

VLC per 6G: A che punto siamo?

VLC for 6G: What's next?

Giampaolo Susanna^{♦□}, Chiara Lodovisi[♦], Andrea Reale[♦], Silvello Betti[♦]

♦ Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università degli studi di Roma "Tor Vergata", Roma, Italia

□ DGTCSI-ISCTI, Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT)

Sommario

La comunicazione mediante luce ottica visibile VLC (*Visible Light Communication*) sta ottenendo un posto di rilievo nella futura evoluzione 6G. Questo tipo di comunicazione ottica offre una trasmissione dati a corto raggio che implementa ciò che manca nel campo radio. Le reti ottiche wireless e radio insieme possono integrarsi per migliorare le prestazioni di un sistema di comunicazione in modo da poter raggiungere i target pensati per il 6G, ovvero *bitrate* molto elevati (100 Gbits), affidabilità (~99,999%) e latenza ultra-bassa (< 1 ms). Applicazioni VLC, come ad esempio la tecnologia Li-Fi (*Light-Fidelity*), sono molto promettenti per il 6G; in particolare per gli aspetti legati alla sicurezza durante la comunicazione, per le applicazioni in campi chimici e medici (in cui altre frequenze possono essere pericolose), automazione (industria robotica), sicurezza stradale e trasporto intelligente (semafori collegati e veicoli autonomi), comunicazione sottomarina (dove le radiofrequenze sono limitate per via delle forti attenuazioni) e tantissimi altri.

Abstract

Visible Light Communication (VLC) is gaining a prominent place in the future 6G evolution. This kind of optical communication offers a short-range data transmission that implements what is missing in radio field. Optical and radio networks together can improve the performances of a communication system to be used in the narrowest applications in 6G environments where high bitrate (100 Gbits), reliability (~99.999%) and ultra-low latency (< 1 ms) are required. Many VLC concepts like Li-Fi (Light-Fidelity), technology are very promising

in 6G area, including cyber security, automation (robotics industry), applications in chemical and medical fields (where other frequencies could be dangerous), road safety and intelligent transportation (connected traffic lights and autonomous vehicles), underwater communication (where RF is limited) and many others.

Keyword

VLC, 6G, Li-Fi

1 - Introduzione

Le comunicazioni ottiche in spazio libero (VLC, *Visible Light Communications* e FSOC, *Free-Space Optical Communications*) sono ormai da considerarsi delle valide integrazioni in termini di velocità e prestazioni, alla rete di comunicazione a radiofrequenza (RF). Nello scenario applicativo futuro del 6G, le richieste in termini prestazionali verranno notevolmente aumentate e la rete RF necessiterà di largo supporto nell'estendere e rafforzare la tecnologia senza fili (*wireless*). Nelle trasmissioni a corto raggio e in ambienti dove le radiofrequenze risultano pericolose e dannose per l'essere umano, ad esempio, l'impiego della tecnologia VLC potrebbe risultare decisamente interessante grazie alle caratteristiche peculiare di questa tecnologia, ovvero: l'elevata velocità di trasmissione dei dati, l'elevata capacità di banda, l'ampio spettro di frequenze non licenziate e quindi non soggette a pagamento, e l'eccellente sicurezza dal punto di vista di protezione dei dati trasmessi [1].

La rete 5G ha già fornito un salto di qualità nello scenario IoT (*Internet of Things*) in cui "ogni cosa" risulta sempre più connessa ed integrata nel supporto umano. Il 5G ha portato ad una migliore capacità di comunicazione, ma soprattutto un'infrastruttura di connessione con una moltitudine di nuovi servizi a banda larga per l'utente e per l'industria robotica e dell'automazione.

La nuova frontiera del 6G si pone l'obiettivo di compiere un balzo in avanti ancor più significativo che porterà a modificare l'approccio con cui le persone e le "cose" (oggetti e macchine) potranno connettersi tramite l'impiego di software e della virtualizzazione nelle funzionalità di rete. Questo però richiede un altissimo e rigoroso standard di requisiti necessari in termini di velocità, *bitrate* molto elevati (10-100 Gbits), affidabilità nella trasmissione BER (*Bit Error Rate* > 99,9999%), latenza dei dati ultra-bassa (<1ms) e *Jitter* (< 1 ns) [2]. Tale frontiera è argomento di discussione nel settore dell'industria e dell'accademia, in quanto parte dei requisiti sono già all'interno del programma 5G e non è ancora chiaro quali siano i reali spazi di applicazione di una connessione così profonda e oltretutto se sia possibile raggiungerla con architetture di rete tradizionali. Per queste ragioni e per l'enorme banda trasmissiva a disposizione, si suppone che il VLC rappresenti una delle tecnologie chiave per il futuro 6G.

2 – Evoluzione del Li-Fi

Com'è possibile osservare nella Figura 1, negli ultimi anni, si è assistito ad una rapida evoluzione nell'impiego della tecnologia Li-Fi e ad un suo crescente aumento in termini prestazionali.

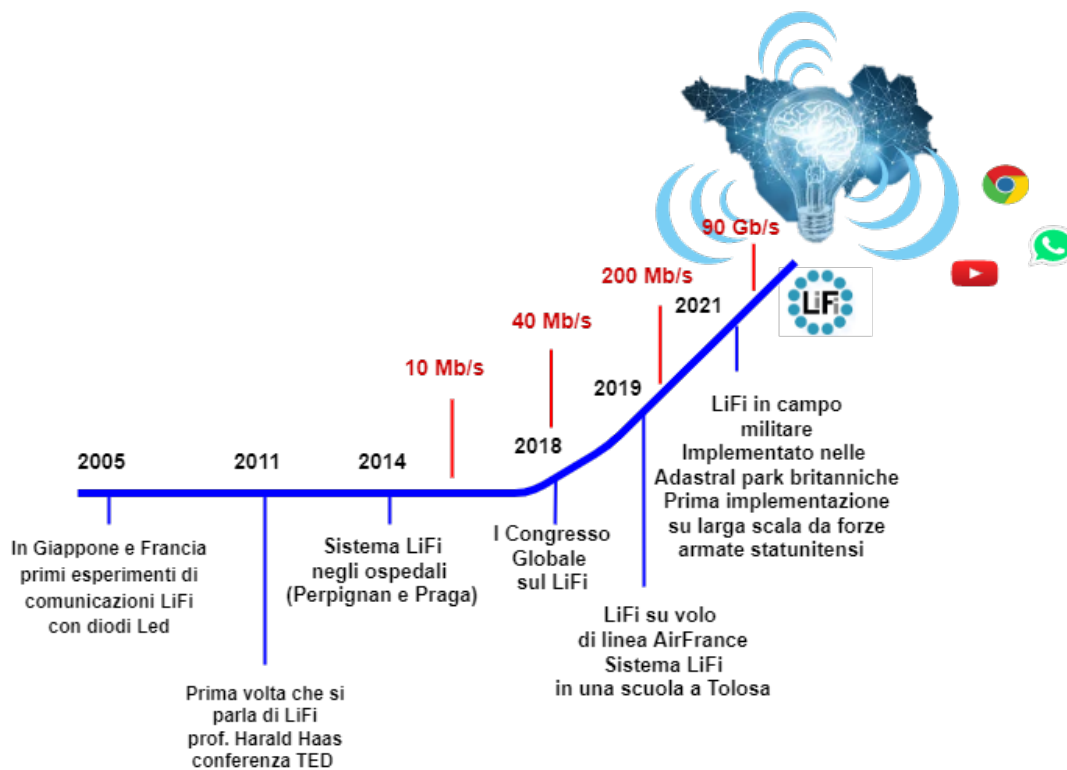


Figura 1 Evoluzione della tecnologia Li-Fi

In poco più di un decennio, dal nascere di questa tecnologia, sono stati implementati diversi sistemi in ospedali e scuole, proprio per la peculiarità di non interferire con la strumentazione ospedaliera e per la maggiore garanzia, rispetto alle onde radio, di non interferire con la salute delle persone, laddove le trasmissioni sono a corto raggio (0-10 m). L'interesse della comunità scientifica e dei produttori ha portato, nel 2018 a Parigi, al primo congresso globale sul Li-Fi [11]. Moltissime le implementazioni di questa tecnologia anche in ambito militare, proprio per le caratteristiche legate alla sicurezza nello scambio di informazioni.

In termini prestazionali, l'evoluzione dei prodotti commerciali è arrivata rapidamente a raggiungere velocità di trasmissione dell'ordine delle decine di Gbit/s. Dalle prime applicazioni in cui si avevano velocità di trasmissione dell'ordine della decina di Mbps si assistito ad un incremento notevole.

Come riferito da *PureLiFi* [3], pioniere di questa tecnologia, sono oggi disponibili chiavette per navigare su internet che raggiungono i 40 Mbps, oltre ad una gamma di prodotti per l'implementazione del Li-Fi nelle abitazioni domestiche.

Molteplici le realizzazioni di prodotti in grado di raggiungere prestazioni dell'ordine dei 200 Mbps [4-5] e bit rate superiori rispetto al comune WiFi.

A partire da 2022 *Kyocera* ha annunciato un sistema in grado di offrire 90 Gbps, ovvero 100 volte più veloce del 5G [6]. Come riportato da *ToBe* [4] test di laboratorio confermano la possibilità di raggiungere velocità di trasmissione pari a 100 Gbps.

Dal 2020 si inizia a parlare dei primi dispositivi con tecnologia Li-Fi integrata. A luglio 2020 l'azienda *Oppo* ha brevettato il primo smartphone Li-Fi e l'azienda *Getac Technology Corporation* ha prodotto il primo tablet dotato di questa tecnologia.

Contestualmente agli sviluppi e agli investimenti effettuati dai produttori, anche il mondo accademico scientifico sviluppa e realizza setup e cerca soluzioni per incrementare le velocità di trasmissione sfruttando le VLC. Ad esempio, *Chen et al.* [7] propongono una modulazione *non return-to zero on-off keying* (NRZ-OOK) di un LED commerciale a luce bianca fosforescente. Per aumentare la larghezza di banda del dispositivo è stato proposto un circuito analogico di pre-enfasi basato su transistor NPN (*Negative-Positive-Negative*) e un circuito attivo di post-equalizzazione basato su un amplificatore per migliorare la larghezza di banda di 3 dB del collegamento VLC.

La velocità di trasmissione dei dati raggiunta è stata di 550 Mbit/s a una distanza di 60 cm e il BER risultante è stato di $2,6 \times 10^{-9}$; quando il collegamento VLC ha operato a 160 cm, la velocità di trasmissione dei dati è stata di 480 Mbit/s con $2,3 \times 10^{-7}$ di BER. Entrambi i risultati sono più che incoraggianti per questa tecnologia.

3 – Li-Fi e 6G (Requisiti)

Come emerso nel *6G Flagship Programme* [8], lo sviluppo del 6G riguarda diverse aree di interesse, non solo le nuove tecnologie di comunicazione, come ad esempio i nuovi materiali e componenti, l'elaborazione del segnale, applicazioni specifiche avanzate e altre. Il "paradigma" 6G si basa sulla integrazione di comunicazioni a corto raggio, cellulari e satellitari, approcci attualmente distinti, sostenuti da industrie diverse e definiti da standard diversi. Ciò a cui si aspira con il 6G è un tipo di comunicazione in rete che sia quasi del tutto in tempo reale; questo per rendere l'industria sempre più automatica riducendo lo sforzo umano e per aumentare i servizi per gli utenti in rete, sempre più numerosi e sempre più onerosi in termini di trasferimento dati. Anche se siamo agli albori del 6G, ci sono alcune tendenze generali che avranno un impatto sullo sviluppo dei futuri sistemi di comunicazione. Ad esempio l'alta efficienza energetica sarà tale al punto da eliminare quasi del tutto le batterie dove possibile per aspirare ad una efficienza della comunicazione nell'ordine di 1 PJ/B [9].

Un altro aspetto importante riguarda il necessario spostamento verso frequenze sempre più elevate, "non licenziate" motivato da diversi fattori: la congestione dello spettro nelle bande di frequenza più basse (fino a 5 GHz), l'esigenza di supportare bande di frequenza più basse (fino a 5 GHz), la necessità di supportare velocità di trasmissione dati estremamente elevate e altri ancora [10]. Vi è quindi la necessità di trovare nuovi spazi di trasmissione, che rispettino determinati standard di attenuazione all'interno delle bande già esplorate (800-1000, 1310 e 1550nm) che ne permettono una velocità di trasmissione dati estremamente elevata.

La Figura 2 mostra l'evoluzione dell'utilizzo dello spettro per le comunicazioni mobili, dall'1G al 5G, comprese alcune bande di frequenza che saranno probabilmente utilizzate nel 6G.

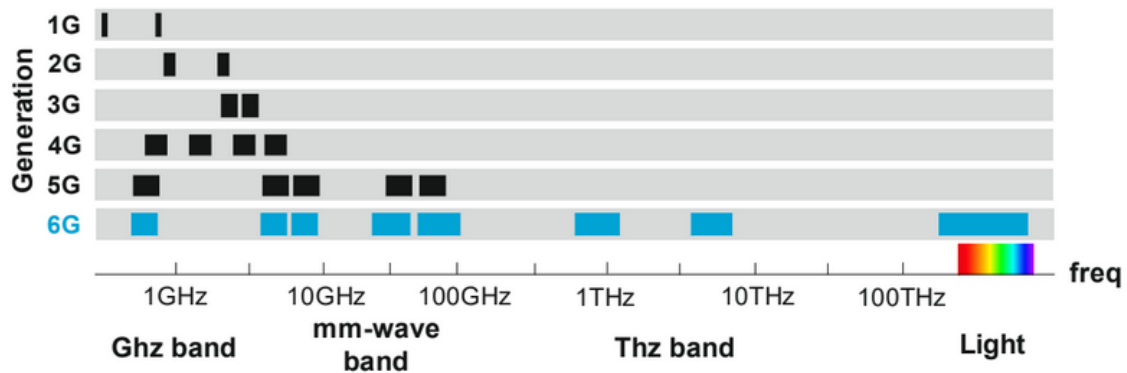


Figura 2 – Utilizzo dello spettro radio delle generazioni passato, presente e futuro [10]

L'impiego di queste bande a frequenza molto elevate avrà un profondo impatto sull'architettura del sistema, poiché a queste frequenze l'intervallo supportato è molto ridotto, con conseguente riduzione delle dimensioni delle celle. L'alta frequenza infatti, comporta anche la miniaturizzazione della componentistica che dovrà essere ridisegnata ed adeguata. Poiché le loro dimensioni fisiche sono dell'ordine o considerevolmente più grandi delle lunghezze d'onda impiegate, i nuovi semiconduttori e altri materiali devono essere sviluppati per queste frequenze operative cosa che si prevede essere molto dispendiosa a meno dell'utilizzo di materiali a basso costo, quali, ad esempio quelli utilizzati dalla tecnologia a infrarossi e visibile VLC. Nella banda di frequenza estrema, dopo le comunicazioni THz vi è lo spettro della luce (390-700nm), che comprende sia l'infrarosso che la luce visibile; questo spettro risulta essere il più appetibile in quanto spettro libero da licenze. Le comunicazioni ottiche con luce visibile (VLC) sono state proposte subito dopo lo sviluppo dei diodi ad emissione di luce bianca (LED), circa due decenni fa. Da allora, le VLC hanno ricevuto una diffusa attenzione, soprattutto da parte della comunità dei ricercatori.

Attualmente, la VLC è una tecnologia di comunicazione wireless piuttosto matura ed altamente qualificata da utilizzare nel 5G e 6G; la componentistica ottica è ampiamente disponibile ed è anch'essa a basso costo. Inoltre i protocolli di propagazione ottica sono molto simili alle comunicazioni wireless convenzionali con in più degli elementi di forza dovuti alla sicurezza per la salute di chi le usa, privacy e protezione dati da hackeraggio, lo spettro senza licenza ed una semplicità di implementazione.

3.1 Standard Li-Fi verso il 6G

L'adozione di una nuova tecnologia prevede molti passi, a maggior ragione se si desidera creare un'alternativa competitiva al Wi-Fi. Un importante traguardo dovrebbe arrivare nel 2023, quando lo standard "Light WLAN 802.11bb" sarà completato; solo in seguito a questo risultato, i produttori interessati potranno iniziare a sviluppare i primi progetti commerciali di consumo. Attualmente il Li-Fi si basa sullo standard 802.15.7 che però non ne favorisce le potenzialità.

Entro il 2025, ci si aspetta che siano disponibili i primi dispositivi hardware con Li-Fi integrato. Il Li-Fi potrebbe esser incluso nel classico pacchetto di tecnologie di connettività ovvero, in generale, 5G, Wi-Fi, NFC (*Near-Field Communication*), BT (*Bluetooth*), con l'aggiunta del sistema "a infrarossi". Questo porterebbe i dispositivi più vicini agli obiettivi di connettività del 6G. Un aspetto importante verso l'integrazione nei dispositivi è la miniaturizzazione dei ricetrasmittitori. Secondo gli esperti del settore, alcuni moduli Li-Fi sono già stati ridotti in modo da poter essere inglobati nella parte di schermo (computer, smartphone, tablet. ..) dove si trova la fotocamera frontale.

Gli standard sono fondamentali per la distribuzione VLC su larga scala, il nuovo standard ITU G. 9991 [12] entrerà a far parte della serie di standard ITU per le reti domestiche che collegano i dispositivi locali e si interfacciano con il mondo esterno.

4 – Conclusioni

Le richieste tecnologiche dell'immediato futuro al quale andiamo incontro, già emergenti nello scenario attuale, evidenziano un urgente miglioramento prestazionale; le tecnologie ibride, tra cui le comunicazioni mediante luce ottica visibile VLC (*Visible Light Communication*) risultano essere molto promettenti a tal scopo in prospettiva del prossimo salto tecnologico del 6G. Il continuo progredire delle tecnologie a trasmissione ottica, in termini di sviluppo di dispositivi, formalizzazione degli standard applicativi, prestazioni raggiungibili, rendono questa tecnologia "concreta" alla possibilità d'implementazione nei più svariati settori, industriali, ma anche per l'utente pubblico. Le VLC per quel che concerne le trasmissioni a corto raggio, presentano notevoli vantaggi, sia integrativi per le tecnologie radio già presenti, che migliorativi prestazionalmente per i target fissati dal 6G; inoltre risultano cautelativi per la salute dell'utente che ne viene a contatto. Tra queste, la tecnologia Li-Fi è già una realtà con queste caratteristiche, che trova numerose applicazioni, anche in via d'espansione, perlopiù ancora ad un costo sostenuto, ma potenzialmente dalle caratteristiche di sviluppo per realizzazioni su ampia scala a costi decisamente inferiori.

5 - Bibliografia

- [1] Rui L. Aguiar, "White Paper for Research Beyond 5G", *titolo del riferimento bibliografico*, posizione (pagina, paragrafo ecc.), NetWorld2020 European Technology Platform, Oct. 2015. [On line. disponibile: <https://networld2020.eu/wp-content/uploads/2015/11/B5G-Vision-for-Researchv-1.0-for-public-consultation.pdf>
- [2] G. Berardinelli, N. H. Mahmood, I. Rodriguez Larrad, and P. E. Mogensen, "Beyond 5G wireless IRT for Industry 4.0: Design principles and spectrum aspects," in Proc. IEEE Global Communications Conf. Workshops, 2018.
- [3] [On line] Disponibile: <https://purelifi.com/lifi-products-2/>
- [4] [On line] Disponibile: <https://tobe-srl.it/lifi-streaming/>
- [5] [On line] Disponibile: <https://www.9renlighting.it/lifi/>
- [6] [On line] Disponibile: <https://www.kyocera-sldlaser.com/news/kyocera-sld-laser-achieves-world-record-lifi-communications-data-rate-100-times-faster-than-5g>
- [7] Li, H., Chen, X., Guo, J., & Chen, H. (2014). "A 550 Mbit/s real-time visible light communication system based on phosphorescent white light LED for practical high-speed low-complexity application". Optics express, 22(22), 27203-27213.
- [8] 6G Flagship programme [On line] Disponibile: <https://www.oulu.fi/6gflagship/>
- [9] M. L. Memon, N. Saxena, A. Roy, and D. R. Shin, "Backscatter communications: Inception of the battery-free era—A comprehensive survey," Electronics, vol. 8, no. 2, 2019.
- [10] Marcos Katz Iqrar Ahmed Opportunities and Challenges for Visible Light Communications in 6G ↗, Conference: 2020 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT), DOI:10.1109/6GSUMMIT49458.2020.9083805.
- [11] [On-line] Disponibile: <https://www.lificongress.com/>
- [12] [On-line] Disponibile: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9991>