

CARTA NAUTICA

Generalità

La carta geografica non è altro che il tentativo fatto dall'uomo di rappresentare in modo perfetto su di un piano una parte della superficie terrestre.

Abbiamo detto tentativo in quanto è evidente quanto sia impossibile poter rappresentare su di un piano, una superficie convessa come quella di una sfera senza ottenere delle deformazioni.

E' facile rendersi conto di questa difficoltà tagliando in due una palla di gomma e cercando di distenderla su di un piano senza ottenere ondulazioni o rigonfiamenti. Perciò anche attuando tutti i tipi di proiezione possibili gli errori permangono.

Soltanto con alcuni accorgimenti matematici i valori di essi sono stati ridotti ad un livello accettabile.

Le proiezioni hanno la funzione di rappresentare la superficie della Terra o di una sua porzione sopra una superficie piana. Da questo processo risultano inevitabili delle distorsioni nella distanza, negli angoli, nella scala, nell'area delle superfici rappresentate.

I cartografi pertanto utilizzano proiezioni in grado di minimizzare le distorsioni in alcune di queste proprietà con il risultato di massimizzare l'errore in altre. La scelta del tipo di proiezione dipende dall'uso a cui la carta è destinata.

Gli errori o le deformazioni più comuni nelle proiezioni delle carte geografiche in ordine di importanza sono:

- 1) Angolare o errori d'isogonismo, cioè alterazioni degli angoli;
- 2) Lineare o errori d'equidistanza cioè alterazioni delle lunghezze;
- 3) Superficiale o errori d'equivalenza ovvero alterazioni delle superfici.

Una carta geografica si dice isogona quando rimane costante il valore degli angoli misurati sulla carta geografica con quelli corrispondenti sulla superficie terrestre. Questa caratteristica o proprietà, è molto importante nella navigazione perché permette la misura diretta degli angoli sulla carta stessa. Una carta priva della deformazione angolare costituisce il punto di partenza per ottenere una carta nautica degna di tale nome. In navigazione, infatti, è necessario infatti tracciare rotte, rilevamenti, luoghi di posizione che, generalmente sono riferiti a misure angolari. Ovviamente non tutte le carte, come vedremo, godono di questa particolare proprietà.

Una carta si dice equidistante quando rimane costante il rapporto (in scala) delle distanze misurate sulla carta e quelle misurate sulla superficie terrestre.

Una carta si dice equivalente quando rimane costante il rapporto tra le superfici o aree misurate sulla carta e quelle corrispondenti misurate sulla superficie terrestre. Quest'ultima proprietà ai fini della navigazione non ha alcun interesse pratico.

Quando una carta geografica non ha alcuna delle predette proprietà si dice alifatica.

Poiché nessuna carta può possedere contemporaneamente le tre caratteristiche introdotte, quando si deve realizzare una carta, si sceglie il tipo di rappresentazione più idoneo all'uso che se ne farà.

E' pertanto possibile classificare le carte in base al tipo di proiezione utilizzata per crearla e in base al tipo di rappresentazione ottenuta.

In navigazione vengono utilizzate le carte nautiche o marine. Esse costituiscono particolari carte geografiche sulle quali il navigante segna la posizione della nave e risolve la maggior parte dei problemi della navigazione. In generale la carta nautica è una rappresentazione piana della superficie sferica (o ellissoidica) della Terra.

Le proiezioni geografiche si dividono in tre classi generali: proiezioni vere, proiezioni modificate e proiezioni convenzionali.

Le proiezioni modificate si ottengono a partire dalle proiezioni vere nelle quali si operano delle modifiche allo scopo di correggere le naturali distorsioni. Le proiezioni convenzionali sono carte realizzate esclusivamente sulla base di relazioni matematiche

Proiezioni

Una proiezione geografica può essere definita in base al punto di vista, o centro di proiezione ed allora definisce una proiezione prospettica, oppure in base alla superficie sulla quale può essere proiettata la superficie terrestre. Si parla allora di proiezione da sviluppo.

PROIEZIONI PROSPETTICHE

Queste carte si ottengono immaginando di proiettare su un piano, i punti della Terra, a partire da un "centro di vista" (CV).

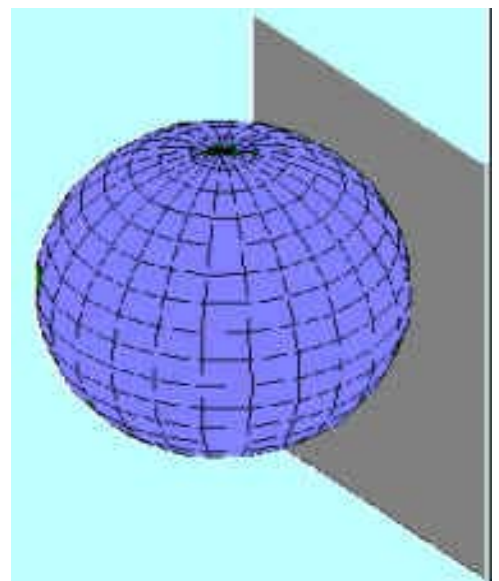
Si distinguono in:

- Ortografica quando il punto di vista si trova in un punto posto all'infinito.
- Stereografica il punto di vista si trova ad una certa distanza (conosciuta) dalla superficie terrestre.
- Gnomonica o Centografica quando l'occhio dell'osservatore, che determina il punto di vista o centro di proiezione, si trova al centro della sfera terrestre.

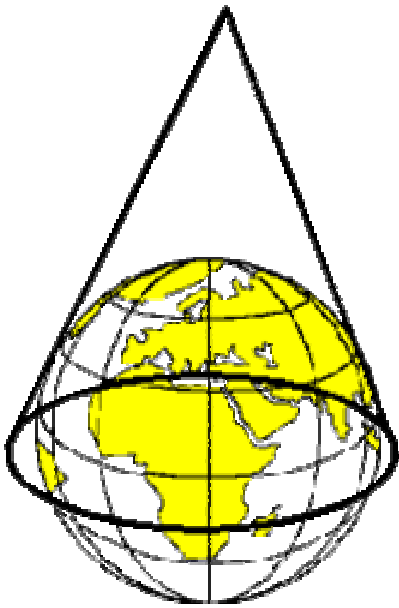
PROIEZIONI PER SVILUPPO

In questo caso si immagina di avvolgere la superficie della Terra con lo schermo, solitamente un cilindro oppure un cono. Si parla allora di proiezioni cilindriche o coniche. Il CV si trova invece al centro della Terra.

Le proiezioni cilindriche si ottengono proiettando la superficie sferica della Terra sopra un cilindro. Il cilindro può essere tangente alla sfera lungo un circolo massimo (con il centro nel centro della Terra) oppure secante alla sfera lungo due circoli



CARTA NAUTICA



minori (paralleli).

Quando il cilindro sul quale la sfera viene proiettata forma un angolo retto ai poli, il cilindro e la proiezione risultante sono *trasversi*. Quando il cilindro forma un angolo non retto rispetto ai poli, il cilindro e la risultante proiezione sono *obliqui*.

Le proiezioni cilindriche producono carte che hanno meridiani e paralleli dritti, i meridiani sono distanziati in modo uguale mentre i paralleli, pur restando paralleli fra loro, diventano più ravvicinati al diminuire della latitudine.

Queste proiezioni riproducono fedelmente le zone prossime al punto di tangenza (sono equivalenti ed equidistanti); a latitudini elevate introducono deformazioni estreme.

Per rappresentare aree geografiche anche vaste, ma limitate a parte di un emisfero, rispettando le superfici e le distanze, si può ricorrere a proiezioni coniche. Si ottengono proiettando una superficie sferica sopra un cono. Se il cono è tangente alla sfera il contatto avviene lungo un cerchio massimo. Se il cono è secante la sfera, esso la tocca lungo due linee, una di queste è un cerchio massimo, l'altra è un cerchio minore.

Nelle proiezioni coniche i paralleli sono rappresentati con archi di circonferenza mentre i meridiani sono rappresentati con linee rette. Le carte ottenute con proiezioni coniche sono equidistanti

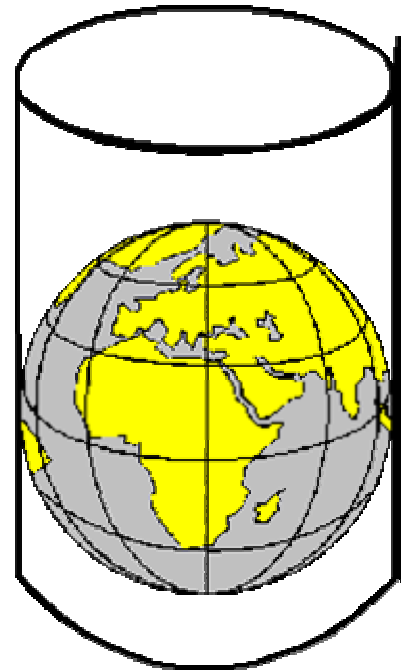
solo per le aree prossime al punto di tangenza.

Le carte per sviluppo cilindrico sono la carta di Mercatore e la carta di Khan.

La carta di Mercatore è una delle più importanti della navigazione e prende il nome da geografo fiammingo Gerardo Mercatore.

Le proprietà nautiche che definiscono questa carta sono: proiezione centrografica, per sviluppo cilindrico, modificata, isogona o conforme, parallela o diretta, tangente all'equatore o secante due paralleli.

La carta di Khan prende invece il nome dal fisico francese Khan, non è altro che una carta di Mercatore, la quale, invece di essere parallela o diretta cioè con l'asse del cilindro coincidente con l'asse della sfera ha l'asse del cilindro in posizione angolata od obliqua. Il punto di tangenza non sarà più pertanto il cerchio massimo dell'equatore, ma qualsiasi altro sul quale si trovano i due punti o località quali estremi della rotta da proiettare.



Rappresentazioni

ISOGONE se gli angoli sulla Terra sono uguali agli angoli sulla carta; ciò, per esempio, mi consente di riportare sulla carta i rilevamenti misurati con l'apparecchio azimutale.

EQUIVALENTI se le superfici sulla carta sono proporzionali a quelle reali, sulla Terra.

EQUIDISTANTI: se riproduce fedelmente le distanze dal centro della proiezione a qualsiasi altro punto.

Proiezione Cilindrico Centrale

Come abbiamo già accennato, si immagina di avvolgere la Terra con un cilindro, tangente all'equatore e di proiettare su quest'ultimo i punti della Terra a partire dal CV posto al centro della Terra.

A seconda che il punto di tangenza di tale cilindro con la Terra sia l'equatore, o un meridiano, si parla di proiezione equatoriale o meridiana. Nel primo caso non sarà possibile la rappresentazione dei poli.

Una volta ultimata la proiezione, svolgendo il cilindro, si ottiene la rappresentazione.

In questa carta i paralleli sono rappresentati da rette orizzontali parallele fra loro,

non uniformemente distribuite: In particolare, risultano tanto più distanti quanto più aumenta la latitudine.

I meridiani sono invece rappresentati da rette verticali, ortogonali ai paralleli ed uniformemente distribuite.

Verifichiamo, in ogni caso, che questa carta non è isogona.

Si tratta in sostanza di verificare che gli angoli sulla carta non sono eguali, a parità di condizioni, a quelli sulla Terra.

Per procedere abbiamo bisogno di considerare un triangolo infinitesimo sulla Terra e la corrispondente proiezione sulla carta. Un triangolo infinitesimo è un

CARTA NAUTICA

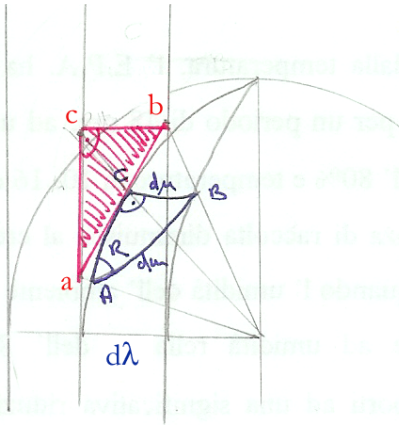
triangolo di dimensioni infinitamente piccole.

Se tale triangolo rappresenta un tratto infinitesimo di traversata, ecco che la presenza dell'isogonismo sarà verificata se risulterà vera la seguente relazione:

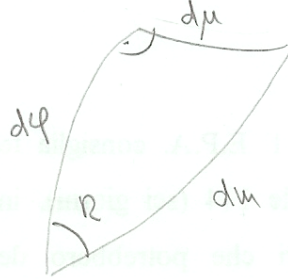
$$R = R^*$$

dove R rappresenta una rotta sulla Terra, mentre R* rappresenta una rotta tracciata sulla carta.

Si ottiene perciò:



Triangolo Infinitesimo sulla Terra



Triangolo Infinitesimo sulla Carta



$$d\mu = d\lambda \cos\varphi$$

$$\text{tg } R = d\mu / d\varphi$$

$$\text{tg } R^* = ???$$

Nel caso rappresentato sarà sufficiente verificare che:

$$\text{tg } R = \text{tg } R^*$$

Poiché sulla Terra risulta che:

$$m = \Delta\lambda \cos\varphi$$

cioè i meridiani convergono verso i poli, mentre sulla carta la distanza tra i meridiani si mantiene costante, ciò vuol dire che la carta introduce un effetto di dilatazione. E' possibile dimostrare che tale deformazione è compatibile con la seguente relazione:

$$d\mu^* \rightarrow d\mu \sec\varphi \equiv \text{ARCO DI PARALLELO SUL CILINDRO}$$

Similmente, per gli archi di meridiano, è possibile dimostrare che:

$$d\varphi^* \rightarrow d\varphi \sec^2\varphi \equiv \text{ARCO DI MERIDIANO SUL CILINDRO}$$

come si può osservare ho una dilatazione quadratica della secante.

A questo punto risulta facile calcolare:

$$\text{tg } R^* = d\mu \sec\varphi / d\varphi \sec^2\varphi = (d\mu/d\varphi) \cos\varphi$$

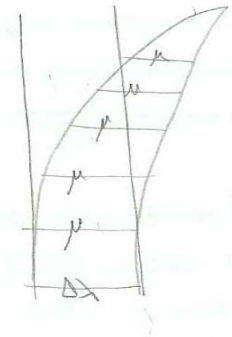
da cui risulta che:

$$\text{tg } R^* = \text{tg } R \cos\varphi$$

$$\downarrow$$

$$\boxed{R^* \neq R}$$

che dimostra che la carta non è isogona.



Proiezione Cilindrico Centrale Conforme (Carte di Mercatore)

Questo tipo di proiezione soddisfa le maggiori esigenze della navigazione. Il suo isogonismo permette di tracciare le rotte lossodromiche per mezzo di linee rette che intersecano i meridiani con angoli costanti.

Gerard Kramer, detto Mercatore, era un geografo fiammingo (1512-1594), la sua è la proiezione dell'ellissoide terrestre su di un piano e avviene supponendo di avvolgere la terra con un cilindro tangente all'equatore e l'asse coincidente con quello terrestre.

Dal centro della terra si proiettano i punti della sua superficie all'interno del cilindro. Nella proiezione i meridiani, che sulla sfera convergono ai poli, sul cilindro risultano come linee verticali equidistanti e, quindi, parallele tra loro, e ortogonali all'equatore. La Rappresentazione di Mercatore è detta Cilindrico Centrale, o Cilindrico Isogonica.

L'Equatore è rappresentato da una retta orizzontale, mentre i paralleli da rette parallele all'Equatore non equidistanti tra loro. Già questo aspetto denota l'assenza dell'isogonismo.

Aperto il cilindro verticalmente e disteso, esso si rappresenta come un reticolo formato da rette parallele verticali equidistanti tra loro, i meridiani, la cui scala rimane invariata, mentre una retta mediana, ortogonale ai meridiani, rappresenta l'equatore. A nord e a sud dell'Equatore vi sono le rette rappresentanti i paralleli ma la loro scala varia con l'aumentare della latitudine, verso Nord e verso Sud. Per questo fatto la Rappresentazione di Mercatore è detta anche Carta delle Latitudini Crescenti.

Questa proiezione è usata per la navigazione marittima perché tutte le linee rette tracciate sulla carta intersecano meridiani e paralleli con lo stesso angolo esistente nella realtà. Le navi non seguono di solito il cammino più breve (linea ortodromica), che sarebbe un arco di cerchio, ma mantengono sempre la stessa direzione indicata dalla bussola, cioè seguono una linea che

CARTA NAUTICA

taglia tutti i meridiani con lo stesso angolo perché così conservano la stessa direzione rispetto ai punti cardinali: questa linea è detta lossodromia.

Per i percorsi lunghi si preferisce seguire la distanza minore, spezzando però la linea ortodromica in tratte minori, ciascuna delle quali è una lossodromica.

Sulla carta di Mercatore una rotta lossodromica è quindi rappresentata da una retta che interseca i meridiani con un angolo costante, grazie all'isogonismo della rappresentazione.

Per latitudini superiori a 60°-70° Nord o Sud la Rappresentazione di Mercatore non è indicata, inoltre, come facilmente deducibile, con essa non è possibile rappresentare le zone polari, in quanto la loro proiezione dal centro della terra fuoriesce dal cilindro. Per queste zone si utilizzano le Proiezioni Gnomoniche.

Infatti via via che ci spostiamo dall'equatore ai poli, le aree geografiche risultano proporzionalmente più grandi. I

rappporti di grandezza tra le aree geografiche sono di conseguenza falsati: l'America del Nord, l'Europa e l'Asia sovrastano l'Africa, l'America del Sud e l'Australia, mentre l'Antartide sembra un continente gigantesco.

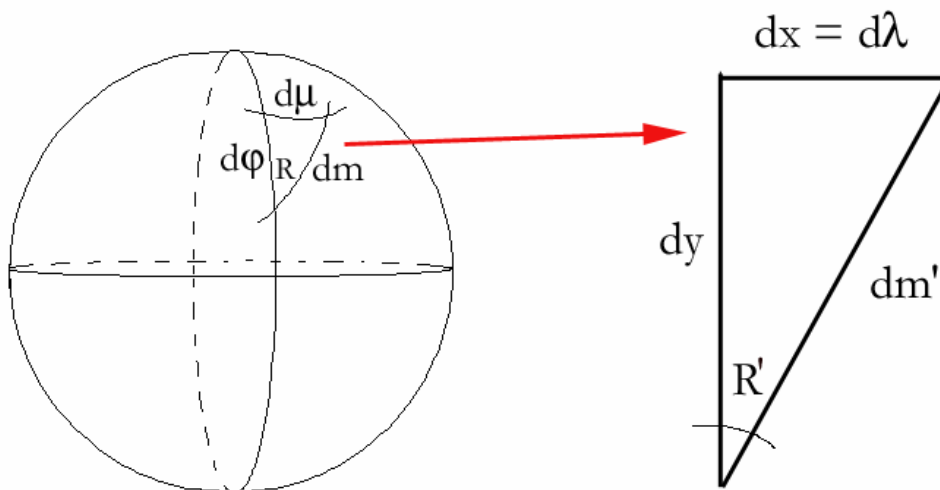
Sulla scala delle latitudini, nelle Rappresentazioni di Mercatore, i primi di grado di latitudine rappresentano anche la misura del miglio marino, tale misura risente dell'aumento di distanza da un parallelo all'altro dovuto alla proiezione, quindi nella misurazione di una distanza sulla carta nautica si utilizza quella parte di scala delle φ a cavallo della zona da misurare.

Sulle carte di Mercatore i contorni delle terre sono deformati e così le loro dimensioni, le deformazioni aumentano con l'aumentare della latitudine.

La scala di una carta di Mercatore è quella corrispondente al parallelo medio della carta ed è indicato nei Titoli della carta stessa.

Le considerazioni fin qui fatte non mettono però in luce alcuna differenza rispetto alla proiezione cilindrico centrale illustrata in precedenza. In effetti questa carta diventa isogona solo grazie all'imposizione di una condizione aggiuntiva sulla caratterizzazione dei triangoli infinitesimi.

Si tratta infatti di imporre la similitudine tra triangolo infinitesimo sulla Terra e triangolo infinitesimo sulla carta. La situazione di partenza è analoga al caso precedente:



Se i triangoli sono simili allora i lati devono essere proporzionali fra loro. Si può perciò scrivere che:

$$dx/d\mu = dy/d\varphi = dm'/dm = \text{costante}$$

Si tratta perciò di determinare il valore della costante e, a tal proposito, è sufficiente considerare la seguente relazione:

$$dx/d\mu = d\lambda/d\lambda \cos\varphi = \sec\varphi$$

Se ne ricava cioè che la costante vale esattamente $\sec\varphi$.

A questo punto sono vere le tre relazioni:

$$dx = d\mu \sec\varphi$$

CARTA NAUTICA

$$dy = d\varphi \sec\varphi$$

$$dm' = dm \sec\varphi$$

Risulta infine che:

$$tgR' = d\lambda/dy = d\mu \sec\varphi / d\varphi \sec\varphi = tgR$$

$$\downarrow$$

$$tgR' = tgR$$

$$\downarrow$$

$$R' = R$$

Che verifica l'esistenza dell'isogonismo.

A questo punto non resta che passare da notazioni infinitesime a notazioni finite. Si procede nel seguente modo:

Terra

$$\varphi = \sum d\varphi$$

Carta Nautica

$$y = \sum dy$$

$$y = \sum d\varphi \sec\varphi$$

$$\downarrow$$

$$\varphi_c$$

$$\downarrow$$

φ crescente
(latitudini crescenti)



...se per esempio $\varphi = 60^\circ$ si ha che la sommatoria si esplicita nel seguente modo:

$$= 1' \sec 0 + 1' \sec 1' + 1' \sec 2' + \dots + 1' \sec 59' 59''$$

Si osservi che per come è definite la $\varphi_c = 0$ per $\varphi = 0^\circ$, mentre $\varphi_c = \text{indeterminata}$ per $\varphi = 90^\circ$, come conseguenza del fatto che:

$$\sec 90^\circ = 1/\cos 90^\circ = 1/0 = \infty$$

I valori delle latitudini crescenti sono riportati nelle tavole nautiche (Tavola 4 v. dopo).

In definitiva le relazioni di corrispondenza tra carta e Terra, saranno:

$$\begin{cases} x \rightarrow \lambda \\ y \rightarrow \varphi_c \end{cases}$$

Appare chiaro, a questo punto che l'arco di meridiano compreso tra due paralleli di latitudine j e j' , ovvero l'arco:

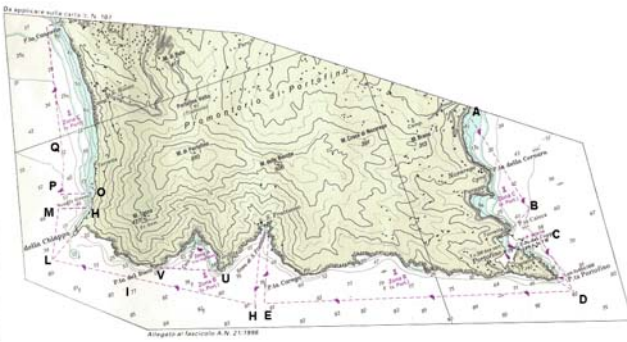
$$\Delta\varphi = \varphi' - \varphi$$

Sarà rappresentato sulla carta dal segmento:

$$\Delta\varphi_c = \varphi'_c - \varphi_c$$

Proiezione universale trasversa di Mercatore (UTM)

Si tratta di una modifica alla precedente proiezione di Mercatore in quanto l'asse terrestre non coincide con quello del cilindro ma è perpendicolare. In questo caso il cilindro è tangente a un meridiano, detto meridiano centrale (cioè quello che cade a metà della proiezione). L'attendibilità della riproduzione interessa solamente una zona riprodotta che non superi i 6° a Est o Ovest del meridiano centrale, fuori di questa zona le deformazioni sarebbero intollerabili.



Modulo della Carta

Il modulo della carta (U_{mm}) esprime l'unità di misura della carta, espressa in millimetri, cui corrisponde $1'$ di $\Delta\lambda$.

Sono possibili due situazioni:

1. E' noto U_{mm} , devo rappresentare una certa zona, voglio conoscere le dimensioni del foglio su cui devo rappresentare l'area. Si ha allora che:

$$\begin{cases} L = \Delta\lambda \cdot U_{mm} \\ H = \Delta\varphi_c \cdot U_{mm} \end{cases}$$

2. Viceversa, ho a disposizione un foglio di dimensioni $L \times H$ su cui devo rappresentare una certa zona. Mi si chiede di ricavare il valore di U_{mm} più appropriato. Procedendo in analogia al caso precedente, posso facilmente ricavare che:

$$\begin{cases} U1_{mm} = L/\Delta\lambda \\ U2_{mm} = H/\Delta\varphi_c \end{cases}$$

Poiché in generale risulterà che:

$$U1_{mm} \neq U2_{mm}$$

CARTA NAUTICA

ecco che la scelta del modulo della carta da adottare sarà quello più piccolo arrotondato per difetto, in modo da avere la certezza di riuscire a

ESEMPLI

1. Dovendo rappresentare una zona compresa fra 10°E e 20°E di longitudine, tra $\varphi = 40^{\circ}26'N$ e $\varphi = 47^{\circ}37'N$ con modulo $U_{mm} = 1,5$, calcolare le dimensioni del foglio in mm.
2. Disponendo di un foglio di dimensione $L = 1200mm$ $H = 900mm$ determinare il valore del modulo della carta che meglio consente di rappresentare l'area compresa fra 56°E e 66°E di longitudine, tra $\varphi = 41^{\circ}27'N$ e $\varphi = 48^{\circ}32'N$.

Scala della Carta

La scala della carta esprime il rapporto tra l'unità di misura della carta e la corrispondente unità di misura sulla Terra, perciò resta definita a partire dalla Scala Equatoriale:

$$S_{eq} = U_{mm}/1.852.000mm$$

$$S_{eq} = 1/1.852.000/ U_{mm}$$

Riferita ad una latitudine generica essa risulta pari a:

$$S_{\varphi} = S_{eq} \sec \varphi$$

perciò risulta che:

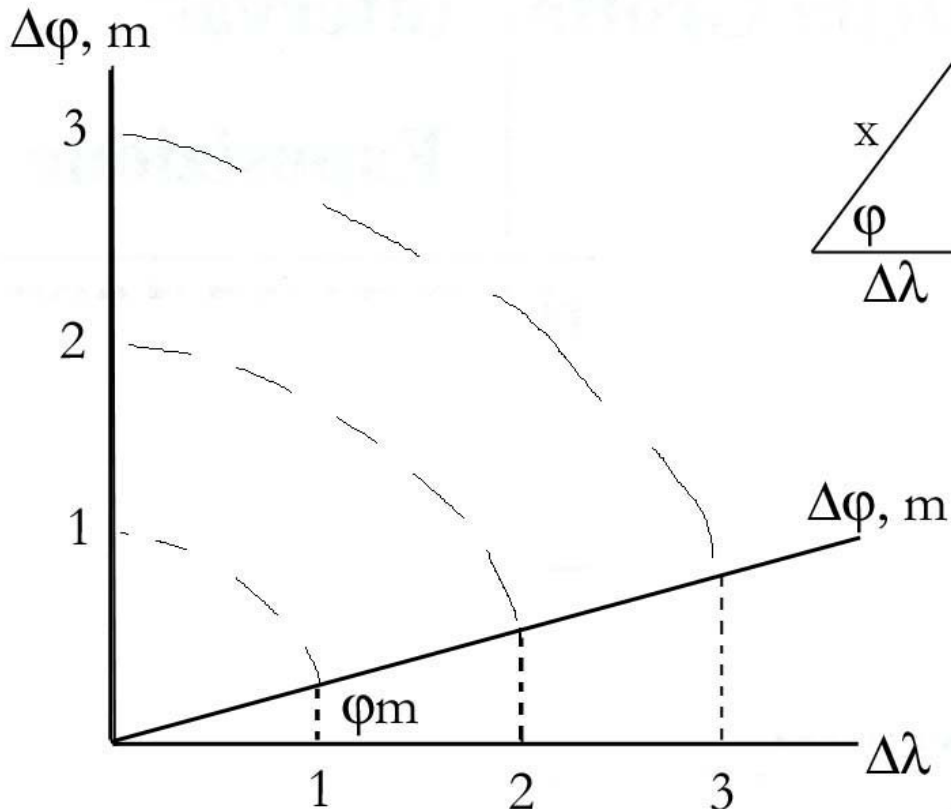
$$S_{\varphi} = (1/1.852.000/ U_{mm}) \sec \varphi$$

Nelle carte nautiche le scale maggiormente utilizzate sono le seguenti:

- Piani Nautici $1/5000 < S_{\varphi} < 1/50.000$
- Carte Particolari $1/100.000 < S_{\varphi} < 1/250.000 \div 1/500.000$
- Carte Generali $S_{\varphi} > 1/500.000$

I piani nautici sono carte dettagliate utilizzate per rappresentare passaggi stretti e porti. Le carte particolari vengono utilizzate per la navigazione costiera

Costruzione della Carta su foglio quadrettato



La costruzione può aver luogo solo se $\Delta\varphi < 2^{\circ}$. Si tenga inoltre in considerazione il fatto che:

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= x \cos\varphi \\ \downarrow \\ x &= \Delta\lambda / \cos\varphi \\ \downarrow \\ x &= \Delta\lambda \sec\varphi \end{aligned}$$

CARTA NAUTICA

Navigazione Lossodromica

1] problemi della lossodromia:

$$(Pp, Pa) \rightarrow R, m$$

$$Pp, R, m \rightarrow Pa$$

2]Relazioni della lossodromia:

$$\Delta\varphi = m \cos R$$

$$\mu = m \sin R$$

$$\mu = \Delta\lambda \cos\varphi_m \quad (\text{approssimato, se } \Delta\varphi \leq 2^\circ, \text{ oppure } m < 300 \text{ miglia})$$

$$\operatorname{tg} R = \mu / \Delta\varphi \quad (\text{approssimato, se } \Delta\varphi \leq 2^\circ, \text{ oppure } m < 300 \text{ miglia})$$

$$\Delta\lambda = \Delta\varphi_c \operatorname{tg} R$$

$$\mu = (\Delta\varphi^2 + \mu^2)^{1/2}$$

Attraverso l'uso di queste relazioni è possibile risolvere i due problemi della lossodromia. Si noti che le relazioni approssimate vanno utilizzate solo se $\Delta\varphi \leq 2^\circ$, oppure se il cammino $m < 300$ miglia.

Riferimenti Bibliografici

- Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- Istituto Idrografico della Marina "Tavole Nautiche"
- Nicoli "Navigazione Tradizionale" Ed. Quaderni marinari
- Rizzo "Navigazione di Base" Ed. Ferrari
- <http://spazioweb.inwind.it/gpscienze/Terra/Pianeta/indicepianeta.htm>
- <http://www.nauticoartiglio.lu.it>
- <http://www.iaso.net/website/default.asp>
- <http://www.carbonaio.it>

CARTA NAUTICA

Estratto dalla Tavola 4 delle Latitudini Crescenti

Esempio: la latitudine crescente per $j = 45^\circ 33'N$ (il segno è ininfluente) corrisponde a: 3060,3'N.

TAVOLA 4

| LATITUDINI CRESCENTI per l'ellissoide internazionale | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| ' | 20° | 21° | 22° | 23° | 24° | 25° | 26° | 27° | 28° | 29° | ' |
| 0 | 1217.2 | 1280.9 | 1345.0 | 1409.6 | 1474.7 | 1540.2 | 1606.3 | 1673.0 | 1740.3 | 1808.2 | 0 |
| 1 | 18.3 | 82.0 | 46.1 | 10.7 | 75.7 | 41.3 | 07.4 | 74.1 | 41.4 | 09.4 | 1 |
| 2 | 19.3 | 83.0 | 47.2 | 11.8 | 76.8 | 42.4 | 08.6 | 75.3 | 42.6 | 10.5 | 2 |
| 3 | 20.4 | 84.1 | 48.2 | 12.8 | 77.9 | 43.5 | 09.7 | 76.4 | 43.7 | 11.6 | 3 |
| 4 | 21.5 | 85.2 | 49.3 | 13.9 | 79.0 | 44.6 | 10.8 | 77.5 | 44.8 | 12.8 | 4 |
| 5 | 1222.5 | 1286.2 | 1350.4 | 1415.0 | 1480.1 | 1545.7 | 1611.9 | 1678.6 | 1745.9 | 1813.9 | 5 |
| 6 | 23.6 | 87.3 | 51.5 | 16.1 | 81.2 | 46.8 | 13.0 | 79.7 | 47.1 | 15.1 | 6 |
| 7 | 24.6 | 88.4 | 52.5 | 17.2 | 82.3 | 47.9 | 14.1 | 80.8 | 48.2 | 16.2 | 7 |
| 8 | 25.7 | 89.4 | 53.6 | 18.2 | 83.4 | 49.0 | 15.2 | 82.0 | 49.3 | 17.3 | 8 |
| 9 | 26.8 | 90.5 | 54.7 | 19.3 | 84.5 | 50.1 | 16.3 | 83.1 | 50.5 | 18.5 | 9 |
| 10 | 1227.8 | 1291.6 | 1355.8 | 1420.4 | 1485.5 | 1551.2 | 1617.4 | 1684.2 | 1751.6 | 1819.6 | 10 |
| 11 | 28.9 | 92.6 | 56.8 | 21.5 | 86.6 | 52.3 | 18.5 | 85.3 | 52.7 | 20.8 | 11 |
| 12 | 29.9 | 93.7 | 57.9 | 22.6 | 87.7 | 53.4 | 19.6 | 86.4 | 53.8 | 21.9 | 12 |
| 13 | 31.0 | 94.8 | 59.0 | 23.7 | 88.8 | 54.5 | 20.7 | 87.5 | 55.0 | 23.0 | 13 |
| 14 | 32.1 | 95.8 | 60.0 | 24.7 | 89.9 | 55.6 | 21.8 | 88.7 | 56.1 | 24.2 | 14 |
| 15 | 1233.1 | 1296.9 | 1361.1 | 1425.8 | 1491.0 | 1556.7 | 1623.0 | 1689.3 | 1757.2 | 1825.3 | 15 |
| 16 | 34.2 | 98.0 | 62.2 | 26.9 | 92.1 | 57.8 | 24.1 | 90.9 | 58.4 | 26.5 | 16 |
| 17 | 35.2 | 99.0 | 63.3 | 28.0 | 93.2 | 58.9 | 25.2 | 92.0 | 59.5 | 27.6 | 17 |
| 18 | 36.3 | 100.1 | 64.3 | 29.1 | 94.3 | 60.0 | 26.3 | 93.1 | 60.6 | 28.7 | 18 |
| 19 | 37.4 | 01.2 | 65.4 | 30.1 | 95.4 | 61.1 | 27.4 | 94.3 | 61.7 | 29.9 | 19 |

| ' | 40° | 41° | 42° | 43° | 44° | 45° | 46° | 47° | 48° | 49° | ' |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 25 | 2640.4 | 2719.5 | 2799.9 | 2881.5 | 2964.5 | 3048.9 | 3134.9 | 3222.5 | 3311.7 | 3402.8 | 25 |
| 26 | 41.7 | 20.9 | 2801.2 | 82.9 | 65.9 | 50.4 | 36.4 | 24.0 | 13.2 | 04.3 | 26 |
| 27 | 43.0 | 22.2 | 02.6 | 84.2 | 67.3 | 51.8 | 37.8 | 25.4 | 14.7 | 05.8 | 27 |
| 28 | 44.4 | 23.5 | 03.9 | 85.6 | 68.7 | 53.2 | 39.3 | 26.9 | 16.2 | 07.4 | 28 |
| 29 | 45.7 | 24.8 | 05.3 | 87.0 | 70.1 | 54.6 | 40.7 | 28.4 | 17.7 | 08.9 | 29 |
| 30 | 2647.0 | 2726.2 | 2806.6 | 2888.4 | 2971.5 | 3056.1 | 3142.1 | 3229.9 | 3319.3 | 3410.4 | 30 |
| 31 | 48.3 | 27.5 | 08.0 | 89.7 | 72.9 | 57.5 | 43.6 | 31.3 | 20.8 | 12.0 | 31 |
| 32 | 49.6 | 28.8 | 09.3 | 91.1 | 74.3 | 58.9 | 45.0 | 32.8 | 22.3 | 13.5 | 32 |
| 33 | 50.9 | 30.2 | 10.7 | 92.5 | 75.7 | 60.3 | 46.5 | 34.3 | 23.8 | 15.1 | 33 |
| 34 | 52.2 | 31.5 | 12.0 | 93.9 | 77.1 | 61.7 | 47.9 | 35.8 | 25.3 | 16.6 | 34 |
| 35 | 2653.5 | 2732.8 | 2813.4 | 2895.2 | 2978.5 | 3063.2 | 3149.4 | 3237.2 | 3326.8 | 3418.1 | 35 |
| 36 | 54.8 | 34.2 | 14.7 | 96.6 | 79.9 | 64.6 | 50.8 | 38.7 | 28.3 | 19.7 | 36 |
| 37 | 56.2 | 35.5 | 16.1 | 98.0 | 81.3 | 66.0 | 52.3 | 40.2 | 29.8 | 21.2 | 37 |
| 38 | 57.5 | 36.8 | 17.4 | 99.4 | 82.7 | 67.4 | 53.7 | 41.7 | 31.3 | 22.7 | 38 |
| 39 | 58.8 | 38.2 | 18.8 | 2900.7 | 84.1 | 68.9 | 55.2 | 43.2 | 32.8 | 24.3 | 39 |

| ' | 50° | 51° | 52° | 53° | 54° | 55° | 56° | 57° | 58° | 59° | ' |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 50 | 3535.0 | 3630.8 | 3728.7 | 3829.0 | 3931.6 | 4036.9 | 4144.9 | 4255.9 | 4370.0 | 4487.4 | 50 |
| 51 | 36.6 | 32.4 | 30.4 | 30.7 | 33.4 | 38.7 | 46.7 | 57.8 | 71.9 | 89.4 | 51 |
| 52 | 38.2 | 34.0 | 32.0 | 32.4 | 35.1 | 40.5 | 48.6 | 59.6 | 73.8 | 91.4 | 52 |
| 53 | 39.7 | 35.6 | 33.7 | 34.0 | 36.8 | 42.2 | 50.4 | 61.5 | 75.8 | 93.4 | 53 |
| 54 | 41.3 | 37.2 | 35.3 | 35.7 | 38.6 | 44.0 | 52.2 | 63.4 | 77.7 | 95.4 | 54 |
| 55 | 3542.9 | 3638.9 | 3737.0 | 3837.4 | 3940.3 | 4045.8 | 4154.1 | 4265.3 | 4379.6 | 4497.3 | 55 |
| 56 | 44.5 | 40.5 | 38.7 | 39.1 | 42.1 | 47.6 | 55.9 | 67.1 | 81.6 | 99.3 | 56 |
| 57 | 46.1 | 42.1 | 40.3 | 40.8 | 43.8 | 49.4 | 57.7 | 69.0 | 83.5 | 4501.3 | 57 |
| 58 | 47.7 | 43.7 | 42.0 | 42.5 | 45.5 | 51.1 | 59.5 | 70.9 | 85.4 | 03.3 | 58 |
| 59 | 49.2 | 45.3 | 43.6 | 44.2 | 47.3 | 52.9 | 61.4 | 72.8 | 87.4 | 05.3 | 59 |