



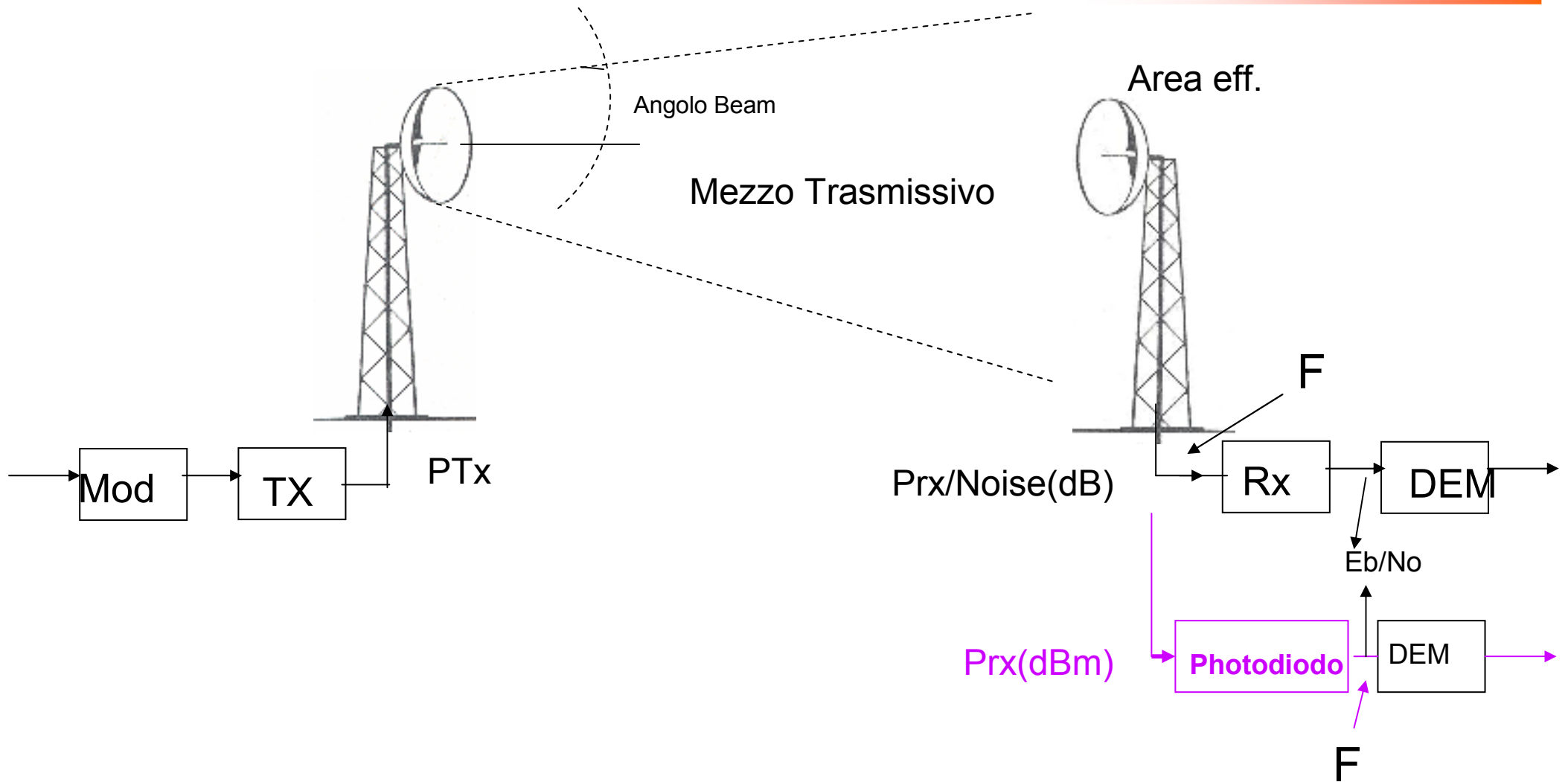
Confronto tra sistemi Radio (microonde) e Ottici (infrarossi)

Gianfranco Verbana
i2VGO

Stella Renon
1 settembre 2001

Un sistema Wireless è caratterizzato da :

- △ Potenza trasmessa
- △ Divergenza beam dell' antenna TX
- △ Conoscenza mezzo trasmissivo
- △ Potenza fornita al ricevitore dall'area equivalente dell'antenna RX.
- △ Rapporto segnale rumore della demodulazione scelta.



△ Il mezzo e caratterizzato dai parametri :



$$\begin{aligned} \epsilon &= \text{costante dielettrica F/m } (10^{-9} / 36\pi) \\ \mu &= \text{Permeabilit  magnetica H/m } (10^{-7} \cdot 4\pi) \\ \sigma &= \text{Conduttivit  magnetica S/m } (0) \end{aligned}$$

△ Lo spazio vuoto e' omogeneo, normale e isotropo.

△ L'impedenza caratteristica   :



$$\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377 \text{ ohms}$$

△ La densit  di potenza a distanza, **d**, e' uguale:



$$p = \sqrt{\epsilon_r} \frac{E^2}{120\pi} = (W / m^2)$$

△ L'area efficace di un'antenna rappresenta la quantit  di potenza **P_{rx}** consegnata al ricevitore e sottratta alla densit  di potenza del fronte d'onda in arrivo:



$$A_{eff.} = \frac{P_{rx}}{p} = (m^2)$$

△ L'area efficace e' inferiore all'area geometrica. Si definisce efficienza dell'antenna :



$$\eta = \frac{A_{geo}}{A_{eff}} =$$

△ Le parabole a microonde sono antenne riflesse e si ottiene un'efficienza di 0,5-0,65.

△ Le antenne ottiche possono essere rifrattive o riflesse e si ottiene un'efficienza di 0,1-0,75

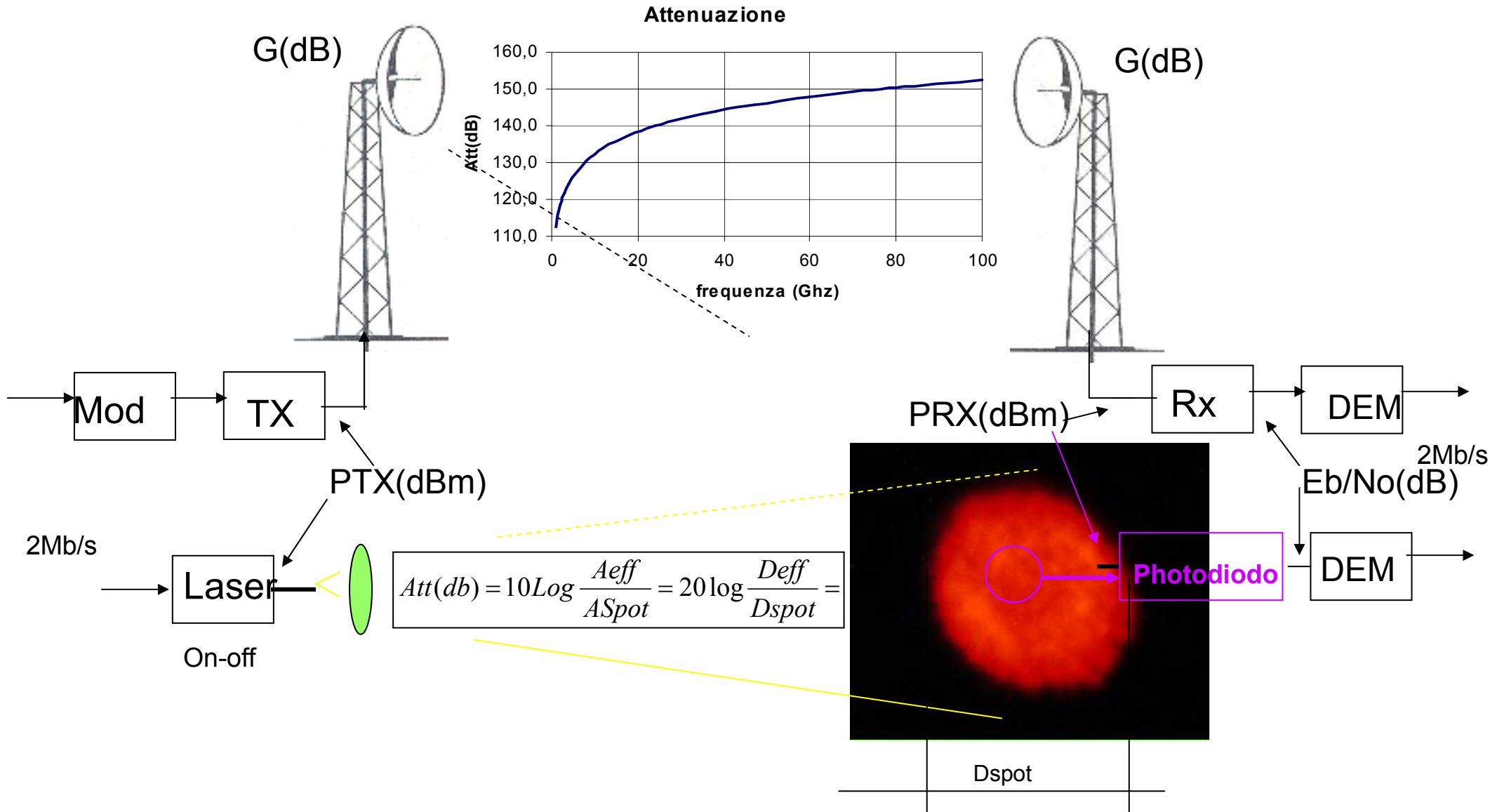
- △ L'attenuazione del link nel vuoto e la direttività d'antenna (Corrisponde al guadagno se non vi fossero perdite) sono indipendenti dal valore della frequenza.
- △ L'attenuazione è causata dalla impossibilità pratica di avere un'antenna con area sufficientemente grande per poter raccogliere tutta la potenza trasmessa.
- △ Per motivi di “comodità di calcolo “ nel settore radio si preferisce dare la direttività (guadagno) d'antenna dipendente dalla frequenza

$$G_{(dB)} = 10 \log\left(\eta \left(\frac{\pi \cdot D \cdot f}{c} \right)^2 \cdot 10^{-1,2 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2} \right)$$

- △ Per motivi “non fisici” ma solo per semplicità di calcolo ” l'attenuazione nel vuoto “ diventa funzione della frequenza (anche se non è vero):

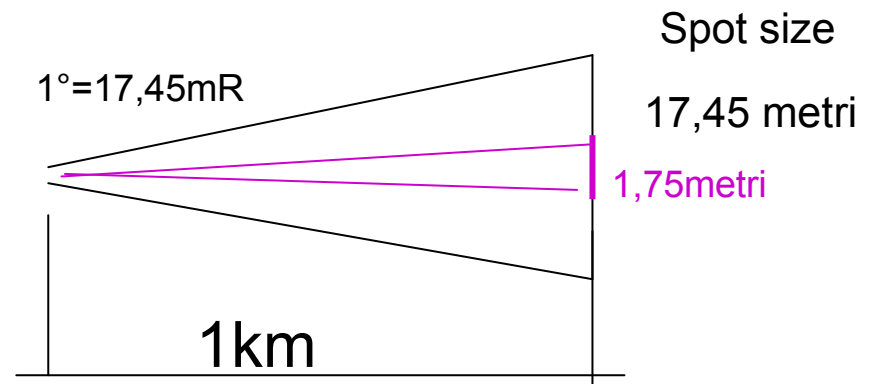
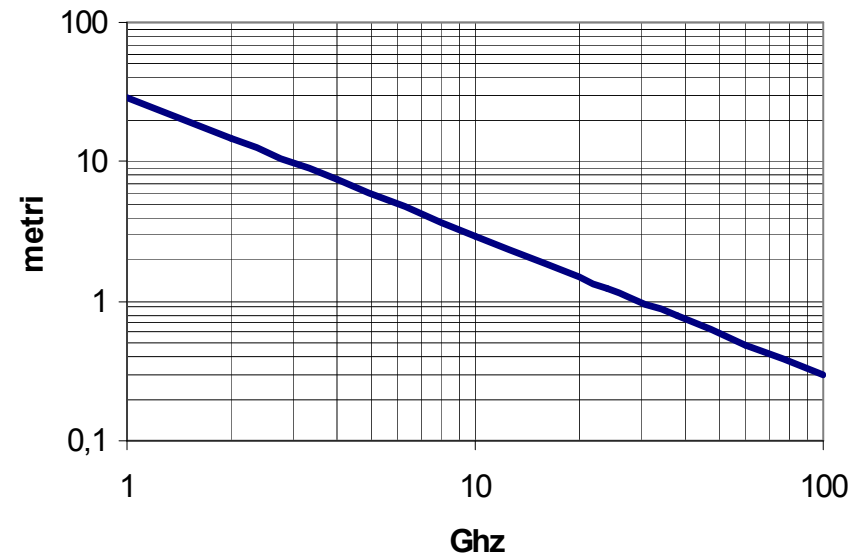
$$\text{Atten. (dB)} = 92,4 + 20 \log(d \text{ (km)} \cdot f \text{ (Ghz)})$$

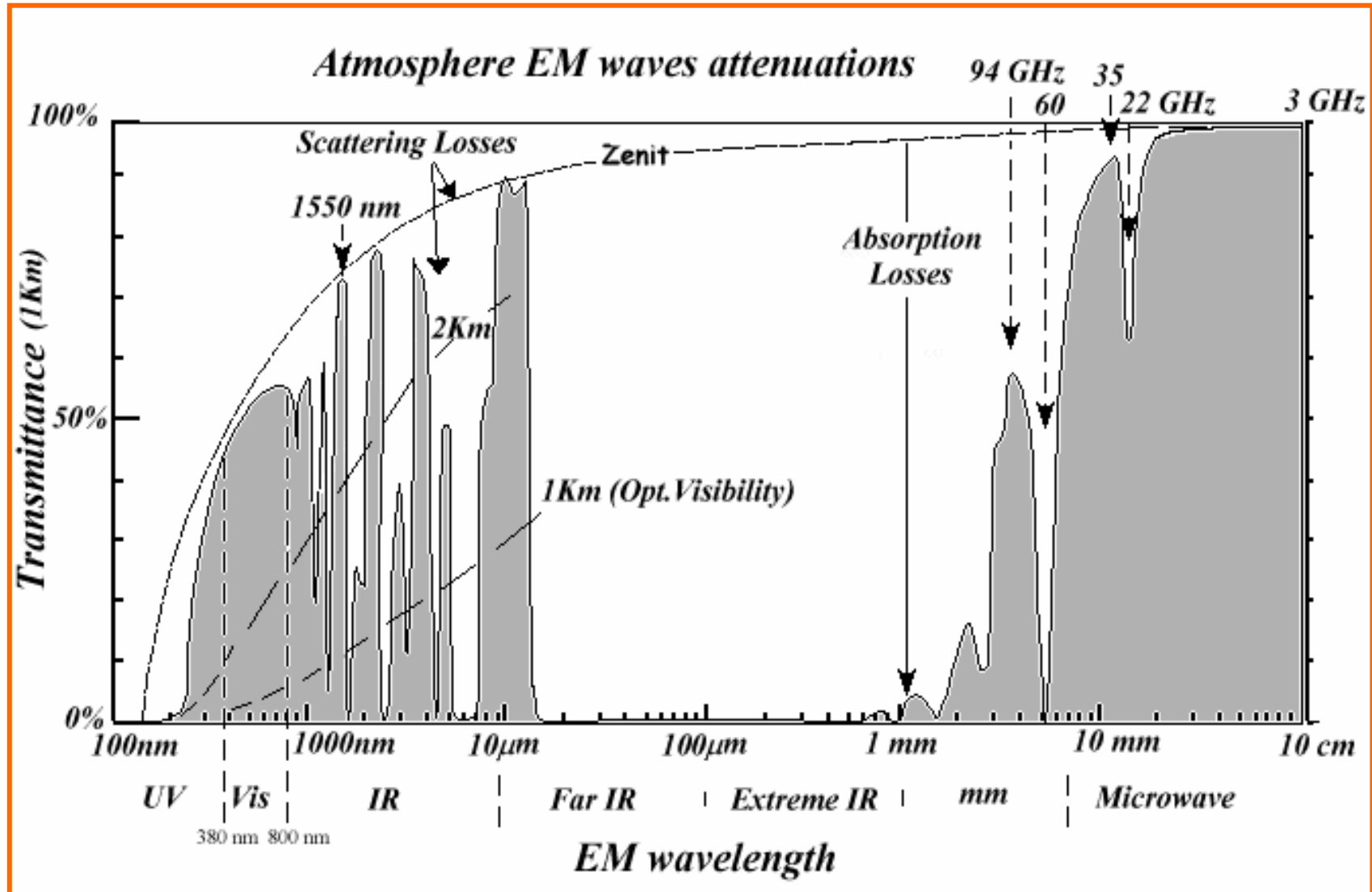
Due modi diversi per ottenere lo stesso risultato



- △ La massima direttività di un collegamento Radio è un grado che corrisponde ad un guadagno di 47dBi (la curvatura del raggio è sensibile alla umidità e alla pressione dell'aria.)
- △ Il grafico mostra il diametro reale di un'antenna riflessiva vs frequenza.
- △ In ottico con lentine di 20mm e focali di 10 cm, si possono ottenere direttività di $0,1^\circ$. Valori che corrispondono a guadagni di 67dBi.

Diametro antenna Vs frequenza
angolo beam 1° , $G=47\text{dB}$, eff 0,55.





△ Superficie Terrestre

△ Azione riflettente

- Intercettazione dei raggi diretti tra punti non in visibilità
- Generazione dei raggi riflessi che provengono all'antenna Rx

△ Atmosfera

△ Azione rifrangente che incurva i raggi






- Superamento di alcuni ostacoli alla visibilità ottica
- alterazione della situazione di interferenza tra raggi diretti e raggi riflessi dal suolo.
- Generazione condotti e/o cammini multipli

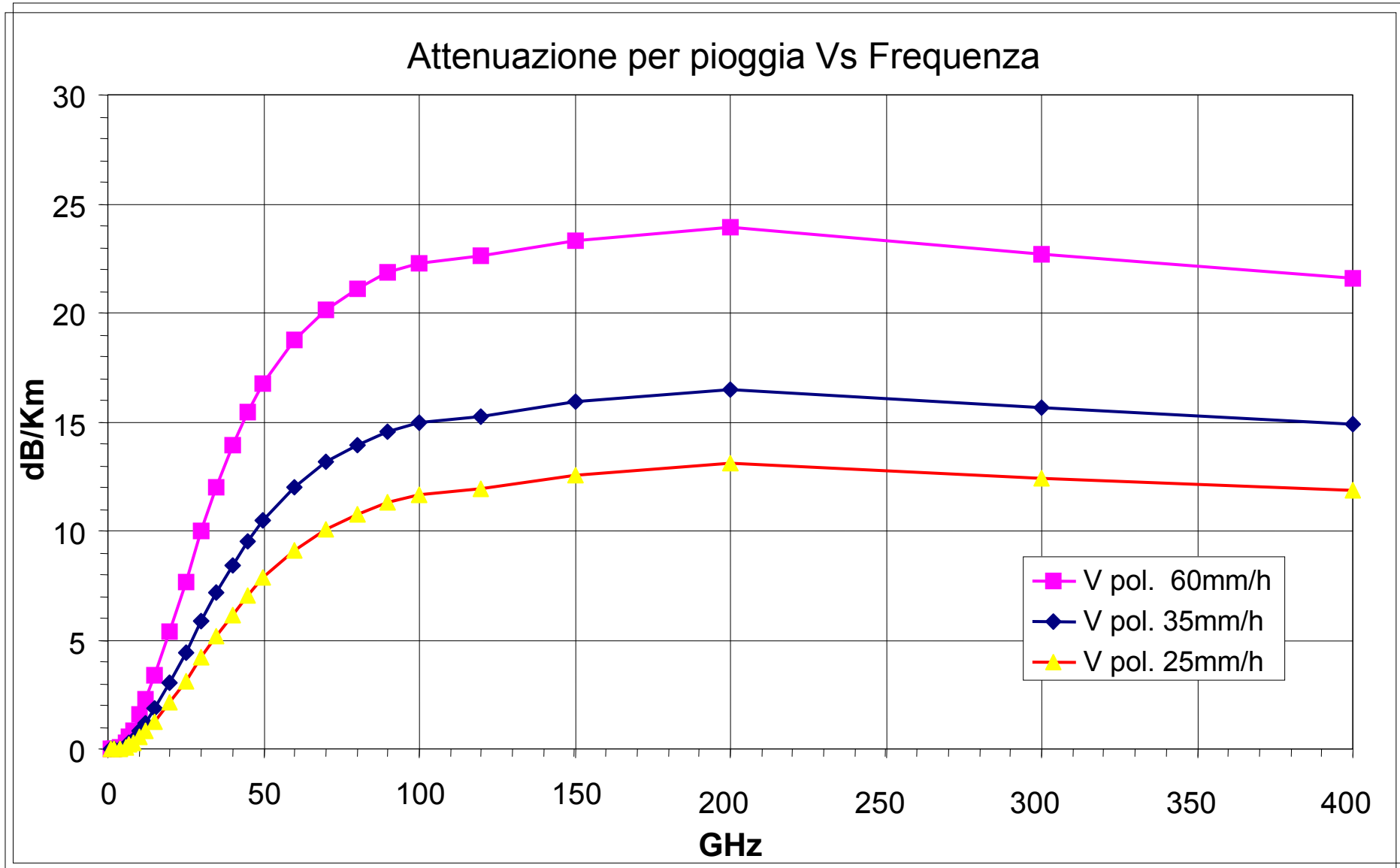
△ Azione diffondente troposferica

- Generazione di raggi diffusi che pervengono dall'atmosfera

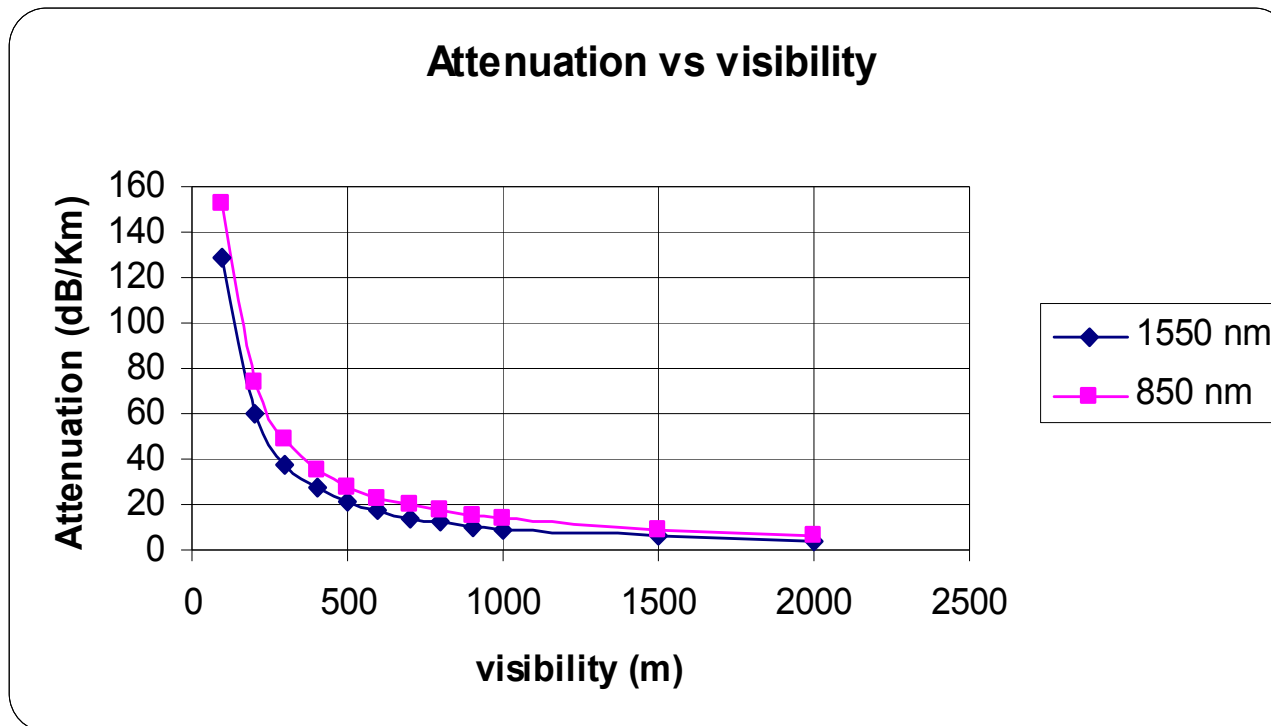
△ Azione Assorbente

- Attenuazione delle onde minori di 1 cm (precipitazioni e gas)

- △ 1 Variazione dell' indice troposferico K  Fading piatto
- △ 2 Diffrazione da ostacolo:  Fading piatto
- △ 3 Riflessione sul suolo terrestre:  Fading piatto e selettivo
- △ 4 Cammini multipli  Fading piatto e selettivo
- △ 5 Precipitazioni atmosferiche  Fading piatto
- △ 6 Assorbimenti da Gas  Fading piatto

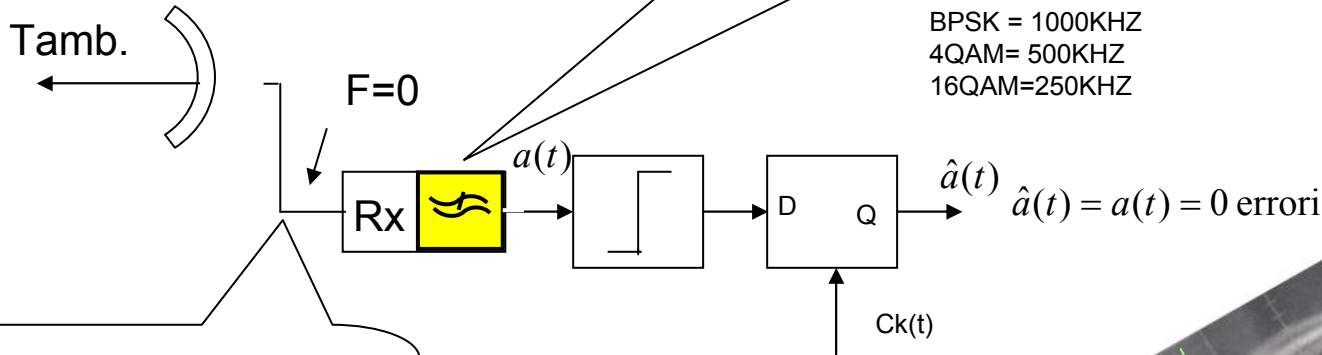


Vedi relazione “Sistemi ottici “ 2 Convention 2000 di I2VGO

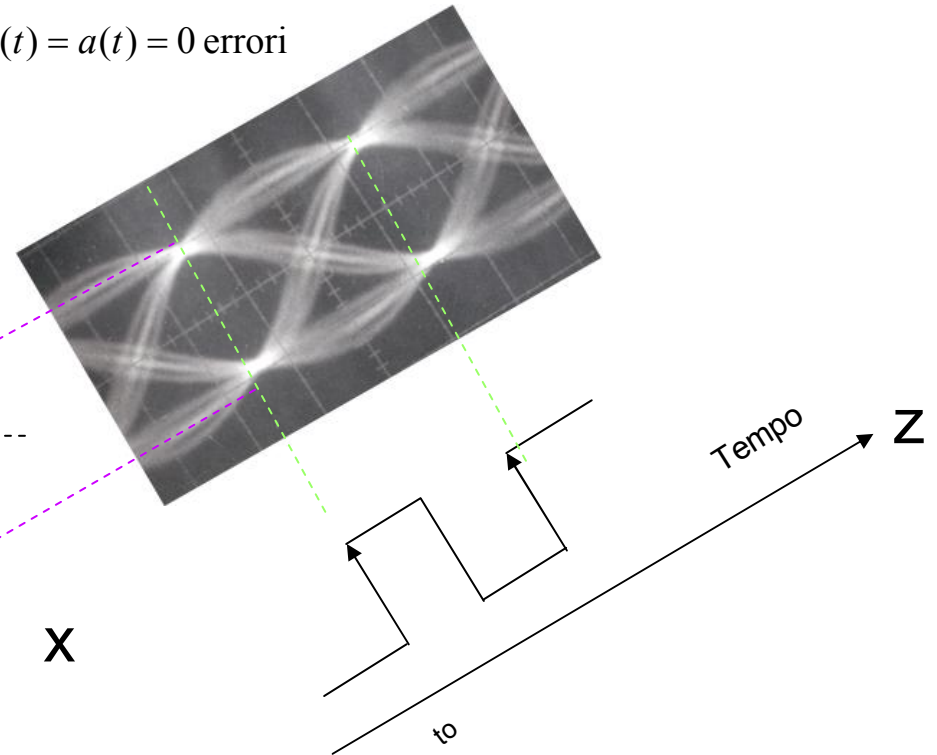
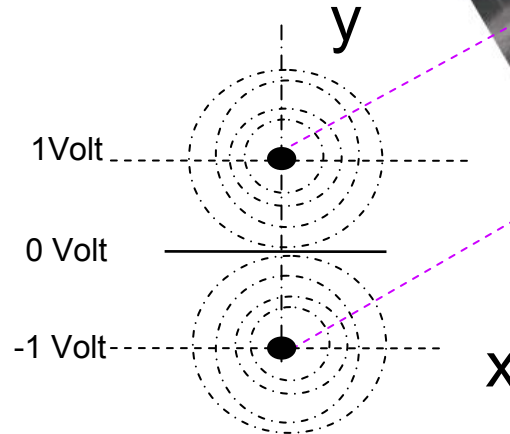
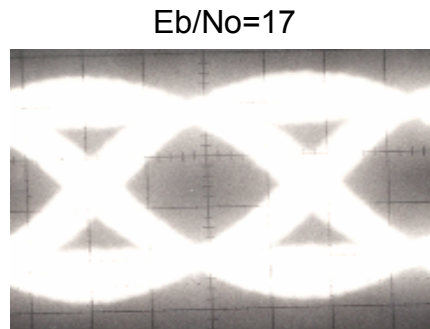


Il filtro di Rumore è il cuore di tutto il sistema .
No è funzione della banda.
Banda limite =1/2 Symbol rate.

BPSK = 1000KHZ
4QAM= 500KHZ
16QAM=250KHZ



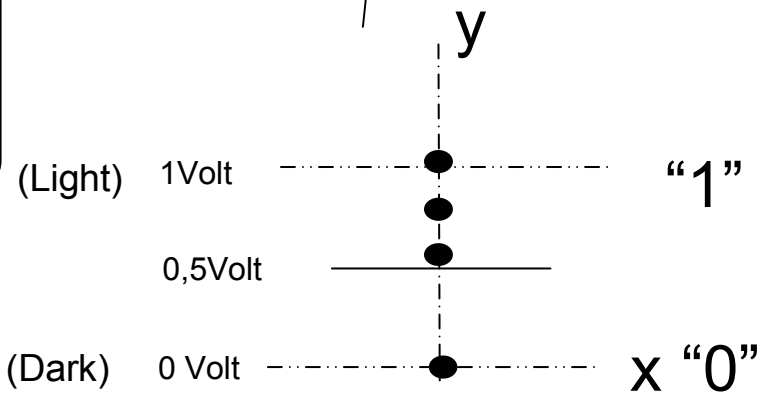
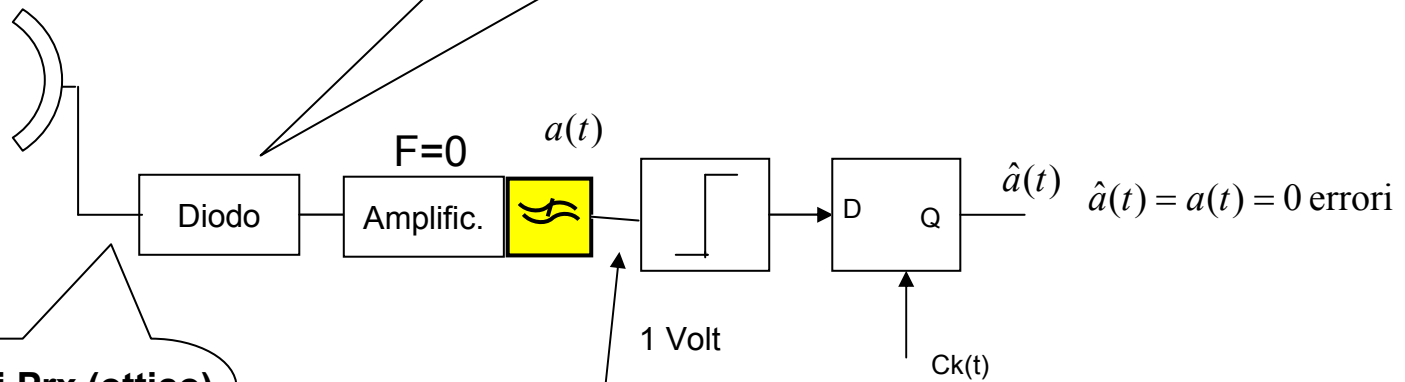
Al diminuire di Prx
diminuisce il rapporto Eb/No



$$Pe = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}}$$

Il photodiodo è il cuore di tutto il sistema
E' un convertitore fotoni/elettroni.

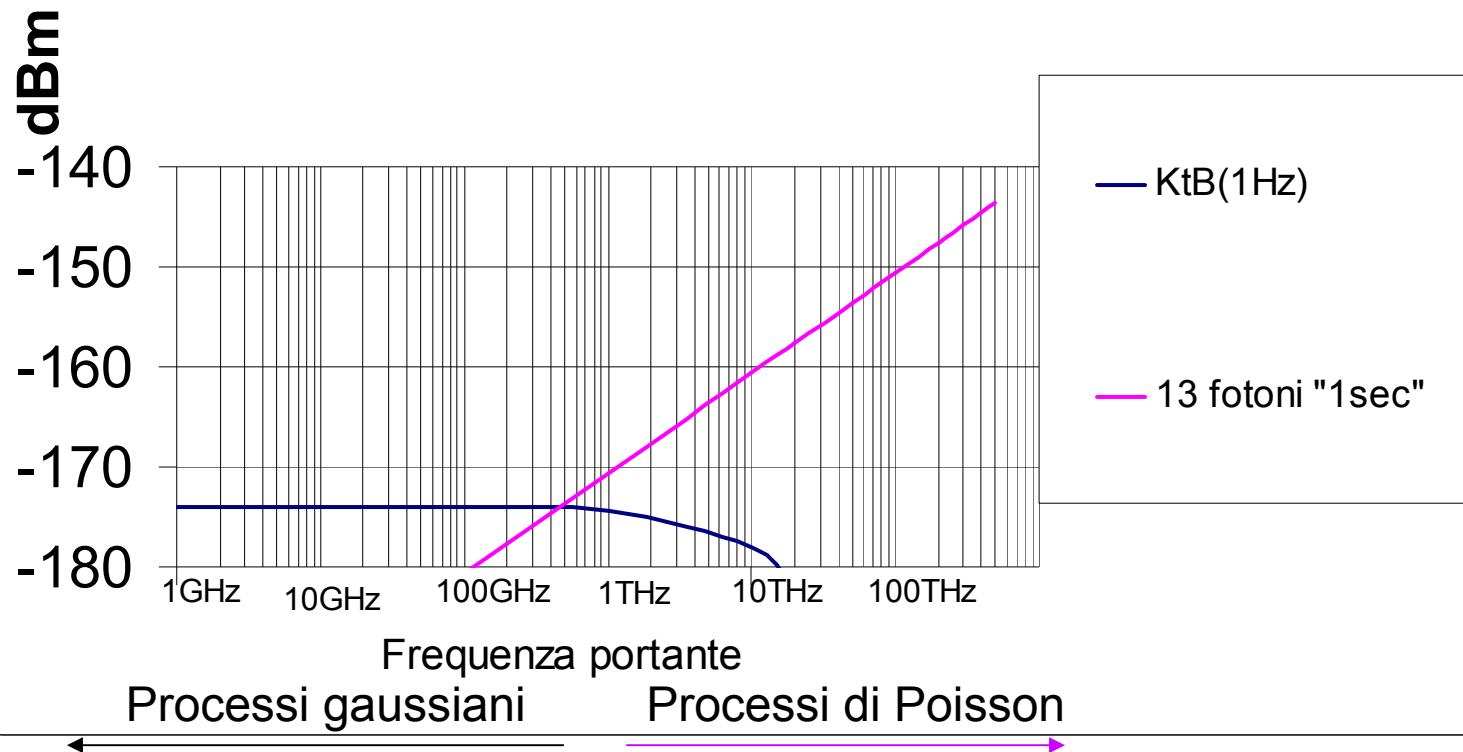
Al diminuire di P_{rx} (ottico) cala la corrente uscita diodo, quindi diminuisce l'energia per bit, E_b .



$$P_e = \frac{1}{2} e^{-\Lambda}$$

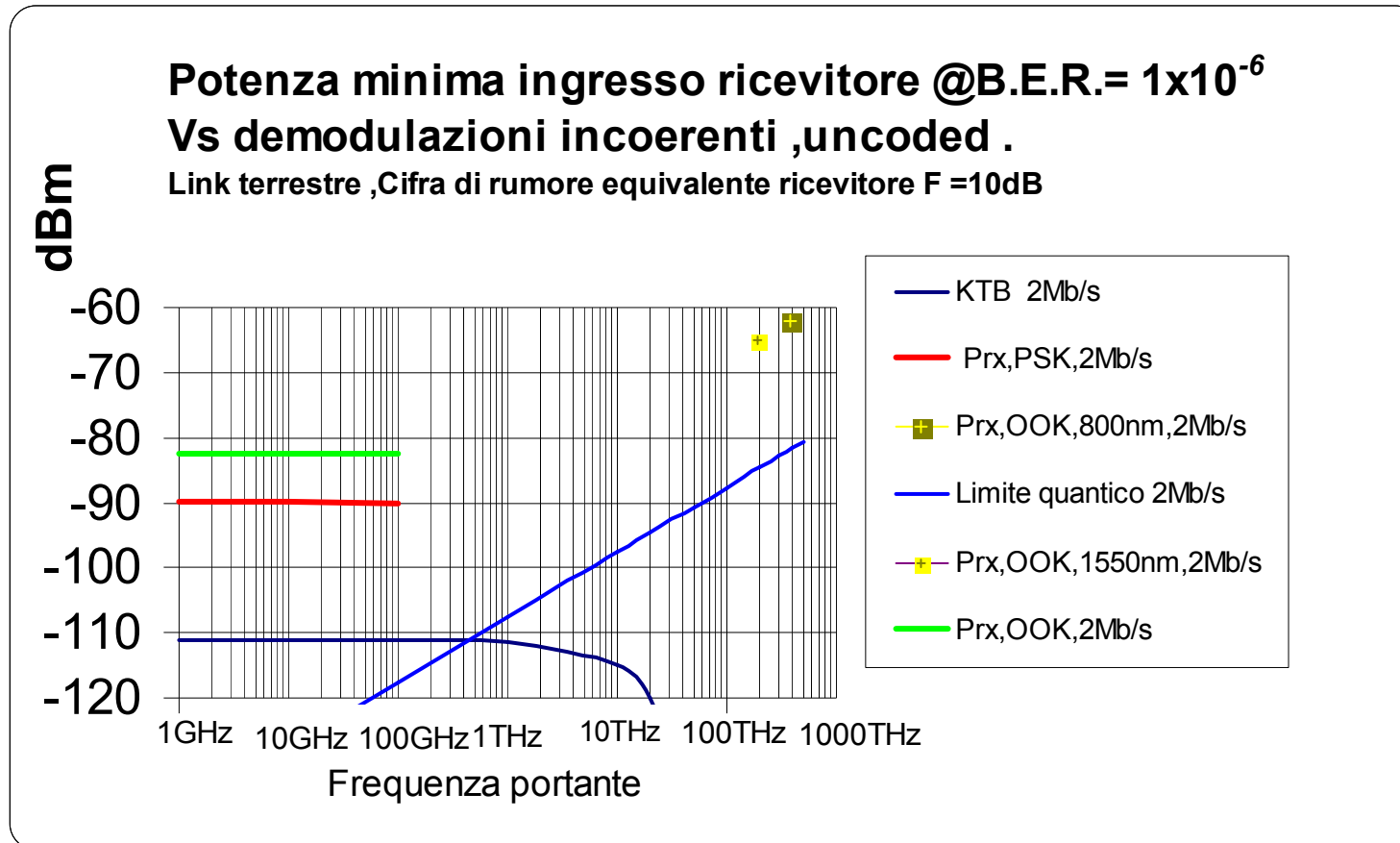
$$\Lambda = \frac{E_b}{h \nu}$$

Limite assoluto ,Potenza minima ,termico e quantico per
 $P_{soglia@B.E.R.} = 1 \times 10^{-6}$, Cifra di rumore ricevitori radio e ottico =0dB



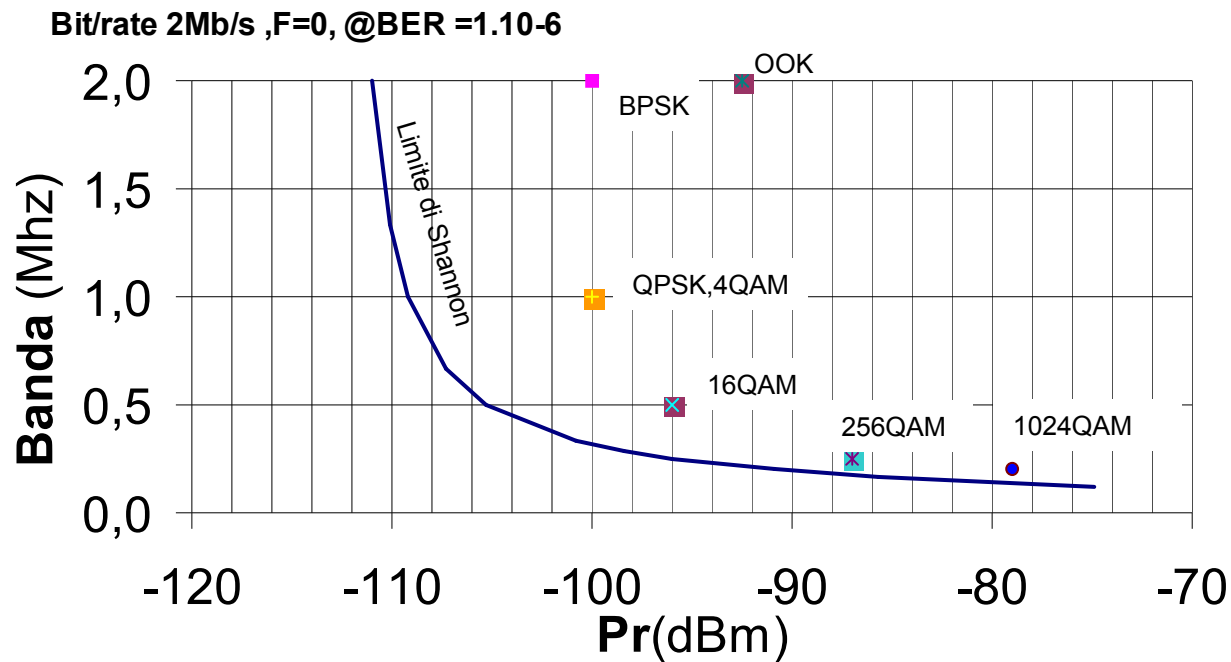
$$N_0 = \frac{h \nu}{e^{\frac{h \nu}{kT}} - 1} \cong KTB \quad (1 \text{ Hz}) \rightarrow (300 \text{ Ghz})$$

$$P_{limite} = \frac{h \nu \cdot \Lambda}{T_{bit} (1 \text{ sec})}$$



LIMITI “Potenza ricevuta”, nei scenari gaussiani

Limite potenza ricevuta.Link terrestre



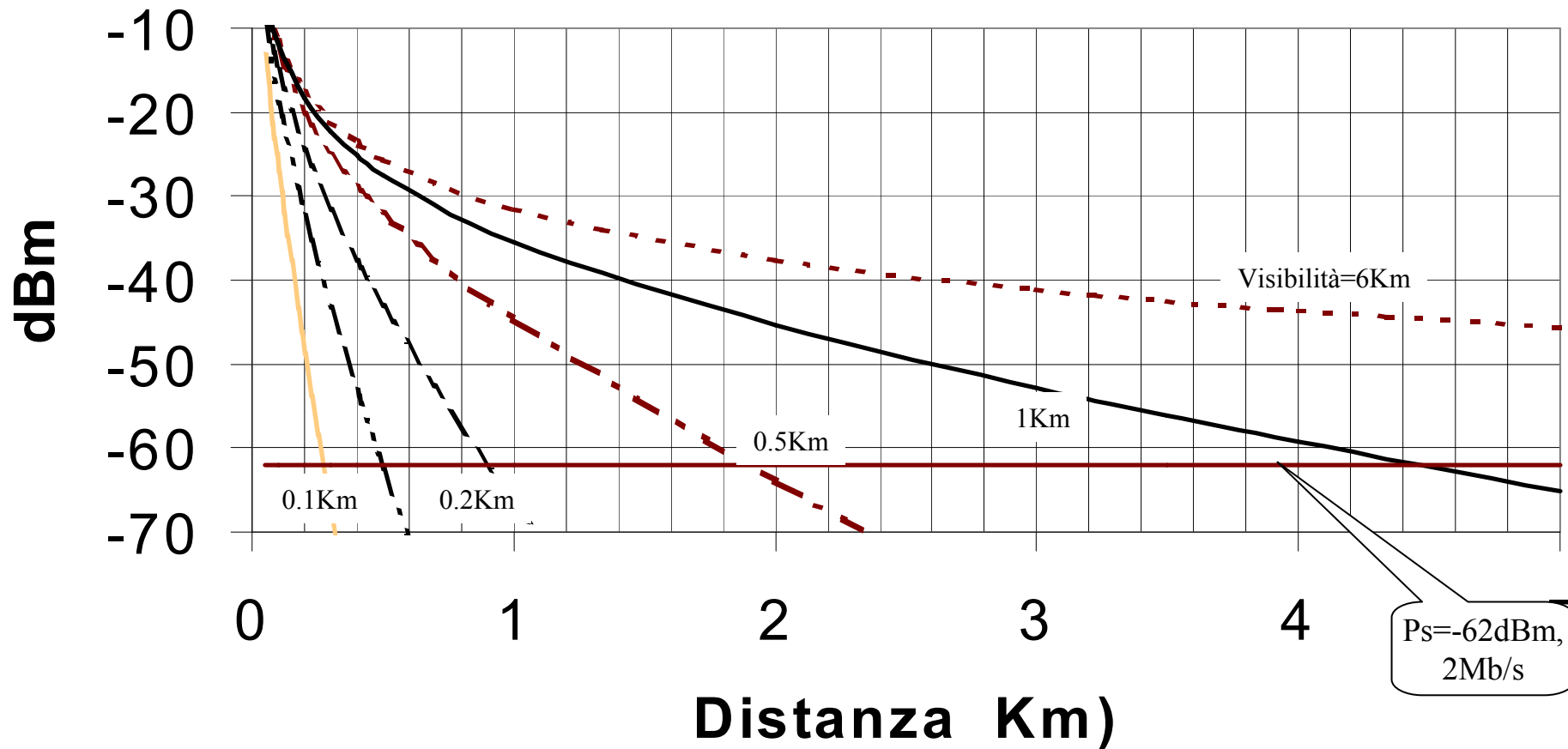
Per un collegamento terrestre.

Confronto lunghezza Link radio ottico a pari potenza Trasmessa.

- △ Utilizzando le equazioni di visibilità (vedi “Sistemi ottici “ 2 Convention 2000-I2VGO) di un sistema ottico: Bit rate 2Mb/s, a 850 nm , avente una Ptx di -2dBm, ed una Prx di soglia di -62 dBm, si è tracciato l’andamento della distanza verso visibilità.
- △ Utilizzando le equazioni d’attenuazione verso precipitazioni (presentati in questa relazione di un sistema radio 90Ghz Bit rate 2Mb/s, avente una Ptx di -2dBm, ed una Prx di soglia di -82 dBm, si è tracciato l’andamento della distanza verso intensità di pioggia.

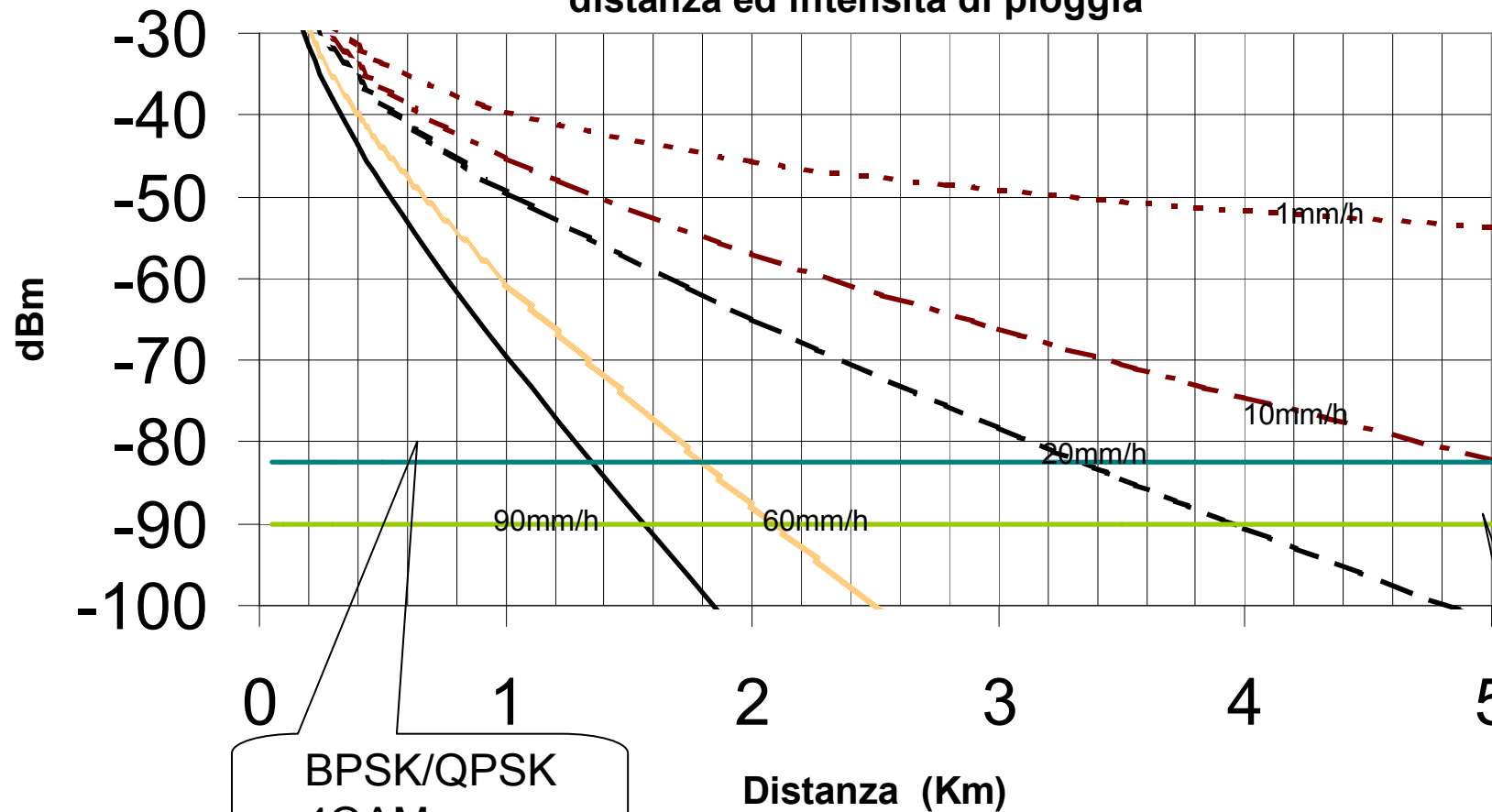
Prx ottico vs distanza e visibilità

Prx ingresso ricevitore ottico 850nm.
 In TX Laser "Vcsel" 0dBm (perdita lentina 2dB.) Pout -2dBm , 5 mR
 In RX diametro apertura effettiva 10cm.



PTx, -2dBm
Bit rate 2Mb/s
PRX soglia OOk, 4QAM

Potenza ingresso ricevitore radio(90Ghz)
Verso
distanza ed intensità di pioggia



BPSK/QPSK
4QAM

OOK

- △ Per frequenze maggiori di 60 GHz non è richiesta nessuna licenza.
- △ Evitando le frequenze con attenuazione dovuta all'ossigeno (70-90GHz) è possibile con potenze limitate realizzare Link di 4-5 km come i sistemi ottici.
- △ Il problema principale per la radio è la pioggia. Per zone ad alta piovosità, a pari potenza e disponibilità la massima distanza diventa 1-3 km.
- △ Per i sistemi ottici il problema principale è la visibilità, per zone dove prevale la nebbia, a pari potenza e disponibilità, la massima distanza diventa 0.5 -2 km.

Da queste considerazioni brevettai un sistema 1 +1. Radio a 64 GHz più Ottico a 200 THz. In caso di pioggia si attiva il link ottico e in caso di nebbia si attiva il link radio.