

## **“Tecnologie di Trasmissione ottica a LARGA BANDA in spazio libero: il caso dell’FSO. Dall’utente finale allo spazio profondo”**

E’ doveroso premettere che quando si parla di telecomunicazioni, così come in altri ambiti della vita quotidiana quali l’economia, la medicina o il diritto, ogni approccio ed ogni diversa tipologia di intervento è caratterizzata da una area di impiego in cui risulta eccellente. Non esiste, quindi, una soluzione “universale” che vada bene in ogni situazione che sia cioè in grado di rispondere ad esigenze pratiche diverse. La logica conseguenza di tutto questo è che si deve seguire e realizzare la modalità, l’idea, la tecnologia che meglio si adatta alla specifica situazione concreta.

L’utilizzazione di apparati LASER per la comunicazione a distanza in spazio libero, generalmente nota come Free Space Optics (FSO), è potenzialmente interessante in relazione al noto problema dell’ultimo miglio e dell’interconnessione sicura e ad alta velocità in ambiente urbano (interlink tra diversi edifici di una stessa azienda ad esempio). Si tratta di una tecnologia sviluppata agli inizi degli anni 80 per scopi militari ed oggi ripresa dagli operatori di TLC con rinnovato interesse a seguito dell’esplosione di internet prima e dei tragici avvenimenti dell’11 settembre poi e dei servizi di nuova generazione, oggi.

Quando si introducono certi concetti è bene sempre fare prima un piccolo excursus storico.

Una prima forma di utilizzo di segnali luminosi in spazio libero risale al tempo dei romani ed era costituita da torri e fuochi che venivano accessi a seconda delle necessità. Tuttavia è lecito affermare che il primo vero progenitore dei sistemi FSO compare in Francia alla fine del XVIII secolo. Si tratta del "telegrafo ottico" ideato e sviluppato da Claude Chappe, un sistema di segnalatori meccanici collocati su una serie di torri in reciproca visibilità.

Nonostante il collegamento ottico fosse possibile solo di giorno e risentisse degli agenti atmosferici, questo sistema ebbe una grande diffusione raggiungendo in Francia una copertura pari a 4830 Km, con 556 stazioni. Esisteva anche una diramazione per l’Italia, fino a Venezia passando per Torino e Milano.

L’idea, però, di trasmettere in atmosfera segnali telefonici, e quindi di fornire un reale servizio, su portante ottica risale al "photophone" di A. Bell realizzato nel 1880. Il sistema permetteva la trasmissione, tramite luce, della voce umana su una distanza di 200 metri; la luce veniva convogliata, attraverso appositi specchi, su un diaframma collegato con il telefono. Incapaci di eguagliare l’efficienza delle trasmissioni elettriche ed elettromagnetiche, garantite dal telefono e dalla radio, le comunicazioni ottiche sembrarono una linea di ricerca superata e vennero piano piano abbandonate. L’invenzione del LASER, quasi un secolo più tardi, e il successivo sviluppo delle comunicazioni ottiche in fibra di vetro, infuse rinnovato vigore nel settore rendendo disponibile una quantità elevata di sorgenti ottiche “pulite”, efficienti ed economiche. La possibilità di sfruttare queste sorgenti portò nuova linfa alla trasmissione ottica in atmosfera in particolare durante gli anni ’60 quando la NASA iniziava esperimenti di interconnessione ottica mediante raggio LASER tra la capsula orbitante Gemini 7 e il Goddard Space Flight Center.

Nel 1968, nel frattempo, in Italia si realizzava il primo link di tipo FSO in grado di trasportare contemporaneamente 12 canali telefonici su una distanza di 4 km tra la terrazza dell’Istituto delle Poste (ora ISCOM) e il palazzo dell’Azienda di Stato Servizi Telefonici.

Dopo questi primi passi sperimentali e pionieristici la trasmissione ottica in aria si è largamente sviluppata ed oggi esistono diversi tipi di sistemi FSO commerciali impiegati in diverse situazioni. L’FSO permette collegamenti punto-punto analoghi ai radio link a microonde con la sostanziale differenza di non utilizzare una risorsa “scarsa” quale è lo spettro radio elettrico, utilizzando la

trasmissione nel vicino infrarosso. Operare a queste frequenze, che non sono regolamentate, garantisce una banda dell'ordine dei THz.

I sistemi basati su questa tecnologia possono essere installati con estrema rapidità (caratteristica del "plug and play") e non sono gravati da particolari costi di esercizio. Inoltre, dato che si utilizza una parte di spettro elettromagnetico in grado di garantire una enorme quantità di frequenze portanti e grazie al fatto che l'alta direttività dei fasci limita l'interferenza inter e intra sistema, l'utilizzo del wireless ottico non è appesantito da obblighi burocratici incombenti come i classici sistemi che operano a radiofrequenza. Le procedure, infatti, di abilitazione all'esercizio tramite richiesta di autorizzazione generale risultano semplificate per tali reti ed a grandi linee implicano la semplice presentazione di una domanda conforme con allegato il progetto tecnico.

Un'altra caratteristica molto interessante è l'elevata direttività del fascio che, se da un lato richiede una installazione accorta degli apparati, dall'altro rende tali sistemi molto robusti all'intercettazione (high security level) e riduce il rischio di interferenze garantendo una completa riusabilità dello spettro anche per connessioni molto vicine.

L'evoluzione frenetica subita negli anni passati dalle reti di telecomunicazione ha portato ad una situazione caratterizzata da forti squilibri tra i diversi segmenti della rete. Pensiamo ad esempio all'avvento delle fibre ottiche che ha incrementato a dismisura la banda disponibile nei collegamenti a lunga percorrenza (WAN), e l'evoluzione delle LAN, basate soprattutto su Ethernet e G-Ethernet, evolute in fretta fino ad arrivare a garantire affidabilità e velocità di cifra molto alte. Il problema, quindi, si è spostato sempre più in basso, come in una configurazione ad albero, ed al momento è localizzato nel segmento di rete su cui è più costoso e più difficile operare: la RETE DI ACCESSO (il collo di bottiglia dell'ultimo miglio).

L'elevata direttività del fascio se da un lato richiede una installazione accorta degli apparati dall'altro rende tali sistemi molto robusti all'intercettazione (high security level) e riduce il rischio di interferenze garantendo una completa riusabilità dello spettro anche per connessioni FSO molto vicine tra di loro. La lunghezza della tratta (attestata ormai nell'arco dei 5 km per prestazioni a LARGA BANDA nell'ordine dei Gbit/s) è funzione della lunghezza d'onda utilizzata, della potenza impiegata, del bit rate e soprattutto delle condizioni atmosferiche medie in relazione alla affidabilità richiesta al sistema.

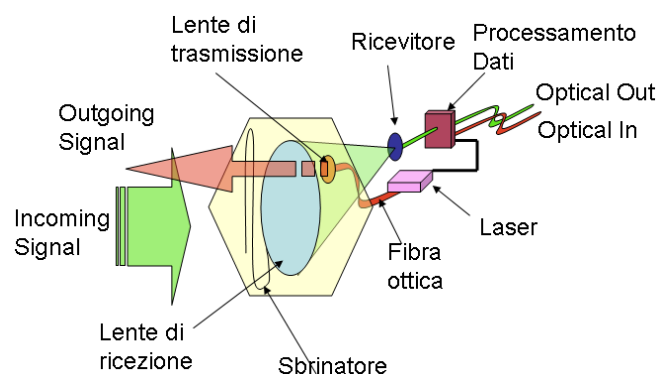


Fig. 1) Schematizzazione di un trasmettitore/ricevitore FSO

Il primo requisito che i sistemi per trasmissioni ottiche in spazio libero richiedono per operare è la così detta Line of Sight (LoS) ovvero l'assenza di ostacoli che interrompano il fascio. Il trasmettitore ed il ricevitore devono essere in grado di "vedersi" affinché il collegamento possa instaurarsi.

Identificata una linea di vista sfruttabile per il collegamento, il tempo di installazione e messa in opera di un ponte ottico è generalmente inferiore all'ora (caratteristica del "plug and play"). Passaggi che oscurano solo parzialmente i ricevitori, intercettando una porzione della sezione

ortogonale del fascio, come ad esempio possono fare gli uccelli, non generano di solito interruzioni del servizio. I trasmettitori ed i ricevitori, nella quasi totalità dei casi sono intrinsecamente delle terminazioni O/E/O. I segnali ottici in ingresso provenienti dalla rete di trasmissione e viaggianti su cavo in fibra ottica vengono terminati, convertiti elettricamente e riconvertiti otticamente per la trasmissione in spazio libero. Analoga procedura ma a parti invertite avviene in fase di ricezione.

In linea di massima la scelta tecnologica da seguire, se si deve intervenire per la realizzazione di nuovi impianti di rete, deve tenere conto di una serie di fattori strategicamente importanti quali: il basso costo di installazione in termini di bit/secondo da attribuirsi a ciascuna utenza, il basso costo al lancio del servizio nella rete di accesso per i primi utenti, il tempo di vita utile dei sistemi impiegati, la protezione degli investimenti, la rapidità dei tempi di installazione ed il tempo di ritorno degli investimenti (break event point).

Il volano principale che ha sostenuto il picco iniziale di interesse, a seguito dei tragici eventi dell'11 settembre 2001, è stato sicuramente lo studio sistematico relativo alla dislocazione sul territorio dei centri urbani e delle aziende/industrie che, ad esempio, nel caso del territorio americano ha messo in luce come circa il 90% dei grandi buildings si trovi ad un km dalla rete backbone in fibra ottica.

La possibilità, quindi, di avere a disposizione un sistema "sicuro", "plug and play", trasparente al formato, a LARGA BANDA (da 100Mbit fino a 2.5 Gbit/s e superiore) con una percentuale di disponibilità del 99.998%, su svariati km (fino a 5 km) ha indotto le grandi industrie a finanziare consistentemente il comparto. In questo senso l'esplosione di servizi di nuova generazione e di altri oramai ben acquisiti nell'immaginario dell'utenza finale sta fornendo ulteriore linfa al trasporto dei segnali ottici senza cavo. Oggi i sistemi FSO di nuova generazione garantiscono completa compatibilità con l-HDTV Serial Digital Interface (HD-SDI) e standard industriale (SMPTE-292M) fornendo una soluzione a basso costo ed alte prestazioni in grado di fornire servizi di televisione in alta definizione (HDTV) con applicazioni real time e broadcast. Non va poi dimenticato come l'affermazione e l'esplosione delle reti cellulari GSM e UMTS stiano piano piano determinando l'ingresso dell'FSO anche in questo scenario come aggregatore di flussi a LARGA BANDA per i sistemi backhaul a monte delle antenne multisettoriali. Sistemi ibridi che dimostrano come il mondo a radio frequenza (RF) ed il mondo a frequenza ottica (FO) possano lavorare di comune accordo.

Le previsioni di investimento nel settore FSO stimavano un incremento da 120 milioni \$ a 2.5 miliardi \$ nell'intervallo 2000-2006; incremento confermato dai ritorni delle aziende multinazionali. L'espansione ormai dei sistemi proprietari alle più svariate situazioni vede applicazioni che vanno dalle reti p2p (peer to peer) in paesi quali Turchia, Arabia Saudita e Afghanistan, alle applicazioni di trasferimento dati in ambiente medicale, ad esempio, al Cedar Sinai in America per finire alla espansione di reti cellulari in Messico.

Sulla base di dati relativi al mercato statunitense, che rappresenta sempre un riferimento prioritario, è possibile comparare i costi tra le varie tecniche consolidate utilizzate nella rete di accesso. Da qui si deduce che se si assume come figura di merito, quale dato finale di confronto, il costo per Mbit/s al mese per un sistema FSO da 155 Mbit/s su distanza di 2 km, si ha un costo di circa 4\$ per Mbit/s/mese. Riguardo ai costi degli apparati essi variano in funzione della velocità di trasmissione, della distanza coperta e di eventuali dispositivi ausiliari di cui possono essere dotati (es. Autotracking per il riposizionamento continuo del fascio ottico). I sistemi FSO hanno una vita utile di circa 15 anni. Tipicamente per distanze di 300-500 [m] un sistema da 155 Mbit/s costa meno di 10k€ mentre per distanze tra 1 e 2 km si stima un ammontare pari a 15-30 k€.

L'FSO trova applicazioni anche in ambienti non convenzionali quali lo spazio o le profondità oceaniche. Tecniche di comunicazioni FSO sottomarine sfruttano la luce laser blu o verde su brevi tratte ed hanno fino ad ora fornito bit rate di trasmissione nell'ordine dei 10 Mbit/s su distanze superiori ai 100 m. Risultato buono se si considerano i 2,4 Mbit/s di una trasmissione standard raggiunta tramite l'utilizzo di onde acustiche. E' da ricordare, nel settore aerospaziale, l'esperimento di comunicazioni ottiche FSO tra satelliti effettuato dall'ESA nel 2001. In questo

settore però l'FSO trova possibili applicazioni anche, ad esempio, nei collegamenti per le missioni nello spazio profondo, nei collegamenti tra stazioni base e UAV e tra stazioni base e satelliti geostazionari.

Ad ogni buon conto ogni tecnologia, seppur bella e attraente che possa sembrare, deve fare i conti con fattori di limitazione. La nebbia, la pioggia e le distribuzioni termiche intense e caotiche che possono caratterizzare alcuni siti di trasmissione inducono effetti di scattering del fascio con susseguente limitazione delle prestazioni. Inoltre, in condizioni standard, l'interposizione di un oggetto che lasci coperto anche un solo trasmettitore (in sistemi che prevedono trasmettitori multisorgente) pari a solo il 2% dell'ottica ricevente non causa la caduta del link. Nel caso, però, di copertura totale (elicotteri, lavavetri et alt) possono generarsi interruzioni generalmente brevi che, al momento, non sembrano rappresentare un aspetto critico. Tali interruzioni sono infatti facilmente recuperabili tramite l'azione dei protocolli di strato superiore. I sistemi commerciali attuali hanno un bit rate compreso tra i 65 Mbit/s e i 2,5 Gbit/s (nuovi sistemi a 5 Gbit/s sono in fase di lancio) in tecnologia full duplex. Questa tecnologia è comunque compatibile con qualsiasi protocollo: asincrono, sincrono e plesiocrono (PDH, SDH, ATM, Ethernet/Fast-Ethernet/GbEthernet) e può lavorare a bit rate molto più alti e con sistemi di multiplexazione in frequenza. La ricerca, quindi, anche in questo settore, come in ogni altro, risulta fondamentale per l'ottimizzazione del sistema alle limitazioni suddette.

**Ing. TOSI BELEFFI Giorgio Maria (ISCOM)**  
**Ing. FORIN Davide (ISCOM)**