

Caratteristiche di Propagazione

Mc128k, Giorgio Ghisotti

Indice

1	Guadagno di potenza	1
2	Perdita di trasmissione e Ripetitori	2
3	Trasmissione radio diretta	3
3.0.1	Formula di Friis (generica)	4
3.0.2	Antenne direttive e omnidirezionali	4
3.1	Efficienza spettrale (Bandwidth efficiency)	5
3.1.1	Formula di Shannon	5

1 Guadagno di potenza

Supponiamo di avere un sistema LTI con un guadagno di potenza g (gain), la potenza in uscita e' data da $P_{out} = g * P_{in}$. Di conseguenza $g = \frac{P_{out}[W]}{P_{in}[W]}$; esso si può anche esprimere nel dominio logaritmico in **decibel**, quindi:

$$g_{dB} = 10 \log_{10} g \quad (1.1)$$

Il vantaggio di usare i logaritmi è che successivamente nelle operazioni possono trasformare rapporti e prodotti in differenze e somme. L'unità di misura del DeciBel è in realtà fittizia, dato che facendo il rapporto fra due elementi con la stessa dimensione si ha un valore adimensionale.

La potenza espressa in [DeciBel per Watt] si può scrivere come il logaritmo della potenza diviso 1W:

$$P[W] \rightarrow P_{dBW} = 10 \log_{10} \frac{P}{1W} \quad (1.2)$$

Ma molto più spesso si utilizza l'unità [dBm] che invece che 1W utilizza un milliwatt, questo perchè i dispositivi più comuni agiscono sull'ordine di queste potenze:

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P}{1mW} \quad (1.3)$$

Di conseguenza se si vuole trovare il guadagno in dB bisogna avere le potenze rispetto alle stesse dimensioni:

$$g_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{out}/1mW}{P_{in}/1mW} = 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{1mW} - 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{1mW} = P_{out}[dBm] - P_{in}[dBm] \quad (1.4)$$

$$P_{out}[dBm] = P_{in}[dBm] + g[dB] \quad (1.5)$$

Esempio 1.1.

$$P = 1W \leftrightarrow P_{dBW} = 0dBW \quad (1.6)$$

$$P = 10W \leftrightarrow P_{dBW} = 10dBW \quad (1.7)$$

$$P = 1W \leftrightarrow P_{dBm} = 30dBm \quad (1.8)$$

2 Perdita di trasmissione e Ripetitori

Se $P_{out} < P_{in}$ allora si ha che $g < 1 \implies g_{dB} < 0$; in questo caso non si parla più di guadagno ma piuttosto di **perdita di trasmissione** e la rappresentiamo con la lettera L (loss):

$$L := \frac{1}{g}, \quad L > 1 \quad (2.1)$$

$$L_{dB} = -g_{dB}, \quad L > 0 \quad (2.2)$$

Di conseguenza si può calcolare la potenza in uscita *sottraendo* la perdita dalla potenza in entrata:

$$P_{out}[dBm] = P_{in}[dBm] - L[dB] \quad (2.3)$$

Nel caso di una trasmissione **cablata** questa si può anche descrivere in funzione della distanza l e di una costante α :

$$L = 10 \frac{\alpha l}{10} \quad (2.4)$$

$$\rightarrow L_{dB} = 10 \cdot \frac{\alpha l}{10} = \alpha l [dB/kW] \quad (2.5)$$

Si può avere anche una perdita in funzione della distanza per un certo mezzo:

$$L[dB] = \alpha \left[\frac{dB}{km} \right] \cdot l[km] \quad (2.6)$$

Esempio 2.1.

Seguono alcuni esempi di perdite dovute al mezzo.

Tipo	Frequenza	Loss [dB/W] = α
-	-	-
Doppio Telefonico	10kHz	2
	100kHz	3
	300kHz	6
-	-	-
Cavo coassiale (1cm)	100kHz	1
	1MHz	2
	3MHz	4
-	-	-
Fibra ottica	$4 * 10^{14}Hz$	10

Esempio 2.2.

Doppino telefonico:

$$\begin{aligned} 10kHz &\rightarrow 2 \frac{dB}{km} \\ 100kHz &\rightarrow 3 \frac{dB}{km} \\ 300kHz &\rightarrow 6 \frac{dB}{km} \end{aligned}$$

Cavo coassiale 1cm:

$$\begin{aligned} 100kHz &\rightarrow 1 \frac{dB}{km} \\ 1Mhz &\rightarrow 2 \frac{dB}{km} \\ 3Mhz &\rightarrow 4 \frac{dB}{km} \end{aligned}$$

Dopo aver percorso una certa distanza un segnale è necessario che venga rinforzato, e per eseguire la operazione si fa uso di **ripetitori**. Volendo esprimere il guadagno totale dalla concatenazione di sistemi LTI (cavi, ripetitori) si ottiene:

$$P_{out}[W] = P_{in}g_1g_2 \cdots = P_{in} \frac{g_1g_2 \cdots}{L_1L_2 \cdots} \quad (2.7)$$

$$(2.8)$$

Che trasformato in deciBel diventa:

$$P_{out}[dBm] = P_{in}[dBm] + g_1[dB] + \cdots - L_1[dB] - \cdots \quad (2.9)$$

Esempio 2.3.

Si ha una linea con un certo numero di ripetitori, la potenza in entrata $P_{in} = 1W$ e si hanno 10 ripetitori con una distanza di 10km tra di loro. Il coefficiente di perdita per chilometro è $\alpha = 10 \frac{dB}{km}$.

Sapendo che la potenza in uscita risulta $1\mu W$, si calcoli il guadagno del sistema.

I ripetitori fanno in modo di potenziare il segnale, i cavi provocano le perdite. Si tratta di una concatenazione di sistemi LTI:

$$P_{out}[dBm] = P_{in} + 10g - 10L$$

Si calcola che $L = 1000dB$, e dato che $1W = 30dBm$ e $1\mu W = -30dBm$ si ha che $g = \frac{1}{10} \cdot [-30 - 30 + 1000] = 94dB$.

3 Trasmissione radio diretta

La trasmissione radio con visibilità diretta (direct line of sight) si effettua quando fra trasmettitore e ricevitore non si hanno ostacoli che possono modificare il segnale. Il tipo di antenna è

direzionale, ma nel percorso l'aria ha una **dispersione sferica** del segnale radio, che è possibile descrivere con una forma particolare della **formula di Friis**:

$$L = \left(\frac{4\pi l}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi l f_c}{c} \right)^2 \quad (3.1)$$

Dove L rappresenta la perdita, l la distanza, f_c la frequenza portante (carrier) e λ la lunghezza d'onda. Attraverso la formula $c = \lambda f$ (dove c rappresenta la velocità della luce) si può arrivare alla seconda forma proposta.

La perdita in deciBel si esprime quindi:

$$L_{dB} = 10 \log_{10} L \quad (3.2)$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} l f_c \right) \quad (3.3)$$

$$= 20 \log_{10} \frac{4\pi}{c} + 20 \log_{10} l + 20 \log_{10} f_c \quad (3.4)$$

$$= 92.4 + 20 \log_{10} f_{GHz} + 20 \log_{10} l_{km} \quad (3.5)$$

Dove per semplicità le costanti sono state raggruppate in un solo termine (92.4).

3.0.1 Formula di Friis (generica)

La forma generale della formula di Friis rappresenta la potenza ricevuta rispetto alla potenza inviata e le perdite del canale L (derivate dalla formula precedente):

$$P_R = \frac{g_T g_R}{L} P_T \quad (3.6)$$

Dove g_T è il guadagno dell'antenna in TX (trasmissione) e g_R quello dell'antenna in RX (ricezione), L rappresenta la perdita e P_R la potenza ricevuta.

3.0.2 Antenne direttive e omnidirezionali

Un'antenna omnidirezionale trasmette in tutte le direzioni mentre un'antenna direttiva concentra tutta l'energia in una sola direzione (per esempio una parabola). Le seconde sono più efficienti ma aggiungono complessità date dal puntamento (per esempio un cellulare continua a cambiare posizione quindi diventa difficile non perdere connettività). Il loro guadagno è dato dalla formula:

$$g = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (3.7)$$

Dove A_e è l'area efficace, definita a seconda del tipo di antenna; per la parabola è circa uguale alla superficie.

Esempio 3.1.

Considerando il sistema in figura, si calcoli la potenza ricevuta alla seconda antenna. La frequenza di riferimento è di 6GHz.

Si può utilizzare la formula di Friis per identificare una perdita in uplink e una in downlink, queste non dipendono dalle antenne, ma rappresentano quanto il segnale viene attenuato dal mezzo tra le antenne (aria).

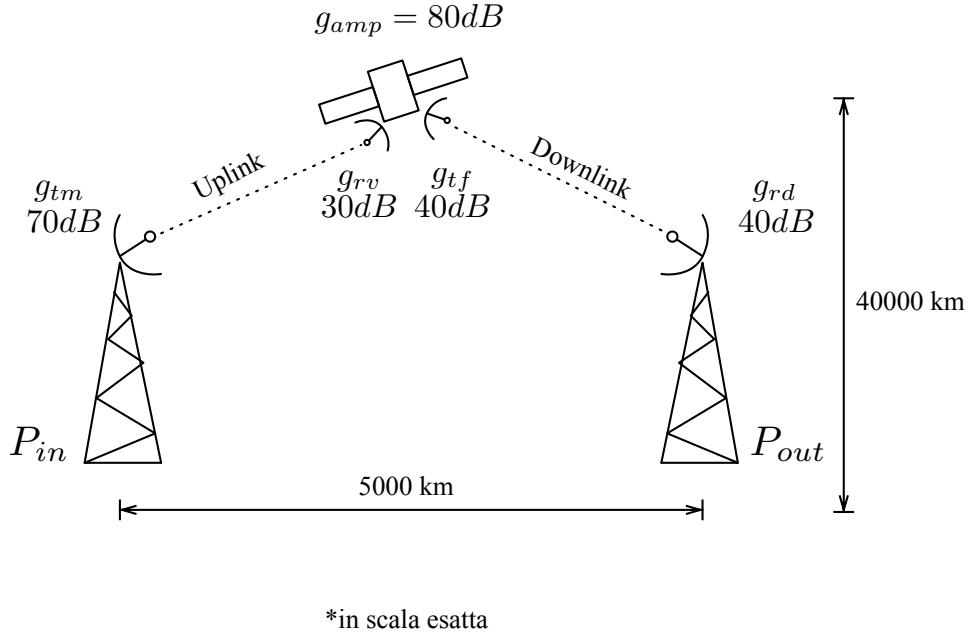


Figura 1: Sistema di riferimento

$$L_u = L_d = 92.4 + 20 \log_{10} 6 + 20 \log_{10} 4 \cdot 10^4 = 200 \text{ dB}$$

Essendo difficile portare delle antenne con guadagno alto in un satellite si preferisce farle a terra.

La potenza in entrata è di 100W, quindi si può ricavare la potenza in uscita con le regole viste:

$$\begin{aligned} P_{out}[\text{dBm}] &= P_{in}[\text{dBm}] + g_{tm} - L_m + g_{rm} + g_{amp} + g_{td} - L_d + g_{rd} \\ &= 50 + 70 - 200 + 30 + 80 + 30 - 200 + 50 = -90 \text{ dBm} \end{aligned}$$

La potenza ricevuta in mW si ha:

$$\begin{aligned} P_{out}[\text{dBm}] &= 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{1 \text{ mW}} \\ P_{out} &= 10^{P_{out}[\text{dBm}]/10} = 10^{-9} \text{ W} = 1 \text{ pW} \end{aligned}$$

3.1 Efficienza spettrale (Bandwidth efficiency)

3.1.1 Formula di Shannon

Si parla della trasmissione su un canale $A_{\text{additional}} W_{\text{hite}} G_{\text{aussian}} N_{\text{oise}}$.

- La capacità spettrale é $C[\text{b/s}]$
- La potenza del segnale trasmesso é $P[\text{W}]$
- La banda del canale é $W[\text{Hz}]$

Allora:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \left[\frac{b}{s} \right], P_e \rightarrow 0 \quad (3.8)$$

Questa formula viene usata dal 1998 nei cosiddetti **turbo codici**

Si può inoltre dire che la velocità di trasmissione $f_b[\frac{b}{s}]$ è sempre minore o uguale a C (e generalmente minore). Inoltre, $P = E_b f_b$.

Di conseguenza:

$$\rho = \frac{f_b}{W} \leq \log_2 \left(1 + \frac{E_b}{N_0} \rho \right) \quad (3.9)$$

Inoltre si può ricavare che c'è una soglia minima di efficienza sotto la quale non è possibile trasmettere in modo affidabile:

$$\frac{E_b}{N_0} \geq \ln(2) \rightarrow -1.6dB \quad (3.10)$$