



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA INFORMATICA

SISTEMI WIRELESS 6G: IDEA, REQUISITI, OSTACOLI ED OPPORTUNITA'

Relatore: Prof. / Dott ENRICO ZANONI

Laureando: MATTIA CECCATO

ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022

Data di laurea 22/07/2022

INDICE

SISTEMI WIRELESS 6G: IDEA, REQUISITI, OSTACOLI ED OPPORTUNITA'	1
INDICE	2
INTRODUZIONE.....	3
QUESTO DOCUMENTO	3
STORIA DEI 'G'	4
GLI STANDARD	5
TERMINI.....	6
IDEA DEL 6G.....	8
STIMOLI DELLA SOCIETA'	8
CONCETTI.....	9
Protocolli Non IP	9
Information-Centric e Intent-Based Networks (ICNs).....	10
360-cybersecurity:	10
Future-proofing e backward compatibility:.....	10
AI - xAI	11
CAMBI STRUTTURALI	11
AI Networks	11
Human-centric networks:	12
Nuova architettura di trasporto	12
Supporto all'Open source nativo	12
APETTI TECNICI	13
Modulazione	13
Codifica	13

AI & ML	13
MIMO	14
OPPORTUNITA' E REQUISITI.....	16
SCENARI D'USO	16
SINTESI REQUISITI	18
OSTACOLI E CONSIDERAZIONI.....	19
Propagazione in canali mmWave E Thz.....	19
HARDWARE	21
SMART CARS & VEHICLES.....	22
SATELLITI.....	23
CONCLUSIONE.....	24
BIBLIOGRAFIA.....	24

INTRODUZIONE

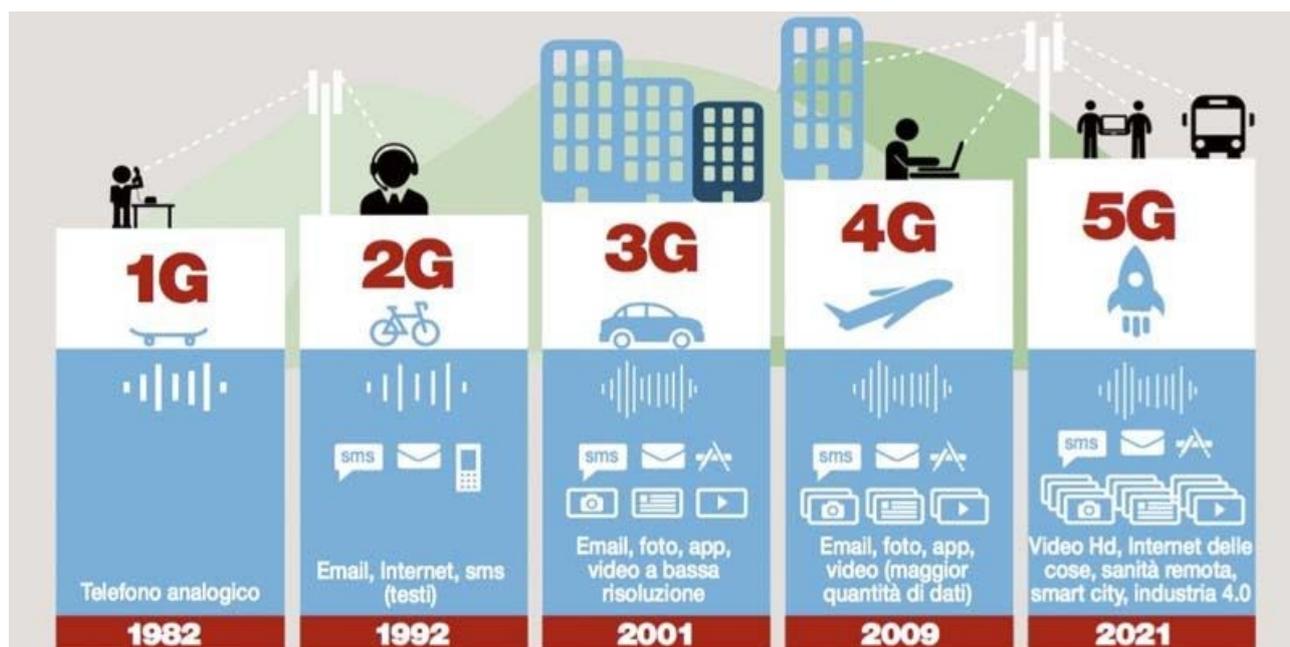
QUESTO DOCUMENTO

Questo elaborato punta a descrivere a grandi linee la tecnologia 6G, spiegandone l'idea, le possibilità, i requisiti e le difficoltà nel suo sviluppo, prendendo in considerazione le idee proposte dagli esperti.

STORIA DEI 'G'

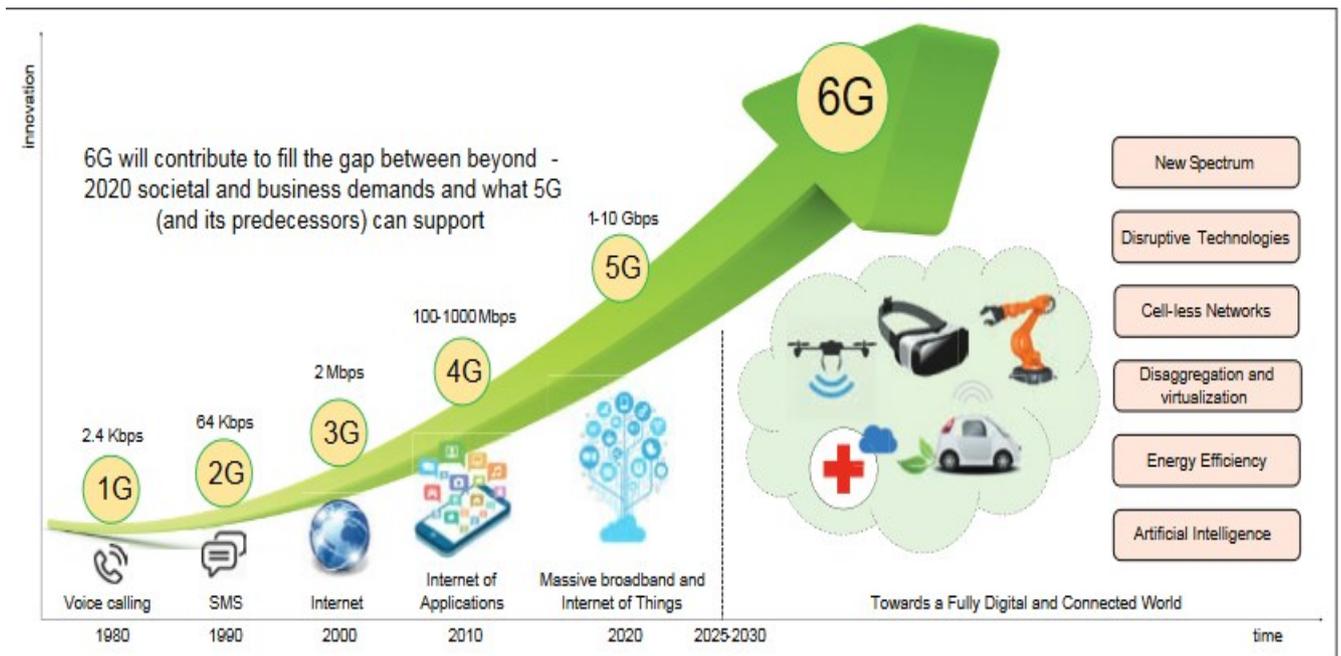
Finora ci sono state cinque generazioni di reti mobili. Esse vengono rappresentate da un numero progressivo, seguito dalla lettera 'G', che sta per 'Generazione'.

Ogni generazione ha portato con sé novità tecnologiche:



L'evoluzione della tecnologia mobile [1]

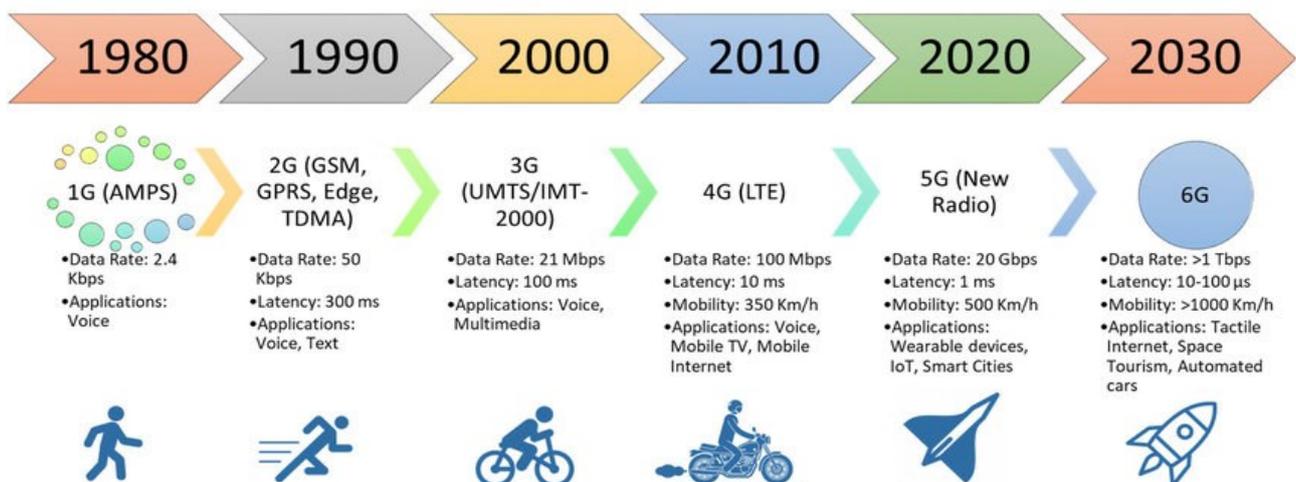
Come si può osservare dallo schema, le generazioni e le loro distribuzioni si sono successe a distanza di circa 10 anni. È questo il motivo per cui si pensa ad un possibile avvento di un nuovo standard per le reti nel non così lontano 2030.



Andando verso il 6G [2]

GLI STANDARD

Le metriche prestazionali, chiamate in gergo tecnico KPI (Key Performance Indicator) sono riassunti per tutte le generazioni nello schema seguente



Indici prestazionali chiave (KPI) delle 6 generazioni [3]

TERMINI

PORTANTE:

Si chiama onda portante un'onda elettromagnetica o un segnale elettrico, generalmente sinusoidale, con caratteristiche di frequenza, ampiezza e fase note, che viene modificata da un segnale modulante, in genere contenente informazioni, per essere poi trasmessa via etere o via cavo [4].

SPETTRO ELETTROMAGNETICO:

L'insieme di tutte le possibili frequenze della radiazione elettromagnetica

BANDA RADIO:

La sezione dello spettro elettromagnetico utilizzata per la trasmissione di dati e informazioni. Identifica cioè la suddivisione spettrale del canale trasmissivo per poter essere utilizzato da più operatori e utenti per l'effettuazione di servizi

Allo scopo di presentare gli articoli qui citati, distinguiamo i 3 range di frequenza più discussi: le bande sotto i 6Ghz, chiamate sub-6Ghz (che sono trattate da molti anni), le mmWave (24.25-300Ghz, studiate con il 5G) e le frequenze Thz o THF (Tremendously High Frequency, 300-3000Ghz, che verrebbero esplorate con il 6G) [5].

MIMO:

Acronimo di Multiple Input Multiple Output, che nelle telecomunicazioni indica l'uso di un sistema di antenne multiple sia sul lato emittente sia sul lato ricevente, allo scopo di migliorare le prestazioni del canale di comunicazione [6].

ANTENNA ARRAY:

un insieme di antenne multiple e collegate, che lavorano insieme come una singola antenna, per trasmettere o ricevere onde radio. Le singole antenne (chiamate elementi) sono solitamente collegate ad un singolo ricevitore o trasmettitore da linee di alimentazione in una specifica relazione di fase [7].

BEAMFORMING:

Una particolare tecnologia che consente di "direzionare" e concentrare il segnale Wi-Fi in una direzione piuttosto che in un'altra.

In termini più tecnici, il beamforming è una tecnica di "lavorazione" di un'onda che consente la trasmissione e ricezione direzionale del segnale. Ciò è reso possibile dall'utilizzo combinato di particolari apparati ricetrasmittenti che consentono di creare interferenze costruttive o distruttive, a seconda della necessità [8].

STAZIONI RADIO BASE (SRB/SB):

Le Stazioni Radio Base (SRB) per la telefonia cellulare sono costituite da antenne che trasmettono il segnale al telefono cellulare e da antenne che ricevono il segnale trasmesso da quest'ultimo. Possono essere installate su appositi pali/tralicci oppure su edifici in modo che il segnale venga irradiato su una porzione limitata di territorio, denominata cella [9].

ACRONIMI

SB = Stazione Base

Ms = millisecondi

RF = Radio Frequenza

IA – AI = Intelligenza Artificiale – Artificial Intelligence

VR = Virtual Reality, AR = Augmented Reality

LOS = Line-of-Sight (Linea visiva)

IDEA DEL 6G

STIMOLI DELLA SOCIETA'

Gli standard per le comunicazioni wireless (le “generazioni”) emergono circa ogni 10 anni e il 6G è previsto per l'azione negli anni 2030 (la parola 6G non è predefinita e potrà essere sostituita da qualcos'altro).

L'ITU (International Telecommunication Union) è un'organizzazione internazionale che si occupa di definire gli standard nelle telecomunicazioni e nell'uso delle onde radio.

Questa elenca, nel documento per i network del 2030, le 3 più importanti caratteristiche tecnologiche e sociali che incideranno sulla progettazione e le prospettive di reti 6G [10]:

1) Società Olografica High-Fidelity:

La tecnologia per l'esposizione olografica ha fatto progressi significativi negli ultimi anni e con maggiore comprensione dei processi per costruire e renderizzare gli ologrammi, le applicazioni olografiche sono sulla buona strada per diventare realtà.

Queste applicazioni implicheranno non solo la tecnologia fisica del rendering di ologrammi in loco, ma anche gli aspetti di rete per gestire e trasmettere questo tipo di dati da luoghi remoti.

2) Connettività IoT/All Things:

Rinnovando i vantaggi del 5G, una connettività migliore renderà possibili nuovi protocolli di interconnessione con prestazioni migliori, come l'information sharing ed il cloud/edge computing.

3) Applicazioni Time-sensitive:

Durante gli ultimi anni, con l'avanzare della tecnologia, la nostra dipendenza dalle reti di comunicazione è cresciuta.

Man mano che incorporiamo più dispositivi e gadget, risposte rapide ed esperienze in tempo reale sono diventati i fattori principali per il buon funzionamento delle routine quotidiane.

In particolare, quando consideriamo i driver di mercato come l'automazione industriale, i sistemi autonomi e le enormi reti di sensori in cui gli esseri umani non sono un endpoint, il fattore tempo diventa ancora più significativo.

Altro fattore importante sarà anche l'affidabilità dei sistemi, che dovrà puntare sempre più al 100%.

CONCETTI

Di seguito alcune idee degli esperti nel settore per innovare le reti da un punto di vista concettuale:

Protocolli Non IP

La suite TCP/IP di protocolli di rete ha ormai più di 40 anni ed è stata progettata per esigenze diverse rispetto alla rete degli anni 2020. Infatti la gestione degli indirizzi ip, la mobilità, le prestazioni e le questioni di sicurezza; e gli sforzi per mitigarli hanno richiesto uno sforzo significativo, energia, costi e notevole complessità aggiuntiva.

Con le crescenti sfide poste sulle reti moderne per supportare nuovi casi d'uso (alcuni dei quali richiedono una latenza molto bassa) e una maggiore connettività, i Service Provider sono alla ricerca di tecnologie candidate che possano soddisfare le loro esigenze meglio del TCP/IP-rete basata utilizzata nei sistemi attuali.

A prova di questo, molte soluzioni Non-IP sono oggetto di studio da parte degli enti normativi, come l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) [11].

Information-Centric e Intent-Based Networks (ICNs)

Al momento, per rispondere all'aumento del volume di traffico Internet per applicazioni con video da mobile e di cloud computing, viene impiegata una serie di tecnologie e servizi diversi, che impiegano il caching, replicazione e distribuzione del contenuto in modi specifici diversi.

Così facendo, però, non è possibile distinguere univocamente ed in sicurezza le informazioni indipendentemente dal canale di distribuzione e i diversi approcci di distribuzione sono tipicamente implementati come sovrapposizione, portando ad inefficienze.

Le reti ICN puntano a creare una rete dove gli utenti, principalmente interessati ai contenuti della rete, non si debbano preoccupare di dove recuperare i contenuti: i dati diventano indipendenti dalla posizione, dall'applicazione, dall'archiviazione e dai mezzi di trasporto.

Pertanto, ICN ha il potenziale per risolvere molti problemi prevalenti nelle attuali reti IP, come la mobilità, l'efficienza energetica, la congestione, la sicurezza e così via [12]

360-cybersecurity:

Il bisogno di protocolli e strategie per la cybersecurity è più alto che mai ed è qui che nasce la possibilità, per le reti 6G, di comprendere un approccio top (architettura e protocolli) - down (il software embedded), a cui ci si riferisce come approccio 360-cybersecurity [13] [14].

Future-proofing e backward compatibility:

Una buona strategia nella realizzazione di nuove tecnologie è permettere la retrocompatibilità e la compatibilità con tecnologie non ancora inventate. Perciò il 6G dovrà poter accogliere nuovi meccanismi e, soprattutto, permettere modalità multibanda, in modo che un dispositivo possa ricadere sul 4 o 5G a seconda della copertura.

AI - xAI

L'intelligenza artificiale è stata utilizzata nelle telecomunicazioni per anni, ma principalmente per ottimizzare i problemi dei consumatori, come il tasso di abbandono dei clienti o le questioni relative alla rete, come l'inclinazione ottimale dell'antenna della stazione base (BS) combinata con le policy di potenza di trasmissione ottimale.

Si potrebbe invece pensare di applicarla allo scopo di ottimizzare i processi della rete.

Inoltre, le decisioni rivolte ai consumatori dovranno essere spiegate (si pensi alla metafora della scatola magica – black box), richiedendo quindi metodi spiegabili di IA (xAI – explainable Artificial Intelligence) che siano in grado di soddisfare rigorosi requisiti normativi [15].

CAMBI STRUTTURALI

Dato il nuovo scenario di utilizzo delle reti 6G, ecco alcune proposte che si potrebbero considerare:

AI Networks

Le reti 5G presentano un utilizzo dell'intelligenza artificiale tramite i SONs (Self Organising Networks), che permettono al network di autoregolare i suoi parametri a seconda del contesto, diminuendo e/o semplificando il lavoro manuale dell'operatore [16].

Le circostanze del 6G, però, implicano una libertà e dinamicità senza precedenti, che potrebbero mettere in seria difficoltà la rete. Nasce quindi l'idea di un utilizzo più profondo dell'IA nelle telecomunicazioni.

Recentemente, l'intelligenza artificiale (Ai) è stata utilizzata come nuovo paradigma per la progettazione e l'ottimizzazione di reti 6G con un alto livello di intelligenza. [17]

Un possibile obiettivo è quello di raggiungere un futuro in cui l'IA ed il ML avanzati siano in grado di “raschiare” le innovazioni delle telecomunicazioni da Internet, tradurlo in

codice, auto-validare quel codice, implementarlo in un'infrastruttura, testarlo sugli utenti beta, e implementarlo a livello globale, tutto in pochi minuti piuttosto che decenni.

Potrebbe potenzialmente essere la tecnologia di base per l'industria 5.0.

Human-centric networks:

Il 6G dovrà essere rivolto all'essere umano e alla società. Dovrà essere capace di adattarsi alle nuove tecnologie e avvenimenti sociali, come sottolineato dalle mancanze rivelatesi durante la crisi del COVID, dove modifiche di network tempestive non sempre sono state possibili.

Nuova architettura di trasporto

Si prenda come esempio la promessa di una connettività con bassa latenza tra due utenti di 2 operatori di rete diversi.

Con il 5G, la bassa latenza è possibile solo se i due utenti appartengono alla rete di uno stesso operatore. In caso contrario il segnale d'informazione dovrebbe attraversare l'infrastruttura network di un operatore fino al punto di interconnessione con l'altro, attraversare la seconda infrastruttura ed infine giungere all'utente destinatario.

Va tenuto in considerazione che, anche un solo collegamento di 100km, con poco traffico, potrebbe comportare una latenza di almeno 0.5ms [18].

Allo scopo di raggiungere prestazioni maggiori, un'idea potrebbe essere un cambiamento architetturale, come ad esempio un assottigliamento della rete che connette i 2 utenti, premesso che il data network sia poi gestito correttamente, per esempio introducendo un controllo con IA.

Supporto all'Open source nativo

Per ragioni economiche, di sicurezza e di innovazione, l'open source sarà un componente in continua crescita nell'ecosistema 6G.

A supporto di questa tesi sono i recenti annunci di operatori di rete di livello 1 del loro coinvolgimento in sistemi e soluzioni open source [19].

Questa novità è molto significativa, dato che questi sono i provider di internet al più alto "rango", quelli cioè che hanno accesso e connessione diretti alla spina dorsale globale di internet in una regione specifica tramite accordi di peering con gli altri [20].

APETTI TECNICI

Modulazione

Al momento la tecnica di modulazione più utilizzata per le reti mobili è la OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM), è una tecnica per trasmettere dati in parallelo utilizzando un certo numero di portanti ortogonali fra loro [21].

Vi sono inoltre altre tecniche, per esempio le varianti dell'OFDM, ognuna con i suoi pro e contro; quindi, è necessario scegliere un compromesso a livello di prestazioni. La ricerca e applicazione di altre soluzioni sarebbe utile.

Codifica

La codifica è l'insieme di tecniche di elaborazione del segnale volte a garantire l'integrità dei dati trasmessi attraverso un canale rumoroso che introduce errori [22].

Rimane purtroppo il dilemma esistenziale della codifica, ovvero il dover scegliere un compromesso tra la tolleranza agli errori (che comporterebbero ritrasmissioni) e il tempo di trasmissione; entrambi dipendenti dalla lunghezza dei blocchi di messaggi codificati.

Questa scelta dovrà tenere conto dei KPI del 6G.

AI & ML

Utilizzi dell'intelligenza artificiale per il 5G sono stati studiati per la gestione e ottimizzazione dei network wireless in [17].

Idee per l'utilizzo:

-Rumore: nonostante le teorie e pratiche per considerare il rumore Gaussiano bianco o l'interferenza siano ormai studiate da decenni, nei casi in cui il contesto non rientri nelle assunzioni della teoria o se si dovesse avere una complessità elevata, potrebbe aver senso considerare soluzioni di Machine Learning per il rilevamento dei simboli e la decodifica

-Big data: vista la facilità con cui si potrebbero procurare i dati per il ML, sarebbe possibile assegnare all'IA mansioni come symbol detection, precoding e beam selection.

-Canale: con il moltiplicarsi delle unità fondamentali di trasmissione delle antenne, potrebbe non essere più praticabile – pena una perdita di performance - la stima dello stato del canale fatta prevalentemente al Receiver. Soluzioni ML sono state studiate in [23].

MIMO

Antenne multiple

L'uso di grandi array di antenne è stata una delle caratteristiche distintive dei sistemi 5G. È previsto che questa tendenza continuerà verso i sistemi 6G, dove il numero di elementi dell'antenna sarà aumentato di un ulteriore ordine di grandezza. I vantaggi fondamentali di grandi antenne sono stati discussi in documenti di sintesi degli ultimi 7 anni [24], [25] – [28].

Un primo quesito architetturale riguarda il tipo di beamforming, in quanto esso può essere eseguito in maniera analogica, digitale e forme ibride (a seconda che i segnali vengano elaborati in maniera totalmente analogica o quasi del tutto digitale, ognuno ha pro e contro). Il problema della scelta è che, attualmente, per la banda-C (3.4-3.8Ghz) vengono utilizzate soluzioni digitali [29], mentre nelle bande mmWave a 24.5-29.5Ghz viene scelto l'analogico perché scegliere il digitale comporta maggiore complessità circuitale e consumo energetico. Gli esperti suggeriscono che forse soluzioni ibride potrebbero essere un giusto compromesso tra i due [30], [31].

Un secondo problema è la limitatezza delle dimensioni degli array. Questa deriva dai componenti elettronici degli array e agli effetti che si otterrebbero con un'estensione di quest'ultimi, come lo Shadowing (ombreggiatura, causata dalle grandi dimensioni) [32] e Squinting, cioè deviazione del raggio per asincronia delle frequenze, dovuta al tempo non trascurabile di percorrenza dell'array [33].

Algoritmi che forniscano il giusto equilibrio tra la complessità del run-time, la facilità di implementazione in tempo reale e l'ottimalità delle prestazioni devono essere studiati

Superfici Intelligenti

Il concetto di utilizzare comunicazioni basate su Grandi Superfici Intelligente (Large Intelligent Surface-LIS) ha recentemente sollevato l'attenzione dei ricercatori. Una LIS è considerata come un array di antenne la cui intera superficie può essere utilizzata per la trasmissione e la ricezione del segnale radio [34].

Le LIS puntano ad avere una grande apertura e ad essere attive elettro magneticamente [35][36].

Un passo ulteriore sono le Superfici Riflettenti Intelligenti (Intelligent Reflective Surfaces-IRS) [37]-[39] che puntano a riflettere quasi passivamente i segnali in arrivo in un set di direzioni predefinite, attraverso sfasatori regolabili e senza conversioni attive.

Accesso multiplo

In telecomunicazioni con il termine accesso multiplo al canale si intendono tutte quelle tecniche che consentono a più utenti di accedere e condividere contemporaneamente le risorse del canale trasmissivo [40].

Le tecniche di accesso multiplo richiedono un ripensamento nel 6G, soprattutto per via della connettività massiccia e applicazioni a bassissimo consumo energetico premesse.

I sistemi attuali utilizzano metodi Carrier Sense Multiple-Access (CSMA) o altri come l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) per i sistemi cellulari.

Tuttavia, questi schemi non si adattano bene a scenari in cui migliaia di dispositivi o più mirano ad accedere ad una singola SB, ma con un duty cycle basso.

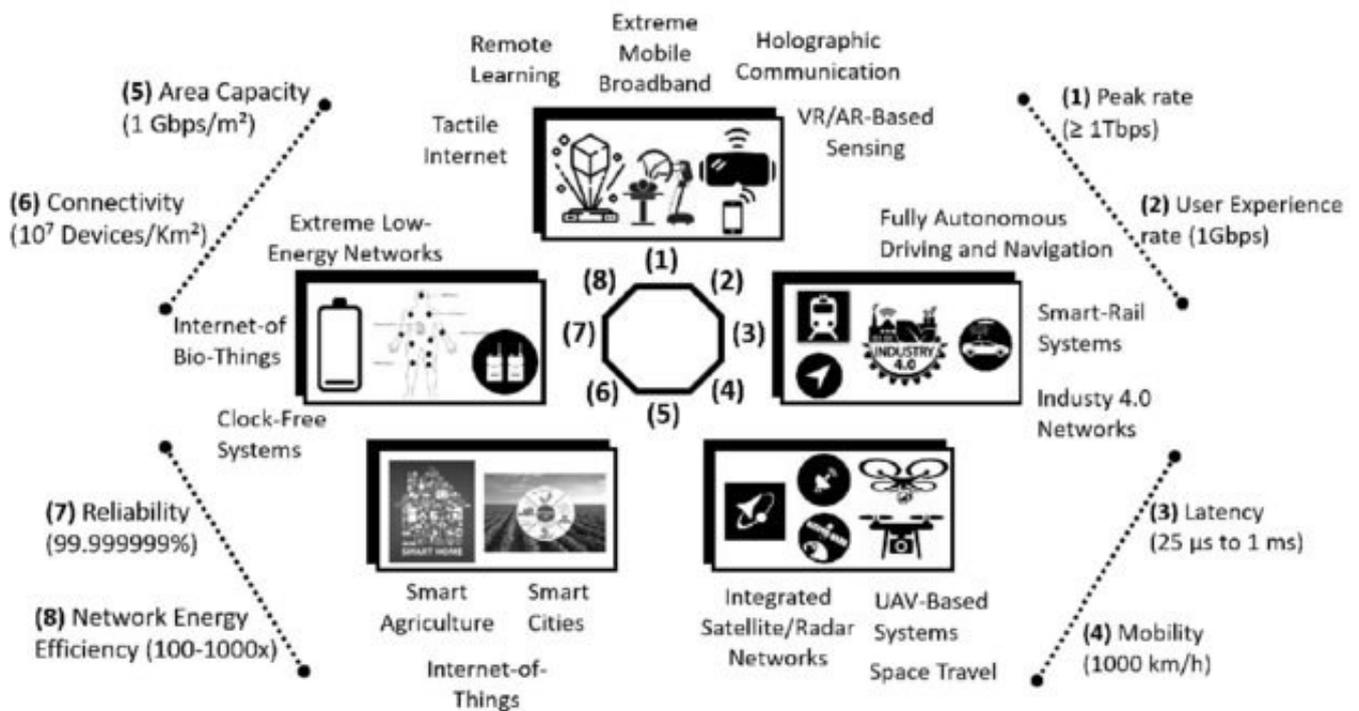
Occorre quindi studiare nuove strutture che consentano una migliore scalabilità e possibilmente un'ulteriore riduzione della latenza [41].

Un approccio da un punto di vista diverso è il Nonorthogonal Multiple Access (NOMA) che era stato considerato per il 5G [42] ma escluso per via di scadenze per la pubblicazione. Se nell'OFDMA, segnali provenienti da UE (utenti) diversi vengono trasmessi a fonti con frequenze diverse, mentre il NOMA trasmette quei segnali alla stessa frequenza ma con livelli di potenza diversi [43].

OPPORTUNITA' E REQUISITI

SCENARI D'USO

Le possibili applicazioni del 6G migliorerebbero ogni settore della società, dall'industria alle infrastrutture, dai servizi alle opportunità di crescita culturale.



Gli obiettivi di utilizzo del 6G e le relative metriche di prestazione chiave (KPI) [44] sono descritte nel seguito.

Raggruppando, si possono definire i seguenti argomenti e relativi requisiti tecnici:

Alta connettività e IoT

-Automazioni industriali e robot, già utilizzati dall'avvento dell'industria 4.0, diventeranno sempre più evoluti ed interconnessi. Potrebbero aver bisogno di latenze inferiori al millisecondo in contesti avanzati.

-Connettività alta per dispositivi mobili, importante visto il loro volume di utilizzo nella società. Per sostenere video di alta qualità possono volerci una ventina di Mbps per un video 4K 360° oppure arrivare all'ordine dei Tbps per la trasmissione di ologrammi.

-Guida autonoma e veicoli intelligenti. Si pensa che i veicoli a guida autonoma verranno commercializzati sempre più, questi poi permetteranno di ricevere un grande volume di dati attraverso tutti i sensori installati su di essi. Per poter coordinare il traffico ed evitare scontri servirà un network capace di gestire una grande mole di dati, garantire una latenza di pochi millisecondi e una tolleranza agli spostamenti elevata.

-Big Data a disposizione in tempi brevissimi permetteranno un'interconnessione maggiore, perciò più vantaggi.

-Connectivity for Everything, Smart Buildings e Internet of BioThings sono nuovi concetti molto interessanti, che porteranno un grande volume di dati aggregati tramite sensori tecnici, medici e per la sicurezza.

Olografia

Come detto in un documento per i driver dei network 2030 presentato all'ITU [45], le comunicazioni olografiche sono una delle tecnologie con distribuzione prevista nei prossimi anni, a prova di questo sono i recenti progetti della Microsoft, come le HoloLens [46] e Holoportation [47].

Questa esperienza 3D però richiederà una latenza molto bassa per garantirne la fluidità e un alto data rate (dai 50Mbps stimati da Microsoft a 100Gbps-4.3Tbps per generare ologrammi con le dimensioni di un adulto medio [48]).

Le comunicazioni olografiche porterebbero innovazione a settori come il turismo (centri accoglienza con ologrammi), la musica (utilizzo di ologrammi per riportare sul palco cantanti deceduti, come il recente concerto di Freddie Mercury [49])

Tattile

La comunicazione tattile, sviluppata già negli anni 60' per servomeccanismi aeromobili [50], cresce sempre di più e ad oggi elenca gli utilizzi più disparati: realtà aumentata e simulatori di guida, dispositivi sanitari per diagnosi/chirurgia/riabilitazione telematica [51], virtual training per tirocinanti in medicina [52], esoscheletri con controllo tattile [53] per persone con problemi di paralisi.

Questi scenari richiedono una grande interconnessione ed una latenza inferiore al millisecondo per poter reggere il confronto con i tempi di reazione del cervello umano.

SINTESI REQUISITI

Max Data Rate	$\geq 1\text{Tbps}$ (almeno 50x quello del 5G). Per supportare HOLO e Big Data
Data rate dell'utente	$\geq 10\text{ Gbps}$
Latenza dell'utente	$\leq 1\text{ms}$ (almeno x40 quella del 5G)
Mobilità	Fino a 1000km/h per gestire le connessioni dei velivoli
Densità di connessione dei dispositivi per km²	Potrebbe raggiungere x10 quella del 5G, per supportare IoT

OSTACOLI E CONSIDERAZIONI

Ovviamente, nel pensare alla progettazione di nuove tecnologie, bisogna sempre fare considerazioni riguardo ai problemi dell'implementazione e alle possibili soluzioni, seguono quindi alcune riflessioni.

PROPAGAZIONE CANALI mmWave E THz

Un grande problema da trattare è il comportamento del segnale portante, a seconda dello spazio/ distanza da attraversare e dello scopo per cui viene utilizzato.

Tre fattori da considerare per valutare la propagazione dell'onda portante sono:

FREQUENZA

L'equazione di trasmissione di Friis [54] determina, in condizioni ideali, il rapporto tra la potenza dell'onda ricevuta e la potenza dell'onda trasmessa tra 2 antenne a distanza d e guadagni $G_t G_r$.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \cdot \left(\frac{v}{f} \frac{1}{4\pi d} \right)^2$$

Come si potrà notare, all'aumentare della frequenza f , la perdita di potenza aumenta in proporzione quadratica. Se però entrambe le antenne hanno area costante e guadagno dipendente dalla frequenza e costante, la perdita di potenza diminuisce quadraticamente alla frequenza [27].

Nelle bande mmWave (24.5-300Ghz) l'atmosfera può causare assorbimento come esponenziale di $(d \cdot \alpha_{atm})$, ovvero il prodotto della distanza d tra l'utente e la SB e α_{atm} il coefficiente di assorbimento atmosferico, che dipende anche dalla situazione atmosferica/meteorologica [57].

In base a questi elementi, la scelta delle bande deve essere scrupolosa e deve considerare la distanza tra l'utente e la stazione base.

ATTRAVERSAMENTO MATERIALI

Ovviamente la penetrazione del segnale attraverso materiali solidi peggiora le prestazioni.

Purtroppo, questa situazione è più grave a frequenze più alte, perché:

- La potenza trasmessa attraverso gli oggetti diminuisce quasi uniformemente con la frequenza a causa della presenza dello skin effect (fenomeno per cui le correnti si concentrano sullo strato più esterno di un conduttore, aumentandone la resistenza [58]) [27].

- pochi studi sono stati fatti valutando i coefficienti di riflessione, trasmissione e dispersione di molti materiali da costruzione nelle bande di Thz [59]

-Nel contesto industriale ci sono molte complicazioni: Alta interferenza dei macchinari, mura in cemento, rumore meccanico ed elettrico per i vasti range di temperature, presenza di movimenti di oggetti/persone periodici o casuali; tutti questi causano cambiamenti dei parametri del canale di propagazione.

HARDWARE

Anche se architetture circuitali che gestiscano le frequenze mmWave sono disponibili, non si può dire lo stesso per le frequenze Thz, in quanto queste causano problemi di design dell'hardware.

Si prenda per esempio i requisiti sui semiconduttori:

Anche quando si utilizza lo stato dell'arte della tecnologia, la frequenza di funzionamento si avvicina, o in casi estremi supera, la frequenza F_{max} , a cui il semiconduttore è in grado di fornire con successo un guadagno di potenza, questo causerebbe una perdita prestazionale.

Una possibile soluzione è un cambio di design: mentre si prevede che i transistor Metallo Ossido Semiconduttore ad Effetto di Campo (MOSFET) abbiano raggiunto la loro velocità di picco che non potrà che degradare con un'ulteriore riduzione delle dimensioni, i transistor bipolari basati su leghe Silicio-Germanio (SiGe) hanno dimostrato di poter raggiungere una frequenza F_{max} vicino a 2 THz in un dispositivo a 5 nm [60].

Così facendo, amplificatori e oscillatori fino a circa 1 THz potrebbero essere realizzati con alte prestazioni e integrazione.

SMART CARS & VEHICLES

Le comunicazioni dei veicoli sono raggruppate con l'acronimo V2X (Vehicle-to-everything), che rappresenta la comunicazione tra un veicolo e qualsiasi soggetto che possa incidere sul veicolo o possa esserne interessato.

Si tratta di un sistema di comunicazione veicolare che incorpora altri tipi più specifici di comunicazione come V2I (da veicolo a infrastruttura), V2N (da veicolo a rete), V2V (da veicolo a veicolo), V2P (da veicolo a pedone) [61].

Il protocollo corrente di condivisione dati dei veicoli è il Digital Short-Range Communication (DSRC), il cui data rate arriva una ventina di Mb/s, secondo [62]

Ma considerando l'obiettivo di condivisione delle informazioni ottenute da sensori come video camere, sensori di movimento, infrarossi, radar, gps, ... ci sarà bisogno di un data rate molto più alto, anche fino a 1Gbps, come evidenziato in [63].

Una strada per risolvere questo problema potrebbe essere una combinazione di DSRC, tecnologia longterm evolution (LTE), mmWave e cellular V2X per permettere una maggiore affidabilità, data rate e reti veicolari intelligenti [64].

Ulteriori problemi sono:

-La latenza dei sistemi 5G non è ancora ottimale, in quanto può superare anche il millisecondo a seconda del metodo di elaborazione dei dati e del contesto [65]

-L'elaborazione e la fusione dei dati dei sensori saranno importanti ostacoli a causa delle scadenze per l'elaborazione molto strette

-Con l'alta mobilità verrà una necessità di una migliore gestione del raggio del segnale, considerando che i meccanismi di regolazione 5G sono spesso troppo lenti

-Un grande numero di macchine vecchie sarà in circolazione, quindi i grandi vantaggi delle comunicazioni V2X/V2I non saranno apprezzati prima degli ultimi anni 2030'.

Inoltre, esperienze sui sistemi a frequenze sub-6Ghz, che sono molto più studiati, hanno mostrato che:

-L'influenza della posizione dell'antenna e del modello dell'antenna non deve essere sottovalutata [66]. Queste influenzano non solo la perdita di potenza durante il percorso (path loss), ma anche le statistiche dei parametri del canale.

-Il blocco del LOS (Line Of Sight, cioè la “linea visiva”) da parte di altri veicoli tende ad avere un impatto significativo sulla perdita di potenza sul percorso. La perdita mediana dovuta alla presenza di un autocarro sarebbe di 12-13 dBm [67].

Nonostante questi lati negativi, lo studio [68] ha misurato i parametri del canale V2V nelle bande (6,75, 30, 60 e 73 GHz) in scenari urbani e autostradali e ha rilevato che, combinando la larghezza di banda più ampia che è tipicamente disponibile nelle bande mmWave e utilizzando tecniche di beamforming efficienti, i risultati indicano che la comunicazione V2V in mmWave sarà possibile, anche se il percorso LOS è ostruito da veicoli.

SATELLITI

Gli UAV, cioè i veicoli aerei senza equipaggio (dall'inglese “Unmanned Air Vehicle”), con i loro canali di propagazione, hanno molte potenzialità.

Una strategia di utilizzo degli UAV per l'implementazione del 6G potrebbe essere il loro utilizzo per fornire copertura di segnale in zone remote attraverso piattaforme ad altezze

diverse, come ad esempio Geostationary Orbit (GEO, 36000km) e Low Earth Orbit (LEO, 300-1200km).

La distanza però comporta una latenza non trascurabile, infatti considerando una comunicazione “andata e ritorno” alla velocità della luce, si ottiene che i satelliti LEO danno una latenza di 2-8ms, mentre i GEO di 240ms.

A sostegno di future invenzioni si considera l’idea del giugno 2020 di Loon e Telkom. Questi infatti, in Kenya, hanno lanciato il loro primo servizio commerciale che fornisce servizi 4G da un set di palloni che circolano nella stratosfera ad un’altitudine approssimativa di 20 km, producendo così una latenza dell’ordine dei 0.1 ms.

Piattaforme di questo tipo potrebbero supportare la connettività richiesta dal 6G.

CONCLUSIONE

La tecnologia 6G potrebbe agevolare notevolmente le innovazioni degli ultimi anni: IoT, automazione industriale, guida autonoma, Realtà virtuale/aumentata, ologrammi, comunicazione tattile e in real-time, cloud computing... Devono però essere superati gli attuali ostacoli, rappresentati sia da limitazioni fisiche che da limitazioni strutturali, architetture e di gestione presenti nei sistemi attuali. Nonostante la strada per il 6G sia piena di ostacoli, c’è speranza di arrivarci.

BIBLIOGRAFIA

[1] <https://www.theblackcoffee.eu/cose-esattamente-il-5g/>

[2] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan and M. Zorzi, "Toward 6G Networks: Use Cases and Technologies," in IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 3, pp. 55-61, March 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.1900411.

[3]

https://www.researchgate.net/publication/353039842_A_Survey_on_5G_Enabled_Multi-Access_Edge_Computing_for_Smart_Cities_Issues_and_Future_Prospects

[4] https://it.wikipedia.org/wiki/Onda_portante

[5] https://it.wikipedia.org/wiki/Banda_radio

[6] https://it.wikipedia.org/wiki/Multiple-input_and_multiple-output

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_array

[8] <https://www.fastweb.it/fastweb-plus/digital-magazine/cos-e-come-funzionail-beamforming/>

[9] <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/radiazioni-non-ionizzanti/le-sorgenti/sorgenti-rf-alta-frequenza>

[10] Network 2030: A Blueprint of Technology, Applications, and Market Drivers Toward the Year 2030, document ITU-T, Focus Group 2030, Nov. 2019.

[11] <https://www.etsi.org/technologies/non-ip-networking>

[12] C. Fang, H. Yao, Z. Wang, W. Wu, X. Jin, and F. R. Yu, "A survey of mobile information-centric networking: Research issues and challenges," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 20, no. 3, pp. 2353–2371, 3rd Quart., 2018.

- [13] G. Gui, M. Liu, F. Tang, N. Kato, and F. Adachi, “6G: Opening new horizons for integration of comfort, security, and intelligence,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 27, no. 5, pp. 126–132, Oct. 2020.
- [14] Nguyen et Al. (2021). Security and Privacy for 6G: A Survey on Prospective Technologies and Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 10.1109/COMST.2021.3108618.
- [15] <https://www.ibm.com/it-it/watson/explainable-ai>
- [16] https://www.3gpp.org/news-events/2201-ai_ml_r3
- [17] C.-X. Wang, M. D. Renzo, S. Stanczak, S. Wang, and E. G. Larsson, “Artificial intelligence enabled wireless networking for 5G and beyond: Recent advances and future challenges,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 27, no. 1, pp. 16–23, Feb. 2020.
- [18] <https://www.m2optics.com/blog/bid/70587/calculating-optical-fiber-latency>
- [19] <https://www.fiercetelecom.com/telecom/at-t-travels-open-source-road-to-help-build-industry-ecosystem>
- [20] <https://www.gtt.net/us-en/media-center/what-are-the-benefits-of-working-with-a-tier-1-isp>
- [21] <https://www.unisalento.it/documents/20152/253438/OFDM.pdf/7bc7d250-8e3c-d1fc-1450-9324afc372b9?version=1.0>

- [22] https://it.wikipedia.org/wiki/Codifica_di_canale
- [23] S. M. Aldossari and K.-C. Chen, “Machine learning for wireless communication channel modeling: An overview,” *Wireless Pers. Commun.*, vol. 106, no. 1, pp. 41–70, Mar. 2019.
- [24] M. Shafi et al., “5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 6, pp. 1201–1221, Jun. 2017.
- [25] A. Lozano and R. W. Heath, Jr., *Foundations of MIMO Communication*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2018.
- [26] T. L. Marzetta, E. G. Larsson, H. Yang, and H. Q. Ngo, *Fundamentals of Massive MIMO*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2016.
- [27] M. Shafi et al., “Microwave vs. millimeter-wave propagation channels: Key differences and impact on 5G cellular systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 12, pp. 14–20, Dec. 2018.
- [28] E. Björnson, J. Hoydis, and L. Sanguinetti, “Massive MIMO networks: Spectral, energy, and hardware efficiency,” *Found. Trends Signal Process.*, vol. 11, nos. 3–4, pp. 154–655, 2017.
- [29] M. Shafi, H. Tataria, A. F. Molisch, F. Tufvesson, and G. Tunnicliffe, “Real-time deployment aspects of C-band and millimeter-wave 5G-NR systems,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, Jun. 2020, pp. 1–7.
- [30] A. F. Molisch et al., “Hybrid beamforming for massive MIMO: A survey,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 9, pp. 134–141, Sep. 2017.
- [31] H. Tataria, M. Matthaiou, P. J. Smith, G. C. Alexandropoulos, and V. F.

Fusco, "Uplink interference analysis with RF switching for lens-based millimeter-wave systems," in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC), May 2018, pp. 1–7.

[32] X. Gao, O. Edfors, F. Rusek, and F. Tufvesson, "Massive MIMO performance evaluation based on measured propagation data," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 14, no. 7, pp. 3899–3911, Jul. 2015.

[33] B. Wang, F. Gao, S. Jin, H. Lin, and G. Y. Li, "Spatial- and frequency-wideband effects in millimeter-wave massive MIMO systems," IEEE Trans. Signal Process., vol. 66, no. 13, pp. 3393–3406, Jul. 2018.

[34] J. Yuan, H. Q. Ngo and M. Matthaiou, "Towards Large Intelligent Surface (LIS)-Based Communications," in IEEE Transactions on Communications, vol. 68, no. 10, pp. 6568-6582, Oct. 2020, doi: 10.1109/TCOMM.2020.3009115.

[35] S. Hu, F. Rusek, and O. Edfors, "Beyond massive MIMO: The potential of positioning with large intelligent surfaces," IEEE Trans. Signal Process., vol. 66, no. 7, pp. 1761–1774, Apr. 2018.

[36] S. Hu, F. Rusek, and O. Edfors, "Beyond massive MIMO: The potential of data transmission with large intelligent surfaces," IEEE Trans. Signal Process., vol. 66, no. 10, pp. 2746–2758, May 2018.

[37] H. Tataria, F. Tufvesson, and O. Edfors, "Real-time implementation aspects of large intelligent surfaces," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP), May 2020, pp. 9170–9174

[38] Q. Wu and R. Zhang, "Towards smart and reconfigurable environment: Intelligent reflecting surface aided wireless network," IEEE Commun. Mag., vol. 58, no. 1, pp. 106–112, Nov. 2019.

- [39] M. Di Renzo, “Keynote talk #2: 6G wireless: Wireless networks empowered by reconfigurable intelligent surfaces,” in Proc. 25th Asia–Pacific Conf. Commun. (APCC), Nov. 2019
- [40] https://it.wikipedia.org/wiki/Accesso_multiplo .
- [41] M. Shirvanimoghaddam, M. Dohler, and S. J. Johnson, “Massive non-orthogonal multiple access for cellular IoT: Potentials and limitations,” IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 9, pp. 55–61, Sep. 2017
- [42] Z. Ding et al., “Application of non-orthogonal multiple access in LTE and 5G networks,” IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 2, pp. 185–191, Feb. 2017.
- [43] <https://www.techplayon.com/explaining-noma-basic-concept-different-ofdma-applications-noma-5g/v> .
- [44] H. Tataria, M. Shafi, A. F. Molisch, M. Dohler, H. Sjöland and F. Tufvesson, "6G Wireless Systems: Vision, Requirements, Challenges, Insights, and Opportunities," in Proceedings of the IEEE, vol. 109, no. 7, pp. 1166-1199, July 2021, doi: 10.1109/JPROC.2021.3061701.
- [45] https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201810/Documents/Richard_Li_Presentation.pdf
- [46] <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- [47] <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/holoportation-3/>

[48] X. Xu, Y. Pan, P. P. M. Y. Lwin and X. Liang, "3D holographic display and its data transmission requirement," 2011 International Conference on Information Photonics and Optical Communications, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/IPOC.2011.6122872.

[49] <https://guitar.com/news/music-news/brian-hologram-avatar-freddie-mercury-queen/>

[50] https://en.wikipedia.org/wiki/Haptic_technology

[51] M. Simsek, A. Aijaz, M. Dohler, J. Sachs, and G. Fettweis, "5G-enabled tactile Internet," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 34, no. 3, pp. 460–473, Mar. 2016

[52] Bartlett, J. D., Lawrence, J. E., Yan, M., Guevel, B., Stewart, M. E., Audenaert, E., et al. fnm (2020). The Learning Curves of a Validated Virtual Reality Hip Arthroscopy Simulator. Arch. Orthopaedic Trauma Surg. 140 (6), 761–767. doi:10.1007/s00402-020-03352-3

[53] <https://www.haptic.ro/exoscheletul-haptic/>

[54] https://it.wikipedia.org/wiki/Equazione_di_trasmissione_di_Friis

[55] Rec. ITU-R P.676-3 1 RECOMMENDATION ITU-R P.676-3
ATTENUATION BY ATMOSPHERIC GASES (Question ITU-R 201/3)

[56] Attenuation by Atmospheric Gasses and Related Effects, document ITU-R P.676-12, Aug. 2019.

[57] E. K. Smith, "Centimeter and millimeter wave attenuation and brightness temperature due to atmospheric oxygen and water vapor," *Radio Sci.*, vol. 17, no. 6, pp. 1455–1464, Nov. 1982

[58] https://en.wikipedia.org/wiki/Skin_effect

[59] S. Priebe and T. Kurner, "Stochastic modeling of THz indoor radio channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 9, pp. 4445–4455, Sep. 2013.

[60] M. Schroter et al., "SiGe HBT technology: Future trends and TCAD-based roadmap," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 6, pp. 1068–1086, Jun. 2017.

[61] <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything>

[62] Zhigang Xu, Xiaochi Li, Xiangmo Zhao, Michael H. Zhang, Zhongren Wang, "DSRC versus 4G-LTE for Connected Vehicle Applications: A Study on Field Experiments of Vehicular Communication Performance", *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2017, Article ID 2750452, 10 pages, 2017.
<https://doi.org/10.1155/2017/2750452>

[63] J. Choi, V. Va, N. Gonzalez-Prelcic, R. Daniels, C. R. Bhat, and R. W. Heath, Jr., "Millimeter-wave vehicular communication to support massive automotive sensing," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 12, pp. 160–167, Dec. 2016.

[64] Study on Channel Model for Frequencies From 0.5 to 100 GHz (Release 14), document 3GPP TR 38.901, Dec. 2019.

[65] <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2201/2201.06082.pdf>

[66] C. F. Mecklenbrauker et al., “Vehicular channel characterization and its implications for wireless system design and performance,” *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1189–1212, Jul. 2011

[67] D. Vlastaras, T. Abbas, M. Nilsson, R. Whiton, M. Olback, and F. Tufvesson, “Impact of a truck as an obstacle on vehicle-to-vehicle communications in rural and highway scenarios,” in *Proc. IEEE 6th Int. Symp. Wireless Veh. Commun. (WiVeC)*, Sep. 2014, pp. 1–6.

[68] M. Boban et al., “Multi-band vehicle-to-vehicle channel characterization in the presence of vehicle blockage,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 9724–9735, 2019.