32.0	32.0	3117.7	104.9	93.8	84.5	13
14	26.1	85.0	66.5	49.2	33.4	33.4	3119.1	106.4	95.3	86.0	14
15	2627.4	2706.3	2786.3	2867.9	2950.6	3034.8	3120.5	3207.8	3296.8	3387.5	15
16	28.7	87.6	68.8	69.2	52.0	36.3	3122.0	108.0	97.8	89.1	16
17	30.0	89.0	70.6	72.0	53.4	37.7	3123.4	109.4	99.3	90.6	17
18	31.3	90.3	72.0	73.3	54.8	39.1	3124.9	110.9	100.8	92.1	18
19	32.6	91.6	73.3	74.6	56.2	40.5	3126.3	112.3	102.3	93.7	19
20	2634.0	2713.0	2793.0	2874.7	2957.6	3041.9	3127.8	3215.2	3304.3	3396.2	20
21	35.3	14.3	94.5	76.1	60.4	43.3	3129.2	113.8	103.8	95.2	21
22	36.6	15.6	95.9	77.4	60.4	44.8	3130.6	115.3	105.3	96.7	22
23	37.9	16.9	97.2	78.8	61.8	46.2	3132.0	116.8	106.8	98.2	23
24	39.2	18.3	98.5	80.2	63.2	47.6	3133.5	118.3	108.3	99.7	24
25	2640.5	2719.6	2799.6	2881.6	2964.6	3049.0	3135.0	3222.5	3311.3	3402.8	25
26	41.8	20.2	100.3	82.9	66.0	50.4	3136.4	119.8	109.8	110.2	26
27	43.1	22.2	102.6	84.3	67.4	51.9	3137.9	121.3	111.3	111.7	27
28	44.4	23.6	104.0	85.7	68.8	53.3	3139.3	122.8	112.8	113.2	28
29	45.7	25.0	105.3	87.1	70.2	54.7	3140.8	124.3	114.3	114.7	29
30	2647.0	2726.2	2806.2	2888.4	2971.5	3056.1	3142.2	3231.9	3320.9	3410.5	30
31	48.7	27.6	108.0	89.8	72.9	57.5	3143.7	125.8	115.8	116.2	31
32	49.7	28.9	109.4	91.2	74.3	59.0	3145.1	127.3	117.3	117.7	32
33	51.0	30.2	110.7	92.5	75.7	60.4	3146.6	128.8	118.8	119.2	33
34	52.3	31.6	112.1	93.9	77.1	61.8	3148.0	130.3	120.3	120.7	34
35	2653.6	2732.9	2813.3	2895.3	2978.5	3063.2	3149.5	3237.3	3326.9	3418.2	35
36	54.9	34.2	114.8	96.7	79.9	64.7	3150.9	131.8	121.8	122.2	36
37	56.2	35.6	116.1	98.1	81.3	66.1	3152.4	133.3	123.3	123.7	37
38	57.5	36.9	117.5	2999.4	82.7	67.5	3153.8	134.8	124.8	125.2	38
39	58.8	38.2	118.9	2900.8	84.1	68.9	3155.3	136.3	126.3	126.7	39
40	2659.2	2739.6	2820.2	2902.2	2985.5	3070.4	3156.8	3244.4	3334.		

TABLE 6
Meridional Parts

Lat.	70°	71°	72°	73°	74°	75°	76°	77°	78°	79°	Lat.
0	5944.2	6123.9	6312.9	6512.4	6723.6	6948.1	7187.7	7444.7	7722.0	8023.1	0
1	447.2	27.0	16.1	15.8	27.2	51.9	91.8	49.2	26.8	28.3	1
2	90.1	30.0	19.4	19.2	30.8	55.8	7196.0	53.6	31.6	33.6	2
3	53.0	33.1	22.6	22.6	34.5	59.7	7200.1	58.1	36.5	38.8	3
4	56.0	36.2	25.9	26.1	38.1	63.5	7204.3	62.6	41.3	44.4	4
5	5958.9	6139.3	6329.2	6529.5	6741.8	6967.4	7208.4	7467.0	7745.1	8049.4	5
6	61.8	42.4	32.4	32.4	45.4	71.3	12.6	71.5	51.0	54.6	6
7	64.8	45.4	35.6	36.4	49.0	75.2	16.7	76.0	55.8	59.9	7
8	67.7	48.5	38.9	39.8	52.7	79.1	20.9	80.5	60.7	65.2	8
9	70.6	51.6	42.1	43.3	56.4	83.0	25.1	85.0	65.6	70.5	9
10	5973.6	6154.7	6345.4	6546.7	6760.0	6986.9	7229.3	7489.5	7770.4	8075.9	10
11	76.5	57.8	48.7	50.2	63.7	90.8	33.4	94.0	75.3	81.2	11
12	79.5	60.9	51.9	53.6	67.4	94.7	37.6	7498.5	80.2	86.5	12
13	82.4	64.0	55.2	57.1	71.0	99.8	41.8	7503.0	85.1	91.9	13
14	85.4	67.1	58.5	60.5	74.7	7002.5	46.0	707.5	90.0	8097.2	14
15	5988.3	6170.2	6361.7	6564.0	6778.4	7006.5	7230.2	7512.0	7794.9	8102.6	15
16	91.3	73.3	65.0	67.5	82.1	10.4	54.4	16.6	7799.8	87.9	16
17	94.3	76.5	68.3	71.0	85.8	14.3	58.6	21.1	7804.7	13.3	17
18	5997.2	79.6	71.6	74.4	89.4	18.3	62.9	25.6	7809.6	18.4	18
19	6000.2	82.7	74.9	77.9	93.1	22.2	67.1	30.2	7814.6	24.1	19
20	6003.2	85.8	78.2	81.2	97.9	26.2	72.1	35.4	7819.5	30.2	20
21	6006.2	88.9	81.5	84.9	6800.5	30.1	75.5	39.3	7824.5	34.9	21
22	6009.2	92.1	84.8	88.4	6804.3	34.1	79.8	43.9	7829.4	40.3	22
23	6012.2	95.3	88.1	91.9	6808.0	38.0	84.0	48.5	7834.4	45.7	23
24	6015.2	98.5	91.4	95.4	6811.7	42.0	88.3	53.0	7839.3	51.1	24
25	6018.2	101.7	94.5	98.9	6815.4	46.0	92.6	57.5	7844.3	56.5	25
26	21.0	04.6	6398.0	6602.4	19.1	49.9	7206.8	62.2	49.3	62.0	26
27	24.0	07.7	6401.3	659.9	22.8	53.0	7301.1	66.8	54.3	67.5	27
28	27.0	10.9	6404.6	659.4	26.6	57.9	7395.9	71.4	59.3	72.9	28
29	30.0	14.0	6407.9	659.9	30.3	62.8	7490.7	76.0	64.3	78.4	29
30	6033.0	6217.2	6411.3	6616.4	6834.4	7065.9	7313.9	7580.6	7869.3	8183.9	30
31	36.0	20.3	14.6	19.9	37.8	69.8	18.2	85.3	74.3	89.4	31
32	39.0	23.5	17.9	23.5	41.5	73.8	22.4	89.9	79.3	8194.9	32
33	42.0	26.6	21.2	27.0	45.3	77.9	26.7	94.5	84.4	8200.4	33
34	45.0	29.8	24.6	30.5	49.0	81.9	31.0	7599.2	89.4	85.9	34
35	6048.0	6233.0	6427.9	6634.0	6852.9	7085.9	7335.4	7603.8	7894.5	8211.4	35
36	51.0	36.1	31.3	37.6	56.6	89.9	39.7	88.5	7899.5	17.0	36
37	54.0	39.3	34.6	41.1	60.3	93.9	44.0	13.1	7904.6	22.5	37
38	57.0	42.5	37.9	44.7	64.1	7097.9	48.3	17.8	7909.7	28.1	38
39	60.0	45.6	41.3	48.2	67.9	7102.0	52.6	22.5	7914.8	33.6	39
40	6063.0	6248.8	6444.6	6651.8	6871.7	7106.0	7357.0	7627.1	7919.8	8239.2	40
41	66.0	52.0	48.0	55.3	75.4	10.0	61.3	31.8	24.9	44.8	41
42	69.0	55.2	51.4	58.9	79.2	14.1	65.6	36.5	30.0	50.4	42
43	72.0	58.3	54.7	62.5	83.0	18.1	70.0	41.2	35.1	56.0	43
44	75.0	61.5	58.1	66.0	86.8	22.2	74.3	45.9	40.2	61.6	44
45	6078.0	6264.8	6461.5	6669.1	6890.6	7126.2	7378.7	7650.6	7945.3	8267.2	45
46	81.2	67.9	64.8	73.2	94.4	30.3	83.1	55.3	50.5	72.8	46
47	84.2	71.1	68.2	76.7	6898.2	34.4	87.4	60.0	55.6	78.4	47
48	87.3	74.3	71.6	80.3	6902.0	38.5	91.8	64.8	60.7	84.1	48
49	90.3	77.5	75.0	83.9	6905.8	42.5	7396.2	69.5	65.9	89.7	49
50	6093.0	6280.7	6478.3	6687.5	6909.5	7146.6	7400.6	7674.4	7971.7	8295.4	50
51	96.4	83.9	81.7	91.1	13.5	50.7	05.0	79.0	76.2	8301.0	51
52	6099.4	87.1	85.1	94.7	17.3	54.8	09.4	83.7	81.4	06.7	52
53	6102.5	90.3	88.5	6686.3	21.1	58.9	13.8	88.5	80.6	12.4	53
54	6105.6	93.6	91.9	6701.9	25.0	63.0	18.2	93.3	91.8	18.1	54
55	6108.6	6296.8	6495.3	6705.5	6928.8	7167.1	7422.6	7698.0	7997.0	8323.8	55
56	11.6	6300.0	6498.7	6701.9	32.6	71.2	27.0	7702.8	8002.2	29.5	56
57	14.7	6303.2	6502.1	12.7	36.5	31.4	07.6	07.6	07.6	35.3	57
58	17.8	6306.4	6505.1	16.3	40.3	75.4	35.9	12.4	12.4	41.0	58
59	20.8	6309.6	6508.0	20.0	44.2	83.0	40.3	17.2	17.8	46.7	59
60	6123.9	6312.9	6512.4	6723.6	6948.1	7187.7	7444.7	7722.0	8023.1	8352.5	60

TABLE 6
Meridional Parts

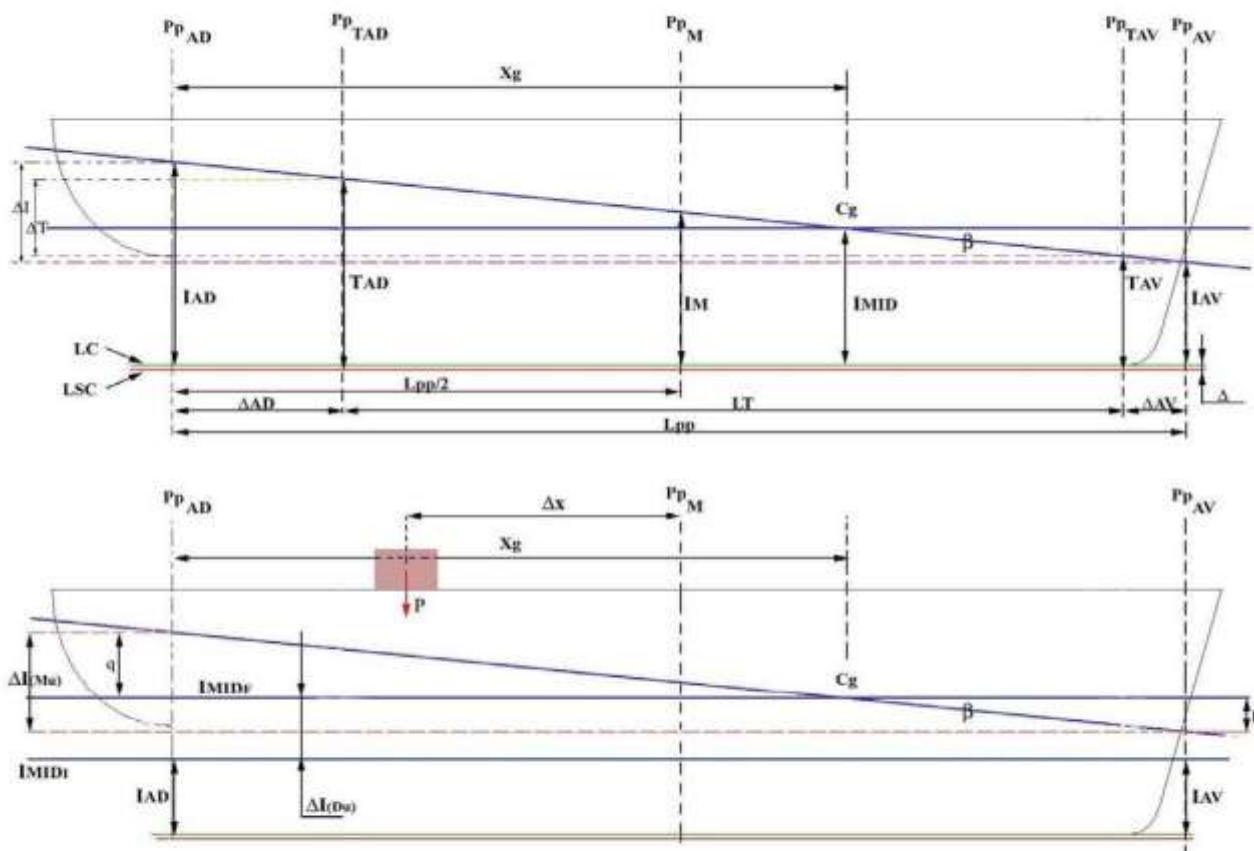
Lat.	60°	61°	62°	63°	64°	65°	66°	67°	68°	69°	Lat.
0	4507.4	4629.1	4754.6	4884.4	5018.7	5157.9	5302.4	5452.8	5609.4	5773.0	0
1	09.4	31.1	56.8	86.6	21.0	60.3	04.9	55.3	12.1	75.8	1
2	11.4	33.2	58.9	88.8	23.3	62.6	07.4	57.9	14.8	78.6	2
3	13.4	35.2	61.0	91.0	25.5	65.0	10.8	60.5	17.4	81.4	3
4	15.4	37.3	63.1	93.2	27.8	67.4	13.3	63.0	20.1	84.2	4
5	4517.4	4639.4	4765.3	4895.4	5030.1	5169.7	5314.7	5465.2	5622.8	5787.0	5
6	19.4	41.4	67.4	97.6	32.4	72.1	17.2	68.2	25.5	89.8	6
7	21.4	43.5	69.5	4899.8	34.7	74.5	19.7	70.7	28.2	92.6	7
8	23.4	45.6	71.7	4902.0	37.0	76.9	22.1	73.3	30.9	95.4	8
9	25.4	47.6	73.8	4904.2	39.3	79.2	24.6	75.9	33.5	98.2	9
10	4527.4	4649.7	4776.0	4906.5	5041.6	5181.6	5327.1	5478.4	5636.2	5801.0	10
11	29.4	51.8	78.1	108.7	43.8	84.0	29.6	81.0	38.9	103.8	11
12	31.4	53.9	80.2	10.9	46.1	86.4	32.0	83.6	41.6	106.6	12
13	33.4	55.9	82.4	13.1	48.4	88.8	34.5	86.2	44.3	109.5	13
14	35.5	58.0	84.5	15.3	50.7	91.1	37.0	88.7	47.0	112.3	14
15	4537.5	4660.1	4786.3	4917.5	5053.0	5193.5	5339.5	5491.3	5649.7	5815.1	15
16	39.5	62.2	88.8	19.8	55.3	95.9	42.0	93.9	52.4	117.9	16
17	41.5	64.2	91.0	22.0	57.6	98.3	44.4	96.5	55.1	120.7	17
18	43.5	66.3	93.1	24.2	59.9	5200.7	46.9	5499.1	57.8	123.6	18
19	45.5	68.4	95.3	26.4	62.2	60.1	49.4	5501.7	60.5	126.4	19
20	4547.5	4670.5	4797.4	4928.6	5064.5	5205.5	5351.9	5504.3	5663.2	5829.2	20
21	49.6	72.6	4799.6	30.9	66.8	107.9	54.4	106.9	65.9	32.1	21
22	51.6	74.6	4801.7	33.1	69.2	110.3	56.9	109.5	68.6	34.9	22
23	53.6	76.7	4803.8	35.3	71.5	112.7	59.4	112.1	71.3	37.7	23
24	55.6	78.8	4805.9	37.6	73.8	115.1	61.9	114.7	74.0	40.6	24
25	4557.6	4680.9	4808.2	4939.8	5076.7	5217.5	5364.4	5517.3	5676.7	5843.4	25
26	59.7	83.0	10.3	42.0	78.4	19.9	66.9	19.9	79.4	46.2	26
27	61.7	85.1	12.5	44.2	80.7	22.3	69.4	22.5	82.2	49.1	27
28	63.7	87.2	14.6	46.5	83.0	24.7	71.9	25.1	84.9	51.9	28
29	65.7	89.2	16.8	48.7	85.3	27.1	74.4	27.7	87.6	54.8	29
30	4567.8	4691.3	4819.0	4951.0	5087.7	5229.5	5376.9	5530.3	5690.3	5857.6	30
31	69.8	93.4	21.1	53.2	94.0	31.9	79.4	32.9	93.1	60.5	31
32	71.8	95.5	23.3	55.4	92.3	34.3	81.9	35.5	95.8	63.3	32
33	73.8	97.6	25.5	57.7	94.6	36.7	84.4	38.1	5988.5	66.2	33
34	75.9	4699.7	27.6	59.9	97.0	39.1	86.9	40.7	5701.2	69.1	34
35	4577.9	4701.8	4829.8	4962.2	5099.3	5241.6	5389.4	5543.3	5704.0	5871.9	35
36	79.9	103.9	32.0	64.4	101.6	44.0	91.9	46.0	106.7	74.8	36
37	82.0	106.0	34.1	66.7	103.9	46.4	94.4	48.6	109.5	77.7	37
38	84.0	108.1	36.3	68.9	106.3	48.8	97.0	51.2	112.2	80.5	38
39	86.1	110.2	38.5	71.2	108.6	51.2	5399.5	53.9	114.9	83.4	39
40	4588.1	4712.3	4840.7	4973.4	5110.9	5253.7	5402.0	5556.5	5717.7	5886.3	40
41	90.1	114.4	42.8	75.7	113.3	56.1	104.5	59.1	120.4	89.2	41
42	92.2	116.5	45.0	77.9	115.6	58.5	107.0	61.7	123.2	92.0	42
43	94.2	118.6									

TABLE 6
Meridional Parts

Lat.	80°	81°	82°	83°	84°	85°	86°	87°	88°	89°	Lat.
0	8352.5	8716.3	9122.6	9582.9	10113.9	10741.6	11509.3	12499.1	13893.4	16276.5	0
1	58.2	22.7	29.8	91.1	123.5	753.1	523.9	518.2	922.2	334.3	1
2	64.0	29.1	37.0	9599.4	133.1	764.7	538.3	537.5	951.2	393.0	2
3	69.8	35.5	44.2	9607.6	142.8	776.2	552.8	556.0	13980.4	452.8	3
4	75.6	41.9	51.5	15.9	152.4	787.8	567.3	576.4	14009.9	513.7	4
5	8381.4	8748.4	9158.7	9624.2	10162.1	10799.5	11515.9	12396.0	14039.7	16575.6	5
6	87.2	54.8	66.0	32.5	171.8	811.2	596.6	615.7	669.7	638.7	6
7	93.0	61.3	73.3	40.8	181.6	822.9	611.3	635.5	100.0	703.0	7
8	8398.9	67.8	80.6	49.2	191.3	834.7	626.1	655.4	130.6	768.5	8
9	8404.7	74.3	87.9	57.6	201.1	846.5	641.0	675.5	161.4	835.2	9
10	8410.5	8780.8	9195.2	9666.0	10211.0	10858.3	11655.9	12595.7	14192.6	16903.3	10
11	16.4	87.3	9202.6	74.4	220.8	870.2	670.9	715.9	224.0	16972.8	11
12	22.3	8793.8	09.9	82.8	230.7	882.1	686.0	736.4	255.6	17043.6	12
13	28.1	8800.4	17.3	91.3	240.6	894.1	701.1	756.9	287.6	116.0	13
14	34.0	06.9	24.7	9699.7	250.5	906.1	716.3	777.5	319.9	189.9	14
15	8439.9	8813.5	9232.1	9708.2	10260.5	10918.2	11731.5	12798.3	14332.5	17265.5	15
16	45.8	20.1	39.5	16.8	270.5	930.3	746.9	819.2	385.4	342.8	16
17	51.8	26.7	47.0	25.3	280.5	942.4	762.3	840.3	418.6	421.8	17
18	57.7	33.3	54.4	33.9	290.6	954.6	777.7	861.4	452.2	502.7	18
19	63.6	39.9	61.9	42.4	300.7	966.8	793.2	882.7	486.0	585.5	19
20	8468.6	8846.5	9289.4	9751.0	10310.8	10979.1	11808.8	12904.1	14520.3	17670.4	20
21	75.5	53.2	76.9	59.7	320.9	1099.4	824.5	925.7	554.8	757.5	21
22	81.5	59.8	84.4	68.3	331.1	11003.8	840.3	947.4	589.7	846.8	22
23	87.5	66.5	91.9	77.0	341.3	016.2	856.1	969.2	625.0	17938.4	23
24	93.5	73.2	9299.5	85.7	351.5	028.6	872.0	12991.2	660.6	18032.6	24
25	8489.5	8879.9	9307.0	9794.4	10361.8	11041.1	11887.9	13013.3	14696.0	18129.5	25
26	8505.5	86.6	14.6	9803.1	372.1	053.6	904.0	035.6	733.0	229.1	26
27	11.5	8893.3	22.2	11.9	382.4	066.2	920.1	058.0	768.8	331.8	27
28	17.5	8900.0	29.8	20.6	392.7	078.8	936.3	080.5	806.9	437.6	28
29	23.6	06.8	37.5	29.4	403.1	091.5	952.5	103.2	844.5	546.7	29
30	8529.6	8913.5	9345.1	9838.3	10413.6	11104.2	11968.9	13126.1	14882.5	18659.4	30
31	35.7	20.3	52.8	47.1	424.0	117.0	11985.3	149.1	920.9	776.0	31
32	41.8	27.1	60.5	56.0	434.5	129.8	12001.8	172.2	959.8	18896.6	32
33	47.9	33.9	68.2	64.9	445.0	142.7	018.4	195.6	14999.1	19021.6	33
34	54.0	40.7	75.9	73.8	455.5	155.6	035.0	219.0	15038.8	151.4	34
35	8560.1	8917.5	9383.7	9882.7	10466.1	11168.6	12051.8	13242.7	15079.0	19286.2	35
36	66.2	54.3	91.4	9891.7	476.7	181.6	098.6	266.5	119.7	426.5	36
37	72.3	61.2	9399.2	9900.6	487.4	194.6	085.5	290.4	160.9	572.9	37
38	78.4	68.1	9407.0	09.7	498.0	207.7	102.5	314.6	202.6	725.7	38
39	84.6	74.9	14.8	18.7	508.7	220.9	119.5	338.9	244.7	19885.6	39
40	8590.7	8981.9	9422.6	9927.7	10519.5	11234.1	12196.7	13363.3	15287.5	20053.3	40
41	8996.9	88.7	30.4	36.8	530.3	247.4	153.9	388.0	330.7	229.7	41
42	8603.1	8995.7	38.3	45.9	541.1	260.7	171.3	412.8	374.5	415.5	42
43	09.3	9002.6	46.2	55.0	551.9	274.0	188.7	437.8	418.9	612.0	43
44	15.5	09.5	54.1	64.2	562.8	287.5	206.2	463.0	463.0	20820.4	44
45	8621.7	9016.5	9462.0	9975.4	10573.7	11300.9	12233.8	13488.4	15509.3	21042.3	45
46	27.9	23.5	69.9	82.6	584.6	314.4	231.5	513.9	555.5	279.5	46
47	34.2	30.5	77.9	9991.8	595.6	328.0	259.2	539.7	602.3	534.2	47
48	40.4	37.5	85.8	10001.0	606.6	341.6	277.1	565.7	649.7	21809.4	48
49	46.7	44.5	9493.8	010.3	617.7	355.3	295.1	591.8	697.8	22108.5	49
50	8652.9	9051.2	9501.8	10019.6	10628.8	11369.1	12313.1	13618.2	15746.5	22436.2	50
51	59.2	58.6	09.9	028.9	639.9	382.8	331.3	644.7	796.0	22798.4	51
52	65.5	65.6	17.9	038.3	651.1	396.7	349.5	671.5	846.2	23203.3	52
53	71.8	72.7	26.0	047.6	662.3	410.6	367.9	698.4	897.1	23662.4	53
54	78.1	79.8	34.0	057.0	673.5	424.6	386.3	725.6	15948.8	24192.3	54
55	8684.5	9086.9	9642.1	10066.4	10684.8	11438.6	12404.8	13753.0	16001.3	24819.1	55
56	90.8	9094.0	50.3	075.9	696.1	452.6	423.5	780.6	054.6	25586.2	56
57	8697.2	9101.1	58.4	085.4	707.4	466.8	442.2	808.5	108.8	26375.1	57
58	8703.5	08.3	66.6	094.9	718.8	481.0	461.1	836.5	163.8	27969.8	58
59	09.9	15.4	74.7	10104.4	730.2	495.2	480.0	864.8	219.7	30351.6	59
60	8716.3	9122.6	9582.9	10113.9	10741.6	11509.5	12499.1	13893.4	16276.5	-----	60

FORMULARIO ESSENZIALE DI TEORIA DELLA NAVE

Glossario relativo ai parametri utilizzati nel presente formulario

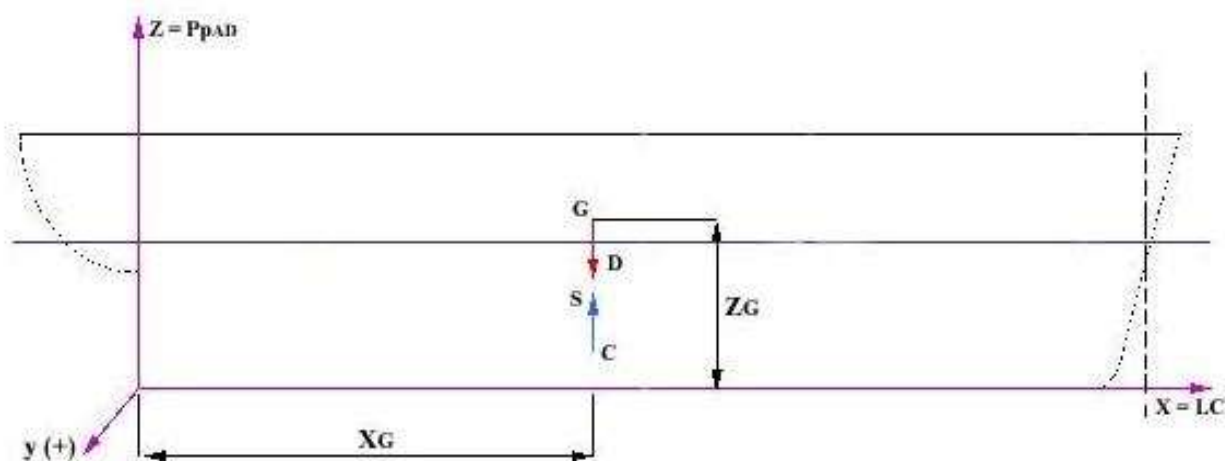


- α = angolo di inclinazione trasversale
- β = angolo di inclinazione longitudinale
- γ = peso specifico dell'acqua ($\sim 1,025t/m^3$)
- θ = angolo di svasamento dei fianchi
- ρ = metacentro differenziale
- Δ = distanza tra la linea di costruzione e la linea di sottochiglia
- Δ_{AD} = distanza tra la perpendicolare addietro e la perpendicolare relativa alla targa addietro
- Δ_{AV} = distanza tra la perpendicolare avanti e la perpendicolare relativa alla targa avanti
- ΔI = variazione dell'immersione
- ΔS = spostamento generico di un peso
- ΔT = variazione del pescaggio
- a = sopraelevazione del centro di gravità rispetto al centro di carena
- A_e = area della sezione maestra
- A_g = area della figura di galleggiamento
- B = larghezza della nave
- C = centro di carena (X_C, Y_C, Z_C)
- C = coefficiente di resistenza alle inclinazioni trasversali
- C_B = coefficiente di finezza totale di carena (block coefficient)
- C_g = centro di galleggiamento (X_g, Y_g, Z_g)
- C_s = centro di spinta
- C_{WP} = coefficiente di finezza della figura di galleggiamento
- C_X = coefficiente di finezza della sezione maestra
- C_z = centro di zona
- D = dislocamento
- D_p = dislocamento pesante
- D_U = dislocamento unitario
- D_v = dislocamento leggero o a vuoto
- G = centro di gravità (X_G, Y_G, Z_G)

FORMULARIO ESSENZIALE DI TEORIA DELLA NAVE

GG'	=	spostamento generico del centro di gravità
H	=	altezza del ponte principale
h	=	raggio pro-metacentrico
I_{AD}	=	immersione addietro
I_{AV}	=	immersione avanti
I_M	=	immersione al mezzo
I_m	=	immersione media
I_{MD}	=	immersione media isocarenica dritta
L	=	lunghezza della nave
l_b	=	lunghezza del pendolo nella prova di stabilità
L_{pp}	=	lunghezza tra le perpendicolari
LT	=	lunghezza tra le perpendicolari relative ai pescaggi
M	=	momento di stabilità statica
M_L	=	metacentro longitudinale
M_T	=	metacentro trasversale
M_U	=	momento unitario di assetto
P	=	portata
R	=	raggio metacentrico longitudinale (o grande raggio metacentrico)
r	=	raggio metacentrico trasversale (o piccolo raggio metacentrico)
s_b	=	scostamento del pendolo dalla posizione iniziale nel corso della prova di stabilità
T	=	periodo di rollio proprio
T_{AD}	=	targa (o pescaggio) addietro
T_{AV}	=	targa (o pescaggio) avanti
V	=	volume di carena
X_G	=	ascissa del centro di galleggiamento
Z_M	=	ordinata del metacentro trasversale

Si tenga presente che nell'attribuzione dei segni, nelle formule seguenti, si considererà la nave appoppata. Diversamente si lascerà l'incertezza del segno (\pm). Nell'applicazione delle formule occorrerà pertanto valutare opportunamente, caso per caso, le modifiche da apportare alle relazioni contenute nel presente formulario.



Dislocamento

$$D = V \gamma$$

Portata

$$P_{LORDA\ COMPLESSIVA} = D_P - D_V$$

Stazza

La stazza è una grandezza correlata con il volume interno della nave. In particolare, la stazza Lorda (volume degli spazi chiusi della nave; viene calcolata secondo le norme indicate nel regolamento preso in esame) e la stazza netta (esprime convenzionalmente il volume degli spazi destinati al carico ed ai passeggeri) consentono di calcolare i pedaggi, le tasse, le imposte, ecc. Da osservare infine che esistono anche altri tipi di stazza (per esempio: stazza Panama, stazza Suez, ecc.).

$$1 \text{ stazza} = 2,832 \text{ m}^3$$

FORMULARIO ESSENZIALE DI TEORIA DELLA NAVE

Quadratura di superfici piane

$$S_{\text{BEZOUT}} = \lambda[(y_0+y_n)/2 + y_1+y_2+ \dots + y_{n-2}+y_{n-1}]$$

$$S_{\text{SIMPSON}} = \lambda/3[y_0+4y_1+2y_2+ 4y_3+2y_4+ \dots +y_{2n}]$$

Rapporti tra le dimensioni

Grandezza	Range	Importanza
$\lambda = L/B$	5÷10	velocità, manovrabilità, stabilità, resistenza alla deriva
$\eta = I/B$	0,30÷0,50	stabilità, resistenza alla deriva
L/H	7÷14	resistenza longitudinale
H/B	0,55÷0,70	stabilità
I/H	0,55÷0,85	

Coefficienti di Finezza

Grandezza	Range Indicativo
$C_{wp} = A_g/L B$	0,70÷0,80
$C_B = V/(L B I)$	0,60÷0,70
$C_x = A_g/B I$	0,90÷0,98

Determinazione delle coordinate del centro di gravità a seguito di un imbarco (+) o sbarco (-) di un peso

$$X_G' = (DX_G \pm PX_P)/(D \pm P)$$

$$Y_G' = (DY_G \pm PY_P)/(D \pm P)$$

$$Z_G' = (DZ_G \pm PZ_P)/(D \pm P)$$

Determinazione delle coordinate del centro di gravità a seguito di uno spostamento di un peso

$$GG' = (P \Delta S)/D$$

Si osservi che il centro di gravità si sposta parallelamente e concordemente alla direzione dello spostamento. E' perciò indispensabile tenere conto di questo aspetto nella determinazione del segno finale della variazione di G determinata dallo spostamento del peso.

Lunghezza tra le perpendicolari relative alle scale dei pescaggi

$$L_T = L_{pp} - (\Delta_{AV} + \Delta_{AD})$$

Calcolo dell'angolo di inclinazione longitudinale

$$\text{tg}\beta = (I_{AD} - I_{AV})/L_{pp} = (T_{AD} - T_{AV})/L_T \quad \longrightarrow \beta$$

Si osservi che, se la nave è appoppata, l'angolo di inclinazione β risulta positivo; se invece la nave è appruata, allora l'angolo di inclinazione β risulta negativo.

Passaggio da targhe ad immersioni e viceversa

$$I_{AV} = T_{AV} - \Delta_{AV} \text{tg}\beta - \Delta$$

$$I_{AD} = T_{AD} + \Delta_{AD} \text{tg}\beta - \Delta$$

Il passaggio inverso risulta invece:

$$T_{AV} = I_{AV} + \Delta_{AV} \text{tg}\beta + \Delta$$

$$T_{AD} = I_{AD} - \Delta_{AD} \text{tg}\beta + \Delta$$

Determinazione dell'immersione media

$$I_m = (I_{AV} + I_{AD})/2$$

$$I_m = (I_{AV} + 4I_M + I_{AD})/6$$

$$I_m = (I_{AV} + 6I_M + I_{AD})/8$$

I valori di I_{AV} , I_{AD} , I_M sono a loro volta ottenuti come valori medi, dei rispettivi pescaggi, presi a dritta ed a sinistra. La prima relazione è quella da utilizzare se la nave non è deformata.

Se la nave non è deformata risulta anche:

FORMULARIO ESSENZIALE DI TEORIA DELLA NAVE

$$I_m = I_M$$

Determinazione dell'I_{MID}

$$I_{MID} = I_m + (L_{pp}/2 - X_g)tg\beta$$

In queste condizioni, sulla base di quanto rappresentato nella figura iniziale il termine tra parentesi $(L_{pp}/2 - X_g)$ risulta negativo e pertanto l' I_{MID} risulta inferiore all' I_m . Se il centro di galleggiamento si fosse trovato a poppavia della perpendicolare al mezzo, il termine tra parentesi sarebbe risultato positivo in quanto $L_{pp}/2 > X_g$ ed allora l' I_{MID} sarebbe risultato maggiore dell' I_m

Dislocamento Unitario e suo uso

$$D_U = A \gamma / 100$$

$$I_{MIDF} = I_{MID} \pm P/100D_U \quad (\Leftrightarrow P \leq 10D_U)$$

Variazione dell'immersione a seguito della variazione del peso specifico dell'acqua

$$\Delta I = (D/100 D_U)(\gamma_F - \gamma_i / \gamma_F)$$

Momento Unitario di assetto e suo uso

$$M_U = D R / 100 L_{pp}$$

$$\Delta I = p + q = P \Delta x / 100 M_U$$

$$p = X_g \Delta I / L_{pp} \quad q = (L_{pp} - X_g) \Delta I / L_{pp}$$

Determinazione dell'assetto longitudinale di una nave a seguito dell'imbarco (sbarco) di un peso da una posizione generica posta ad una distanza Δx dal centro di galleggiamento

$$I_{AV}' = I_{AV} \pm P/100D_U \pm [(L_{pp} - X_g)/L_{pp}](P \Delta X / 100 M_U)$$

$$I_{AD}' = I_{AD} \pm P/100D_U \pm [(X_g)/L_{pp}](P \Delta X / 100 M_U)$$

Si osservi che Δx è negativo se l'imbarco avviene a poppavia del centro di galleggiamento, altrimenti è da considerarsi positivo. Infatti in prima approssimazione, si può pensare che l'imbarco del peso sia stato effettuato inizialmente sulla perpendicolare passante per il centro di zona e solo successivamente il peso sia stato spostato nella posizione finale. Si può poi ipotizzare che il centro di zona coincida con il centro di galleggiamento intermedio (entro limiti molto ampi se $P < D/4$), il quale a sua volta non si discosta di molto dalla posizione del centro di galleggiamento iniziale, in considerazione del fatto che il peso imbarcato è di lieve entità ($P \leq 10D_U$). Infine l' M_U di riferimento è calcolato rispetto al galleggiamento iniziale.

Teorema del Bouguer (piccolo e grande raggio metacentrico)

$$r = I_x / V$$

$$R = I_y / V$$

Ordinata del metacentro trasversale

$$Z_M = Z_C + r$$

Metodo del Mengoli

$$h = r(1 + \frac{1}{2}tg^2\alpha)$$

Tale relazione è valida solo se la nave presenta i fianchi paralleli e limitatamente ai galleggiamenti che non vanno ad interessare i fianchi oppure il ginocchio.

Momento di Stabilità Statica Trasversale Iniziale

$$\mathcal{N}_\alpha^i = D (r-a) \text{sen}\alpha$$

$\alpha \leq 10^\circ + 12^\circ$ approssimazione metacentrica

Momento di Stabilità Statica Trasversale

$$\mathcal{N}_\alpha = D(h-a)\text{sen}\alpha \quad [\forall\alpha]$$

Determinazione dell'angolo di ingavonamento di una nave instabile nella posizione dritta

$$tg\alpha_i = (2|r-a|/r)^{1/2}$$

Stabilità Dinamica

$$L\alpha_o = D \int_0^{\alpha_o} (h-a) \text{sen}\alpha \, d\alpha$$

FORMULARIO ESSENZIALE DI TEORIA DELLA NAVE

$$L\alpha_0 = D (r-a) (1-\cos\alpha_0) \quad [\alpha \leq 10^\circ+12^\circ]$$

Momento di Stabilità Statica Longitudinale

$$\mathcal{M}_\beta = D (R-a) \sin\beta \approx DR \sin\beta \quad [R \gg a]$$

Coefficiente di resistenza alle inclinazioni trasversali

$$C = D(r-a)$$

Periodo di oscillazione proprio della nave

$$T = 2\pi (I_X / C)^{1/2}$$

Si osservi che se $T \leq 12+16s$ si dice che la nave è "dura"; se invece risulta che $T > 12+16s$ si dice che la nave è "cedevole".

Prova di stabilità

$$(r-a) = (P \Delta x) / (D \operatorname{tg}\alpha_s) \quad [\operatorname{tg}\alpha_s = s_h / l_h]$$

Metacentro differenziale

$$\rho_T = B/2 \operatorname{cotg}\theta$$

Riferimenti Bibliografici

- Rapacciuolo "Elementi di Teoria della Nave" Ed. Tipografia Moderna La Spezia
- Petronzi, Vecchia, Formisano "Teoria e tecnica delle navi" Ed. Vingiani, Napoli

INDICE

Simbologia	pag. 3
Costanti	pag. 4
Cap. 1 Unità di misura	pag. 5
Cap. 2: Richiami di trigonometria piana	pag. 9
Cap. 3: Richiami sulle coordinate geografiche	pag. 11
Cap. 4: Richiami di trigonometria sferica	pag. 13
Cap. 5: Sfera trigonometrica e triangolo sferico	pag. 18
Cap. 6 Formulario di navigazione	pag. 21
- Correzione e conversione delle prore bussola e girobussola	pag. 21
- Problemi delle correnti	pag. 23
- Costruzione delle carta di Mercatore	pag. 24
- Regresso elica e calcolo della velocità Take Home	pag. 25
- Trasformazione di rotte circolari, semicircolari e quadrantali	pag. 26
- Navigazione sull'equatore, sul meridiano e parallelo	pag. 27
- Lossodromia e intersezione di lossodromie	pag. 27
- Proprietà dell'ortodromia	pag. 29
- Ortodromia	pag. 30
- Spezzata lossodromica	pag. 31
- Navigazione composita o mista	pag. 32
Cap. 7: Astronomia nautica	pag. 33
- Formulario di astronomia nautica	pag. 33
- Calcoli don i tempi	pag. 35
- Calcoli di rette d'altezza	pag. 36
- Risoluzione ambiguità del cronometro	pag. 36
- Calcolo dell'angolo al polo	pag. 36
- Calcolo dell'altezza stimata, azimuth e differenza di altezza	pag. 37
- Calcolo del passaggio al meridiano di astri	pag. 37
- Punto nave con quattro rette d'altezza	pag. 38
- Punto nave con tre rette d'altezza	pag. 39
Cap. 8: Maree e Correnti di Marea	pag. 42
- I° metodo e	pag. 42
- II° metodo	pag. 43
- Metodo dei dodicesimi	pag. 44
- Simbolismo sulle Maree	pag. 45
- Correnti di marea	pag. 46

Cap. 9: Satelliti artificiali	pag. 47
- Satelliti geostazionari e orientamento antenna	pag. 48
- Area di acquisizione	pag. 50
Tavole portate luminose	pag. 53
Tavole latitudine crescente	pag. 54
Cap. 10 Formulario essenziale di Teoria della Nave	pag. 58
Indice	pag. 63