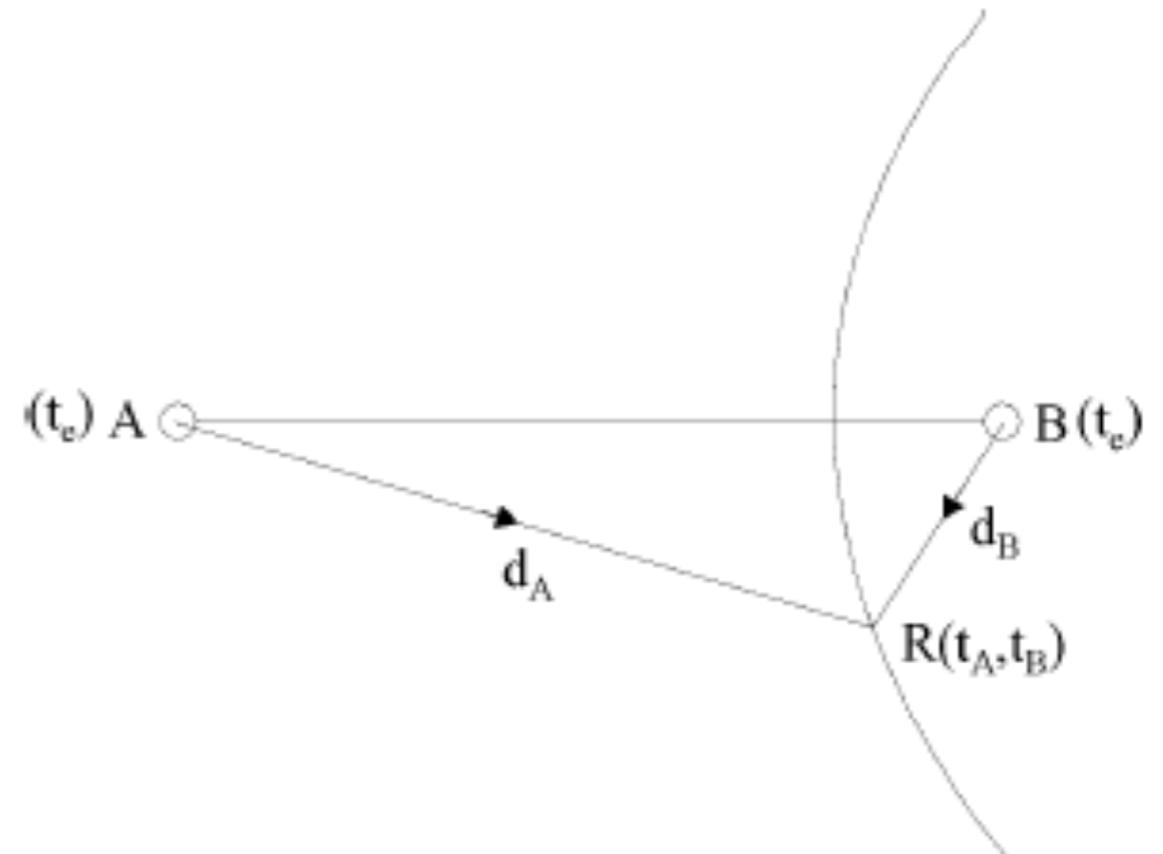


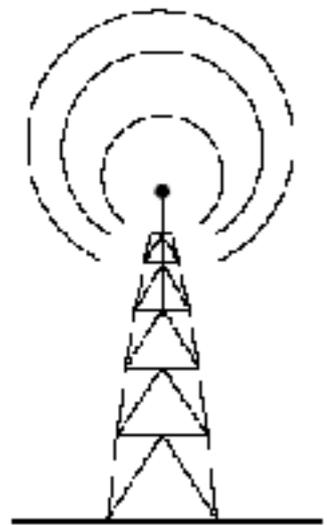
PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA LORAN

Due trasmettitori A e B che emettono n impulsi sincronizzati e con stessa cadenza (o Pulse Recurrence Rate)

$$PPR = nI$$

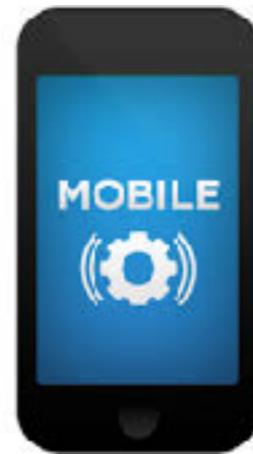
n numero impulsi
/ intervallo tra impulsi





Trasmittente
B

d_B



Ricevente

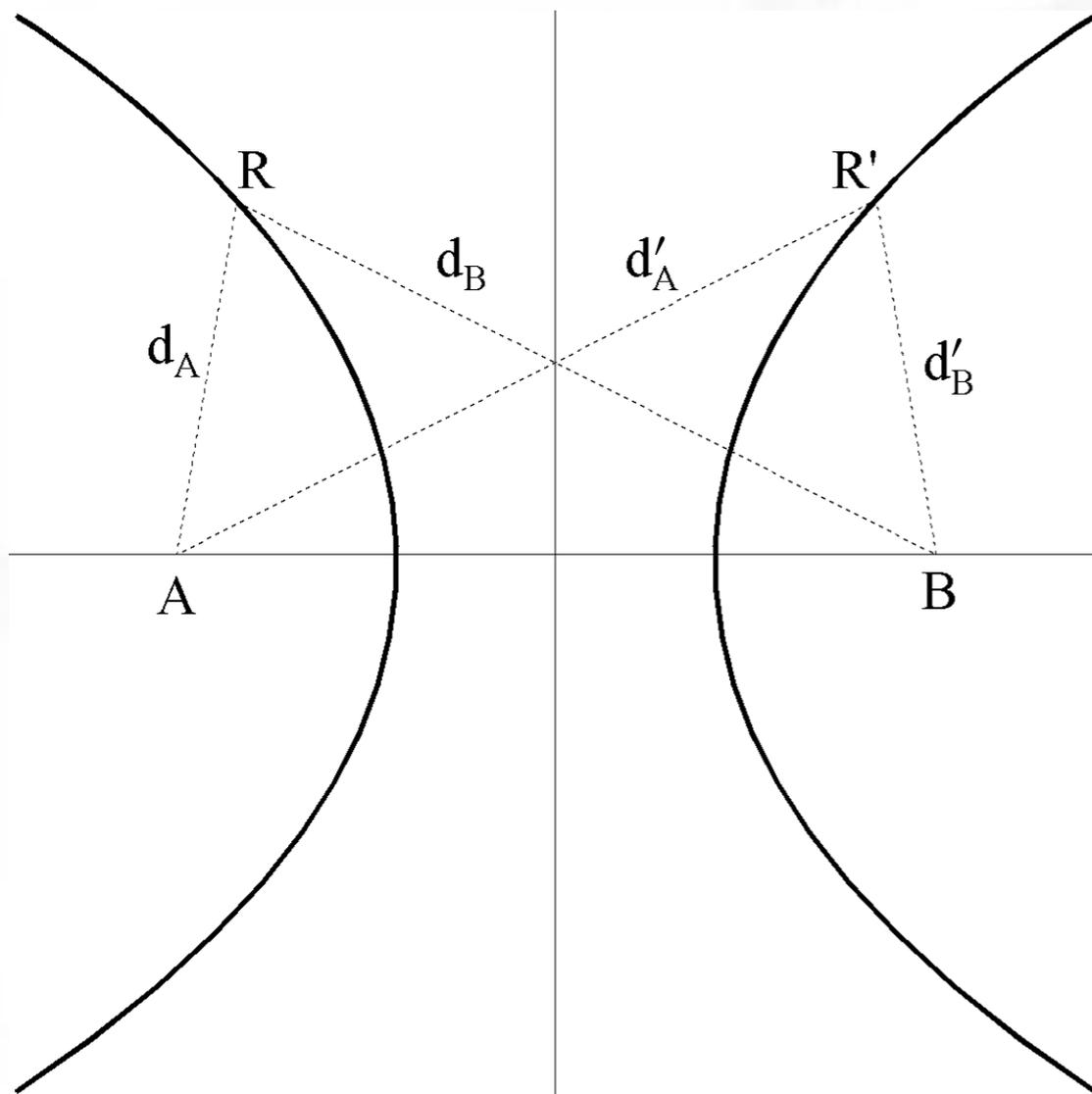
d_A



Trasmittente
A

$$t_i = \frac{d_i}{c} \quad i = A, B$$

Iperbole Sferica



1. Ambiguità

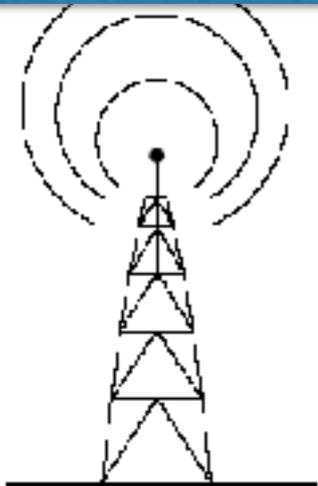
In R:
$$\Delta t = \frac{d_A - d_B}{c}$$

In R':
$$\Delta t' = \frac{d'_B - d'_A}{c} = \frac{d_A - d_B}{c} = \Delta t$$

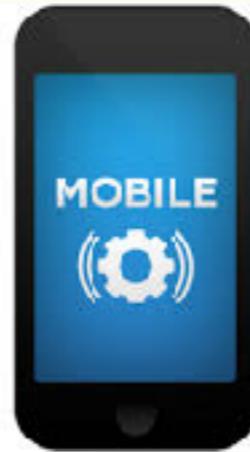
2. Interferenza in corrispondenza asse non trasverso

$$t_A = \frac{d_A}{c} = \frac{d_B}{c} = t_B$$

Impulso emesso dopo
ED
(Emission Delay)



Trasmittente
B



Ricevente



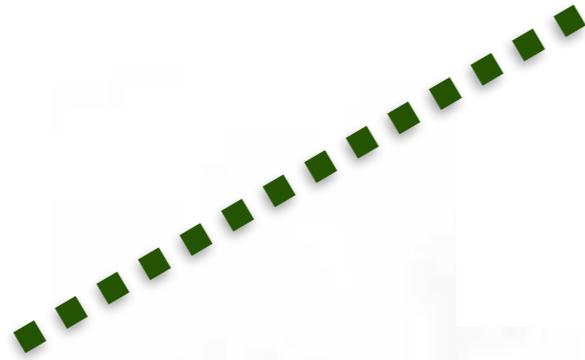
Trasmittente
A

$$T = \Delta / c$$

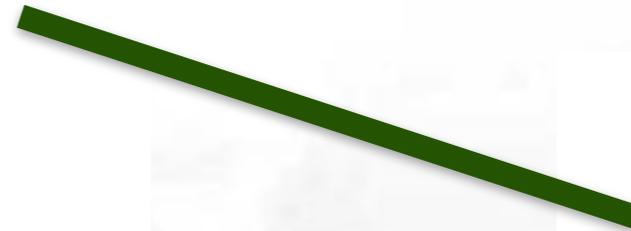
- T intervallo di tempo Segnale percorso AB
- Δ distanza AB



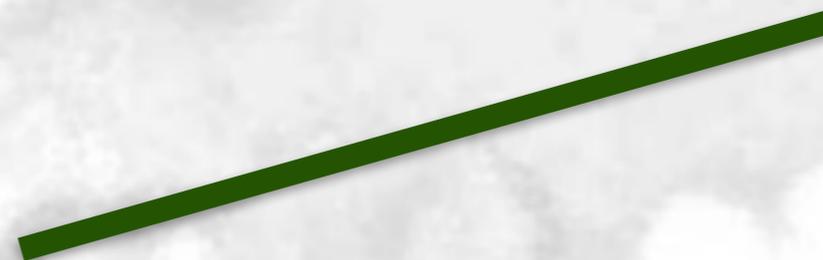
Trasmittente
B
SLAVE



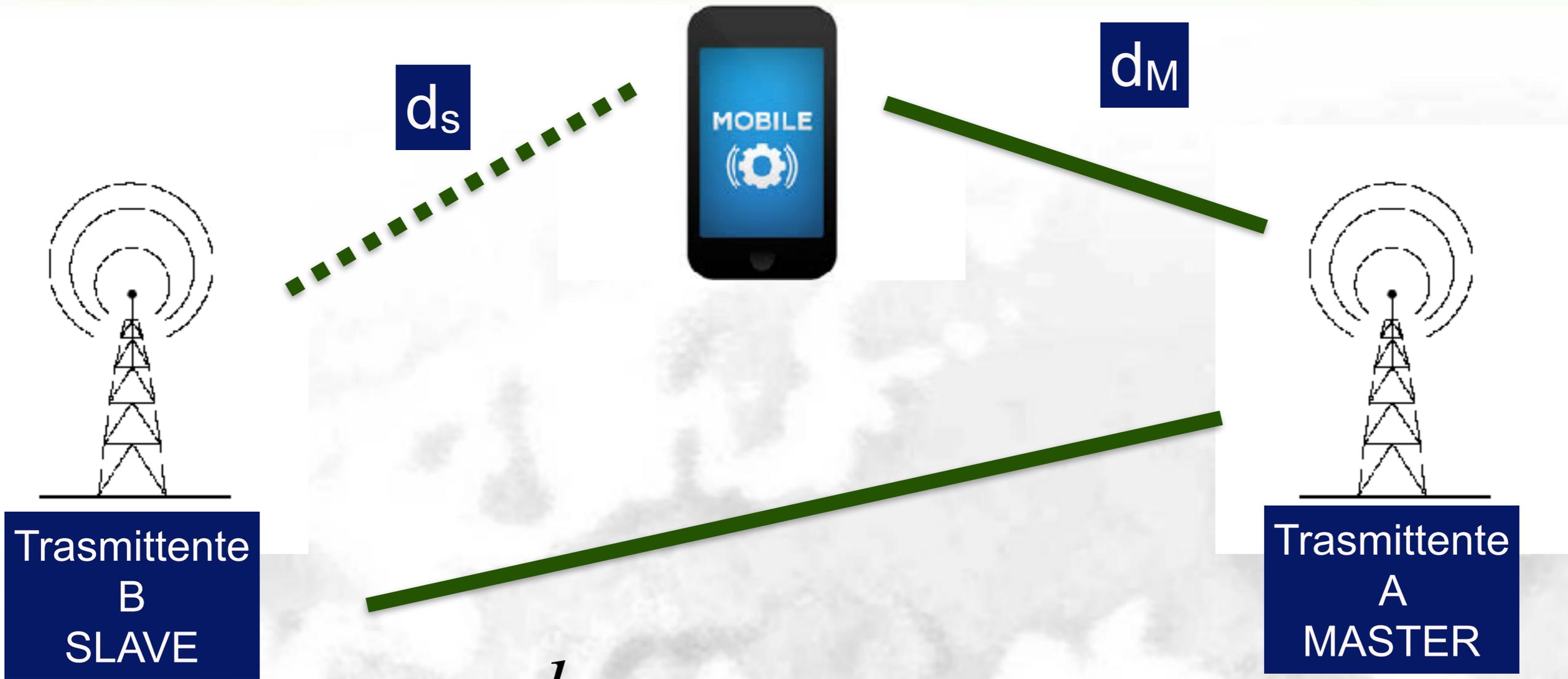
Ricevente



Trasmittente
A
MASTER



1. Segnale emesso da A e ricevuto da B dopo T
2. B trasmette dopo δ



$$t_M = \frac{d_M}{c}$$

Istante di ricezione del segnale Master

$$T + \delta + \frac{d_s}{c} = T + \delta + t_s$$

Istante di ricezione del segnale SLAVE

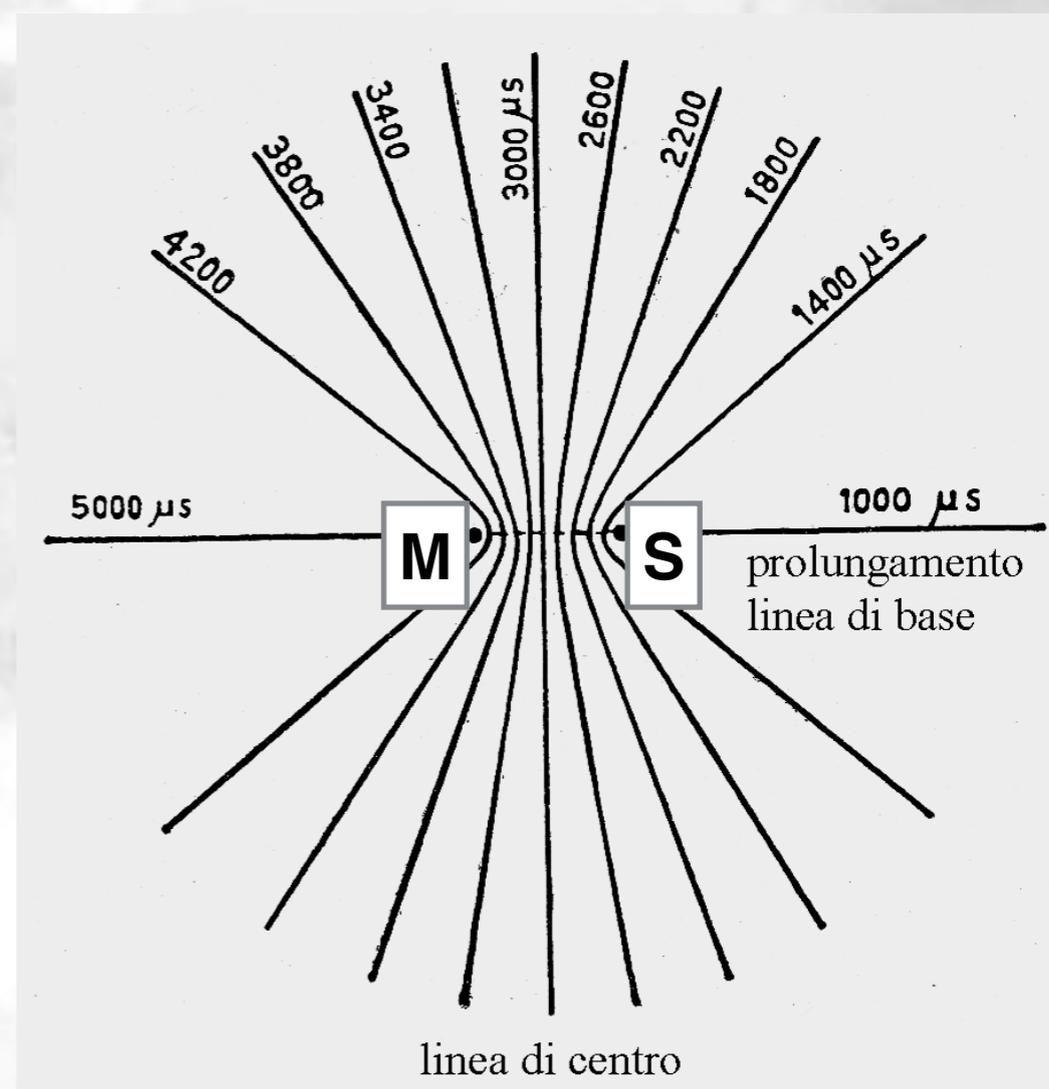


Equazione Misura LORAN

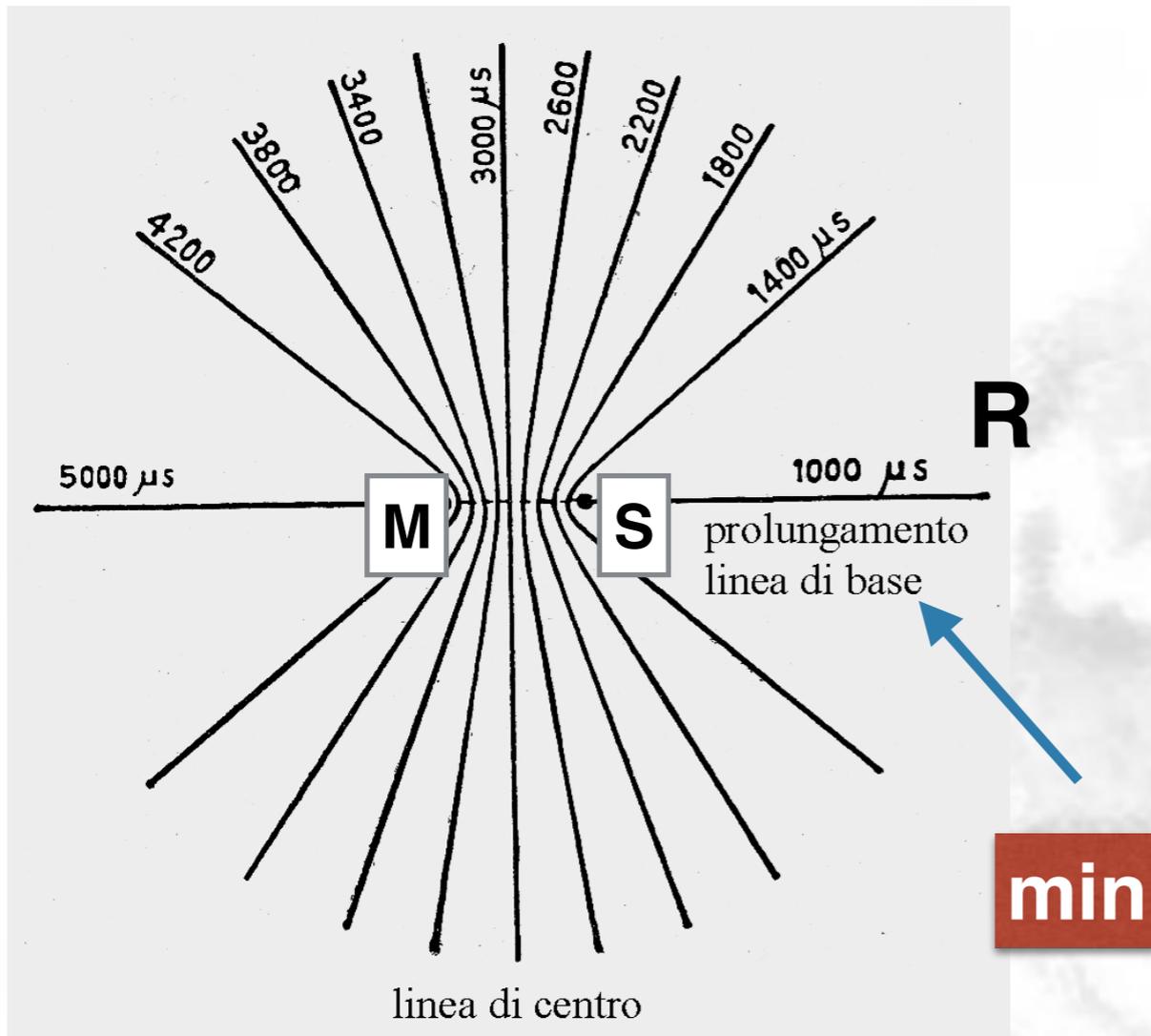
$$TD = (T + \delta + t_S) - t_M$$

**TD (Time Difference)
sempre >0**

min < TD < max



min < TD < max



$$t_M = T + t_S$$

$$\Delta t = (T + \delta + t_S) - t_M$$

$$\Delta t = T + \delta + t_S - (T + t_S)$$

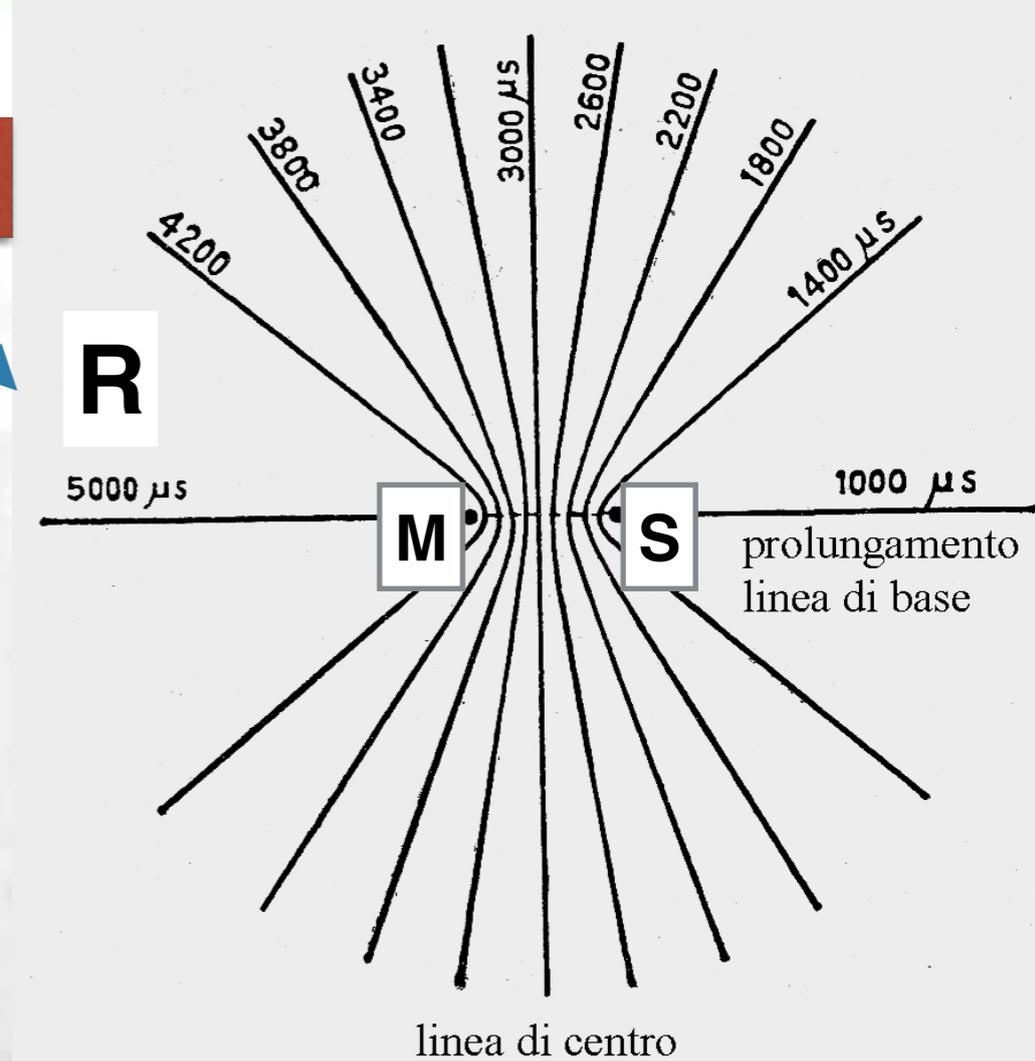
$$\Delta t = \delta$$

min < TD < max

max

$$t_M = t_S - T$$

$$\Delta t = (T + \delta + t_S) - t_M$$



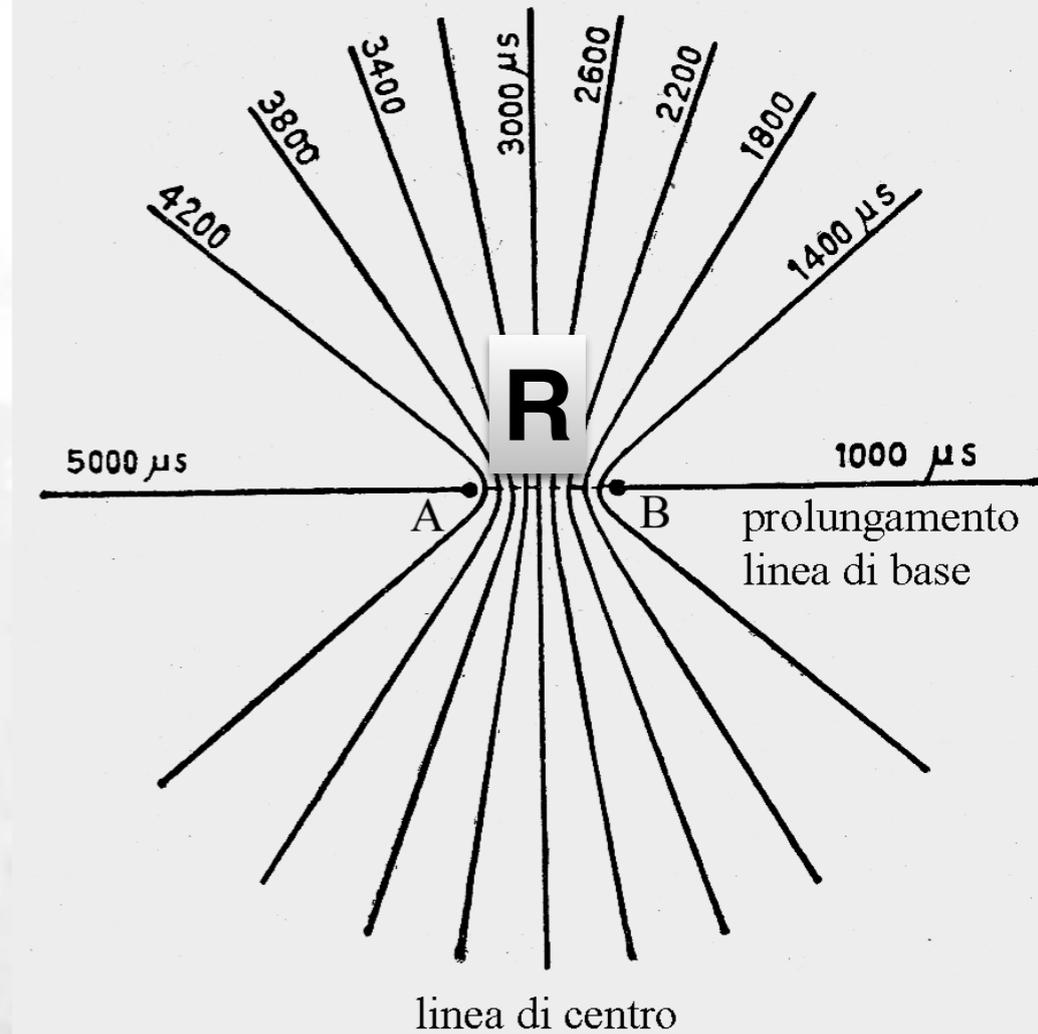
$$\Delta t = T + \delta + t_S - (t_S - T) = 2T + \delta$$

Linea di Centro

$$t_M = t_S$$

$$\Delta t = (T + \delta + t_S) - t_M$$

$$\Delta t = T + \delta + t_S - t_S = T + \delta$$

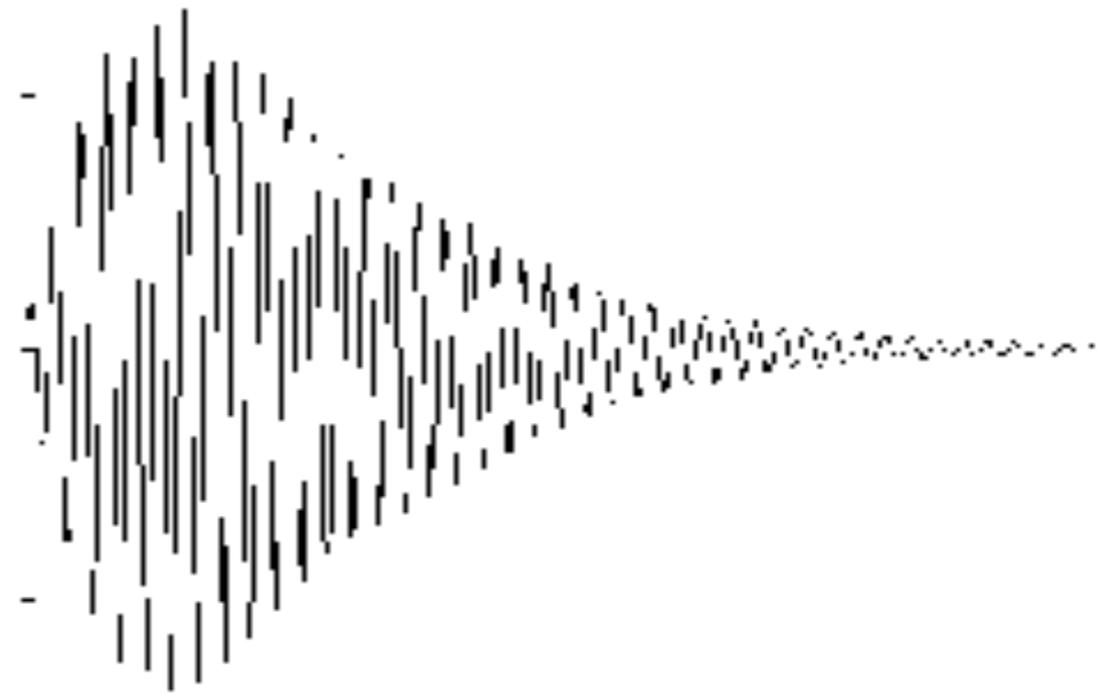
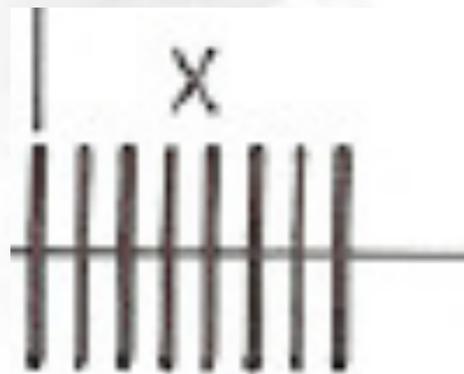




IL SEGNALE DELLA CATENA LORAN

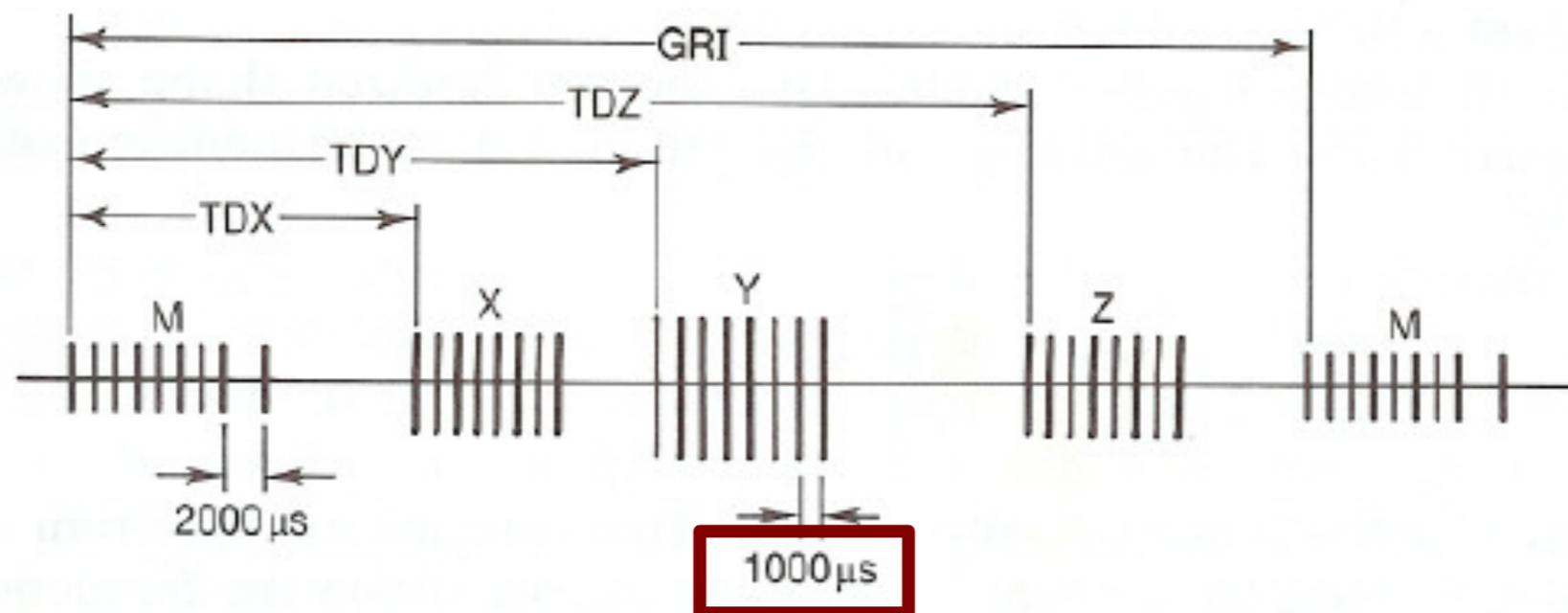
LORAN C

- ✈ Ogni stazione, iniziando dalla Master, trasmette una serie di impulsi con l'andamento di figura
- ✈ Onde di breve durata (quasi impulsi) e modulate



Le stazioni delle catene Loran-C trasmettono tutte su **una frequenza portante** di 100KHz ma ogni catena si caratterizza per **differenti intervalli di trasmissione (TDX, TDY, TDZ)**;

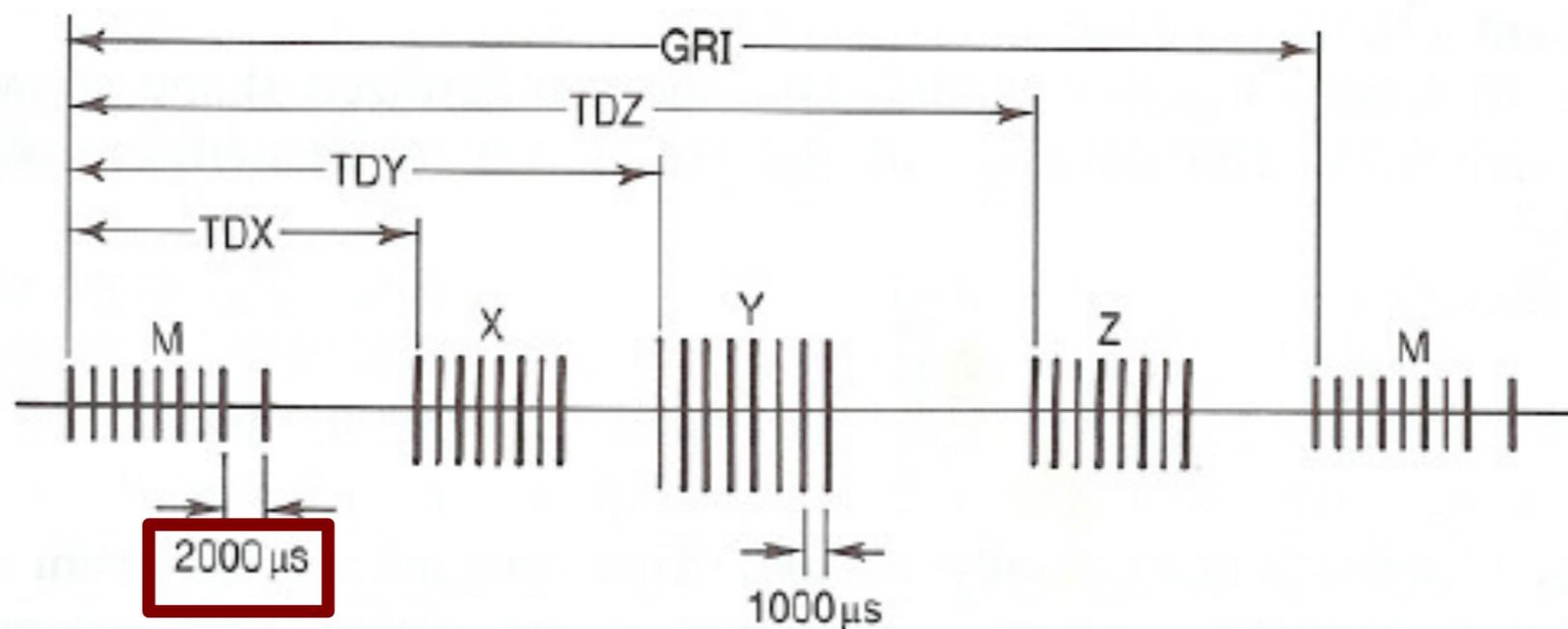
I segnali, di ogni stazione trasmittente, sono costituiti da gruppi di impulsi, **otto per ogni gruppo** distanziati di 1 ms (1000 μ s) fra loro nel gruppo.



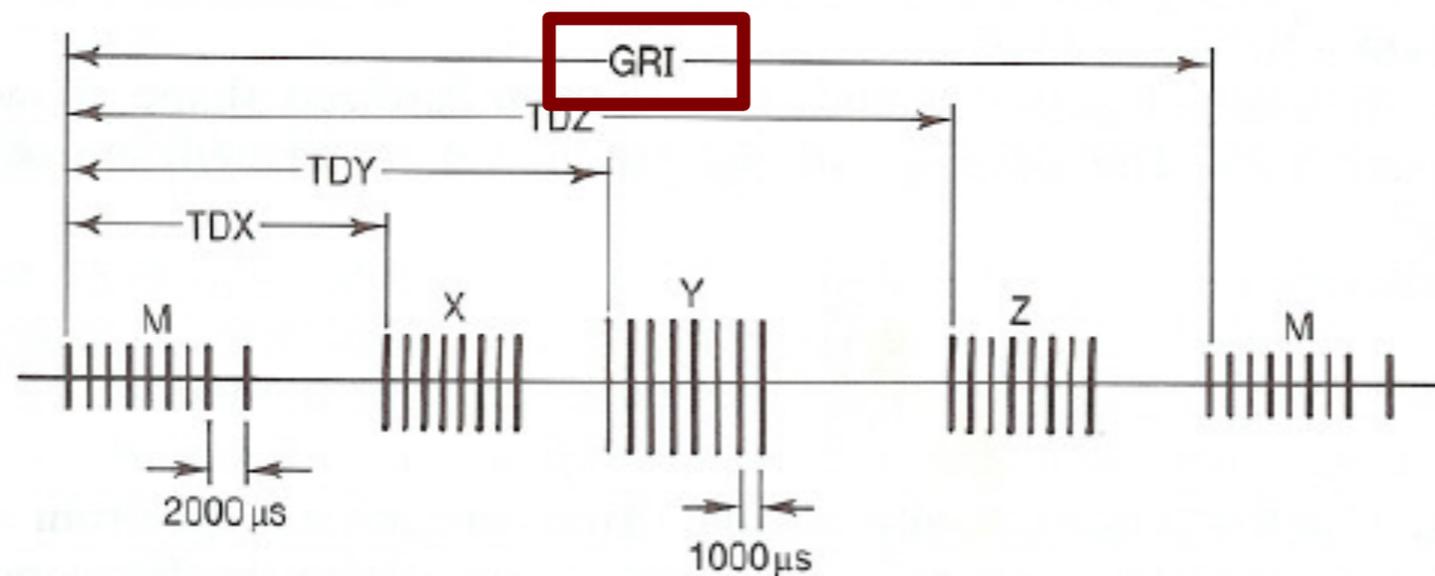
La stazione Master trasmette un **nono impulso** distanziato 2 ms (2000 μ s)

Il nono impulso esiste principalmente per motivi storici dato che esso era **usato per identificare il segnale della Master, nel Loran-A,**

ma la sua funzione è quella di trasferire ai ricevitori Loran-C informazioni **sul mal funzionamento delle Slaves** (primo caso di sistema che forniva informazioni di **integrità**).

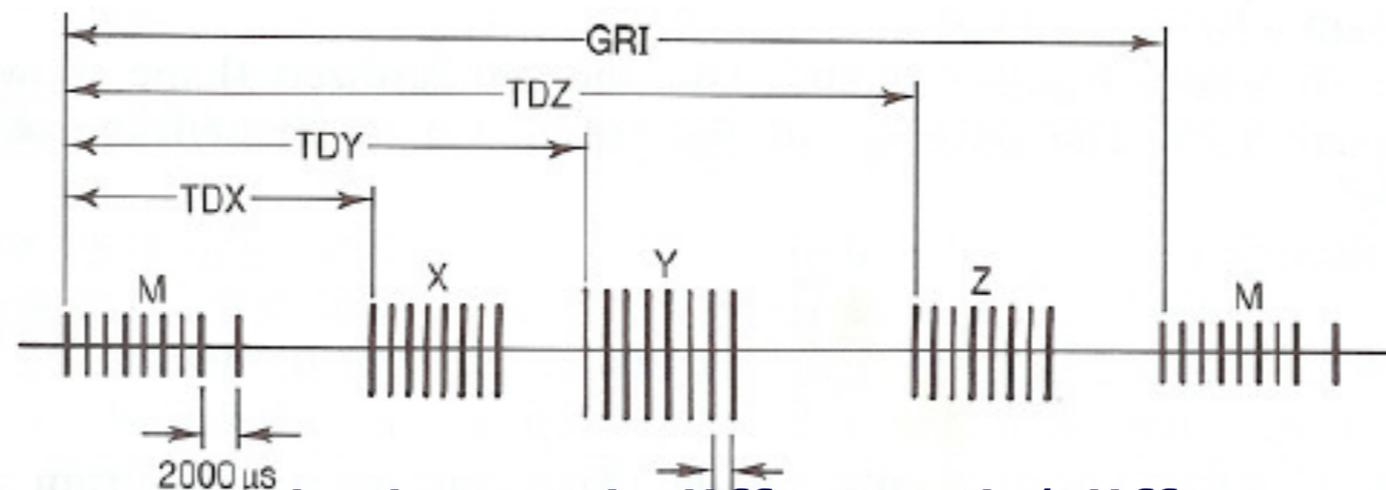


Ogni catena è caratterizzata da un **GRI (Ground Rate Interval)** definito dal **tempo di ripetitività dei gruppi di impulsi**



Tutte le stazione appartenenti alla stessa catena Loran-C utilizzano la stessa frequenza pertanto per essere identificati sono introdotti nel sistema di trasmissione dei segnali **dei ritardi che sono associati alla distanza Master-Slave (Δ)** ed un ritardo specifico per ogni stazione Slave noto come Coding Delay (δ).

Con questa procedura, ogni ricevitore Loran-C riceve in successione la stazione M-Mastre, la X Slave, Y-Slave e Z-Slave come riportato in figura.



Le stazione trasmettono in istanti differenti (differenti **time sharing**, in figura **TDX, TDY, TDZ**)

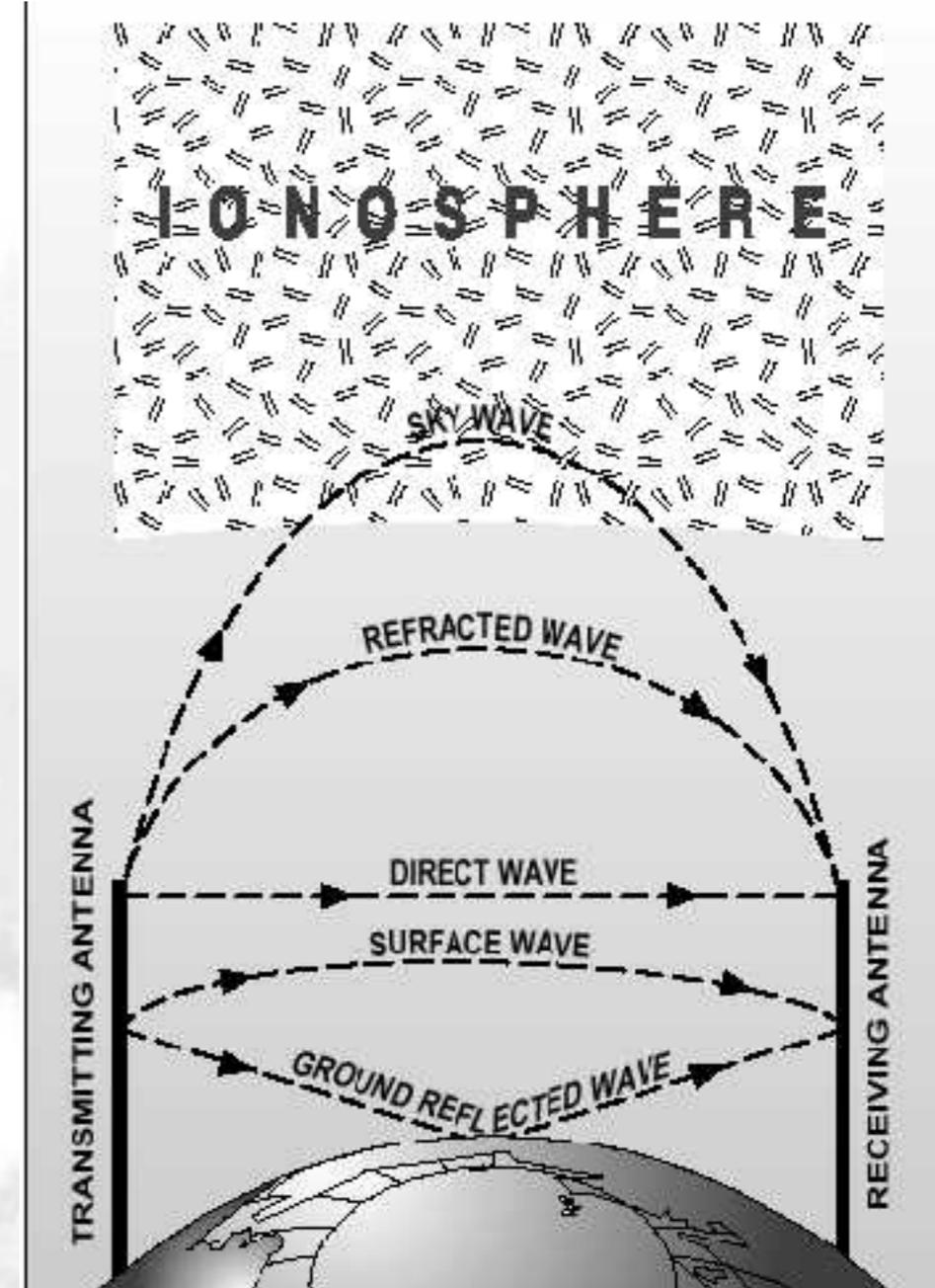


INTERFERENZE DEL LORAN

Sky-waves

Ci sono due modi fondamentali di propagazione: **ground-wave** e le **sky-wave**.

Come si capisce dai rispettivi nomi, le prima viaggiano lungo la superficie della terra, mentre le onde del cielo "rimbalzano" di nuovo a terra.

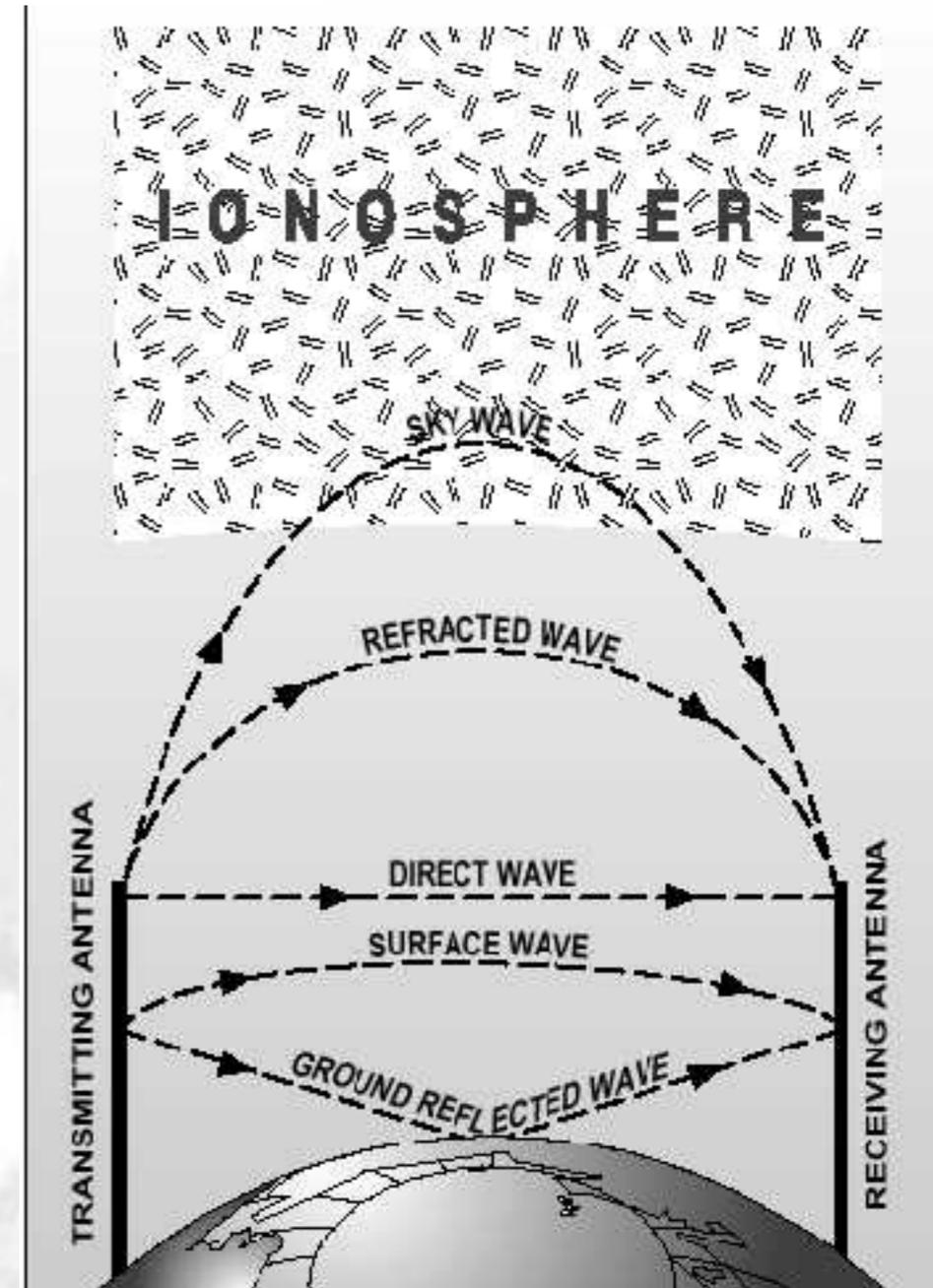


Ground-waves

Le **ground-wave** sono costituiti da **tre componenti**:

1. surface-wave,
2. direct-wave,
3. ground-reflected wave.

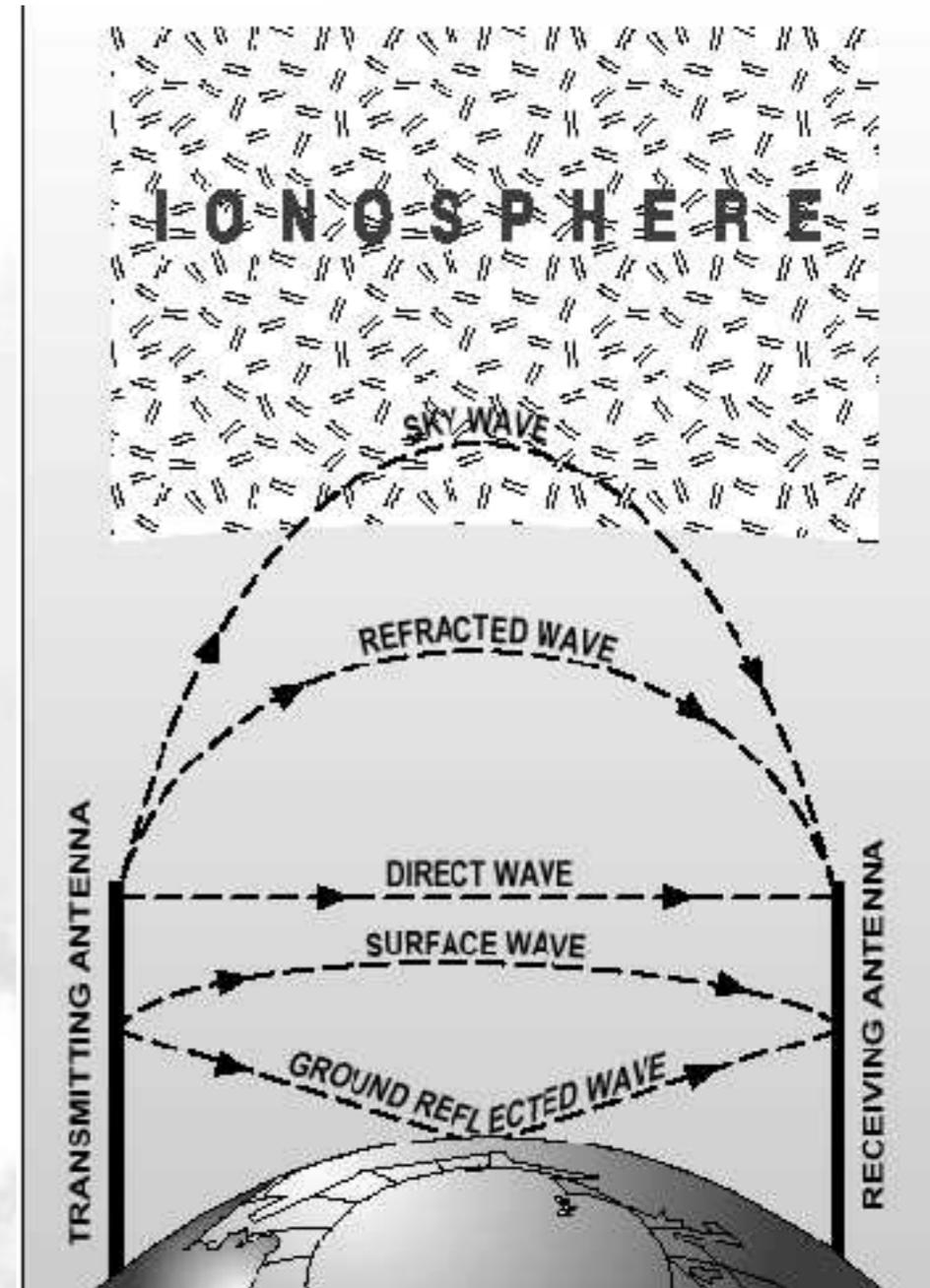
La differenza tra tutte questi tipi di propagazione risiede nel **differente percorso** che il segnale percorre (differenza che può influenzare la **portata** del sistema di trasmissione e la **potenza** del segnale ricevuto).



Sky-waves

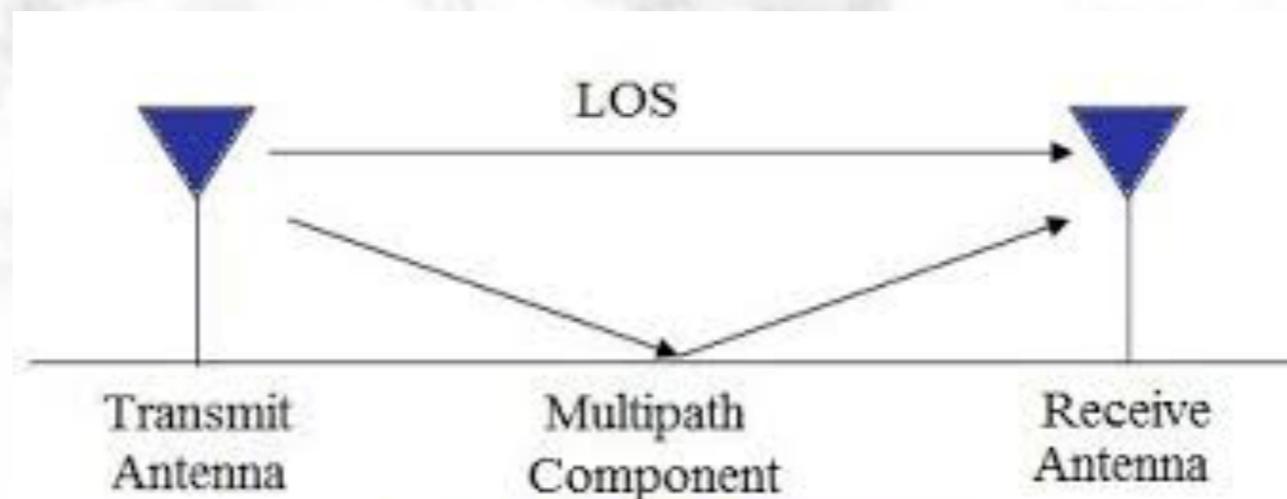
Per sistemi (come in Loran) per i quali la trasmissione del segnale radio è funzionale alla misura di distanza che il segnale percorre si intuisce che le onde che forniscono misure più accurate sono le **direct wave**.

Le **Sky-Wave** invece sono quelle associate al percorso che più si discosta dalla minima distanza tra trasmettitore-ricevitore.



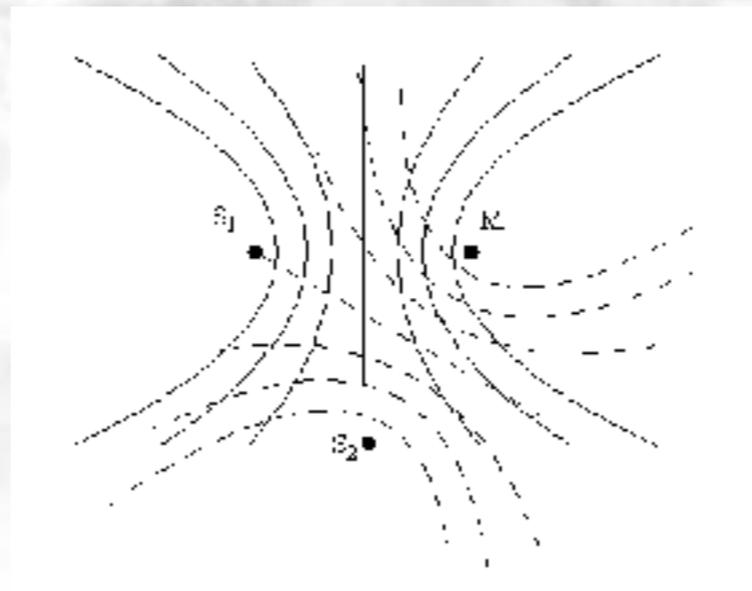
Le interferenze interne al sistema (sovrapposizioni tra segnali provenienti da stazioni della stessa catena):

- ✈ L'interferenza prodotta dalla riflessione ionosferica (**sky-waves**).
- ✈ Le riflessioni multiple, segnali che hanno subito riflessioni dalle superfici che si trovano intorno all'antenna del ricevitore (**multi-path**).



Il Ricevitore Loran-C

- ✈ Il ricevitore ha la funzione **di effettuare la misura** alla quale associamo il luogo di posizione iperbolico.
- ✈ Pertanto deve misurare la differenza di distanza tra Ricevitore-Master e Ricevitore-Slave.
- ✈ Al fine di individuare la posizione **almeno** due luoghi di posizione devono intersecarsi.



✈ Per raggiungere tale scopo il ricevitore deve avere un data base contenente :

1. la **posizione di tutte le componenti della catena Loran;**
2. **l'intervallo di cadenza (GRI)** delle catene da usare;
3. **I Code Delay (δ)** delle stazioni slave

✈ Le operazioni che fa il ricevitore sono:

- a. **Ricerca il gruppo di impulsi** della Master, operazione possibile grazie la conoscenza della GRI e relativo aggancio (PLL - Phase Locked Loops)
- b. **Agganciare il gruppo di impulsi** provenienti dalle slaves.

- d. Misurare** l'intervallo temporale di propagazione delle onde provenienti dalla Master e dalle slaves, sottraendo i rispettivi code delays
- e. Calcolare** le distanze (ricevitore-Master/Slaves) e quindi individuare la posizione.

Mentre queste ultime due operazioni sono di facile comprensione, avendo già studiato i luoghi di posizione iperbolici, **concentriamoci sulle prime due operazioni.**

Ricerca (Tracking)

La sintonizzazione dei ricevitori ad una catena Loran-C si basa sul GRI.

- ✈ Per prima è identificato il segnale della Master;
- ✈ Un **oscillatore interno** al ricevitore genera repliche di impulsi interne al ricevitore con GRI variabili
- ✈ Quando i gruppi ricevuti della master e quelli generati dal ricevitore si sovrappongono completamente il GRI del ricevitore si adatta a quello della catena e i treni di impulsi **sono agganciati**

Agganciamento / Locking

- ✈ La sovrapposizione è effettuata confrontando le fasi del segnale ricevuto e di quello generato internamente al ricevitore (PLL - Phase Locked Loops).
- ✈ Con la stessa tecnica **si agganciano le slave.**

Misura

- A sistema agganciato si passa alla generazione della misura.
- ricevitore misura la **differenza di tempo (TD)** dei **tempi di arrivo** del segnale della master e delle stazione Slaves.
- Questa differenza, in prima fase, è fatta con una accuratezza di $\pm 50\mu s$
- Successivamente la differenza di tempo è misurata con più accuratezza ($30\mu s$) confrontando **le fasi dei segnali**

Integrità del Sistema Loran-C

- ✈ **Stazioni di monitoraggio** sono installate in prossimità della catena Loran.
- ✈ Queste hanno il compito di **monitorare tempo di trasmissione** e comunicare eventuali anomalie collegate al differenti **condizioni di propagazione**.
- ✈ Se un errore eccessivo è individuato allora viene comunicato alla stazione di monitoraggio che tramite il **nono impulso** segnale all'utenza il malfunzionamento del sistema (**integrità**)



LA PRECISIONE DEL LORAN

Incertezza dei LoP associati a TD (Iperbole sferica)

Dall'analisi condotta sul gradiente ∇L dell'equazione di tale LoP, si ha:

Incertezza Iperbole Sferica

$$\delta s = \pm \frac{1}{2} \operatorname{cosec} \frac{\Delta Z}{2} \delta \Delta d$$

$$e = \frac{1}{2} k x \operatorname{cosec} \frac{\psi}{2}$$

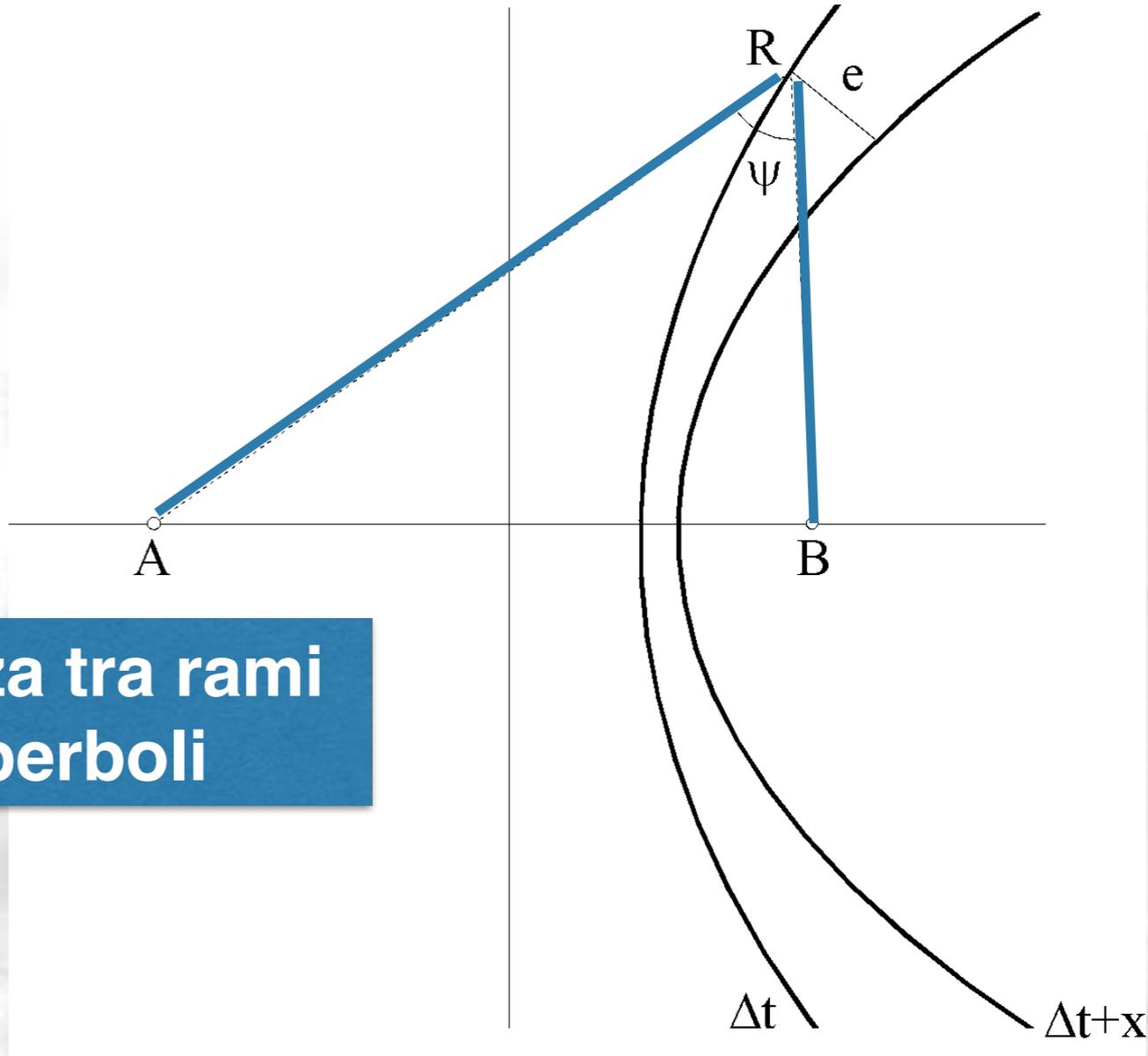
$$\delta s = e$$

$$\Delta Z = \Psi$$

$$\delta \Delta d = kx$$

Posto:

Distanza tra rami di iperboli



- x , la differenza di misura di tempo tra le due iperboli espressa in microsecondi
- Ψ , angolo sotto cui vengono sottese le due stazioni
- k , costante per conversione in miglia pari a 0,162

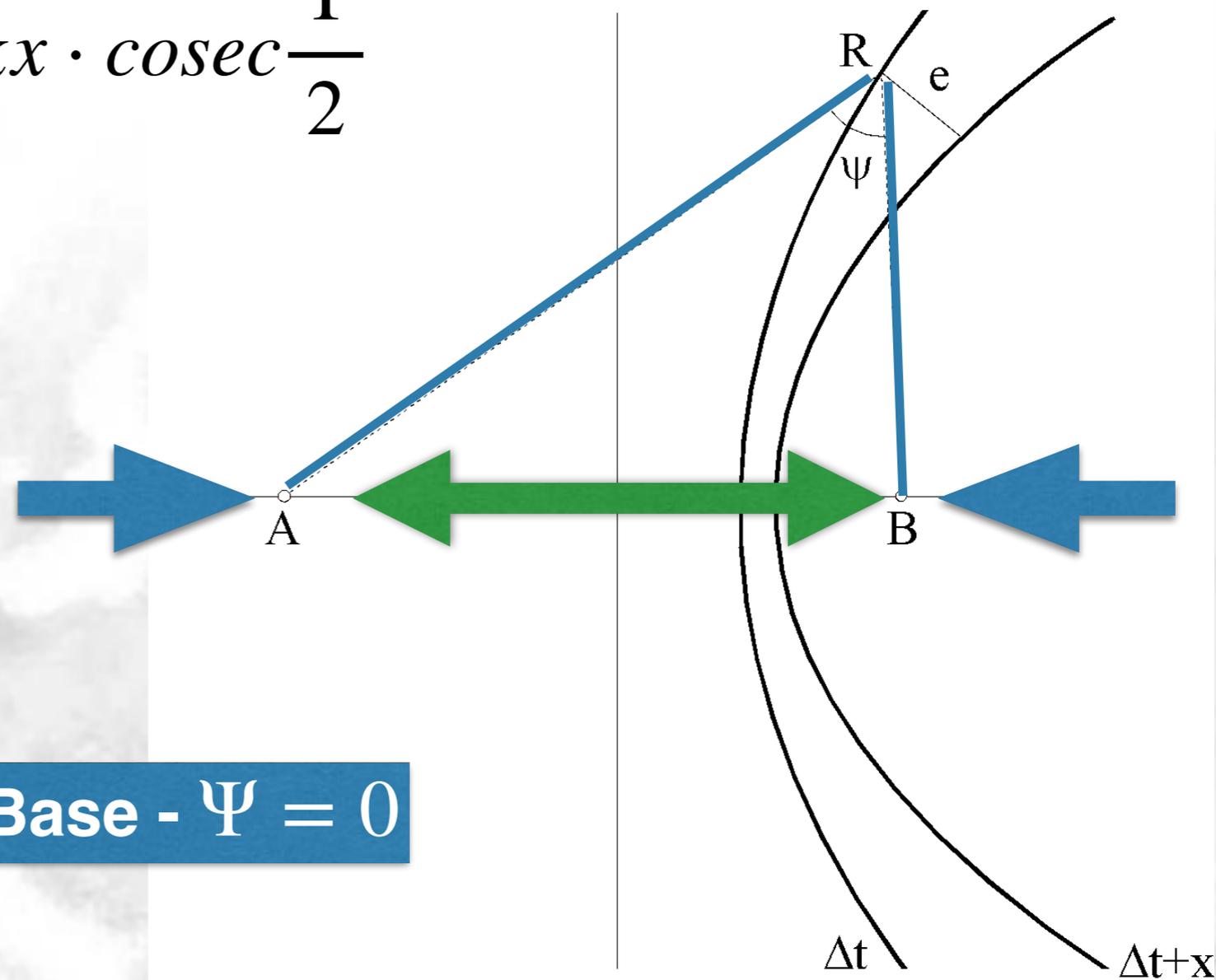
$$e = \frac{1}{2} kx \cdot \operatorname{cosec} \frac{\Psi}{2}$$

Sulla Linea di Base - $\Psi = \pi$

$$e = 0,081 x$$

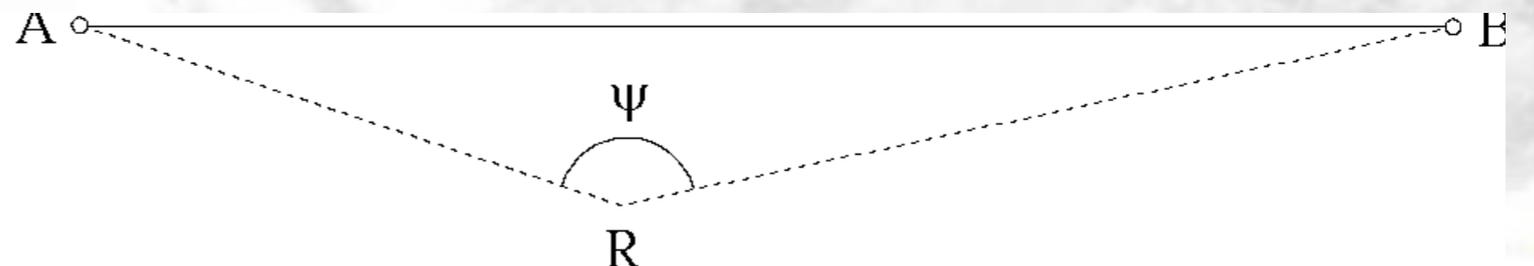
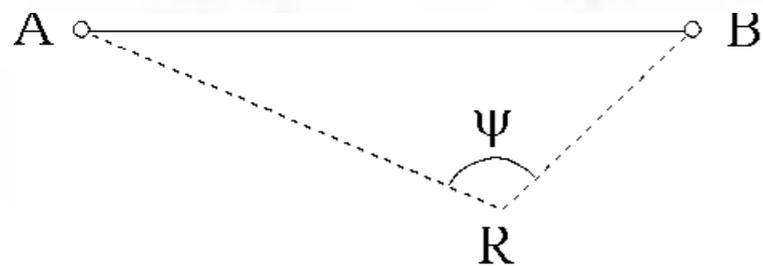
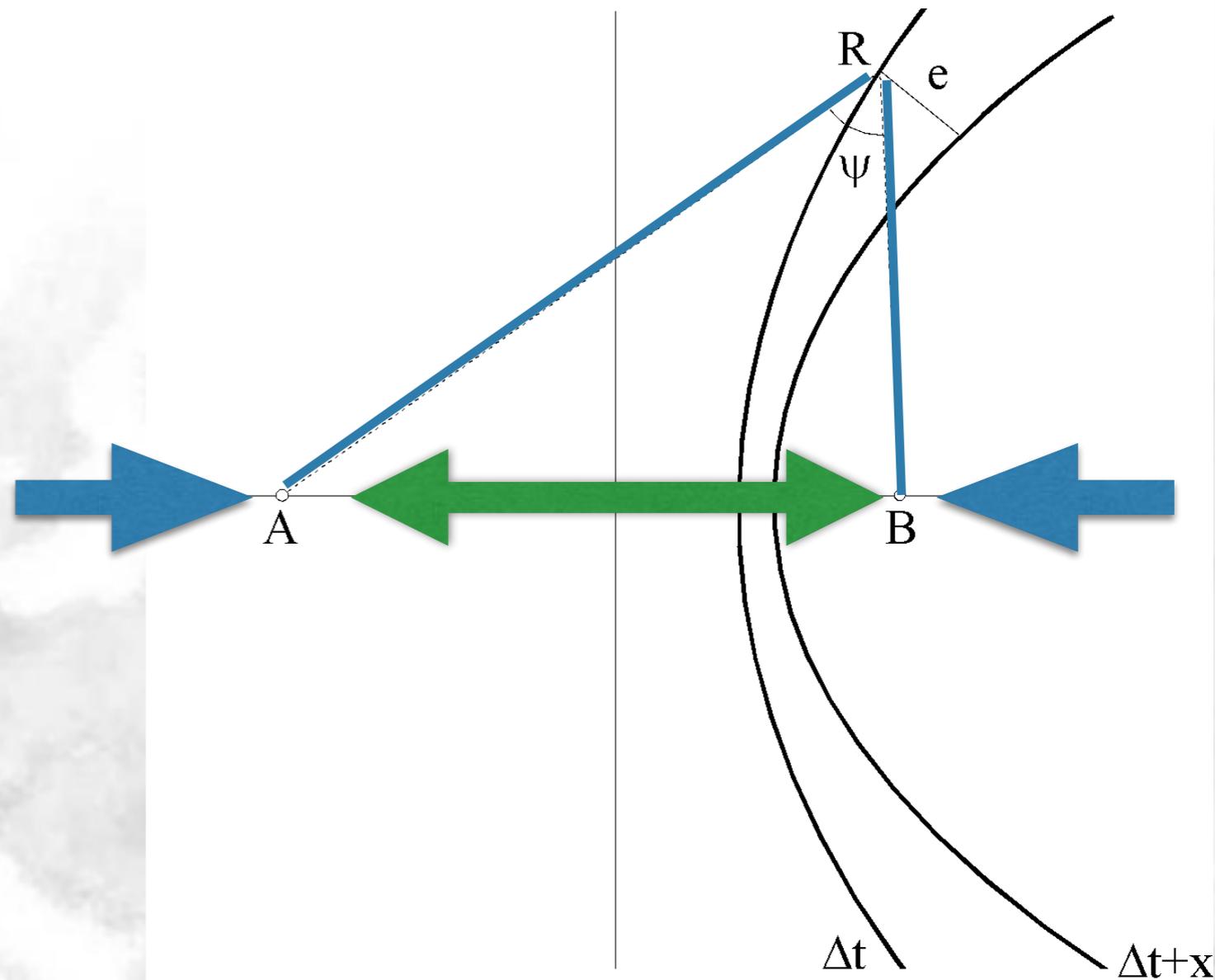
Sul Prolungamento Linea di Base - $\Psi = 0$

$$e \rightarrow \infty$$



A Parità di x

$$e = \frac{1}{2} k x \operatorname{cosec} \frac{\psi}{2}$$

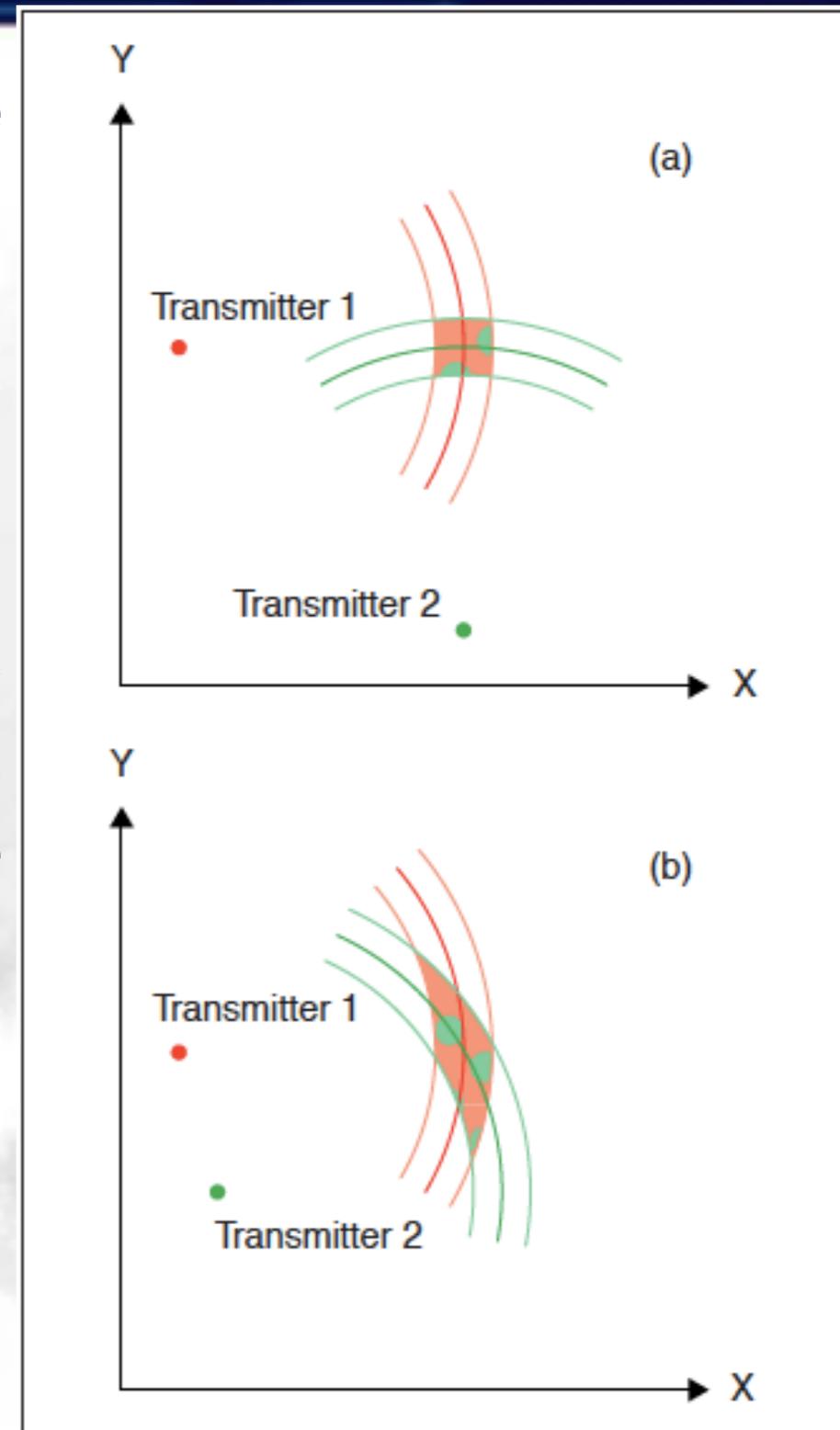


→ L'accuratezza del sistema dipende dalle fonti di errore (passaggio su superfici con diverse caratteristiche di propagazione es. terra-acqua, variazioni della potenza del segnale)

→ L'accuratezza dipende dalla geometria (**Dilution of Precision DOP**) della catena (così come per il GPS) tra errore sulla posizione (σ_{pos}) ed errore sulla misura (σ_{mis}) esiste la relazione:

$$\sigma_{pos} = DOP \cdot \sigma_{mis}$$

L'accuratezza nominale del sistema è di 0.1 a 0.25 NM

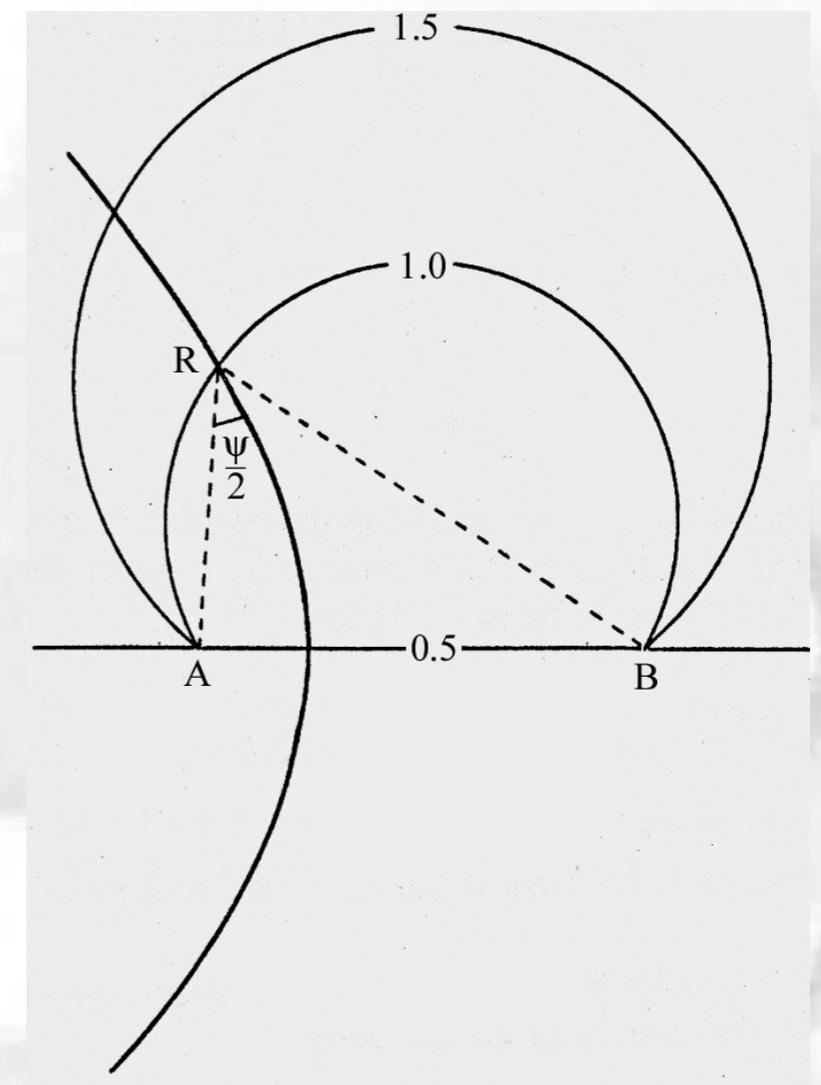


L'errore sulla posizione

$$e = \frac{1}{2} k x \operatorname{cosec} \frac{\psi}{2}$$

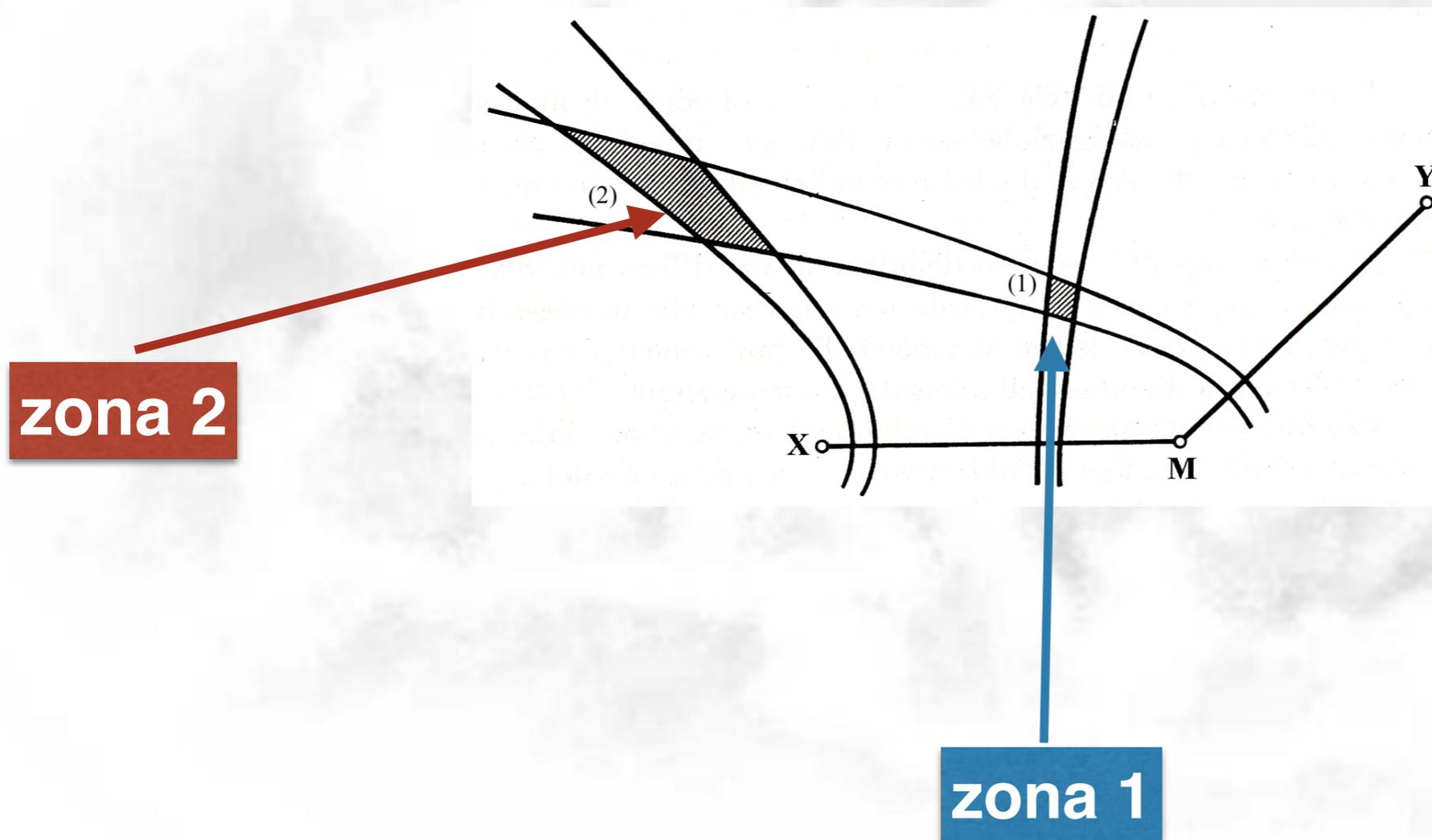
Fattore di Precisione - GDOP

$$F = e / kx = \frac{1}{2} \operatorname{cosec} \frac{\psi}{2}$$

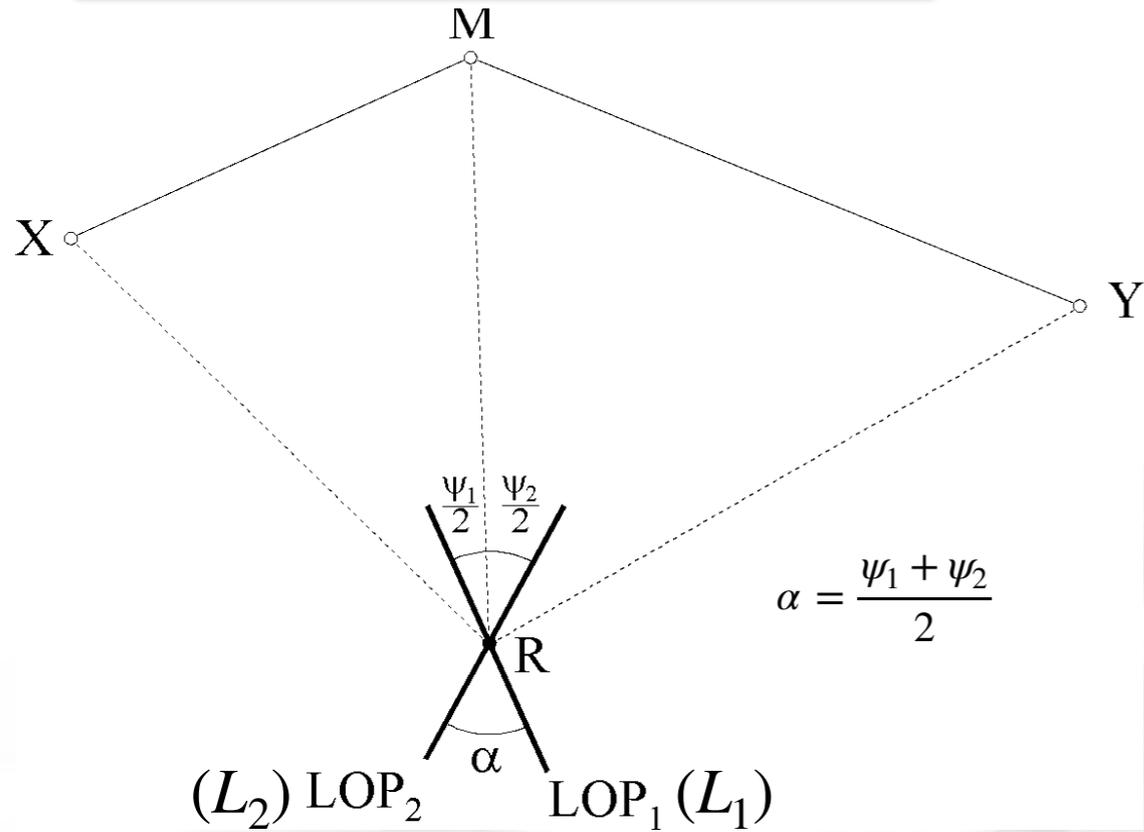


Intersezione di due luoghi di posizione

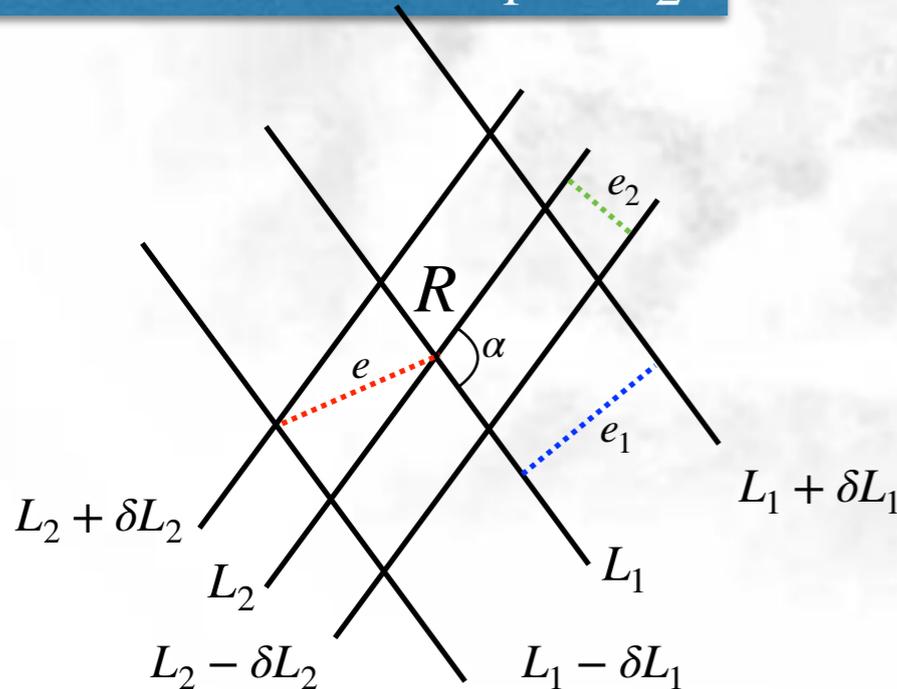
A parità di errore sulla misura (kx) avremo un'incertezza sul Fix maggiore nella Zona 2 rispetto alla Zona 1



In assenza di errori sul LoP



Caso di errori $e_1 \neq e_2$

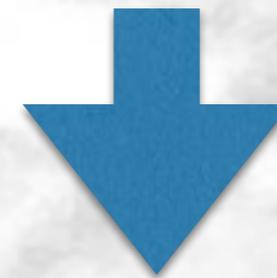


Calcoliamo e (vd. dispensa 35_C03_A07_3)

$$e = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2e_1e_2 \cos \alpha}$$



$$e = \frac{kx}{2 \sin \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}} \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \frac{\psi_1}{2}} + \frac{1}{\sin^2 \frac{\psi_2}{2}} + \frac{2 \cos \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}}{\sin \frac{\psi_1}{2} \sin \frac{\psi_2}{2}}}$$



$$GDOP = \frac{1}{2 \sin \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}} \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \frac{\psi_1}{2}} + \frac{1}{\sin^2 \frac{\psi_2}{2}} + \frac{2 \cos \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}}{\sin \frac{\psi_1}{2} \sin \frac{\psi_2}{2}}}$$

Bibliografia

Cap. 4 di “Sistemi di Navigazione Aerea a Lungo Raggio”, V. Nastro – G. Messina, Hoepli, 2003



Le catene Loran-C

Stato del sistema nel 1997

US EAST COAST CHAIN 1957 – 1965

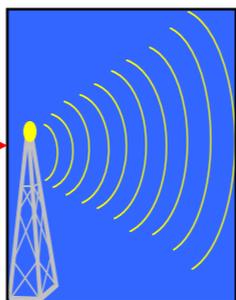
S-0/1957 – 1962

SL-0/1962 - 1965

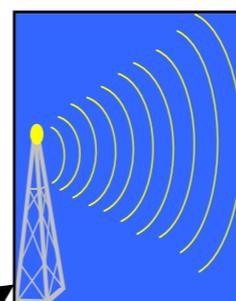
MARTHA'S VINEYARD

41 20N – 70 49W

1957 - 1962



Y



Y

NANTUCKET

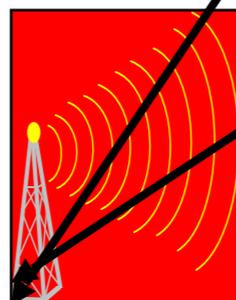
1962 - Present

41 15 11.93N

69 58 38.76W

Replaced Martha's Vineyard

CHAIN CODE NAME: CLOSE



M

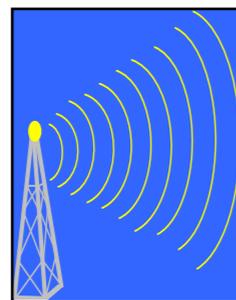
CAROLINA BEACH

1957 - Present

34 03 46.36N

77 54 46.19W

X



JUPITER INLET

1957 - Present

27 01 59.09N

80 06 52.92W

Station relocated approx 2 miles north 1962

First Proven Loran System
Status "Experimental" until 1962
"Operational" 1962