

LaserWAN: una tecnologia laser a basso costo per portare alta banda di rete in luoghi remoti o poco connessi

Valerio Pagliarino

I.I.S. "Nicola Pellati", Nizza Monferrato, Asti

Abstract. LaserWAN è una tecnologia che prevede l'uso di ricetrasmittitori ottici laser installati sui tralicci delle linee elettriche ad alta e media tensione per portare una dorsale di rete ad alta velocità anche nei luoghi isolati, in zone rurali o di montagna che soffrono di digital divide.

LaserWAN rappresenta una possibile applicazione delle tecnologie Free Space Optical attraverso un ricetrasmittitore opportunamente progettato per lavorare su distanze da medie a brevi, ma con un'elevata banda passante e con la possibilità di lavorare in un ampio range di condizioni atmosferiche grazie a sistemi di modulazione dinamica del fascio, laser di potenza e sensori riceventi ad altissima sensibilità abbinati a filtri dicroici passa banda molto stretti. L'elettronica di controllo è poi coadiuvata da un server di telemetria interno che consente la gestione centralizzata dei dispositivi, da una linea seriale di ridondanza e da un impianto di alimentazione che sfrutta le fasi delle linee AT/MT utilizzando tecnologie induttive.

Grazie a queste caratteristiche specifiche, LaserWAN si propone come una tecnologia che non vuole sostituire le reti cablate, radio o satellitari, ma che trova il suo target applicativo in situazioni particolari dove queste non garantiscono costi abbordabili o banda e stabilità sufficienti.

Keywords. Trasmissione dati ottica, laser per telecomunicazioni, banda ultralarga, digital divide

Introduzione

Oggi più che mai le tecnologie dell'informazione e della comunicazione stanno facendo enormi balzi avanti, e la rete internet sta diventando sempre più di primo piano non solo come strumento per lo scambio di informazioni, ma come risorsa utilizzabile per veicolare potenza di calcolo, capacità di storage e per la gestione remota. Questo fenomeno di traslazione da locale a remoto delle informazioni e delle risorse, insieme all'uso sempre crescente della virtualizzazione hanno trasformato la rete internet nell'elemento software (ma anche hardware) più importante di ogni dispositivo informatico. Queste tecnologie definite di "cloud computing" portano enormi vantaggi e benefici all'infrastruttura informatica: maggiore efficienza, scalabilità delle risorse e (teoricamente) illimitata disponibilità delle medesime. E' importante sottolineare quel "teoricamente", perché se uno specifico territorio non è provvisto di una connessione di rete adeguata si ritrova impossibilitato non solo

a scambiare informazioni, ma anche ad accedere allo storage, alle risorse ecc. I vantaggi si trasformano quindi, potenzialmente, in svantaggi.

1. Il problema del digital divide

Il problema del digital divide mostra così tutta la sua gravità, soprattutto nei settori dell'istruzione e dell'industria. Inoltre il digital divide è un problema che con il passare del tempo peggiora, perché le tecnologie intanto si evolvono, i siti web richiedono sempre più banda, e ci si ritrova impossibilitati anche solo a visitare un quotidiano online in modo efficiente.

Le scuole sono sempre più coinvolte nell'uso della rete, basti pensare che moltissime hanno già adottato registri elettronici basati sul web e la carenza di banda si traduce spesso in perdite di tempo prezioso anche solo per un'attività banale come l'appello, senza contare il crescente numero di lavagne interattive multimediali che dispongono di molteplici funzioni di condivisione in real time dello schermo o delle pre-

sentazioni: tutte attività ad altissimo consumo di banda.

L'industria, poi, anche in seguito all'entrata in vigore delle nuove normative che obbligano alla fatturazione elettronica per la P.A., senza un'adeguata connessione di rete si trovano impossibilitate a lavorare in modo efficiente, a partire dall'online banking fino alla posta elettronica certificata.

Considerando il territorio italiano, quello che è da sottolineare, ben visibile nella figura 1, è che le aree che soffrono maggiormente sono quelle con una morfologia del territorio prevalentemente montuosa o collinare. In questi territori la posa delle infrastrutture di rete risulta molto più costosa, anche a causa della ridotta densità di popolazione.

Il risultato è quindi una copertura a due velocità: le grandi città, dove c'è concorrenza tra gli operatori e si fa a gara per garantire banda sempre più elevata e i piccoli centri dove si è fermi ad infrastrutture che non garantiscono neanche un paio di Mbit/s. LaserWAN nasce come possibile soluzione per coprire queste aree.



Fig. 2 Una linea LaserWAN

2. La tecnologia LaserWAN

La tecnologia LaserWAN prevede di installare sulla cima dei tralicci delle linee di alta tensione e media tensione degli appositi ricetrasmittitori ottici composti da un modulo trasmettente, dove si trova l'ottica per la focalizzazione del fascio e uno schermo ricevente, costituito da una superficie leggermente incurvata posta dietro il modulo trasmettente. I dispositivi LaserWAN sono in realtà composti da una coppia di trasmettitori e ricevitori in quanto ricevono il segnale ottico dal traliccio precedente e lo inviano verso il successivo, secondo uno schema a daisy chain. All'inizio e alla fine della catena sono presenti dei convertitori che interfacciano a livello hardware gli organi laser con un fascio di fibre ottiche.

Seguendo questo schema è quindi possibile sfruttare le linee elettriche, che raggiungono anche i luoghi più isolati, per portare una dorsale di rete che viene poi distribuita alle utenze, il tutto con relativamente bassi costi di installazione e di manutenzione, come descritto nel seguito.

3. Architettura della linea

Uno degli aspetti interessanti dello sfruttamento delle linee elettriche AT/MT è che seguendo il loro percorso è solitamente molto semplice collegare una cittadina di medie dimensioni provvista di network in fibra ottica con un piccolo centro nelle vicinanze che ne è sprovvisto, l'utilizzo di fasci ottici anziché fibra ottica aerea consente poi di passare con estrema facilità da una line-

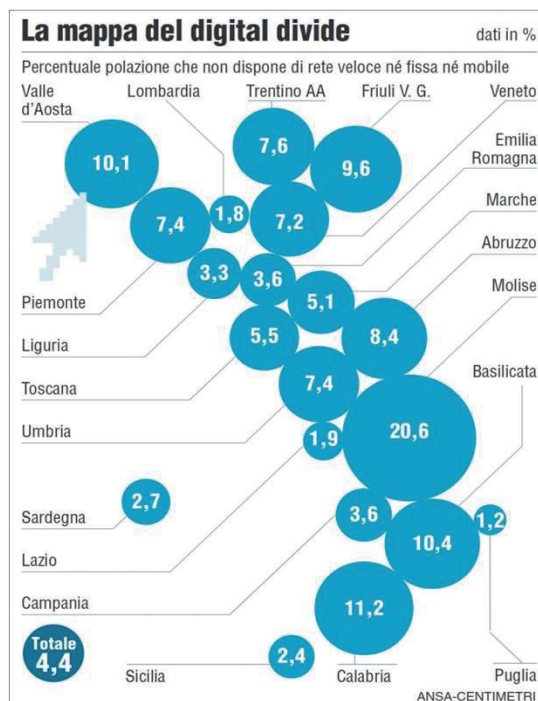


Fig. 1 Le regioni italiane che soffrono di digital divide: la grandezza dei cerchi è direttamente proporzionale alla percentuale di utenti che non dispongono di accesso veloce al web. Fonte: Ansa, 2013

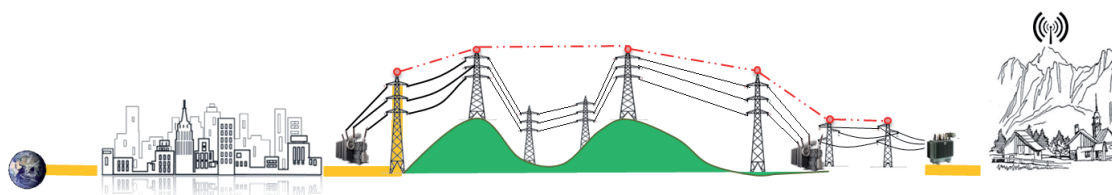


Fig. 3 Architettura della linea LaserWAN

a elettrica all'altra, anche con voltaggi differenti, senza la necessità di giuntare le fibre ottiche a livello del terreno. Nei punti di intersezione fra le linee è possibile inserire più dispositivi rice-trasmittitori con moduli hub o switch, creando quindi non una linea di trasporto lineare, ma una vera e propria rete, che può quindi garantire operatività anche in caso di guasto ad un nodo. (A.S. Tanenbaum et al. 1997)

4. Tecnologia del gruppo trasmettitore

Soluzioni di tipo ottico sono già state sperimentate nel passato, con scarsi risultati. In questo lavoro si descrive un approccio nuovo, reso permesso da avanzamenti nelle tecnologie di base. Una tecnica utilizzata prevedeva l'uso di laser molto focalizzati, cosa che comportava una elevata instabilità nella ricezione (a causa delle oscillazioni meccaniche, di naturali disallineamenti e variazioni delle costanti di calibrazione). La soluzione individuata in questo articolo si propone, invece, di utilizzare fasci defocalizzati con un array di rivelatori, cosa che permette una ulteriore riduzione del rumore di fondo. I moduli di trasmissione utilizzati da LaserWAN si basano su sorgenti laser a semiconduttore installate direttamente sul PCB dove sono presenti i circuiti di commutazione, al fine di utilizzare connessioni elettriche più brevi possibili e quindi avere meno deterioramento del segnale a causa delle capacità parassite. Le sorgenti laser vengono pilotate da appositi circuiti integrati di potenza che si occupano sia di definire gli impulsi, attraverso il filtraggio con triggers dei segnali in input dal ricevitore, sia di effettuare il controllo della corrente nella giunzione attraverso dei fotodiodi di feedback. Questo tipo di gestione del segnale è effettuato con FPGA di potenza oppure ASIC. (P. Spirito, 2006)

I segnali ottici in uscita dai diodi sono quindi

trasportati con una fibra ottica di potenza (a bassissima dispersione) fino alle terminazioni poste all'inizio del gruppo ottico, qui apposite lenti modulano l'angolazione del fascio dinamicamente attraverso degli attuatori lineari comandati dall'elettronica di controllo.

Le lenti hanno il compito di adattare le dimensioni del cono di emissione che copre il ricevitore, anche in funzione delle condizioni atmosferiche. In caso di nebbia, per esempio, è possibile stringere il fascio per aumentare la potenza specifica, mentre in caso di vento, data l'oscillazione dei tralicci, si può aumentare la tolleranza dell'allineamento defocalizzando ulteriormente il fascio ottico.

Data l'assenza di esseri umani nei pressi del raggio d'azione del trasmettitore è possibile utilizzare in sicurezza potenze ottiche considerevoli, e questo unito alle distanze da coprire non estremamente elevate permette di garantire una buona stabilità anche con tempo avverso. Nel caso si debbano realizzare dei ricetrasmittitori per linee AT o AAT con distanze maggiori, oppure per realizzare un ponte ottico tra due rilievi, è possibile abbinare al laser di potenza anche un amplificatore ottico costituito da un tratto di fibra drogata posta tra il laser ad impulsi e il gruppo di lenti; in tal modo si può facilmente incrementare la potenza trasmessa senza la necessità di impiegare circuiti commutatori ad alto amperaggio (R.J. Mears, 1987) (MJ Adams et al. 1985).

LaserWAN fa ampio utilizzo delle tecniche di Wavelength Division Multiplexing; infatti nel gruppo emettitore sono presenti più sorgenti laser ciascuna con uno scostamento di banda di circa 22-25 nm. Per ciascuna lunghezza d'onda si impiegano inoltre due sorgenti, differenziate grazie a filtri polarizzatori. Queste tecnologie permettono di incrementare la banda trasmissi-

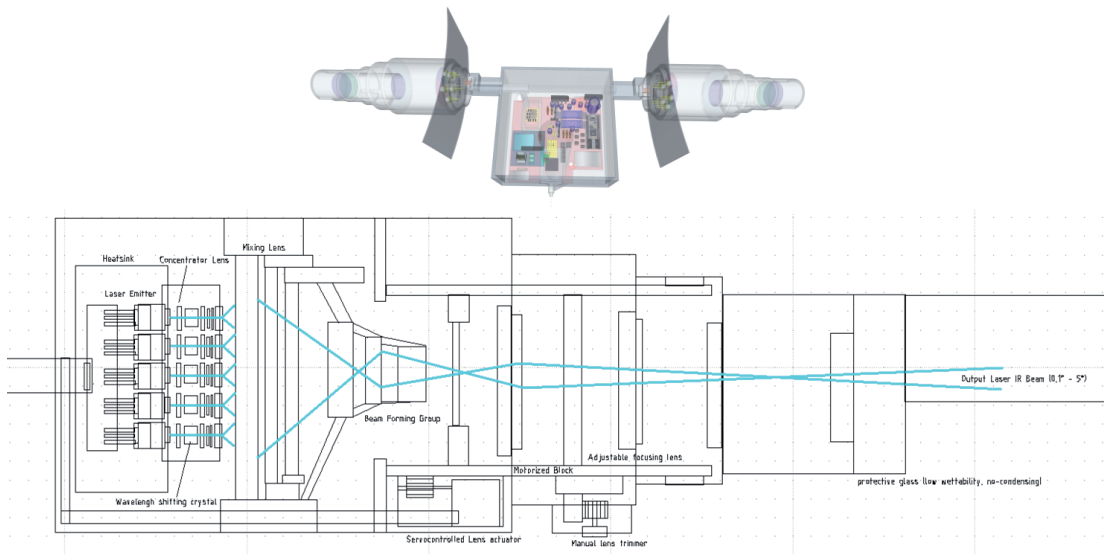


Fig. 4 Vista del ricetrasmittitore con particolare del gruppo ottico trasmittente

bile, implementando molteplici canali di comunicazione paralleli; la porzione di spettro utilizzata da LaserWAN rientra nel range dell'infrarosso, più precisamente nella seconda o terza finestra 1310 / 1550 nm. (Encyclopedia of laser...)

5. Tecnologia del pannello ricevitore

Per adattarsi al meglio alla forma del fascio (che non è eccessivamente collimato da design, ma copre un cono di dimensioni variabili), il ricevitore è costituito da un pannello, installato alle spalle al gruppo trasmettitore, che contiene una matrice di celle fotosensibili il cui funzionamento andremo ora a descrivere.

Ciascuna cella si compone di un collimatore che restringe l'angolo di entrata, soprattutto sul piano verticale, per limitare la radiazione solare diretta o riflessa dal terreno, al fine di migliorare il rapporto segnale/rumore. Dietro al collimatore sono poi situati degli appositi filtri, il primo polarizzatore, il secondo diecrico con fattore Q di circa 7-10 nm, con lunghezza d'onda corrispondente alla sorgente del trasmettitore e il terzo, il più esterno, che ha il compito di bloccare la radiazione nel vicino infrarosso, nel visibile e nell'ultravioletto (anche se il sensore non risponde a queste bande ma allo scopo di diminuire l'usura dei componenti).

Il sensore è composto da una matrice di fotodiodi a valanga (APD) che danno una risposta in corrente direttamente proporzionale al numero di fotoni ricevuti, hanno un'elevata sensibilità e una più che buona selettività in lunghezza d'onda (Hyun et al. 1997) (S. Kagawa et. al. 1981). Il pannello ricevente è quindi comparabile ad un sensore fotografico composto da pixels, seppure con "risoluzione" piuttosto bassa, circa 25-50 orizzontali per 10-15 verticali, con densità aumentata verso l'esterno. I segnali in arrivo dai diversi APD passano poi attraverso delle porte AND e OR situate direttamente sul PCB dove sono saldati questi ultimi. La logica dei gruppi vicini è AND, mentre tra le sezioni distanti è OR: in questo modo è possibile eliminare una parte del rumore, e allo stesso tempo, anche in caso di oscuramento di un'area della superficie ricevente (ad esempio passaggio di un volatile), è comunque possibile ricostruire il segnale (P. Spirito, 2006).

6. Telemetria e interfacciamento

Una caratteristica importante del sistema proposto è la possibilità di gestione remota (e parzialmente automatizzata) di tutto il sistema di trasmissione. Questo è realizzato tramite un opportuno modulo elettronico, chiamato "LaserWAN Centre". Questo modulo, che si occupa anche

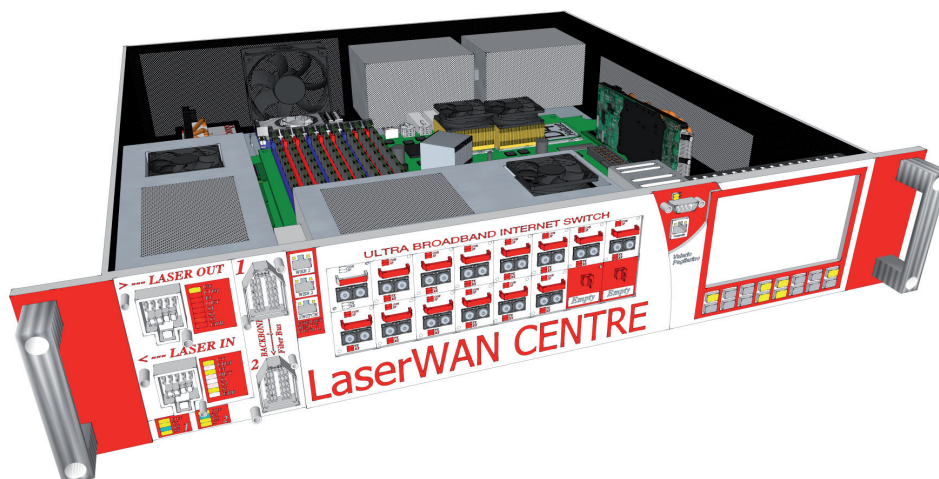


Fig. 5 Disegno del dispositivo di interfaccia LaserWAN Centre

dell'interfacciamento tra la linea di trasmissione e gli switch di partenza ed arrivo ai capi della linea stessa, è dotato di appositi connettori multi fibra per dialogare con il ricetrasmittitore e di una serie di socket per ospitare gli illuminatori per le fibre ottiche locali che vanno verso gli switch di distribuzione alle utenze. Sono presenti inoltre dei connettori multi fibra ad altissima banda passante che permettono di collegare tra loro più dispositivi LaserWAN Centre in cascata ove siano presenti più linee LaserWAN parallele (A.S. Tanenbaum et al. 1997).

Al suo interno LaserWAN Centre presenta un'unità informatica general purpose equipaggiata con due CPU a 64 bit ridondanti, con RAM ECC. Questa unità ha il compito di gestire i controller degli illuminatori per la fibra locale e gli FPGA che elaborano il segnale da e verso il ricetrasmittitore LaserWAN. L'interconnessione tra gli FPGA e i controller è effettuata attraverso 48 linee seriali da 10 Gbit/s simplex per un totale di 24 full-duplex. Gli FPGA hanno il compito di gestire il routing tra le diverse bande del WDM e tra le diverse utenze collegate sotto i socket per la distribuzione. LaserWAN Centre, inoltre, applica un layer crittografico al segnale attraverso delle schede hardware dedicate (AES 256 bit) e la chiave viene ri-sincronizzata periodicamente attraverso uno speciale pacchetto, garantendo quindi la protezione della linea da eventuali intercet-

tazioni malevole. I ricetrasmittitori LaserWAN sono connessi fra loro non solo dal ponte ottico per i dati, ma anche da una linea ausiliaria per la telemetria, realizzata con tecnologia radio oppure modulando un segnale ad alta frequenza su uno dei cavi di fase della linea elettrica. Questa linea per la telemetria è interfacciata con la rete internet dal LaserWAN Centre, in tal modo è possibile da remoto avere un controllo completo sullo stato di funzionamento della linea e intervenire, ad esempio, per aggiornamenti del firmware. E' da notare che quando si aggiorna il firmware dei ricetrasmittitori l'integrato di commutazione continua a funzionare, evitando indesiderate interruzioni di servizio.

7. Alimentazione dei ricetrasmittitori

Ogni ricetrasmittitore LaserWAN è in grado di prelevare l'alimentazione direttamente da un conduttore di fase della linea elettrica di potenza, sfruttando una pinza induttiva che si comporta come un TA (trasformatore amperometrico). Questa pinza è in grado di prelevare un voltaggio variabile tra i 15 e i 40 volts dalla linea, che viene poi portato a 12 V dc attraverso un convertitore switching step-down isolato. E' possibile utilizzare la pinza anche per veicolare sul cavo di fase l'alta frequenza del segnale di telemetria.

8. Banda passante del sistema

La tecnologia LaserWAN è piuttosto flessibile,

in quanto non impone nessun tipo di protocollo ed è totalmente trasparente ai layer del modello OSI al di sopra di quello fisico, pertanto molto dipende dalla conversione effettuata dallo switch di LaserWAN Centre. In linea di massima, ogni canale LaserWAN ha un'ampiezza di banda intorno ai 12-14 GHz, dopodiché il segnale comincia a deteriorarsi. Ovviamente utilizzando le tecnologie di WDM è possibile avere molteplici canali. Per esempio una linea che usa 5 lunghezze d'onda con polarizzazione oraria e 5 lunghezze d'onda con polarizzazione antioraria ha 10 canali disponibili, per un totale di circa 100 Gbit/s di banda passante teorica. E' comunque una cifra che consente di servire un centro di dimensioni medio-piccole con 400-500 Mbit/s per ogni utenza.

9. Conclusioni

In conclusione LaserWAN è il progetto di un'infrastruttura che sfrutti le linee elettriche di alta e media tensione per trasmettere dati attraverso l'installazione di particolari ricetrasmittitori ottici con caratteristiche progettuali specifiche per questo campo applicativo, con miglioramenti ed ottimizzazioni che derivano dalle ultime tecnologie esistenti, concentrando lo sforzo progettuale nel tenere molto bassi i costi complessivi. LaserWAN è una tecnologia che ha dei limiti e dei punti di forza: il suo interesse risiede nel fatto che i suoi punti di forza si concentrano laddove le altre tecnologie hanno dei limiti, soprattutto nel costo e nella manodopera per l'installazione, se parliamo di fibra ottica, oppure di stabilità e banda passante se parliamo di ponti radio.

LaserWAN è per ora soltanto un'idea e la strada per trasformarsi in qualcosa di concreto è ancora lunga, soprattutto manca una sperimentazione pratica in scala reale della tecnologia oltre ad una adeguata ingegnerizzazione delle sue componenti chiave.

Il mio sogno, da studente, è che questo progetto possa in qualche modo contribuire, anche minimamente, alla realizzazione di nuove tecnologie di rete, che possano rendere internet disponibile ovunque.

Riferimenti bibliografici

ANSA, dati del 2013

A.S. Tanenbaum, Reti di computer, Prentice Hall International - UTET, 1997 riedizione 2011.

Encyclopedia of Laser Physics and Technology (https://www.rp-photonics.com/optical_fiber_communications.html).

Hyun, Kyung-Sook; Park, Chan-Yong; Breakdown characteristics in InP/InGaAs avalanche photodiode with p-i-n multiplication layer structure, Journal of Applied Physics.

Paolo Spirito, Elettronica digitale, Milano, McGraw-Hill Libri Italia sr., 2006.

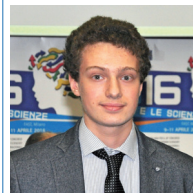
R.J. Mears, L. Reekie, I.M. Jauncey and D. N. Payne: "Low-noise Erbium-doped fiber amplifier at 1.54 μ m".

S. Kagawa, T. Kaneda, T. Mikawa, Y. Banba, Y. Toyama, and O. Mikami, Fully ion-implanted p + -n germanium avalanche photodiodes, Applied Physics Letters.

MJ Adams, JV Collins - IEE Proceedings, Analysis of semiconductor laser optical amplifiers, 1985.

Valerio Pagliarino

val1404@virgilio.it



Valerio Pagliarino è nato il 14 aprile del 2000 ed è uno studente del Liceo Scientifico "Nicola Pellati" di Nizza Monferrato (AT). Appassionato di fisica, elettronica ed informatica,

con il progetto LaserWAN ha vinto il Concorso Nazionale "I Giovani e le Scienze" (F.a.s.t., Milano, Aprile 2016) e l'European Contest for Young Scientists (Bruxelles, Settembre 2016). È stato insignito del titolo di Alfiere della Repubblica per i meriti scientifici.