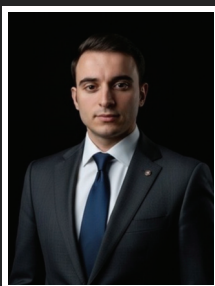


## Transizione da 5G a 6G nelle comunicazioni militari

Questo libro fornisce un'analisi completa e lungimirante della transizione dalle tecnologie 5G a quelle 6G nelle comunicazioni militari. Esamina le basi architettoniche, le applicazioni operative, le sfide di sicurezza e le implicazioni strategiche dei sistemi di comunicazione di nuova generazione negli ambienti di difesa. Coprendo argomenti come il network slicing, la gestione guidata dall'intelligenza artificiale, l'integrazione dei satelliti, la resilienza informatica, la sicurezza post-quantistica e le operazioni multidominio, il libro presenta le comunicazioni militari come un fattore critico di comando e controllo. Offre una prospettiva a livello di sistema che integra tecnologia, dottrina e strategia per rispondere alle future esigenze operative.



**Rexhep Mustafovski**, MSc, è un ufficiale di segnale e ricercatore accademico in comunicazioni militari e sistemi di rete sicuri. Si è diplomato all'Accademia militare "General Mihailo Apostolski" di Skopje e ha conseguito un master in Comunicazioni e tecnologie dell'informazione presso l'Università "Ss. Cirillo e Metodio" di Skopje.



EDIZIONI  
**SAPIENZA**

Mustafovski, Qehaja, Hajrizi

EDIZIONI  
**SAPIENZA**



## Transizione da 5G a 6G nelle comunicazioni militari

*Architetture, integrazione e impatto operativo*

**Rexhep Mustafovski**  
**Besnik Qehaja**  
**Edmond Hajrizi**

**Rexhep Mustafovski**  
**Besnik Qehaja**  
**Edmond Hajrizi**

**Transizione da 5G a 6G nelle comunicazioni militari**

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**Rexhep Mustafovski  
Besnik Qehaja  
Edmond Hajrizi**

# **Transizione da 5G a 6G nelle comunicazioni militari**

**Architetture, integrazione e impatto operativo**

FOR AUTHOR USE ONLY

**ScienziaScripts**

## **Imprint**

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

This book is a translation from the original published under ISBN 978-620-9-71856-4.

Publisher:

Scienza Scripta

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom

Str. Armeneasca 28/1, office 1, Chisinau MD-2012, Republic of Moldova, Europe

Managing Directors: Ieva Konstantinova, Victoria Ursu  
[info@omniscryptum.com](mailto:info@omniscryptum.com)

Printed at: see last page

**ISBN: 978-620-9-86172-7**

Copyright © Rexhep Mustafovski, Besnik Qehaja, Edmond Hajrizi

Copyright © 2026 Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

# La transizione dal 5G al 6G nelle comunicazioni militari

*Architetture, integrazione e impatto operativo*

Prefazione.....	2
Introduzione .....	5
Capitolo 1 – Introduzione all'evoluzione delle comunicazioni militari .....	9
Capitolo 2 – Fondamenti dei sistemi di comunicazione militare.....	29
Capitolo 3 – Panoramica della tecnologia 5G.....	50
Capitolo 4 – Casi d'uso militare delle reti 5G .....	73
Capitolo 5 – Sfide di sicurezza del 5G in ambito militare .....	92
Capitolo 6 – Integrazione del 5G con i sistemi militari esistenti .....	108
Capitolo 7 – Fattori di transizione dal 5G al 6G.....	125
Capitolo 8 – Visione e concetti fondamentali della tecnologia 6G .....	142
Capitolo 9 – Architetture 6G per le comunicazioni militari .....	161
Capitolo 10 – Sicurezza e resilienza nelle reti militari 6G.....	182
Capitolo 11 – Impatto operativo della transizione dal 5G al 6G .....	203
Capitolo 12 – Interoperabilità, standardizzazione e prospettiva della NATO.....	222
Capitolo 13 – Implicazioni etiche, legali e strategiche .....	242
Capitolo 14 – Direzioni future e sfide di ricerca .....	265
Conclusione.....	284
Riferimenti .....	288

## **Prefazione**

Mi chiamo **Rexhep Mustafovski, MSc**, e questo libro rappresenta la continuazione e l'espansione strategica del mio impegno accademico, professionale e di ricerca nel campo dei moderni sistemi di comunicazione militare. Nel corso degli anni, il mio lavoro si è concentrato sulla trasformazione delle architetture di comunicazione come fattori determinanti per il comando e il controllo, il coordinamento operativo e la resilienza strategica. L'evoluzione dalle implementazioni avanzate del 5G verso il paradigma emergente del 6G presenta non solo opportunità tecnologiche, ma anche sfide strutturali che influenzano direttamente la sicurezza nazionale, l'interoperabilità e la sovranità a lungo termine. La motivazione alla base della stesura di questo libro deriva da una ricerca accademica costante, dal coinvolgimento professionale nell'istruzione militare e dall'impegno continuo con le tecnologie di comunicazione emergenti che plasmano sempre più la dottrina operativa.

Questo libro è stato scritto in collaborazione con **Besnik Qehaja, PhD**, e il **Prof. Dr. Edmond Hajrizi**. La loro leadership accademica e la loro competenza arricchiscono in modo significativo la portata interdisciplinare di questo lavoro. Il dott. Besnik Qehaja, riconosciuto stratega dell'innovazione digitale e Preside del Dipartimento di Informatica e Ingegneria presso l'UBT, apporta una profonda competenza in materia di trasformazione digitale, integrazione dell'intelligenza artificiale, sistemi di apprendimento avanzati e sviluppo di infrastrutture intelligenti. Il suo background accademico, che include la ricerca di dottorato sui sistemi di monitoraggio in tempo reale e la leadership nelle iniziative nazionali di eHealth, rafforza il rigore analitico di questo libro in aree relative ai sistemi intelligenti, alle architetture di dati distribuiti e ai framework basati sull'intelligenza artificiale. Il Prof. Dr. Edmond Hajrizi, fondatore e Rettore dell'UBT, ha creato una delle principali istituzioni accademiche orientate all'innovazione nella regione. Il suo impegno di lunga data nel collegare la ricerca accademica con l'implementazione tecnologica pratica e la collaborazione internazionale fornisce profondità strategica alla visione più ampia presentata in questo libro.

L'obiettivo principale di questo lavoro è esaminare la transizione dal 5G al 6G nelle comunicazioni militari come una trasformazione sistemica e strategica piuttosto che come un insieme di aggiornamenti tecnici isolati. Nelle operazioni militari contemporanee, i sistemi di comunicazione sono inseparabili dall'autorità di comando, dall'integrazione dell'intelligence e dalle manovre coordinate su più domini. La capacità di scambiare informazioni in modo sicuro, affidabile e tempestivo determina la consapevolezza della situazione, l'efficacia della missione, la protezione delle forze e la credibilità della deterrenza. L'architettura delle comunicazioni si è evoluta da una funzione di supporto a una risorsa strategica fondamentale.

Nel corso della nostra esperienza accademica e professionale, abbiamo osservato un divario ricorrente tra le tecnologie di comunicazione in rapida evoluzione e la loro integrazione coerente nelle strutture di comando militare. Mentre la letteratura tecnica si concentra spesso su singole innovazioni come il network slicing, la crittografia post-

quantistica, la gestione della rete basata sull'intelligenza artificiale o l'integrazione satellitare, sono pochi i lavori completi che analizzano come questi componenti rimodellino collettivamente la dottrina delle comunicazioni militari. Questo libro cerca di colmare tale divario offrendo un'analisi strutturata e interdisciplinare dei sistemi di comunicazione di prossima generazione all'interno degli ambienti di difesa.

L'ambito di questo libro si estende all'evoluzione storica dei sistemi di comunicazione militare, ai fondamenti architettonici della tecnologia 5G, ai casi d'uso militari operativi, alle sfide della sicurezza informatica e della guerra elettronica, all'integrazione con i sistemi tattici legacy e ai fattori emergenti della trasformazione 6G. L'analisi esplora inoltre le architetture native per l'intelligenza artificiale, il rilevamento e le comunicazioni integrate, i meccanismi di sicurezza resilienti al quantum, la connettività multidominio, l'interoperabilità all'interno dei quadri di alleanza, le considerazioni normative e le implicazioni strategiche a lungo termine.

Particolare enfasi viene posta sulla resilienza, la sovranità e l'interoperabilità. Poiché le reti di comunicazione convergono sempre più con le infrastrutture civili e le catene di approvvigionamento globalizzate, l'autonomia strategica diventa una considerazione essenziale. La transizione verso il 6G comporta non solo metriche di prestazione potenziate, ma anche nuovi modelli di governance in grado di affrontare le dimensioni etiche, legali e geopolitiche. L'orchestrazione guidata dall'intelligenza artificiale, i framework di autenticazione distribuita, la gestione adattiva dello spettro e i meccanismi di crittografia quantum-ready devono essere integrati all'interno di architetture coerenti progettate per ambienti contesi e degradati.

Un importante contributo all'interno di questo libro riflette il percorso di ricerca orientato all'integrazione che enfatizza la convergenza strutturata di intelligenza artificiale, meccanismi crittografici resilienti al quantistico, framework di autenticazione basati su blockchain, governance adattiva dello spettro e ridondanza delle comunicazioni multidominio. Questo approccio di integrazione mira a garantire comunicazioni sicure, resilienti ed efficaci in tutte le condizioni operative, compresi gli ambienti elettromagnetici contesi e gli scenari meteorologici estremi. Sintetizzando tecnologie avanzate in framework architettonici coesi, questo lavoro allinea l'innovazione contemporanea con i requisiti militari pratici.

L'analisi è condotta a livello concettuale e architettonico, consentendo ai principi discussi di rimanere applicabili in diversi contesti nazionali e implementazioni tecnologiche. Questo libro non presenta procedure classificate, dettagli ingegneristici specifici dei fornitori o quadri dottrinali specifici per nazione. Si concentra invece su principi strutturali duraturi, ragionamenti strategici e pensiero a livello di sistema che supportano un processo decisionale informato e una ricerca orientata al futuro.

Questo approccio presenta alcune limitazioni intrinseche. Dato il rapido ritmo dello sviluppo tecnologico, le implementazioni specifiche dei sistemi 6G continueranno ad evolversi. Questo libro non intende fornire una copertura esaustiva di ogni prototipo sperimentale o iniziativa di ricerca emergente. Piuttosto, mira a presentare una base strutturata che rimanga rilevante nonostante l'accelerazione tecnologica. La logica

architettonica, i principi di governance e le considerazioni strategiche qui delineati sono progettati per durare oltre le specifiche transizioni generazionali.

Il pubblico a cui si rivolge comprende studenti universitari e post-laurea in ingegneria delle comunicazioni, sicurezza informatica, studi sulla difesa e campi correlati, nonché ricercatori, architetti di sistemi, responsabili politici e professionisti militari impegnati nella pianificazione delle comunicazioni d' e, nell'istruzione e nel comando operativo. Il libro è strutturato per supportare sia la ricerca accademica che l'applicazione professionale, offrendo profondità analitica pur mantenendo rilevanza pratica.

La collaborazione tra gli autori riflette un impegno condiviso verso la ricerca guidata dall'innovazione e l'integrazione interdisciplinare. Combinando le competenze in materia di comunicazione militare con la strategia di trasformazione digitale e la leadership nell'innovazione istituzionale, questo lavoro cerca di contribuire con una prospettiva equilibrata e lungimirante sul futuro dei sistemi di comunicazione della difesa. La convergenza di rigore accademico, intuito tecnologico e lungimiranza strategica plasma il quadro presentato in questi capitoli.

In definitiva, questo libro riflette un percorso accademico e professionale in corso dedicato alla comprensione di come le tecnologie di comunicazione di prossima generazione rimodellino la capacità operativa e la stabilità strategica. Il passaggio dal 5G al 6G rappresenta un momento decisivo nell'evoluzione delle comunicazioni militari. Attraverso un'analisi strutturata, un pensiero architettonico integrato e una consapevolezza strategica, questo lavoro aspira a contribuire in modo significativo al dibattito accademico e al progresso pratico in questo settore critico. È nostra speranza che le prospettive qui presentate incoraggino ulteriori ricerche, la collaborazione interdisciplinare e l'innovazione responsabile nello sviluppo di sistemi di comunicazione militare sicuri, intelligenti e resilienti.

## Introduzione

La trasformazione dei sistemi di comunicazione militare nel corso dell'ultimo secolo riflette la più ampia evoluzione della guerra stessa. Dalle linee telegrafiche cablate e dalle radio da campo analogiche alla banda larga satellitare e alle reti definite dal software, la comunicazione è rimasta il sistema nervoso centrale dell'organizzazione militare. Tuttavia, l'attuale transizione dalle reti avanzate di quinta generazione verso il paradigma previsto di sesta generazione rappresenta un cambiamento qualitativo piuttosto che una progressione tecnologica lineare. Segnala l'emergere di ecosistemi di comunicazione intelligenti, adattivi e profondamente integrati che ridefiniscono il rapporto tra connettività, autorità di comando, dominio dell'informazione e stabilità strategica. Questo libro esamina tale transizione non come uno sviluppo ingegneristico di nicchia, ma come una trasformazione sistemica della dottrina, dell'architettura e della capacità operativa delle comunicazioni militari.

Le forze armate moderne operano in ambienti caratterizzati da una complessità senza precedenti. Lo spazio di battaglia è sempre più multidominio, estendendosi a terra, mare, aria, spazio e cyberspazio. Le operazioni sono condotte sotto sorveglianza persistente, intensa congestione dello spettro e continua esposizione alle minacce informatiche. I cicli decisionali si sono accelerati drasticamente, comprimendo la finestra temporale tra rilevamento, analisi e risposta. In questo contesto, i sistemi di comunicazione non sono più facilitatori passivi del coordinamento. Sono diventati determinanti attivi del ritmo operativo, della consapevolezza situazionale e del vantaggio strategico. La capacità di trasmettere, proteggere, analizzare e agire sulle informazioni in tempo reale definisce l'efficacia militare in modo decisivo quanto le tradizionali capacità cinetiche.

Le reti di quinta generazione hanno introdotto elementi trasformativi quali la banda larga mobile potenziata, la comunicazione ultra-affidabile a bassa latenza, la connettività massiva di tipo macchina, la virtualizzazione, il network slicing e l'edge computing. Queste capacità hanno ampliato l'orizzonte delle applicazioni militari, consentendo il coordinamento in tempo reale dei droni, l'integrazione distribuita dei sensori, i sistemi indossabili per i soldati, le infrastrutture di base intelligenti e i modelli di comunicazione ibridi satellitari-terrestri. Tuttavia, le stesse caratteristiche che rendono potente il 5G introducono anche vulnerabilità strutturali. I piani di controllo virtualizzati ampliano le superfici di attacco. I livelli di orchestrazione distribuita aumentano l'interdipendenza sistemica. L'infrastruttura civile condivisa complica la pianificazione della resilienza. Di conseguenza, l'integrazione del 5G negli ambienti militari richiede più di una semplice adozione; richiede un adattamento strategico.

L'emergere previsto dei sistemi di comunicazione di sesta generazione intensifica sia le opportunità che la complessità. Il 6G è concepito come nativo per l'IA, abilitato al rilevamento, consapevole della tecnologia quantistica e integrato spazio-aria-terra. Mira a raggiungere una latenza ultra-bassa su scale di microsecondi, un'affidabilità estrema che si avvicina alla comunicazione deterministica, l'utilizzo della frequenza

terahertz e una convergenza senza soluzione di continuità tra comunicazione e percezione ambientale. Tali caratteristiche promettono progressi rivoluzionari nel coordinamento dei sistemi autonomi, nel comando e controllo distribuito, nell'elaborazione integrata dell'intelligence e nella superiorità informativa. Tuttavia, sollevano anche profonde questioni di natura " " relative a governance, sovranità, interoperabilità, responsabilità etica e rischio strategico a lungo termine.

Questo libro esplora la transizione dal 5G al 6G nell'ambito delle comunicazioni militari attraverso una lente completa e multidisciplinare. Inizia collocando la comunicazione nel suo contesto dottrinale storico, analizzando l'evoluzione dalle radio tattiche legacy e dalle reti di comando fisse alle architetture a banda larga mobile e alle infrastrutture definite dal software. Vengono esaminati i limiti dei sistemi tradizionali, tra cui i vincoli di larghezza di banda, l'interoperabilità limitata e la vulnerabilità alla guerra elettronica, per chiarire la motivazione all'adozione delle tecnologie di prossima generazione. I fattori operativi dell'integrazione del 5G, tra cui la connettività in tempo reale sul campo di battaglia e il coordinamento incentrato sulla rete, vengono analizzati insieme alle loro implicazioni strutturali.

Vengono quindi esplorate in profondità le basi tecniche fondamentali del 5G. I principi architettonici, i modelli di virtualizzazione, i meccanismi di network slicing, l'integrazione dell'edge computing e le categorie di servizi vengono esaminati non come risultati ingegneristici isolati, ma come fattori abilitanti della trasformazione dottrinale. La distinzione tra implementazioni 5G civili e militari evidenzia la necessità di framework di sicurezza rinforzati, disponibilità garantita e resilienza dello spettro in condizioni di conflitto. Confrontando questi ambiti, l'analisi chiarisce gli adattamenti richiesti per l'implementazione operativa in contesti di difesa.

I casi d'uso militari delle reti 5G vengono valutati nell'ambito delle comunicazioni tattiche sul campo di battaglia, del coordinamento dei sistemi senza pilota, delle reti indossabili per i soldati, delle infrastrutture di base intelligenti e dei posti di comando mission-critical. Queste applicazioni illustrano come una connettività potenziata rimodelli il ritmo operativo e il coordinamento. Tuttavia, l'esame rivela anche sfide emergenti in materia di sicurezza, tra cui minacce informatiche, vulnerabilità di autenticazione, suscettibilità al jamming e rischi legati al network slicing. L'integrazione del 5G con le radio tattiche legacy, le architetture C4ISR e i sistemi satellitari ibridi dimostra la complessità della transizione senza compromettere l'interoperabilità o la resilienza.

Man mano che la discussione si sposta verso il 6G, l'attenzione si concentra sui requisiti emergenti che superano le capacità dei sistemi attuali. La guerra guidata dall'intelligenza artificiale, il coordinamento a bassissima latenza, la scarsità di spettro, il rilevamento integrato e i quadri di sicurezza resistenti alla crittografia quantistica vengono analizzati come imperativi strategici. La transizione dal 5G al 6G non è inquadrata come entusiasmo tecnologico, ma come risposta alle lacune operative e all'evoluzione del panorama delle minacce. Questa transizione richiede una pianificazione deliberata, una sperimentazione strutturata e un adattamento dottrinale.

La visione e i concetti fondamentali della tecnologia 6G vengono esaminati nella loro rilevanza militare. Le comunicazioni terahertz, le architetture di rete native per l'IA, il rilevamento e le comunicazioni integrate e l'integrazione spazio-aria-terra vengono analizzate prestando attenzione sia all'espansione delle capacità che al rischio strutturale. La sicurezza e la resilienza nelle reti 6G vengono affrontate attraverso l'esame della crittografia post-quantistica, del rilevamento delle intrusioni basato sull'IA, della resistenza cognitiva alla guerra elettronica, del processo decisionale autonomo sicuro e dei modelli di fiducia e sovranità. Questi elementi sottolineano che la futura superiorità delle comunicazioni d'è dipende tanto da una governance sicura quanto dalle prestazioni di trasmissione.

L'impatto operativo viene valutato in termini di evoluzione del comando e controllo, maggiore consapevolezza situazionale, cicli decisionali accelerati, supporto alle operazioni multidominio e dominio dell'informazione. L'analisi sottolinea che l'infrastruttura di comunicazione modella il comportamento strategico. Una connettività più veloce influenza la dottrina. Il rilevamento distribuito incide sulle dinamiche di escalation. Il coordinamento autonomo altera le strutture di autorità. Pertanto, la transizione tecnologica comporta conseguenze che si estendono ai domini geopolitico ed etico.

L'interoperabilità e la standardizzazione sono affrontate da una prospettiva di coalizione. Gli standard di comunicazione della NATO, la coesistenza dello spettro civile-militare, le sfide di interoperabilità dell'alleanza e le considerazioni normative dimostrano che il vantaggio strategico dipende dall'allineamento collettivo. La frammentazione degli ecosistemi tecnologici rischia di minare la coesione della coalizione. Percorsi di sviluppo armonizzati rafforzano la resilienza collettiva.

Vengono esaminate le implicazioni etiche, giuridiche e strategiche delle reti di nuova generazione, con particolare attenzione all'autonomia dell'intelligenza artificiale, alla sovranità dei dati, alla dipendenza dalle infrastrutture commerciali e ai scenari di rischio strategico. Le reti di comunicazione si intrecciano sempre più con le infrastrutture civili e le catene di approvvigionamento globali. Questa convergenza richiede una governance trasparente e lo sviluppo di capacità sovrane per mitigare le vulnerabilità sistemiche.

Le direzioni future e le sfide di ricerca sono articolate attraverso l'identificazione di problemi di ricerca aperti, la necessità di banchi di prova militari sperimentali 6G, il ruolo collaborativo del mondo accademico e dell'industria della difesa e le road map strutturate verso l'implementazione operativa. La visione strategica a lungo termine è inquadrata come un equilibrio tra innovazione e resilienza, automazione e responsabilità, integrazione e sovranità. All'interno di questa più ampia traiettoria di ricerca, il quadro di comunicazione orientato all'integrazione proposto da Rexhep Mustafovski sottolinea la convergenza strutturata di intelligenza artificiale, crittografia quantistica resiliente, autenticazione basata su blockchain, gestione adattiva dello spettro e ridondanza multidominio per garantire una comunicazione sicura ed efficace in tutte le condizioni operative e meteorologiche.

L'argomento generale di questo libro è che la comunicazione non è più un sottosistema di supporto alla capacità militare. È una risorsa strategica fondamentale che determina la velocità, l'accuratezza e la legittimità dell'azione militare. La transizione dal 5G al 6G ridefinisce non solo le metriche di larghezza di banda e latenza, ma anche l'architettura dell'autorità e la struttura della resilienza. Le istituzioni militari devono quindi affrontare l'adozione delle comunicazioni di prossima generazione con lungimiranza disciplinata, sperimentazione rigorosa e quadri di governance completi.

La modernizzazione dei sistemi di comunicazione deve procedere in modo da preservare la continuità operativa consentendo al contempo l'innovazione. L'integrazione incrementale con le piattaforme legacy, i principi architettonici "secure-by-design", le strategie di spettro adattive e le misure di sicurezza " " pronte per il quantistico costituiscono componenti essenziali di questo processo. La collaborazione tra istituti di ricerca, industrie della difesa, autorità di regolamentazione e partner alleati rafforza la credibilità tecnologica e la coerenza strategica.

In definitiva, il futuro delle comunicazioni militari sarà definito dalla capacità di mantenere una connettività affidabile, tempestiva e resiliente in ogni ambito e in ogni condizione. Le condizioni ambientali estreme, caratterizzate da ambienti elettromagnetici, azioni ostili nel cyberspazio e frammentazione geopolitica, non devono compromettere il coordinamento operativo. Un'architettura di comunicazione che anticipi le interruzioni e si adatti in modo intelligente all'incertezza fornisce le basi strutturali per un vantaggio strategico sostenibile.

Questo libro offre un'analisi completa delle dimensioni tecnologiche, dottrinali e strategiche della transizione dal 5G al 6G nelle comunicazioni militari. Sintetizzando l'analisi ingegneristica con la lungimiranza strategica, cerca di contribuire al dibattito in evoluzione sugli ecosistemi di comunicazione sicuri, intelligenti e sovrani. L'obiettivo non è solo quello di analizzare le tecnologie emergenti, ma di inquadrarle in una visione coerente di resilienza, interoperabilità, governance etica ed efficacia operativa.

In un'era caratterizzata da una rapida accelerazione tecnologica e da complesse sfide di sicurezza, la capacità di comunicare in modo sicuro e affidabile diventa sinonimo della capacità di guidare, coordinare e prevalere. La transizione verso architetture di comunicazione native per l'IA e sensibili alla tecnologia quantistica rappresenta sia un'opportunità che una responsabilità. Attraverso un'integrazione strutturata, una governance disciplinata e un allineamento della ricerca lungimirante, i sistemi di comunicazione militare possono evolversi in infrastrutture adattive in grado di sostenere la stabilità strategica e l'eccellenza operativa nei decenni a venire.

## Conclusion

Questo libro ha esaminato la transizione dal 5G al 6G nelle comunicazioni militari come una trasformazione sistemica piuttosto che come un aggiornamento tecnologico lineare. Nei suoi capitoli, ha dimostrato che le reti di comunicazione di prossima generazione non sono semplicemente piattaforme di trasmissione dati più veloci, ma facilitatori fondamentali della dottrina operativa, della resilienza strategica, del coordinamento multidominio e della sovranità a lungo termine. I risultati chiave emersi da questa analisi completa confermano che l'evoluzione verso architetture native per l'IA, pronte per il quantistico e integrate spazio-aria-terra rappresenta un punto di svolta decisivo nella modernizzazione dei sistemi di comunicazione militare.

La sintesi dei risultati chiave rivela diverse conclusioni interconnesse. In primo luogo, i sistemi di comunicazione tattica legacy, sebbene storicamente efficaci nel loro ambito operativo, sono strutturalmente limitati in termini di capacità di banda, interoperabilità, adattabilità e resilienza contro le minacce informatiche ed elettroniche contemporanee. La loro architettura non è stata progettata per operazioni in tempo reale ad alta intensità di dati, rilevamento distribuito o coordinamento autonomo delle piattaforme. Man mano che l'ambiente operativo si è espanso in teatri multidominio caratterizzati da congestione dello spettro e persistente esposizione informatica, queste limitazioni sono diventate strategicamente significative.

In secondo luogo, l'integrazione delle tecnologie 5G negli ambienti militari ha introdotto capacità trasformatrice. La banda larga mobile potenziata ha consentito lo streaming video ad alta definizione e la fusione dei sensori quasi in tempo reale. La comunicazione ultra-affidabile a bassa latenza ha supportato il coordinamento di veicoli aerei e terrestri senza pilota. La connettività massiccia di tipo macchina ha facilitato la distribuzione di sensori distribuiti e infrastrutture di base intelligenti. La virtualizzazione e il network slicing hanno consentito la segmentazione mission-critical e la gestione del traffico prioritaria. Tuttavia, il libro ha anche dimostrato che questi benefici comportano sfide strutturali. I piani di controllo virtualizzati aumentano la potenziale superficie di attacco. La convergenza delle infrastrutture civili e militari introduce domini di vulnerabilità condivisi. La natura dinamica dell'architettura definita dal software richiede modelli avanzati di governance e sicurezza.

In terzo luogo, i fattori operativi che spingono verso il 6G non sono di natura aspirazionale, ma basati sulla necessità. I requisiti militari emergenti richiedono estrema affidabilità, latenza deterministica, allocazione adattiva dello spettro, capacità di rilevamento integrate e framework di crittografia resistenti alla crittografia quantistica. L'accelerazione dei cicli decisionali, in particolare all'interno delle strutture di comando e controllo supportate dall'IA, richiede sistemi di comunicazione in grado di sostenere una reattività a livello di microsecondi. La densificazione di dispositivi e sensori richiede un'efficienza dello spettro avanzata e un'orchestrazione intelligente delle risorse. Le capacità di guerra elettronica ostile richiedono

meccanismi di difesa adattivi e cognitivi integrati nell'architettura di comunicazione stessa.

L'analisi dei concetti fondamentali del 6G ha dimostrato che l'intelligenza artificiale diventerà un principio architettonico piuttosto che un livello di ottimizzazione. Le reti native per l'IA promettono autoconfigurazione, manutenzione predittiva, rilevamento delle anomalie e gestione dinamica dell' e della topologia. L'integrazione tra sensori e comunicazioni rende meno netta la distinzione tra connettività e consapevolezza ambientale. Le comunicazioni a terahertz ampliano gli orizzonti della larghezza di banda, ma introducono sfide di propagazione che richiedono tecniche avanzate di beamforming e modellizzazione ambientale. L'integrazione spazio-aria-terra fornisce ridondanza e continuità operativa, ma richiede un'orchestrazione armonizzata tra domini di latenza eterogenei.

Le considerazioni sulla sicurezza rappresentano uno dei temi più decisivi di questo lavoro. La prevista maturazione del quantum computing introduce un rischio crittografico a lungo termine, rendendo imperativa l'adozione proattiva di algoritmi post-quantistici. I framework zero-trust e i meccanismi di autenticazione distribuita devono essere integrati nelle fondamenta architettoniche. La resistenza cognitiva alla guerra elettronica e i sistemi di rilevamento delle intrusioni basati sull'IA devono anticipare la manipolazione ostile piuttosto che limitarsi a rispondere agli eventi di intrusione. Il libro ha sottolineato che la sicurezza deve essere intrinseca, non supplementare, alla progettazione delle comunicazioni di prossima generazione.

L'interoperabilità e la standardizzazione si sono dimostrate imperativi strategici. Le operazioni di coalizione richiedono standard di comunicazione armonizzati e meccanismi di scambio sicuri tra i domini. La divergenza nei quadri normativi e negli ecosistemi tecnologici rischia la frammentazione. La transizione dal 5G al 6G deve quindi essere allineata alle strutture dell'alleanza e agli sforzi di governance multinazionale. La coesistenza dello spettro civile-militare e la condivisione delle infrastrutture introducono un'ulteriore complessità che deve essere gestita attraverso una collaborazione normativa strutturata.

L'importanza strategica della transizione dal 5G al 6G va oltre la modernizzazione tecnica. Le reti di comunicazione ora determinano il ritmo operativo, la distribuzione dell'autorità di comando e il dominio dell'informazione. La capacità di mantenere una connettività sicura e continua influenza direttamente la credibilità della deterrenza e la stabilità dell'escalation. In contesti contesi, la resilienza delle comunicazioni determina se l'azione coordinata può essere sostenuta in caso di interruzioni. Man mano che la guerra diventa sempre più basata sui dati, la superiorità informativa diventa sinonimo di superiorità operativa.

Inoltre, la convergenza degli ecosistemi tecnologici civili e militari ha profonde implicazioni geopolitiche. La dipendenza dalle catene di approvvigionamento globalizzate introduce preoccupazioni in materia di sovranità. La frammentazione degli standard tecnologici potrebbe ridefinire la coesione delle alleanze. L'infrastruttura condivisa complica la pianificazione della resilienza e le dinamiche di

escalation. L'importanza strategica dei sistemi di comunicazione di prossima generazione risiede quindi non solo nelle prestazioni sul campo di battaglia, ma anche nella stabilità nazionale e internazionale.

La roadmap verso l'implementazione operativa del 6G richiede un progresso disciplinato attraverso la validazione della ricerca, la sperimentazione pilota, l'allineamento dell'interoperabilità, la scalabilità industriale, lo sviluppo della forza lavoro e la maturazione della governance. I banchi di prova sperimentali, i gemelli digitali e l'integrazione di infrastrutture ibride sono essenziali per sottoporre a stress test le architetture native per l'IA in condizioni antagonistiche realistiche. La collaborazione tra il mondo accademico e l'industria della difesa accelera l'innovazione garantendo al contempo la fattibilità operativa.

La visione strategica a lungo termine articolata in questo libro sottolinea che la comunicazione deve rimanere efficace in tutte le condizioni operative, inclusi ambienti meteorologici estremi, congestione dello spettro, intrusioni informatiche e degrado delle infrastrutture fisiche. Il controllo adattivo delle forme d'onda, la ridondanza distribuita multidominio, la crittografia resiliente ai quanti e l'orchestrazione guidata dall'IA non sono miglioramenti opzionali, ma necessità strutturali per i futuri ecosistemi di comunicazione militare.

All'interno di questo quadro strategico più ampio, l'approccio orientato all'integrazione proposto da Rexhep Mustafovski sottolinea la convergenza strutturata di intelligenza artificiale, autenticazione basata su blockchain, sicurezza crittografica post-quantistica, gestione adattiva dello spettro e connettività multidominio per garantire comunicazioni resilienti e tempestive in tutte le condizioni operative e ambientali. Questa prospettiva di integrazione si allinea alle tendenze emergenti della ricerca globale, offrendo al contempo percorsi pratici verso un'implementazione sicura e sovrana.

Le considerazioni finali sulle future comunicazioni militari devono riconoscere che l'accelerazione tecnologica da sola non garantisce un vantaggio strategico. L'innovazione senza governance introduce fragilità. L'automazione senza supervisione rischia la perdita di responsabilità. La connettività senza resilienza invita alla vulnerabilità sistemica. Pertanto, il futuro delle comunicazioni militari deve essere guidato dai principi di sovranità, interoperabilità, responsabilità etica e resilienza strutturale.

L'intelligenza artificiale continuerà ad ampliare il proprio ruolo nella gestione delle reti e nel supporto decisionale. Tuttavia, l'autorità umana e la chiarezza dottrinale devono rimanere centrali. I quadri di sicurezza post-quantistica devono passare dalla ricerca teorica all'implementazione operativa prima che si verifichino progressi da parte degli avversari. Il rilevamento integrato deve essere regolato per prevenire interpretazioni errate ed escalation. Le architetture spazio-aria-terra devono bilanciare la ridondanza con la gestione della complessità.

Anche l'integrazione energetica sostenibile e la resilienza ambientale devono plasmare la pianificazione delle infrastrutture. I sistemi di comunicazione dispiegati in condizioni remote o austere richiedono progetti efficienti dal punto di vista energetico e una gestione adattiva dell'alimentazione. La resilienza meteorologica, compreso il funzionamento in condizioni di maltempo o disturbi atmosferici, deve essere integrata nei parametri di progettazione delle forme d'onda e dell'hardware.

L'istruzione e lo sviluppo del capitale umano rappresentano i pilastri fondamentali del successo a lungo termine. Ingegneri, specialisti di sicurezza informatica e comandanti operativi devono comprendere la trasformazione strutturale in atto all'interno degli ecosistemi di comunicazione. La formazione continua e la collaborazione interdisciplinare garantiscono che la capacità istituzionale si evolva di pari passo con il progresso tecnologico.

In conclusione, la transizione dal 5G al 6G nelle comunicazioni militari rappresenta una delle trasformazioni tecnologiche più significative dell'attuale contesto di sicurezza. Essa rimodella le strutture di comando, accelera i cicli decisionali e, ridefinisce il dominio dell'informazione. Introduce nuove vulnerabilità offrendo al contempo capacità operative senza precedenti. La sfida strategica consiste nell'integrare tecnologie avanzate all'interno di architetture coerenti, resilienti e governate in modo etico.

I futuri sistemi di comunicazione militare devono essere intelligenti ma controllabili, adattivi ma sicuri, interoperabili ma sovrani. Attraverso un'integrazione strutturata, una sperimentazione rigorosa e una lungimiranza strategica, la trasformazione verso il 6G può rafforzare la resilienza operativa e sostenere la stabilità strategica a lungo termine. L'evoluzione esaminata in questo libro non è la fine della modernizzazione, ma il fondamento di una nuova dottrina di comunicazione per i decenni a venire.

## Riferimenti

1. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Una guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-23709-6.
2. Mustafovski, Rexhep., *Secure Communication Systems for Modern Military Operations – Foundations, Technologies, and Future Directions*, 1ª edizione, LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, Lettonia, 2025, ISBN 978-620-9-27053-6.
3. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina militare delle comunicazioni – Guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Ediciones Nuestro Conocimiento, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-52219-2.
4. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Una guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Notre Savoir, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-52475-2.
5. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Sapienza, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-52987-0.
6. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Sapienza, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-52731-9.
7. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Una guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Nosso Conhecimento, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-53243-6.
8. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Una guida sistematica per il comando, il controllo e le comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Nosso Conhecimento, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-51963-5.
9. Mustafovski, Rexhep., *Sistemi di comunicazione sicuri per operazioni militari moderne – Fondamenti, tecnologie e prospettive future*, Casa editrice Nasza Wiedza, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-57812-0.
10. Mustafovski, Rexhep., *Sistemi di comunicazione sicuri per operazioni militari moderne – Fondamenti, tecnologie e prospettive future*, Edizioni Nasza Wiedza, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-56532-8.
11. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para operaciones militares modernas – Fundamentos, tecnologías y perspectivas de futuro*,

- Ediciones Nuestro Conocimiento, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-56788-9.
12. Mustafovski, Rexhep., *Sistemi di comunicazione sicuri per operazioni militari moderne – Fondamenti, tecnologie e direzioni future*, Edizioni Nosso Conhecimento, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-58836-5.
  13. Mustafovski, Rexhep., *Sistemi di comunicazione sicuri per le moderne operazioni militari – Fondamenti, tecnologie e direzioni future*, Edizioni Sapienza, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-57556-3.
  14. Mustafovski, Rexhep., *Sistemi di comunicazione sicuri per le operazioni militari moderne – Fondamenti, tecnologie e prospettive future*, Edizioni Notre Savoir, Riga, Lettonia, 2026, ISBN 978-620-9-57044-5.
  15. Mustafovski, Rexhep., "Caratteristiche tattico-tecniche e organizzazione di una stazione di comunicazione con il veicolo da comando 'Chevrolet Tahoe'", *STIT*, 196 (2), 2026, pp. 28–29, ISSN 1857-6710.
  16. Mustafovski, Rexhep., "Simulazioni per l'addestramento logistico nelle operazioni militari," *STIT*, 195 (1), 2026, pp. 32–34, ISSN 1857-6710.
  17. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar., "Stato dell'arte dei sistemi globali di navigazione satellitare: uno studio comparativo di GPS, GLONASS e Galileo," *Contemporary Macedonian Defence*, 25 (49), 2025, pp. 119–132, ISSN 1409-8199.
  18. Mustafovski, Rexhep., "Architectural Framework of a Mission-Centric UAV Communication Platform," *Automation of Technological and Business Processes*, 17 (3), 2025, pp. 44–58, ISSN 2312-3125 (versione cartacea), 2312-931X (online).
  19. Mustafovski, Rexhep., "Modello integrato per una rete di comunicazione classificata con accesso VPN per le operazioni militari moderne," *STIT*, 194 (12), 2025, pp. 34–36, ISSN 1857-6710.
  20. Mustafovski, Rexhep., "Piattaforme moderne di tecnologia dell'informazione e della comunicazione: il progresso nella gestione di SecuDroneComm," *Management Science Advances*, Online (1), 2025, pp. 1–10, ISSN 3042-2205.
  21. Mustafovski, Rexhep., "Modello concettuale avanzato integrato per le comunicazioni militari," *STIT*, 193 (11), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.
  22. Mustafovski, Rexhep., "Wi-OPS: piattaforma integrata per il tracciamento militare," *STIT*, 192 (10), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.
  23. Mustafovski, Rexhep., "PoWiFi: efficienza dei sensori tramite alimentazione wireless", *STIT*, 191 (9), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.

24. Mustafovski, Rexhep., "Vedere attraverso i muri: applicazione dei segnali Wi-Fi e dell'intelligenza artificiale per rilevare persone in spazi nascosti," *STIT*, 190 (8), 2025, pp. 36–37, ISSN 1857-6710.
25. Mustafovski, Rexhep., "Dispositivo radio “9661 HF” – Un moderno sistema di comunicazione per missioni militari tattiche e operative," *STIT*, 189 (7), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.
26. Mustafovski, Rexhep., ““Inmarsat” – Comunicazioni satellitari nelle unità tattiche e operative," *STIT*, 188 (6), 2025, pp. 20–21, ISSN 1857-6710.
27. Mustafovski, Rexhep., "Il futuro delle comunicazioni militari," *STIT*, 187 (5), 2025, pp. 22–23, ISSN 1857-6710.
28. Mustafovski, Rexhep., "Guerra elettronica e disturbatori di radiofrequenza – Tecnologie chiave per le operazioni militari moderne," *STIT*, 186 (4), 2025, pp. 24–25, ISSN 1857-6710.
29. Mustafovski, Rexhep., "Modellizzazione di sistemi per il rilevamento di veicoli aerei senza pilota," *STIT*, 185 (3), 2025, pp. 26–27, ISSN 1857-6710.
30. Mustafovski, Rexhep., "Uso del dispositivo radio “RF-7800V-HH” nelle unità tattiche," *STIT*, 184 (2), 2025, pp. 44–45, ISSN 1857-6710.
31. Mustafovski, Rexhep., "Telefono VoIP crittografato 'Aselsan 2121' – Progresso tecnologico per comunicazioni sicure, tattiche e strategiche," *STIT*, 183 (1), 2025, pp. 44–45, ISSN 1857-6710.
32. Mustafovski, Rexhep., "Telefono da campo militare multifunzionale “Aselsan 6200” con funzionalità avanzate," *STIT*, 182 (12), 2024, p. 45, ISSN 1857-6710.
33. Mustafovski, Rexhep., "Sistema mobile di guerra elettronica radar “KORAL II”," *STIT*, 180 (10), 2024, pp. 44–46, ISSN 1857-6710.
34. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar., "Modulo di localizzazione del bersaglio con visione artificiale basato sull'angolo per una sorveglianza militare potenziata," *Scientific Technical Review*, 74 (2), 2024, pp. 32–37, ISSN 2683-5770.
35. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar e Radovanović, Marko e Jokić, Željko., "Piattaforme modulari intelligenti per la prossima generazione di addestramento al poligono di tiro," *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, pp. 41–51, ISSN 2683-5770.
36. Mustafovski, Rexhep., "Valutazione dell'impatto operativo di SecuDroneComm: valutazione basata sulla simulazione delle comunicazioni sicure degli UAV in ambienti militari", *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, pp. 11–18, ISSN 2683-5770.

37. Mustafovski, Rexhep e Petrovski, Aleksandar., "Integrazione delle tecnologie quantistiche nei sistemi militari mobili e nei quadri TOC", *Land Forces Academy Review*, 30 (3), 2025, pp. 466–478, ISSN 3100-5063 (versione cartacea), 3100-5071 (versione online).
38. Mustafovski, Rexhep., "Confronto tra le tecnologie di sensori all'avanguardia nell'Industria 4.0, nell'Industria 5.0 e nelle tecnologie di monitoraggio a basso costo", *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, online, 2025, pp. 1–14, ISSN 3009-3309.
39. Mustafovski, Rexhep., "Simulazione di sicurezza e velocità: una valutazione comparativa della piattaforma MobileSecureComm rispetto ai sistemi di comunicazione tattica tradizionali", *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 3 (1), 2025, pp. 147–157, ISSN 3009-3309.
40. Mustafovski, Rexhep., "L'uso delle piattaforme di comunicazione nelle operazioni militari: migliorare l'efficacia strategica e tattica," *Database Systems Journal*, 16 (1), 2025, pp. 1–10, ISSN 2069-3230.
41. Mustafovski, Rexhep., "Confronto all'avanguardia tra MobileSecureComm e le moderne piattaforme di comunicazione sicura per le operazioni tattiche," *Balkan Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 8 (1), 2025, pp. 87–98, ISSN 2545-4803.
42. Mustafovski, Rexhep., "Integrazione della visione artificiale con l'algoritmo YOLOv8 per il PID: un'analisi dello stato dell'arte," *Contemporary Macedonian Defence*, 48 (1), 2025, pp. 83–94, ISSN 1409-8199.
43. Mustafovski, Rexhep, Petrovski, Aleksandar e Radovanović, Marko., "Cambiamenti climatici e loro impatto sull'area di addestramento militare di Krivolak nel XXI secolo: sfide, adattamento e ruolo delle tecnologie militari intelligenti", *Serbian Journal of Engineering Management*, 10 (2), 2025, pp. 12–18, ISSN 3042-0474.
44. Mustafovski, Rexhep., "Advancing SecuDroneComm: A Comparative State-of-the-Art Analysis with Modern ICT Platforms for Secure Communication," *Serbian Journal of Engineering Management*, 10 (2), 2025, pp. 61–70, ISSN 2466-4693.
45. Mustafovski, Rexhep., "Formula-Based Architectural Framework of the SecuDroneComm Platform for Unmanned Aerial Vehicle Communications," *Management Science Advances*, 2 (1), 2025, pp. 288–303, ISSN 3042-2205.
46. Mustafovski, Rexhep., "Sistema di comando per l'assistenza e la risposta tempestiva alle minacce biologiche (BEAR-CS)," *Automation of Technological and Business Processes*, 17 (1), 2025, ISSN 2312-3125 (versione cartacea), 2312-931X (versione online).

47. Mustafovski, Rexhep., "Scheda di sviluppo digitale per il rilevamento di oggetti a corto raggio con tecnica di occultamento dei dati steganografica," *Journal of Electrical Engineering and Information Technologies*, 9 (1), 2024, pp. 63–70, ISSN 2545-4269.
48. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., e Radovanović, Radovanović., "Sistema intelligente di gestione dei rifiuti (IWMS): smistamento basato sul deep learning con integrazione di sensori di riempimento dei contenitori," in *Protezione ambientale e rischi di catastrofi (EnviroRisks 2024)*, 1ª edizione, Springer, Cham, Svizzera, 2024, pp. 188–193, ISBN 978-3-031-74707-6.
49. Glavinov, Aleksandar., Doneva, Blagica., e Mustafovski, Rexhep., "Applicazione dell'intelligenza artificiale alle infrastrutture stradali", in *Terzo Congresso macedone sulle strade*, 6–7 novembre 2025, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
50. Glavinov, Aleksandar., Sofronievska, Maja., e Mustafovski, Rexhep., "Strade intelligenti per interventi di emergenza e soccorso", in *Terzo Congresso macedone sulle strade*, 6–7 novembre 2025, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
51. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., "Progressi nei sensori digitali industriali (dalla versione 3.0 alla 4.0) e nei sistemi radar per il rilevamento di oggetti: una rassegna dello stato dell'arte", in *Terza Conferenza Internazionale ETIMA 2025*, 24–25 settembre 2025, Štip, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
52. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., "Sfide e soluzioni per migliorare le prestazioni di comunicazione tra droni e TOC nelle operazioni militari e di crisi", in *Terza Conferenza Internazionale ETIMA 2025*, 24–25 settembre 2025, Štip, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
53. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., "Progettazione di un quadro di comunicazione sicuro per le operazioni UAV-TOC in contesti militari e di emergenza", in *Terza Conferenza Internazionale ETIMA 2025*, 24–25 settembre 2025, Štip, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
54. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., e Shuminoski, Tomislav., "Analisi delle prestazioni basata su simulazione di un quadro di comunicazione sicuro da UAV a TOC nelle operazioni militari e di emergenza", in *Terza Conferenza Internazionale ETIMA 2025*, 24–25 settembre 2025, Štip, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
55. Petrovski, Aleksandar., Mijalkovski, Stojance., e Mustafovski, Rexhep., "Applicazione di biosensori con localizzatori GPS per il monitoraggio della salute dei minatori nelle miniere sotterranee: un quadro completo per una maggiore sicurezza ed efficienza operativa", in *XVI Consultazione*

- professionale con partecipazione internazionale: Tecnologia dello sfruttamento sotterraneo e di superficie delle risorse minerarie (Podex–Povex '25), 3–5 ottobre 2025, Ohrid, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.*
56. Mustafovski, Rexhep, Risteski, Aleksandar e Shuminoski, Tomislav, "MobileSecureComm: una piattaforma di comunicazione tattica di nuova generazione per operazioni terrestri, marittime e aeree", in *32<sup>a</sup> Conferenza internazionale IEEE su sistemi, segnali ed elaborazione delle immagini (IWSSIP 2025)*, 24–26 giugno 2025, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
  57. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., Radovanović, Marko., e Jokić, Željko., "Applicazione di piattaforme modulari terrestri nella modernizzazione dei poligoni di tiro – Supporti intelligenti per bersagli", in *16<sup>a</sup> Conferenza Internazionale DQM sull'Ingegneria e la Gestione del Ciclo di Vita (ICDQM 2025)*, 26–27 giugno 2025, Prijevor, Repubblica di Serbia, 2025.
  58. Mustafovski, Rexhep., "Le vulnerabilità di sicurezza e le sfide delle tecnologie IoT", in *Conferenza studentesca sull'efficienza energetica e lo sviluppo sostenibile (SCEESD)*, 29 ottobre – 1 novembre 2024, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2025.
  59. Mustafovski, Rexhep., "L'importanza dell'uso dei dispositivi intelligenti", in *Conferenza studentesca sull'efficienza energetica e lo sviluppo sostenibile*, 26–29 ottobre 2022, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2023.
  60. Mustafovski, Rexhep., "Sistema integrato di controllo e monitoraggio (ICMS) che utilizza schede elettroniche digitali per il monitoraggio e il rilevamento di oggetti a breve distanza", in *Conferenza internazionale ACCHE – Conferenza annuale sulle sfide dell'istruzione superiore contemporanea*, 3–7 febbraio 2025, Kopaonik, Repubblica di Serbia, 2025.
  61. Mustafovski, Rexhep., "Confronto all'avanguardia della piattaforma SecuDroneComm con i sistemi di comunicazione sicuri per droni esistenti", in *Conferenza internazionale ACCHE – Conferenza annuale sulle sfide dell'istruzione superiore contemporanea*, 3–7 febbraio 2025, Kopaonik, Repubblica di Serbia, 2025.
  62. Mustafovski, Rexhep., "Ricerca e analisi all'avanguardia sui riflettori radar attivi e passivi e sui sistemi radar a ultrasuoni", in *Conferenza internazionale ACCHE – Conferenza annuale sulle sfide dell'istruzione superiore contemporanea*, 3–7 febbraio 2025, Kopaonik, Repubblica di Serbia, 2025.
  63. Mustafovski, Rexhep., e Petrovski, Aleksandar., "Analisi dell'uso dei moderni sistemi di guida del fuoco e della loro implementazione nelle unità di fanteria", in *11<sup>a</sup> Conferenza scientifica internazionale sulle tecnologie difensive (OTEX 2024)*, 9–11 novembre 2024, Tara, Repubblica di Serbia, 2024.

64. Mustafovski, Rexhep., "Aspetti etici nella realizzazione di un sistema radar di rilevamento di oggetti a corto raggio con Arduino Mega 2560", in *XVI Conferenza Internazionale ETAI 2024*, 21–23 settembre 2024, Struga, Repubblica di Macedonia del Nord, 2024.
65. Mustafovski, Rexhep., "L'uso di una scheda di sviluppo digitale per lo sviluppo di un sistema radar a ultrasuoni per il rilevamento a breve distanza in una configurazione a 360 gradi", in *XVI Conferenza Internazionale ETAI 2024*, 21–23 settembre 2024, Struga, Repubblica di Macedonia del Nord, 2024.
66. Mustafovski, Rexhep., "Garantire la sicurezza delle informazioni nell'era digitale", in *Seconda Conferenza Internazionale ETIMA 2023*, 27–29 settembre 2023, Štip, Repubblica di Macedonia del Nord, 2024.
67. Mustafovski, Rexhep., Achkoski, Jugoslav., e Petrovski, Aleksandar., "Aumento dell'influenza dei servizi di social networking nelle interazioni sociali quotidiane durante la pandemia", in *CMiGIN 2022: 2a Conferenza Internazionale sulla Gestione dei Conflitti nelle Reti Informatiche Globali*, 30 novembre 2022, Kiev, Ucraina, 2022.
68. Mustafovski, Rexhep., "Strategie di apprendimento e consapevolezza metacognitiva", in *2a Conferenza scientifica internazionale MILCON'19: Accademia militare "Gen. Mihailo Apostolski"*, 12 novembre 2019, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2019.
69. Mustafovski, Rexhep., "Ambiente di apprendimento digitale di nuova generazione (NGDLE)", in *2a Conferenza scientifica internazionale MILCON'19: Accademia militare "Gen. Mihailo Apostolski"*, 12 novembre 2019, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2019.
70. Mustafovski, Rexhep., "Uso dell'analisi dei bisogni formativi per il miglioramento delle competenze di addestramento dei cadetti," in *2a Conferenza Scientifica Internazionale MILCON'19: Accademia Militare "Gen. Mihailo Apostolski"*, 12 novembre 2019, Skopje, Repubblica di Macedonia del Nord, 2019.
71. Dang, S., Amin, O., Shihada, B. e Alouini, M.S., "What Should 6G Be?", *Nature Electronics*, 3, 2020, pp. 20–29.
72. David, K. e Berndt, H., "6G Vision and Requirements: Is There Any Need for Beyond 5G?", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 13, 2018, pp. 72–80.
73. Yastrebova, A., Kirichek, R., Koucheryavy, Y., Borodin, A. e Koucheryavy, A., "Reti del futuro 2030: architettura e requisiti", in *10° Congresso internazionale sui sistemi di telecomunicazione e controllo ultramoderni e workshop (ICUMT) 2018*, Mosca, Russia, 5–9 novembre 2018, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, pp. 1–8.

74. Andrews, J.G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S.V., Lozano, A., Soong, A.C. e Zhang, J.C., "What Will 5G Be?", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32, 2014, pp. 1065–1082.
75. Patzold, M., "Il 5G è alle porte", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 4–10.
76. Rommel, S., Raddo, T.R. e Monroy, I.T., "Data Center Connectivity by 6G Wireless Systems," in *Photonics in Switching and Computing (PSC)*, Limassol, Cipro, 19–21 settembre 2018, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, pp. 1–3.
77. Kabir, H.D., Khosravi, A., Mondal, S.K., Rahman, M., Nahavandi, S. e Buyya, R., "Decisioni consapevoli dell'incertezza nel cloud computing: fondamenti e direzioni future", *ACM Computing Surveys*, 54, 2021, pp. 1–30.
78. Mondal, S.K., Wu, X., Kabir, H.M.D., Dai, H.N., Ni, K., Yuan, H. e Wang, T., "Verso una previsione ottimale del carico e uno schema di autoscaling personalizzabile per Kubernetes", *Mathematics*, 11, 2023, 2675.
79. Fang, C., Yao, H., Wang, Z., Wu, W., Jin, X. e Yu, F.R., "Una rassegna delle reti mobili incentrate sulle informazioni: questioni di ricerca e sfide", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2353–2371.
80. Tataria, H., Shafi, M., Molisch, A.F., Dohler, M., Sjöland, H. e Tufvesson, F., "Sistemi wireless 6G: visione, requisiti, sfide, approfondimenti e opportunità", *Proceedings of the IEEE*, 109, 2021, pp. 1166–1199.
81. Kabir, H.D., Abdar, M., Khosravi, A., Jalali, S.M.J., Atiya, A.F., Nahavandi, S. e Srinivasan, D., "SpinalNet: rete neurale profonda con input graduale", *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, 4, 2022, pp. 1165–1177.
82. Kabir, H.D., Khanam, S., Khozeimeh, F., Khosravi, A., Mondal, S.K., Nahavandi, S. e Acharya, U.R., "Quantificazione dell'incertezza profonda sensibile all'aleatorietà per l'apprendimento per trasferimento", *Computers in Biology and Medicine*, 143, 2022, 105246.
83. Cashmore, M., Collins, A., Krarup, B., Krivic, S., Magazzeni, D. e Smith, D., "Verso una pianificazione AI spiegabile come servizio", arXiv, 2019, arXiv:1908.05059.
84. Kabir, H., "Riduzione dell'incertezza di attivazione delle classi con informazioni di contesto", arXiv, 2023, arXiv:2305.03238.
85. Chen, L., Chen, L., Jordan, S., Liu, Y.K., Moody, D., Peralta, R., Perlner, R.A. e Smith-Tone, D., *Report on Post-Quantum Cryptography*, Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti, Istituto Nazionale di Standard e Tecnologia, Washington, DC, USA, 2016.

86. Van Huynh, N., Hoang, D.T., Lu, X., Niyato, D., Wang, P. e Kim, D.I., "Ambient Backscatter Communications: A Contemporary Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2889–2922.
87. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Alam, S.B. e Acharya, U.R., "Transfer Learning with Spinally Shared Layers," *Applied Soft Computing*, 163, 2024, 111908.
88. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Khanam, S., Khosravi, A., Rahman, S., Qazani, M.R.C., Alizadehsani, R., Asadi, H., Mohamed, S. e Nahavandi, S., " " "Uncertainty Aware Neural Network from Similarity and Sensitivity," *Applied Soft Computing*, 149, 2023, 111027.
89. Mao, Q., Hu, F. e Hao, Q., "Deep Learning for Intelligent Wireless Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2595–2621.
90. Elayan, H., Amin, O., Shihada, B., Shubair, R.M. e Alouini, M.S., "Banda terahertz: l'ultimo tassello del puzzle dello spettro RF per i sistemi di comunicazione", *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2019, pp. 1–32.
91. ITU-R., *Requisiti minimi relativi alle prestazioni tecniche per le interfacce radio IMT-2020*, Rapporto 2410-2017, 2017.
92. Boulogeorgos, A.A.A., Alexiou, A., Merkle, T., Schubert, C., Elschner, R., Katsiotis, A., Stavrianos, P., Kritharidis, D., Chartsias, P.K. e Kokkoniemi, J., "Tecnologie terahertz per fornire una qualità dell'esperienza di rete ottica nei sistemi wireless oltre il 5G", *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 144–151.
93. Wang, C.X., You, X., Gao, X., Zhu, X., Li, Z., Zhang, C., Wang, H., Huang, Y., Chen, Y. e Haas, H., "On the Road to 6G: Visions, Requirements, Key Technologies and Testbeds," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2023, pp. 905–974.
94. Jiang, W., Han, B., Habibi, M.A. e Schotten, H.D., "The Road Towards 6G: A Comprehensive Survey," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2021, pp. 334–366.
95. Nasrallah, A., Thyagaturu, A.S., Alharbi, Z., Wang, C., Shao, X., Reisslein, M. e ElBakoury, H., "Reti a bassissima latenza: gli standard IEEE TSN e IETF DetNet e la relativa ricerca sul 5G ULL", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, pp. 88–145.
96. Zhong, M., Yang, Y., Yao, H., Fu, X., Dobre, O.A. e Postolache, O., "5G e IoT: Verso una nuova era delle comunicazioni e delle misurazioni", *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 22, 2019, pp. 18–26.
97. Barneto, C.B., Turunen, M., Liyanaarachchi, S.D., Anttila, L., Brihuega, A., Riihonen, T. e Valkama, M., "Rilevamento radio ad alta precisione nelle reti

- 5G New Radio: prospettive e sfida dell'autointerferenza", in *53<sup>a</sup> Conferenza Asilomar 2019 su segnali, sistemi e computer*, Pacific Grove, CA, USA, 3–6 novembre 2019, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2019, pp. 1159–1163.
98. 6G Flagship., *Fattori chiave e sfide di ricerca per l'intelligenza wireless ubiquitaria 6G*, Libro bianco, 2019.
99. NTT Docomo Inc., *5G Evolution and 6G*, Libro bianco, 2020.
100. Gui, G., Liu, M., Tang, F., Kato, N. e Adachi, F., "6G: Opening New Horizons for Integration of Comfort, Security, and Intelligence," *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 126–132.
101. You, X., Wang, C.X., Huang, J., Gao, X., Zhang, Z., Wang, M., Huang, Y., Zhang, C., Jiang, Y. e Wang, J., "Verso le reti di comunicazione wireless 6G: visione, tecnologie abilitanti e nuovi cambiamenti di paradigma", *Science China Information Sciences*, 64, 2021, pp. 1–74.
102. Bhat, J.R. e Alqahtani, S.A., "Ecosistema 6G: stato attuale e prospettive future", *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 43134–43167.
103. Alablani, I.A., e Arafah, M.A., "Uno schema di selezione delle celle adattivo per reti 5G eterogenee ultra-dense", *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 64224–64240.
104. Sun, W., Wang, L., Liu, J., Kato, N. e Zhang, Y., "Handover CoMP sensibile al movimento in reti eterogenee ultra-dense", *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, pp. 340–352.
105. Sharma, S.K. e Wang, X., "Verso comunicazioni di tipo macchina su larga scala in reti IoT cellulari ultra-dense: problematiche attuali e soluzioni assistite dal machine learning", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, pp. 426–471.
106. Wu, W., "Panoramica sullo sviluppo della rete di informazioni spaziali integrate a terra", *Space-Integrated-Ground Information Network*, 1, 2020, pp. 1–16.
107. Akyildiz, I.F., Kak, A. e Nie, S., "6G e oltre: il futuro dei sistemi di comunicazione wireless", *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 133995–134030.
108. Samsung Research., *6G: La prossima esperienza iperconnessa per tutti*, Samsung, Suwon-si, Repubblica di Corea, 2020.
109. Lu, Y. e Zheng, X., "6G: A Survey on Technologies, Scenarios, Challenges, and Related Issues," *Journal of Industrial Information Integration*, 19, 2020, 100158.
110. Wang, C., Yu, H., Li, X., Ma, F., Wang, X., Taleb, T. e Leung, V.C., "Implementazione di microservizi sensibili alle dipendenze per l'edge computing: un approccio di apprendimento rinforzato profondo con

- rappresentazione di rete", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 23, 2024, pp. 14737–14753.
111. Wang, C., Jia, B., Yu, H., Chen, L., Cheng, K. e Wang, X., "Apprendimento federato assistito dall'attenzione per l'allocazione collaborativa dei compiti sensibile alle dipendenze in scenari di rete intelligente assistita dall'edge", in *2022 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, Foshan, Cina, 11–13 agosto 2022, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2022, pp. 856–861.
  112. Wang, X., Kong, L., Kong, F., Qiu, F., Xia, M., Arnon, S. e Chen, G., "Millimeter Wave Communication: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 1616–1653.
  113. Ippolito, L.J., "Propagazione radio per sistemi di comunicazione spaziale", *Atti dell'IEEE*, 69, 1981, pp. 697–727.
  114. Ajorloo, H. e Manzuri-Shalmani, M.T., "Modeling Beacon Period Length of the UWB and 60-GHz mmWave WPANs Based on ECMA-368 and ECMA-387 Standards," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 12, 2012, pp. 1201–1213.
  115. Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A.B., Knightly, E.W., Perahia, E. e Widmer, J.C., "IEEE 802.11ad: comunicazione direzionale a 60 GHz per Wi-Fi multi-gigabit al secondo", *IEEE Communications Magazine*, 52, 2014, pp. 132–141.
  116. Han, B., Wang, L. e Schotten, H.D., «A 3D Human Body Blockage Model for Outdoor Millimeter-Wave Cellular Communication», *Physical Communication*, 25, 2017, pp. 502–510.
  117. Al-Samman, A.M., Azmi, M.H. e Rahman, T.A., "Una rassegna delle comunicazioni a onde millimetriche per il 5G: misurazione del canale al di sotto e al di sopra dei 6 GHz", in *Recent Trends in Data Science and Soft Computing, Atti della 3a Conferenza internazionale sulle tecnologie affidabili dell'informazione e della comunicazione (IRICT 2018)*, Kuala Lumpur, Malesia, 23–24 giugno 2018, Springer, Berlino/Heidelberg, Germania, 2019, pp. 451–463.
  118. Huq, K.M.S., Busari, S.A., Rodriguez, J., Frascolla, V., Bazzi, W. e Sicker, D.C., "Sistema wireless abilitato ai terahertz per reti ultraveloci oltre il 5G: una breve rassegna", *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 89–95.
  119. Rappaport, T.S., Xing, Y., Kanhere, O., Ju, S., Madanayake, A., Mandal, S., Alkhateeb, A. e Trichopoulos, G.C., "Comunicazioni wireless e applicazioni oltre i 100 GHz: opportunità e sfide per il 6G e oltre", *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 78729–78757.

120. Kabir, H.M.D., "Un moltiplicatore di frequenza che utilizza tre transistor ambipolari in grafene", *Microelectronics Journal*, 70, 2017, pp. 12–15.
121. Chen, Z., Ma, X., Zhang, B., Zhang, Y., Niu, Z., Kuang, N., Chen, W., Li, L. e Li, S., "Una rassegna sulle comunicazioni terahertz", *China Communications*, 16, 2019, pp. 1–35.
122. Sareddeen, N.S.H., Al-Naffouri, T.Y. e Alouini, M.S., "Comunicazioni terahertz di prossima generazione: un incontro tra rilevamento, imaging e localizzazione", *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 69–75.
123. Zhang, J., Zhu, M., Hua, B., Lei, M., Cai, Y., Zou, Y., Tian, L., Li, A., Huang, Y. e Yu, J., "Dimostrazione in tempo reale a 100 GbE orientata al 6G di una comunicazione senza soluzione di continuità da fibra-THz-fibra ( ) abilitata dalla fotonica", in *2022 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)*, San Diego, CA, USA, 6–10 marzo 2022, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2022, pp. 1–3.
124. Bariah, L., Mohjazi, L., Muhaidat, S., Sofotasios, P.C., Kurt, G.K., Yanikomeroglu, H., e Dobre, O.A., "Uno sguardo prospettico: tecnologie abilitanti chiave, applicazioni e argomenti di ricerca aperti nelle reti 6G," *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 174792–174820.
125. Giordani, M., Polese, M., Mezzavilla, M., Rangan, S. e Zorzi, M., "Verso le reti 6G: casi d'uso e tecnologie", *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 55–61.
126. Tavakkolnia, I., Jagadamma, L.K., Bian, R., Manousiadis, P.P., Videv, S., Turnbull, G.A., Samuel, I.D. e Haas, H., "Fotovoltaico organico per la raccolta simultanea di energia e comunicazioni wireless ottiche MIMO ad alta velocità", *Light: Science & Applications*, 10, 2021, 41.
127. Xu, W., Zhang, J., Kim, J.Y., Huang, W., Kanhere, S.S., Jha, S.K. e Hu, W., "Progettazione, implementazione e distribuzione di un sistema di illuminazione intelligente per edifici intelligenti", *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, pp. 7266–7281.
128. Perera, A., Katz, M., Godaliyadda, R., Häkkinen, J. e Strömmer, E., "Internet delle cose basato sulla luce: implementazione di un nodo autonomo dal punto di vista energetico e connesso otticamente", in *2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Nanchino, Cina, 29 marzo–1 aprile 2021, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2021, pp. 1–7.
129. Padhi, S. e Subramanyam, R., "Algoritmi basati sul livello di incertezza tramite la gestione dell'energia rinnovabile per data center geograficamente distribuiti", *Cluster Computing*, 27, 2024, pp. 5337–5354.
130. He, X., Xie, E., Islim, M.S., Purwita, A.A., McKendry, J.J., Gu, E., Haas, H., e Dawson, M.D., "Comunicazioni a 1 Gbps in spazio libero

- nell'ultravioletto profondo basate su micro-LED al nitruro di III emettenti a 262 nm", *Photonics Research*, 7, 2019, pp. B41–B47.
131. Soltani, M.D., Sarbazi, E., Bamiedakis, N., De Souza, P., Kazemi, H., Elmoghani, J.M., White, I.H., Penty, R.V., Haas, H. e Safari, M., "Analisi di sicurezza per le comunicazioni wireless ottiche basate su laser: un tutorial", *Proceedings of the IEEE*, 110, 2022, pp. 1045–1072.
  132. Hamza, A.S., Deogun, J.S. e Alexander, D.R., "Classification Framework for Free Space Optical Communication Links and Systems," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, pp. 1346–1382.
  133. Kazemi, H., Sarbazi, E., Soltani, M.D., Safari, M. e Haas, H., "Un sistema di backhaul ottico wireless per interni a Tb/s che utilizza array VCSEL", in *31° Simposio internazionale annuale IEEE 2020 sulle comunicazioni radio personali, per interni e mobili (PIMRC)*, Londra, Regno Unito, 31 agosto–3 settembre 2020, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2020, pp. 1–6.
  134. Yoshida, K., Manousiadis, P.P., Bian, R., Chen, Z., Murawski, C., Gather, M.C., Haas, H., Turnbull, G.A., e Samuel, I.D., "Diodi organici a emissione di luce con larghezza di banda di 245 MHz utilizzati in un collegamento dati ottico wireless gigabit", *Nature Communications*, 11, 2020, 1171.
  135. Matthews, W., Ahmed, Z., Ali, W. e Collins, S., "Un ricevitore VLC OOK basato su SiPM a 3,45 Gigabit/s", *IEEE Photonics Technology Letters*, 33, 2021, pp. 487–490.
  136. Soltani, M.D., Purwita, A.A., Zeng, Z., Haas, H. e Safari, M., "Modellizzazione dell'orientamento casuale dei dispositivi mobili: misurazione, analisi e caso d'uso LiFi", *IEEE Transactions on Communications*, 67, 2018, pp. 2157–2172.
  137. Arfaoui, M.A., Soltani, M.D., Tavakkolnia, I., Ghayeb, A., Assi, C.M., Safari, M. e Haas, H., "Modelli di canale basati su misurazioni per sistemi LiFi indoor", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2020, pp. 827–842.
  138. Yesilkaya, A., Bian, R., Tavakkolnia, I. e Haas, H., "Modulazione spaziale ottica basata su OFDM", *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, pp. 1433–1444.
  139. Eroglu, Y.S., Anjinappa, C.K., Guvenc, I. e Pala, N., "Slow Beam Steering and NOMA for Indoor Multi-User Visible Light Communications," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 20, 2019, pp. 1627–1641.
  140. Su, N., Panayirci, E., Koca, M., Yesilkaya, A., Poor, H.V. e Haas, H., "Sicurezza del livello fisico per sistemi di comunicazione a luce visibile MIMO multiutente con modulazione spaziale generalizzata", *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 2585–2598.
  141. Chowdhury, M.Z., Hossan, M.T., Islam, A. e Jang, Y.M., "Una rassegna comparativa delle tecnologie ottiche wireless: architetture e applicazioni", *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 9819–9840.

142. Al-Kinani, A., Wang, C.X., Zhou, L. e Zhang, W., "Misurazioni e modelli dei canali di comunicazione wireless ottica", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 1939–1962.
143. Marcus, M., Burtle, J., Franca, B., Lahjouji, A. e McNeil, N., *Task Force sulle politiche dello spettro della Commissione Federale delle Comunicazioni: Relazione del Gruppo di lavoro sui dispositivi senza licenza e sulle licenze sperimentali*, Commissione Federale delle Comunicazioni, Washington, DC, USA, 2002.
144. Kliks, A., Kulacz, L., Kryszkiewicz, P., Bogucka, H., Dryjanski, M., Isaksson, M., Koudouridis, G.P. e Tengkvist, P., "Beyond 5G: Big Data Processing for Better Spectrum Utilization," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 15, 2020, pp. 40–50.
145. Liang, Y.C., Zhang, Q., Larsson, E.G. e Li, G.Y., "Symbiotic Radio: Cognitive Backscattering Communications for Future Wireless Networks," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 1242–1255.
146. Bhattarai, S., Park, J.M.J., Gao, B., Bian, K. e Lehr, W., "Una panoramica sulla condivisione dinamica dello spettro: iniziative in corso, sfide e una roadmap per la ricerca futura", *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 2, 2016, pp. 110–128.
147. Wang, B. e Liu, K.R., "Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 5, 2010, pp. 5–23.
148. Mitola, J., "Radio cognitiva per comunicazioni multimediali mobili flessibili," in *1999 IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99)*, San Diego, CA, USA, 15–17 novembre 1999, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 1999, pp. 3–10.
149. Haykin, S., "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23, 2005, pp. 201–220.
150. Zhang, K., Leng, S., Peng, X., Pan, L., Maharjan, S. e Zhang, Y., "Artificial Intelligence Inspired Transmission Scheduling in Cognitive Vehicular Communications and Networks," *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2018, pp. 1987–1997.
151. Zhang, Q., Zhang, L., Liang, Y.C. e Kam, P.Y., "Backscatter-NOMA: un sistema simbiotico di reti cellulari e Internet delle cose", *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 20000–20013.
152. Long, R., Liang, Y.C., Guo, H., Yang, G. e Zhang, R., "Symbiotic Radio: A New Communication Paradigm for Passive Internet of Things," *IEEE Internet of Things Journal*, 7, 2019, pp. 1350–1363.
153. Sharma, S.K., Bogale, T.E., Le, L.B., Chatzinotas, S., Wang, X., e Ottersten, B., "Condivisione dinamica dello spettro nelle reti wireless 5G con tecnologia full-duplex: recenti progressi e sfide di ricerca", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2017, pp. 674–707.

154. Naparstek, O. e Cohen, K., "Apprendimento rinforzato multiutente profondo per l'accesso dinamico distribuito allo spettro", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 310–323.
155. Jacob, S., Menon, V.G., Joseph, S., Vinoj, P., Jolfaei, A., Lukose, J. e Raja, G., "Un nuovo schema di condivisione dello spettro che utilizza la memoria dinamica a breve e lungo termine con CP-OFDMA nelle reti 5G", *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 926–934.
156. Hu, S., Liang, Y.C., Xiong, Z. e Niyato, D., "Blockchain e intelligenza artificiale per la condivisione dinamica delle risorse nel 6G e oltre", *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, pp. 145–151.
157. Wei, Z., Yuan, W., Li, S., Yuan, J., Bharatula, G., Hadani, R. e Hanzo, L., "Modulazione ortogonale spazio-tempo-frequenza: una forma d'onda promettente di prossima generazione", *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, pp. 136–144.
158. Darwazeh, I., Ghannam, H. e Xu, T., "I primi 15 anni di SEFDM: una breve rassegna", in *11° Simposio internazionale sui sistemi di comunicazione, le reti e l'elaborazione dei segnali digitali (CSNDSP) 2018*, Budapest, Ungheria, 18–20 luglio 2018, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, pp. 1–7.
159. Li, D., "Principio di multiplexing sovrapposto e capacità migliorata su canale con rumore bianco gaussiano additivo", *IEEE Access*, 6, 2017, pp. 6840–6848.
160. Liu, F., Masouros, C., Petropulu, A.P., Griffiths, H. e Hanzo, L., "Progettazione congiunta di radar e comunicazioni: applicazioni, stato dell'arte e prospettive future", *IEEE Transactions on Communications*, 68, 2020, pp. 3834–3862.
161. Basar, E., Wen, M., Mesleh, R., Di Renzo, M., Xiao, Y. e Haas, H., "Tecniche di modulazione dell'indice per le reti wireless di prossima generazione", *IEEE Access*, 5, 2017, pp. 16693–16746.
162. Costello, D.J. e Forney, G.D., "Codifica di canale: la strada verso la capacità di canale", *Atti dell'IEEE*, 95, 2007, pp. 1150–1177.
163. Gallager, R., "Codici a bassa densità con controllo di parità", *IRE Transactions on Information Theory*, 8, 1962, pp. 21–28.
164. Berrou, C., Glavieux, A. e Thitimajshima, P., "Codifica e decodifica con correzione di errori vicina al limite di Shannon: codici Turbo", in *ICC '93 IEEE International Conference on Communications*, Ginevra, Svizzera, 23–26 maggio 1993, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 1993, Vol. 2, pp. 1064–1070.
165. Arikan, E., "Polarizzazione del canale: un metodo per la costruzione di codici che raggiungono la capacità per canali simmetrici a ingresso binario senza memoria", *IEEE Transactions on Information Theory*, 55, 2009, pp. 3051–3073.
166. Shao, S., Hailes, P., Wang, T.Y., Wu, J.Y., Maunder, R.G., Al-Hashimi, B.M. e Hanzo, L., "Panoramica delle implementazioni ASIC dei decodificatori

- Turbo, LDPC e Polar", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2019, pp. 2309–2333.
167. Kschischang, F.R., Frey, B.J. e Loeliger, H.A., "Grafici fattoriali e algoritmo somma-prodotto", *IEEE Transactions on Information Theory*, 47, 2001, pp. 498–519.
  168. Ren, Y., Kristensen, A.T., Shen, Y., Balatsoukas-Stimming, A., Zhang, C. e Burg, A., "Un decodificatore a lista di cancellazione successiva basato su nodi di ripetizione di sequenze per codici polari 5G: algoritmo e implementazione", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 70, 2022, pp. 5592–5607.
  169. Cao, S., Lin, T., Zhang, S., Xu, S. e Zhang, C., "Un'architettura riconfigurabile e in pipeline per la decodifica LDPC e polare compatibile con gli standard", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, pp. 5431–5444.
  170. Condo, C., Martina, M. e Masera, G., "Implementazione VLSI di un'architettura di decodificatore Turbo/LDPC multimodale", *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 60, 2012, pp. 1441–1454.
  171. Fossorier, M.P. e Lin, S., "Decodifica a decisione morbida di codici a blocchi lineari basata su statistiche ordinate", *IEEE Transactions on Information Theory*, 41, 1995, pp. 1379–1396.
  172. Duffy, K.R., Li, J. e Médard, M., "Decodifica con rumore additivo casuale e ipotesi per il raggiungimento della capacità", *IEEE Transactions on Information Theory*, 65, 2019, pp. 4023–4040.
  173. Arikan, E., "Dalla decodifica sequenziale alla polarizzazione del canale e viceversa", arXiv, 2019, arXiv:1908.09594.
  174. You, X., Zhang, C., Sheng, B., Huang, Y., Ji, C., Shen, Y., Zhou, W. e Liu, J., "Codifica spazio-temporale bidimensionale del canale per una trasmissione MIMO affidabile a bassissima latenza", in *2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Rio de Janeiro, Brasile, 4–8 dicembre 2022, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2022, pp. 473–479.
  175. Saito, Y., Kishiyama, Y., Benjebbour, A., Nakamura, T., Li, A., e Higuchi, K., "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access," in *2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Dresda, Germania, 2–5 giugno 2013, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2013, pp. 1–5.
  176. Chen, Y., Bayesteh, A., Wu, Y., Ren, B., Kang, S., Sun, S., Xiong, Q., Qian, C., Yu, B. e Ding, Z., "Verso la standardizzazione dell'accesso multiplo non ortogonale per le reti wireless di prossima generazione", *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 19–27.
  177. Makki, B., Chitti, K., Behravan, A. e Alouini, M.S., "Una rassegna su NOMA: stato attuale e sfide di ricerca aperte", *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 179–189.

178. Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G.K., Schober, R., Yuan, J. e Bhargava, V.K., "Una rassegna sull'accesso multiplo non ortogonale per le reti 5G: sfide di ricerca e tendenze future", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35, 2017, pp. 2181–2195.
179. Zeng, M., Nguyen, N.P., Dobre, O.A. e Poor, H.V., "Protezione delle reti Massive MIMO-NOMA in downlink con rumore artificiale", *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, pp. 685–699.
180. Liu, X., Liu, Y., Chen, Y. e Poor, H.V., "Reti Massive Non-Orthogonal Multiple Access potenziate da RIS: implementazione e progettazione del beamforming passivo", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39, 2020, pp. 1057–1071.
181. Li, X., Zhao, M., Zeng, M., Mumtaz, S., Menon, V.G., Ding, Z. e Dobre, O.A., "Sistemi NOMA a retrodiffusione ambientale con limitazioni hardware: affidabilità e sicurezza", *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 2723–2736.
182. Marzetta, T.L., "Wireless cellulare non cooperativo con numero illimitato di antenne di stazione base," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9, 2010, pp. 3590–3600.
183. Wang, B., Gao, F., Jin, S., Lin, H. e Li, G.Y., "Effetti spaziali e di banda larga in frequenza nei sistemi Massive MIMO a onde millimetriche", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66, 2018, pp. 3393–3406.
184. Yu, X., Shen, J.C., Zhang, J. e Letaief, K.B., "Algoritmi di minimizzazione alternata per la precodifica ibrida nei sistemi MIMO a onde millimetriche", *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 10, 2016, pp. 485–500.
185. Myers, N.J. e Heath, R.W., "InFocus: una tecnica di codifica spaziale per mitigare la sfocatura nel beamforming LoS in campo vicino", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, pp. 2193–2209.
186. Wei, X., e Dai, L., "Stima del canale per Massive MIMO su scala estremamente ampia: campo lontano, campo vicino o campo ibrido?", *IEEE Communications Letters*, 26, 2021, pp. 177–181.
187. Huang, J., Wang, C.X., Chang, H., Sun, J. e Gao, X., "Misurazioni e modellizzazione del canale MIMO a onde millimetriche multifrequenza e multiszenario per sistemi di comunicazione wireless B5G", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 2010–2025.
188. He, Z.Q. e Yuan, X., "Stima del canale in cascata per Massive MIMO assistito da metasuperfici intelligenti di grandi dimensioni", *IEEE Wireless Communications Letters*, 9, 2019, pp. 210–214.
189. Jamali, V., Tulino, A.M., Fischer, G., Müller, R.R. e Schober, R., "Architetture di trasmettitori assistiti da superfici intelligenti per sistemi Ultra Massive MIMO a onde millimetriche", *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2020, pp. 144–167.
190. Wang, Y., Chen, X., Cai, Y. e Hanzo, L., "Sistemi Massive MIMO ibridi assistiti da RIS basati su ADC a risoluzione adattiva: progettazione robusta del

- beamforming e allocazione delle risorse", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 2021, pp. 3281–3286.
191. Zhang, J., Chen, S., Lin, Y., Zheng, J., Ai, B. e Hanzo, L., "Massive MIMO senza celle: un nuovo paradigma di prossima generazione", *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 99878–99888.
  192. Ammar, H.A., Adve, R., Shahbazpanahi, S., Boudreau, G. e Srinivas, K.V., "Reti Massive MIMO senza celle incentrate sull'utente: una rassegna di opportunità, sfide e soluzioni", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 611–652.
  193. Chen, Z. e Björnson, E., "Rafforzamento del canale e propagazione favorevole nel Massive MIMO senza celle con geometria stocastica", *IEEE Transactions on Communications*, 66, 2018, pp. 5205–5219.
  194. Wei, X., Hu, C. e Dai, L., "Deep learning per la stima del canale nello spazio del fascio in sistemi Massive MIMO a onde millimetriche", *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, pp. 182–193.
  195. Albreem, M.A., Alhabbash, A.H., Shahabuddin, S. e Juntti, M., "Deep learning per i rilevatori di uplink MIMO massivo", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 741–766.
  196. Kabir, H.D., Khosravi, A., Nahavandi, S. e Srinivasan, D., "Addestramento di reti neurali per la quantificazione dell'incertezza nel tempo-distanza", *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 5, 2020, pp. 768–779.
  197. Yu, X., Lu, A.A., Gao, X., Li, G.Y., Ding, G. e Wang, C.X., "Comunicazione MIMO massiva a onde ionosferiche in banda HF", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, pp. 2769–2785.
  198. Wu, W., Gao, X., Sun, C. e Li, G.Y., "Shallow Underwater Acoustic Massive MIMO Communications," *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 2021, pp. 1124–1139.
  199. You, L., Li, K.X., Wang, J., Gao, X., Xia, X.G. e Ottersten, B., "Trasmissione Massive MIMO per le comunicazioni satellitari LEO", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 1851–1865.
  200. Li, Q.C., Niu, H., Papatthanasious, A.T. e Wu, G., "Capacità della rete 5G: elementi chiave e tecnologie", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9, 2014, pp. 71–78.
  201. Ngo, H.Q., Ashikhmin, A., Yang, H., Larsson, E.G. e Marzetta, T.L., "Massive MIMO senza celle contro piccole celle", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, pp. 1834–1850.
  202. Björnson, E. e Sanguinetti, L., "Cell-Free versus Cellular Massive MIMO: What Processing Is Needed for Cell-Free to Win?", in *2019 IEEE 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Cannes, Francia, 2–5 luglio 2019, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2019, pp. 1–5.

203. Bassoy, S., Farooq, H., Imran, M.A., e Imran, A., "Schemi coordinati di clustering multipunto: una rassegna", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 2017, pp. 743–764.
204. Kotsch, V. e Fettweis, G., "Interference Analysis in Time and Frequency Asynchronous Network MIMO OFDM Systems," in *2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Sydney, Australia, 18–21 aprile 2010, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2010, pp. 1–6.
205. O'hara, F. e Moore, G., "A High Performance CW Receiver Using Feedthru Nulling," *Microwave Journal*, 6, 1963, pp. 63–71.
206. Liu, G., Yu, F.R., Ji, H., Leung, V.C. e Li, X., "In-Band Full-Duplex Relaying: A Survey, Research Issues and Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17, 2015, pp. 500–524.
207. Liu, W., Huang, K., Zhou, X. e Durrani, S., "Reti di interferenza a retrodiffusione full-duplex basate su spettro diffuso a salto temporale", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, pp. 4361–4377.
208. Kolodziej, K.E., Perry, B.T. e Herd, J.S., "Tecnologia full-duplex in banda: rassegna di tecniche e sistemi", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 67, 2019, pp. 3025–3041.
209. Nawaz, H. e Tekin, I., "Antenna patch a doppia polarizzazione con alimentazione a doppia derivata e isolamento RF tra porte di 90 dB per un ricetrasmittitore full-duplex in banda a 2,4 GHz", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17, 2017, pp. 287–290.
210. Komatsu, K., Miyaji, Y. e Uehara, H., "Cancellazione iterativa dell'autointerferenza non lineare per comunicazioni wireless full-duplex in banda in presenza di squilibrio del mixer e non linearità dell'amplificatore", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19, 2020, pp. 4424–4438.
211. Komatsu, K., Miyaji, Y. e Uehara, H., "Analisi teorica delle radio full-duplex in banda con cancellatori di autointerferenza Hammerstein paralleli", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2021, pp. 6772–6786.
212. Chang, M.P., Blow, E.C., Lu, M.Z., Sun, J.J. e Prucnal, P.R., "Caratterizzazione RF di un circuito fotonico a microonde integrato per la cancellazione dell'autointerferenza", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66, 2017, pp. 596–605.
213. Wang, D., Li, P., Wang, Y., Li, T., Yang, F., Zhou, T. e Rong, L., "Conversione di frequenza assistita dalla fotonica e cancellazione dell'autointerferenza per la comunicazione full-duplex in banda", *Journal of Lightwave Technology*, 40, 2021, pp. 607–614.
214. Rong, B., "6G: Il prossimo orizzonte: dalle persone e dalle cose connesse all'intelligenza connessa", *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, p. 8.
215. Chen, S., Liang, Y.C., Sun, S., Kang, S., Cheng, W. e Peng, M., "Visione, requisiti e tendenze tecnologiche del 6G: come affrontare le sfide relative alla copertura di sistema, alla capacità, alla velocità di trasmissione

- dati degli utenti e alla velocità di movimento", *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 218–228.
216. Yang, H., Zheng, S., He, W., Yu, X. e Zhang, X., "Momento angolare orbitale terahertz: generazione, rilevamento e comunicazione", *China Communications*, 18, 2021, pp. 131–152.
217. Chen, R., Zhou, H., Moretti, M., Wang, X. e Li, J., "Onde di momento angolare orbitale: generazione, rilevamento e applicazioni emergenti", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, pp. 840–868.
218. Yousif, B.B. e Elsayed, E.E., "Miglioramento delle prestazioni di un collegamento ottico in spazio libero multiplexato per momento angolare orbitale in presenza di effetti di turbolenza atmosferica utilizzando il multiplexing spaziale e la diversità ibrida basata sull'equalizzazione MIMO adattiva", *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 84401–84412.
219. Werner, D.H., e Jiang, Z.H., *Vortici elettromagnetici: fenomeni ondulatori e applicazioni ingegneristiche*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2021.
220. Liu, K., Cheng, Y., Li, X. e Gao, Y., "Tecnologia di rilevamento a microonde che utilizza il momento angolare orbitale: panoramica dei suoi vantaggi", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 112–118.
221. Lei, Y., Yang, Y., Wang, Y., Guo, K., Góng, Y. e Guo, Z., "Prestazioni di throughput dei sistemi wireless a ingressi multipli e uscite multiple che utilizzano antenne OAM", *IEEE Wireless Communications Letters*, 10, 2020, pp. 261–265.
222. Liang, L., Cheng, W., Zhang, W. e Zhang, H., "Multiplexing OAM congiunto e OFDM in ambienti a multipath sparsi", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69, 2020, pp. 3864–3878.
223. ElMossallamy, M.A., Zhang, H., Song, L., Seddik, K.G., Han, Z. e Li, G.Y., «Superfici intelligenti riconfigurabili per le comunicazioni wireless: principi, sfide e opportunità», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 990–1002.
224. Di Renzo, M., Zappone, A., Debbah, M., Alouini, M.S., Yuen, C., De Rosny, J. e Tretyakov, S., "Ambienti radio intelligenti potenziati da superfici intelligenti riconfigurabili: come funzionano, stato della ricerca e prospettive future", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 2450–2525.
225. Björnson, E., Sanguinetti, L., Wymeersch, H., Hoydis, J. e Marzetta, T.L., "Il Massive MIMO è una realtà: quali sono i prossimi passi?: Cinque promettenti direzioni di ricerca per gli array di antenne", *Digital Signal Processing*, 94, 2019, pp. 3–20.
226. Zong, B., Fan, C., Wang, X., Duan, X., Wang, B. e Wang, J., "Tecnologie 6G: fattori chiave, requisiti fondamentali, architetture di sistema e tecnologie abilitanti", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 18–27.

227. Deng, R., Di, B., Zhang, H., Tan, Y. e Song, L., "Superficie olografica riconfigurabile: beamforming olografico per comunicazioni wireless assistite da metasuperfici", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, pp. 6255–6259.
228. Wan, Z., Gao, Z., Gao, F., Di Renzo, M. e Alouini, M.S., "MIMO massivo terahertz con superfici intelligenti olografiche riconfigurabili", *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 4732–4750.
229. Konkol, M.R., Ross, D.D., Shi, S., Harrity, C.E., Wright, A.A., Schuetz, C.A. e Prather, D.W., "Antenna ad array collegata integrata con fotodiodi ad alta potenza", *Journal of Lightwave Technology*, 35, 2017, pp. 2010–2016.
230. Jiang, W. e Schotten, H.D., "Previsione del canale di fading multi-antenna potenziata dall'intelligenza artificiale", in *88ª Conferenza IEEE sulla tecnologia veicolare (VTC-Fall) 2018*, Chicago, IL, USA, 27–30 agosto 2018, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, pp. 1–6.
231. Jiang, W., Strufe, M., e Schotten, H.D., "A SON Decision-Making Framework for Intelligent Management in 5G Mobile Networks," in *3ª Conferenza Internazionale IEEE su Computer e Comunicazioni (ICCC) 2017*, Chengdu, Cina, 13–16 dicembre 2017, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2017, pp. 1158–1162.
232. Jiang, W. e Schotten, H.D., "Deep Learning for Fading Channel Prediction," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 320–332.
233. Jiang, W., Strufe, M., e Schotten, H.D., "Risultati sperimentali per reti 5G auto-organizzate basate sull'intelligenza artificiale", in *28° Simposio Internazionale Annuale IEEE 2017 sulle comunicazioni radio personali, indoor e mobili (PIMRC)*, Montreal, QC, Canada, 8–13 ottobre 2017, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2017, pp. 1–6.
234. Huang, H., Song, Y., Yang, J., Gui, G. e Adachi, F., "Massive MIMO a onde millimetriche basato sul deep learning per la precodifica ibrida", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68, 2019, pp. 3027–3032.
235. Jiang, W. e Schotten, H.D., "Predizione del canale in fading basata su reti neurali: una panoramica completa", *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 118112–118124.
236. Jiang, W., e Schotten, H.D., "Reti neurali ricorrenti con memoria a breve termine lunga per la previsione dei canali in fading", in *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, Anversa, Belgio, 25–28 maggio 2020, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2020, pp. 1–5.
237. Jiang, W., Strufe, M., e Schotten, H.D., "Gestione intelligente della rete per i sistemi 5G: l'approccio SELFNET", in *Conferenza europea 2017 sulle reti e le comunicazioni (EuCNC)*, Oulu, Finlandia, 12–15 giugno 2017, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2017, pp. 1–5.
238. Letaief, K.B., Chen, W., Shi, Y., Zhang, J. e Zhang, Y.J.A., "La roadmap verso il 6G: reti wireless potenziate dall'IA", *IEEE Communications Magazine*, 57, 2019, pp. 84–90.

239. Cui, Y., Liu, F., Jing, X. e Mu, J., "Integrating Sensing and Communications for Ubiquitous IoT: Applications, Trends, and Challenges," *IEEE Network*, 35, 2021, pp. 158–167.
240. Zhang, J.A., Rahman, M.L., Wu, K., Huang, X., Guo, Y.J., Chen, S. e Yuan, J., "Abilitazione della comunicazione congiunta e del rilevamento radar nelle reti mobili — Una rassegna", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 306–345.
241. Mealey, R.M., "Un metodo per il calcolo delle probabilità di errore in un sistema di comunicazione radar", *IEEE Transactions on Space Electronics and Telemetry*, 9, 1963, pp. 37–42.
242. Sturm, C. e Wiesbeck, W., "Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing," *Proceedings of the IEEE*, 99, 2011, pp. 1236–1259.
243. Zhang, J.A., Liu, F., Masouros, C., Heath, R.W., Feng, Z., Zheng, L. e Petropulu, A., "Una panoramica delle tecniche di elaborazione del segnale per la comunicazione integrata e il rilevamento radar", *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 15, 2021, pp. 1295–1315.
244. Chiriyath, A.R., Paul, B., Jacyna, G.M. e Bliss, D.W., "Limiti interni sulle prestazioni della coesistenza tra radar e comunicazioni", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64, 2015, pp. 464–474.
245. Kumari, P., Choi, J., González-Prelcic, N. e Heath, R.W., "Radar basato su IEEE 802.11ad: un approccio al sistema congiunto di comunicazione veicolare e radar", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67, 2017, pp. 3012–3027.
246. Tschorsch, F. e Scheuermann, B., "Bitcoin e oltre: una rassegna tecnica sulle valute digitali decentralizzate", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18, 2016, pp. 2084–2123.
247. Dai, H.N., Zheng, Z. e Zhang, Y., "Blockchain per l'Internet delle cose: una rassegna", *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, pp. 8076–8094.
248. Xie, J., Yu, F.R., Huang, T., Xie, R., Liu, J. e Liu, Y., "Una rassegna sulla scalabilità dei sistemi blockchain", *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 166–173.
249. Nguyen, D.C., Pathirana, P.N., Ding, M. e Seneviratne, A., "Blockchain per reti 5G e oltre: una rassegna dello stato dell'arte", *Journal of Network and Computer Applications*, 166, 2020, 102693.
250. Xiong, Z., Zhang, Y., Niyato, D., Wang, P. e Han, Z., "Quando la blockchain mobile incontra l'edge computing", *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 33–39.
251. Kabir, H.M.D., Alam, S.B., Azam, M.I., Hussain, M.A., Sazzad, A.R., Sakib, M.N. e Matin, M.A., "Downsampling non lineare e ricostruzione del segnale, senza folding", in *2010 Fourth UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, Pisa, Italia, 17–19 novembre 2010, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2010, pp. 142–146.

252. Shi, G., Xiao, Y., Li, Y. e Xie, X., "Dalla comunicazione semantica alle reti semanticamente consapevoli: modello, architettura e problemi aperti", *IEEE Communications Magazine*, 59, 2021, pp. 44–50.
253. Shannon, C.E., "Una teoria matematica della comunicazione", *Bell System Technical Journal*, 27, 1948, pp. 379–423.
254. Shannon, C.E. e Weaver, W., *A Mathematical Model of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL, USA, 1949, pp. 11–20.
255. Barwise, J., e Perry, J., "Situazioni e atteggiamenti", *Journal of Philosophy*, 78, 1981, pp. 668–691.
256. Floridi, L., "Outline of a Theory of Strongly Semantic Information," *Minds and Machines*, 14, 2004, pp. 197–221.
257. Bao, J., Basu, P., Dean, M., Partridge, C., Swami, A., Leland, W., e Hendler, J.A., "Towards a Theory of Semantic Communication," in *2011 IEEE Network Science Workshop*, West Point, NY, USA, 22–24 giugno 2011, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2011, pp. 110–117.
258. Zhong, Y. e Zhang, R., "Information Ecology and Semantic Information Theory," *Document, Information and Knowledge*, 6, 2017, pp. 4–11.
259. Zhong, Y., "Una teoria dell'informazione semantica", *China Communications*, 14, 2017, pp. 1–17.
260. Zhao, Y., Qu, Y., Xiang, Y., Uddin, M.P., Peng, D. e Gao, L., "A Comprehensive Survey on Edge Data Integrity Verification: Fundamentals and Future Trends," *ACM Computing Surveys*, 57, 2024, pp. 1–34.
261. O'shea, T. e Hoydis, J., "An Introduction to Deep Learning for the Physical Layer," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 3, 2017, pp. 563–575.
262. Güler, B., Yener, A. e Swami, A., "The Semantic Communication Game," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 4, 2018, pp. 787–802.
263. Xie, H., Qin, Z., Li, G.Y. e Juang, B.H., "Sistemi di comunicazione semantica basati sul deep learning", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 2021, pp. 2663–2675.
264. Xie, H. e Qin, Z., "A Lite Distributed Semantic Communication System for Internet of Things," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39, 2020, pp. 142–153.
265. Dahl, G.E., Yu, D., Deng, L. e Acero, A., "Reti neurali profonde pre-addestrate dipendenti dal contesto per il riconoscimento vocale con ampio vocabolario", *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20, 2011, pp. 30–42.
266. Ni, K., Mondal, S.K., Kabir, H.D., Tan, T. e Dai, H.N., "Verso la quantificazione della sicurezza del serverless computing", *Journal of Cloud Computing*, 13, 2024, 140.

267. Kimionis, J., Bletsas, A. e Sahalos, J.N., «Increased Range Bistatic Scatter Radio», *IEEE Transactions on Communications*, 62, 2014, pp. 1091–1104.
268. Stockman, H., "Communication by Means of Reflected Power," *Proceedings of the IRE*, 36, 1948, pp. 1196–1204.
269. Kimionis, J., Georgiadis, A., Daskalakis, S.N. e Tentzeris, M.M., "A Printed Millimetre-Wave Modulator and Antenna Array for Backscatter Communications at Gigabit Data Rates," *Nature Electronics*, 4, 2021, pp. 439–446.
270. Zawawi, Z.B., Huang, Y. e Clerckx, B., "Comunicazioni a retrodiffusione multiutente alimentate in modalità wireless: non linearità, progettazione delle forme d'onda e compromesso SINR-energia", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 241–253.
271. Duan, R., Jäntti, R., Yiğitler, H. e Ruttik, K., "On the Achievable Rate of Bistatic Modulated Rescatter Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66, 2017, pp. 9609–9613.
272. Fasarakis-Hilliard, N., Alevizos, P.N. e Bletsas, A., "Rilevamento coerente e codifica di canale per reti di sensori radio a dispersione bistatica", *IEEE Transactions on Communications*, 63, 2015, pp. 1798–1810.
273. Kashyap, S., Björnson, E. e Larsson, E.G., "Sulla fattibilità del trasferimento di energia wireless utilizzando array di antenne massicci", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 15, 2016, pp. 3466–3480.
274. Yang, G., Ho, C.K. e Guan, Y.L., "Trasferimento di energia wireless multi-antenna per sistemi di comunicazione a retrodiffusione", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33, 2015, pp. 2974–2987.
275. Mishra, D. e Larsson, E.G., "Stima ottimale del canale per la retrodiffusione basata sulla reciprocità con un lettore MIMO full-duplex", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 67, 2019, pp. 1662–1677.
276. Gu, Z., Zhang, J., Ji, Y., Bai, L. e Sun, X., "Riconfigurazione della topologia di rete per fronthaul/backhaul basati su FSO nelle reti wireless 5G+", *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 69426–69437.
277. Douik, A., Dahrouj, H., Al-Naffouri, T.Y. e Alouini, M.S., "Progettazione ibrida radio/ottica in spazio libero per sistemi di backhaul di prossima generazione", *IEEE Transactions on Communications*, 64, 2016, pp. 2563–2577.
278. Bag, B., Das, A., Ansari, I.S., Prokeš, A., Bose, C. e Chandra, A., "Analisi delle prestazioni dei sistemi FSO ibridi che utilizzano l'adattamento del collegamento FSO/RF-FSO", *IEEE Photonics Journal*, 10, 2018, pp. 1–17.
279. Zhang, H., Dong, Y., Cheng, J., Hossain, M.J. e Leung, V.C., "Fronthauling per reti 5G LTE-U a piccole celle in cloud ultra-dense", *IEEE Wireless Communications*, 23, 2016, pp. 48–53.
280. Chowdhury, M.Z., Hasan, M.K., Shahjalal, M., Hossain, M.T. e Jang, Y.M., "Reti ibride ottiche-wireless: tendenze, opportunità, sfide e direzioni di ricerca", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2020, pp. 930–966.

281. Pan, C., Yi, J., Yin, C., Yu, J. e Li, X., "Posizionamento congiunto di UAV 3D e allocazione delle risorse in reti cellulari definite dal software con backhaul wireless", *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 104279–104293.
282. Mozaffari, M., Kavgari, A.T.Z., Saad, W., Bennis, M. e Debbah, M., "Oltre il 5G con gli UAV: Fondamenti di una rete cellulare wireless 3D," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 357–372.
283. Huang, T., Yang, W., Wu, J., Ma, J., Zhang, X. e Zhang, D., "A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies," *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 175758–175768.
284. Tariq, F., Khandaker, M.R., Wong, K.K., Imran, M.A., Bennis, M. e Debbah, M., "Uno studio speculativo sul 6G", *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 118–125.
285. Wang, H., Wang, W., Chen, X. e Zhang, Z., "Wireless Information and Energy Transfer in Interference Aware Massive MIMO Systems," in *2014 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Austin, TX, USA, 8–12 dicembre 2014, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2014, pp. 2556–2561.
286. Kobayashi, M., Caire, G. e Kramer, G., "Rilevamento dello stato congiunto e composizione: compromesso ottimale per un caso senza memoria", in *Simposio internazionale IEEE 2018 sull' e e la teoria dell'informazione (ISIT)*, Vail, CO, USA, 17–22 giugno 2018, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, pp. 111–115.
287. Shen, X., Gao, J., Wu, W., Lyu, K., Li, M., Zhuang, W., Li, X. e Rao, J., "Reti wireless di prossima generazione basate sul network slicing assistito dall'IA", *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 1, 2020, pp. 45–66.
288. Yi, C., Huang, S. e Cai, J., "Un meccanismo di incentivazione che integra la gestione congiunta di potenza, canale e collegamento per la condivisione di contenuti D2D socialmente consapevole e il caching proattivo", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17, 2017, pp. 789–802.
289. Nasimi, M., Habibi, M.A., Han, B., e Schotten, H.D., "Edge-Assisted Congestion Control Mechanism for 5G Network Using Software-Defined Networking," in *2018 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, Lisbona, Portogallo, 28–31 agosto 2018, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, pp. 1–5.
290. Habibi, M.A., Han, B., Nasimi, M., Kuruvatti, N.P., Fellan, A. e Schotten, H.D., "Verso una RAN completamente virtualizzata, cloudizzata e sensibile allo slicing per le reti mobili 6G", in *Reti mobili wireless 6G*, Springer, Berlino/Heidelberg, Germania, 2021, pp. 327–358.
291. ETSI., *Requisiti di Experiential Networked Intelligence (ENI)*, Versione 2.1.1, ETSI, Sophia Antipolis, Francia, 2019.
292. Wang, C.X., Lv, Z., Gao, X., You, X., Hao, Y. e Haas, H., "Teoria della modellizzazione pervasiva dei canali wireless e applicazioni ai GB5M 6G per tutte le bande di frequenza e tutti gli scenari", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 2022, pp. 9159–9173.

293. Huang, J., Liu, Y., Wang, C.X., Sun, J. e Xiao, H., "Sondatori, misurazioni e modelli di canale a onde millimetriche 5G: sviluppi recenti e sfide future", *IEEE Communications Magazine*, 57, 2018, pp. 138–145.
294. Nielsen, J.O., Fan, W., Eggers, P.C. e Pedersen, G.F., "Un sondatore di canale per Massive MIMO e canali a onde millimetriche", *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 67–73.
295. Roh, W., Seol, J.Y., Park, J., Lee, B., Lee, J., Kim, Y., Cho, J., Cheun, K. e Aryanfar, F., "Beamforming a onde millimetriche come tecnologia abilitante per le comunicazioni cellulari 5G: fattibilità teorica e risultati del prototipo", *IEEE Communications Magazine*, 52, 2014, pp. 106–113.
296. Raghavan, V., Partyka, A., Sampath, A., Subramanian, S., Koymen, O.H., Ravid, K., Cezanne, J., Mulkavilli, K. e Li, J., "Prototipo MIMO a onde millimetriche: misurazioni e risultati sperimentali", *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 202–209.
297. Anjos, E.V., SalarRahimi, M., Bressner, T.A., Takhighani, P., Lahuerta-Lavieja, A., Elsakka, A., Siebenga, J.S., Volski, V., Fager, C., Schreurs, D., et al., "FORMAT: un sistema di array di antenne riconfigurabile basato su tessere per banchi di prova a onde millimetriche 5G e 6G", *IEEE Systems Journal*, 16, 2022, pp. 4489–4500.
298. Chung, M., Liu, L., Johansson, A., Gunnarsson, S., Nilsson, M., Ying, Z., Zander, O., Samanta, K., Clifton, C., Koimori, T., et al., "LuMaMi28: sistemi Massive MIMO a onde millimetriche in tempo reale con selezione delle antenne", arXiv, 2021, arXiv:2109.03273.
299. Cai, Y., Zhu, M., Liang, S., Zhang, J., Lei, M., Hua, B., Wang, P., Tian, L., Zou, Y., Li, A., et al., "Dimostrazione di comunicazione in tempo reale a onde millimetriche assistita dalla fotonica basata su un'antenna phased-array su larga scala in banda Ka e sulla tecnica di tracciamento automatico del fascio", in *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*, San Diego, CA, USA, 6–10 marzo 2022, Optica Publishing Group, Washington, DC, USA, 2022, p. M3Z-12.
300. Sen, P., Pados, D.A., Batalama, S.N., Einarsson, E., Bird, J.P. e Jornet, J.M., "La piattaforma TeraNova: un banco di prova integrato per le comunicazioni wireless a banda ultra larga alle vere frequenze terahertz", *Computer Networks*, 179, 2020, 107370.
301. Zhu, M., Zhang, J., Yu, J. e You, X., "Dimostrazione di una trasmissione via cavo a terahertz da 352 Gbps, un record assoluto, su fibra a nucleo cavo a 325 GHz", *Science China Information Sciences*, 65, 2022, 127301.
302. Zhang, H., Zeng, S., Di, B., Tan, Y., Di Renzo, M., Debbah, M., Han, Z., Poor, H.V. e Song, L., "Superfici onnidirezionali intelligenti per comunicazioni wireless multidimensionali: principi, tecnologia e implementazione", *IEEE Communications Magazine*, 60, 2022, pp. 39–45.
303. Araghi, A., Khalily, M., Safaei, M., Bagheri, A., Singh, V., Wang, F. e Tafazolli, R., "Superficie intelligente riconfigurabile (RIS) nella banda sub-6

- GHz: progettazione, implementazione e dimostrazione nel mondo reale", *IEEE Access*, 10, 2022, pp. 2646–2655.
304. Amri, M.M., Tran, N.M. e Choi, K.W., "Comunicazioni wireless assistite da superfici intelligenti riconfigurabili: beamforming adattivo e validazioni sperimentali", *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 147442–147457.
  305. Dai, L., Wang, B., Wang, M., Yang, X., Tan, J., Bi, S., Xu, S., Yang, F., Chen, Z., Di Renzo, M., et al., "Comunicazioni wireless basate su superfici intelligenti riconfigurabili: progettazione dell'antenna, prototipazione e risultati sperimentali", *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 45913–45923.
  306. Li, O., He, J., Zeng, K., Yu, Z., Du, X., Liang, Y., Wang, G., Chen, Y., Zhu, P., Tong, W., et al., "Rilevamento e comunicazione integrati nel 6G: un prototipo di rilevamento THz ad alta risoluzione su dispositivo portatile", in *2021 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit)*, Porto, Portogallo, 8–11 giugno 2021, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2021, pp. 544–549.
  307. Xu, T., Liu, F., Masouros, C. e Darwazeh, I., "An Experimental Proof of Concept for Integrated Sensing and Communications Waveform Design", *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 2022, pp. 1643–1655.
  308. Yuan, J., Liu, Y., Hu, Y., Xu, G. e Zhang, J.C., "FD-MIMO distribuito (D-FD-MIMO): Dal concetto alla prova sul campo", in *2022 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, Las Vegas, NV, USA, 16–19 gennaio 2022, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2022, pp. 86–89.
  309. Callebaut, G., Van Mulders, J., Ottoy, G., Delabie, D., Cox, B., Stevens, N. e Van der Perre, L., "Techtile – Piattaforma di ricerca e sviluppo aperta 6G per comunicazione, posizionamento, rilevamento, WPT e apprendimento federato", in *Conferenza europea congiunta 2022 su reti e comunicazioni e vertice 6G (EuCNC/6G Summit)*, Grenoble, Francia, 7–10 giugno 2022, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2022, pp. 417–422.
  310. Wang, D., Zhang, C., Du, Y., Zhao, J., Jiang, M. e You, X., "Implementazione di un sistema Massive MIMO distribuito senza celle basato su cloud", *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 61–67.
  311. Zhang, X., Cao, Z., Li, J., Ge, D., Chen, Z., Vellekoop, I.M. e Koonen, A., "Connettività wireless ottica non in linea di vista a 40 Gbit/s con fascio orientabile ad ampia copertura per l'Industria 4.0", *Journal of Lightwave Technology*, 38, 2020, pp. 6801–6806.
  312. Haas, H., Yin, L., Chen, C., Videv, S., Parol, D., Poves, E., Alshaer, H. e Islam, M.S., "Introduzione ai concetti e alle sfide delle reti interne nel LiFi", *Journal of Optical Communications and Networking*, 12, 2020, pp. A190–A203.
  313. Matsuda, K., Binkai, M., Koshikawa, S., Yoshida, T., Sano, H., Konishi, Y. e Suzuki, N., "Dimostrazione sul campo di trasmissione FSO in tempo reale a 14 Tb/s su 220 m con trasmettitore a 9 aperture di classe 1 sicuro per gli occhi", in *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*, San

- Francisco, CA, USA, 6–10 giugno 2021, Optica Publishing Group, Washington, DC, USA, 2021, p. F3C-2.
314. Dochhan, A., Poliak, J., Surof, J., Richerzhagen, M., Kelemu, H.F., e Calvo, R.M., "Trasmissione ottica in spazio libero a 13,16 Tbit/s su 10,45 km per collegamenti di alimentazione di satelliti geostazionari", in *Photonic Networks, Atti del 20° Simposio ITG*, Lipsia, Germania, 8 maggio 2019, VDE, Francoforte, Germania, 2019, pp. 1–3.
315. Lain, J.K., Yang, Z.D. e Xu, T.W., "Sistemi sperimentali di comunicazione ottica DCO-OFDM con fotocamera di smartphone commerciali", *IEEE Photonics Journal*, 11, 2019, pp. 1–13.
316. Han, C. e Akyildiz, I.F., "Modulazione DAMC (Distance-Aware Multi-Carrier) nella comunicazione in banda terahertz", in *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Sydney, Australia, 10–14 giugno 2014, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2014, pp. 5461–5467.
317. Jornet, J.M., e Akyildiz, I.F., "L'Internet delle nano-cose multimediali nella banda terahertz", in *European Wireless 2012, Atti della 18a Conferenza Europea Wireless 2012*, Poznań, Polonia, 18–20 aprile 2012, VDE, Francoforte, Germania, 2012, pp. 1–8.
318. Zhou, D., Sheng, M., Li, J. e Han, Z., "Innovazione delle reti integrate aerospaziali per potenziare il 6G: una rassegna e le sfide future", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2023, pp. 975–1019.
319. Wu, Q. e Zhang, R., "Rete wireless potenziata da superfici riflettenti intelligenti tramite beamforming attivo e passivo congiunto", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2019, pp. 5394–5409.
320. Huang, C., Zappone, A., Alexandropoulos, G.C., Debbah, M. e Yuen, C., "Superfici intelligenti riconfigurabili per l'efficienza energetica nelle comunicazioni wireless", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2019, pp. 4157–4170.
321. Huang, C., Hu, S., Alexandropoulos, G.C., Zappone, A., Yuen, C., Zhang, R., Di Renzo, M. e Debbah, M., "Superfici MIMO olografiche per le reti wireless 6G: opportunità, sfide e tendenze", *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 118–125.
322. Kato, N., Mao, B., Tang, F., Kawamoto, Y. e Liu, J., "Dieci sfide nel far progredire le tecnologie di apprendimento automatico verso il 6G", *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 96–103.
323. Katz, M., Pirinen, P. e Posti, H., "Verso il 6G: prepararsi per il prossimo decennio", in *16° Simposio internazionale sui sistemi di comunicazione wireless (ISWCS) 2019*, Oulu, Finlandia, 27–30 agosto 2019, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2019, pp. 714–718.
324. Nayak, S. e Patgiri, R., "6G Communication: Envisioning the Key Issues and Challenges," arXiv, 2020, arXiv:2004.04024.
325. Yan, L., Han, C. e Yuan, J., "Precodifica ibrida per le comunicazioni terahertz 6G: valutazione delle prestazioni e problemi aperti", in *2020 2° 6G*

- Wireless Summit (6G SUMMIT)*, Levi, Finlandia, 17–20 marzo 2020, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2020, pp. 1–5.
326. Mumtaz, S., Jornet, J.M., Aulin, J., Gerstacker, W.H., Dong, X. e Ai, B., «Terahertz Communication for Vehicular Networks», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66, 2017, pp. [intervallo di pagine non specificato].
  327. ITU-R., *Passive and Active Antenna Systems for Base Stations of IMT Systems*, Report M.2083 (serie IMT Vision), Ginevra, Svizzera, 2015.
  328. Elmeadawy, S., e Shubair, R.M., "Comunicazioni wireless 6G: tecnologie future e sfide di ricerca", in *Conferenza internazionale 2019 sulle tecnologie e le applicazioni elettriche e informatiche (ICECTA)*, Ras Al Khaimah, Emirati Arabi Uniti, 19–21 novembre 2019, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2019, pp. 1–5.
  329. Yang, P., Xiao, Y., Xiao, M. e Li, S., "Comunicazioni wireless 6G: visione e tecniche potenziali", *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 70–75.
  330. Yao, H., Wang, L., Wang, X., Lu, Z. e Liu, Y., "La rete integrata spazio-terrestre: una panoramica", *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 178–185.
  331. Chowdhury, M.Z., Shahjalal, M., Ahmed, S. e Jang, Y.M., "Sistemi di comunicazione wireless 6G: applicazioni, requisiti, tecnologie, sfide e direzioni di ricerca", *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 957–975.
  332. Dohler, M., Heath, R.W., Lozano, A., Papadias, C.B. e Valenzuela, R.A., "Il livello PHY è morto?", *IEEE Communications Magazine*, 49, 2011, pp. 159–165.
  333. Raghavan, V. e Li, J., "Evolution of Physical-Layer Communications Research in the Post-5G Era", *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 10392–10401.
  334. Drake, F., "Antenne per telefoni cellulari: contestare le prove scientifiche", *Public Understanding of Science*, 15, 2006, pp. 387–410.
  335. Philbeck, I., "Connecting the Unconnected: Working Together to Achieve Connect 2020 Agenda Targets," in *Special Session of the Broadband Commission and the World Economic Forum at Davos Annual Meeting*, Davos-Klosters, Svizzera, 17–20 gennaio 2017.
  336. Gandhi, O.P., e Riazi, A., "Assorbimento delle onde millimetriche da parte degli esseri umani e sue implicazioni biologiche", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 34, 1986, pp. 228–235.
  337. Geesink, J.H., e Meijer, D.K.F., "Modello bio-solitonico che prevede le bande di frequenza delle radiazioni elettromagnetiche non termiche, che stabilizzano o destabilizzano le condizioni di vita", arXiv, 2016, arXiv:1610.04855.
  338. Name, A., *Effetti delle onde elettromagnetiche sulla segnalazione neuronale*, HAL Open Science Repository, Bengaluru, India, 2020.
  339. Talbi, O., Zadeh-Haghighi, H. e Simon, C., "Il meccanismo delle coppie radicaliche non può spiegare gli effetti delle frequenze di

- telecomunicazione sulle specie reattive dell'ossigeno", arXiv, 2024, arXiv:2407.03358.
340. Name, A., "Radiazioni terahertz del 6G e rischi per la salute riproduttiva maschile", Pubblicazione Xoffencer International, Dabra, India, 2023.
341. ICNIRP, *Principi per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti*, ICNIRP, Monaco, Germania, 2020.
342. Wu, Y., "Sistemi autonomi eticamente responsabili e affidabili per il 6G", *IEEE Network*, 36, 2022, pp. 126–133.
343. Wang, S., Qureshi, M.A., Miralles-Pechuán, L., Huynh-The, T., Gadekallu, T.R. e Liyanage, M., "IA spiegabile per casi d'uso del 6G: aspetti tecnici e sfide di ricerca", *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 2024, pp. 2490–2540.
344. Bahrami, M.K. e Nazari, S., "Progettazione digitale di un blocco di apprendimento Spatial-Pow-STDP ad alta precisione che utilizza PowCORDIC per SNN spazio-temporali di classificatori di immagini su larga scala", *Scientific Reports*, 14, 2024, 3388.
345. Amiri, M., e Nazari, S., "Progettazione hardware efficiente di neuroni spiking e modulo di apprendimento non supervisionato in una rete di classificazione di modelli su larga scala", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 137, 2024, 109255.
346. Meng, S., Wu, S., Zhang, J., Cheng, J., Zhou, H. e Zhang, Q., "Rete integrata spazio-aria-terra-mare potenziata dalla semantica: nuovo paradigma, strutture e sfide", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2024, pp.
347. Xiao, Y., Ye, Z., Wu, M., Li, H., Xiao, M., Alouini, M.S., Al-Hourani, A. e Cioni, S., "Reti wireless integrate spazio-aria-terra per il 6G: nozioni di base, tecnologie chiave e tendenze future", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 42, 2024, pp. 3327–3354.
348. Kuru, K., "Pianificazione del futuro delle città intelligenti con sciame di veicoli aerei senza pilota completamente autonomi utilizzando un nuovo framework", *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 6571–6595.

## Biografia di Rexhep Mustafovski, MSc



**Rexhep Mustafovski, laureato in scienze**, è un funzionario del Ministero della Difesa della Repubblica di Macedonia del Nord e assistente didattico e di ricerca presso l'Accademia Militare "Generale Mihailo Apostolski" di Skopje, dove opera all'interno del Dipartimento per la sicurezza informatica e la digital forensics. È specialista in sistemi di comunicazione sicura, sicurezza informatica e integrazione delle tecnologie di difesa, con un'esperienza

accademica e professionale che spazia dalle comunicazioni tattiche sicure alla sicurezza delle reti e ai sistemi informativi emergenti.

Ha completato la sua formazione universitaria presso l'Accademia Militare "Generale Mihailo Apostolski" di Skopje, dove si è laureato come Ufficiale delle Trasmissioni. Durante gli studi, ha dimostrato un rendimento accademico eccezionale e una disciplina professionale, raggiungendo il massimo successo formativo della sua generazione. In riconoscimento di questo risultato, è stato ufficialmente premiato come miglior ufficiale della sua generazione, un onore conferitogli dal Presidente del Paese. Questo riconoscimento riflette sia la sua eccellenza accademica che il suo impegno verso la professionalità militare.

Dopo la nomina a ufficiale, ha proseguito il suo percorso accademico frequentando studi post-laurea presso la Facoltà di Ingegneria Elettrica e Tecnologie dell'Informazione dell'Università "Ss. Cirillo e Metodio" di Skopje. Ha conseguito il titolo di Master of Science in Tecnologie della Comunicazione e dell'Informazione, specializzandosi in sistemi di comunicazione moderni, sicurezza delle informazioni e concetti avanzati di networking. I suoi studi di master hanno ulteriormente rafforzato le sue capacità analitiche e di ricerca, in particolare nei settori delle comunicazioni sicure e dei sistemi di difesa basati sulla tecnologia.

Il suo percorso accademico e professionale combina la formazione militare formale con studi avanzati di ingegneria, fornendo una solida base per la ricerca e il lavoro pratico nel campo delle comunicazioni militari sicure. Questo background influenza il suo approccio alla progettazione dei sistemi di comunicazione, ponendo l'accento su affidabilità, sicurezza, interoperabilità e rilevanza operativa. Le conoscenze e l'esperienza acquisite sia attraverso l'addestramento militare che la formazione ingegneristica sono alla base delle prospettive presentate in questo libro.

## Biografia di Besnik Qehaja, PhD



**Besnik Qehaja, PhD**, è un illustre accademico e stratega dell'innovazione digitale con sede a Pristina, in Kosovo. Attualmente ricopre il ruolo di Preside del Dipartimento di Informatica e Ingegneria presso l'UBT, dove svolge un ruolo centrale nel plasmare lo sviluppo accademico, il progresso tecnologico e l'integrazione della ricerca all'interno dell'istituzione. Il suo profilo professionale è caratterizzato da un forte impegno verso la trasformazione digitale, l'innovazione interdisciplinare e l'applicazione pratica di tecnologie avanzate nei settori dell'istruzione, della sanità e dei sistemi di infrastrutture intelligenti.

Il dottor Qehaja è attivamente impegnato nella leadership accademica presso l'UBT dal 2009, ricoprendo diverse posizioni di alto livello che hanno contribuito al consolidamento istituzionale e alla modernizzazione dei programmi accademici. Sotto la sua guida, il Dipartimento di Informatica e Ingegneria ha rafforzato la struttura del proprio curriculum, ottenuto accreditamenti nazionali per diversi corsi di laurea e implementato sistemi avanzati di gestione dell'apprendimento progettati per supportare gli ambienti di istruzione digitale. Il suo impegno si è concentrato sull'allineamento degli standard accademici alle migliori pratiche internazionali, promuovendo un ecosistema che integra ricerca, innovazione e competenza tecnologica applicata.

Ha conseguito il dottorato presso l'Università Corvinus di Budapest, dove la sua ricerca di dottorato si è concentrata sui sistemi di monitoraggio dei pazienti in tempo reale e sull'integrazione dell'assistenza sanitaria digitale. La sua tesi ha affrontato le sfide tecniche, organizzative e di gestione dei dati associate ai sistemi informativi medici intelligenti. Questa ricerca ha gettato solide basi per i suoi successivi contributi alle iniziative di eHealth e allo sviluppo delle infrastrutture sanitarie digitali.

Il dottor Qehaja ha svolto un ruolo di primo piano nello studio di fattibilità nazionale sull'eHealth del Kosovo, condotto in collaborazione con la tedesca M4Health e il Ministero della Salute. Questa iniziativa mirava a valutare la preparazione tecnica, il quadro normativo e i requisiti infrastrutturali necessari per l'implementazione dei sistemi sanitari digitali nazionali. Il suo coinvolgimento in questo progetto riflette sia la sua competenza tecnica sia la sua capacità di collegare l'innovazione guidata dalla ricerca con i processi di implementazione istituzionali e governativi.

Oltre al suo lavoro nella digitalizzazione dell'assistenza sanitaria, il dottor Qehaja è stato attivamente impegnato in iniziative di innovazione tecnologica in diversi ambiti. È un formatore certificato nelle tecnologie di realtà virtuale e realtà aumentata e ha guidato progetti che coinvolgono applicazioni di intelligenza artificiale, architetture dell'Internet delle cose e sviluppo di infrastrutture per le città intelligenti. Il suo lavoro integra le tecnologie emergenti con strategie di implementazione pratiche, ponendo l'accento su soluzioni scalabili e sulla collaborazione interdisciplinare.

Nel 2025, il dottor Qehaja ha intrapreso un impegno accademico come ricercatore senior presso l'Università Tecnica di Sofia in Bulgaria. Il suo focus di ricerca in questo ruolo include le reti energetiche intelligenti, i modelli di ottimizzazione basati sull'intelligenza artificiale e i sistemi intelligenti di gestione delle infrastrutture. Questa ricerca in corso estende ulteriormente la sua competenza nell'informatica energetica e negli ecosistemi digitali sostenibili, rafforzando il suo profilo interdisciplinare.

Il percorso accademico e professionale del dottor Qehaja combina competenze di ricerca avanzata con leadership istituzionale e innovazione applicata. Il suo background nella trasformazione digitale, nell'integrazione dei sistemi di IA e nell'implementazione tecnologica su larga scala contribuisce in modo significativo alla prospettiva interdisciplinare presentata in questo libro. Il rigore analitico e la mentalità orientata all'innovazione che apporta al campo della comunicazione e dell'integrazione dei sistemi intelligenti sostengono il quadro strategico più ampio esplorato in questo lavoro.

FOR AUTHOR USE ONLY

## Biografia del Prof. Dr. Edmond Hajrizi



**Il Prof. Dr. Edmond Hajrizi** è il fondatore e Rettore dell'UBT in Kosovo, dove ha svolto un ruolo trasformativo nel plasmare uno degli istituti di istruzione superiore più orientati all'innovazione della regione. La sua leadership è caratterizzata da una visione strategica che integra eccellenza accademica, progresso tecnologico e cooperazione internazionale. Attraverso uno sviluppo istituzionale sostenuto e una governance lungimirante, ha

posizionato l'UBT come un polo accademico dinamico incentrato sulla trasformazione digitale, l'integrazione della ricerca e la formazione professionale pratica.

In qualità di fondatore dell'UBT, il Prof. Dr. Hajrizi ha istituito l'ateneo con l'obiettivo di colmare il divario tra teoria accademica e competenze orientate al mercato. Fin dalla sua nascita, l'UBT è stato concepito come un ambiente educativo moderno progettato per combinare ricerca scientifica, tecnologia applicata e collaborazione con l'industria. La sua visione fondante ha sottolineato l'importanza di allineare i programmi di istruzione superiore alle tendenze tecnologiche emergenti e alle esigenze del mercato del lavoro, garantendo che i laureati possedano sia profondità teorica che capacità pratiche.

Nel suo ruolo di Rettore, il Prof. Dr. Hajrizi ha supervisionato l'espansione dell'UBT in un'istituzione multicampus con un ampio portafoglio accademico. Sotto la sua guida, l'università ha sviluppato un parco dedicato alla scienza e all'innovazione, laboratori di ricerca avanzati e partnership strutturate con università e istituzioni internazionali. Queste iniziative hanno rafforzato la posizione dell'UBT all'interno delle reti accademiche regionali e internazionali e ne hanno potenziato la capacità di ricerca interdisciplinare e innovazione.

Il Prof. Dr. Hajrizi partecipa attivamente alle comunità scientifiche e accademiche internazionali. È membro di vari comitati scientifici internazionali e rappresenta spesso l'UBT in conferenze e forum accademici globali. Il suo impegno nelle piattaforme internazionali riflette la sua dedizione al mantenimento della visibilità istituzionale, alla promozione della collaborazione transfrontaliera e alla diffusione di un'istruzione orientata alla ricerca e allineata agli standard globali.

Un elemento centrale della sua leadership è stata l'integrazione di tecnologie avanzate nei programmi accademici e nell'infrastruttura istituzionale. Attraverso investimenti strategici in piattaforme digitali, laboratori di innovazione e centri di ricerca applicata, l'UBT ha ricevuto numerosi riconoscimenti internazionali per la sua trasformazione digitale e la qualità dell'istruzione. La sua promozione di ambienti di apprendimento potenziati dalla tecnologia ha contribuito allo sviluppo di un ecosistema intelligente e completo all'interno dell'università, che combina l'insegnamento accademico, le attività di ricerca e i percorsi di formazione professionale.

La visione istituzionale del Prof. Dr. Hajrizi pone l'accento sulla sinergia tra eccellenza nella ricerca e applicazione pratica. Promuovendo partnership con l'industria e gli attori del settore dell' e e incoraggiando iniziative di ricerca applicata, ha sostenuto un modello educativo che favorisce l'imprenditorialità, l'innovazione tecnologica e lo sviluppo sostenibile. Il suo approccio riflette un impegno a lungo termine volto a preparare gli studenti non solo come professionisti accademici, ma anche come attori del progresso tecnologico e sociale.

Attraverso una leadership accademica costante, l'espansione istituzionale e una governance orientata all'innovazione, il Prof. Dr. Edmond Hajrizi ha influenzato in modo significativo lo sviluppo dell'istruzione superiore nella regione. Il suo orientamento strategico verso la trasformazione digitale, l'internazionalizzazione e la ricerca applicata contribuisce in modo significativo alla prospettiva interdisciplinare e lungimirante presentata in questo libro.

FOR AUTHOR USE ONLY