

Angelo Pizzoleo

Luigi Salamandra

DGTCSI-ISCTI – Università degli
Studi di Roma “Tor Vergata”

Enrico Manca

DGTCSI-ISCTI

Radio over fibre: una tecnologia chiave per le reti 5G

Radio over Fibre: a key technology for 5G network

Sommario: *Radio over Fibre è il termine che racchiude la famiglia di tecnologie che permettono la trasmissione di segnali in radiofrequenza attraverso la rete in fibra ottica. Queste tecnologie risultano essere fondamentali per la diffusione delle reti di nuova generazione poiché permettono la distribuzione dei servizi wireless su ampie aree ma nel contempo una copertura capillare delle unità remote di interfaccia con gli utenti. In questo articolo sono spiegati i principi di funzionamento e le architetture di base per il Radio over Fibre.*

Abstract *Radio over Fibre is a term that collects the technologies family which allow to transmit a radiofrequency signal over a optical fibre link. These technologies turn out to be essential components for the diffusion of next generation networks because enable wireless services distribution on extended areas with a widespread coverage of user interface remote units. Radio over Fibre operating principles and basic architectures are explained in this paper.*

1. Introduzione

L'attuale diffusione dei servizi per radiocomunicazione, con il conseguente aumento del numero di utenti, spingono verso trasmissioni con bit rate sempre più elevati i quali comportano l'utilizzo di portanti radio a più alte frequenze, rispetto a quelle utilizzate nei precedenti sistemi, per poter soddisfare la crescente domanda di accesso alla banda larga. Come conseguenza dell'aumento di frequenza l'infrastruttura necessaria per supportare i servizi di radiocomunicazione richiede l'uso di punti di accesso radio che coprano un'area più piccola dal punto di vista fisico, a causa dell'attenuazione, portando ad un drastico aumento del numero di antenne; inoltre ci sono molte aree inaccessibile alle onde radio come aree sotterranee, tunnel, regioni montagnose o isolate da ostacoli toponomastici che necessitano di essere raggiunte dalla rete. Per agevolare la realizzazione dell'infrastruttura radio con celle più piccole e coprire le zone d'ombra si stanno studiando diverse tecnologie radio over fibre nel campo della ricerca e sviluppo della microwave photonics. Con il termine Radio over Fibre (RoF) si indicano tutte quelle tecnologie grazie alle quali è possibile trasmettere un segnale nativo in radio frequenza attraverso una rete in fibra ottica sfruttando la luce come portante. La fibra ottica risulta essere di estremo interesse in quanto, teoricamente, ha una larghezza di banda illimitata. Le frequenze delle portanti ottiche utilizzate si trovano nell'intorno dei 200 THz mentre le frequenze delle portanti a microonde sono nell'intorno di 1GHz; la portante ottica modulata, considerando un fattore limitato all'1%, presenta già un bit rate di circa 2Tbps, questa enorme larghezza di

banda rende la fibra ottica la migliore scelta come supporto all'infrastruttura di rete radio. I vantaggi nell'uso della fibra ottica non si fermano alla sola larghezza di banda infatti la fibra ottica possiede per sua natura una bassissima attenuazione, circa 0.2 dB/Km alla lunghezza d'onda di 1550 nm, che la rende ideale per trasmissione su lunghe distanze senza la necessita di rigenerare il segnale, inoltre permette una facile installazione e necessita di bassi costi di manutenzione.[1]

2. Radio over Fibre

In un generico sistema Radio over Fibre, come mostrato in Fig.1, il segnale radio deve essere trasportato su portante ottica senza sostanziali cambiamenti sulla sua forma d'onda, il sistema deve quindi risultare trasparente dopo la riconversione in radiofrequenze, e dovrebbe essere trattato, in generale, come un segnale analogico. La frequenza portante del segnale radio non subisce alcun processamento in banda base prima della conversione elettro/ottica e non è quindi considerata in questa fase.[2]

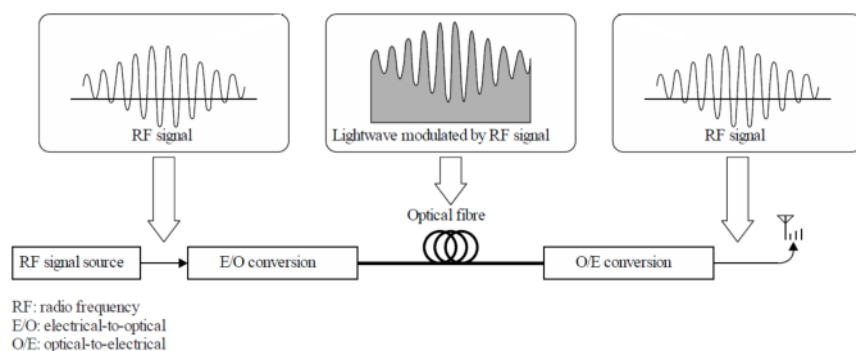


Figura 1. Schema basilare di un sistema RoF

Le caratteristiche principali di questa tipologia di trasmissione sono la conservazione della forma d'onda durante la trasmissione in fibra e l'immunità rispetto a interferenze elettromagnetiche di segnali radio in prossimità, grazie alle caratteristiche fisiche proprie della luce, che ne preserva integrità e qualità.[3] Per massimizzare le potenzialità dei sistemi RoF e sfruttare al meglio le sue caratteristiche è necessario porre attenzione nella gestione della figura di rumore e delle non linearità del sistema accrescendo così il rapporto segnale rumore in potenza e il range dinamico.

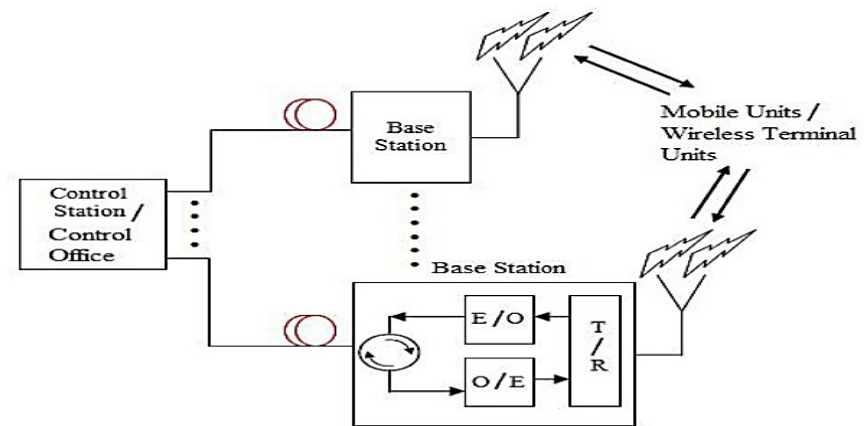
Un metodo alternativo tenuto in grande considerazione consiste nella trasmissione in fibra ottica di segnali in forma digitale; questa tecnologia, denominata D-RoF (Digitized RoF); costituisce una ottima alternativa per la trasmissione di forme d'onda specialmente in casi dove distorsioni e sensibilità insufficiente al ricevitore possono ostacolare l'utilizzo del segnale analogico di origine. Tuttavia bisogna tenere in considerazione il fatto che la sua realizzazione ed efficacia dipendono fortemente dalle prestazioni della funzione DSP (Digital Signal Processing) la quale sarà a sua volta influenzata dalle prestazioni del convertitore analogico/digitale ADC (Analogue-to-Digital Converter)

e digitale/analogico DAC (Digital-to-Analogue Converter). Ulteriore difficoltà è rappresentata dalla presenza del rumore di quantizzazione, derivante dal processo di digitalizzazione, che risulta di difficile rimozione e causa distorsioni della forma d'onda. Altro fattore da considerare è che ogni campione nel dominio del tempo digitalizzato necessita di diversi bit, di conseguenza l'efficienza in termini di larghezza di banda del D-RoF può essere di molto inferiore rispetto a quella del RoF analogico.[2]

3. Architetture per sistemi RoF

Essendo una strategia trasmissiva il RoF non è caratterizzato da una architettura standard, un generico sistema, Fig.2, consta essenzialmente di componenti per la conversione elettro/optica (E/O), una fibra ottica per il trasporto, una Base Station (BS) e diverse antenne remote.[1]

Figura 2. Elementi essenziali di una architettura RoF



La Figura 3 illustra le architetture generiche e fondamentali per la trasmissione Radio over Fibre, in particolare per la trasmissione di tipo analogico, Figura 3a, e di tipo digitale, Figura 3b. Nell'immagine si assume che le apparecchiature che svolgono le funzioni rappresentate alla sinistra del collegamento in fibra ottica siano allocate nel central office mentre quelle a destra nell'antenna remota.

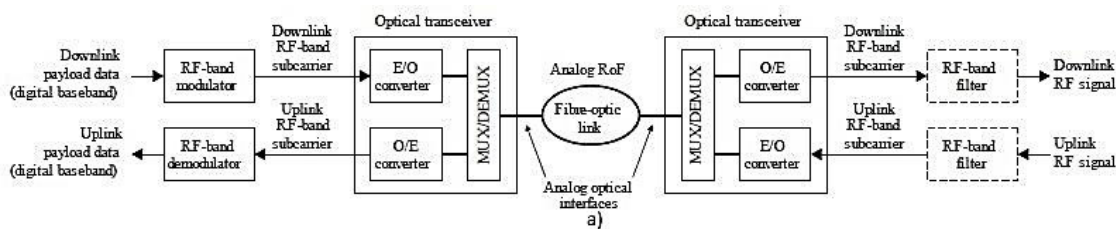


Figura 3a

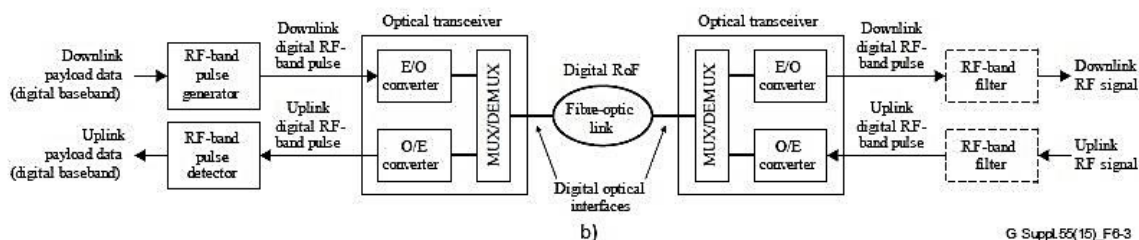


Figura 3b

G Suppl.55(15)_F8-3

In uno schema di trasmissione in banda RF, Figura 3a, il sistema consta in un modulatore/demodulatore in banda RF, una coppia di ricetrasmittitori ottici, un collegamento in fibra ottica e due filtri in banda RF. Considerando il downlink, la portante in banda RF viene modulata, in base all'informazione che si vuole trasmettere, attraverso un modulatore RF nel local office; il segnale della sottoportante così generato modula una portante ottica utilizzando un convertitore elettro/ottico che si trova all'interno dell'apparato di ricettazione ottico. Il segnale RoF analogico generato viene quindi trasmesso lungo il collegamento in fibra ottica e giunto all'antenna remota viene ricevuto da un convertitore ottico/elettrico ottenendo idealmente un segnale elettrico identico alla modulante in banda RF. Per la parte uplink il procedimento è simile ed alla fine il segnale modulante in RF viene demodulato recuperando l'informazione trasportata.

La Figura 3b) illustra una generica architettura per la trasmissione di segnali radio digitali di cui RF-band pulse è un tipico esempio. Come per i casi precedenti si assume che il lato sinistro al collegamento in fibra sia situato nel local office mentre la parte destra nell'antenna remota. Nello schema di trasmissione RF-band pulse il sistema consiste in un generatore di impulsi in banda RF, un rilevatore di impulsi in banda RF, una coppia di ricetrasmittitori ottici, un collegamento in fibra ottica e due filtri in banda RF. La procedura di trasmissione per questa configurazione rimane analoga alle precedenti.[2]

In queste tipologie di trasmissione RoF le principali parti della trasmissione e ricezione radio, come il modulatore e demodulatore in dominio elettrico, possono essere posizionati nel local office in modo che la configurazione degli apparati al nodo remoto diventi più semplice; la strategia di concentrare gli apparati in un numero non elevato di punti principali comporta notevoli vantaggi tra cui l'allocazione dinamica delle risorse e una maggiore facilità di manutenzione e rinnovamento dei dispositivi permettendo anche un più facile upgrade del sistema per

Figura 3. Esempi di configurazione per la trasmissione RoF di segnali RF
a) RoF analogico
b) RoF digitale

adeguarsi ai cambiamenti nel mondo dei servizi per radiocomunicazioni senza investimenti eccessivamente onerosi.[1]

4. Conversione elettro\ottica: Intensity Modulation Direct Detection (IMDD)

Figura 4. Schema di trasmissione con modulazione diretta.

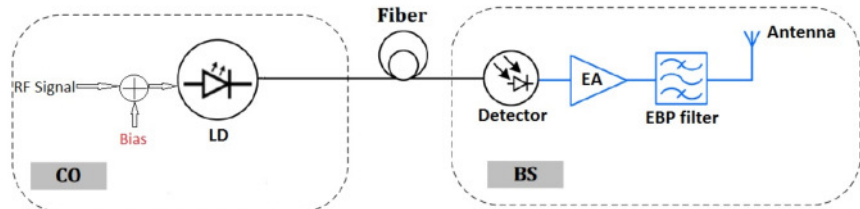
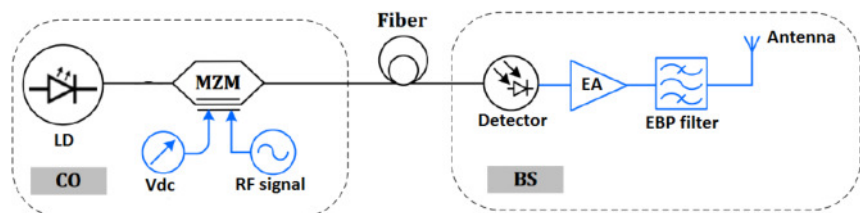


Figura 5. Schema di trasmissione con modulazione esterna.



Con questa metodologia di trasmissione del segnale il processo di conversione elettro/ottica viene svolto in due modi: modulazione diretta (Figura 4) o modulazione esterna (Figura 5) della sorgente laser. In entrambi i casi l'intensità della portante ottica è direttamente modulata dal segnale in RF e successivamente, nel lato antenna remota, riconvertita nel dominio elettrico attraverso una rivelazione diretta utilizzando un photodetector, tipicamente un fotodiodo, per recuperare il segnale in RF[4]; la fotocorrente generata sarà una replica esatta del segnale utilizzato per la modulazione e a questo punto il segnale ottenuto, dopo essere stato filtrato ed amplificato verrà trasmesso dall'antenna. Questo metodo risulta essere il più semplice, robusto ed economico per la trasmissione ottica di segnali radio. Per quanto riguarda la modulazione della portante ottica utilizzando quella diretta le prestazioni di questa tecnica sono fortemente penalizzate dai limiti fisici della sorgente ottica. Sono disponibili sul mercato laser che permettono una modulazione diretta nel dominio delle microonde ma possono arrivare fino a circa 2 GHz quindi possono essere utilizzati per servizi come il GSM e UMTS. Per superare i limiti della modulazione diretta della sorgente ottica la scelta migliore è rappresentata dalla modulazione esterna che permette di generare segnali ottici modulati con onde millimetriche che conservano una buona purezza spettrale; la modulazione esterna è spesso usata ad alte radiofrequenze al di sopra dei 10GHz. L'implementazione più semplice consiste in un laser in continua seguito da un modulatore esterno, il fatto che il laser operi in continua evita l'eccessivo chirping degli impulsi nel modulatore esterno. Si possono utilizzare diversi tipi di modulatori ad alta velocità come il modulatore Mach-Zehnder (MZM), il modulatore a elettroassorbimento o il modulatore di fase[4]. Il modulatore di tipo Mach-Zehnder è tra i più

utilizzati, il suo funzionamento si basa sul comportamento fisico del cristallo di niobato di litio, che si trova al suo interno, il quale è in grado di variare la fase del segnale ottico che lo attraversa proporzionalmente alla tensione applicata; la portante ottica in ingresso al modulatore viene divisa in due parti, tramite un splitter, che attraversano due distinti percorsi e vengono successivamente riaccoppiati in uscita. La differenza di fase tra i due segnali ottici in uscita, dopo aver attraversato il cristallo di niobato di litio, si traduce in una interferenza costruttiva o distruttiva al momento dell'accoppiamento con conseguente variazione dell'intensità della portante ottica il cui involuppo sarà proprio il segnale RF che si vuole trasportare.

5. Conclusioni

Attualmente i sistemi Radio over Fibre sono certamente una tecnologia chiave per lo sviluppo della rete attuale e futura, l'unione della radiofrequenza con la fibra ottica sembra essere l'unica strategia che permetta di rendere reali gli ambiziosi requisiti richiesti per la rete 5G e le generazioni future; la larghezza di banda e la bassa attenuazione della fibra ottica permettono di supportare i crescenti bit rate necessari per sostenere gli attuali e futuri servizi che si vogliono offrire agli utenti. La possibilità di concentrare le risorse di rete in pochi punti strategici e poterle gestire dinamicamente rende la rete sostenibile anche dal punto di vista energetico. I maggiori difetti che affliggono questi sistemi sono il rumore e le distorsioni, la ricerca oggi si concentra nel superare questi problemi e creare sistemi sempre più performanti.

Bibliografia

- [1] Balinder Singh, Davender Singh, A review on advantages and applications of Radio over Fiber system, International journal of Current engineering and technology, 2016
- [2] ITU-T G Sup.55, Radio over Fibre technologies and their applications.
- [3] R. Karthikeyan, Dr. S. Prakasam, A review OFDM-RoF system for wireless network, International journal of research in computer and communication technology, Vol.3, 2014.
- [4] Shivika Rajpal, Rakesh Goyal, A review on Radio over Fiber technology-based integrated (optical/wireless) networks, j.Opt. Commun. 2017.