



Trasmissioni Radio WIRELESS

Breve introduzione

Per allestire un collegamento radio occorre conoscere alcuni concetti prima di stabilire ed essere sicuri che sia funzionante. Verranno date alcune informazioni e regole pratiche che, pur basandosi su nozioni teoriche, rappresentano approssimazioni e semplificazioni per le applicazioni reali.

Le approssimazioni e le regole pratiche su cui si basa il software rappresentano semplificazioni anche grossolane delle reali equazioni che modellano il fenomeno ed hanno lo scopo di dare, appunto, un'idea di massima sulla fattibilità del collegamento. Se sfruttando questi principi il risultato di fattibilità è positivo allora il collegamento si potrà fare.

La prima regola pratica per tutti i sistemi wireless è che un ponte radio ai limiti di funzionamento non funziona mai bene. Quindi è auspicabile avere almeno il 30% di POTENZA in più di quella necessaria al funzionamento limite, pur rimanendo nei limiti imposti delle norme.

Questo documento copre i seguenti argomenti: Potenza Netta, Perdite per propagazione, EIRP, il deciBel (dB), Zone ed Effetti di Fresnel e qualche semplice regola pratica.

Potenza Netta

Il termine **Potenza Netta** (dall'inglese *power budget* o *link budget*) indica semplicemente la somma algebrica dei guadagni e delle perdite di tutti gli elementi che compongono il sistema radio.

Questo calcolo è necessario per assicurarsi di avere la necessaria potenza *legale* (cioè entro i limiti massimi imposti) per raggiungere il risultato desiderato.

Esaminiamo i singoli componenti del sistema wireless ed i loro valori tipici di potenza:



Nello schema ciò che è rosso/arancione indica le perdite di potenza, ciò che è verde indica i contributi positivi (guadagni) alla potenza. Il sistema mostrato in figura è una schematizzazione grossolana, ma abbastanza vicina, di un sistema realmente reale.



“Packet Team”
Sez. A.R.I. di Lomazzo
Via Milano, 24
22074 Lomazzo (CO)



Tel. +39-02-320621748 Fax. +39-02-700529465 Email: arilomazzo@infinito.it <http://www.arilomazzo.it>

Gli elementi che compongono il sistema e che danno un contributo alla potenza netta sono i seguenti:

1. Radio potenza: è la potenza radio emessa dallo stadio amplificatore dell'apparato (un po' come il preamplificatore degli impianti HiFi) (**A** e **G**). L'unità di misura della potenza è il Watt o i suoi sottomultipli come il milliWatt (mW), ma tipicamente viene rappresentata in una unità di misura assoluta chiamata **dBm**.
2. Il cavo d'antenna che introduce perdite (**B** e **F**) espresse in dB. Le perdite dipendono dal tipo di cavo utilizzato. Orientativamente, un buon cavo utilizzato a queste frequenze perde circa 0.2dB al metro (ma ce ne sono anche di migliori per applicazioni particolari).
3. I vari connettori (**B** e **F**), che introducono perdite, dalla sorgente radio all'antenna. Anche queste perdite sono espresse in **dB**.
4. Il guadagno d'antenna (**C** e **E**) normalmente espresso in dB che aggiunge potenza nel computo complessivo. Le antenne sono la "voce" e l' "udito" per l'apparato. Senza di esse il sistema non funzionerebbe. Benché siano passive di norma (cioè senza uno stadio amplificatore), aggiungono un'amplificazione supplementare al sistema grazie alla loro conformazione e geometria.
5. Propagazione in aria (**D**) che il segnale radio effettua per raggiungere l'antenna remota. Durante il percorso, il segnale subisce una forte attenuazione.

Per calcolare la **potenza netta** del nostro sistema radio si calcolano le potenze di tutti gli elementi che lo costituiscono, poi si convertono in una unità di misura omogenea (il **dB**) per sommarle algebricamente secondo la semplice formula:

Potenza netta (dB) = radio potenza (dBm) + guadagno antenne (dB) - perdite cavi (dB) - perdite connettori (dB).

Propagazione in spazio libero

Le onde radio sono il mezzo impiegato per trasportare informazione a distanza. Esse partono dall'antenna con un certo livello di potenza (o energia) definito dalla '**Potenza Netta**' ed espresso in **milliWatt** (mW). Supponendo di avere un'antenna omnidirezionale (o isotropica cioè che emette le onde radio in modo uniforme in tutte le direzioni dello spazio), in condizioni ideali le onde radio viaggerebbero formando una sfera con centro nell'antenna che si espande allontanandosi dal centro. Qui l'energia è massima perché è concentrata in un unico punto; poiché però l'energia è finita, allontanandosi dal centro, essa si distribuirà su tutta la superficie della sfera centrata nel primo punto e quindi in un punto qualsiasi di questa sfera, la potenza radio sarà inferiore e il segnale sarà attenuato. L'analogia usata frequentemente per comprendere questo fenomeno è il sasso gettato in uno stagno (qui l'esempio è bi-dimensionale): le onde generate dal sasso e vicine al punto di impatto con l'acqua sono più vigorose (= più potenti) di quelle più lontane.



“Packet Team”
Sez. A.R.I. di Lomazzo
Via Milano, 24
22074 Lomazzo (CO)



Tel. +39-02-320621748 Fax. +39-02-700529465 Email: arilomazzo@infinito.it <http://www.arilomazzo.it>

Diciamo che il punto di impatto del sasso corrisponde alla nostra antenna emittente: da qualche parte dello stagno ci sarà un'altra antenna che dovrà **ricevere** le onde generate dal sasso, onde che saranno tanto più deboli quanto più lontano è il punto di ricezione. Ammesso che quella antenna sia capace di comprendere il significato delle onde che gli arrivano, occorre che il vigore (= la potenza) di queste onde sia abbastanza elevato da essere percepito, o alternativamente, occorre che la radio ricevente abbia un buon *udito* per percepire tali segnali. Il livello minimo di potenza che il ricevitore è in grado di percepire viene detto **Sensibilità del ricevitore** ed è tipicamente espressa in **decibel negativi (-dB)**. Diremo che un pessimo ricevitore è anche 'sordo', per indicare che non riesce a 'sentire' i segnali un po' deboli.

Poiché il mondo reale non è ideale, le onde radio sono soggette ad interferenze di vario tipo. Colpiscono palazzi, oggetti in movimento, piante ostacoli di qualunque tipo e vengono assorbite o deviate in direzioni casuali. Vengono deviate dal loro percorso ideale da fenomeni come la gravità, l'effetto Fresnel, i percorsi multipli ed altro.

Il risultato di tutte queste interferenze è che l'onda radio quasi ideale, partita dall'antenna trasmittente, arriva all'antenna ricevente attenuata, distorta e sfasata.

Ecco quindi che nel calcolo della potenza totale del sistema occorre considerare anche la sensibilità dell'apparato, che va sommata algebricamente alla potenza netta insieme alle perdite per propagazione (che dipendono dalla distanza e dalla frequenza di trasmissione). Il risultato fornisce la stima della potenza (o **marginale di guadagno**) a cui lavorerà l'apparato:

Marginale (dB) = radio potenza (dBm) + guadagno antenne (dB) - perdite cavi (dB) - perdite connettori (dB) - perdite propagazione (dB) - sensibilità (-dB).

Questo valore dovrebbe essere superiore a 15dB, per avere un collegamento stabile nel corso delle stagioni.

L'enigmatico EIRP

L'**EIRP** è la **Potenza Isotropica Effettiva Irradiata** (Isotropica significa 'in ogni direzione') ed indica la potenza che 'esce' effettivamente dall'antenna. L'**EIRP** è sempre limitato per legge: in Italia gli apparati Radiolan a 2.4GHz hanno il limite di 20dBm EIRP, pari a 100mW, gli apparati Hiperlan Outdoor (5.4-5.7GHz) sono limitati a 30dBm, pari ad 1W, e gli SRD non specifici a 5.8GHz hanno il limite di 25mW pari a circa 14dBm).



“Packet Team”
Sez. A.R.I. di Lomazzo
Via Milano, 24
22074 Lomazzo (CO)



Tel. +39-02-320621748 Fax. +39-02-700529465 Email: arilomazzo@infinito.it <http://www.arilomazzo.it>

Alla fine della storia...

Quanto lontano si può andare? o quanta potenza è necessaria per trasmettere su una certa distanza ?

Ci sono almeno tre fattori che determinano la distanza (o sui quali si ha un certo controllo):

1. L' EIRP del sistema, cioè la sua potenza totale in uscita espressa in **dB**. Aumentando il guadagno delle antenne o quello delle radio e limitando le attenuazioni dovute ai cavi si va più lontano.
2. La sensibilità del ricevitore espressa in **dBm** negativi. Essa rappresenta l'«orecchio» del sistema: buoni valori di sensibilità per apparati Radiolan partono da -80dBm fino a valori come -93dBm. La sensibilità di un ricevitore può essere migliorata abbassando la velocità di trasmissione (ad es. passando da 11Mbps a 5.5Mbps si migliora di 3dB, mentre passando direttamente a 2.2Mbps si guadagnano 6dB corrispondenti ad un raddoppio della distanza superabile mantenendo inalterata la potenza di uscita alle antenne.)
3. Line of Sight (LOS o linea di visibilità). Se si mantiene un arco di visibilità di circa 3°-5° attorno all'antenna ci si protegge da problemi. Meno di questo è un rischio. Non dimenticare:
 - o In Inverno gli alberi perdono le foglie ed in Estate crescono.
 - o Il ghiaccio sulle antenne - specialmente sulle antenne Yagi - può abbattere la potenza del 50%.
 - o La sporcizia in genere (polvere, ossidazione, guano, ecc.) attenua il segnale.
4. Oltre i 2km diventano importanti gli effetti nella zona di Fresnel.

L'**effetto Fresnel** è un insieme di fenomeni di interferenza sempre presente in una trasmissione radio. Le trasmissioni radio ad alta frequenza richiedono che il percorso tra due antenne sia libero da ostacoli: questo percorso viene comunemente detto line of sight (LOS), letteralmente "linea di visibilità". Per semplicità diremo che la LOS è il percorso ottico *diretto e privo di ostacoli* esistente tra due punti: usando un binocolo è facile quindi determinare se esiste questa linea ideale anche a qualche chilometro di distanza. Avere una LOS sgombra da ostacoli significa che spesso i punti di osservazione devono essere sufficientemente alti da permettere all'osservatore di vedere oltre ogni ostacolo solido. I seguenti ostacoli possono oscurare una LOS:

- elementi topografici come montagne o colline
- la curvatura della Terra (apprezzabile solo a grandi distanze)
- palazzi ed altre costruzioni (ponti, campanili, cartelloni pubblicitari, ecc.)
- alberi



“Packet Team”
Sez. A.R.I. di Lomazzo
Via Milano, 24
22074 Lomazzo (CO)



Tel. +39-02-320621748 Fax. +39-02-700529465 Email: arilomazzo@infinito.it <http://www.arilomazzo.it>

In primo luogo occorre evitare che qualche ostacolo attraversi la LOS (vedi figura: in questo caso non esiste una LOS).



Ma in un collegamento radio non basta considerare la LOS: parte dell'energia di un'onda radio è infatti confinata nello spazio attorno alla LOS. Si può pensare a questo spazio come una specie di pallone da football americano il cui asse è la LOS stessa: tale spazio viene detto Zona di Fresnel. Se un oggetto solido, come una catena montuosa o un palazzo, penetra in questa zona può modificare il segnale stesso deviandolo (riflessione) e/o attenuandone la potenza (assorbimento, cammini multipli). Le dimensioni della zona di Fresnel variano in funzione della frequenza e del percorso del segnale.



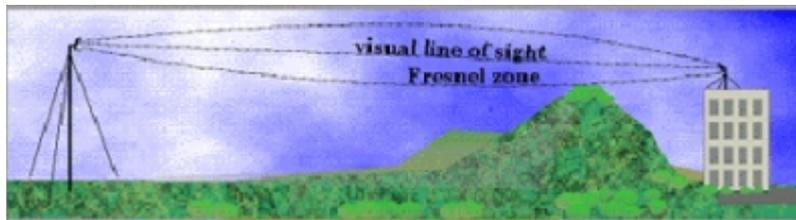
Come mostrato dalla figura sopra, quando un oggetto solido (collina, palazzo, ecc.) penetra nella zona di Fresnel (pur non attraversando la LOS), fenomeni di diffrazione possono deviare parte del segnale. Inoltre, poiché i segnali deviati non sono in generale in fase con il segnale originale, possono ridurne la potenza o cancellarlo totalmente (fenomeno dei cammini multipli e dell'interferenza distruttiva). Infine ostacoli come gli alberi possono attenuare il segnale.

Il fatto che le antenne radio possano “vedersi” in linea retta NON GARANTISCE in teoria l'efficienza del collegamento radio. Nella pratica è sufficiente che il 60% di questa zona sia libero da ostacoli. Il calcolo della zona di Fresnel è usato per dimensionare l'altezza dell'antenna.



La zona di Fresnel può essere ricavata da tabelle (vedi più avanti). Se qualche ostacolo (come alberi o palazzi) interferisce con il segnale, occorre considerarlo nel calcolo dell'altezza dell'antenna. Ci sono diverse opzioni, molto ovvie, per migliorare un collegamento radio in presenza di ostacoli:

- alzare l'antenna sul palo esistente, o usare una struttura più alta (vedi figura).
- spostare il punto di installazione dell'antenna
- tagliare le cime degli alberi (se possibile)



Il 60% del raggio massimo della zona di Fresnel (nel punto medio della tratta) per varie distanze e frequenze può essere dedotto dalla seguente tabella: esso indica grosso modo di quanto occorre elevare l'antenna oltre l'ostacolo per ottenere una buona visibilità radio.

Dist. (km)	Raggio (m) a 2.4GHz	Raggio (m) a 5.4GHz
0.5	2.5	2.0
1	3.4	2.3
2	4.8	3.2
3	6	4
5	8	5.4
8	11	7





'REGOLE PRATICHE' per il WIRELESS

1. Nel calcolo del fabbisogno di potenza aggiungere un 30% in più del limite minimo per un funzionamento corretto. Usare la massima potenza possibile (rimanendo nelle norme EIRP) ed impiegare antenne direttive per limitare le interferenze. L'uso di un'antenna omnidirezionale è sconsigliato in quanto emettendo e ricevendo su 360°, può creare e ricevere interferenze.
2. Se l'apparato radio permette una qualche regolazione della potenza è bene prediligere un'antenna con elevato guadagno, abbassando parallelamente la potenza di emissione dell'apparato per rimanere nei limiti EIRP. Ciò aumenta il guadagno in ricezione della radio: quindi a parità di potenza EIRP emessa, aumenta la portata dell'apparato.
3. Mettere i cavi d'antenna il più corti possibile, per limitare l'attenuazione del segnale od usare cavi a bassa attenuazione, di buona qualità (ad es. LMR400 o superiori).
4. Ottenere una visibilità diretta e chiara fra le antenne per tutto l'anno.

Risolvere le riflessioni in un collegamento radio

Le riflessioni delle onde radio possono ridurre le prestazioni di un collegamento quando due o più segnali (il segnale utile e le sue repliche riflesse) sono ricevuti dall'antenna nello stesso istante, ma fuori fase. Le riflessioni hanno origine quando le onde radio rimbalzano su superfici lisce come tetti, distese di terreno piatto, acqua ed altre superfici che riflettono l'onda radio senza apprezzabile dispersione, il che le rende molto simili a specchi elettromagnetici. Quando il segnale utile ed una sua componente riflessa raggiungono il ricevitore, interagiscono dando luogo ad una interferenza. Se ad esempio due segnali della stessa potenza fossero ricevuti nello stesso istante ma con fase opposta, si annullerebbero a vicenda per interferenza distruttiva, producendo di fatto un segnale a potenza nulla, mentre se giungessero con la stessa fase (interferenza costruttiva), le loro singole intensità sarebbero sommate producendo di fatto un incremento della potenza del segnale utile. Nella pratica, naturalmente, è molto più frequente trovarsi di fronte a fenomeni "intermedi", poiché è improbabile che segnali in perfetta fase o perfetta controfase e segnali riflessi della stessa potenza di quelli diretti, possano essere prodotti dagli agenti riflettenti elencati in precedenza.

Tipicamente l'effetto delle riflessioni si manifesta e si nota con un decadimento delle performance ingiustificato, soprattutto quando il segnale misurato al ricevitore (RSSI) è apparentemente forte ed entro i margini dichiarati dal costruttore.

Si possono dare alcuni suggerimenti pratici per minimizzare le riflessioni e sperare che un collegamento radio possa ottenere prestazioni migliori. Tali suggerimenti sono volti ad intervenire sulla fase del segnale riflesso, cercando di renderla quanto più vicina a zero (dunque si cerca di allontanarsi dalla interferenza distruttiva). Non potendo agire direttamente sulla fase del segnale già ricevuto (gli apparati radio hanno in ogni caso algoritmi di correzione automatica della fase e/o di ricostruzione del segnale), si agisce sul posizionamento spaziale delle antenne, un parametro già



“Packet Team”
Sez. A.R.I. di Lomazzo
Via Milano, 24
22074 Lomazzo (CO)



Tel. +39-02-320621748 Fax. +39-02-700529465 Email: arilomazzo@infinito.it <http://www.arilomazzo.it>

utilizzato nelle tecniche di ricezione in diversità di spazio (space diversity) e che nel caso di onde centimetriche (nel range da 3 a 10 GigaHertz) si può sfruttare facilmente. Ecco in sintesi cosa si suggerisce di fare:

- spostare le antenne, avvicinandole o allontanandole dal culmine del tetto o aggiustando l'elevazione di entrambe: ciò può schermare efficientemente le antenne da un segnale riflesso per interposizione o eliminazione di un ostacolo riflettente come il tetto.
- regolare l'elevazione sul palo di una sola antenna, approssimativamente di 2.5/3 cm in alto o in basso rispetto alla posizione che dà problemi: ciò sposterà la fase del segnale ricevuto di circa 180 gradi, producendo un'interferenza costruttiva anziché distruttiva. Un'onda radio nella banda 5.4-5.7GHz, infatti, ha una lunghezza d'onda di circa 5.5 cm, secondo la legge che lega lunghezza d'onda, frequenza e velocità nel vuoto di un'onda elettromagnetica, vale a dire **lunghezza d'onda = 300/frequenza (espressa in MHz)**, perciò, spostare l'antenna di metà della lunghezza d'onda del segnale utile varierà la fase del segnale riflesso di 180 gradi. E' ovvio che lo spostamento potrebbe anche peggiorare la situazione, e che non è detto si debba spostare l'antenna esattamente di metà lunghezza d'onda, ma tentar non nuoce. E' bene procedere a piccoli step di 1/2 centimetro alla volta o più: una volta arrivati a 2.5/3 cm è inutile proseguire oltre. E' chiaro che nella realtà non esiste un solo segnale riflesso, ma una moltitudine di segnali simili: dato che lo spostamento dell'antenna agisce per una sola onda riflessa alla volta, non sarà possibile risolvere totalmente un grave problema di riflessione. Si dovrebbe cercare di agire sulla componente riflessa di potenza maggiore (qualora ne esista una). In pratica basta spostare l'antenna e vedere in tempo reale come cambiano le prestazioni del sistema.

Lo stesso ragionamento può essere fatto per i collegamenti radio funzionanti su altre frequenze, basta calcolare la diversa lunghezza d'onda alla frequenza di lavoro desiderata e prendere metà del valore ottenuto come spostamento massimo da applicare all'antenna.



“Packet Team”
Sez. A.R.I. di Lomazzo
Via Milano, 24
22074 Lomazzo (CO)



Tel. +39-02-320621748 Fax. +39-02-700529465 Email: arilomazzo@infinito.it <http://www.arilomazzo.it>

Cos'è il deciBel (dB): una breve descrizione

Il **deciBel** è una misura relativa, un rapporto, fra due valori (solitamente potenze nel campo delle telecomunicazioni), uno dei quali è un valore di riferimento. Il deciBel quindi non esprime un'unità di misura come il Watt, ma solo lo scostamento dal riferimento preso. Nel seguito vedremo che dire che la potenza è di 3dBm significa che ho una potenza di 3dB **sopra** il riferimento standard di 1mW; mentre dire che la potenza è di -3dBm significa che siamo 3dB **sotto** lo stesso riferimento. L'equazione classica del **dB** per la potenza è:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} (P_2 / P_1)$$

In questa equazione P_1 è il riferimento, tipicamente di 1 **milliWatt (mW)**, quindi il **dB** viene scritto **dBm** per indicare che ci si riferisce a millesimi di Watt. Esistono anche altre forme di **dB** usate comunemente ed elencate nella tabella in fondo.

Calcolare un valore qualunque è quindi molto semplice, basta sostituire a P_2 il valore di potenza che si vuole calcolare e a P_1 il riferimento di 1 mW.

Ricordare: Il **dB** è un logaritmo, quindi i suoi valori sono in realtà misure "comprese" dei rispettivi valori "lineari" che esprime: ad es. una differenza di 10 dB è un **FATTORE 10** rispetto al riferimento, 3 dB è circa un fattore 2, -3dB è quasi la metà, e così via.

dB Negativo

Il dB negativo (ad es. -87 dB) esprime semplicemente una potenza inferiore al riferimento ed è usato tipicamente per descrivere la **sensibilità del ricevitore** di un apparato radio. Valori tipici vanno da -70 a -92dBm. Ad es. una sensibilità di -80dBm significa che il ricevitore riuscirebbe a percepire, in condizioni ideali (senza rumore di fondo), segnali di 10^{-8} mW ossia 100 milionesimi di milliWatt (o 100 miliardesimi di Watt !).

E' buona norma comunque lasciarsi sempre un buon **margin**e al di sopra di questo valore (tipicamente 15-20dB) in modo che ci si ripari da eventuali fluttuazioni del segnale durante l'anno.



Conversione da dBm a Watts

dBm	Watt	Note	dBm	Watt	Note
0	1.0 mW		19	79 mW	
1	1.3 mW		20	100 mW	Massima potenza ammessa per Radiolan a 2.4GHz
2	1.5 mW		21	126 mW	
3	2.0 mW		22	158 mW	
4	2.5 mW		23	200 mW	Massima potenza ammessa per Hiperlan Indoor 5.150-5.350GHz
5	3.2 mW		24	250 mW	
6	4.0 mW		25	316 mW	
7	5.0 mW		26	398 mW	
8	6.3 mW		27	500 mW	
9	8.0 mW		28	630 mW	
10	10.0 mW		29	800 mW	
11	12.5 mW		30	1.00 W	Massima potenza ammessa per le Hiperlan Outdoor 5.470-5.725GHz
12	15.8 mW		31	1.30 W	
13	20.0 mW		32	1.60 W	
14	25.0 mW	Massima potenza ammessa per non-specific SRD a 5.725-5.850GHz	33	2.00 W	
15	32.0 mW		34	2.50 W	
16	40.0 mW		35	3.20 W	
17	50.0 mW		36	4.00 W	
18	63.0 mW		37	5.00 W	



“Packet Team”
Sez. A.R.I. di Lomazzo
Via Milano, 24
22074 Lomazzo (CO)



Tel. +39-02-320621748 Fax. +39-02-700529465 Email: arilomazzo@infinito.it <http://www.arilomazzo.it>

Termini comuni

Termine	Significato
dB	Non significa molto perché non definisce alcun riferimento, ma dipende dal contesto in cui viene usato: per le telecomunicazioni a bassa potenza il riferimento è 1 mW.
dBi	Usato per descrivere il guadagno di un'antenna: 'i' sta per 'isotropico', poichè il riferimento, in questo caso è il guadagno di un'antenna isotropica (omnidirezionale)
dBm	Il rapporto di potenza relativo a 1 milliWatt
dBW	Il rapporto di potenza con relativo a 1 Watt