

# Sistemi di Telecomunicazione

ale-cci

2<sup>o</sup> Semestre 2018/19

# 1 Guadagno in potenza

$$P_{out} = gP_{in} \xrightarrow{10 \log_{10}} P_{out_{db}} = g_{db} + P_{in_{db}}$$

- $g < 1$ : Perdita di Trasmisione
- $L$ : Transmission Loss :=  $g^{-1} = \frac{P_{in}}{P_{out}}$

## 1.1 Attenuazione di tipo Radio

Sistemi di telecomunicazione su cao (Dal nome, Segnale si propaga lungo un cavo)

- $l$ : lunghezza del cavo
- $\alpha$ : coefficiente d'attenuazione  $\frac{dB}{Km}$

$$P_{out} = 10^{-\frac{\alpha}{10}l} P_{in}$$

Da fisica

$\cdot < 1$  Siccome  $\alpha$  e  $l$  sono positivi

$$g = 10^{+\frac{\alpha}{10}l}$$

$$L = 10^{-\frac{\alpha}{10}l}$$

$$L_{dB} = 10 \log_{10} L = \alpha \cdot l$$

Esempi	Frequenza	$\alpha$
Doppino Telefonico	10kHz	2
	100kHz	3
	300kHz	6
Cavo Coassiale	100kHz	1
	1MHz	2
	3MHz	4
Guida d'onda rettangolare	10GHz	5
Cavo in fibra Ottica	$4 \cdot 10^{14} Hz$	10

Per "combattere" l'attenuazione vengono usati i ripetitori

**Trasmissione Radio:** Perdita di potenza dovuta all'irradiazione stessa

- $l$ : distanza
- $\lambda$ : Lunghezza d'onda
- $\alpha$ : path loss exponent

$$L = \left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)^2$$

$$C = \lambda f_c \quad f_c \text{ frequenza portante}$$

$$L = \left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)^\alpha$$

$f_c$  è solamente espressa in  $GHz$ , quindi si ha che:

$$L_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{\lambda} l \right)^2 + 20 \log_{10} 10^9 + 20 \log_{10} f_{c_{GHz}} = 92.4 + 20 \log_{10} l + 20 \log_{10} f_{c_{GHz}}$$

## 1.2 Tramissioni Cablate

$$L_{dB} = \alpha l$$

**Antenna Radio:** Sono dette **direttive**, se concentrano la potenza su un'unica direzione

Più l'antenna è direttiva, più è alto il guadagno

Esercizio

## 1.3 Formule di Friis

$$P_{out} = P_{in} \frac{g_T g_R}{\left(\frac{4\pi d f_c}{C}\right)^\nu} \rightarrow K \left(\frac{1}{d}\right)^\nu$$

- **Shadowing:** Fluttuazione dovuta a cambiamento dell'ambiente
- **Short Term Fading:** Fluttuazione a breve distanza, distribuita come la *distribuzione di Rayleigh*

## 1.4 Dominio Frequenziale

$$S_y(f) = S_x(f) |H(f)|^2$$

$B_c$ : Banda di Coerenza → Intervallo frequenziale in cui la risposta in frequenza del canale varia di poco

$B_c > B$ : Canale **NON** selettivo di frequenza, La risposta del canale “non” cambia su  $T_s$  (Tempo di fading) lento ( $T_s < T_c$ )

$B_c < B$ : Canale Selettivo in frequenza fading veloce: risposta cambia su  $T_s$  ( $T_s > T_c$ )

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_D}$$

$T_s$ : Tempo di simbolo

$$T_c = \frac{6}{16\pi f_D}$$

$f_D$ : Frequenza Doppler

## 2 Modello ISO-OSI

1. Physical
2. Data-Link
3. Network
4. Transport
5. Session
6. Presentation
7. Application

**Tabelle di Routing** Protocollo IP Riesce a trovare il percorso tra utente ed endpoint

### 2.1 Livello 1

perso

### 2.2 Livello 2

Trasmette i frame al nodo successivo

- Controlla che il link sia attivo
- Fornisce informazione ai livelli superiori
- Correzione errore per frame

**MAC:** Medium Access Control

**LLC:** Logical Link Control → controlla che il link sia attivo

### 2.3 Livello 3

Si occupa solo del **percorso logico** tra due punti, non compe vengono trasferiti i dati

Nasconde i livelli inferiori ai layer superiori rendendoli hardware-independent

### 2.4 Livello 4

Consegna messaggio tra due processi

### 2.5 Livello 5

Abilita, Modifica, Termina sessioni tra applicazioni

Più connessioni possono essere viste come una singola sessione

distingue i dati che arrivano tra “application data” (dati usati dalle applicazioni) e “session control data”

Usa dati dei layer 3&4 per monitorare la comunicazione tra applicazioni

Translation for naming services (google.com → 8.8.4.4)

### 2.6 Livello 6

Translation, Compression, Description and Encapsulation of Data, (Es: Html, JPG, Ascii...)

## 2.7 Livello 7

Fornisce servizi di comunicazione alle applicazioni, esempi ne sono: Http e FTP

## 3 TCP/IP

Inizialmente suddiviso in 4 layer:

- Host to Network
- Internet
- Transport
- Application

Ma se confrontato al modello OSI ne si possono riconoscere 5:

- Application
- Transport
- Network
- Data Link
- Physical

In una rete TCP/IP vengono usati 4 livelli di indirizzi

- Physical
- Logical
- Port
- Application-Specific

## 4 Struttura generale di un sistema di comunicazione

**Capacitá di canale ( $C$ ):** Massima velocitá a cui possono essere trasmessi i dati

**Data rate (bps):** Dati effettivamente comunicati

**BandWidth ( $B$ ):** la grandezza di banda del segnale trasmesso

**Bit Error Rate (BER):** Frequenza con cui avvengono errori di trasmissione

## 5 Modulazione

Aggiungere informazioni al segnale portante  $x(t)$

$$x(t) = A \cos(2\pi f t + \Phi)$$

$A$ : Ampiezza

$f$ : Frequenza

$\Phi$ : Fase

Carrier signal:  $x(t)$  su cui sono state modulate le informazioni Analog to analog conversion: Needed only if a bandpass is available

- Aplitude modulation
- Frequency modulation
- Phase modulation

## 5.1 Amplitude modulation (AM)

- $m(t)$ : Information signal
- $A_c \cos(2\pi f_c t)$ : carrier
- $f_c$ : Carrier frequency

Total Bandwidth:  $2B$

$$S(t) = A_c(1 + K_o m(t)) \cos(2\pi f_c t)$$

$$\Downarrow \mathcal{F}$$

$$S(f) = \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c) + K_o M(f - f_c) + K_o M(f + f_c)]$$

## 5.2 Frequency modulation FM

$$S(t) = A_c \cos(\theta(t)) \quad m(t) := \frac{d\theta(t)}{dt} = 2\pi f_c + 2\pi K_f m(t)$$

$K_f$ : Frequency derivation constant  $\frac{\text{Hz}}{\text{V}}$

## 5.3 Phase Modulation PM

$$S(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + K_p m(t))$$

La variazione di fase si manifesta come una variazione istantanea di frequenza, (proporzionale alla derivata di  $m$ )

Total Bandwidth:  $6B$

Le modulazioni lineari occupano meno banda → utilizzate per accomodare più utenti

Se l'informazione da trasmettere non è Analogica ma digitale, la modulazione si chiama Keying

### Amplitude shift Keying ASK

- $f$  è costante
- low bandwidth
- weak against interference

### Frequency shift Keying FSK

$$FSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) \\ \sin(2\pi f_2 t) \end{cases}$$

- More bandwidth required

## 6 Random Access Protocols

Tutti i protocolli ad accesso multiplo trasmettono su un unico canale.

Nel caso in cui due o più nodi trasmettano contemporaneamente avviene una collisione.

Per comunicare, i nodi possono utilizzare solamente il canale

In una rete tra computer, non tutti i nodi trasmettono continuamente, quindi partizionare equamente le risorse del canale renderebbe la rete non del tutto utilizzata

Idealmente: se il Broadcast channel ha una bit rate R

1. Quando M nodi vogliono trasmettere, lo fanno con bit-rate  $\frac{R}{M}$
2. Decentralizzata: Non ci deve essere uno a coordinare le trasmissioni; i nodi non dovrebbero essere sincronizzati

### 6.1 Algoritmo ALOHA

#### 6.1.1 Aloha Pure

Pros:

- No synchronization needed

Procedure:

1. When new frame is received transmit it immediately
2. on collision retry after a random interval

#### 6.1.2 Aloha Slotted

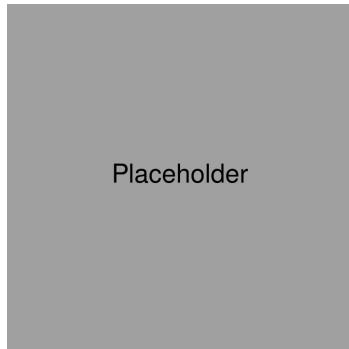


Figure 1: Slotted aloha

Assumptions:

1. All frames have the same size
2. Time is divided in equal slots
3. Nodes transmit frames only at the beginning of a slot
4. synchronization is needed
5. Collision are always detected

Procedure:

1. New frame received transmit

2. while no collisions are detected send next slot
3. If collision: start transmission in the next slot with probability P until success

## 7 Protocollo Ethernet CSMA

Se il pacchetto é molto lungo rispetto ai tempi di propagazione termina la trasmissione per non intasare la rete.

Con il protocollo ethernet é possibile misurare l'energia in un cavo, confrontarla con quella ricevuta per poter identificare facilmente i casi di interferenza

Principali problemi con il protocollo Wifi:

- Non é possibile utilizzare lo stesso sistema di error-detection siccome la potenza del segnale ricevuto dipende dalla distanza e dalla vicinanza dagli altri utenti
- Il segnale ethernet é quasi sempre a bus condiviso

Struttura frame livello 2:

- **Preamble** 8 byte, 7 con 10101010 1 con 10101011; Utilizzati per sincronizzare il ricevitore con il trasmettitore
- **Destination Address**: Target machine / Broadcast
- **Source Address**: Source machine MAC address
- **Type**: Protocollo di livello 3 (ex: IP)
- **CRC**: Cycling Redundance Check; Controlla solo se si sono verificati errori, non si occupa della correzione

### 7.1 Ethernet (Standard IEEE 802.3)

CSMA/CD 1 Persistent

## 8 5G

### 8.1 Advantages over 4G

- Maggiore disponibilità di banda
- Bassa latenza: da 9 a 10 ms; Dovuta alla minore distanza cloud-server  
Multiaccess Edge Computing: Place more computing resource closer to the point of data creation  
Very useful for AR/VR
- Maggior numero di dispositivi connessi per km<sup>2</sup> (1 mln)
- Peak data rate from 1Gbs to 20Gbs
- Available spectrum from 3GHz to 30GHz
- Higher data traffic; from 7.2 Exabyte/Month to 50 Exabyte/Month

Non ancora pienamente utilizzato, verrà utilizzato maggiormente con *IOT*

5G will become the backbone of Smart Cities, driverless cars... (IOT, Industria 4.0)

## 9 UMTS

La terza generazione GSM in europa IS-95 negli Stati uniti, Capirono che la telefonia cellulare era un fenomeno di massa. Discussero per avere una terza generazione unica.

Alla fine lo standard che doveva prendere piede era IMT-2000. Tutte le entità cercarono di spingere le proprie soluzioni significative rispetto alla 2<sup>a</sup> generazione → dovevano reggere applicazioni multimediali.

Il sistema doveva supportare la commutazione di circuito (telefono) e pacchetto (tipo internet) ed il tasso di trasmissione in continuo aumento ( $2 \frac{Mb}{s}$ )

- 1G → Vari sistemi sparsi
- 2G → Sistemi cellulari e il GSM e IS-95 anche se ci sono stati altri sistemi come per esempio IRIDIUM (costellazione di satelliti) o global
  - ⇒ Fornire connettività connessione di satellite geostazionario anche se la gestione ed i costi erano assurdi

Con la 3<sup>a</sup> Generazione si vuole arrivare ad una famiglia di standard, applicabile in tutti i continenti

**UMTS:** (Standard Principale) e poi **MC CDMA** (portanti multiple)

Per coordinare gli sforzi di tante entità è stato creato un associazione 3GPP Era una partnership per uno standard comune, ne facevano parte: ZTSI, ARIB ed ANSI

Alla fine degli anni 90 è stato introdotto la rete di accesso terrestre **UTRA** Interfaccia radio **WCDMA** → Bande più larghe del CDMA classico e poteva funzionare sia in modalità TDD sia una modalità FDD

È più facile allocare una banda in uplink e downlink

Con il TDD c'è più flessibilità

### 9.1 Tasso di trasmissione

- **GSM** → traffico dati  $36 \frac{Kb}{s}$
- **GPRS** → Potenziale a livello fisico che arrivava fino a  $171.2 \frac{Kb}{s}$  (teorico)
- **EDGE** →  $553.6 \frac{Kb}{s}$
- **UTRA** (a livello teorico) →  $1920 \frac{Kb}{s}$

### 9.2 Differenze tra W-CDMA e GSM

- Maggiore spaziatura tra plrtanti
- Maggiore frequenza di controllo

### 9.3 frequenza di controllo

nel GSM non importa la potenza relativa delle trasmissioni, perché ognuno ha la sua frequenza → non ci sono interferenze

Con la 3<sup>a</sup> generazione viene introdotto un controllo in potenza

### 9.4 Controllo qualità

legato alla pianificazione delle reti (dipende dal numero di celle per kluster e come vengono distribuite le risorse) Con la 3<sup>a</sup> generazione nascono gli algoritmi di gestione delle risorse

## 9.5 Diversità di frequenza

Serve per prevenire Fading nel canale;

- **GSM** utilizzava frequency hopping
- **W-CDMA** siccome il canale è molto grande la banda non viene completamente distrutta (notch); Vengono sfruttati con ricevitori **Rake**

## 9.6 dati e pacchetto

- GSM può assegnare all'utente più time slot successivi
- con 3g viene potenziato lo scheduling per la trasmissione dei pacchetti → il sistema assegna più risorse per aumentare la velocità di trasmissione in downlink

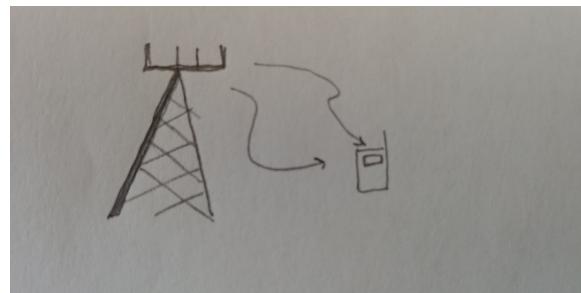


Figure 2: Diversità di cammino

## 9.7 Diversità di trasmissione in downlink

Antenne multiple in trasmissione ed antenna unica in recezione → diversità di trasmissione

Usando antenne multiple in recezione, aumenta la velocità di canale esponenzialmente; (Con **5G** verranno utilizzate almeno 2 antenne per device)

Per garantire l'ottimizzazione dell'assegnazione delle risorse → 4G introduce il concetto di "negoziazione" delle risorse attraverso *Radio Bearer* → Canale di trasporto che consente di negoziare dati (data bearer) o caratteristiche a livello fisico (Signal bearer)

Gli attributi definiti da questi pacchetti di controllo riguardano:

1. throughput
2. Ritardo trasmissivo
3. Tasso di errore massimo tollerabile

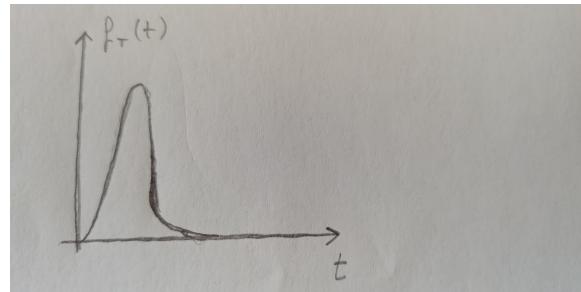


Figure 3: Classe Conversazionale

⇒ Tutto questo porta all'introduzione del concetto di classe di **QoS Quality of Service**

## 9.8 Classi di QoS di UMTS

- **Conversazionale:** applicazione principale per voce, videogiochi e videotelefonia;
  - deve essere preservata l'interazione temporale tra le informative del flusso
  - Bassa varianza dei ritardi
  - è sopportabile la perdita di alcuni frame, ma non il ritardo eccessivo dell'arrivo di ogni frame
- **Streaming:** Streaming multimediale
  - no vincoli su ritardi
  - perservazione temporale tra i frame

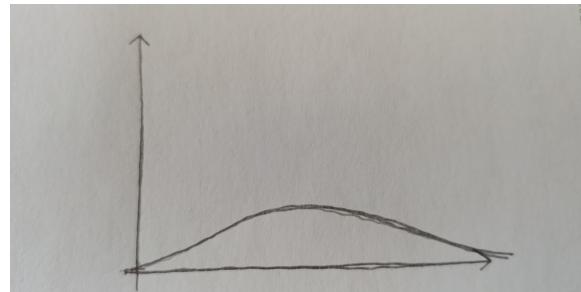


Figure 4: Grafico Streaming

- **Interattiva:** Cadono i requisiti delle entità informative, siccome non è più presente un flusso di dati
  - ottenere risposta da entità remota
  - preservare integrità dei dati
- **Background:** Chiede solo di preservare l'integrità dei dati, (Es: Download delle email in background)
  - Hanno la minore priorità rispetto alle altre classi di traffico

Sistema UMBS è di fatto formato da 2 sottoinsiemi (che sono l'evoluzione del BSS e NSS)

**NSS** → *Core Network (CN)* → autenticazione utenti connessi, commutazione autenticazione connessione, interconnessione verso reti esterne (di altri provider o internet)

**BSS** → *UMTS Radio Access Network (UTRAN)*

Nella fase iniziale del 3G coesistenza di sistemi di 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> generazione

Con la 3<sup>a</sup> generazione si inizia ad affiancare la rete d'accesso con la rete d'accesso *UTRAN*

**CS:** Circuit switching

**PS:** Packet Switching

**RNC:** Radio network Controller → novità introdotta dalla 3G, Collegati con interfaccia **Iur**, idealmente sono tutti connessi tra loro

Idea del 3G: Delegare all'esterno piú responsabilitá ed intelligenza, mentre lascia all'interno della core Network la tariffazione

**UTRAN** → formata da vari RNS, ognuno dei quali é formato da diversi Node B. Ogni Node B gestisce un certo numero di celle (da 3 a 6)

→ In ogni cella é supportato FDD e TDD

## 9.9 Interfacce Considerate nello Standard

- **UU** → Interfaccia telefono e Node B, ha il compito di
  - trasportare i servizi per l'utente
  - Gestione della mobilitá: Trasporto delle informazioni necessarie
- **IU** → Interfacciamento tra *UTRAN* e *Core Network*
  - **Iu-CS** Circuit Switching → per traffico vocale
  - **Iu-PS** Packet Swtiching → per traffico dati
- **Iub** → Interfaccia di collegamento fra Node B ed il proprio RNC
- **Iur** → Collega RNC appartenenti a diversi RNS

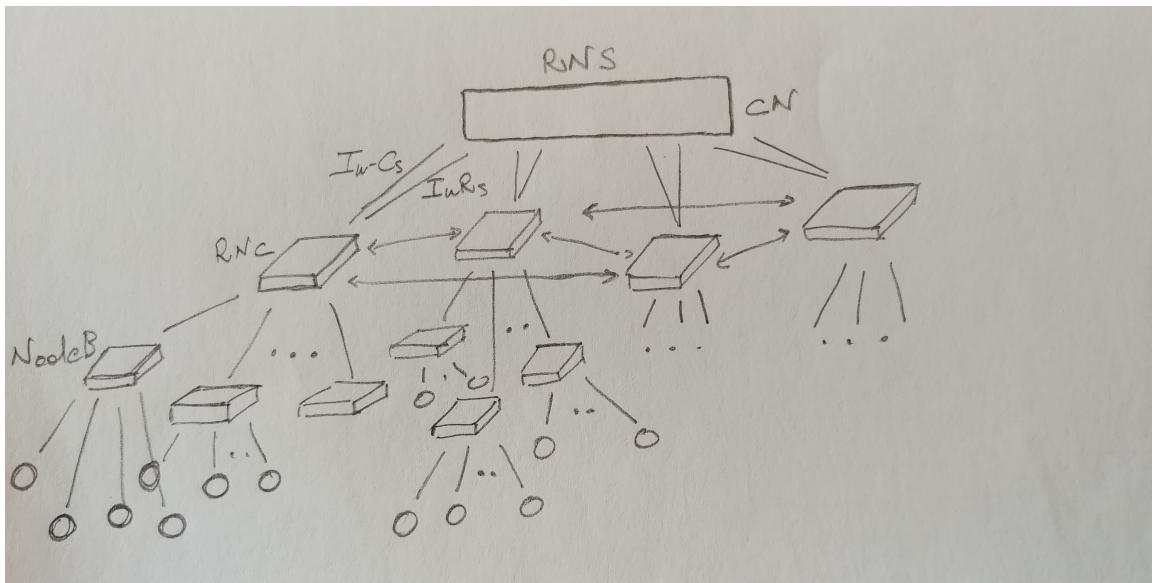


Figure 5: Architettura UTS

La novità a livello architettonico dell'UMTS é la presenza degli RNC nella *UTRAN* ⇒ RNC gestisce tutte le funzionalitá lato utente:

- Mobilitá

- Assegnazione risorse

Senza passare da core network

#### Node B

- Realizza le trasmissioni radio (modulazione, potenza trasmissiva, gestire il controllo di potenza)
- Riceve dal proprio RNC le indicazioni sulle risorse da assegnare agli utenti
- Effettuare misure sulla potenza e QoS

**HSPA** High Speed Packet Access

Dispositivi di generazioni successive devono garantire il funzionamento delle generazioni precedenti fino a quando non vengono dismesse

## 10 LTE (4G)

Machine to machine legata ad IOT (dovrebbe rimanere piccola siccome i dati trasmessi sono pochi)

Con LTE le comunicazioni dati iniziano ad essere deflesse sulla comunicazione dati

Obiettivo **LTE**: supportare sempre più traffico dati

3GPP creata per generare un potenziale standard per la 4<sup>a</sup> generazione

### 10.1 Motivation for LTE

- Higher data rates ⇒ More spectral efficiency
- Sistema completamente ottimizzato per packet switching non *Commutazione per circuito*
- Higher quality service  
Aumentare l'esperienza di always on
- Suddivisione logica tra *User Plane* e *Control Plane* (Non visibile all'utente)
- Infrastruttura più economica  
Semplificazione architettura con riduzione elementi in rete

### 10.2 LTE performance requirements

- Data rate con picchi di  $100 \frac{Mb}{s}$ , massima banda assegnabile ad un utente  $20MHz$   
Da 3<sup>a</sup> Generazione ci si è accorti che il traffico è asimmetrico, downlink è molto più utilizzato rispetto all' uplink, per questo motivo, l'efficienza spettrale dell'uplink è la metà rispetto a quella del downlink
- Cell range ideale di qualche Km, idealmente si puntava ad avere celle di 30 e 100Km di raggio
- Cell Capacity fino a 200 utenti attivi per cella
- Mobilità (Sistema ottimizzato per basse mobilità)
- Latency
  - User Plane (nell'ordine di pochi millisecondi  $\approx 5ms$ ), essenziale per AR & VR
  - Control Plane
- Improved Spectral efficiency
- Broadcasting: Tutte le applicazioni legate al Digital Video Broadcasting, (es Eventi in diretta)
- Ottimizzato verso l'IP, per essere direttamente compatibili con Internet

- Bande scalabili (Attraverso **OFDMA** consente assegnazioni flessibili di risorse frequenziali)
- Co-esistenza con precedenti versioni delle reti cellulari

### 10.3 3 principali limitazioni del 3G

1. Massima bit rate
2. 3<sup>a</sup> gen non era stata progettata per tenere conto dei vincoli sulla latenza,  
diventa difficile utilizzare applicazioni interattive  
Interazioni ancora peggiori con il resource assignment
3. 3G richiedeva dei terminali complessi, per funzionare bene c'era bisogno utilizzare dei ricevitori RAKE  
(molto complessi), i quali richiedevano un grande consumo di batteria

Latenza := Round trip delay

Struttura 4G: Core Network + parte di controllo; Scompare l'RNC → Prima semplificazione rispetto alla 3<sup>a</sup> generazione

### 10.4 LTE/SAE Key features

SAE := System Architecture Evolution

**E-UTRAN:** Evolved UTRAN, parte d'accesso

**eNB:** Evolved Node B, parlano direttamente con un Gateway

Esistono due tipologie di Gateway

**P-GW:** Packed Data Network Gateway

**EPC:** Evolved Packet Core

Architettura semplice dal punto di vista dell'user plane: 3 passi per raggiungere l'esterno

A livello di controllo gli eNB si collegano all'MME *Mobility management entity*

HLR (Home location register) e VLR vengono integrati nell'HSS

PCRF, si occupa della tariffazione

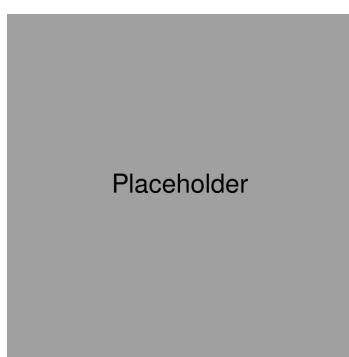


Figure 6: Architettura LTE

Si può notare la suddivisione tra più livelli nell'architettura dell'LTE (Figura 6)

LTE in uplink viene utilizzato SC-FDMA, in downlink OFDMA

HARQ: Garantisce ritrasmissione selettiva di pacchetti persi

Da punto di vista dell'accesso, si concentra tutto sugli eNB

Ruoli delegati all'eNB

- Resource Scheduling
- QoS Aware
- Autoconfigurante, idea: installare eNB e lui doveva autoconfigurarsi rispetto alla sua posizione nella rete
- Scompare completamente il CS domain, viene tutto orientato al Packet Switching
- IETF: Internet Engineering Task Force, si occupa di standardizzare qualsiasi protocollo legato ad internet,

fondamentalmente libera, per proporre qualcosa di nuovo vengono richiesti degli RFC (Request For Comments)

Si occupano di sviluppare i protocolli, non di come vengono trasmessi i dati

Entra lo standard (MIP-v6, i.e. IPv6)

4G considerava già di supportare protocolli per "IP in mobilità"

- Prepared for Non-3GPP Access

ePC deve essere in grado di gestire flussi informativi non necessariamente legati a rete cellulare, ma anche da access point WiFi

## 10.5 Key Features

- al posto di NodeB arriva eNB
- Scompare RNC Delegando le capacità gestionali all'eNB, il sistema diventa più semplice e reattivo
- Transport Layer (trasporto informazione): tutto diventa orientato all'IP
- Resource Scheduling in Uplink e Downlink

eNB Contiene uno scheduler che assegna le risorse a tutti gli utenti connessi

Idea fondamentale per rendere possibile assegnazione dinamica delle risorse

**Sistemi multiportante** Con CDMA veniva assegnata tutta la banda e si sperava che i notch fossero pochi rispetto alla grandezza di banda,

⇒ approccio più efficiente, dividere banda in più bande piccole ed assegnarne un diverso numero ad un unico utente: Vengono assegnate solo quelle dove il canale ha una 'buon' risposta, in modo da utilizzare al massimo possibile ogni porzione di banda

**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Modulation

**HARQ** (H, H+): Hybrid Automatic Retransmission reQuest Cercare di accelerare il più possibile la trasmissione, non interrompendo il flusso

## 10.6 LTE key parameters

Ogni risorsa frequenziale prende il nome di **Resource Block**, e corrisponde ad una sottobanda di 180KHz. Vengono assegnati tra i 6 ed i 100 blocchi di risorse in base al tipo di richiesta

Protocolli di accesso multiplo e modelli di scheduling sono identici,

**OFDMA** legato all'OFDM, Include anche il livello fisico

In Uplink, anche se ognuno ha una singola antenna, nel caso di Cooperazione viene creata una *Antenna Array* → Multiuser Collaborative MIMO (Mai implementata)

Uplink max:  $75Mbps$