



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**

**corso di laurea triennale in ingegneria  
delle telecomunicazioni**

**TESI DI LAUREA**

**SISTEMI RADIOMOBILI DI QUINTA  
GENERAZIONE**

**Relatore: ROBERTO CORVAJA**

**Laureando: BERTRAND NEMBOT WAFFO**

**Anno Accademico 2012/2013**

## INDICE GENERALE

1. Introduzione .....	4
2. Sistemi di prima generazione (1G).....	5
3. Sistemi di seconda generazione(2G).....	7
4. Sistemi di terza generazione(3G).....	10
4.1 UMTS.....	10
4.2 HSDPA-High Speed Downlink Packet Access.....	11
4.3 HSOPA-High Speed OFDM Packet Access.....	13
4.4 Sistemi transitori 3G - 4G.....	14
4.4.1 Long-Term Evolution (LTE).....	14
4.4.2 Mobile WiMAX (IEEE 802.16e) [25].....	16
5. Sistemi di quarta generazione.....	18
5.1 LTE Advanced.....	18
5.2 Mobile WiMAX Advanced, IEEE 802.16m.....	19
6. 5G Mobile Communications.....	21
6.1 Perché vi è la necessità del 5G?.....	21
6.2 5G sfide principali di sviluppo:.....	22
6.2.1Cognitive Radio: nuove modalità di utilizzo dello spettro.....	22
6.2.2 Software Defined Radio (SDR)-riconfigurabilità enabler....	23
6.2.3 Riconfigurabile-interoperabilità tra diversi tipi di rete di accesso wireless.....	24
6.2.4 Adaptive Accoppiamento-riconfigurabile-integrazione.....	26
6.2.5 Rete Ad alta efficienza energetica.....	27
6.2.6 Machine-Type Communication.....	27
6.2.7 Nanotecnologie.....	28

6.2.8 Rete Tutta IP.....	29
6.2.9 Il cloud computing.....	30
6.3 Una proposta di 5G Network Architetture.....	31
6.3.1 Reconfigurable-Multimode-Terminal.....	31
6.3.2 Reconfigurable multi-technology core.....	35
7. Conclusione.....	39
8. Bibliografia.....	40

# 1. INTRODUZIONE

Un sistema di comunicazione con mezzi mobili (o anche sistema radiomobile) è un sistema di telecomunicazioni in cui è possibile mantenere la connessione o il collegamento tra due o più utenti anche in situazioni di mobilità totale o parziale degli utenti stessi. Convenzionalmente, si fa coincidere la nascita delle comunicazioni con mezzi mobili con l'invenzione della modulazione di frequenza FM (frequency modulation) avvenuta nel 1935 da E. H. Armstrong. I sistemi radiomobili sono in continua evoluzione dalla creazione del 1G (prima generazione) fino alla 4G (quarta generazione). Le Generazioni cellulari differiscono, in generale, in quattro aspetti principali: accesso radio, velocità di trasmissione dati, la larghezza di banda e sistemi di commutazione. Faremo un breve ripasso sui sistemi radiomobili dalla 1G fino alla 4G cercando di mostrare gli elementi essenziali che hanno spinto a questa evoluzione. Nel corso del nostro studio l'attenzione sarà rivolta alla descrizione delle principali caratteristiche al livello di rete e modulazione dei nuovi sistemi che si propongono per la 5 generazione.

## **2. SISTEMI DI PRIMA GENERAZIONE (1G)**

I sistemi cellulari di prima generazione sono stati introdotti all'inizio del 1980 in cui erano quasi tutti sistemi analogici, e utilizzavano la tecnologia di modulazione di frequenza per la trasmissione radio. I primi sistemi analogici di telefonia mobile vennero sviluppati in via sperimentale verso la fine degli anni 40 in diverse parti del mondo. Essi impiegavano formati di segnalazione e di controllo differenti ed incompatibili tra di loro. Tipicamente si trattava di apparati di tipo analogico destinati a servire aree geografiche particolari, ed aventi capacità di servizio assai limitate (alcune decine di canali, con interruzioni del servizio quando si usciva dall'area di copertura della Base Station Transceiver(BTS)), nonché prestazioni (in termini di efficienza energetica e spettrale) non sempre soddisfacenti. Questi sistemi prevedevano la suddivisione del territorio in zone geografiche autonome, ciascuna delle quali era coperta da una BTS con l'impiego di tutte le frequenze assegnate al servizio. L'area di copertura della BTS doveva essere la più estesa possibile, e ciò implicava l'impiego di potenze di trasmissione adeguatamente elevate. Una grave limitazione di questo sistema era, come già accennato, la necessità che la mobile station (MS) aveva di reiterare la chiamata quando usciva dall'area di copertura della BTS. Inoltre il numero massimo di MS attivi all'interno di ogni area di copertura era limitato al numero dei canali (cioè delle frequenze) assegnate al servizio, con conseguente bassa densità geografica di utenti. La tecnica di accesso al mezzo, cioè alla banda o porzione di banda di frequenze allocate al servizio radiomobile, era di tipo Frequency Division Multiple Access (FDMA).

Essa consiste nel suddividere la banda frequenziale disponibile per il sistema in  $M_F$  sotto bande, in genere adiacenti, ad ognuna delle quali corrisponde un canale fisico utilizzabile per la trasmissione o ricezione del segnale.

### 3. SISTEMI DI SECONDA GENERAZIONE(2G)

In Europa e grande parte del resto del mondo, il sistema globale per le comunicazioni mobili GSM[13] ha guadagnato popolarità come sistema digitale 2G con trasmissione dati fino a 9,6kbit/s. GSM è stato introdotto nel 1990 e poi si è evoluto nel 1995 con General Packet Radio Service(GPRS)[1] dove GPRS è una tecnologia radio per le reti GSM che aggiunge la commutazione di pacchetto.

La rete GPRS è considerato come 2.5G e differisce dalla architettura GSM, Figura1, con l'aggiunta di due nuovi elementi di rete, vedere Figura 2:

- Il Serving GPRS Support Node (SGSN): svolge funzioni di sicurezza, gestione della mobilità e controllo degli accessi. SGSN risiede allo stesso livello gerarchico come MSC visitato (VMSC)/ VLR
- Il Gateway GPRS Support Node (GGSN): utilizzato per inter-operare con le reti a commutazione di pacchetto esterni. GGSN ha funzioni paragonabili a un gateway MSC (GMSC) e svolge funzioni comparabili, quali il routing e la gestione della mobilità.

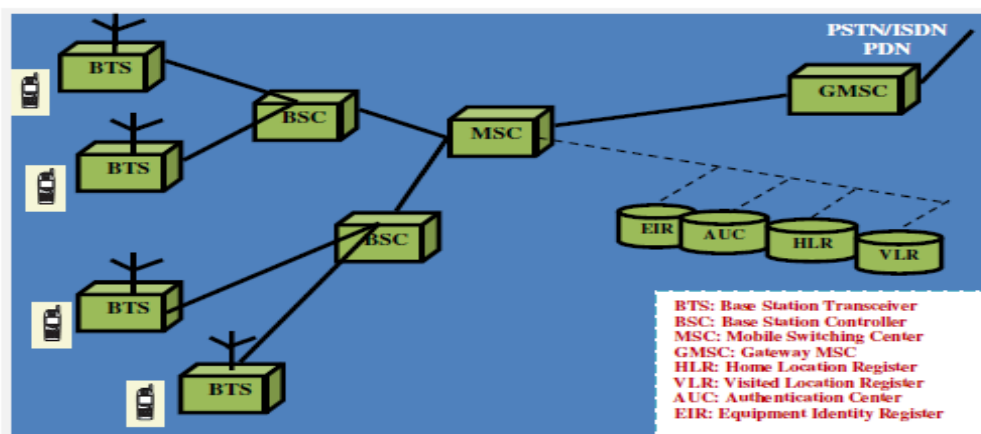


Figura 1: GSM General Architecture Network.

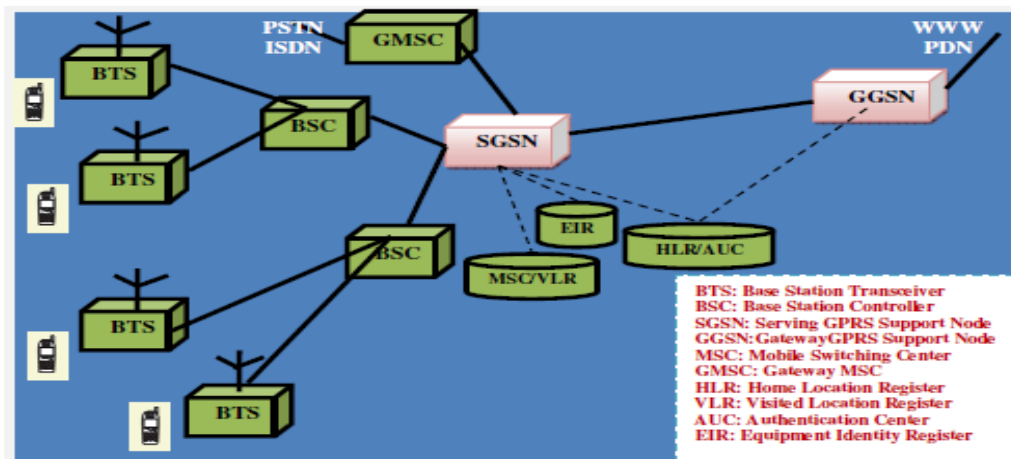


Figura 2: Generale GPRS Architettura di rete .

Esistono quattro schemi di codifica (CS1, CS2, CS3 e CS4) per GPRS con il più alto (CS4) che richiede segnale radio eccellente (rapporto portante/interferenza di 27dB) e fornisce un rate di utente fino a 21,4kbit/s per slot , permettendo teorica data rate di picco di 171.2kbit/s; 8 time slot per 21,4. Tuttavia, per raggiungere la velocità di trasmissione dati massima, un singolo utente deve utilizzare tutti otto slot. Questo non è realistico in una realizzazione pratica GPRS, di conseguenza il tasso dati reale è molto più basso. GPRS consente l'utilizzo efficiente delle risorse radio, ma soffre di gravi ritardi di transito come i pacchetti vengono inviati in diverse direzioni per raggiungere la stessa destinazione causando la perdita dei pacchetti o la corruzione degli stessi. Il sistema EDGE[14] (Enhanced Data rate)for GSM Evolution è stato sviluppato per spianare la strada a sistemi di terza generazione. L'EDGE, considerato come 2.75G, consente agli operatori 2G di utilizzare le bande radio 2G esistenti per offrire servizi basati su IP e le applicazioni multimediali wireless e competere con gli operatori 3G, offrendo servizi di dati simili. Velocità



teoriche possono raggiungere più di 470kbit/s con un bit-rate di 59,2kbit/s per ogni fascia oraria in buone condizioni radio. EDGE utilizza la stessa trama TDMA e larghezza di banda del canale come reti GSM. Tuttavia, usa 8-PSK, piuttosto che normale GMSK utilizzato dal GSM o GPRS. Per eseguire l'aggiornamento da GPRS, una unità ricetrasmittente EDGE è da aggiungere a ogni cella e aggiornamenti software remoti viene ricevuto da stazioni di base. Questa è la differenza principale in un'architettura di rete con quella del GPRS. Negli Stati Uniti, tre standard per i sistemi 2G, diversi da quelli in Europa, esistono: (TDMA) standard basato (IS-136), (CDMA) standard basato (IS-95) e GSM derivati, Personal Communication Services (PCS) 1900.

## **4. SISTEMI DI TERZA GENERAZIONE(3G)**

### **4.1 UMTS**

Le più importanti proposte internazionali come successore del GSM sono l'UMTS (W-CDMA)[16]. Licenze UMTS sono state raggruppate in tutta Europa e in Asia. Per l'interoperabilità con le reti del Nord America, un altro gruppo noto come 3GPP2 è stato costituito per sviluppare le specifiche globali per reti 3G. Un gruppo di operatori internazionali noto come l'armonizzazione gruppo operatore (LAV) ha suggerito l'armonizzazione del 3GPP e 3GPP2, i concetti, e quindi lo sviluppo di un Global terza generazione (G3G) per consentire l'interoperabilità delle reti di tutto il mondo. UMTS [17] differisce dal GSM fase 2 + (2,5 e 2,75 G), per lo più nei nuovi principi per la trasmissione di interfaccia radio, (W-CDMA, invece di TDMA / FDMA). L'accesso all'interfaccia aria per Mobili (UE) è fornito dal UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN).

Due nuovi elementi di rete sono stati introdotti in UTRAN: RNC (Radio Network Controller) e il nodo B, Figura 3. Il RNC è collegato ad un insieme di elementi Node B, ciascuno dei quali può servire una o più celle. Accesso al canale di UE è fornito da UTRAN e l'architettura di rete di base di UMTS è basata sul core GSM con aggiornamenti GPRS. Tuttavia, tutte le apparecchiature devono essere modificate per il funzionamento con servizi UMTS. La rete principale è divisa in commutazione di circuito e di pacchetto . Alcuni degli elementi di commutazione di circuito sono (MSC), (VLR) e Gateway MSC. Packet switched sono elementi (SGSN) e (GGSN). Altri nodi, come EIR, l'AUC e la HLR della rete sono condivisi da entrambi i domini. La rete centrale svolge funzioni di trasmissione e di commutazione

e contiene le basi di dati e le funzioni di gestione della rete.

I sistemi 3G offrono elevate velocità di trasferimento dati fino a 2Mbit/s, oltre 5MHz larghezza di banda del canale, a seconda di mobilità e/o la velocità, e l'alta efficienza dello spettro. La velocità di dati supportata da reti 3G dipende anche dal contesto in cui la chiamata viene effettuata; 144kbit/s in TV e all'aperto rurale, 384kbit/s in arie urbana e 2048kbit/s nella gamma interna e bassa all'aperto. Le due modalità duplex; (TDD) e (FDD)[18] sono supportate da UMTS Terrestrial Radio Accesso, TDD per la micro e pico celle e FDD per celle macro.

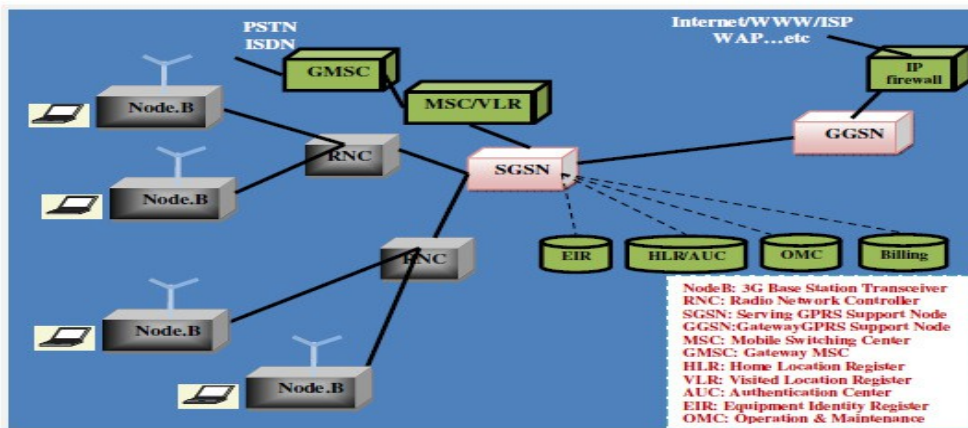


Figura 3: Architettura di rete UMTS generale.

## 4.2 HSDPA-HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS

HSDPA (Release 5 evoluzione dell'UMTS[4] ) è considerato come 3.5G con velocità di picco offerta di 14.4Mbit/s (con 2x2 antenne) nel canale 5MHz in downlink. Velocità di trasferimento dati di picco potrebbe essere più dipendente dal numero di antenne in trasmissione e antenne in ricezione;

nel 3GPP Release 7, denominata HSPA (High-Speed Packet Access) evoluto, la tecnologia di array di antenne è stata introdotta come il beam-forming e Multiple Input Multiple Output, raggiungendo velocità di trasferimento dati fino a 42Mbit/s. Le nuove tecnologie in HSDPA includono:

- Breve lunghezza frame(Static TTI lunghezza di 3 Slot time = 2ms) per accelerare ulteriormente lo scheduling dei pacchetti per la trasmissione.
- Nuovo tipo di canale di trasporto, noto come High Speed Downlink Shared Channel(HS-DSCH) per facilitare la condivisione dei canali radio tra più utenti.
- Ritrasmissioni veloci; la richiesta viene elaborata in Node-B che fornisce la risposta più veloce possibile. Ridondanza incrementale è utilizzato anche per ridurre al minimo il carico causato da ritrasmissioni.
- Scheduling veloce; schedulazione della trasmissione di pacchetti di dati attraverso l'interfaccia aerea viene eseguita in Node-B basato su: qualità di canale, capacità terminale, QoS class e potenza/disponibilità di codice. Inoltre, una breve lunghezza di frame è utilizzato, permettendo scheduling per essere il più veloce possibile.
- Adaptive modulazione e codifica-AMC; gli schemi di modulazione e di codifica sono aggiornate in base alla qualità della connessione radio. Mentre il tasso di codifica può variare tra 1/4 e 3/4, il fattore di allargamento rimane fisso.
- Ripetitore ibrido automatico Request-H-ARQ; meccanismo di H-ARQ riduce il ritardo e aumenta l'efficienza di ritrasmissione.

### **4.3 HSOPA-HIGH SPEED OFDM PACKET ACCESS.**

HSOPA è una parte del progetto di Long Term Evolution del 3GPP (LTE) [21], anche spesso definito come Super 3G o 3.75G. HSOPA unisce le tecnologie HSDPA e HSUPA specificati nelle versioni 3GPP 5 e 6. Le principali caratteristiche di HSOPA sono:

- A differenza di HSDPA e HSUPA, HSOPA è completamente un nuovo sistema di interfaccia radio (OFDMA), estraneo e incompatibile con W-CDMA.
- Utilizzo di banda flessibile da 1.25MHz a 20MHz di banda. In confronto, W-CDMA usa 5MHz con dimensione fissa.
- Maggiore efficienza spettrale da 2 a 4 volte più che nel 3GPP Release 6
- Tempi di latenza di circa 20ms per il tempo di andata e ritorno da UE per RAN, molto meglio di "classico" W-CDMA.

Le ragioni per l'aggiornamento da UMTS verso HSOPA sono l'emergere di tecnologie competitive, come WiMAX [22] e il costo minimo di evolvere una rete UMTS a un'interfaccia radio di prossima generazione, compresa HSOPA, rispetto al costo di distribuzione di una nuova rete. La maggior parte delle infrastrutture esistenti rimane la stessa, che richiede solo importanti aggiornamenti a livello di stazione base e sui cellulari. HSOPA utilizza la tecnologia OFDM e MIMO antenna. Supporta fino a 10 volte di più utenti, come i sistemi basati su W-CDMA e ha bisogno di potenza di elaborazione inferiore su ogni portatile.

## **4.4 SISTEMI TRANSITORI 3G - 4G**

I sistemi cellulari di transizione verso 4G comprendono principalmente LTE (famiglia 3GPP) e Mobile WiMAX (famiglia IEEE, 802.16e). Le caratteristiche principali di entrambi sono descritte in seguito:

### **4.4.1 LONG-TERM EVOLUTION (LTE)**

La prima versione di LTE (versione 8) è stata etichettata come "3.9G". L'obiettivo era quello di fornire una tecnologia di accesso radio ad alto data-rate, a bassa latenza. Al fine di consentire la mobilità senza soluzione di continuità con latenza minima, una nuova architettura di rete è stata progettata. Il sistema LTE supporta la mobilità per velocità fino a 350km/h con un peggioramento delle prestazioni, ma è ottimizzato principalmente per velocità molto inferiori (fino a 15km/h). LTE downlink supporta velocità di trasferimento dati di picco di 326Mbit/s con 4×4 MIMO all'interno della larghezza di banda 20MHz.

L'architettura di rete LTE, Figura 4, si traduce in una architettura molto semplificata con solo due tipi di nodo rispetto ai molti nodi di rete nella architettura di rete attuale del sistema 3G-vale a dire:

- evolved Nodo-B (eNB)
- Mobility Management Entity / Gateway (MME / GW)

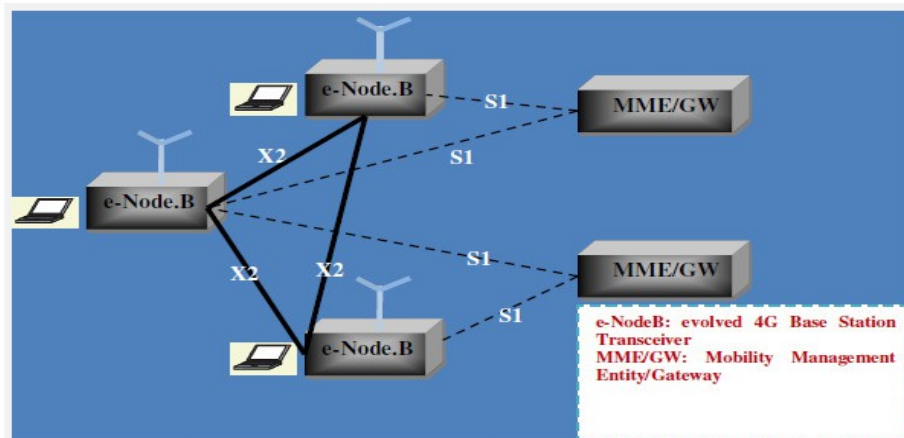


Figura 4: L'architettura di rete LTE.

Tutte le interfacce sono basate su protocolli IP. Le eNBs sono collegate all'entità MME/GW mediante un'interfaccia S1 ed interconnesse fra loro mediante una interfaccia X2. L'architettura LTE comprende due entità logica: la porta di servizio (S-GW) e il gateway di rete dati a pacchetto (P-GW). In avanti il S-GW riceve e da pacchetti verso l'eNB per servire la UE. Le interfacce P-GW con le reti dati a pacchetto esterne (PDN) e svolge diverse funzioni IP come indirizzo di assegnazione, l'applicazione delle policy, il filtraggio e l'instradamento dei pacchetti. L'MME è una entità unicamente di attraverso cui i pacchetti IP dell'utente non passano attraverso. La capacità della rete di segnalazione e traffico può svilupparsi in modo indipendente come un vantaggio di una rete di entità separata per la segnalazione e il traffico.

Il Evolved Packet Switched System (EPS) è costituito da un packet core Evolved (EPC) e Evolved UTRAN (E-UTRAN), come si vede in Figura 5, e fornisce la connettività IP tra una rete dati a pacchetto esterna e UE. E-UTRAN è costituito da eNBs e fornisce il piano utente E-UTRA e protocollo di controllo radio terminazioni verso l'UE. L'EPC contiene anche altri tipi di

nodi, come la policy e le relative norme di funzione (PCRF) responsabile per la qualità del servizio (QoS), il nodo Home Subscriber service (HSS), un database contenente informazioni sugli abbonati.

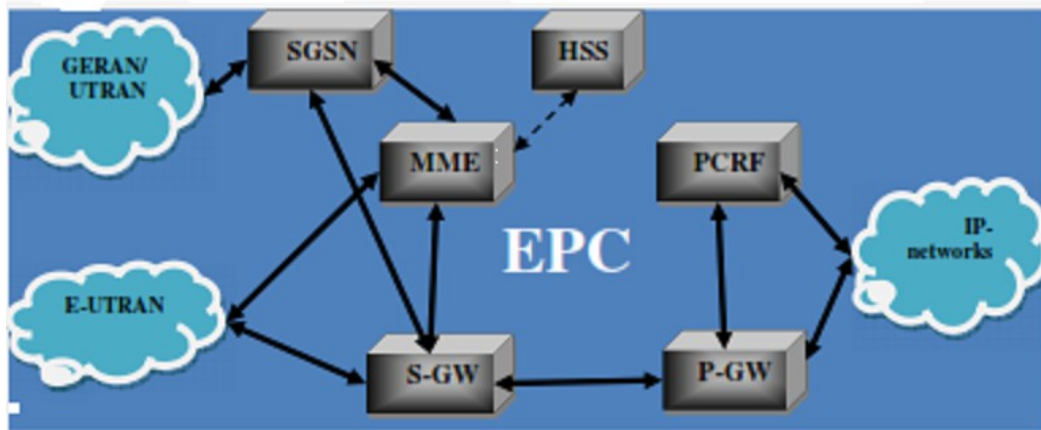


Figura 5: Evolved Packet Nucleo Enti chiave.

#### 4.4.2 MOBILE WIMAX (IEEE 802.16E) [25]

La specifica iniziale 802.16 è stata progettata per il funzionamento line-of-sight nella gamma di frequenze 10-60GHz. La successiva revisione, 802.16a, ha introdotto il supporto per il funzionamento non-line-of-sight con particolare attenzione alla gamma di frequenza 2-11GHz, ma ancora per applicazioni wireless-accesso fisso. Il supporto per la mobilità è stata introdotta come parte di IEEE 802.16e, finalizzato a dicembre 2005. 802.16e è la base per tutte le reti mobili-dati attualmente commerciali basate sulla tecnologia 802.16. Parte di 802.16e è stata anche, in una fase relativamente tardiva (2007), approvato dalla ITU come una tecnologia aggiuntiva IMT-2000 in parallelo a WCDMA / HSPA, TD-SCDMA, e CDMA2000/1xEV-DO. La tecnologia 802.16e sta sostenendo solo il



funzionamento TDD ed è, indicato come IMT-2000 TDD OFDMA WAN.

Mobile WiMAX si basa sulla trasmissione OFDM e supporta diverse ampiezze di banda sia per uplink e downlink. Modulazione adattativa e codifica ("link adaptation") possono essere usati per regolare lo schema di modulazione e il rate di codifica frequenza, e quindi il tasso di dati, in base alle condizioni del canale istantanee.

## **5.SISTEMI DI QUARTA GENERAZIONE**

I sistemi cellulari e wireless IMT-Advanced 4G LTE-Advanced [26] comprendono principalmente (3GPP famiglia) e Mobile WiMAX Advanced (IEEE famiglia, 802.16m) [27]. Entrambi gli standard IEEE 802.16m e LTE avanzata aumentano ulteriormente i tassi dati e migliorano l'efficienza spettrale del sistema e supportano anche la compatibilità con le rispettive versioni precedenti. Le caratteristiche principali sono illustrate nel seguito:

### **5.1 LTE ADVANCED**

LTE versione 10, nota anche come LTE-Advanced, è considerato il vero passo dell'evoluzione 4G. Le precedenti versioni di LTE sono incluse come parte integrante delle LTE versione 10, che forniscono una compatibilità più semplice e il supporto di terminali legacy, per esempio. Le specifiche principali di LTE Advanced approvate in [26] sono:

- Picco Downlink data rate: 1Gbit/s, Picco Uplink data rate: 500Mbit/s.
- Larghezza di banda di trasmissione: 70MHz in Downlink e 40MHz in Uplink.
- Throughput utente al bordo della cella 2 volte superiore a quello di LTE.
- Throughput medio utente è 3 volte superiore a quella in LTE.
- efficienza spettrale 3 volte superiore a quella di LTE; efficienza spettrale di picco Downlink: 30bit/Hz, Uplink: 15bit/Hz.
- Mobilità: come quella in LTE.

## **5.2 MOBILE WIMAX ADVANCED, IEEE 802.16 M**

L'ultimo passo compiuto all'interno della comunità IEEE 802.16 è lo sviluppo della versione 16 m della specifica (IEEE 802.16 m), uno degli obiettivi principali era quello di garantire la conformità con i requisiti ITU su IMT-Advanced [28]. Nell'ottobre 2010, 802,16 m è stato approvato dalla ITU come seconda tecnologia IMT-Advanced-compliant con il nome di Wireless MAN-Advanced. Così, simile a LTE, IEEE 802.16 m può anche essere visto come una tecnologia completamente compatibile 4G. Tuttavia, a differenza di essere LTE-Advanced un'evoluzione del LTE Release 8/9, 802.16 m non è una diretta evoluzione di 802.16e, ma non aggiunge nuove funzionalità complementari per estendere le prestazioni e le capacità della tecnologia di accesso radio 802.16e . Piuttosto, 802.16 m è, per molti aspetti, una nuova tecnologia di accesso radio, anche se mantenendo alcune delle caratteristiche di base di 802.16e, compreso l'OFDM di base.

Ciò implica anche che 802.16e e 802,16 m possono coesistere sullo stesso vettore mediante moltiplicazione temporale delle due tecnologie di accesso radio all'interno (5ms) della trama 802.16e. 802,16 m introduce molte caratteristiche simili a LTE versione 10, incluso l'uso del multi-carrier in trasmissione (aggregazione carrier) per larghezze di banda di oltre 20MHz e il supporto per la funzionalità di inoltro. 802,16 m introduce anche subframes brevi di lunghezza approssimativamente 0,6ms per ridurre tempo di andata e ritorno con hybrid-ARQ e, in generale, per consentire una riduzione della latenza lungo l'interfaccia radio. Per quanto riguarda l'assegnazione delle risorse, 802,16 m non supporta gli schemi di mappatura delle risorse specificate per 802.16e. Piuttosto, 802,16 m

introduce unità di risorse fisiche che comprendono un numero di sottoportanti frequenza contigui durante un subframe, molto simile ai blocchi di risorsa LTE. In realtà, il numero di sottoportanti in una unità di risorse è uguale a 18 che, insieme con la spaziatura tra sottoportanti di 10,94kHz, risulta in un'unità di risorsa con una larghezza di banda che è molto simile alla banda della risorsa-blocco di LTE di 180kHz. Sopra l'unità di risorse fisiche sono unità di risorse logiche che possono essere distribuite o localizzate, ove unità di risorse distribuite vengono utilizzate per i casi in cui viene utilizzata diversità di frequenza. Ancora una volta, questo è molto simile alla mappatura delle risorse localizzate e distribuite di LTE. Tenendo conto delle molte somiglianze tra LTE e 802.16 m, non è sorprendente che le valutazioni delle prestazioni indicano simile performance delle due tecnologie di interfaccia radio. Così, simile a LTE, 802,16 m soddisfa anche tutti i requisiti per l'IMT-Advanced come definito dalla ITU.

## **6. 5G MOBILE COMMUNICATIONS**

L'evoluzione della tecnologia LTE non si esaurisce con LTE Advanced (versione 10), invece continua ad evolversi in ulteriori release. Ogni nuova release migliorerà ulteriormente le prestazioni del sistema e aggiungerà nuove funzionalità con nuove aree di applicazione. Alcune delle applicazioni aggiuntive, beneficiando di connettività mobile, sono la domotica, il trasporto intelligente, la sicurezza, e-book, ecc ...

### **6.1 PERCHÉ VI È LA NECESSITÀ DEL 5G?**

La principale differenza, da un punto di vista dell'utente, tra le generazioni attuali e le tecniche 5G attese devono essere qualcos'altro rispetto all'aumento del massimo throughput; altri requisiti includono:

- il consumo di batteria inferiore.
- probabilità di interruzione inferiore, una migliore copertura e velocità di trasmissione dati elevate disponibili a bordo cella.
- Molteplici percorsi di trasferimento di dati simultanei.
- Circa 1Gbit velocità di trasmissione dati in mobilità.
- Più sicuro, meglio cognitive radio / SDR Sicurezza.
- Maggiore efficienza spettrale a livello di sistema.
- Worldwide wireless web (WWW), applicazioni web-based wireless che includono piene capacità multimediali oltre le velocità di 4G.
- Altre applicazioni combinate con intelligenza artificiale (AI) come la vita umana saranno circondate da sensori artificiali che possono essere comunicanti con i telefoni cellulari.
- Non dannoso per la salute umana.

- spese di traffico più economiche a causa di bassi costi di implementazione dell'infrastruttura.

5G ha l'obiettivo di essere una nuova tecnologia in grado di fornire tutte le possibili applicazioni, utilizzando un solo dispositivo universale, e la maggior parte di interconnessione delle infrastrutture di comunicazione già esistenti. Il terminale 5G sarà riconfigurabile multimodale e cognitivo Radio-enabled. Avrà modulazioni definite software. Tutto il software riconfigurabile richiesto deve essere scaricato da Internet. Le reti mobili 5G si concentreranno sullo sviluppo dei terminali utente dove il terminale avrà accesso a differenti tecnologie wireless contemporaneamente e combinerà diversi flussi da diverse tecnologie. Inoltre, il terminale farà la scelta finale tra i diversi fornitori di rete di accesso wireless / mobili per un determinato servizio. Il nucleo 5G è quello di essere una ri-configurabile, Core Multi-Technology. Il nucleo potrebbe essere una convergenza di nuove tecnologie come le nanotecnologie, il cloud computing e la radio cognitiva, sulla base di una piattaforma completamente IP. Queste nuove tecnologie e le esigenze di cui sopra rappresentano le seguenti sfide per uno sviluppo 5G.

## **6.2 5G SFIDE PRINCIPALI DI SVILUPPO:**

### **6.2.1 COGNITIVE RADIO (CR)-NUOVE MODALITÀ DI UTILIZZO DELLO SPETTRO**

A nuove generazioni mobili in genere vengono assegnate nuove bande di frequenza e larghezza di banda spettrale più ampia per canale di frequenza, ma c'è poco spazio per nuove bande di frequenza o di banda

ben più grandi. Questo perché lo spettro è stato e continuerà ad essere una risorsa scarsa per il settore mobile-comunicazione. Storicamente, fino ad oggi, l'industria della telefonia mobile ha fatto affidamento su di uno spettro dedicato per la comunicazione mobile e la licenza per un determinato operatore. Tuttavia, nelle situazioni in cui lo spettro di licenza non è disponibile, altre possibilità di aumento della disponibilità di spettro sono di interesse. Ciò potrebbe includere l'uso dello spettro senza licenza, o di uno spettro secondario utilizzato prevalentemente ad altri servizi di comunicazione, come complemento al funzionamento nello spettro con licenza. Lo spettro non utilizzato (in alcune zone) è spesso definito come "spazio bianco" [29]. A questo si collega il concetto di radio cognitiva [30]. Tuttavia, l'applicabilità di radio cognitiva per la comunicazione cellulare è un settore relativamente nuovo e sono necessari ulteriori studi per valutare la fattibilità e l'impatto di tale uso. La tecnologia radio cognitiva permette a diverse tecnologie radio di condividere lo stesso spettro efficientemente trovando modo di adattare lo spettro inutilizzato e adattando lo schema di trasmissione alle esigenze delle tecnologie attualmente condividendo lo spettro radio. Questa gestione delle risorse radio dinamica è ottenuta in modo distribuito, e si basa su software-defined radio.

### **6.2.2 SOFTWARE DEFINED RADIO (SDR)-RICONFIGURABILITÀ ENABLER**

Software Defined Radio (SDR) [31] beneficia dell'elevata capacità di elaborazione di oggi per sviluppare multi-banda, stazioni base multi-standard e terminali. Anche se in futuro i terminali adatteranno

l'interfaccia radio alla tecnologia di accesso radio disponibile, al momento questo è fatto dall'infrastruttura. Diversi vantaggi infrastrutturali sono attesi da SDR. Ad esempio, per aumentare la capacità della rete in un momento specifico (ad esempio, in occasione di feste o eventi sportivi), un operatore potrà riconfigurare la propria rete aggiungendo più modem ad una stazione base. SDR rende questa riconfigurazione facile. Nel contesto dei sistemi di 5G attesi, SDR diventerà un volano per terminale e riconfigurabilità della rete attraverso il download del software. Per il costruttore, questo può essere un potente aiuto a fornire multi-standard, attrezzature multi-banda con ridotto sforzo di sviluppo e costi.

### **6.2.3 RICONFIGURABILE-INTEROPERABILITÀ TRA DIVERSI TIPI DI RETE DI ACCESSO WIRELESS**

L'interoperabilità tra reti eterogenee rappresenta un aspetto fondamentale per il successo dei sistemi 5G con differenti tecnologie di accesso. Una nuova soluzione che garantisce l'interoperabilità tra diversi tipi di reti di accesso wireless è data dallo sviluppo di standard IEEE 802.21 [32]. L'IEEE 802.21 è focalizzata sulla facilitazione dell' handover tra diverse reti wireless in ambienti eterogenei indipendentemente dal tipo di mezzo. Il nome standard di questo tipo di handover verticale è Handover Media Independent (MIH). L'obiettivo di IEEE 802.21 è quello di facilitare l'uso dei nodi mobili, fornendo un ininterrotto passaggio di consegne in reti eterogenee. Il cuore della struttura è il 802,21 Media Independent Handover Function (MIHF), responsabile della comunicazione con diversi terminali, reti e MIHFs remoti, che dovranno essere attuate in ogni dispositivo compatibile IEEE 802,21 (in hardware o software). L'interesse che esiste sia nel mondo accademico e dell'industria che IEEE 802,21 può



essere il fattore chiave per il perfetto handover verticale e al roaming trasparente in reti eterogenee. Standard IEEE 802.21 è prevista per fornire un importante contributo all'aspetto dell'interoperabilità riconfigurabile di sistemi di comunicazione wireless e cellulari 5G. L'interoperabilità riconfigurabile offre i fornitori di rete, con la possibilità di scegliere, con investimenti minimi, tra reti di accesso wireless alternative. La selezione può essere effettuata in base a diversi criteri, quali:

- Confronto tra la disponibilità di risorse di accesso e requisiti di servizio specifici (ad esempio stato del canale, probabilità di interruzione, probabilità di handover verticale, requisiti di QoS degli utenti.
- Il bilanciamento del carico e la condivisione tra le diverse reti wireless spazialmente coesistenti.
- condivisione efficiente dello spettro.
- Controllo della congestione.

In generale, i principali requisiti di interoperabilità che devono essere presi in considerazione sono i seguenti:

- Selezione rete iniziale (INS); INS è una delle funzioni di base del processo di interoperabilità tra reti eterogenee. Una selezione intelligente di una rete adeguata dagli utenti comporterebbe minore probabilità di blocco, maggiore capacità e una maggiore qualità del servizio. Questi benefici possono essere raggiunti solo se INS permette un utilizzo efficiente delle risorse di rete. Come risultato, gli utenti possono selezionare la rete più appropriata con un QoS avanzato rispetto ai requisiti di servizio desiderati. Il raggiungimento di questi miglioramenti dipende dalla architettura di integrazione delle due tecnologie e sullo sviluppo di meccanismi INS efficienti e criteri.

- Mobility Support (verticale o internetwork Handover); una volta che è stata selezionata una rete, l'utente è soggetto a cambiare la rete inizialmente selezionata in base a diverse condizioni, da cui si pone l'importanza di un efficiente criterio di Inter-Network Handover (INH) e meccanismi. La decisione per INH potrebbe essere basata su una valutazione di una funzione di costo che copre tutti i fattori chiave possibili inter-rete. Una decisione sia per INS che per INH come funzione di costo basata su selezione di accesso radio e accesso a inter-Radio handover è chiaramente descritta in [33].
- partnership o accordi di roaming tra diversi operatori di reti interoperabili; gli operatori dovrebbero fornire all'utente gli stessi benefici come se l'interoperabilità fosse gestita all'interno di un gestore di rete.
- Gestione fatturazione e contabilità tra i sistemi di roaming.
- Identificazione di abbonato dovrebbe essere fatta come se l'utente si trovasse in un unico ambiente.

#### **6.2.4 ADAPTIVE ACCOPPIAMENTO-RICONFIGURABILE- INTEGRAZIONE**

A seconda del livello di integrazione richiesta fra tecnologie di accesso radio disponibili, una varietà di approcci può essere proposta per un'effettiva interoperabilità. Da una parte, se l'integrazione tra diverse tecnologie è stretta, la continuità del servizio è più efficiente e la selezione della rete così come il processo di handover verticale sono più veloci. Tuttavia, un elevato livello di integrazione richiede uno sforzo considerevole nella definizione di interfacce e dei meccanismi in grado di favorire il necessario scambio di dati e di segnalazione tra differenti reti di accesso radio. Inoltre, un accoppiamento stretto soffre di potenziale

congestione del carico quando un carico completo di rete è immerso nell'altro. D'altra parte, se l'integrazione tra diverse tecnologie è allentato, il ritardo del processo di handover è significativo. Come aspetto positivo, un loose coupling consente la flessibilità e l'indipendenza di attuare meccanismi diversi singolarmente all'interno di ciascuna rete. Inoltre facilita il graduale dispiegamento di una rete senza o con poche modifiche sull'altra rete. L'accoppiamento adattativo è un nuovo meccanismo proposto, che cambia un modo adattativo l'accoppiamento da aperto, sciolto o stretto e anche molto stretto a seconda dello stato di carico delle reti e dei vincoli di ritardo.

#### **6.2.5 RETE AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA**

Il basso consumo di energia per i terminali mobili è stato un requisito importante a partire dall'emergere di terminali portatili circa 25 anni fa. La forza motrice è stata la riduzione della dimensione della batteria e una migliore durata della batteria. Oggi un ridotto consumo energetico anche nella rete di accesso radio sta ricevendo maggiore attenzione, il costo dell'energia è una parte tutt'altro trascurabile del costo operativo globale per l'operatore. Con sufficientemente basso consumo energetico, pannelli solari dimensioni ragionevolmente potrebbero essere utilizzati come fonte di energia, invece dei generatori diesel comunemente utilizzati oggi. Tuttavia, l'evoluzione futura dei sistemi cellulari dovrebbe sforzarsi ulteriormente per ridurre al minimo la trasmissione di segnali non strettamente necessari.

#### **6.2.6 MACHINE-TYPE COMMUNICATION**

Con la maggiore disponibilità di banda larga mobile, la connettività è

diventata una possibilità realistica per la comunicazione tra vari tipi di macchine. La comunicazione tra vari tipi di macchine abbraccia una vasta gamma di applicazioni, dal massiccio dispiegamento di sensori a basso costo alimentati a batteria a applicazioni telecomandate, per telecamere di sorveglianza. Molte di queste applicazioni possono essere gestite da i sistemi 4G precedenti. Comunicare con una telecamera di sorveglianza, per esempio, non è significativamente diverso dal caricamento di un file, in questo caso la trasmissione dati ad alta velocità è di primaria importanza. Tuttavia, le altre applicazioni non possono richiedere la trasmissione di grandi quantità di dati o di bassa latenza, ma piuttosto pongono sfide in termini di una grande quantità di dispositivi di collegamento alla rete. La gestione di un numero così elevato di dispositivi è probabile che sia una sfida soprattutto per la rete centrale, ma i miglioramenti nel campo della configurazione della connessione e la efficiente gestione della segnalazione di controllo della rete di accesso radio potrebbero essere di grande interesse per il futuro delle comunicazioni mobili 5G.

### **6.2.7 NANOTECNOLOGIE**

La nanotecnologia è l'applicazione della nano-scienza al controllo di processo su scala nanometrica; tra 0.1 e 100nm. Il campo è anche conosciuto come nanotecnologia molecolare (MNT), con il controllo della struttura della materia atomo per atomo o molecola per molecola. La nanotecnologia è considerata come la prossima rivoluzione industriale e il settore delle telecomunicazioni sarà radicalmente trasformato da esso in pochi anni. Poiché le future applicazioni richiederanno più memoria e

potenza di calcolo velocità di trasferimento dati più elevate, le correnti tecnologie non possono risolvere questi problemi. Fortunatamente, la nanotecnologia potrebbe fornire soluzioni efficaci per potenza efficiente di calcolo, di rilevamento, l'allargamento della memoria e interazione uomo-macchina, [34], [35]. La nanotecnologia avrà notevoli ripercussioni sia sul dispositivo mobile che sulla rete principale come segue:

- Il dispositivo mobile è diventato più di un dispositivo di comunicazione nel mondo moderno, il calcolo e la comunicazione sono pronti a servire l'utente in modo intelligente. I dispositivi mobili insieme con l'intelligenza, all'interno di ambienti umani, creeranno una nuova piattaforma che permette il rilevamento onnipresente, informatico e delle comunicazioni. Con la nanotecnologia telefoni cellulari possono agire come sensori intelligenti con applicazioni in molti settori, tra cui i trasporti, le comunicazioni, la medicina e la sicurezza.
- La rete centrale richiede alta velocità e una capacità affidabile per manipolare e interoperare un crescente numero di tecnologie di accesso eterogenee. Attualmente, le nanotecnologie sono utilizzate nella elaborazione digitale del segnale, l'introduzione di nuove percezioni in DSP progettazione che aumenta la velocità e la capacità complessiva del sistema.

### **6.2.8 RETE TUTTA IP**

La All-IP network (APIN) è una evoluzione del sistema 3GPP per soddisfare le crescenti esigenze del mercato delle comunicazioni cellulari. Si tratta di una piattaforma comune valida per tutti i tipi di tecnologie di accesso radio. AIPN si concentra principalmente sui miglioramenti della tecnologia

a commutazione di pacchetto, ma ora fornisce una continua evoluzione e ottimizzazione in termini di prestazioni e costi. I principali vantaggi di architettura all-IP network comprende una varietà di sistemi di fornitura di accesso diversi, ridurre i costi, l'accesso universale senza soluzione di continuità, una maggiore soddisfazione dell'utente e ridotta latenza del sistema. Ma con i vantaggi di IP provengono alcuni pericoli: il flusso di dati è più libero e internet è aperta non solo agli sviluppatori, ma anche a tutti i tipi di criminali e virus. Gli sviluppatori e gli operatori dovranno affrontare nuove sfide di sicurezza che dovrebbero essere risolte in modo corretto.

### **6.2.9 IL CLOUD COMPUTING**

La definizione data in [36] è "Il cloud computing è un modello per consentire un accesso onnipresente, comodo, l'accesso alla rete on-demand ad un pool condiviso di risorse di calcolo configurabili (ad esempio, reti, server, storage, applicazioni e servizi) che possono essere rapidamente accantonate e rilasciate con il minimo sforzo di gestione o interazione con il fornitore di servizi ... ". Quindi, il cloud computing è una tecnologia che utilizza internet un server remoto centrale per mantenere i dati e le applicazioni. Nelle reti 5G questo server remoto centrale potrebbe essere un fornitore di contenuti. Il cloud computing consente ai consumatori e alle imprese di utilizzare le applicazioni senza installazione e accedere ai propri file personali, in qualsiasi computer con accesso a internet. Lo stesso concetto sta per essere utilizzato in tecnologie multi-core in cui l'utente tenta di accedere al suo modulo di conto privato di un fornitore di contenuti globale attraverso il cloud computing.

### **6.3 UNA PROPOSTA DI 5G NETWORK ARCHITETTURE**

Terminali e componenti di rete sono dinamicamente riconfigurati (adattati) alla nuova situazione. Gli operatori di rete utilizzano la riconfigurabilità di introdurre servizi a valore aggiunto più facilmente. La riconfigurabilità è basata sulla radio-cognitiva. La tecnologia radio-cognitiva include la possibilità di dispositivi di determinare la loro posizione, al sensing dello spettro usato dai dispositivi vicini, cambiare frequenza, regolare la potenza di uscita, e anche modificare i parametri di trasmissione e le caratteristiche. Una radio cognitiva è un ricetrasmittitore che è in grado di capire e reagire al suo ambiente operativo. Così la radio cognitiva riguarda i dispositivi mobili e le reti che sono computazionalmente intelligenti su risorse radio e le relative comunicazioni per rilevare le esigenze di comunicazione degli utenti e di fornire servizi wireless adeguati a tali bisogni. Quindi, la radio è consapevole delle modifiche del suo ambiente e risponde a questi cambiamenti adattando caratteristiche di funzionamento in qualche modo per migliorare le prestazioni.

#### **6.3.1 RECONFIGURABLE-MULTIMODE-TERMINAL**

Il potenziale 5G richiede la progettazione di un unico terminale utente wireless in grado di operare autonomamente in diverse reti di accesso eterogenee. Un terminale completamente riconfigurabile cambia le sue funzioni di comunicazione a seconda che la rete e / o l'utente lo richieda. Inoltre, questo terminale dovrà sfruttare le varie informazioni che lo circondano come la comunicazione con i sistemi di navigazione e localizzazione e le comunicazioni con previsioni del tempo e sistemi di emergenza, al fine di fornire servizi agli utenti. Tuttavia, la ricchezza dei

servizi richiederà bit rate più elevati, che sarà il principale fattore trainante verso lo sviluppo multimediale a banda larga. Inoltre, la consapevolezza terminale metterà l'accento sul concetto di radio cognitiva e algoritmi cognitivi per la riconfigurabilità terminale stand-alone e l'interoperabilità. La progettazione di un terminale utente cognitivo multimodale riconfigurabile deve affrontare diversi problemi, ci deve essere riduzione di costi, dimensioni, consumo di energia e la complessità del circuito che porteranno a un terminale utente riconfigurabile che è economico, portatile e conforme. Ciò potrebbe essere realizzato facilmente con la grande capacità di nanotecnologie. Inoltre, devono essere sviluppati sofisticati sistemi di monitoraggio di rete e algoritmi di selezione di rete dinamici. Gli utenti terminali stessi potranno riconfigurarsi in funzione delle caratteristiche della rete selezionata. Un ricetrasmittitore riconfigurabile software implementa le funzioni di comunicazione come i programmi in esecuzione su un processore adatto dove diversi algoritmi di trasmettitori / ricevitori, che di solito descrivono gli standard di trasmissione, sono implementati nel software. La riconfigurazione del terminale permette di essere collegati a diverse tecnologie di accesso radio; da 2G/GERAN a 3G/UTRAN e 4G/EUTRAN a 802.11x WLAN e 802.16x WMAN. Altri standard abilitati possono essere IS/95, EV-DO, CDMA2000, ecc ... La figura 6 mostra un ricetrasmittitore riconfigurabile sia per terminale che per stazione base. Può essere riconfigurato tramite un bus di controllo fornendo alle unità di elaborazione i parametri scaricati dal database di ri-configurazione remoto. Tale configurazione garantisce che la trasmissione può essere cambiata immediatamente se necessario (ad esempio, per l'inter-network handover). Standard di comunicazione



vengano raggruppati in un insieme di documenti che descrivono completamente tutte le funzioni di un sistema radio. Un ricetrasmittitore riconfigurabile è costruito in architettura aperta e basata su software di sistema radio [37]. Moduli funzionali del sistema radio come ad esempio la modulazione / demodulazione, generazione di segnali, codifica e protocolli a livello di collegamento sono implementati su piattaforme hardware generiche riprogrammabili con unità programmabili come i processori di segnali digitali (DSP), Field Programmable Gate Array (FPGA) e micro-Controller (MC), e moduli RF analogici.

Sul percorso di ricezione, il down-convert passa al segnale RF a segnale IF per l'ulteriore elaborazione nella sezione IF. Sul percorso di trasmissione, esegue up-conversione per convertire il segnale IF un segnale RF e a seguire l'amplificazione di potenza. La sezione IF è responsabile della conversione analogico-digitale (ADC) e digitale-analogico (DAC) sul percorso di ricezione e di trasmissione, rispettivamente. Il down converter digitale (DDC) e up-converter digitale (DUC) che precedono l'ADC e DAC rispettivamente, assumono congiuntamente le funzioni di un modem. La sezione in banda esegue operazioni in banda base, come l'impostazione della connessione, equalizzazione, salto di frequenza, tempi di recupero e correlazione. In un ricetrasmittitore riconfigurabile, l'elaborazione in banda base è progettata per essere programmabile via software. Oltre a questo, i moduli DDC e DUC nella sezione IF sono anche programmabili. Il protocollo Link Layer, le operazioni di modulazione e demodulazione sono implementati con software. Così, la modalità operativa del ricetrasmittitore può essere modificata o convertita post-produzione utilizzando software. Un ricetrasmittitore riconfigurabile ideale è quello

che è programmabile in su fino alla sezione RF, cioè, in grado di eseguire ad alta velocità e in maniere efficiente la conversione da analogico a digitale e viceversa direttamente all'antenna. Tuttavia, tenendo conto della larghezza di banda, al range dinamico e la frequenza di campionamento l'efficace realizzazione di una sezione RF programmabile è ancora più una sfida per lo sviluppo.

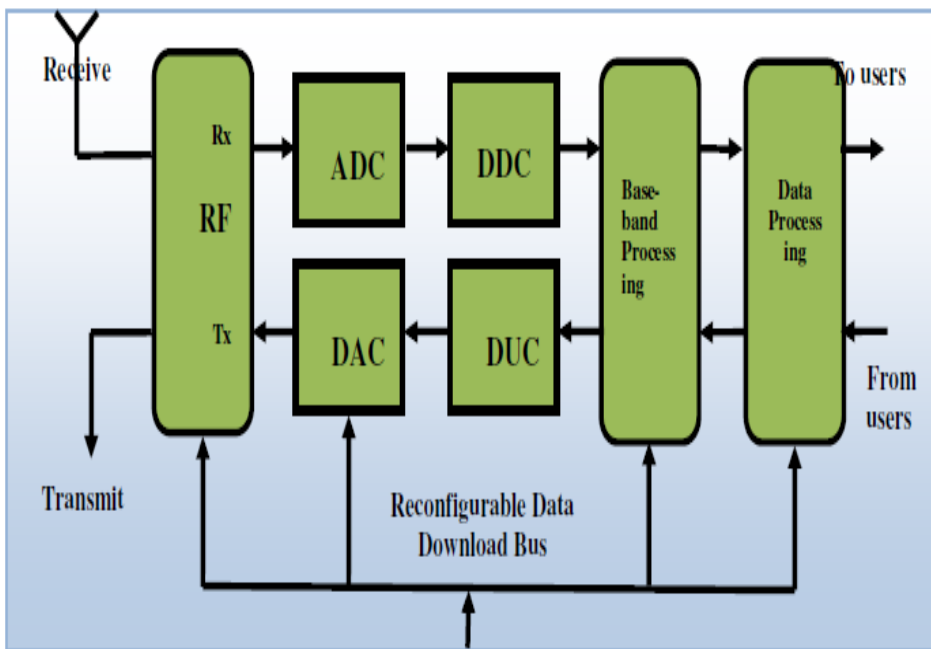


Figura 6: Struttura di alto livello di reconfigurable Transceiver

### **6.3.2 RECONFIGURABLE MULTI-TECHNOLOGY CORE**

La sfida principale per un nucleo multi-tecnologia riconfigurabile è quello di affrontare un crescente numero di differenti tecnologie di accesso radio in base a criteri di interoperabilità solide. Il nucleo è una convergenza di nanotecnologie di cui sopra, il cloud computing e la radio cognitiva, e sulla base di una piattaforma tutta IP. Nucleo cambia le sue funzioni di comunicazione a seconda dello stato della rete e / o delle richieste degli utenti. La riconfigurabilità potrebbe essere sia software che hardware. La riconfigurazione hardware è svolta prevalentemente dagli operatori; l'aggiunta di attrezzature supplementari per aumentare la capacità della rete in un momento specifico. Tuttavia, nella riconfigurazione software e con la potenza di DSP, la rete è riconfigurabile dinamicamente, il che significa che i programmi, nonché i collegamenti tra gli elementi di elaborazione sono configurati in fase di esecuzione. Diversi elementi di elaborazione sono utilizzati per scopi diversi. I processori general purpose sono completamente programmabili per eseguire diverse operazioni di calcolo. La figura 7 mostra una struttura di alto livello di rete centrale riconfigurabile come evoluzione del Core Evolved Packet (EPC) di rete 4G. Il database locale di riconfigurazione (LRD) legata a modelli di dati di riconfigurazione (RDM) sono collegate a entità Gateway per il controllo di riconfigurazione e l'unità di gestione (RCM). RCM è collegato anche al Cloud Computing Resources (CCR) per collegamento di rete core con riconfigurazione del database remoto (RRD). Entità di base della CBE sono arricchite con capacità riconfigurabili come al Gateway di servizio riconfigurabile (RS-GW) e a Gateway riconfigurabile dati pacchetto (RP-GW). RS-GW è legato a tecnologie di accesso differenti tramite l'unità di

controllo interoperabilità riconfigurabile controllo (RIC) unità. RIC controlla il processo di interoperabilità tra tecnologie di accesso eterogenee e consente RS-GW di trasmettere e ricevere i pacchetti da e verso la stazione base selezionata / ENB. Per servire l'utente con tutte le applicazioni mobili basate su IP e servizi, RP-GWsi interfaccia, via CCR, con Internet e altre reti a pacchetto (PDN). L'ente di gestione della mobilità (MME), come una unica entità di segnalazione, connette RS-GW alla Home Subscriber nodo Database (HSD).

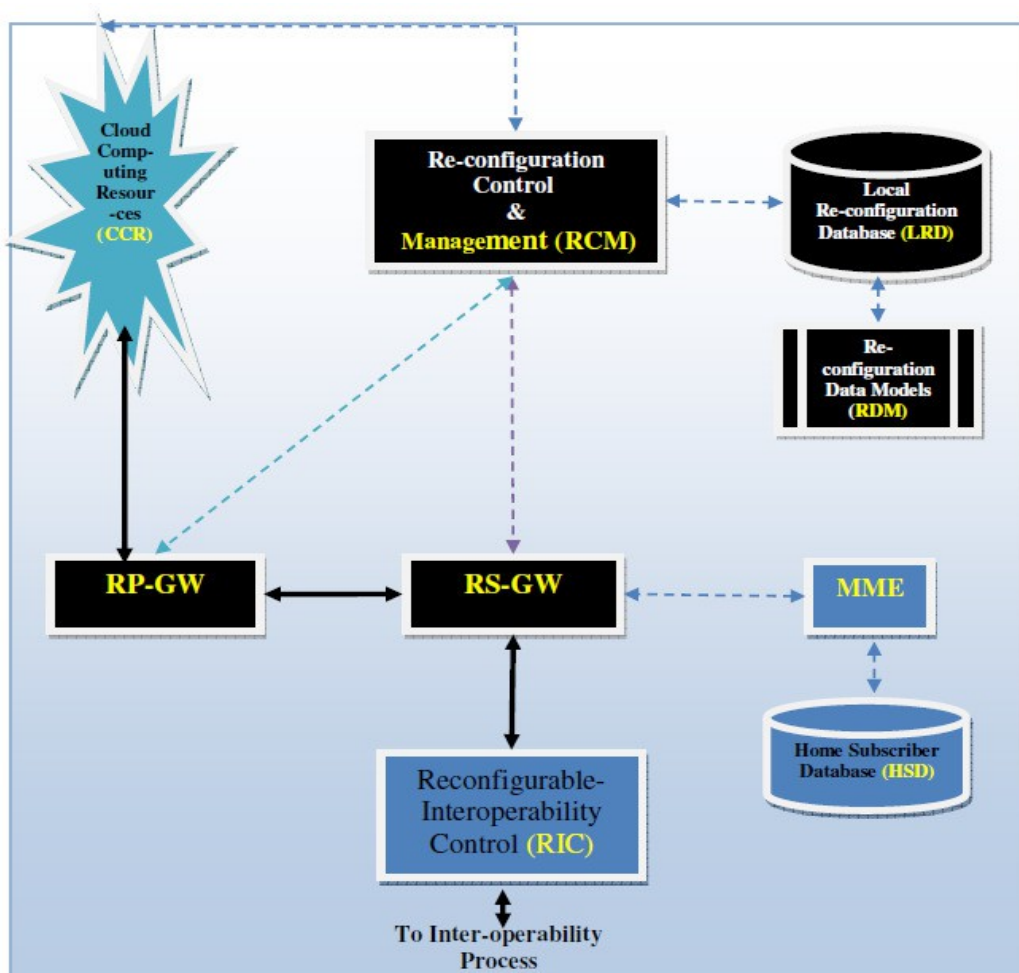


Figura7: Struttura di alto livello di riconfigurabile multi-technology core

La figura 8 mostra una proposta di architettura di rete 5G. Tutte le applicazioni mobili basate su IP e servizi come portali mobili, commercio mobile, assistenza sanitaria mobile, governo mobile, mobile banking e altri, sono offerti tramite Cloud Computing Resources (CCR). CCR collega la riconfigurabile Core Multi-Technology (RMTC) con dati remoti di riconfigurazione da RRD legate ai modelli di dati di riconfigurazione (RDM). RMTC è collegato a diverse tecnologie di accesso radio che vanno da 2G/GERAN a 3G/UTRAN e 4G/EUTRAN oltre a 802.11x WLAN e 802.16x WMAN. Altri standard sono anche abilitati come IS/95, EV-DO, CDMA2000, ecc ...

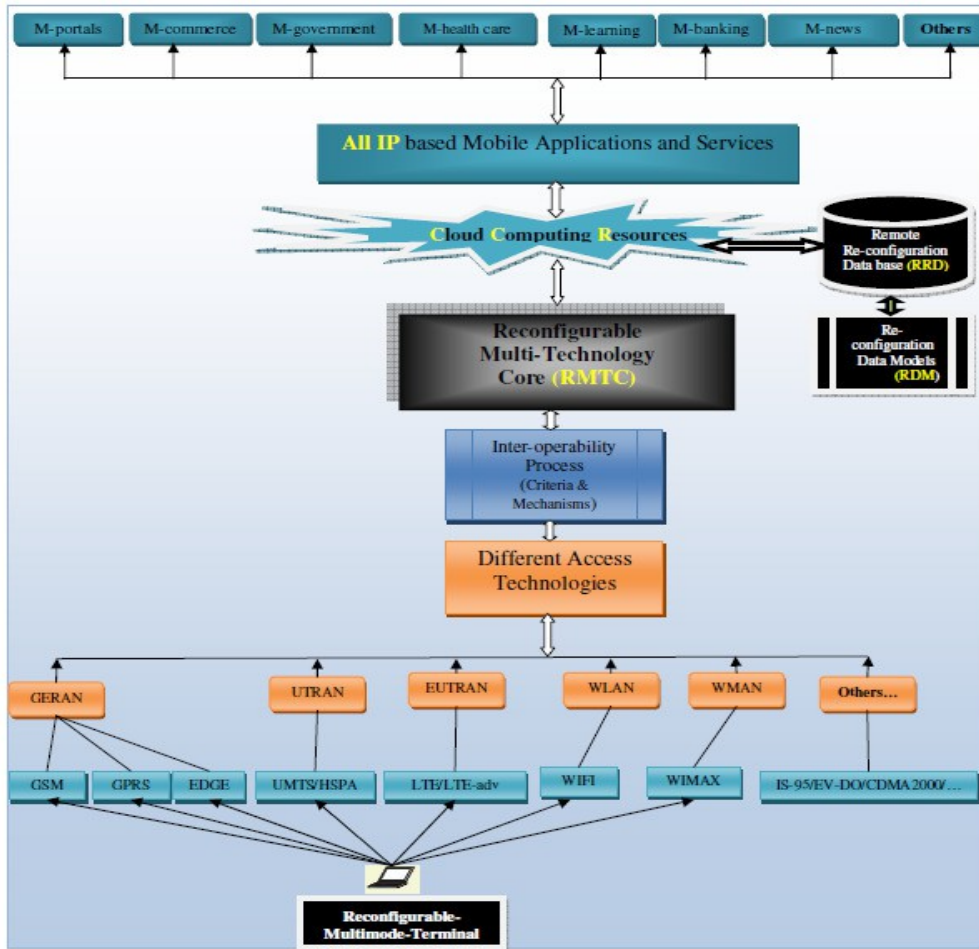


Figura 8: Una proposta 5G Network Architecture

## **7. CONCLUSIONE**

La tesi si è concentrata sulla descrizione di 5G sistema mobile riconfigurabile beneficiando più recenti tecnologie come la radio cognitiva, SDR, le nanotecnologie, il cloud computing e sulla base di tutte le piattaforme IP. L'obiettivo è sia per il terminale e la rete core di dinamicamente riconfigurarsi alle nuove situazioni e di cambiare le funzioni di comunicazione a seconda della rete e / o richieste degli utenti. Il documento discute le principali sfide dello sviluppo 5G e chiarito la necessità di 5G. E' inoltre esaminata in breve l'evoluzione dei sistemi wireless e cellulari concentrandosi su quattro principali fattori chiave: accesso radio, velocità di trasmissione dati, la larghezza di banda e sistemi di commutazione, oltre a cambiare l'architettura di rete. I sistemi 3G di transizione verso cellulari e wireless 4G e il vero Sistemi IMT-avanzati 4G sono stati accuratamente presentati.

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] URL: [www.gsmworld.com / technology / gprs](http://www.gsmworld.com/technology/gprs).

[4] 3GPP Specifications, TR 21.101 URL:  
<http://www.3gpp.org/article/release-5>.

[13] GSM Forum Europe, <http://www.gsm-forum.eu/>

[14] The evolution of EDGE ( PDF file - Ericsson white paper) 285 23-3107  
Uen Rev. © Ericsson AB 2007.

[15] [http://www.itu.int/newsroom/press\\_releases/2007/30.html](http://www.itu.int/newsroom/press_releases/2007/30.html).

[16] <http://www.umtsworld.com/technology/overview.html>.

[17] Kreher and Ruedebusch, UMTS Signaling: UMTS interfaces, protocols, message flows and procedures analyzed and Explained (Wiley 2007), ISBN 978-0470065334.

[18] Theodore S. Rappaport, (Wireless Communications-Principles and Practices), second Edition 2004

[19] [http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Uplink\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Uplink_Packet_Access).

[21] UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE)  
<http://www.3gpp.org/article/lte>.



[22] URL: <http://www.wimaxforum.org>.

[24] FAROOQ KHAN, LTE for 4G Mobile Broadband, Cambridge University Press, 2009.

[25] IEEE Std 802.16e-2005, Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access.

[26] 3GPP TSG RAN TR 36,913 v8.0.0, Requirements for further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced).

[27] IEEE 802.16m-07/002r4, TGM System Requirements Document (SRD).

[28] ITU-R, ITU paves way for next-generation 4G mobile technologies; ITU-R IMT-advanced 4G Standards to usher new era of mobile broadband communications, ITU Press Release, 21 ottobre 2010.

[29] M. Nekovee, A Survey of cognitive radio access to TV white spaces, *Int. J. Digit. Multimed. Broadcast.* (2010) 1-11.

[30] S. Haykin, Cognitive Radio: Brain-empowered wireless communications, *IEEE J. Sel. Area. Comm.* 23 (2) (febbraio 2005) 201-220.

[31] URL: <http://www.sdrforum.org>

[32] IEEE 802,21: Media Independent Handover, URL: <http://www.ieee802.org/21/>.

[33] Zhuo Sun and Wenbo Wang "investigation cooperation Technologies in Heterogeneous wireless", Journal of Computer Systems, Network, and communications, Volume (2010), ID articolo 413.987.

[34] Ermolov V. et al. "Significance of Nanotechnology for future wireless devices and communications", the 18th Annual IEEE international Symposium on PIMRC'07.

[35] RKJain, Risal Singh, "Role of Nanotechnology in future wireless and communication systems", National seminar proceeding, Academy of Business & Engineering Science Ghaziabad, pp-19-28, 16 - 17 gennaio, 2009.

[36] Peter Mell e Timothy Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing" US National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-145, september 2011.

[37] Friedrich K. Jondral, "Software-Defined Radio-Basis and evolution to Cognitive Radio" EURASIP Journal on wireless communications and Networking 2005:3, 275-283.