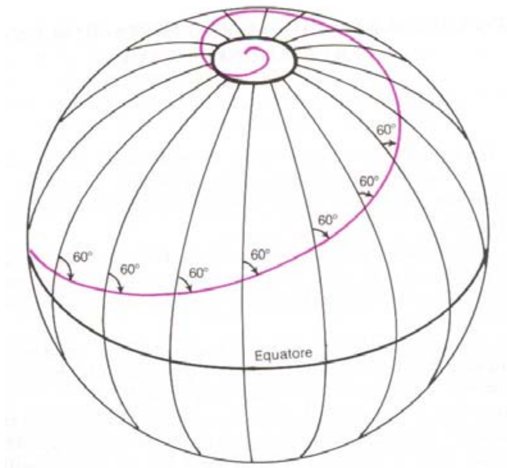
NAVIGAZIONE LOSSODROMICA ED ORTODROMICA

Lossodromia

La lossodromia, si ottiene utilizzando le carte maggiormente in uso nella navigazione, le carte di Mercatore (o meglio: la proiezione cilindrico centrale conforme). In pratica, sulla carta nautica, è sufficiente collegare con una retta il punto di partenza ed il punto di arrivo per conoscere direttamente il valore dell'angolo di prua vera. In questo modo l'angolo di rotta calcolato rimane costante dall'inizio alla fine del percorso, tagliando tutti i meridiani con il medesimo angolo.

Come si può intuire dalla figura la lossodromia è in realtà una curva che taglia i meridiani con angolo costante.

Attraverso le seguenti relazioni è infine possibile risolvere un qualsiasi problema di navigazione lossodromica. Come ausilio alla risoluzione è necessario disporre di una calcolatrice scientifica e delle tavole nautiche (Tavola 4, latitudini crescenti).



Lossodromia.

$$\mathbf{\Delta\varphi = m \cos Rv}$$

$$\mathbf{\mu = m\ sen Rv}$$

$$\mathbf{\mu = \Delta\lambda \cos\varphi}$$

$$\mathbf{\Delta\lambda = \Delta\varphi c\ tg Rv}$$

Da ricordare, inoltre, che la rotta, quadrantale, ha due segni; il primo è sempre quello della $\Delta\varphi$, mentre il secondo è sempre quello della $\Delta\lambda$. I casi possibili sono i seguenti:

<u>1°Pb della lossodromia</u>: $Pp(\varphi_p;\lambda_p)$, R_v, $m \rightarrow Pa(\varphi_a;\lambda_a)$

$$\Delta\varphi = m \cos R_v \rightarrow \varphi_a = \varphi_p + \Delta\varphi;\ \Delta\varphi_c = \varphi_{ca} - \varphi_{cp}$$

$$\Delta\lambda = \Delta\varphi_c\ tg R_v \rightarrow \lambda_a = \lambda_p + \Delta\lambda$$

Qualora risulti che $\Delta\varphi \leq 2°$, oppure $m \leq 500$ miglia e $\varphi \leq 60°$, oppure se $R_v \approx 90°$, per ovvie ragioni conviene utilizzare le cosiddette relazioni approssimate:

$$\Delta\varphi = m \cos R_v \rightarrow \varphi_a = \varphi_p + \Delta\varphi;$$

$$\mu = m\ sen R_v \rightarrow \Delta\lambda = \mu \sec\varphi_m \rightarrow \lambda_a = \lambda_p + \Delta\lambda$$

<u>2°Pb della lossodromia</u>: $Pp(\varphi p;\lambda p)$, $Pa(\varphi a;\lambda a) \rightarrow Rv$, m

$$\Delta\varphi = \varphi_a - \varphi_p \rightarrow \Delta\varphi_c = \varphi_{ca} - \varphi_{cp};\ \Delta\lambda = \lambda_a - \lambda_p$$

$$\downarrow$$

$$tg R_v = \Delta\lambda/\Delta\varphi_c;\ m = \Delta\varphi \sec R_v$$

Qualora risulti che $\Delta\varphi \leq 2°$, oppure $m \leq 500$ miglia e $\varphi \leq 60°$, oppure se $R_v \approx 90°$, per ovvie ragioni conviene utilizzare le cosiddette relazioni approssimate:

$$\mu = \Delta\lambda \cos\varphi \rightarrow tg R_v = \mu/\Delta\varphi$$

$$m = \Delta\varphi \sec R_v \text{ (se } R_v < 87°)$$

$$m = \mu\ cosec\ R_v \text{ (se } R_v > 87°)$$

Può essere infine di un certo interesse essere in grado di determinare il punto di incontro tra due lossodromie (φ, λ). E' necessario conoscere le coordinate di due punti appartenenti alle due lossodromie, siano $A(\varphi_1, \lambda_1)$ e $B(\varphi_2, \lambda_2)$, nonché le rispettive rotte R_1 ed R_2.

Si ha che risulta:

$$\varphi_c = [(\lambda_2 - \lambda_1)' + \varphi c_1 tg R_1 - \varphi c_2 tg R_2]/(tg R_1 - tg R_2) \rightarrow \varphi$$

$$\lambda = \lambda_1 + (\varphi c - \varphi_{c1}) tg R_1$$

Dove φ_c rappresenta la latitudine crescente del punto di incontro.

Cenni di trigonometria sferica

Per poter risolvere i problemi relativi alla navigazione ortodromica è necessario avere una conoscenza di base dei principali teoremi di trigonometria sferica, in particolare:

Teorema del coseno (formule di Eulero).
Teorema del seno.
Teorema delle cotangenti.
Stella di Nepero per triangoli sferici rettangoli e rettilateri.

Vale la pena osservare che questi stessi teoremi tornano utili nell'affrontare i triangoli di posizione in astronomia nautica.

<u>Teorema del coseno</u>: il coseno di un lato è uguale al prodotto dei coseni degli altri due lati più il prodotto dei seni moltiplicati per il coseno dell'angolo opposto.

$$\cos a = \cos b \cos c + \text{sen}\, b\, \text{sen}\, c \cos A$$

$$\cos b = \cos a \cos c + \text{sen}\, a\, \text{sen}\, c \cos B$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \text{sen}\, a\, \text{sen}\, b \cos C$$

Teorema del seno: il rapporto fra il seno di un angolo ed il seno del lato opposto è costante.

$$\text{sen}A/\text{sen}a = \text{sen}B/\text{sen}b = \text{sen}C/\text{sen}c$$

Teorema delle cotangenti: sono formule che legano fra loro quattro elementi consecutivi: due lati e due angoli; complessivamente sono sei formule che si possono ricavare ricorrendo ad una regola mnemonica illustrata a fianco. Siano *a, c, B, A,* i quattro elementi consecutivi da legare con la suddetta formula. Si disegna il triangolo sferico e si traccia una linea spezzata come mostrato in figura. Nel caso in esame: si parte dal lato esterno *a* (lato non compreso fra i due angoli), si va all'altro lato *c*, si ritorna nell'angolo compreso B e si raggiunge infine l'angolo *A* opposto al lato *a* di partenza.

Si scrivono due terne di funzioni, di cui la prima è cotg, sen e cos (cotangente, seno e coseno) e la seconda è l'immagine speculare della prima; le sei funzioni trigonometriche vanno divise in tre coppie, fra la prima e la seconda si pone il segno d'uguaglianza, fra le ultime due si pone il segno più.

Gli argomenti delle sei funzioni trigonometriche sono nell'ordine quelli indicati dalla precedente spezzata, con l'avvertenza di scrivere due volte gli elementi corrispondenti alle cuspidi della spezzata: angolo *C* e lato *b* nell'esempio di figura. Nell'esempio proposto si ha in definitiva:

$$\mathbf{cotg\,a\ sen\ c = cos\,c\ cos\,B + sen\,B\ cotg\,A}$$

Le altre relazioni sono:

$$\text{cotg}\,a\ \text{sen}\,b = \cos b \cos C + \text{sen}\,C\ \text{cotg}\,A$$

$$\text{cotg}\,b\ \text{sen}\,a = \cos a \cos C + \text{sen}\,C\ \text{cotg}\,B$$

$$\text{cotg}\,b\ \text{sen}\,c = \cos c \cos A + \text{sen}\,A\ \text{cotg}\,B$$

$$\text{cotg}\,c\ \text{sen}\,a = \cos a \cos B + \text{sen}\,B\ \text{cotg}\,C$$

$$\text{cotg}\,c\ \text{sen}\,b = \cos b \cos A + \text{sen}\,A\ \text{cotg}\,C$$

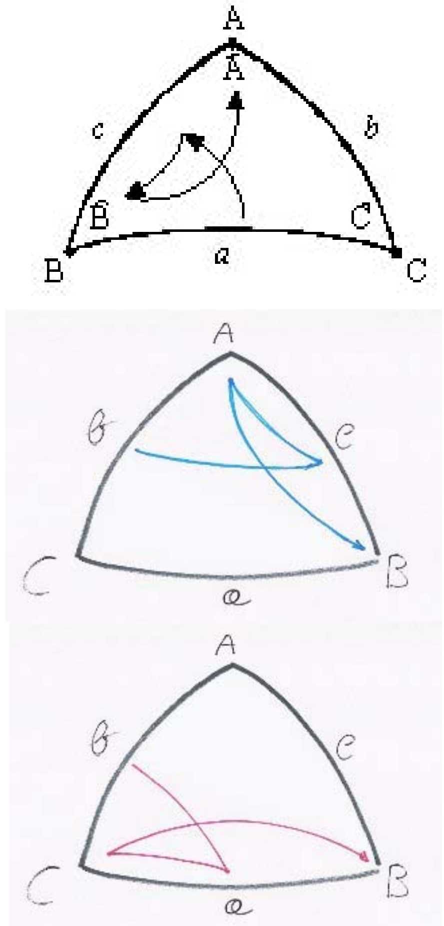


Fig. 2 Triangolo sferico e regola mnemonica relativa al Teorema delle Cotangenti.

Regola mnemonica del teorema delle cotangenti (alternativa) - Dato che l'applicazione del teorema delle cotangenti si ripete di frequente nei problemi di geometria sferica esiste un metodo mnemonico che può aiutare a memorizzarla. E'di aiuto notare come la formula sia "palindroma" cioè come la sua scrittura sia simmetrica rispetto al centro. Quindi si scrive:

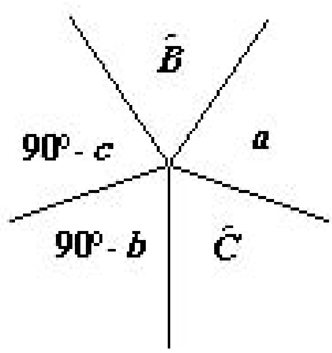
$$\cot()\text{sen}()=\cos()\cos()+\text{sen}()\cot()$$

Poi, ricordando che la formula lega elementi consecutivi nella forma lato-angolo-lato-angolo, ma invertendo l'ordine degli elementi intermedi, inseriamo come argomenti delle funzioni trigonometriche gli elementi del triangolo, partendo dal lato d'interesse fino al suo angolo opposto disegnando un percorso a "fiocchetto" e riportando due volte gli elementi intermedi.

Stella di Nepero: tutte le formule precedenti si semplificano notevolmente nel caso di triangoli sferici rettangoli; considerando anche altre formule non riportate precedentemente, si ottengono dieci formule ridotte che possono essere facilmente ricordate con la regola mnemonica di Nepero.

Si disegna una stella a cinque punte ed in ogni settore si scrivono consecutivamente tutti gli elementi del triangolo saltando l'angolo retto e sostituendo i cateti con i loro complementi (90°-b e 90°-c) nel triangolo rettangolo. Nel triangolo rettilatero si procede effettuando il complemento agli angoli adiacenti (90°-A e 90°-B) al lato di lunghezza 90° ed il supplemento (180°-C) all'angolo opposto all'angolo di lunghezza pari a 90°. A questo punto si ha che risulta:

Il coseno di un elemento è uguale al prodotto delle cotangenti degli elementi vicini oppure è uguale al prodotto dei seni degli elementi lontani.



Stella di Nepero.

Nel trascrivere gli elementi nei vari settori non importa da quale si parte e dal verso (orario o antiorario). In figura è riportato il caso dell'angolo retto in A, applicando la precedente regola al lato *a* si ottengono:

$$\cos a = \text{cotg}\,B\ \text{cotg}\,C$$

$$\cos a = \text{sen}(90°-b)\ \text{sen}(90°-c) = \cos b \cos c$$

Procedendo analogamente per gli altri quattro elementi si ottengono in totale le dieci formule già menzionate.

Ortodromia

La particolarità dell'ortodromia nel campo della navigazione è dovuta al fatto che l'ortodromia (arco di circolo massimo) rappresenta la via più breve che congiunge due punti sulla superficie terrestre.

Chiameremo pertanto rotta ortodromica o semplicemente ortodromia quel percorso o rotta che, congiungendo due punti sulla superficie terrestre, segna l'andamento di un cerchio massimo (comunque inclinato) percorrendo la distanza più breve.

Se l'ortodromia ha il vantaggio di collegare due punti o località percorrendo la distanza più breve, ha però lo svantaggio che non taglia o incontra i meridiani con lo stesso angolo per cui il navigante, durante la traversata sarebbe costretto a cambiare continuamente la prua, cosa non agevole ed accettabile sia nella pianificazione della traversata, che nella sua realizzazione pratica.

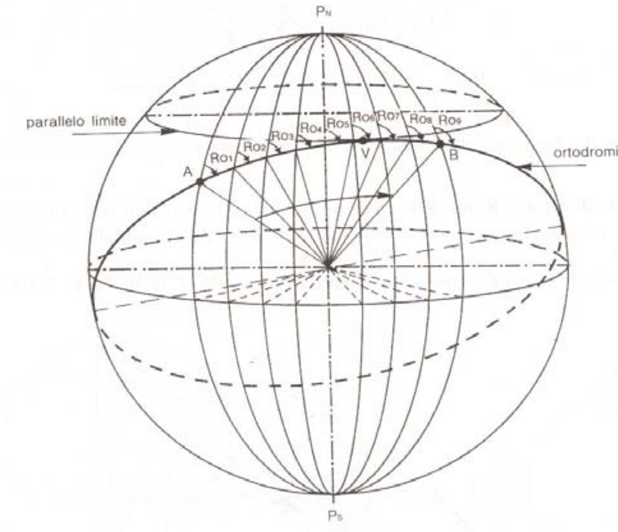
Ovviamente tale necessità si rivela per tutte le prore, escluse quelle che collegano due punti posti all'equatore o su qualsiasi meridiano, in quanto come già detto, queste rotte seguono già il percorso ortodromico e perciò il cerchio massimo e l'angolo di rotta rimangono costanti. L'ortodromia, a differenza della lossodromia, non presenta punti di flesso sulla terra (cioè non cambia di concavità).

Nell'ambito di una traversata ortodoromica è prioritario il calcolo della rotta iniziale (R_i) e del cammino ortodromico (d_o).

Con l'ausilio dei teoremi precedentemente introdotti si ha che (Formula Bruta):

$$\cos d_o = \cos(90°-\varphi_p)\cos(90°-\varphi_a) + \mathrm{sen}(90°-\varphi_p)\,\mathrm{sen}(90°-\varphi_a)\cos\Delta\lambda$$

$$\cos d_o = \mathrm{sen}\varphi_p\,\mathrm{sen}\varphi_a + \cos\varphi_p\cos\varphi_a\cos\Delta\lambda$$



Ortodromia.

Si può osservare, in merito al primo membro, che esso risulta positivo se la latitudine di partenza e di arrivo hanno lo stesso segno; diversamente è negativo. Il secondo membro è invece positivo se $\Delta\lambda < 90°$. Se $\Delta\lambda > 90°$ è negativo.

La determinazione della rotta iniziale si effettua a partire dal teorema delle cotangenti, ottenendo:

$$\mathrm{cotg}R_i = \mathrm{tg}\varphi_a\cos\varphi_p\,\mathrm{cosec}\Delta\lambda - \mathrm{sen}\varphi_p\,\mathrm{cotg}\Delta\lambda$$

Anche in questo caso, dalla discussione sui segni si ha che il primo membro risulta positivo se la latitudine di partenza e di arrivo hanno lo stesso segno; diversamente è negativo. Il secondo membro, a causa del segno "-" è invece positivo se $\Delta\lambda > 90°$. Se $\Delta\lambda < 90°$ è negativo. La rotta ottenuta è semicircolare e presenta due segni: il primo è sempre quello della φ_p mentre il secondo è sempre quello della $\Delta\lambda$.

Osservazioni

La differenza tra il percorso lossodromico e quello ortodromico su una traversata, per esempio, tra Roma e New York è di circa 180 miglia nautiche (~333km).

Nei casi pratici è uso comune seguire i percorsi lossodromici, nel caso di brevi traversate. Nel caso di traversate oceaniche o comunque lunghe, non essendo di fatto possibile seguire il percorso ortodromico, si procede per spezzate lossodromiche, stabilendo un cammino fisso per ogni spezzata (per esempio 300 miglia), oppure una $\Delta\lambda$ fissa (di solito ogni 10°), oppure ancora un intervallo di tempo (ad esempio Δt = 12h).

Si introducono così:

1) Metodo per Secanti (perché 'seco' l'ortodromia con delle lossodromie)
2) Metodo per Tangenti (perché il percorso lossodromico è tangente nel Pp_i all'ortodromia. In sostanza mantengo la Ri inalterata per il periodo prefissato. Questo metodo ha il vantaggio di poter essere abbandonato in un qualsiasi momento, ma ha lo svantaggio di salire troppo in latitudine, addirittura più a nord del vertice)

In entrambi i casi occorre, come vedremo, calcolare innanzitutto i c.d. "way point"sull'ortodromia. In entrambi i casi, però, si sale troppo in latitudine, il che non è sempre possibile a causa delle condizioni meteo marine. Ecco perché un'ulteriore soluzione è quella fornita da:

3) Navigazione Mista o con Latitudine Limite (perché si impone una latitudine limite (φ_L) da non superare nel corso della traversata e si naviga un po' per ortodromia e un po' per lossodromia)

Coordinate del Vertice V(φ_V, λ_V)

Può pertanto essere interessante calcolare le coordinate del vertice (ogni ortodromia ne ha due e logica vuole che si cerchi il vertice più vicino a φ_p). Il vertice è il punto dell'ortodromia avente latitudine più elevata. Per convenzione il vertice di riferimento è quello più vicino al Pp.

Problemi di questo tipo, come pure i successivi, si risolvono a partire dalla Stella di Nepero applicata ai triangoli rettangoli o rettilateri.

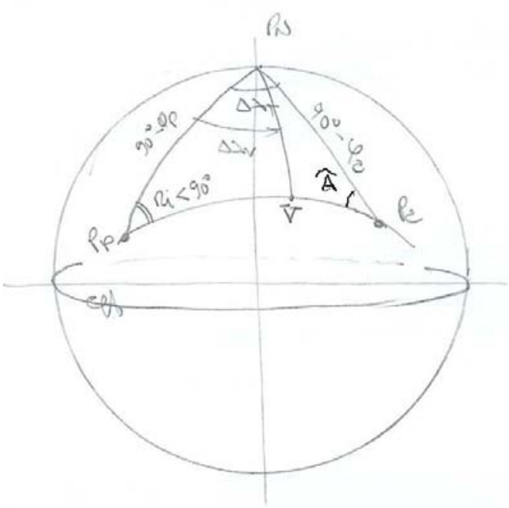
NAVIGAZIONE LOSSODROMICA ED ORTODROMICA

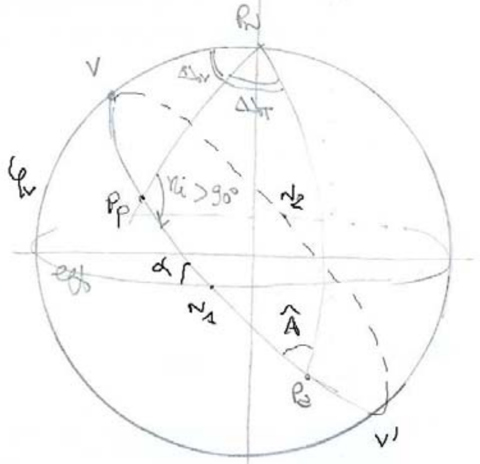
L'ovvio suggerimento è quello di fare sempre un disegno, piuttosto che imparare a memoria le relazioni (più in avanti scopriremo che, fra le altre cose, le stesse relazioni si utilizzano anche in astronomia e, pertanto, lo sforzo ora richiesto ha maggior significato. E' un po' anche per questa ragione che qui, di disegni, non ne trovate molti…).

$\cos\varphi_V = \cos\varphi_p \,\mathrm{sen}R_i$ (φ_V OM φ_p in quanto calcolo il vertice più vicino a φ_p)

$\mathrm{cotg}\Delta\lambda_V = \mathrm{sen}\varphi_p \,\mathrm{tg}R_i$ ($\Delta\lambda_V < 90°$ $Ri<90° \rightarrow \Delta\lambda_V$ OM $\Delta\lambda_{tot}$; $Ri>90° \rightarrow \Delta\lambda_V$ ET $\Delta\lambda_{tot}$)

$\mathrm{tg}d_V = \mathrm{cotg}\varphi_p \cos R_i$ ($dv<90°$ in quanto calcolo il vertice più vicino a φ_p)





Due parole su vertici e sui nodi

Sulle carte di Mercatore gli archi di ortodromia sono rappresentati da curve che hanno la concavità rivolta verso l'equatore (si ricordi che, invece, gli archi di Lossodromia avevano la concavità rivolta verso il polo, vedi figura a pag. 1).

Se il punto di partenza e quello di arrivo si trovano in emisferi diversi, l'arco di ortodromia che li unisce ha, rispetto alla lossodromia 2 rami ed 1 nodo, che si trova nei pressi dell'equatore e che rappresenta il punto di intersezione tra ortodromia e lossodromia. Il nodo si trova sull'equatore solo se i due punti estremi si trovano alla medesima latitudine, ma con segno opposto. Ogni ortodromia ha, come detto, due vertici V e V' che rappresentano i punti che hanno latitudine più elevata.

Quando si considera un arco di ortodromia, che unisce due punti, è possibile che questo arco comprenda uno dei vertici oppure nessuno dei vertici; può cioè accadere che entrambi i vertici cadano al di fuori dell'arco (percorso) considerato.

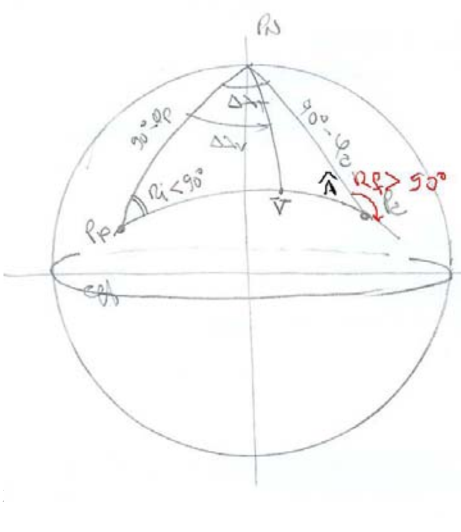
Allorché gli angoli di R_i e Â sono entrambi <90° il vertice cade tra Pp e Pa. Se invece questa condizione non si verifica allora il vertice cade fuori.

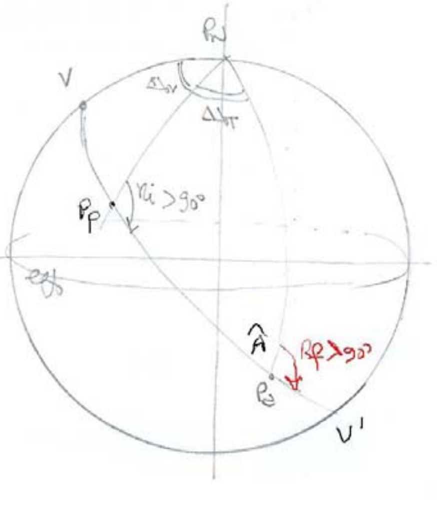
Vale la pena ricordare che i meridiani passanti per il vertice tagliano l'ortodromia con angolo retto, individuando un triangolo rettangolo e consentendo, come già anticipato dalle relazioni precedenti, l'applicazione del metodo di Nepero per la risoluzione del triangolo sferico.

Infine, per ciò che concerne le coordinate dei vertici, si osservi che per il secondo vertice si tiene conto del fatto che le latitudini dei vertici di un'ortodromia differiscono solo per il segno geografico, mentre le longitudini sono supplementari fra loro, pertanto basta farne il supplemento e cambiare il segno geografico del primo per ottenere il secondo.

Riguardo alle intersezioni dell'ortodromia con l'equatore (nodi) va infine osservato che un'ortodromia la incontra in due punti diametralmente opposti, agli antipodi l'uno dell'altro. Per convenzione il nodo principale è quello che si trova nell'emisfero Est. La λ_N è a 90° rispetto alla λ_V.

Rotta finale





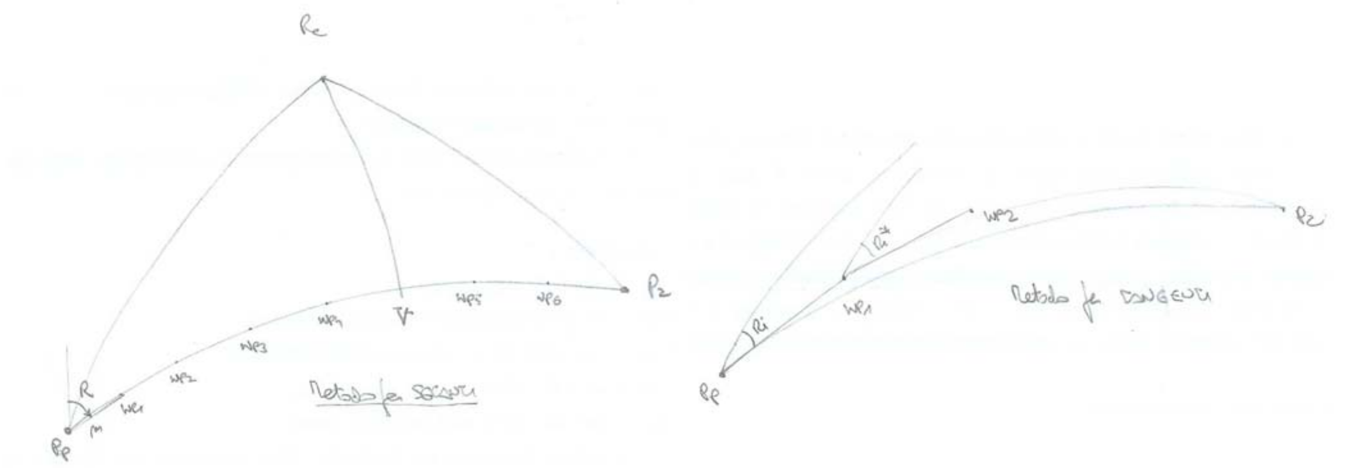
NAVIGAZIONE LOSSODROMICA ED ORTODROMICA

La rotta finale (Rf) si calcola immaginando di compiere il percorso in senso opposto, utilizzando ancora una volta il teorema delle cotangenti, ma facendo il supplemento (180°-Â) dell'angolo così ottenuto. Attenzione che Rf deve avere gli stessi segni della Ri (e dunque φ_p e $\Delta\lambda$). L'importanza della Rf sta nel fatto che da essa si può determinare se il percorso passa o meno per il vertice; in particolare:

- Se Ri ed Rf sono della "stessa specie" (entrambe minori o maggiori di 90°), il vertice è esterno;
- Se Ri ed Rf sono di "specie diversa", il vertice è sul percorso della nave (vertice interno).

Navigazion per punti intervallati

Riprendiamo ora quanto anticipato in un paragrafo precedente.



Considerata la difficoltà a seguire il percorso ortodromico l'usanza è quella di navigare per punti intervallati, per poi procedere, tra un punto e quello successivo per lossodromia. In particolare, in ordine di "importanza" e/o utilizzo:

1) Punti intervallati in $\Delta\lambda$ rispetto al vertice;
2) Punti intervallati in d rispetto al vertice;
3) Punti intervallati in $\Delta\lambda$ rispetto al Pp;
4) Punti intervallati in d rispetto al Pp.

In relazione al primo caso (punti intervallati in $\Delta\lambda$ rispetto al vertice), si tratta, a partire dal vertice di risolvere altrettanti triangoli rettangoli di cui è noto il valore di $\Delta\lambda v_x$ oppure di dv_x, calcolando perciò, una volta individuato il triangolo rettangolo:

$$\text{tg}\varphi_x = \text{tg}\,\varphi_v \cos \Delta\lambda v_x$$

$$\text{tg}\, dv_x = \cos\varphi_v\, \text{tg}\, \Delta\lambda v_x$$

Naturalmente, sarà opportune tenere in considerazione il fatto che il vertice sia interno oppure esterno.

In relazione al secondo caso (punti intervallati in d rispetto al vertice):

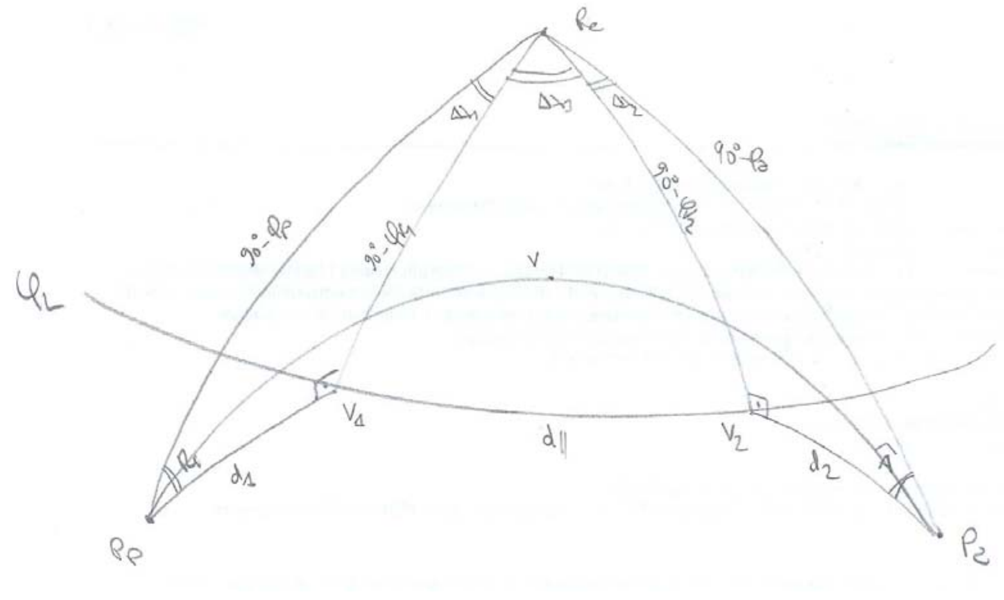
$$\text{cotg}\, \Delta\lambda v_x = \cos\varphi_v\, \text{cotg} dv_x$$

$$\text{sen}\varphi_x = \text{sen}\, \varphi_v \cos dv_x$$

Come si vede questa volta sono due le coordinate da calcolare.

In relazione agli ultimi due casi, infine, si può facilmente osservare che le relazioni da utilizzare sono, rispettivamente, le medesime dei due casi ora analizzati.

Navigazione Mista - Latitudine Limite (φ_L)



NAVIGAZIONE LOSSODROMICA ED ORTODROMICA

$$\begin{array}{ll}
\mathbf{V_1} & \cos\Delta\lambda_1 = tg\varphi_p \, cotg\varphi_L \ (\Delta\lambda_1 \ \text{OM} \ \Delta\lambda_{tot}) \\
 & senR_i = \cos\varphi_L \, sec\varphi_p \\
 & \cos d_1 = sen\varphi_p \, cosec\varphi_L \\
\mathbf{V_2} & \cos\Delta\lambda_2 = tg\varphi_a \, cotg\varphi_L \ (\Delta\lambda_2 \ \text{ET} \ \Delta\lambda_{tot}) \\
 & d_{//} = d\lambda_3 \cos\varphi_L \\
 & d\lambda_3 = \Delta\lambda_{tot} - (\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2) \ [\text{ARITMETICA}] \\
 & \cos d_2 = sen\varphi_a \, cosec\varphi_L \\
 & sen\,\hat{A} = sec\varphi_a \cos\varphi_L \ (R_f = 180° - \hat{A}) \\
\mathbf{d_{//}} & d_{//} = \mu = \Delta\lambda_3 \cos\varphi_L
\end{array}$$

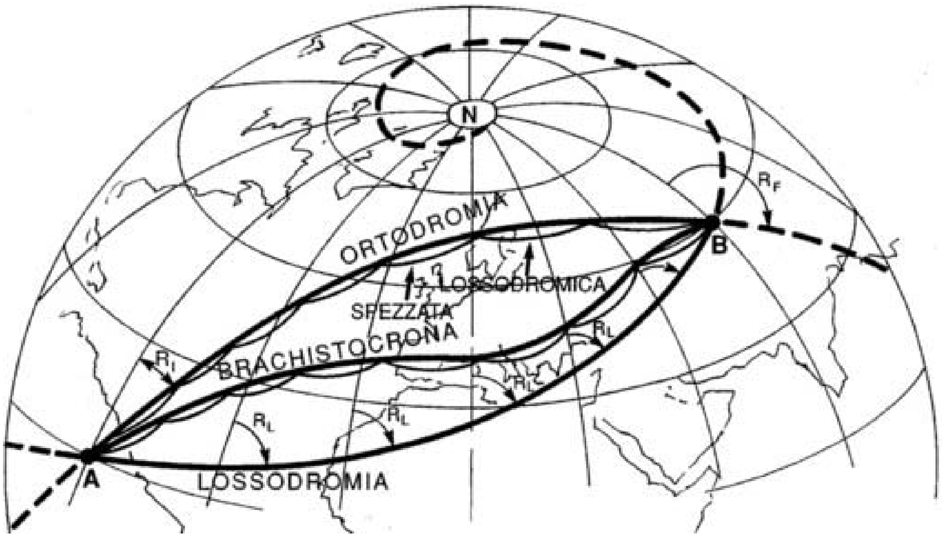
Si osservi che $\Delta\lambda_1$ esprime la differenza di longitudine tra il Pp ed il primo vertice (V_1); $\Delta\lambda_2$, similmente, esprime la differenza di longitudine tra il secondo vertice (V_2) ed il Pa. $\Delta\lambda_3$ esprime la differenza di longitudine tra i due vertici (V_1 e V_2). $d_{//}$ esprime infine il cammino per parallelo.

Può essere di un certo interesse calcolare le coordinate di un punto sull'ortodromia, data la latitudine:

$$\cos\Delta\lambda_x = cotg\varphi_v \, tg\varphi_x$$
$$\cos d_x = cosec\varphi_v \, sen\varphi_x$$

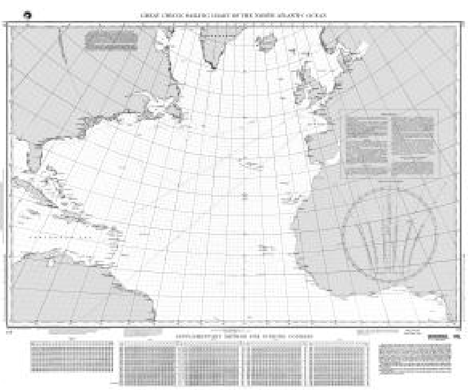
Le conoscenze in campo climatologico consentono poi, attraverso la consultazione delle "Pilot Charts" o delle "Routing Charts" di tracciare delle rotte climatologiche, che tengono conto dei dati climatologici medi relativi all'area da attraversare, consentendo di ottimizzare la pianificazione della traversata.

L'avvento dell'informatica ha infine reso la possibilità lo sfruttamento dei dati relativi agli elementi meteo marini consentendo l'elaborazione della cosiddette rotte brachistocroniche attraverso le quali è possibile minimizzare il tempo della traversata (rotte di minimo tempo).

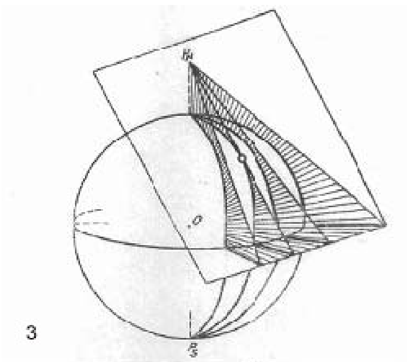


<u>Uso delle carte gnomoniche per la navigazione ortodromica</u>

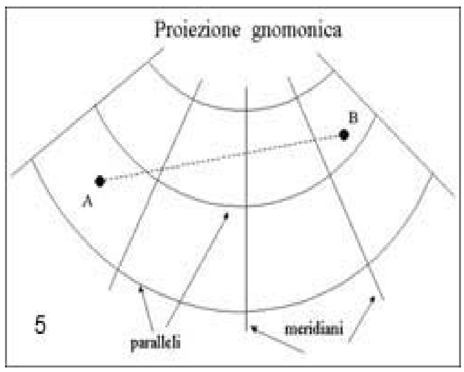
L'inseguimento della traversata in navigazione ortodromica si effettua utilizzando la carte gnomonica (o centrografica), una proiezione prospettica, che ha il pregio di essere isogona e, un po' come avveniva per la lossodromia sulla carta di Mercatore, di "rettificare" l'ortodromia. La proiezione, infatti, mostra tutti i tutti i cerchi massimi come linee rette.



Cominciamo con una breve descrizione delle medesime. Come già visto a suo tempo, la carta si ottiene immaginando di proiettare dal centro della terra (centrografica) i punti della Terra su un piano tangente alla stessa. Poiché i meridiani e l'equatore sono cerchi massimi, essi sono sempre mostrati come linee rette.



Se il punto di tangenza corrisponde ad uno dei poli allora i meridiani sono radiali ed equamente spaziati. L'equatore va all'infinito in tutte le direzioni. Gli altri paralleli sono segnati come cerchi concentrici.



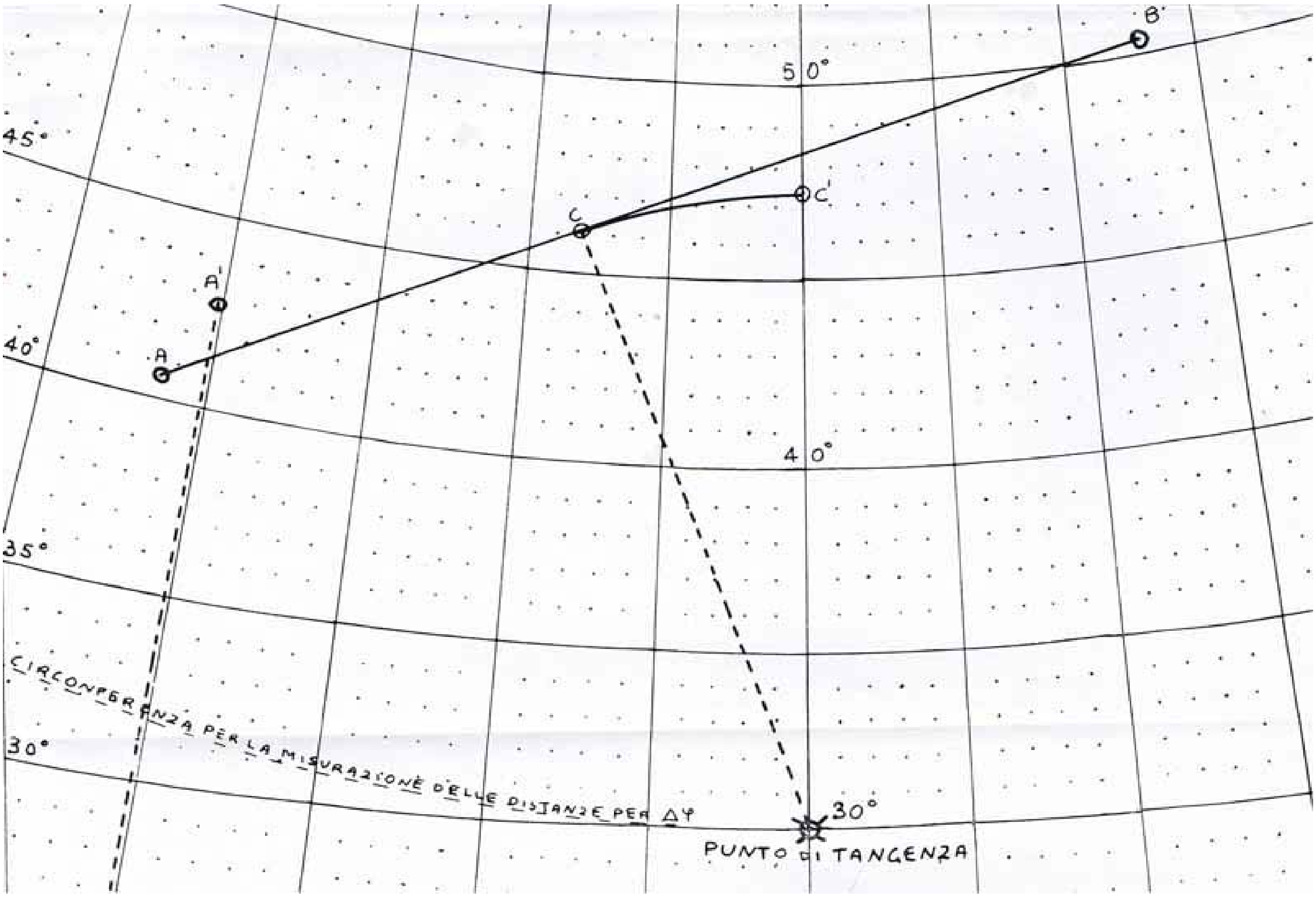
Se il punto di tangenza si trova sull'equatore allora i meridiani sono paralleli ma non equamente spaziati. L'equatore è una linea retta perpendicolare ai meridiani. Gli altri paralleli sono segnati come Iperbole.

Negli altri casi i meridiani sono linee che partono radialmente dal polo verso l'esterno, ma non sono equamente spaziati. L'equatore è una linea retta che è perpendicolare soltanto ad un meridiano (ciò dimostra ancora che la proiezione non è conforme alla mappa.

NAVIGAZIONE LOSSODROMICA ED ORTODROMICA

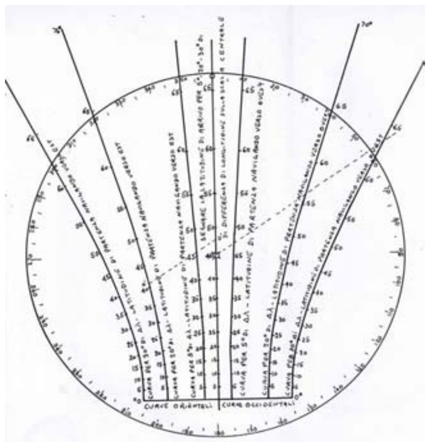
Utilizzando queste carte è possibile risolvere graficamente i problemi della navigazione per circolo massimo. In particolare, con le predette carte, è possibile trovare le coordinate di un punto qualsiasi della superficie terrestre, la rotta e la distanza ortodromica. Per queste ultime due componenti, per effetto del particolare tipo di proiezione, occorre utilizzare dei particolari ausili reperibili all'interno della carta stessa.

Sulla Cartina in figura, a scopo didattico si riporta una sezione di una carta gnomonica (n. 1280).



<u>1) Determinazione della Rotta iniziale</u>

a) congiungere punto di partenza (Pp) con punto di arrivo (Pa, A con B, in figura);
b) segnare la latitudine (D) del punto sulla rotta appena tracciata a 20° di longitudine dal Pp (A) e tracciarlo sul diagramma delle rotte (COURSE DIAGRAM, D', 48° nell'esempio specifico);
c) sullo stesso diagramma tracciare la latitudine del Pp (A) nelle EAST CURVES (se si naviga verso E) o nelle WEST CURVES (se si naviga verso W); indichiamo tale punto con A';
d) trasportare la linea retta che si ottiene congiungendo A' con D' al centro del diagramma (45°) e leggere il valore della rotta sulla rosa. Si ottiene così la Ri (N56°E, nell'esempio specifico).

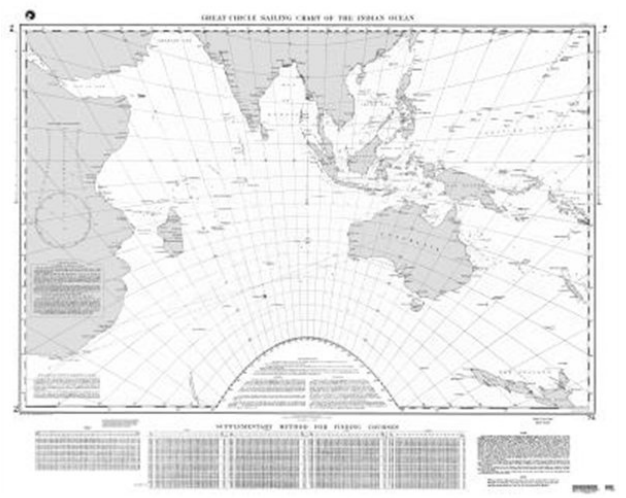


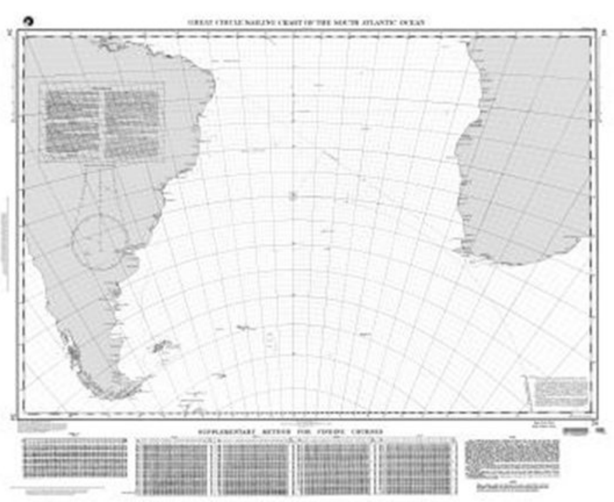
<u>2) Determinazione della Distanza</u>

Considerando i due punti A e B la distanza tra di essi si può misurare con i due metodi:

1) <u>per differenza di latitudine</u>
   a. congiungere con una retta Pp con Pa (rispettivamente A e B);
   b. dal punto di tangenza PT (scritta "Point of Tangency", situato a 30° nell'esempio specifico ed individuabile dal simbolo □ fare uscire la perpendicolare alla retta AB nel punto C, ottenendo il raggio PTC;
   c. è possibile osservare che tracciando una circonferenza di centro PT e raggio PTC, si interseca la "ARC FOR THE MEASUREMENTS OF DISTANCES BY DIFFERENCES OF LATITUDE", nel punto F;
   d. Nel meridiano passante per F tracciare a partire da F la distanza AC=FA'' e BC=FB'', rispettivamente verso nord e verso sud (<u>Nota</u>: non visibile in figura; si vede solo il punto A');
   e. La differenza di latitudine, espressa in primi, tra A'' e B'' definisce la distanza cercata.
2) <u>per differenza di longitudine.</u>
   a. congiungere con una retta Pp e Pa (rispettivamente A e B);
   b. dal punto di tangenza fare uscire la perpendicolare (o la più vicina) alla retta AB individuando in questo modo il punto C;

c. a questo punto centro il compasso nel punto di tangenza PT e con raggio uguale a PTC stacco sul meridiano 30°, nel punto C', verso Nord un segmento uguale e ne determino la latitudine (47°25', nell'esempio specifico);
d. riporto il valore della latitudine di C' sulle scale laterali (in basso a destra ed a sinistra sulla carta) e, congiungendo con una retta i punti d'incontro, si definisce in questo modo la linea di misurazione delle distanze per differenza di longitudine; questa linea incontra il meridiano 30° nel punto c (Nota: non visibile in figura);
e. dal punto c traccio i segmenti ac=AC e cb=CB rispettivamente verso ovest e verso est;
f. determino le longitudini, sulla linea di misurazione così tracciata, dei punti a e b;
g. la loro differenza, espressa in primi, definisce la distanza in miglia marine del percorso AB.





<u>Riferimenti Bibliografici</u>

- Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- Nicoli "Navigazione tradizionale" Ed. Quaderni marinari
- Rizzo "Navigazione di Base" Ed. Ferrari
- http://mdnautical.com/
- http://www.answers.com/topic/rhumb-lines
- http://it.wikipedia.org/wiki/Proiezione_gnomonica
- http://www.iaso.net
- http://www.marina.difesa.it/conosciamoci/comandienti/scientifici/idrografico/cosafacciamo/Pagine/CarteNautiche.aspx
- www.nauticoartiglio.lu.it
- http://www.meccanismo.it/blog/show/teorema-del-coseno-e-delle-cotangenti-per-triangoli-sferici.html
- http://www.nauticalchartsonline.com/thumbs/17.jpg
- http://www.navigazione-aerea.com/3-la-terra/
- http://www.itaer.it/lavori/trigonsfer/PropOrtr.htm
- http://www.xmasgrupsom.com/public/index.php?showtopic=4250