

Ponte radio

A CURA DI ORSO GIACONE GIOVANNI



Antenne di Ponti Radio sul Mont Aigoual, Cévennes (Francia)

In telecomunicazioni il termine **ponte radio** si utilizza per indicare una connessione wireless a radiofrequenza o microonde tra punti normalmente fissi (*radiocollegamento*), realizzata a mezzo di una opportuna infrastruttura di telecomunicazioni, al fine di trasmettere a distanze altrimenti non raggiungibili informazioni di fonìa, video o dati opportunamente modulati, sotto forma di una radiocomunicazione.

Rappresentano spesso le strutture portanti della rete di trasporto wireless a supporto della radiodiffusione e telediffusione.

Descrizione



Antenne di test dei ponti radio sulla antica torre della Telettra a Vimercate

I ponti radio sfruttano la propagazione delle onde elettromagnetiche nello spazio libero o occupato da un mezzo non totalmente opaco alle lunghezze d'onda utilizzate (radiopropagazione), grazie all'utilizzo di antenne (tipicamente antenne direzionali di tipo parabolico) per l'irradiazione e la ricezione elettromagnetica, poste su appositi tralicci o torri sia in trasmissione che in ricezione in aggiunta a trasmettitore e ricevitore, agli estremi del radiocollegamento o nelle eventuali tratte interne di trasporto dove l'intero blocco ricetrasmittivo assume la funzionalità logica tipica di "ripetitore" del segnale.

Un ponte radio tipicamente può essere:

- "terrestre", se si appoggia ad infrastrutture poste sulla superficie terrestre;
- "aereo", se si appoggia provvisoriamente ad un velivolo in volo in quota;
- "satellitare", se si appoggia sui satelliti artificiali in orbita e le relative telecomunicazioni satellitari.

Ciascuno di questi può trasmettere in maniera *analogica* o *digitale* con la seconda ormai definitivamente affermata per i suoi vantaggi trasmissivi.

Vantaggi

I vantaggi di tale tecnica di radiocollegamento, comuni a tutte le forme di radiocomunicazione, sono ovviamente l'abolizione del cablaggio e quindi l'abbattimento di costi iniziali di investimento e dei tempi di installazione rispetto ad un sistema cablato, con il superamento della "linea di vista" quando si è in presenza di ostacoli fisici quali ad esempio montagne o il limite imposto dalla curvatura terrestre e con la possibilità di amplificare o rigenerare il segnale attenuato oltre una certa distanza fisica dall'emettitore.

Tipologie



Torre antenna

Oltre al trasmettitore iniziale e al ricevitore finale, in generale esistono due tipologie di ripetitori: ripetitori *trasparenti* e ripetitori *rigenerativi*: i primi attuano la sola funzione di amplificazione del segnale, i secondi attuano invece funzionalità di rigenerazione (*reshaping*) del segnale ovvero aggiungono operazioni di filtraggio dopo adeguata demodulazione del segnale e successiva rimodulazione. I secondi sono naturalmente più complessi e costosi dei primi.

Il termine *ripetitore passivo* indica invece un particolare tipo di ripetitore, utilizzato per poter superare ostacoli naturali che ostruirebbero la *linea di vista* tra due terminali radio, senza operare alcun tipo di amplificazione o rigenerazione operando quindi in maniera del tutto passiva. Esso consiste dunque in una coppia di antenne opportunamente collocate che ricevono e ritrasmettono il segnale cambiandone solamente la direzione. Può essere collocato in punti elevati ovviando all'installazione di apparati elettronici che richiederebbero energia e la cui manutenzione risulterebbe complicata e costosa. In casi particolari, normalmente con angoli di ripetizione inferiori ai 90° , si può utilizzare uno specchio metallico con area di diversi metri quadrati opportunamente orientato, invece di due antenne accoppiate. In alcuni casi particolarmente critici per la presenza di ostacoli difficilmente superabili, si può utilizzare l'inserimento di doppi o addirittura tripli ripetitori passivi. La tecnica risulta particolarmente vantaggiosa se il punto di ripetizione passiva è vicino a uno dei due terminali attivi, in modo da ridurre le perdite totali del collegamento.

Frequenze utilizzate

Gli intervalli di frequenze elettromagnetiche utilizzabili per i ponti radio commerciali, vanno dai MHz ormai alle decine di GHz, e sono regolati in ogni paese dalle autorità competenti per ordinare e garantire una trasmissione senza interferenze e quindi con un livello di qualità opportuno (vedi banda radio). Al momento non esistono sistemi commerciali per frequenze superiori agli 80 GHz, mentre le frequenze più utilizzate sono quelle fra i 4 GHz e i 38 GHz.

A livello internazionale la UIT (*Unione Internazionale delle Telecomunicazioni*, in inglese ITU) regola le porzioni di spettro radio in modo da permettere una massima omogeneità degli usi in tutti i paesi, e quindi anche lo sviluppo di prodotti commerciali di basso costo che possono essere venduti nei vari paesi.

Modulazione

I ponti radio possono implementare sia trasmissioni di tipo analogiche sia trasmissioni di tipo digitali. Le tecniche di trasmissione in ponte radio digitale disponibili commercialmente permettono oggi (2015) la trasmissione con una complessità di modulazione numerica fino a 1024, 2048 fino a 4096 simboli differenti (ogni simbolo ha una differente fase e/o ampiezza dell'onda elettromagnetica impiegata, come previsto dalla modulazione QAM), corrispondenti ad una efficienza spettrale di trasmissione teorica di 10, 11 o 12 bit/s per ogni Hertz di spettro elettromagnetico utilizzato.

Tecniche ancora più sofisticate permettono la trasmissione simultanea su due polarizzazioni ortogonali dell'onda radio, orizzontale e verticale, in modo da raggiungere efficienze doppia (esempio 24 bit/s per Hertz, con una doppia modulazione 4096 simboli per polarizzazione). Naturalmente dato che le antenne normalmente non consentono una separazione sufficiente delle due polarizzazioni in tutte le condizioni del mezzo di trasmissione, occorre normalmente l'utilizzo di dispositivi di cancellazione delle interferenze reciproche dei due segnali per ottenere queste efficienze massime.

Le efficienze massime si vedono poi normalmente ridotte di una certa percentuale (generalmente un 10-20%) data la necessità di utilizzare una parte della capacità per introdurre segnali ridondanti al fine di correggere gli errori di trasmissione con tecniche di rivelazione e correzione d'errore (codifica di canale).



Antenne di Ponti Radio a Stoccarda

Modulazione adattativa

Le ultime novità tecnologiche disponibili in prodotti commerciali, includono la possibilità di controllare (variare) la complessità della modulazione, ad esempio passando da 4/16/32/64/128/512/1024/2048 o 4096 QAM, in funzione delle condizioni di propagazione disponibili in ogni momento della trasmissione. In tal modo si può garantire un'alta qualità di servizio (ad esempio una disponibilità del 99,999% del tempo) per i servizi prioritari anche quando la pioggia e gli altri fenomeni atmosferici impediscono l'uso di modulazioni e capacità più elevate.

D'altra parte, dato che questi fenomeni avversi avvengono solo durante una piccola frazione del tempo, il sistema radio può trasportare servizi meno prioritari ma con richiesta di banda notevoli con una disponibilità che rimane elevata (per esempio superiore al 99,9% del tempo), utilizzando le modulazioni più efficienti in modo *adattativo*.

Quando la modulazione adattativa si accoppia con il trasporto di segnali di tipo 'a pacchetto', per esempio informazioni

con protocollo IP, si raggiunge la migliore ottimizzazione e la massima efficienza totale media, permettendo il miglior bilanciamento fra qualità, capacità e investimenti in infrastrutture costose come antenne di gran diametro.

Multiplicazione

In uscita dal trasmettitore e per tutta la tratta di trasporto i dati trasportati possono essere multiplati con tecniche tipiche quali PDH e SDH e poi demultiplati in ricezione, oppure essere trasmessi con modalità a pacchetti (Ethernet) in sistema radio più recenti. In diversi sistemi radio moderni i dati possono anche essere trasmessi con modalità mista TDM/Ethernet oppure in modalità full-ip con il protocollo MPLS.

Limiti della radiopropagazione

Come in ogni forma di radiopropagazione tra i fattori che limitano la capacità di trasmissione vi sono attenuazioni dovute a fenomeni atmosferici come pioggia, riflessioni e ostruzioni dal terreno, vegetazione, edifici etc., disomogeneità delle caratteristiche di trasmissione delle onde elettromagnetiche nei diversi strati atmosferici, assorbimenti determinati da alcune molecole (ossigeno, vapor d'acqua, ...).

Con particolari schemi di modulazione usati congiuntamente nell'OFDM, le riflessioni diventano un fenomeno meno limitante per la trasmissione radio in ambiente NLOS (*Non-line-of-sight*, non in vista ottica).

Tecniche di radiocollegamento

Oltre alla tecnica classica *point to point* semplice di radiocollegamento, per far fronte alle problematiche dell'aleatorietà

della radiopropagazione dovuta alla mutevolezza delle condizioni o parametri fisici del canale radio è possibile ricorrere alle cosiddette *tecniche in diversità*. Queste tecniche consistono nell'instaurare due o più radiocollegamenti a supporto di uno stesso servizio in modo tale che in ricezione è possibile scegliere costantemente il radiocollegamento che si mantiene al di sopra di una soglia minima di qualità prefissata in termini di potenza utile del segnale aumentando così il più possibile il *tempo di disponibilità* del servizio offerto.

In particolare si distinguono tecniche in *diversità di spazio* in cui vengono installate due o più antenne poste in luoghi o posizioni verticali differenti sullo stesso traliccio in modo tale da sfruttare la possibile diversità di radiopropagazione in funzione del diverso spazio aereo percorso, e tecniche in *diversità di frequenza* in cui ciascun antenna irradia a frequenze differenti in modo tale da sfruttare la possibile diversità di radiopropagazione in funzione della frequenza dell'onda elettromagnetica portante del segnale trasmesso.

Interferenze

Poiché i ponti radio utilizzano normalmente antenne ad alta direttività che permettono di concentrare in una direzione preferenziale (tipicamente verso il ricevitore distante) l'energia elettromagnetica generata dall'emettitore, e in maniera complementare di ricevere solo l'energia proveniente da una determinata direzione, in questo modo è possibile dunque minimizzare gli effetti di interferenza con altri sistemi di telecomunicazioni e riutilizzare quindi le stesse frequenze per trasmissioni simultanee nella stessa area geografica in direzioni diverse, opportunamente angolarmente separate.

Il problema dell'interferenza elettromagnetica è dunque meno sentito e meno gravoso rispetto ad altri sistemi di radiocomunicazione come le reti cellulari e i sistemi di radiodiffusione e telediffusione. D'altro canto però se i ponti radio non sono in genere sorgenti di grande interferenza, possono subire

interferenza proprio da questi ultimi sistemi che diffondono i rispettivi segnali informativi in modalità broadcast. Ad ogni modo l'uso corretto dell'attribuzione e pianificazione della banda radio secondo le normative tecniche evita in prima approssimazione i problemi di interferenza tra sistemi, a meno di intermodulazione.

Potenze emesse

In virtù della direzionalità dei fasci d'antenna i guadagni d'antenna sono abbastanza elevati e quindi abbastanza elevata sarà quindi anche l'intensità di energia elettromagnetica emessa nel fascio principale d'antenna.

In particolare i livelli massimi di potenza trasmissibile sono regolati dagli organismi competenti per evitare effetti negativi sulla popolazione (sotto forma di inquinamento elettromagnetico) che accidentalmente può essere illuminata dalle antenne trasmittenti. Di fatto si utilizzano normalmente pochi watt di potenza anche per trasmissioni di gran capacità, come quelle che in uno spettro di circa 28 MHz trasmettono oltre 400 Mb/s (al netto delle ridondanze) con l'uso di modulazioni a 1024 simboli e doppia polarizzazione, a distanze di diverse decine di chilometri, con antenne paraboliche di pochi metri di diametro.

Capacità

La capacità disponibile alla trasmissione dipende dunque dallo spettro radio utilizzato, ovvero l'intervallo di frequenze o canale radio utilizzate, e dalla complessità della modulazione utilizzata cioè dalla cosiddetta efficienza spettrale. Infatti nello stesso intervallo di frequenze si può trasmettere una quantità maggiore d'informazione se viene utilizzata una maggior complessità di codifica delle informazioni.

La contropartita è che ad una maggior complessità corrisponde una minor robustezza della trasmissione (maggiori errori di

trasmissione) che si risolve nella necessità di una maggiore potenza richiesta in trasmissione per aumentare il rapporto segnale/rumore (cosa peraltro limitata entro valori limiti di potenza), nell'incremento della complessità dell'elettronica utilizzata e nella maggior sensibilità alle possibili sorgenti di interferenza naturali o artificiali.

I limiti minimi di potenza ricevibile per ogni fissata capacità e modulazione, ovvero la sensibilità del ricevitore, sono teoricamente determinabili dagli inevitabili livelli di rumore elettronico nel ricevitore, il quale induce una probabilità d'errore P_e nella sequenza del segnale digitale ricevuto o equivalentemente una sua distorsione nel caso di segnali analogici.

Nelle ultime generazioni di sistemi radio sono state introdotte tecnologie di compressione delle informazioni trasmesse, per esempio di alcuni bytes dei pacchetti IP, che permettono una capacità 'equivalente' di trasmissione aumentata che può essere molto significativa specialmente in presenza di pacchetti IP di dimensioni ridotte.

Progettazione

La progettazione di un ponte radio ovvero il suo dimensionamento si fa abitualmente ricorrendo a:

1. scelta dei siti per i due terminali, e dimensionamento dell'altezza delle antenne, le quali devono tenere conto di eventuali fenomeni di copertura del segnale dovuti ad ostacoli fisici (vedi zona di Fresnel).
2. dimensionamento della potenza elettromagnetica in trasmissione attraverso il bilancio di radiocollegamento ovvero tenendo in debito conto tutte le attenuazioni e del livello minimo (soglia) necessaria al ricevitore per

ricostruire correttamente il segnale trasmesso

3. dimensionamento dei diametri delle antenne e dell'eventuale necessità di diversità di frequenza, separazione delle antenne per raggiungere la qualità/disponibilità obiettivo

Le frequenze utilizzate saranno scelte in funzione della distanza da coprire e da eventuali possibili interferenze con altri sistemi di telecomunicazione.

Ripetitori radioamatoriali

Esistono anche ponti radio usati a scopo radioamatoriale, per lo studio e la conoscenza radioelettrica e per comunicazioni a medie distanze tra due stazioni non collegabili direttamente tra di loro. Tali ponti sono ad esclusivo uso dei radioamatori e hanno una propria nomenclatura. Ad esempio, *RU7* definisce un ponte radio radioamatoriale in UHF con frequenza 430,175 MHz e +1,6 MHz di *shift*.

Nomenclatura ponti in VHF

Ponte	Frequenza di uscita (Mhz)	Frequenza di ingresso (Mhz)
RV	145.575 ^[3]	144.975
R0	145.600	145.000
R0a	145.6125	145.0125

R1	145.625	145.025
R1a	145.6375	145.0375
R2	145.650	145.050
R2a	145.6625	145.0625
R3	145.675	145.075
R3a	145.6875	145.0875
R4	145.700	145.100
R4a	145.7125	145.1125
R5	145.725	145.125
R5a	145.7375	145.1375
R6	145.750	145.150
R6a	145.7625	145.1625
R7	145.775	145.175
R7a	145.7875	145.1875

Nomenclatura ponti in UHF

Ponte	Frequenza di uscita (Mhz)	Frequenza di ingresso (Mhz)
RU0	430.000	431.600
RU0a	430.0125	431.6125
RU1	430.025	431.625
RU1a	430.0375	431.6375
RU2	430.050	431.650
RU2a	430.0625	431.6625
RU3	430.075	431.675
RU3a	430.0875	431.6875
RU4	430.100	431.700
RU4a	430.1125	431.7125
RU5	430.125	431.725
RU5a	430.1375	431.7375

RU6	430.150	431.750
RU6a	430.1625	431.7625
RU7	430.175	431.775
RU7a	430.1875	431.7875
RU8	430.200	431.800
RU8a	430.2125	431.8125
RU9	430.225	431.825
RU9a	430.2375	431.8375
RU10	430.250	431.850
RU10a	430.2625	431.8625
RU11	430.275	431.875
RU11a	430.2875	431.8875
RU12	430.300	431.900
RU12a	430.3125	431.9125

RU13	430.325	431.925
RU13a	430.3375	431.9375
RU14	430.350	431.950
RU14a	430.3625	431.9625
RU15	430.375	431.975
RU15a	430.3875	431.9875
RU16	431.225	432.825
RU16a	431.2375	432.8375
RU17	431.250	432.850
RU17a	431.2625	432.8625
RU18	431.275	432.875
RU18a	431.2875	432.8875
RU19	431.300	432.900
RU19a	431.3125	432.9125

RU20	431.325	432.925
RU20a	431.3375	432.9375
RU21	431.350	432.950
RU21a	431.3625	432.9625
RU22	431.375	432.975
RU22a	431.3875	432.9875
RU23	431.400	433.000
RU23a	431.4125	433.0125
RU24	431.425	433.025
RU24a	431.4375	433.0375
RU25	431.450	433.050
RU25a	431.4625	433.0625
RU26	431.475	433.075
RU26a	431.4875	433.0875

RU27	431.500	433.100
RU27a	431.5125	433.1125
RU28	431.525	433.125
RU28a	431.5375	433.1375
RU29	431.550	433.150
RU29a	431.5625	433.1625
RU30	431.575	433.175
RU30a	431.5875	433.1875
RU31	431.600	433.200

Ponti radio e fibra ottica

I ponti radio sono stati per molto tempo uno dei mezzi di trasmissione a distanza con maggior capacità nella rete di trasporto e dunque estremamente diffusi. Nel corso degli anni novanta, le fibre ottiche hanno superato largamente la capacità massima trasmissibile da sistemi in ponte radio, limitando di fatto il loro uso, specialmente nei paesi più sviluppati.

I ponti radio hanno mantenuto comunque una validità insuperata per tutti quei casi dove la rapidità di installazione e/o la moderata capacità di trasmissione richiesta rendono la fibra ottica una soluzione ancora inadeguata (es. zone impervie) o non necessaria.

Come caso emblematico, la maggior parte delle connessioni di accesso alle stazioni radio base per la telefonia mobile, o per la connessione delle stazioni di radiodiffusione di segnali radio-televisivi terrestri, sono tuttora realizzate per mezzo di ponti radio.

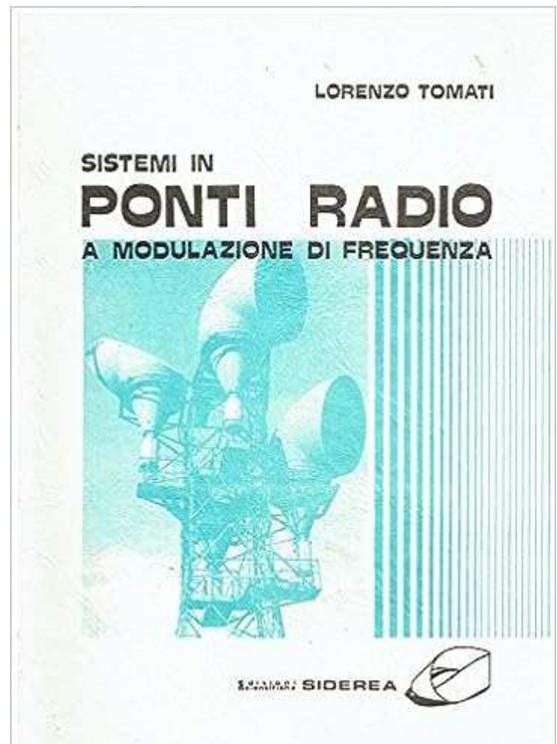
Sistemi di trasporto in ponte radio continuano ad essere utilizzati in ambito militare, perché ritenuti a maggiore sicurezza in quanto non soggetti a incidenti o vandalismi come la rottura di un cavo, e in generale in tutti quei casi in cui le esigenze di traffico in una certa tratta della rete di trasporto sono appunto soddisfabili da sistemi wireless preesistenti anziché da nuovi sistemi cablati più costosi, divenendo così *complementari* alla rete cablata stessa. Laddove non sono dismessi possono essere utilizzati come ridondanza trasmissiva in caso di guasti o particolari criticità nella rispettiva tratta cablata.

Spesso però la sostituzione di un ponte radio con un cablaggio in fibra ottica, anche quando non strettamente necessario, rappresenta un'operazione di investimento a più lungo termine considerando i possibili aumenti di traffico nel tempo.

Record

Il collegamento in ponte radio più lungo di cui si ha notizia è parte della connessione fra Port Sudan (Sudan) e Taif (Arabia Saudita) realizzato nel 1979 da Telettra. Il salto di 360 km attraversava il Mar Rosso tra le stazioni di Jebel Erba, 2179 m sul livello del mare (20°44'46,17" N 36°50'24,65" E, Sudan) e Jebel Dakka, 2572 m (21°5'36,89" N 40°17'29,80" E, Arabia Saudita). Fu realizzato nella banda di 2 GHz, con trasmettitori della potenza di 10 W (HT2), e con una combinazione di 4 antenne di 4,6 m di diametro in ciascun terminale, montate su torri appositamente costruite di 112 m. Permise la trasmissione di 300 canali telefonici più un segnale televisivo, con modalità analogica (FDM)

RIASSUNTO TRATTO DAI LIBRI MIA COLL. PRIVATA



•