Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Ufficio federale delle comunicazioni UFCOM
Divisione Servizi di telecomunicazione e posta (TP)
Sezione Reti e servizi

Gennaio 2020

Scheda informativa sul 5G

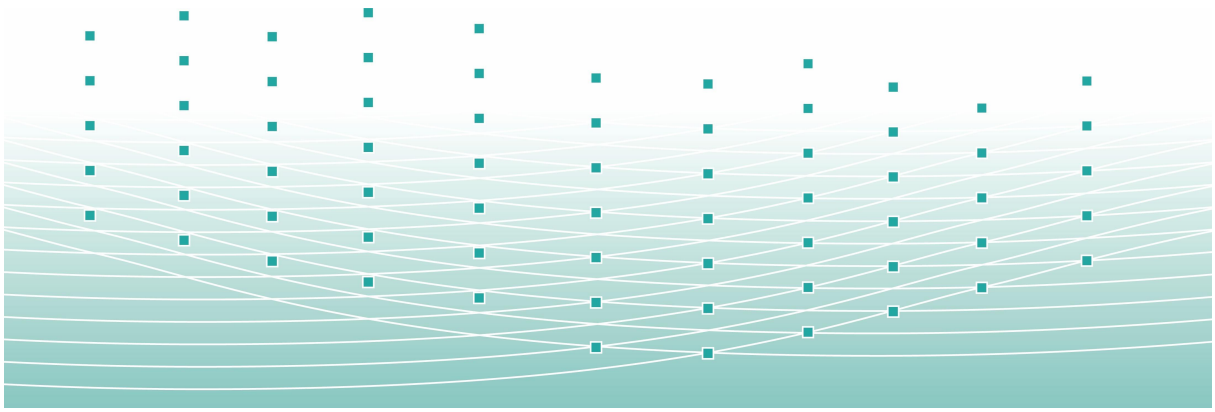
Panoramica introduttiva

Riassunto

Ogni anno, la quantità di dati trasferiti sulla rete mobile raddoppia. L'introduzione della terza generazione di radiocomunicazione mobile (3G, UMTS) a metà degli anni 2000, poi l'avvento della quarta generazione (4G, LTE) dal 2012 hanno finora consentito di soddisfare le esigenze. Oggi, però, queste tecnologie stanno raggiungendo i propri limiti. L'introduzione del 5G consentirà tra l'altro un numero maggiore di connessioni attive e un notevole aumento della capacità di trasmissione dati.

Le reti 5G rappresentano un grande passo avanti nel campo della comunicazione mobile poiché spianano la strada a nuove applicazioni, soprattutto nel settore dell'Internet delle cose (IOT), della comunicazione macchina-macchina (M2M), delle applicazioni a banda ultra larga o delle applicazioni in tempo reale.

Questa scheda informativa mostra i retroscena, le proprietà, i campi di applicazione e le innovazioni del nuovo standard 5G per la telefonia mobile.



Indice

1 Introduzione 1
1.1 Cos'è il 5G e a cosa serve? 1
1.2 Volumi di dati in crescita 2
1.3 Numero dei collegamenti d'utente mobili in tutto il mondo 3
1.4 Quali Paesi impiegano il 5G? 4
2 Scenari d'uso del 5G 5
3 Tecnologia 5G 6
3.1 Standardizzazione 6
3.2 Architettura del 5G 6
3.3 La rete di accesso radio 8
3.4 La rete centrale 5G CN 12
3.5 Network slicing 12
3.6 Hosting locale dei servizi ed Edge Computing 14
4 Frequenze 14
5 Abbreviazioni 16
6 Riferimenti 16

1 Introduzione

1.1 Cos'è il 5G e a cosa serve?

Il 5G è la prossima generazione di sistemi di comunicazione mobile. È il seguito logico dei precedenti sistemi e si basa in gran parte sul 4G LTE. La tecnologia 5G comprende essenzialmente una nuova interfaccia aerea (rete di accesso radio) detta «5G New Radio» (5G NR) e una nuova architettura di rete centrale detta «5G Core Network» (5G CN, o anche 5GC). Per maggiori informazioni in merito si veda il capitolo 3.2.

Le caratteristiche di prestazione del 5G a confronto con quelle del 4G:

- velocità di trasmissione dati fino a 100 volte superiori, ossia una capacità di sistema più elevata (capacità di trasmissione dati/km^2 1000 volte maggiore): per far fronte al volume di dati mobili in rapida crescita
- tempo di latenza più breve per le trasmissioni dati all'interno del sistema 5G: tempi di risposta più brevi per i servizi di telecomunicazione degli utenti finali
- numero maggiore di terminali collegati simultaneamente (fino a 1 milione per km^2): in vista dell'Internet delle cose (IoT)
- consente l'utilizzo delle frequenze sopra i 6 GHz: per il futuro ampliamento delle reti mobili

Questi notevoli progressi giustificano la designazione come nuova generazione di telefonia. A differenza dei sistemi precedenti, il 5G consente connessioni con velocità di trasmissione (garantite e tempi di latenza più bassi assicurati, nonché connessioni più affidabili, maggiore durata della batteria dei terminali e segmentazione della rete (network slicing, reti mobili virtuali parallele; vedi capitolo 0).

Queste caratteristiche aprono nuove opportunità di innovazione per i servizi di telecomunicazione mobile (cfr. capitolo 2). Alla tecnologia 5G è quindi ascritto un grande potenziale di benefici.

1.2 Volumi di dati in crescita

Il traffico mobile di dati continua a crescere: nel 2017, circa il 56% del volume di dati era generato dai video (trasmissione di immagini in settori quali intrattenimento, produzione, istruzione, videoconferenza, sorveglianza, medicina, realtà virtuale e realtà aumentata). Si prevede che tale quota salirà a circa il 73 per cento nel 2023 (Figura 1). I rappresentanti del settore delle comunicazioni mobili prevedono che la banda larga mobile continuerà ad essere una componente importante delle comunicazioni anche in futuro.

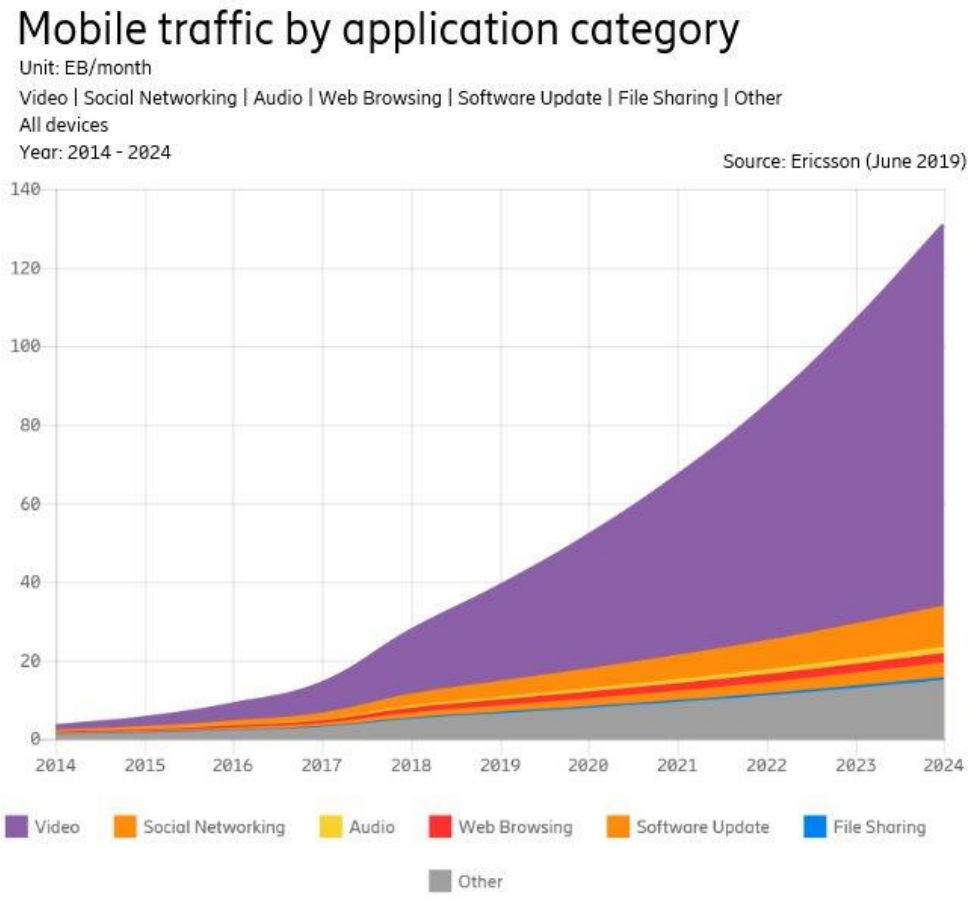


Figura 1: Volume di traffico mobile per categoria di applicazione (in exabyte = 1 miliardo di gigabyte, 10^{18}) (fonte: Ericsson) [1]

1.3 Numero dei collegamenti d'utente mobili in tutto il mondo

Figura 2 mostra l'evoluzione del numero di abbonamenti alle principali tecnologie mobili e il numero previsto di abbonamenti fino al 2024. Si stima che entro la fine del 2024 esisteranno 1,8 miliardi di abbonamenti 5G *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) in tutto il mondo, anche se gli abbonamenti LTE continueranno a rappresentare la fetta maggiore (circa 5 miliardi). Nell'Europa occidentale si prevede che entro la fine del 2024 vi saranno 220 milioni di abbonamenti 5G e 300 milioni di abbonamenti LTE.

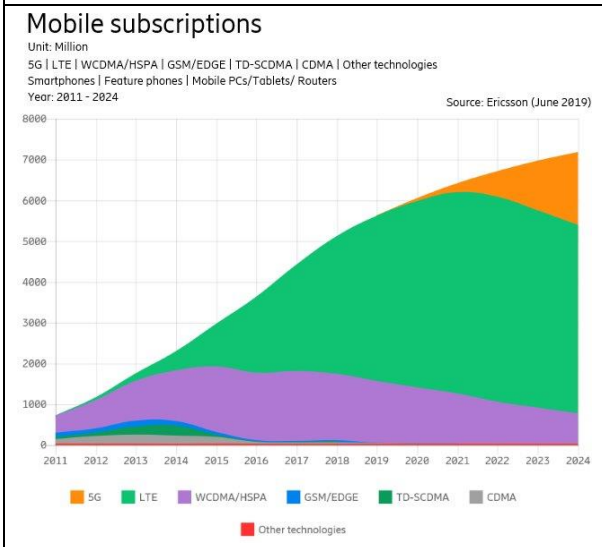
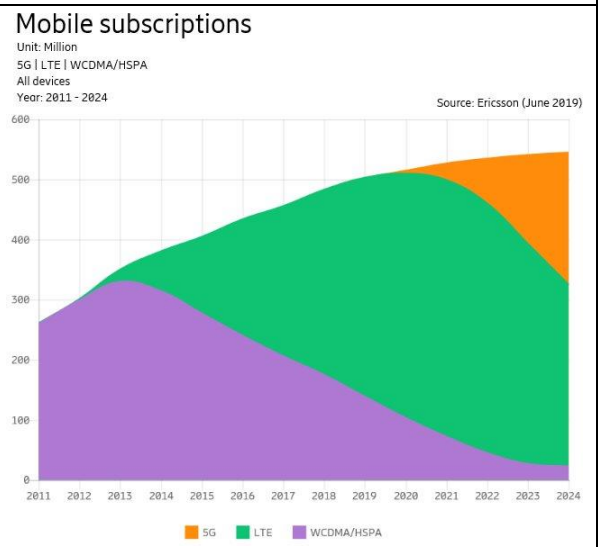
Tutto il mondo	**Europa occidentale**
	

Figura 2: Numero di abbonamenti di telefonia mobile in tutto il mondo e in Europa occidentale suddivisi per tecnologia di telefonia mobile (in milioni) (fonte: Ericsson) [1]

1.4 Quali Paesi impiegano il 5G?

Il numero di Paesi che investono nelle tecnologie 5G o che le testano eseguendo prove di laboratorio, sul campo e progetti pilota sta aumentando in modo significativo (Figura 3). Secondo la *Global Supplier Association* (GSA), l'associazione dei fornitori di componenti per reti mobili, nel luglio 2019 ben 293 operatori in 98 Paesi hanno lavorato all'introduzione del 5G.

La Commissione Europea ha commissionato un Osservatorio 5G per monitorare lo stato di introduzione del 5G nell'UE e nel resto del mondo. [2]

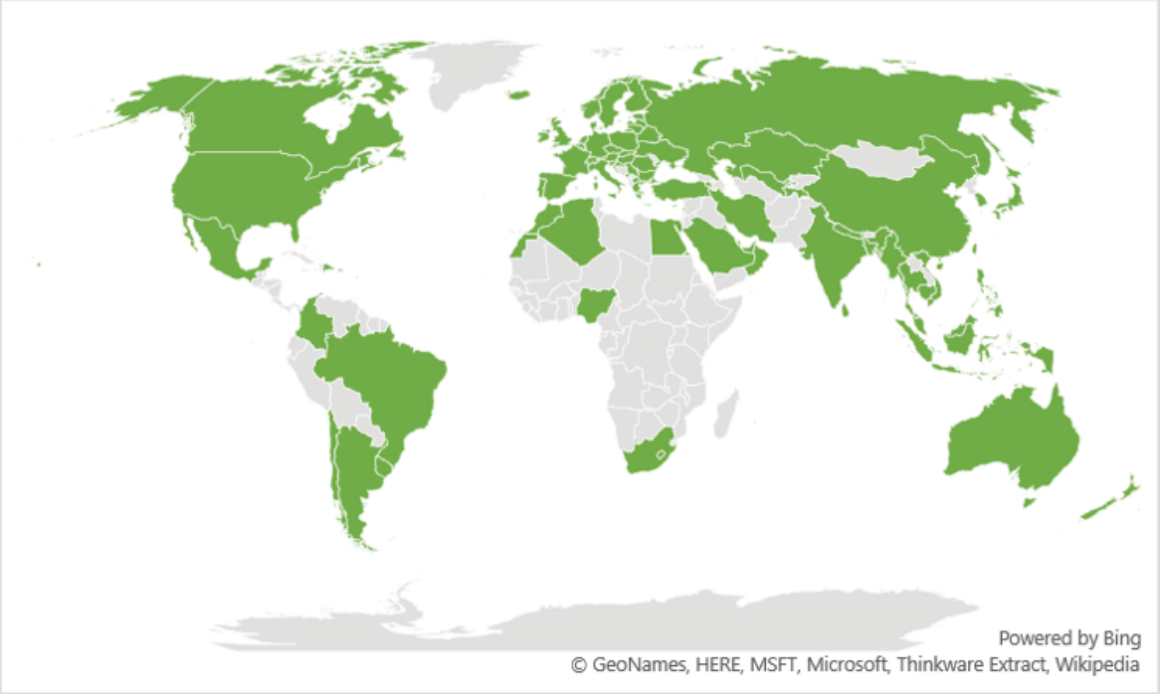


Figura 3: Paesi con operatori di rete che investono nel 5G (fonte: GSA) [3]

2 Scenari d'uso del 5G

L'Unione internazionale delle telecomunicazioni (UIT) prevede tre scenari d'uso per il 5G: una migliore comunicazione mobile a banda larga (*Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), una comunicazione estremamente affidabile con bassissima latenza (*Ultra-Reliable Low Latency Communication* URLLC) e le applicazioni IoT e M2M (*Massive Machine-Type Communication* mMTC) (vedi Figura 4). Le principali caratteristiche delle aree di applicazione sono descritte nella Tabella 1.

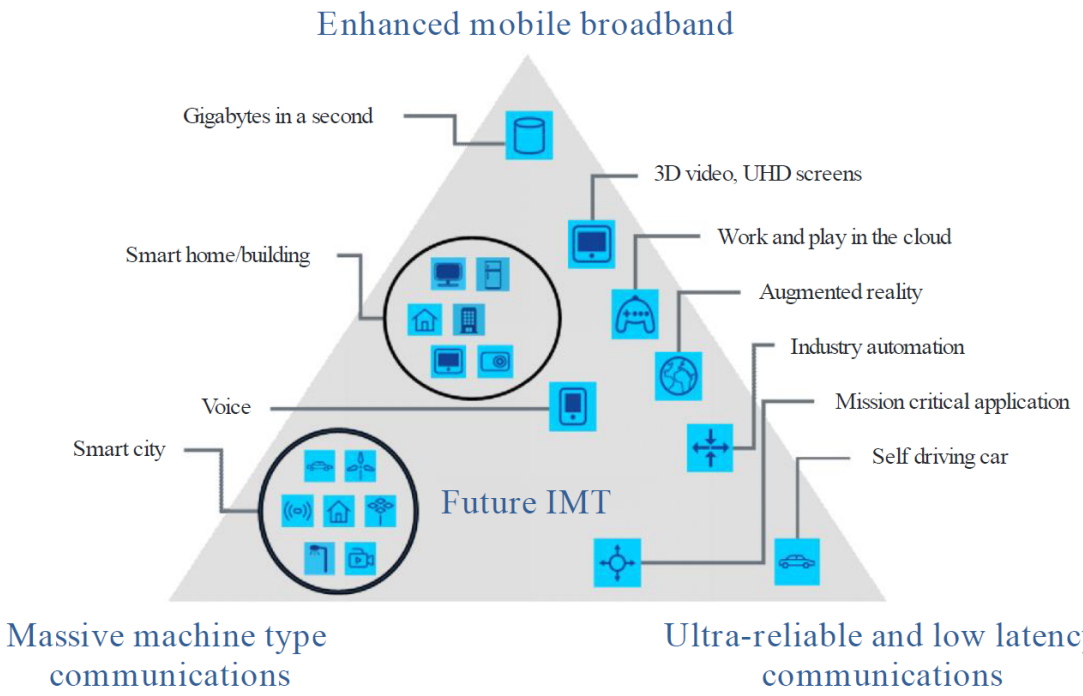


Figura 4: Ripartizione delle applicazioni 5G in tre scenari d'uso (fonte: UIT) [4]

Enhanced mobile broadband (eMBB)	**Massive Machine-Type Communication (mMTC)**	**Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC)**
Velocità di trasmissione dati elevate e variabili (fino a 20 Gbit/s), nonché un'elevata densità di utenti e mobilità (ad es. nei treni ad alta velocità). Il miglioramento dell'accesso mobile a banda larga consente una transizione sempre più fluida tra reti fisse e mobili.	Gran numero di dispositivi interconnessi (Internet delle cose, IoT) che tipicamente trasmettono un volume ridotto (pochi byte) di dati non critici (es. contatori dell'acqua). I dispositivi devono essere economici e avere un'autonomia molto lunga (durata della batteria fino a 10 anni).	Connessioni affidabili e/o time-critical con velocità di trasmissione assicurata, tempi di latenza garantiti di pochi millisecondi e una probabilità di guasto definita. Alcuni esempi sono il telecomando di macchine, la gestione dell'energia nelle reti intelligenti o il controllo dei veicoli.

Tabella 1: Caratteristiche principali degli scenari d'uso

I nuovi scenari d'uso e le innovative impongono alle reti esigenze tecniche molto diverse. Ad esempio, un'elevata velocità di reazione (breve latenza) è decisiva per i veicoli a guida autonoma, mentre la latenza gioca un ruolo meno importante per altre applicazioni, per le quali sono determinanti un'elevata velocità di trasmissione dati (ad es. per i servizi di streaming) o una probabilità di guasto definita (ad es. per i sistemi di allarme e il monitoraggio della produzione).

3 Tecnologia 5G

3.1 Standardizzazione

Il comitato di standardizzazione 3GPP (*3rd Generation Partnership Project)* sviluppa le specifiche e le norme per il sistema 5G. Il 3GPP è una cooperazione tra organizzazioni di standardizzazione e rappresentanti dell'industria e fa parte dell'Istituto europeo delle norme di telecomunicazione (ETSI) che ha sede nel sud della Francia.

A differenza dei precedenti sistemi di telefonia mobile, il 5G è stato standardizzato sulla base di scenari d'uso precedentemente definiti. La standardizzazione ha portato a parametri di comunicazione flessibili (capitolo 3.3) per offrire servizi dati diversi per i tre scenari d'uso descritti nella Tabella 1.

Nel giugno 2018, 3GPP ha pubblicato la specifica NR 5G per il funzionamento autonomo (vedi capitolo 3.2) come la Release 15 (Figura 5). Si tratta della prima specifica 5G. Le Release 16 e 17 sono in preparazione (stato: dicembre 2019).

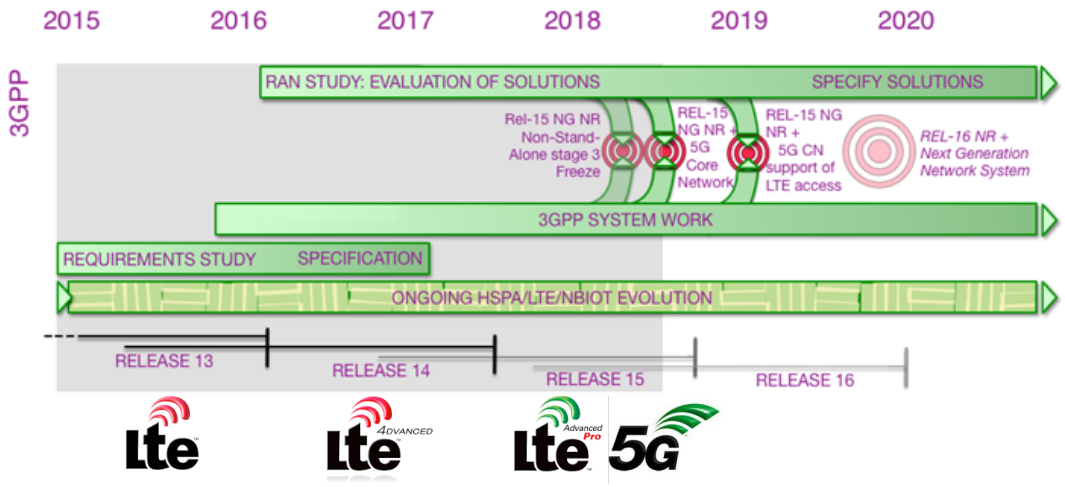


Figura 5: Tabella di marcia della standardizzazione 5G (fonte: ETSI / 3GPP)

3.2 Architettura del 5G

Un sistema di radiocomunicazione mobile è costituito essenzialmente dalla rete centrale (rete di trasporto e di controllo) e dalla rete di accesso radio (Figura 6). La rete centrale collega fra loro i siti di diffusione e trasporta i dati degli utenti e i segnali di controllo tra tali siti e le altre reti di telecomunicazione (altre reti telefoniche, Internet, ecc.). La rete centrale 4G è detta "Evolved Packet Core" (EPC), la rete centrale 5G "5G Core Network" (5G CN). La rete di accesso radio è costituita dai siti di trasmissione (stazioni base) e costituisce l'interfaccia con i terminali.

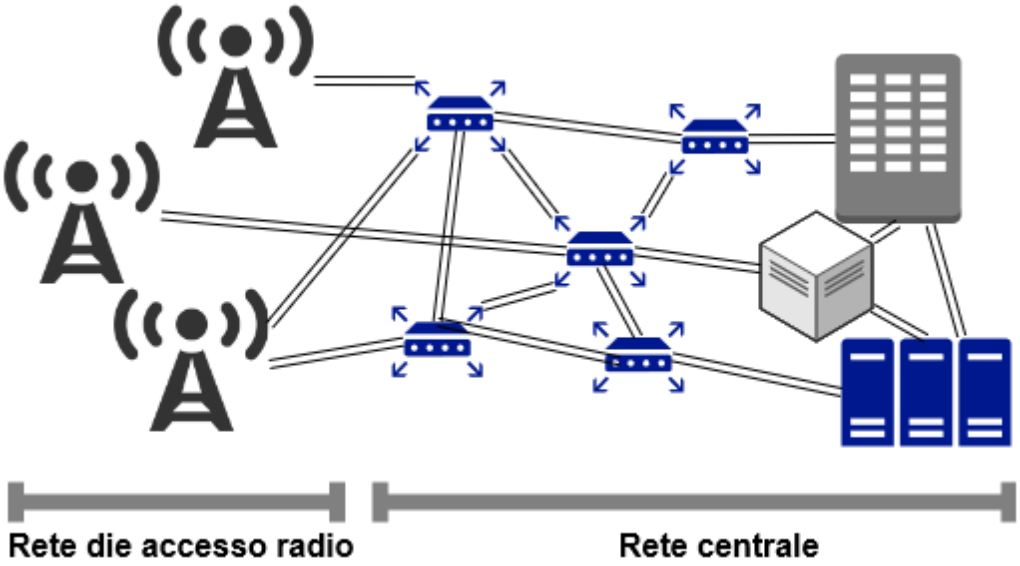


Figura 6: Architettura del 5G (fonte: UFCOM)

In conformità allo standard 5G, gli operatori di rete hanno le seguenti opzioni per il collegamento delle stazioni di base 5G (Figura 7):

a) L'architettura non standalone (NSA) utilizza la rete radio 4G e la rete centrale 4G esistenti. Si tratta di un primo passo verso l'implementazione completa del 5G, ma richiede una connessione simultanea via 4G (*Dual Connectivity*, DC).
b) Per l'opzione di implementazione standalone (SA), il sistema 5G è costituito dalla nuova rete centrale 5G (5GC o 5G CN) e dalla rete di accesso radio 5G (NR). I nodi LTE continueranno ad essere utilizzati come accesso alla rete 4G.

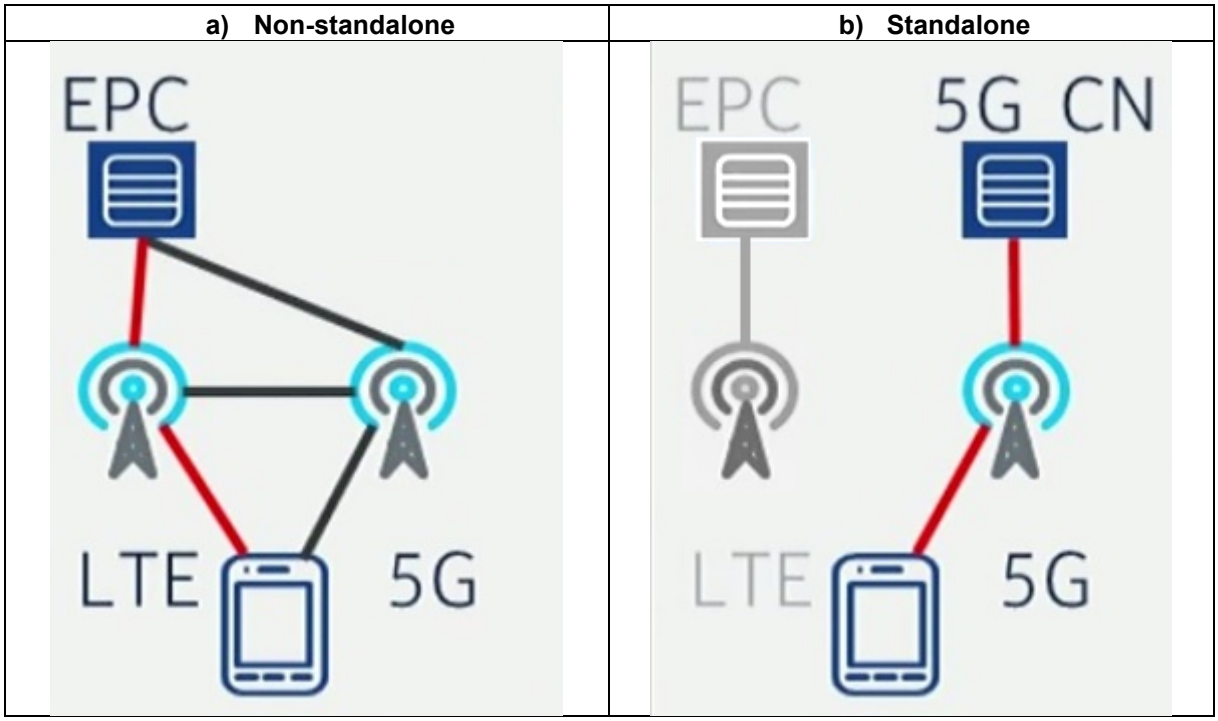


Figura 7: Le opzioni di implementazione dell'architettura 5G (fonte: 3GPP, UFCOM)

3.3 La rete di accesso radio

La rete di accesso radio stabilisce il collegamento tra la rete centrale (5G CN) e i terminali attraverso l'interfaccia aerea (5G NR). Le caratteristiche principali dell'interfaccia aria 5G-NR rispetto all'interfaccia aria LTE sono le seguenti [5]:

- multiplexing ortogonale a divisione di frequenza (OFDM) come tipo di modulazione in uplink[1] (uguale al downlink[2])
- Parametri di modulazione flessibili (OFDM) per nuovi scenari d'uso (vedi capitolo 2) e per l'utilizzo di future gamme di frequenza superiori a 6 GHz.
- Modulazione di ampiezza in quadratura con 1024 simboli (1024-QAM) per la comunicazione a banda larga con linea di vista tra le antenne di trasmissione e ricezione.
- Adattamento della struttura temporale del protocollo radio per ridurre la latenza, risparmiare energia e rendere più flessibile e veloce la disponibilità di risorse radio per l'accesso alla rete.
- Utilizzo di sistemi multi-antenna estesi (MIMO) per compensare l'attenuazione di propagazione del segnale trasmesso soprattutto, ma non solo, nelle frequenze più alte (da 3,6 GHz); 5G NR supporta fino a 32 antenne trasmittenti nella stazione di base e 4 antenne riceventi nel terminale (a seconda della banda di frequenza, vedi capitolo 3.3.1).
- Raggruppamento esteso delle portanti di frequenza per formare un'unica connessione (carrier aggregation, CA, cfr. capitolo 3.3.3).

3.3.1 MIMO

Il sistema multi-antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) è già stato utilizzato nelle precedenti generazioni di sistemi di telefonia mobile e giocherà un ruolo ancora più importante nel 5G.

[1] Il terminale invia, la stazione base riceve.

[2] Stazione base che trasmette, terminale che riceve.

Rispetto alla prima release LTE, dove potevano essere utilizzate fino a 4 antenne di trasmissione nella stazione base e 2 antenne di ricezione nel terminale, NR supporta fino a 32 antenne di trasmissione nella stazione base e 4 antenne di ricezione nel terminale (a seconda della banda di frequenza, vedi capitolo 4). Se possibile, i dati da trasmettere vengono ripartiti tra tutte le antenne trasmittenti e trasmessi in parallelo alle antenne riceventi. Nell'apparecchio terminale, i flussi di dati ricevuti in parallelo vengono combinati per formare le informazioni trasmesse.

L'uso di MIMO aumenta l'efficienza spettrale (bit rate per larghezza di banda del canale, Mbit/s/Hz). Con NR, MIMO viene utilizzato in ogni fase della trasmissione radio: ricerca di reti, allestimento delle connessioni, trasmissione dei segnali e dei dati, eccetera.

3.3.2 Beamforming

L'attenuazione del segnale di trasmissione in funzione della frequenza può essere parzialmente compensata dal direzionamento del segnale (beamforming), cioè dall'orientamento mirato dell'antenna di trasmissione verso i singoli terminali.

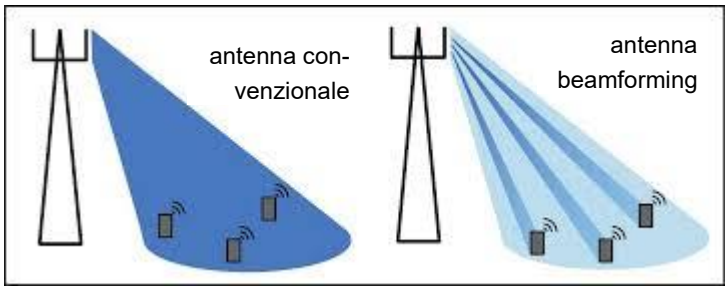


Figura 8: Campo radio con e senza beamforming (fonte: Cerclair)

In questo modo, mantenendo invariata la potenza di trasmissione della stazione base, è possibile generare un segnale di ricezione più forte nel terminale, ottenendo così una velocità di trasmissione dati più elevata.

3.3.3 Aggregazione delle portanti *(carrier aggregation)*

La carrier aggregation (CA) raggruppa due o più canali radio singoli (*component carrier*, CC) per ottenere larghezze di banda di trasmissione maggiori. La CA non è nuova per il 5G NR, ma è già stata inclusa nelle specifiche tecniche dell'LTE dalla release 10. Tuttavia, nella versione 15 è stata estesa alla 5G NR rispetto alle generazioni precedenti. I singoli canali aggregati possono trovarsi l'uno accanto all'altro nella stessa banda di frequenza (configurazione intrabanda contigua), nella stessa banda di frequenza con un intervallo di frequenza (configurazione intrabanda non contigua) o in bande di frequenza diverse (configurazione interbanda) (Figura 9).

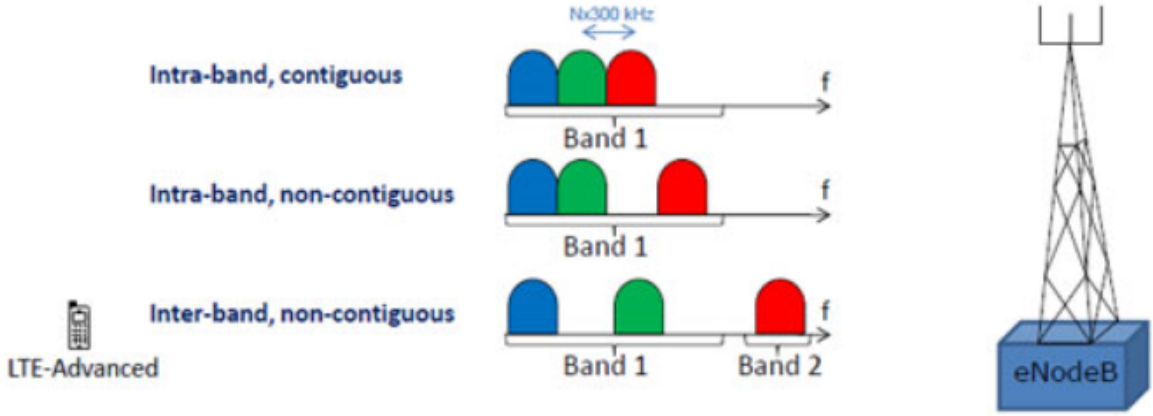


Figura 9: Raggruppamento di canali radio singoli e consecutivi tra la stazione base (eNodeB) e il terminale utilizzando l'esempio di LTE-Advanced (fonte: 3GPP).

Il 5G NR consente inoltre l'utilizzo in bundle di vettori con diverse combinazioni di parametri di modulazione. Secondo la release 15, possono essere aggregati fino ad un massimo di 16 vettori NR 5G per formare una connessione. Il numero di canali singoli 5G NR aggregati è configurabile in modo indipendente per il downlink e l'uplink.

Le specifiche tecniche TS 38.101 del 3GPP riportano in tabelle le possibili combinazioni di banda per la CA [6].

3.3.4 Velocità di trasmissione dati

La velocità di picco è la velocità di trasmissione dati più elevata (in bit/s) che può essere raggiunta in condizioni ideali, ossia la massima quantità di bit di dati per unità di tempo che può essere ricevuta da un singolo terminale nell'ipotesi di una trasmissione senza errori se tutte le risorse radio allocabili ad una connessione sono utilizzate per la corrispondente direzione del segnale.
La velocità minima definisce invece la velocità di trasmissione dei dati degli utenti necessaria ad ottenere una qualità sufficiente.
Le esigenze quanto a velocità di trasmissione dati dipendono dallo scenario di applicazione del sistema 5G: in aree urbane e rurali, in uffici e appartamenti, in treni ad alta velocità o in occasione di grandi eventi. Le velocità di trasmissione dati percepite in alcuni scenari sono riassunte nella Tabella 2.

	Scenario	Velocità di trasmissione percepita (DL)	Velocità di trasmissione percepita (UL)	Volume di dati per area (DL)	Volume di dati per area (UL)	Densità totale degli utenti	Fattore di attività	Velocità di spostamento del terminale utente	Copertura
1	Macro celle in aree urbane	50 Mbit/s	25 Mbit/s	100 Gbit/s/km^2 (Nota 4)	50 Gbit/s/km^2 (Nota 4)	10 000/km^2	20%	Pedoni e utenti a bordo di veicoli (fino a 120 km/h)	Rete completa (nota 1)
2	Macro celle in aree rurali	50 Mbit/s	25 Mbit/s	1 Gbit/s/km^2 (Nota 4)	500 Mbit/s/km^2 (Nota 4)	100/km^2	20%	Pedoni e utenti a bordo di veicoli (fino a 120 km/h)	Rete completa (nota 1)
3	Indoor-Hotspot	1 Gbit/s	500 Mbit/s	15 Tbit/s/km^2	2 Tbit/s/km^2	250 000/km^2	Nota 2	Pedoni	Ufficio e appartamento (note 2 e 3)
4	Accesso a banda larga per assembramenti di utenti	25 Mbit/s	50 Mbit/s	3,75 Tbit/s/km^2	7,5 Tbit/s/km^2	500 000/km^2	30%	Pedoni	Area limitata
5	Area urbana densa	300 Mbit/s	50 Mbit/s	750 Gbit/s/km^2 (Nota 4)	125 Gbit/s/km^2 (Nota 4)	25 000/km^2	10%	Pedoni e utenti a bordo di veicoli (fino a 60 km/h)	Centro città (osservazione 1)
6	Servizi di radiodiffusione	massimo 200 Mbit/s (per canale TV)	Non percepito o lieve (ad es. 500 kbit/s per utente)	N/A	N/A	Emittenti TV con 20 Mbit/s su un vettore	N/A	Utenti stazionari, pedoni e utenti a bordo di veicoli (fino a 500 km/h)	Rete completa (Nota 1)
7	Treni ad alta velocità	50 Mbit/s	25 Mbit/s	15 Gbit/s/treno	7,5 Gbit/s/treno	1000/treno	30%	Utenti a bordo di treni (fino a 500 km/h)	Lungo la ferrovia (Nota 1)
8	Veicoli ad alta velocità	50 Mbit/s	25 Mbit/s	100 Gbit/s/km^2	50 Gbit/s/km^2	4000/km2	50%	Utenti a bordo di veicoli (fino a 250 km/h)	Lungo le strade (Nota 1)
9	Aereoplani	15 Mbit/s	7,5 Mbit/s	1,2 Gbit/s/aereo	600 Mbit/s/aereo	400/aereo	20%	Utenti a bordo di aerei (fino a 1 000 km/h)	(Nota 1)

I valori riportati in questa tabella sono indicativi e non rappresentano esigenze rigorose.

NOTA 1: Il dispositivo di un utente che si trova in un veicolo può essere collegato alla rete direttamente o tramite un router radio mobile nel veicolo.

NOTA 2: Si presume un certo mix di traffico. Solo pochi utenti utilizzano servizi che richiedono la velocità di trasmissione dati più elevata.

NOTA 3: Per i servizi audio e video interattivi, come le riunioni virtuali, è richiesta una latenza end-to-end (UL e DL) da 2-4 ms, mentre la corrispondente velocità di trasmissione dei dati percepita per i video 3D fino a 8K deve essere di circa 300 Mbit/s in uplink e downlink.

NOTA 4: Questi valori sono derivati in base alla densità totale degli utenti. Informazioni dettagliate si trovano nel documento di riferimento.

Tabella 2: Requisiti prestazionali per scenari con elevate velocità di trasmissione dati e densità di traffico [7]

3.3.5 Latenza

La latenza è il tempo necessario in una rete per trasmettere dati da un punto all'altro. In una rete mobile, si tratta del tempo necessario per trasferire dati utente, comandi di controllo della rete, ecc. tra la stazione base e il terminale.

La latenza complessiva di una trasmissione dipende dal ritardo a livello dell'interfaccia aerea, della trasmissione all'interno della rete centrale, della trasmissione ad un server che può trovarsi al di fuori del sistema 5G e dal tempo di elaborazione della richiesta sul server. Ogni segmento di percorso e ogni elemento di rete coinvolto contribuisce quindi alla latenza complessiva. Alcuni di questi fattori dipendono direttamente dal sistema 5G stesso, altri no (vedi capitolo 3.6).

Anche se la velocità di trasmissione dati possibile è elevata, una forte latenza può rallentare la trasmissione dei dati e dare l'impressione di una "connessione lenta". Si pensi al tempo che intercorre tra il clic del mouse su una pagina web (richiesta) e il caricamento della pagina web desiderata.

Il 5G è stato anche chiamato "radiocomunicazione in tempo reale", poiché per i servizi di telecomunicazione si possono ottenere tempi di risposta molto brevi. Con il 5G NR, la latenza più breve tra l'antenna di telecomunicazione mobile e il terminale è di 1 millisecondo per le applicazioni URLLC e di 4 millisecondi per le applicazioni eMMB. A titolo comparativo: un battito di ciglia umano dura circa 100 millisecondi. Una breve latenza dell'interfaccia aerea permette alle applicazioni di funzionare in tempo reale, come la realtà aumentata, la realtà virtuale, l'automazione, il controllo remoto, il feedback tattile immediato, eccetera.

3.4 La rete centrale 5G CN

Per soddisfare le nuove esigenze delle applicazioni occorre una nuova rete centrale (cfr. capitolo 2). Una rete centrale è dotata di funzioni per il suo controllo e serve inoltre al trasporto dei dati utente. Mentre nel 4G le funzioni di rete erano ancora permanentemente implementate nella rete centrale, nel 5G sono ora disaccoppiate l'una dall'altra e dalla rete centrale (es. separazione dei livelli di controllo e di utenza, funzione di autenticazione stand-alone, gestione della mobilità separata). Il disaccoppiamento delle funzioni di rete ne consente la virtualizzazione. In altre parole, queste funzioni non sono più eseguite su un'infrastruttura di rete centrale specializzata (hardware), ma vengono eseguite da qualsiasi luogo tramite software in un data center (cloud). La virtualizzazione sarà una delle tecnologie chiave per fornire servizi altamente gestiti, sicuri e affidabili a costi inferiori e rispondere con agilità alle esigenze dei clienti.

3.5 Network slicing

Data l'ampia gamma di scenari d'uso e applicazioni del 5G, questa tecnologia deve soddisfare contemporaneamente diverse esigenze. Ma invece di allestire una rete dedicata ad ogni applicazione, tagliata su misura per ciascun cliente (commerciale o meno), come ad esempio una rete specifica per le sole organizzazioni di soccorso, la rete mobile è divisa in segmenti (network slicing). Ognuno di questi segmenti può essere considerato come una rete indipendente, con le proprie caratteristiche e funzioni. In questo modo è possibile implementare contemporaneamente più reti mobili virtuali dedicate, tutte basate su un'infrastruttura fisica comune. A seconda del servizio di telecomunicazione richiesto, i terminali vengono "collegati" ai segmenti corrispondenti. Ad esempio, un telefono cellulare che richiede un servizio di streaming HD utilizza, tra l'altro, il segmento multimediale (Figura 10).

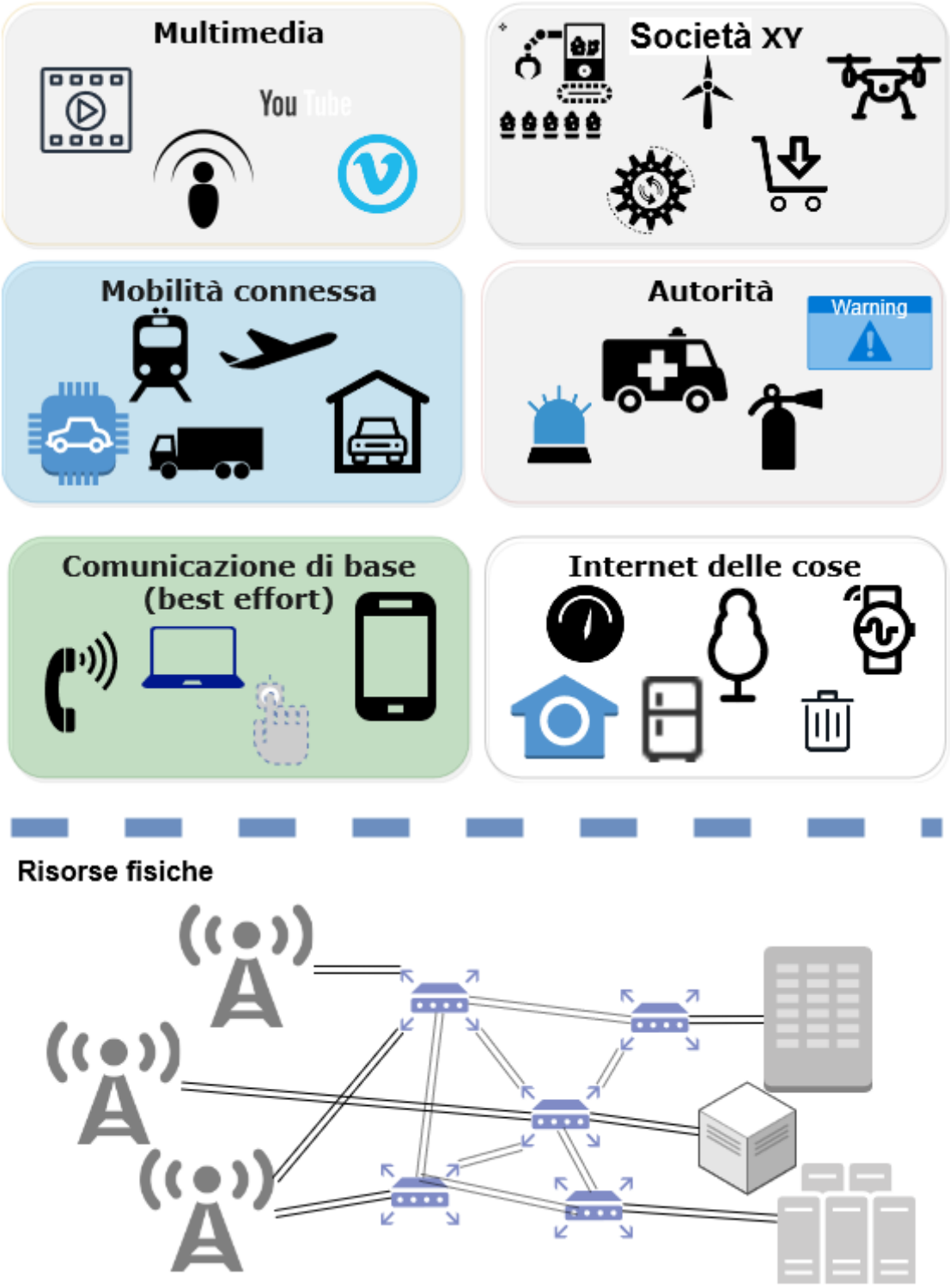


Figura 10: **Concetto di network slicing con reti di radiocomunicazione mobile virtuali parallele per diverse applicazioni (fonte: UFCOM)**

3.6 Hosting locale dei servizi ed Edge Computing

Una riduzione significativa della latenza di un servizio può essere ottenuta attraverso operazioni di "hosting locale" ed "edge computing", cioè l'elaborazione decentralizzata dei dati nella periferia della rete.

Sulla piattaforma per l'hosting locale "5G Service Hosting Environment" il software per la fornitura dei servizi agli utenti finali può essere ospitato e reso operativo nei pressi del terminale. Questi percorsi di trasmissione più brevi consentono di ridurre la latenza e di sgravare la rete centrale.

4 Frequenze

Alla Conferenza mondiale delle radiocomunicazioni 2019 (WRC-19), nella maggior parte dei Paesi per le reti mobili sono state definite le bande di frequenza 24.25-27.5 GHz, 37-43.5 GHz, 45.5-47 GHz, 47.2-48.2 GHz e 66-71 GHz. Ogni Paese può decidere autonomamente come utilizzare queste gamme di frequenza.

Tra le nuove frequenze definite alla WRC-19, 24.25-27.5 GHz, 40.5-43.5 GHz e 66-71 GHz sono le gamme più rilevanti per la Svizzera. Al momento non è ancora stato definito quando e come queste bande di frequenza potranno essere utilizzate in futuro.

In Svizzera, nel 2012 sono state messe all'asta le frequenze di telefonia mobile 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz e 2600 MHz e nel 2019 le frequenze 700 MHz, 1400 MHz e 3500-3800 MHz. Le concessioni sono concepite per essere neutre dal punto di vista tecnologico, in modo che gli operatori concessionari possano scegliere liberamente la tecnologia per la fornitura di servizi di telecomunicazione mobili (2G, 3G, 4G e 5G). A tale proposito si veda la Tabella 3.

Secondo la specifica 3GPP (release 15), il 5G NR può funzionare fondamentalmente in due gamme di frequenza: 450-6000 MHz (FR1) e 24 250-52 600 MHz (FR2). [6]

A livello europeo per l'introduzione del 5G sono state definite varie bande di frequenza "sperimentali" comprendenti frequenze con caratteristiche diverse affinché possano essere soddisfatte le svariate esigenze poste al 5G:

- Frequenze inferiori a 1 GHz, in particolare la banda dei 700 MHz: queste gamme di frequenza presentano un buon raggio di copertura (ad es. buona penetrazione negli edifici [*Deep Indoor*]) e sono quindi adatte alla copertura di aree. [8]
- Frequenze tra 1 GHz e 6 GHz, in particolare la banda dei 3,5 GHz: a causa della maggiore quantità di frequenze disponibili e della loro portata ridotta, queste bande di frequenza sono essenziali per l'introduzione del 5G in Europa e si prestano per le macro celle e per le piccole celle. [9]
- Nuove e più ampie gamme di frequenza al di sopra dei 6 GHz, in particolare la banda dei 26 GHz [10]: rispetto a quelle al di sotto dei 6 GHz, queste gamme di frequenza hanno una quantità ancora maggiore di frequenze disponibili, ma la loro portata è minore. Pertanto, sono principalmente adatte per l'espansione della capacità locale con piccole celle e micro celle in stazioni ferroviarie, stadi, in occasione di grandi eventi, eccetera.

Banda operativa NR	**Uplink (UL) *banda operativa*** **(stazione base riceve / dispositivo utente emette)**	**Downlink (DL) *banda operativa*** **(stazione base emette / dispositivo utente riceve)**	**Modalità duplex**
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n28	703 MHz – 733 MHz	758 MHz – 788 MHz	FDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n75	non disponibile	1432 MHz – 1517 MHz	SDL (1)
n76	non disponibile	1427 MHz – 1432 MHz	SDL (2)
n78	3500 MHz – 3800 MHz	3500 MHz – 3800 MHz	TDD
FDD: duplex a divisione in frequenza SDL (1): downlink complementare alle bande operativi NR n8, n28 e n78 SDL (2): downlink complementare alla banda operativa n78 TDD: duplex a divisione temporale			

Tabella 3: Frequenze attualmente utilizzabili in Svizzera con il 5G NR

5 Abbreviazioni

3GPP	Third Partnership Project
CA	Aggregazione delle portanti *(carrier aggregation)*
CC	Component Carrier
DC	Dual Connectivity
DL	Downlink
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
EPC	Evolved Packet Core
FDD	Frequency Division Duplex
FR	Frequency Range
GHz	Gigahertz (10^9 Hertz)
IMT	International Mobile Telecommunications
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunication Union
IP	Internet Protocol
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine Communication
MHz	Megahertz (10^6 Hertz)
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	Massive Machine-Type Communication
MTC	Machine-Type Communication
NR	New Radio
NSA	Non-standalone
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
RAN	Radio Access Network
SA	Standalone
SDL	Supplemental Downlink
TDD	Time Division Duplex
UL	Uplink
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WRC	World Radio Conference

6 Riferimenti

[1] Ericsson Mobility Visualizer https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobility-visualizer

[2] EU 5G-Observatorium https://5gobservatory.eu/

[3] GSA report – Evolution of LTE to 5G, August 2019 Update

[4] ITU-R Recommendation M.2083, IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, September 2015

[5] 3GPP TS 38.211; NR Physical channels and modulation (Release 15)

[6] 3GPP TS 38.101; NR User Equipment (UE) radio transmission and reception

[7] 3GPP TS 22.261; Service requirements for the 5G system; Stage 1 (Release 15)

[8] Decisione (UE) 2017/899 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 maggio 2017, relativa all'uso della banda di frequenza 470-790 MHz nell'Unione
IT: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32017D0899

[9] Decisione della Commissione, del 21 maggio 2008 , relativa all'armonizzazione della banda di frequenze 3400 - 3800 MHz per i sistemi terrestri in grado di fornire servizi di comunicazioni elettroniche nella Comunità
IT: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32008D0411

[10] Decisione di esecuzione (UE) 2019/784 della Commissione, del 14 maggio 2019, relativa all'armonizzazione della banda di frequenze 24,25-27,5 GHz per i sistemi terrestri in grado di fornire servizi di comunicazione elettronica a banda larga senza fili nell'Unione
IT: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32019D0784