

# Organic Visible Light Communication

Luigi Salamandra<sup>1,2</sup>, Gianpaolo Susanna<sup>1,2</sup>, Vincenzo Attanasio<sup>1,2</sup>, Stefano Penna<sup>1,2</sup>,  
Andrea Reale<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCOM), Ministero dello Sviluppo Economico*, <sup>2</sup>*Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Elettronica*

**Abstract.** Negli ultimi anni si è registrato un forte incremento degli “utenti” della rete (internet), dato l’espandersi dei contenuti in streaming, i social network, i dispositivi mobile, l’Internet-delle-Cose (Internet-of-Things, IoTs); la richiesta di una connessione sicura e veloce per il trasferimento dei dati “sempre e ovunque” richiede, quindi, nuovi approcci. La tecnologia delle Comunicazioni Ottiche con Luce Visibile (Visible Light Communication, VLC) è tra le più promettenti per le comunicazioni wireless, grazie alla possibilità di usare le luci ambientali come canali di trasferimento dei dati in spazio libero. Le VLC possiedono caratteristiche uniche, come un’intrinseca sicurezza nel trasferimento dell’informazione e l’uso di frequenze libere (non licenziate). In questo settore, le VLC realizzate con dispositivi organici (Organic Visible Light Communication, OVLC) stanno catturando rapidamente l’interesse della comunità scientifica, dato che sia i diodi emettitori di luce, sia i foto-diodi, posseggono affascinanti caratteristiche, come ad esempio la flessibilità meccanica e i bassi costi di realizzazione da processi di stampa per fase liquida (solution process). Una tale tecnologia è estremamente interessante per le applicazioni in dispositivi di rete per “Smart City”.

**Keywords.** Visible light communication, dispositivi organici, 5G, smart city, IoT.

## Introduzione

La rete mobile di quinta generazione (5G) non è solo un mero miglioramento dell’attuale interfaccia radio LTE (Long Term Evolution), atto a fornire velocità maggiori per venire incontro alle richieste del mondo del lavoro e degli utenti [1]. Più profondamente, il 5G rappresenta il concetto di una nuova ed evoluta rete di comunicazione, in cui tutti gli elementi sono dispositivi connessi ad internet (IoT), comunicanti tra loro, così permettendo l’espansione delle potenzialità della rete stessa. Ad oggi, l’uso della rete internet è relegato al bisogno “consocio” dell’utente (on-demand), quali lo streaming di contenuti, la televisione digitale, i social network, affiancati da dispositivi sempre più “portatili” (smart-device, quali smartphone, tablet, netbook), realizzati proprio a questo scopo. In realtà, la rete 5G è intimamente correlata con il concetto più ampio di “Smart City” [2], in cui, appunto, anche gli elementi “urbanistici”, ad esempio, semafori, edifici, insegne pubblicitarie, cartel-

li stradali, o gli elettrodomestici di casa (eventualmente connessi ad una centralina intelligente unica) hanno una “mente” artificiale, capace di comunicare l’un l’altro e col resto del mondo per raggiungere uno “scopo superiore” (l’utilizzo fruttuoso ed energeticamente senza sprechi delle risorse, scenario dell’IoT).

In conseguenza, l’espansione e la crescita di una smart city porta inevitabilmente ad un aumento dei dispositivi potenzialmente “connessi ad internet”, e il conseguente sfruttamento della banda è diventato un problema fondamentale. Le moderni reti wireless in locale (wireless LAN) hanno reso possibile l’invio tramite internet di un flusso di contenuti (dati) ad alta velocità verso i dispositivi wireless degli utenti finali; tuttavia, in un ristretto e ben confinato spazio (come in una casa), un solo singolo utente finale può avere contemporaneamente molti dispositivi connessi e richiedenti l’uso di internet, come smart TV, smartphone, tablet, notebook, e (nel prossimo futuro) diversi apparecchi elettrodo-

mestici provvisti di tecnologia IoT. Questo incremento di richiesta di dati è il cosiddetto “collo di bottiglia dell’ultimo metro” [3]: le onde radio di una rete wireless possono subire interferenze da più svariate fonti, quali altri utenti di reti WiFi adiacenti, oppure elettrodomestici di casa (forno a microonde, monitor per bambini, telefoni senza fili), i quali minano ed indeboliscono il segnale della rete stessa, e le sue prestazioni.

### 1. Visible Light Communication

Esiste una implementazione alternativa del concetto di connessione senza fili (wireless) [4], basata su comunicazione/trasferimento dei dati tramite luce artificiale nel range visibile, grazie allo sfruttamento di sorgenti di luce a diodo (LED, light-emitting diode), tecnologia nota come Comunicazioni Ottiche con Luce Visibile (Visible Light Communication, VLC) [5].

Il concetto principale alla base del funzionamento della VLC è, per l’appunto, l’uso delle luci ambientali artificiali come sistema ottico di trasmissione dati (Figura 1). Sostanzialmente, ogni sistema di luci indoor, come in un centro commerciale, ufficio, o in casa, può diventare potenzialmente il trasmettitore di un sistema di comunicazioni dati. Tra le varie tecnologie di illuminazione, le luci a stato solido (LED bianchi o nel range del visibile) stanno diventando sempre più efficienti, con alta affidabilità, e incorporabili facilmente in molte applicazioni basate sulla luce. Esempi recenti includono i fari delle automobili basati sui LED bianchi, i semafori a LED colorati, o l’illuminazione LED come attrazione architettonica (interior design). È inevitabile pensare che in futuro, l’illuminazione generale userà LED bianchi, anche grazie al risparmio energetico che questa scelta comporta.

Essendo queste sorgenti regolate attraverso

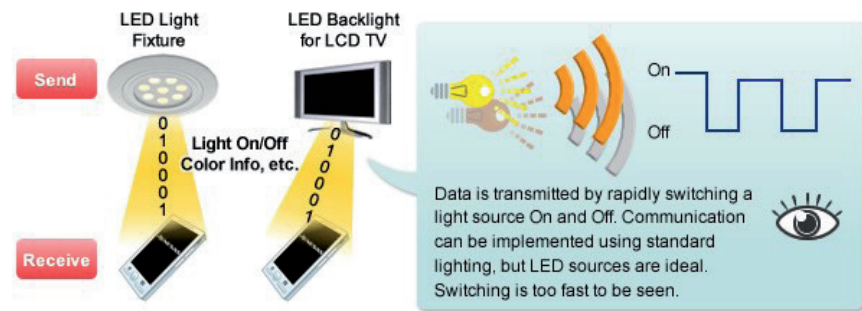


Fig. 1 Principio di funzionamento di un sistema di comunicazioni ottiche con luce visibile [6]

il controllo della corrente, è possibile modulare (direttamente) la corrente, per poter commutare il LED on/off, creando così un segnale di luce con contenuto informativo. Se la commutazione avviene ad alta velocità, i LED vengono utilizzati simultaneamente per illuminazione dell’ambiente (l’occhio umano vedrà il dispositivo come fosse sempre acceso) e per trasferimento di dati (Figura 1). La VLC si propone come una valida alternativa alle tecnologie di comunicazione basate su radio frequenza (RF), offrendo diversi vantaggi, come l’innata sicurezza del canale di comunicazione e l’operatività su frequenze non licenziate (libere).

Effettivamente, è ben noto che smuove interessi economici elevati lo sfruttamento della banda radio, porzioni della quale sono venduti o concessi in licenza per vari servizi di trasmissione radio (televisione digitale, rete mobile cellulare), e regolata severamente da leggi nazionali (ed internazionali), per prevenire problemi di interferenza tra utilizzatori (provider). Oltre a questo, la capacità delle onde radio di penetrare oggetti solidi (in primis, muri di edifici), anche se è una delle caratteristiche più interessanti del segnale di una rete wireless (WiFi), tuttavia è anche il principale aspetto che rende questa tecnologia così vulnerabile agli attacchi esterni, portando, quindi, ad un concreto problema di sicurezza. Le VLC, invece, superano questo problema, perché in ambienti chiusi (e dove si opera con dati sensibili) trasmettitore e ricevitore sono nello stesso ambiente (Figura 2), senza possibilità che il segnale trasmesso sia intercettabile da un’altra stanza.

Un altro aspetto interessante delle VLC è la sicurezza intesa come “salute” di chi utilizza la



Fig. 2 Disegni schematici di applicazione di un sistema VLC: (sinistra) ufficio; (destra) ospedale



Fig. 3 Possibile applicazione di sistemi VLC dove i sistemi RF possono creare problem legati alla sicurezza: l'interno di un aereo (sistema di entertainment) e comunicazione tra aerei su pista

tecnologia. In un ambiente “sensibile”, come un ospedale (Figura 2), la tecnologia RF potrebbe interferire o influire sui dispositivi di diagnostica e/o salvavita; al contrario, l’illuminazione ambientale è innocua, necessaria (per l’attività lavorativa), e potrà essere usata per connettere direttamente diversi dispositivi diagnostici e di monitoraggio, ad esempio durante il check-up di un paziente [7]. Più in generale, ogni ambiente chiuso e frequentato giornalmente (abitazioni, centri commerciali, uffici) in cui la radiazione elettromagnetica deve essere limitata per questioni di salute delle persone stesse, o magari per comunicazioni tra e all’interno di un aeroplano (Figura 3), dove le onde radio wireless sono proibite per problemi di sicurezza, legati all’interferenza con gli strumenti di bordo, sono ambienti perfetti per sfruttare le potenzialità dei sistemi VLC.

Le comunicazioni ottiche con luce visibile sono altresì particolarmente adatte per applicazioni di tipo IPS (Indoor Positioning System, praticamente un sistema di guida GPS in am-

bienti chiusi), per tracciare e trovare la posizione di un soggetto di interesse (come la marca preferita di cereali in un super-mercato, il quadro più importante di un autore in un grande museo, vedi Figura 4).

Un argomento altamente caldo in questi anni, nell’ambito delle smart city, in cui trova terreno fertile l’applicazione dei sistemi VLC, è sicuramente quello delle comunicazioni tra veicoli motorizzati, tra loro e/o con la segnaletica stradale (semafori e cartelli luminosi), chiamata Vehicle VLC (V2LC) [9], in modo da prevenire incidenti, monitorare e gestire il traffico, instradamento intelligente dei veicoli di soccorso [10].

È importante sottolineare che la VLC non intende sostituirsi alle reti esistenti, bensì affiancarsi ad esse andando a formare un data-link addizionale sfruttabile in parallelo, oppure in modo complementare alla trasmissione tradizionale in ambienti in cui le radiofrequenze non sono ammesse, sono limitate o non sono sufficienti (Figura 6); in questo modo si viene a creare un ambiente di reti eterogenee, che permettono u-

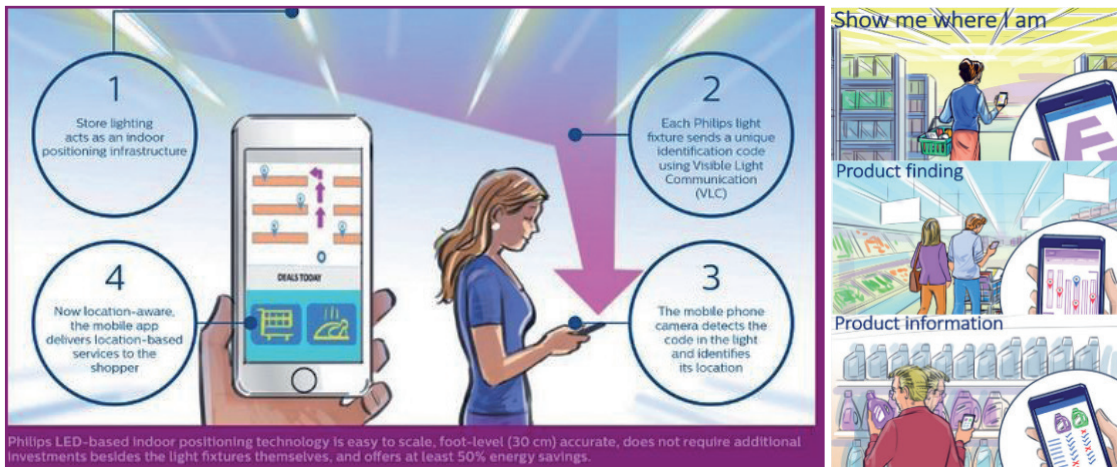


Fig. 4 IPS (indoor GPS) realizzato dalla Philips [8], usando un sistema VLC

na connessione continua. Tuttavia, in alcuni casi essa rappresenta l'unico sistema di comunicazioni wireless fattibile, con rispetto all'applicazione finale di interesse. Per esempio, la VLC è largamente sperimentata e testata, ad oggi, come sistema wireless per trasferimento dati in ambiente subacqueo [11], uno scenario in cui le tecniche wireless standard sono inutilizzabili.

## 2. Organic Visible Light Communication

Ad oggi, le VLC sono realizzate con tecnologia a semiconduttore inorganico, per via delle maggiori prestazioni in termini di velocità e resa dei dispositivi. In particolare, hanno avuto grande impatto i moderni LED bianchi a stato solido (LED-chip) [12], utilizzabili come sorgenti di illuminazione a basso costo e, al tempo stesso, come trasmettitore del data-link VLC. Discorso affine anche per i ricevitori VLC, dispositivi inorganici foto-voltaici già presenti sul mer-

cato (ad esempio i sensori delle fotocamere degli smartphone) [13].

Tuttavia, un'interessante alternativa è un sistema VLC comprendente sia come trasmettitore, sia come ricevitore, un dispositivo realizzato con materiali organici (small-molecules o polimeri), quali OLED (organic light-emitting diode) e OPD (organic photo-detector), rispettivamente (Figura 7); questa implementazione viene detta OVLC (Organic Visible Light Communication).

Come la controparte inorganica, anche questi (trasmettitori OLED e ricevitori OPD), sono basati su una struttura multi-strato, un 'sandwich' comprendente uno strato attivo (quello organico), i due elettrodi (anodo e catodo), di cui uno almeno realizzato sostituendo al metallo un ossido conduttivo trasparente (TCO, transparent conductive oxide) depositato su vetro o plastica flessibile ed eventuali strati di adat-

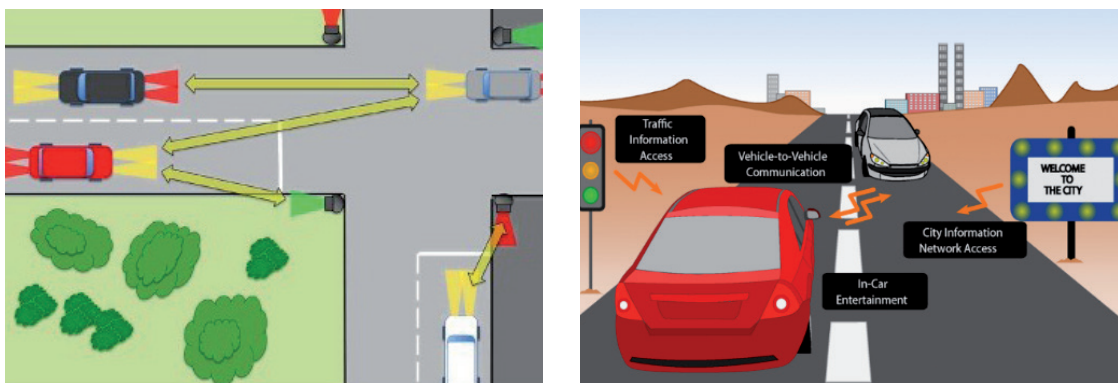


Fig. 5 Principio di applicazione della tecnologia VLC per "Smart Traffic" [9][10]



Fig. 6 Panorama delle possibili applicazioni finali per la tecnologia VLC [6]

tamento (transport layer) tra quello attivo e gli elettrodi.

Gli OLED sono già una consolidata realtà industriale, commercialmente disponibili, e recentemente si sta espandendo il loro utilizzo, soprattutto nel ramo dell'integrazione architettonica in edifici, come illuminazione di interni [14], data la possibilità di realizzarli su ampie superfici flessibili e direttamente sull'arredo (interior design, vedi Figura 7). Gli OPD, dall'altro, sono stati ampiamente studiati per applicazione energetica (celle solari), ma le loro proprietà di flessibilità meccanica e bassi costi di produzione (inferiori agli OLED), per via dell'uso di tecniche da fase liquida tipiche dell'industria della stampa, applicabili anche su larga area e con tecniche di fabbricazione veloci a rullo conti-

nuo (R2R, Roll-2-Roll) [15], li rendono appetibili per applicazioni OVLC.

**3. Conclusioni**  
 Dato il forte incremento dei dispositivi utilizzando internet, come smart-device e IoTs, la richiesta di banda è sempre più incalzante. Il concetto di rete 5G, oltre che ad un aumento delle prestazioni delle tecnologie a radio frequenza, affronta il problema proponendo nuove soluzioni tecnologiche wireless, tra cui le comunicazioni tramite luce visibile (VLC), in quanto economiche, veloci e sicure, visto che dispositivi emittenti radiazione luminosa visibile (lampade da interno ed esterno, TV, segnali stradali, display ed insegne pubblicitarie, fari delle auto, semafori, ecc.) si usano ovunque. Grazie a tutte le sue peculiarità, la tecnologia VLC è un'eccellente candidata come sistema di trasferimento dati per implementare il concetto "smart city" di una rete univoca, atta a migliorare la qualità della vita dei cittadini.

Nel panorama generale, un sistema VLC basato solo su dispositivi organici (OVLC), facilmente realizzabili su supporti flessibili e tramite tecniche economiche di stampa, sono un ulteriore passo avanti in termini di integrazione e diminuzione dei costi di realizzazione ed

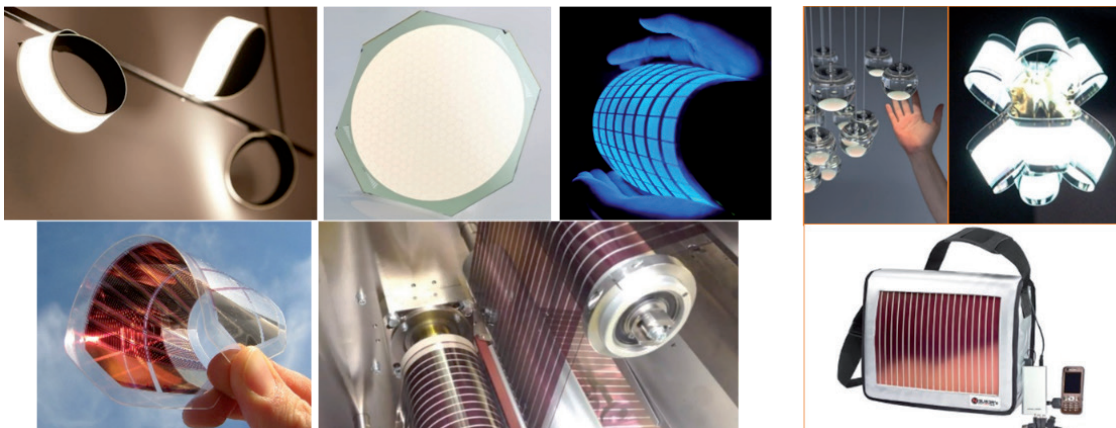


Fig. 7 Alcuni esempi di OLED (sopra) e OPD (sotto), anche integrati in prodotti finali di consumo

installazione.

La tecnologia OVLC è ancora ad uno stadio iniziale, richiede ancora molta ricerca, ma non di base, in quanto si può sfruttare un vasto know-how relativo alle sorgenti (OLED) ed ai foto-ricevitori (OPD) organici, in modo da focalizzare la ricerca sul prodotto finale applicato.

### Riferimenti bibliografici

[1] Osseiran A. et al. (2014), Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project, *IEEE Commun. Mag.*, (52), pp. 26–35.

[2] Cocchia A. (2014), *Smart and Digital City: A Systematic Literature Review*, Progress in IS - Springer International Publishing, (2014), pp. 13–43.

[3] Hanzo L. et al. (2012), *Wireless Myths, Realities, and Futures: From 3G/4G to Optical and Quantum Wireless*, Proc. IEEE - Special Centennial Issue, (100), pp. 1853–1888.

[4] Mukherjee M. (2016), *Wireless Communication-Moving from RF to Optical*, 10th IN-DIAcom-2016, (2016), pp. 1079–1086.

[5] Langer K.-D. et al. (2013), *Rate-adaptive visible light communication at 500Mb/s arrives at plug and play*, SPIE Newsroom, (Nov. 2013).

[6] RENESAS website ([www.renesas.com](http://www.renesas.com))

[7] Songet J. et al. (2014), *Indoor hospital communication systems: An integrated solution based on power line and visible light communication*, 2014 IEEE Faible Tension Faible Consommation, (2014), pp. 1–6.

[8] Philips website (<http://www.lighting.philips.com/main/systems/themes/led-based-indoor-positioning.html>)

[9] Bazzi A. et al. (2016), *Visible light communications as a complementary technology for the internet of vehicles*, *Comput. Commun.*, (93), pp. 39–51.

[10] Abualhoul M. et al. (2016), *Visible Light Inter-Vehicle Communication for Platooning of Autonomous Vehicles*, 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium IV2016, (2016).

[11] Cossu G. et al. (2013), *Experimental demonstration of high speed underwater visible light communications*, 2013 2nd International Workshop on Optical Wireless Communications (IWOW), (2013), pp. 11–15.

[12] OSRAM Opto Semiconductors (<https://www.osram.com/os>)

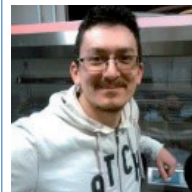
[13] Boubezari R. et al. (2016), *Smartphone Camera Based Visible Light Communication*, *J. Light. Technol.*, (34), pp. 4121–4127.

[14] Carlucci S. et al. (2015), *A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, (47), pp. 1016–1033.

[15] Krebs F. C. (2009), *Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques*, *Sol. Energy Mater. & Sol. Cells*, (93), pp. 394–412.

Luigi Salamandra

[luigi.salamandra.ext@mise.gov.it](mailto:luigi.salamandra.ext@mise.gov.it)



Luigi Salamandra si è laureato in Ingegneria Elettronica nel 2006 presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". Ha conseguito il Dottorato nel 2010, con una tesi sullo studio e realizzazione di Celle Solari Organiche presso i laboratori CHOSE, dove ha poi proseguito la sua attività di ricerca come borsista e assegnista PostDoc. Dal 2016 lavora come assegnista di ricerca presso l'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCOM), nei laboratori di New Generation Network (NGN). La sua attività di ricerca è in-centrata sullo studio e realizzazione di sistemi Visible Light Communications con dispositivi organici.

**Gianpaolo Susanna**

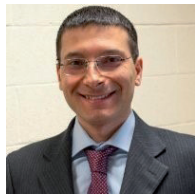
[gianpaolo.susanna.ext@mise.gov.it](mailto:gianpaolo.susanna.ext@mise.gov.it)



Gianpaolo Susanna si è laureato in Ingegneria Elettronica nel 2009 presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". Ha conseguito il Dottorato nel 2013, facendo attività di ricerca nel campo delle Celle Solari Organiche presso i laboratori CHOSE, dove ha proseguito la sua attività di ricerca come PostDoc. Dal 2016 lavora come assegnista di ricerca presso l'ISCOM (Ministero dello Sviluppo Economico). La sua attività di ricerca si concentra su FSO (Free Space Optics) e VLC (Visible Light Communications) per applicazioni indoor.

**Vincenzo Attanasio**

[vincenzo.attanasio.ext@mise.gov.it](mailto:vincenzo.attanasio.ext@mise.gov.it)



Vincenzo Attanasio (M.En 2014) è nato nel 1982. Si è laureato a Roma nel marzo 2014 in Ingegneria delle Telecomunicazioni e ora è assegnista di ricerca presso l'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione. Le sue attività di ricerca si concentrano su Next Generation Optical Network, reti di accesso Fiber to the Home e Fibre to the X, servizi Triple Play su Passive Optical Networks, networking con reti di accesso e di trasporto e comunicazioni in Free Space Optics.

**Stefano Penna**

[stefano.penna@mise.gov.it](mailto:stefano.penna@mise.gov.it)



Stefano Penna si è dottorato in Ingegneria delle Telecomunicazioni e Microelettronica nel 2009 presso l'Università degli studi di Roma Tor Vergata. Dal 2009 collabora con l'Istituto Superiore delle Comunicazioni per le ricerche su dispositivi e sistemi di trasmissione ottica wired e wireless per le reti di prossima generazione (NGN). La sua attuale linea di ricerca è focalizzata sulla progettazione e la fabbricazione di dispositivi ottici organici integrati per applicazioni FTTx, Data Centers, IoT.

**Andrea Reale**

[reale@ing.uniroma2.it](mailto:reale@ing.uniroma2.it)



Professore Associato presso il Dip. di Ing. Elettronica dell'Università di Roma Tor Vergata dal 2014. Laureato con lode in Ingegneria Elettronica nel 1997, dottore di ricerca in Ingegneria delle Telecomunicazioni e Microelettronica nel 2001. Ricercatore dal 2004 al 2014. Attività di ricerca: • Semiconduttori organici ed ibridi organico-inorganici, con particolare attenzione agli aspetti tecnologici di scale-up su larga area per applicazioni fotovoltaiche ed ai dispositivi per telecomunicazioni (fotorivelatori per VLC e IR, sorgenti IR); • Materiali nanostrutturati come nanotubi di carbonio e relative applicazioni tecnologiche (thermal management, sensori di deformazione); • Proprietà ottiche, elettro-ottiche ed elettriche di dispositivi ad eterostruttura per elettronica e telecomunicazioni.