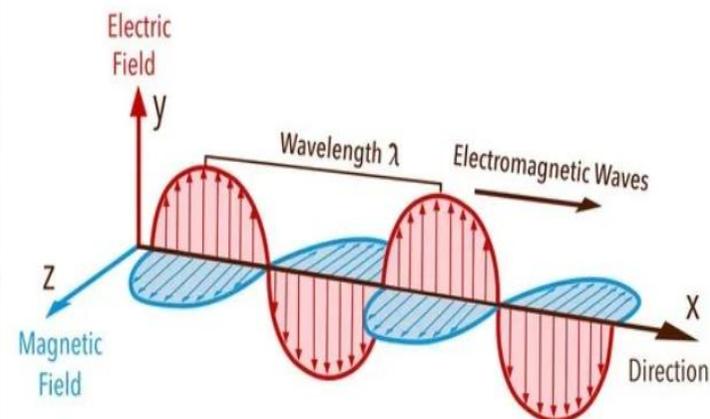


Calcolo
Attenuazione Spazio
Libero
Libero
e calcolo Potenza
Ricevuta
per collegamenti in
VHF
e freq. superiori

by IW1FRD



Electromagnetic Waves



Spettro Onde Elettromagnetiche

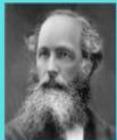
DENOMINAZIONE	SIGLA	DA	A	LUNGHEZZA D'ONDA	USI
<ul style="list-style-type: none"> • Extremely Low Freq • Ultra Low Frequency 	ELF ULF	30 Hz 300 Hz	300 Hz 3000 Hz	oltre i 1000 Km da 1000 Km a 100 Km	Trasmissioni con sommergibili (76 Hz) Fonia
Very Low Frequency	VLF	3KHz	30KHz	da 100 Km a 10 Km	Trasmissioni militari e nuovi metodi di Tx a 100 bit/s
Low Frequency	LF	30 KHz	300 KHz	Lunghe - da 10 Km a 1 Km	Trasmissioni della Marina ; Tempo sicr orologi radiocontrollati DCF77(77,5KHz - 50KW Francoforte)
Medium Frequency	MF	300 KHz	3 MHz	Medie - da 1000 m a 100 m	Radio AM - Sistemi Aeroportuali - ARVA radiolocalizzazione 457KHz- Ham da 1830 a 1850 KHz
High Frequency	HF	3 MHz	30MHz	Corte da 100 m a 10 m	Radio OC Broadcasting - Militari - Ham - Meteo fax
Very High Frequency	VHF	30 MHz	300 MHz	Cortissime da 10 m a 1 m	Radio FM- DAB+- Radioamatori -Civili
Ultra High Frequency	UHF	300 MHz	3 GHz	Ultracorte da 1 m a 10 cm	Radioamatori - TV - Gestori Telefonici
Super	SHF	3 GHz	30 GHz	Supercorte da 10 cm a 1 cm	Radar - Satelliti - Ponti Radio GPS
Extra	EHF	30GHz	300 GHz	Extra corte da 1 cm a 1mm	Radar - Satelliti - Sonde spaziali

INFRAROSSI (micrometri); BANDA DEL VISIBILE (760 nm a 390 nm); ULTRAVIOLETTI (UVA-UVB-UVC = nanometri); Raggi X e Raggi Gamma (picometri); Raggi Cosmici

Propagazione delle Onde Elettromagnetiche

Cenni storici

- 1785-COULOMB_Fondatore della teoria matematica dell'elettricità e magnetismo- attrazione e repulsione tra cariche elettriche e poli magnetici
- 1820-AMPERE_Formulazione matematica della legge fondamentale dell'elettrodinamica-Legame tra effetti elettrici e magnetici di fili percorsi da corrente elettrica
- 1820-OERSTED_Studio sull'elettromagnetismo - filo percorso da corrente varia direzione ago magnetico
- 1830-GAUSS_Matematico. Studio sul magnetismo terrestre e invenzione del magnetometro
- 1831- FARADAY_studio dell'elettromagnetismo. Invenzione di gabbia di Faraday e la Dinamo. Studio induzione elettromagnetica



- 1865 James Clerk Maxwell. Matematico. Elaborò teoria moderna sull'elettromagnetismo unificando in 4 equazioni i lavori di Faraday e Ampère e altri scienziati. Esse descrivono il campo elettrico, magnetico e relative circuitazioni e ipotizzò l'onda E.M.

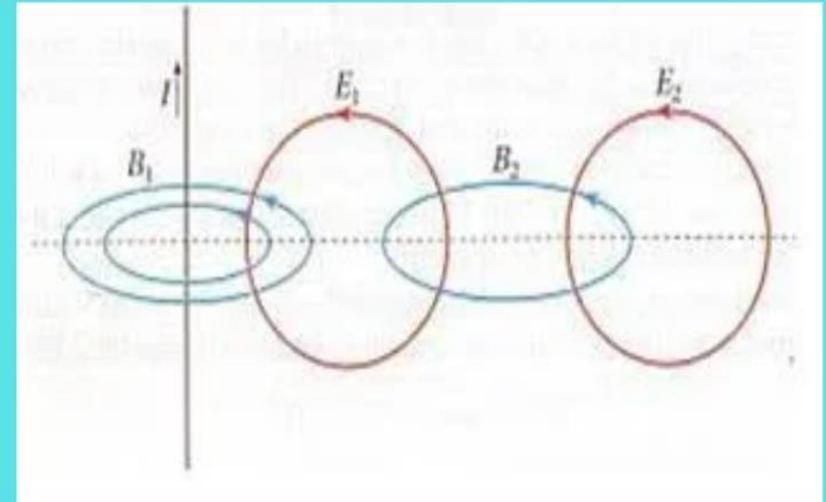
- 1884- ONESTI/LODGE invenzione del coesore (COHERER) strumento fisico per la rivelazione di Onde E.M.



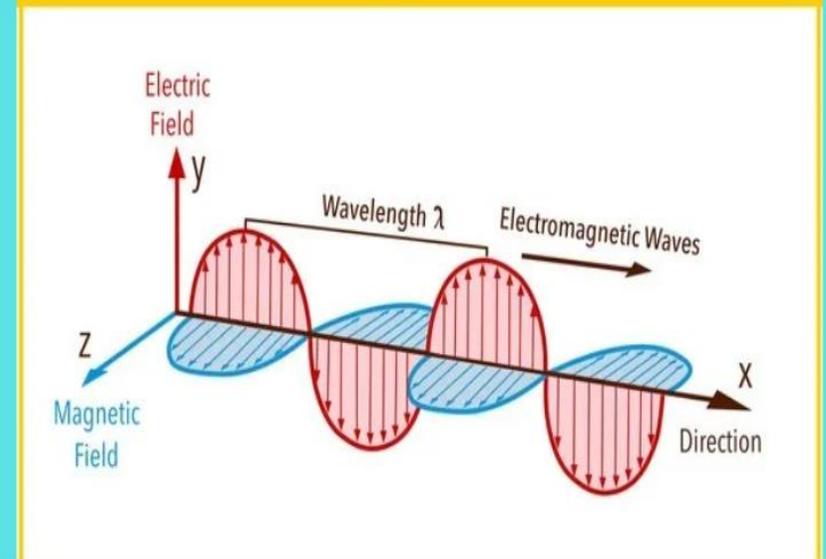
- 1888 Heinrich Hertz Dimostrazione sperimentale dell'esistenza delle Onde E.M. previste teoricamente da Maxwell. Dipolo Hertziano.



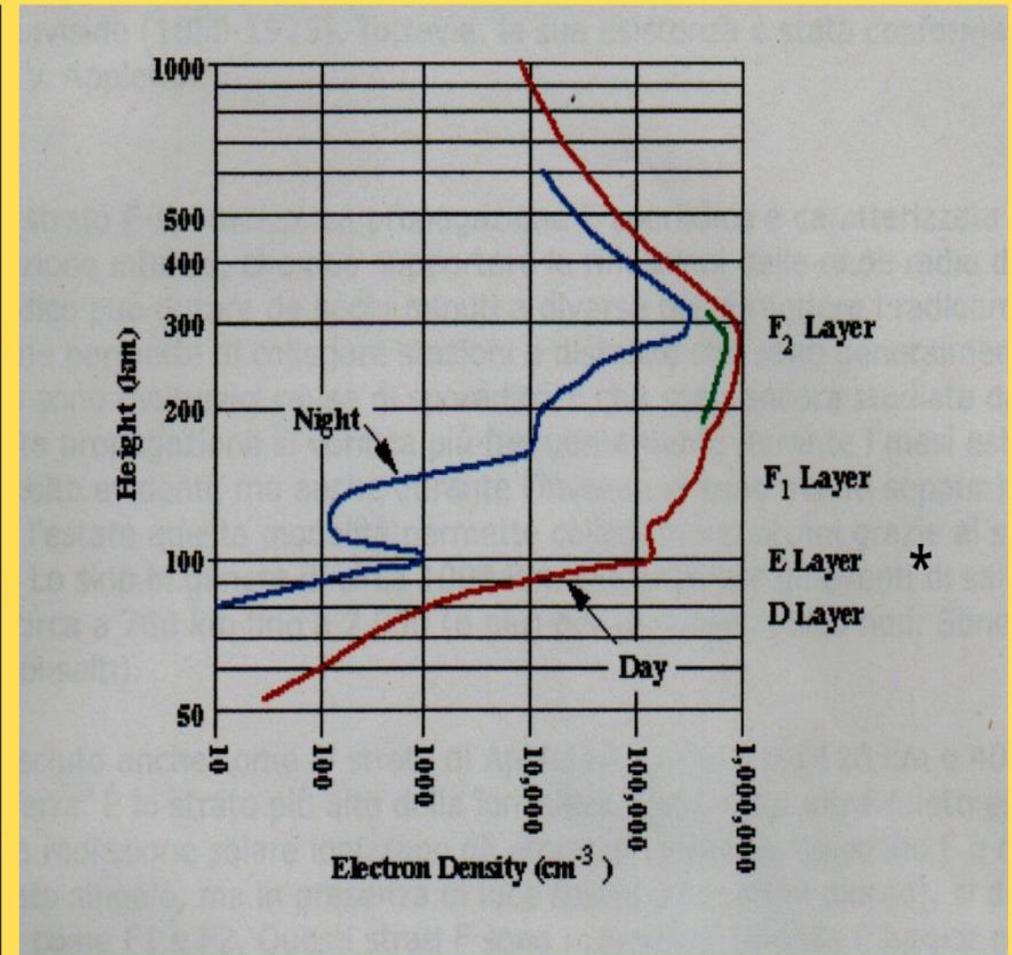
- 1895 G. Marconi - Prima trasmissione a circa 2 Km. Nel 1896 Brevetto per Invenzione di un Sistema di telegrafia senza fili.
- 1898 Trasmissione a circa 100 Km
- 12/12/1901 Trasmissione attraverso l'Atlantico....ecc ecc



Electromagnetic Waves



IONOSFERA	da 85 a oltre 600 Km di altezza	Effetto della radiazione solare (UV) provoca forte ionizzazione e ricombinazione formando strati E-F1 e F2 + Aurora Boreale
MESOSFERA	da 45 a 85 Km	Composizione dell'aria sempre più rarefatta. - Formazione strato D
STRATOSFERA	da 12 a 45 Km	Composizione dell'aria più sottile. La radiazione solare è in grado di dissociare le molecole di ossigeno che ricombinandosi forma l'Ozono(O3)
TROPOSFERA	da 0 a 12 Km	Regione dove c'è il 90% di atmosfera terrestre e il 99% di vapore acqueo-ambiente metereologico



*) Lo strato E è tra i 90 e i 120 Km- La ionizzazione delle molecole di ossigeno è dovuta ai raggi X (1%10 nanometri) e ai raggi UV. Questo strato normalmente riflette frequenze al di sotto di 10 MHz ma in alcuni casi particolarmente intensi riflette frequenze da 25 a 225 MHz. Periodo ottimale estate ma anche talvolta in inverno. L' E sporadico può durare da pochi minuti a diverse ore.

Collegamento radio VHF-UHF-SHF



$$PRx(B) = PTx(A) - AttFeeder(A) + G Ant(A) - Att Sp.Lib. + G Ant(B) - AttFeeder(B)$$

$$PRx(B) = EIRP(A) - Att Sp.Lib. + G Ant(B) - AttFeeder(B)$$

EIRP = potenza isotropica irradiata equivalente

“potenza che dovrebbe essere irradiata da un'antenna isotropica ipotetica per ottenere lo stesso livello di segnale nella direzione di radiazione massima di un'antenna”.

Definizione:

- Antenna ISOTROPICA: Elemento radiante che irradia energia costante e in tutte le direzioni
- Antenna DIRETTIVA: Elemento radiante che si limita a concentrare l'energia in una direzione preferenziale

Formula per calcolo Attenuazione Spazio Libero

$$Asl = \left(\frac{4 * P_{greco} * D}{\text{Lambda}} \right)^2 \quad \text{====>} \quad Asl = \left(\frac{4 * P_{greco} * D * F}{c} \right)^2$$

$$Asl(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{4 * P_{greco} * D(\text{m})}{\text{Lambda}(\text{m})} \right)^2 \quad \text{====>} \quad Asl(\text{dB}) = 20 \log \frac{4 * P_{greco} * D(\text{m})}{\text{Lambda}(\text{m})}$$

dove D è la distanza tra le antenne e Lambda è la lunghezza d'onda

=====

esempio: Frequenza 145 MHz (lambda=2,068 mt) - D= 50 Km (50000 mt)

$$Asl(\text{dB}) = 20 \log (4 * P_{greco} * 50000) / 2,068 = 20 \log 303675,048 =$$

$$Asl(\text{dB}) = 109.64 \text{ dB} \quad \Rightarrow \text{Attenuazione spazio libero (vedi Tab 3 Manuale Telettra)}$$

=====

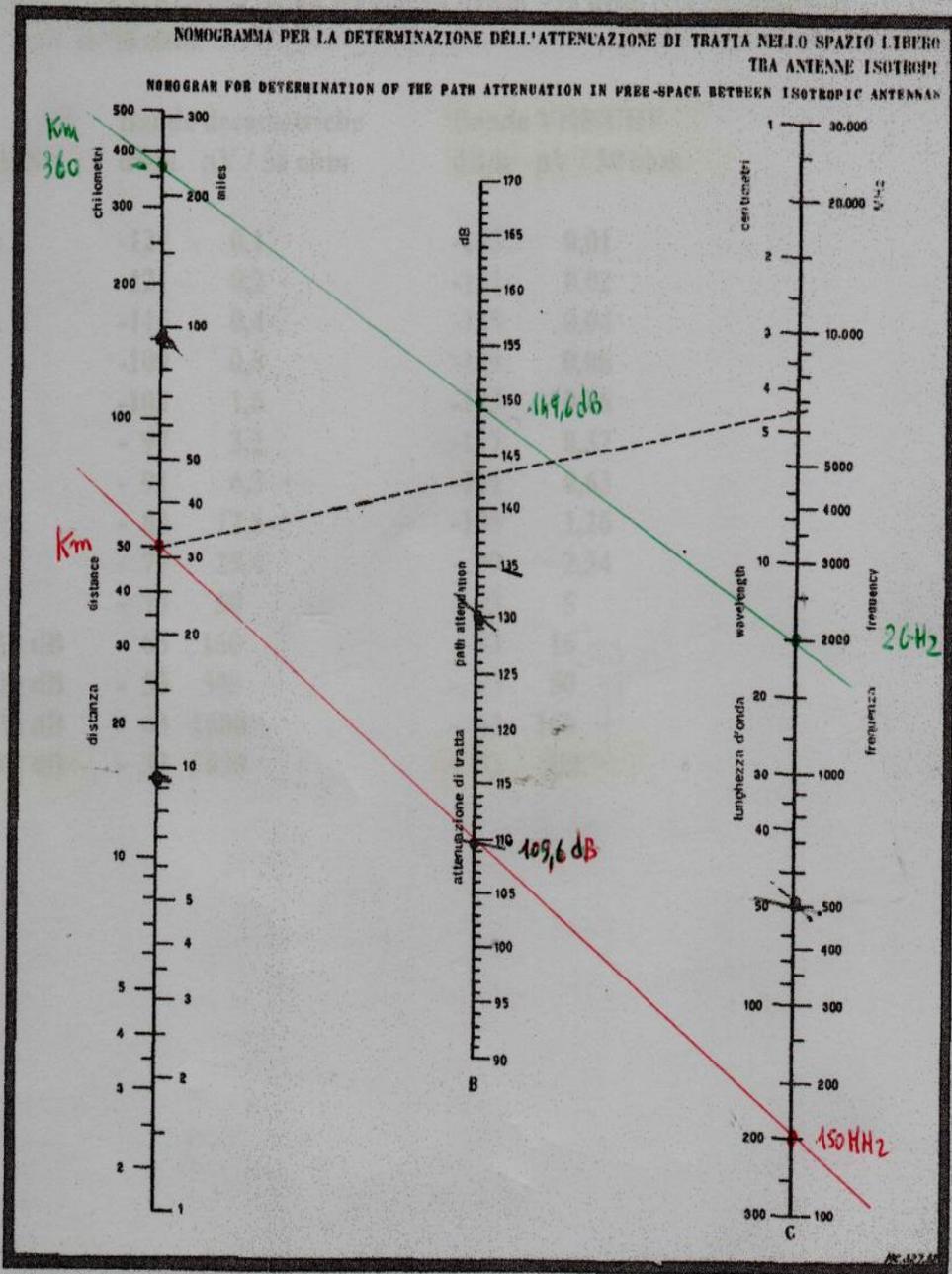
Altro modo per calcolare l'Asl: **$Asl(\text{dB}) = 32,46 + 20 \log D(\text{Km}) + 20 \log F(\text{MHz})$**

Oppure... **$Asl(\text{dB}) = 122 + 20 \log D(\text{Km}) - 20 \log \text{Lambda}(\text{cm})$**

esempio: Frequenza 2 GHz (2000 MHz) (lambda=0,015 mt= 15 cm) - D= 360 Km

$$Asl(\text{dB}) = 122 + 20 \log 360 - 20 \log 15 \quad \Rightarrow \quad 122 + 51,12 - 23,52 = 149,6 \text{ dB}$$

$$Asl(\text{dB}) = 149.6 \text{ dB} \quad \Rightarrow \text{Attenuazione spazio libero (vedi Tab 3 Manuale Telettra)}$$



calcolo potenza ricevuta:

$$PRX(B) = PTx(A) - AttFeeder(A) + G Ant(A) - Att Sp.Lib. + G Ant(B) - AttFeeder(B)$$

- a) $PTx(A) = 100W (+50dBm)$ -
- b) $Attenuazione\ dei\ Feeder(cavi\ coax) = 1\ dB\ per\ parte$
- c) $Guadagno\ dell'Ant\ (A)\ e\ (B) = 4,5\ dB$
(verticali collineari)

$$PRx(B) = +50 - 1 + 4,5 - 109,64 + 4,5 - 1 = -52,64\ dBm$$

Potenza ricevuta all'ingresso del ricevitore B

NB: $-52,64\ dBm$ corrisponde in VHF/UHF a circa 500 microvolt/50 ohm pari a $9+40dB$ punti S
=====

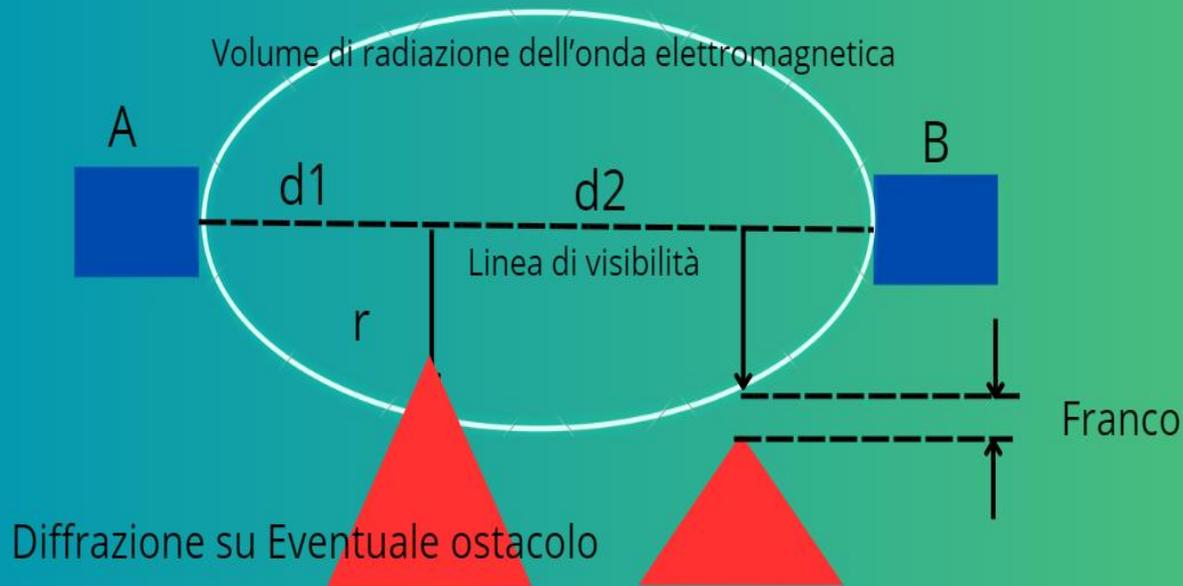
In linea generale durante la progettazione della tratta radio bisogna tenere conto di:

- Ambito urbano o grandi distanze,
- Qualità del collegamento in termini di Tasso d'errore se digitale o S/N se analogico
- frequenza, potenza e EIRP trasmessa,
- Stabilità del segnale ricevuto nel tempo
- Affidabilità apparati e bassi costi di consumo e manutenzione

Sito WEB per il calcolo on line della Asl e PRx :

https://www.rohde-schwarz.com/it/soluzioni/test-and-measurement/wireless-communication/landing-pages/calcolatore-ota_256594.html

Ellissoide di Fresnel



$$\text{Raggio di Fresnel (m)} = 17,32 * \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{D * F}}$$

- d_1 e d_2 = distanze relative ad un eventuale ostacolo (Km)
- D = Distanza totale (Km)
- F = Frequenza in GHz

Esempio:

$d_1 = 10$ Km; $d_2 = 20$ Km; $D_{tot.} = 30$ Km
Freq. = 1 GHz

$$17,32 * \sqrt{\frac{10 * 20}{30 * 1}} = 44,68 \text{ m}$$

Ostacoli fisici

- Ostacoli lungo la tratta radio
- Montagne tra Tx e Rx

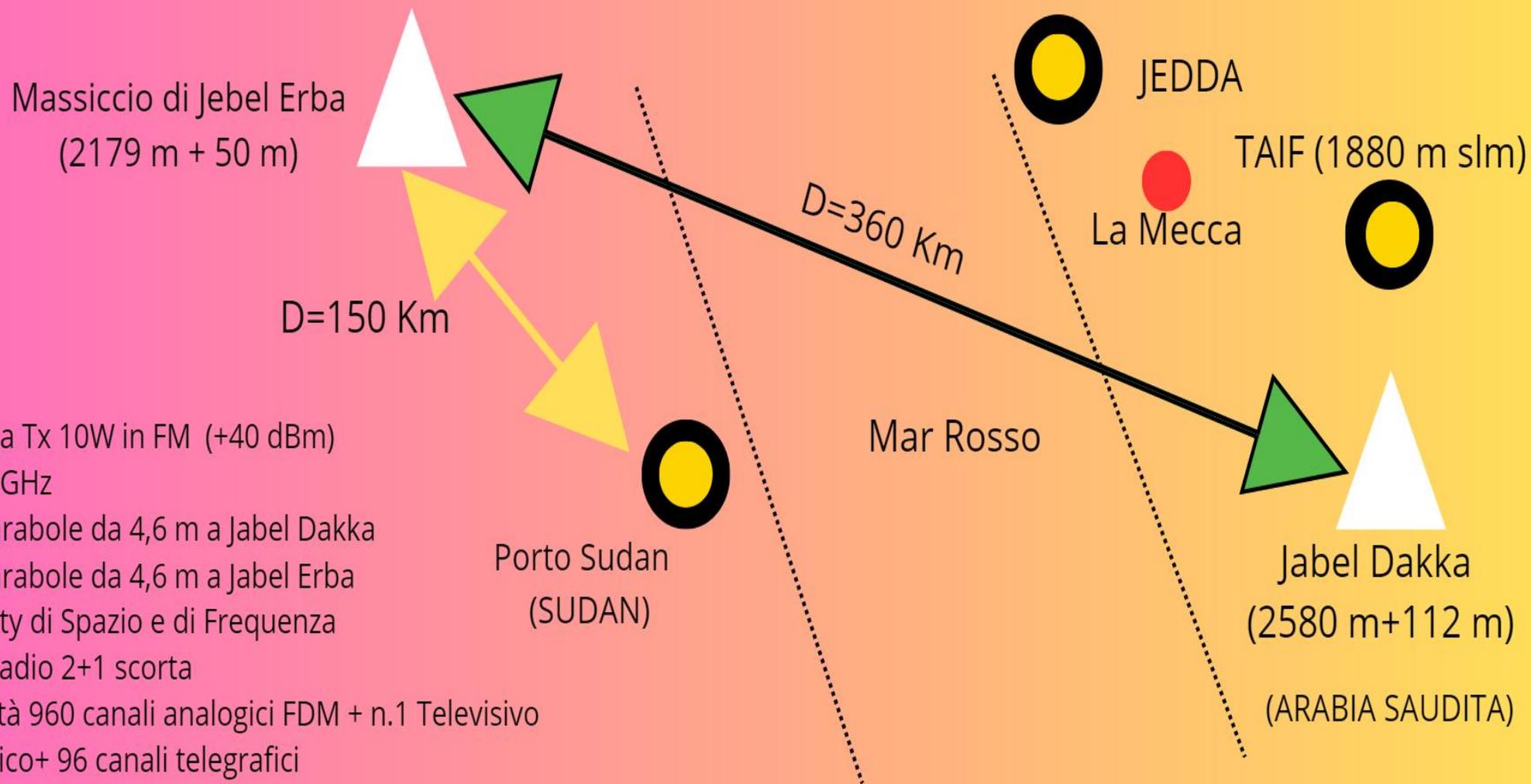
Attenuazioni supplementari

- Effetto condotto (Inversione termica a livello troposfera)
- Cammini multipli (Riflessione su specchi d'acqua ecc.)
- Fading (Vapore acqueo, Nebbia. Più accentuato per freq maggiori di 10 GHz)

1. La Diffrazione è il fenomeno per cui un'onda, dopo aver incontrato un ostacolo lungo il suo cammino, devia il suo percorso.

2. La Rifrazione è il fenomeno per cui un'onda subisce una deviazione quando questa passa da un mezzo fisico ad un altro, cambiando la velocità di propagazione.

Collegamento in P.R. più lungo del mondo realizzato nel 1979 da Telettra



- Potenza Tx 10W in FM (+40 dBm)
- Freq. 2GHz
- N. 4 parabole da 4,6 m a Jabel Dakka
- N. 4 parabole da 4,6 m a Jabel Erba
- Diversity di Spazio e di Frequenza
- Fasci Radio 2+1 scorta
- Capacità 960 canali analogici FDM + n.1 Televisivo analogico+ 96 canali telegrafici
- Asl= 149,6 dB
- PRx circa -45 dBm
- la soglia allo squelch è circa -75 dBm quindi un margine di 30 dB
- raggio Elissoide di Fresnel a metà tratta = 116,18 m

Problemi:

- Fading
- Cammini multipli
- Effetto condotto
- Curvatura terrestre

LIMITE DI VISIBILITA' OTTICA

LIMITE DI VISIBILITA' RADIO

$$\text{Distanza Ottica Orizzonte (Km)} = 3,57 * \sqrt{h(m)}$$

(dove 3,57 è il coeff. che tiene conto della curvatura terrestre
h è l'altezza minima di 1,7 m a livello del mare)

Quindi per una persona alta 1,7m in riva al mare l'orizzonte ottico sarà :
4,65 Km pari a 2,51 miglia marine

(1 miglio marino=1,85 Km)

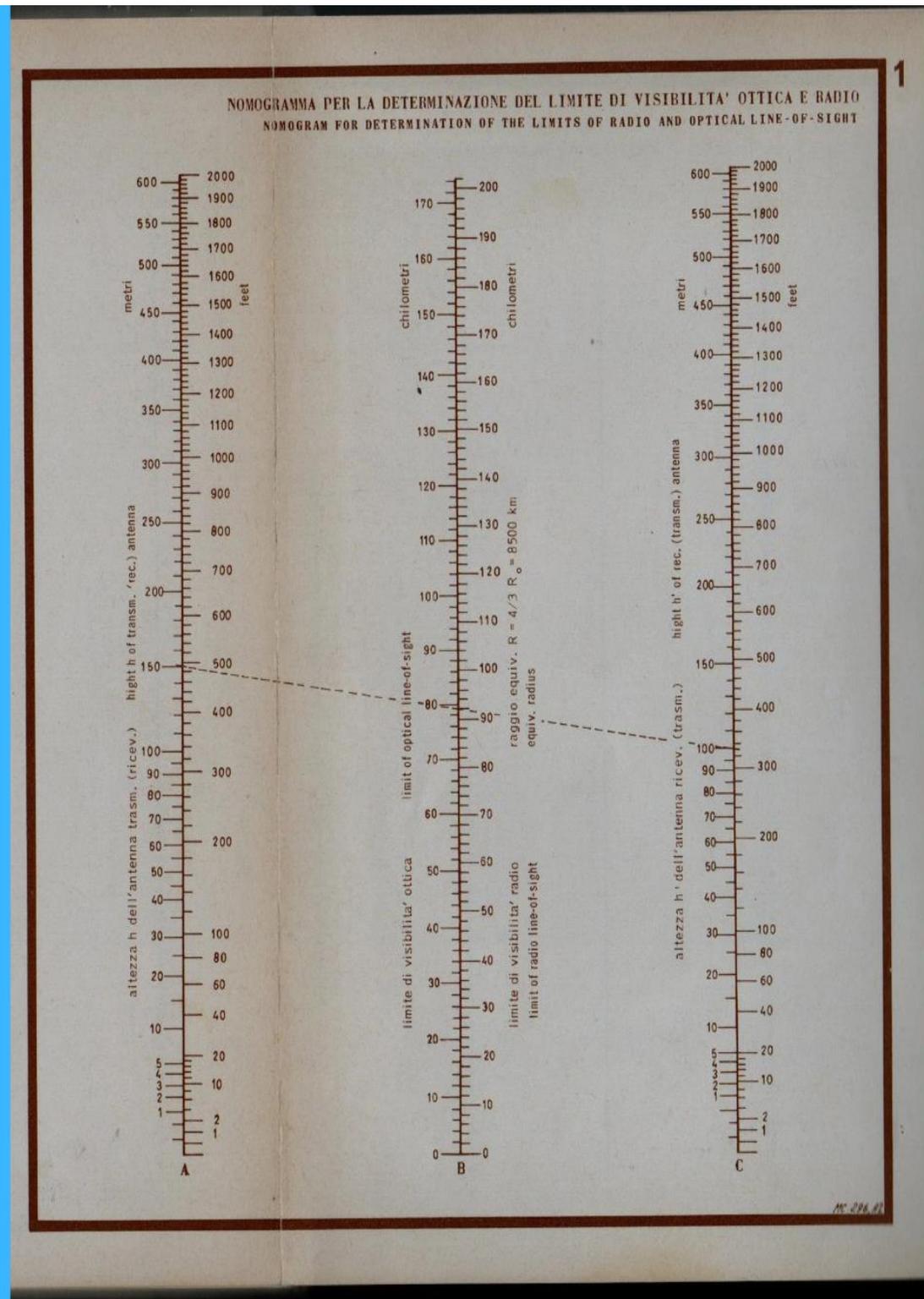
Da 2 punti ad altezze diverse:

$$\text{Distanza Ottica Orizzonte} = 4,12 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Dove Dist.Ott.Orizz in Km e h1 e h2 in m

Visibilità Radio è circa il 15% in più della
Visibilità Ottica

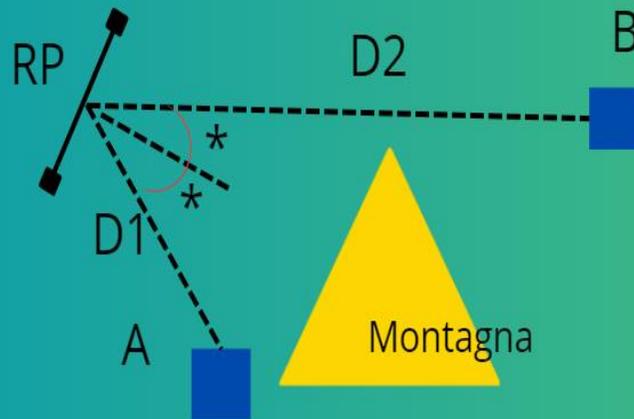
(*) NB: Raggio di Curvatura Terrestre= 6371 Km
Raggio di curvatura equivalente=8500 Km (4/3 R.C.T.)



Ripetitore Passivo

Il Ripetitore Passivo è una superficie piana metallica che permette di mettere in visibilità ottica i due terminali radio.

*angolo incidente uguale
ad angolo riflesso



$$\text{Att.rp(dB)} = 20 \log \left(\frac{D1 * D2 * \lambda}{D * S * \cos \text{Ang incid}} \right)$$

Att.rp= attenuazione introdotta dal ripetitore passivo

D1 e D2 rispettivamente le distanze parziali (m)

D lunghezza della tratta totale (D1+D2) (m)

Lambda lunghezza d'onda (m)

S = Superficie del ripetitore passivo (mq)

*Angolo di incidenza del fascio radio sul ripetitore passivo

=====

Esempio: D1=8000m; D2=16000m; D=24000m; Freq 7GHz - lambda=0,0428m;

Superficie Ripetitore passivo=30 mq;

Alfa * angolo di incidenza su ripetitore passivo =15 gradi - cos 15gradi=0,96

$$\text{Att.rp} = 20 \log (8000 * 16000 * 0,0428) / (24000 * 30 * 0,96)$$

$$\text{Att.rp} = 20 \log 5478400 / 691200 = 7,92 \text{ dB}$$

Ma se l'angolo fosse di 45 gradi avremmo $\cos 45 = 0,707$ e quindi una riduzione della superficie del 30%, pertanto l'attenuazione del RP aumenterebbe a: 40,39 dB.

Freq (MHz)	Lambda (m)	Lambda (cm)
145	2,068	206,8
435	0,689	68,9
1500	0,1998	19,98
2500	0,1199	11,99
7000	0,0428	4,28
10000	0,0299	2,99
13000	0,023	2,30
15000	0,0199	1,998
18000	0,0166	1,66

Guadagno Antenne Collineari

Tipo antenna	145 MHz (dB)	432 MHz (dB)
2 dipoli	3	5,5
4 dipoli	6	8

collineari alimentate uniformemente ed in fase "arrey"

Il guadagno dipende se i dipoli sono in lambda/2 o lambda intera e dalla spaziatura tra i dipoli.

Tipologie principali di antenne collineari:

- (a) dipoli alimentati in parallelo,
- (b) dipoli alimentati in serie mediante elementi di rifasamento di 180° .

Guadagno Antenne Yagi

N° Elementi	145 MHz (dB)	432 MHz (dB)	1,296 GHz (dB)
3	6,8		
5	8	10	
10	11,6	13,1	
15		14,8	
44			20

NB:L'antenna è un elemento passivo, di fatto non amplifica le potenze in ingresso o in uscita ma si limita a concentrare la stessa in direzioni preferenziali.

Guadagno Parabole (primo fuoco)

Freq (GHz)	Diam (m)	Guadagno (dB)	Angolo apertura a -3dB
2	4	35,8	2°60cent
4	1,8	35	3°06cent
7	1,5	38,2	2°
12,5	2,4	47,4	0°73cent
18	1	42,3	1°17cent

- **G Ant=17,86+20logD(m)+20logF(GHz)**
Per un fatt. di illuminazione Ki=0,55

- **Angolo a -3dB=**
15,6

$$(F(\text{GHz}) * D_{\text{ant}}(\text{m})) \sqrt{K_i}$$

Velocità della luce(c)=3*10⁸ m/sec

$$\lambda = \frac{c}{F}$$

$$\lambda_m = \frac{300000}{F(\text{KHz})}$$

$$\lambda_m = \frac{300}{F(\text{MHz})}$$

Cavi coax e guide d'onda

Cavi coax 50 ohm

Sigla cavo	Velocità di propagazione	Attenuazione per 100m
RG213 100 pF/m	66%	a 50MHz 4,1 dB a 470 MHz 14,8 dB
Ultraflex 7 Messi&Paoloni 75pF/m	83%	a 50 MHz 4 dB a 430 MHz 12,3 dB
Hyperflex 13 Messi & Paoloni 75 pF/m	87%	a 50MHz 2 dB a 430 MHz 6,4 dB a 1 GHz 10,1 dB
CELLFLEX 1/2" RFS 76pF/m	86%	a 50MHz 1,53 dB a 500 MHz 5,04 dB a 1GHz 7,31 dB

Guida d'onda ¹⁾modo fondamentale TE₁₀ vedi Tab.8 Manuale Telettra

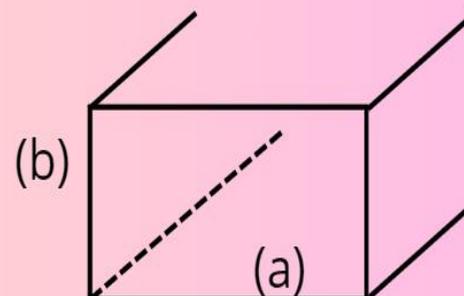
Tipo G.O.	Banda di lavoro	Attenuazione dB/m a centro banda	Dimensioni interne (mm)
WR137	5,85-8,20 GHz	0,06	34,85x15,80
WR90	8,20-12,40 GHz	0,11	22,86x10,16
WR51	15-22 GHz	0,23	12,95x6,47

2)_ Lambda guida > Lambda vuoto

vedi Tab.9 Manuale Telettra

3)_ $b(\text{mm}) = \lambda_{\text{guida}} / 4$ (circa)

Esempio:



WR137-7 GHz -

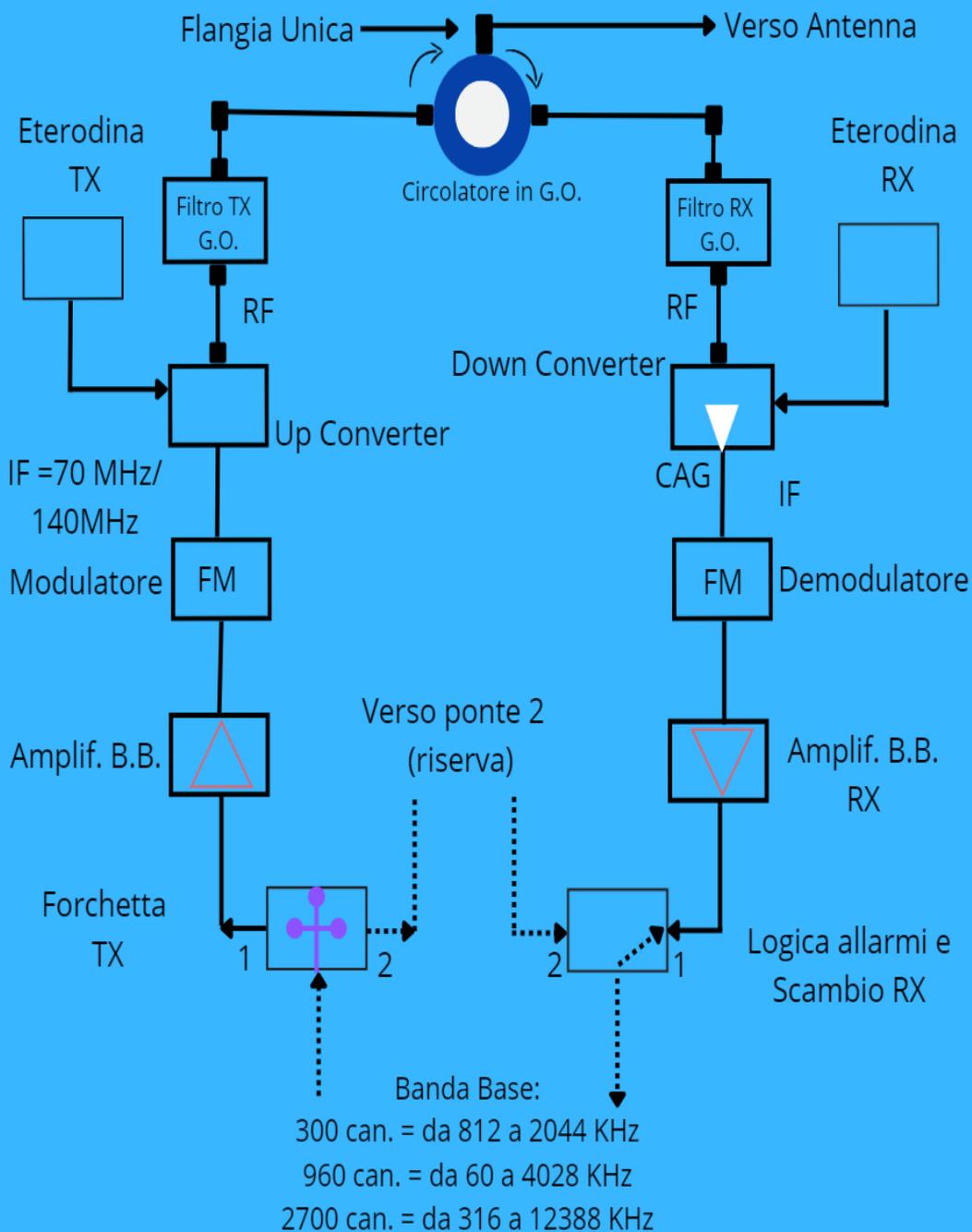
$\lambda_{\text{nel vuoto}} = 4,28 \text{ cm}$

$\lambda_{\text{in guida}} = 5,42 \text{ cm}$

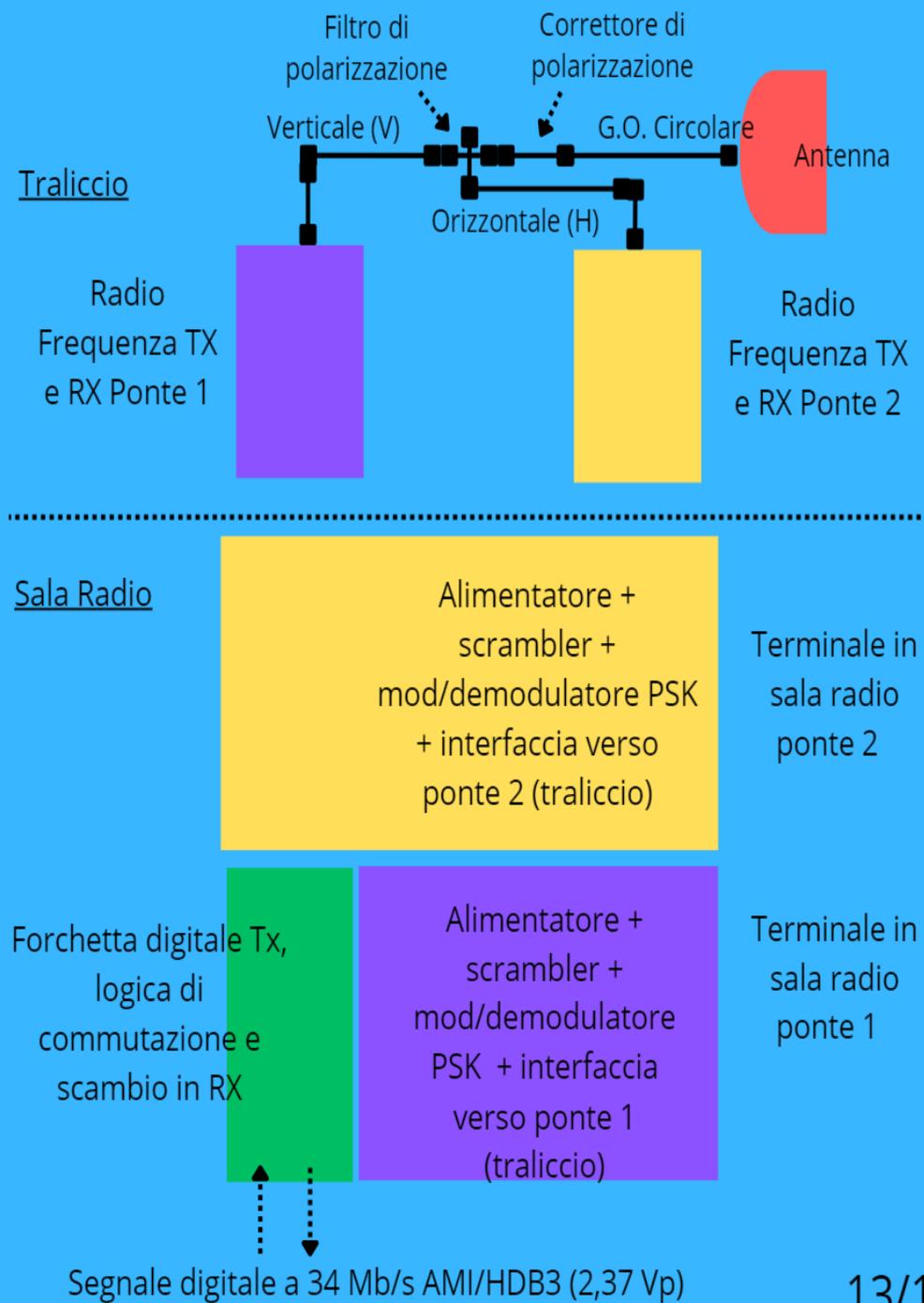
$5,42 \text{ cm} / 4 = 1,35 \text{ cm} = 13,5 \text{ mm}$

12/16

Schema a blocchi P.R. Analogico a grande capacità (Stato Solido)



Schema a blocchi P.R. Digitale a 34 Mb/s (480 can) 1+1 PDH



Sistema FDM su cavo coax o P.R.

la Banda Base si ottiene per trasposizione di "N" canali fonici (0-4KHz)

- Gruppo Primario - 12 canali



- Gruppo secondario = 5 gruppi primari = $12 \times 5 = 60$ canali



- Gruppo terziario = 5 gruppi secondari - $60 \times 5 = 300$ canali



- Gruppo 900 = 15 gruppi secondari - $60 \times 15 = 900$ canali. Banda da 312 a 4028 KHz
- Gruppo 960 canali = 16 gruppi secondari - $60 \times 16 = 960$ canali. Banda da 60 a 4028 KHz
- Gruppo 2700 canali = 3 gruppi da 900 - (45 gruppi secondari) = $45 \times 60 = 2700$ canali. Banda da 316 a 12388 KHz

Sistema PCM su cavo coax o P.R. (PDH)

la Banda Base si ottiene per moltiplicazione di "N" canali fonici (0-4KHz)

- Un canale analogico 0-4 KHz viene digitalizzato in un 64 Kb/s (*)
- 32 canali digitali a 64Kb/s vengono moltiplicati per formare un flusso base di 2Mb/s (30 can.Fonia + 2 di segnalazione)
- 4 flussi digitali a 2Mb/s vengono moltiplicati per formare un flusso di 8 Mb/s (120 canali)
- 4 flussi digitali a 8Mb/s vengono moltiplicati per formare un flusso di 34 Mb/s (480 canali)
- 4 flussi digitali a 34Mb/s vengono moltiplicati per formare un flusso di 140 Mb/s (1920 canali)
- Ecc.Ecc

(*)Teorema di Shannon/Nyquist

$$F_{camp} = 2F_{max}$$

Sistemi Nuova Generazione P.R e F.O.

- Sistema PCM su cavo coax o P.R. (SDH)
- Flusso base SHD= 155Mb/s
- 4 flussi a 155 Mb/s ==> 622Mb/s su rete ATM
- =====
- Sistemi VoIP (Fonia e Dati) con bande sbilanciate e gestite da centrali TCP/IP
- Questi sistemi viaggiano sia su F.O. che su P.R.
- Su F.O. si utilizzano Terminali di linea WDM o DWDM con flussi veloci 1-10 GB
- Su P.R. si utilizzano Terminali di ponte radio (IDU) collegati tramite F.O. al PR esterno (ODU) prevalentemente utilizzati per collegare le BTS alla centrale che gestisce il traffico TCP/IP
- Ecc.Ecc

Attività e Misure su PR Analogico

- Misure locali (tensioni, frequenze IF e RF, potenze RF Tx, verifica enfasi, deviazione modulatori FM ed eventuale curva RAG)
- Puntamento antenne ed eventuale RP
- Verifica Att.SL e dati del collegamento (PRx)
- Misure di ROS (Return Loss) del percorso in guida d'Onda e relativa antenna o cavo coax
- Misure in tratta di tutti i livelli della catena in BB in Tx e Rx, linearità e ritardo di gruppo in IF
- Misure di tratta, rumore e sovraccarico con verifica commutazione in BB tra ponte 1 e ponte 2

Attività e Misure su PR Digitale

- Misure locali (tensioni, frequenze IF e RF, potenze RF Tx, eventuale equalizzazione cavi)
- Puntamento antenne ed eventuale RP
- Verifica Att.SL e dati del collegamento
- Misure di ROS (Return Loss) del percorso in guida d'Onda e relativa antenna (solo per PR con percorso in G.O. > di 5 m).
- Misure in tratta di tutti i livelli della catena dati Tx e Rx
- Equalizzazione del ritardo dei segnali tra ponte 1 e ponte 2
- Misura tasso d'errori in tratta con registrazione di 24 ore

TROPOSCATTER (collegamento radio per diffusione troposferica)

Frequenze usate: da 500 MHz-5 GHz

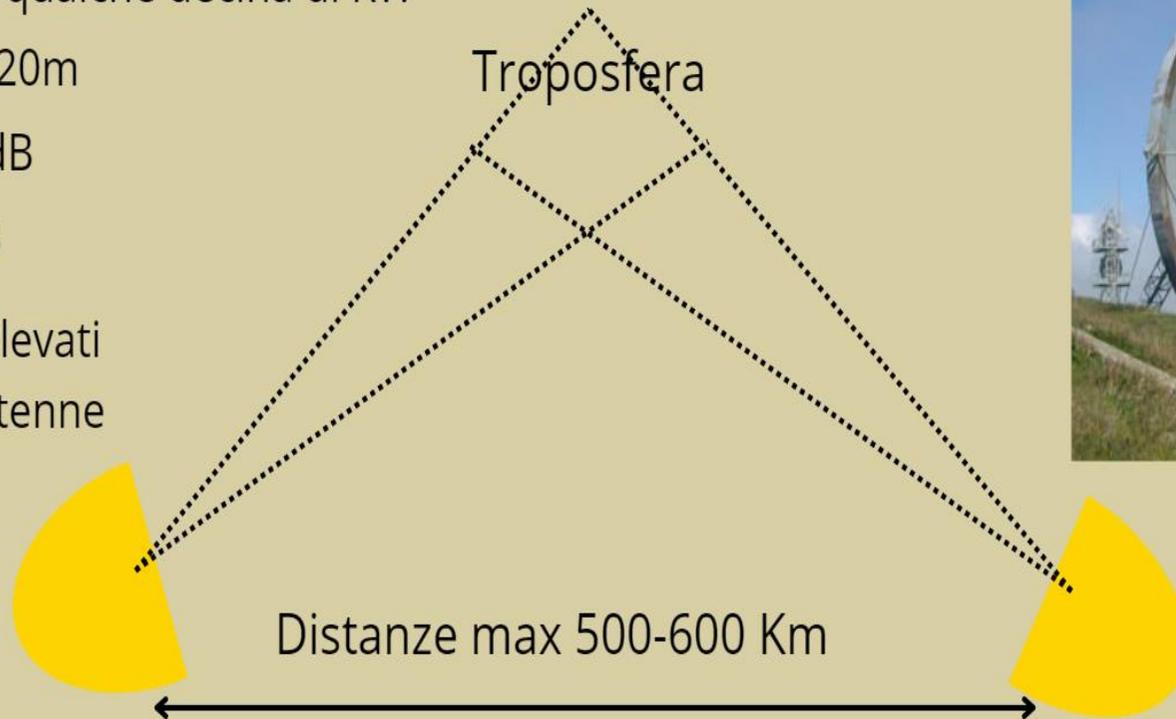
Potenze trasmesse fino a qualche decina di KW

Diametro antenne fino a 20m

Guadagno antenne > 40dB

Att. Spazio Libero > 200dB

Criticità: Manutenzione, elevati consumi, puntamento antenne



Monte Giogo - 1500m slm
900 MHz - 10 KW

Traffico telefonico protetto da Sistemi a diversità di spazio, frequenza e polarizzazione.

Tipologia di traffico:

Telescrivente, fonia, dati

In Europa è famosa la rete militare (Allied Command Europe Highband) - ben 49 stazioni troposcatter dalla Norvegia alla Turchia, operativa dal 1964 fino al 1994.

Famosa è stata anche la tratta Sardegna - Isola di Minorca

Attualmente utilizzato tra piattaforme petrolifere e terra ferma

Grazie per la vostra attenzione

Torino 01/2024 - by SGF iw1frd

stop