



# LTE & LTE-A

**Vittorio Degli Esposti  
DEI – UniBO**

**Enrico Tarantino  
Claudia Carciofi  
Fondazione Ugo Bordoni**

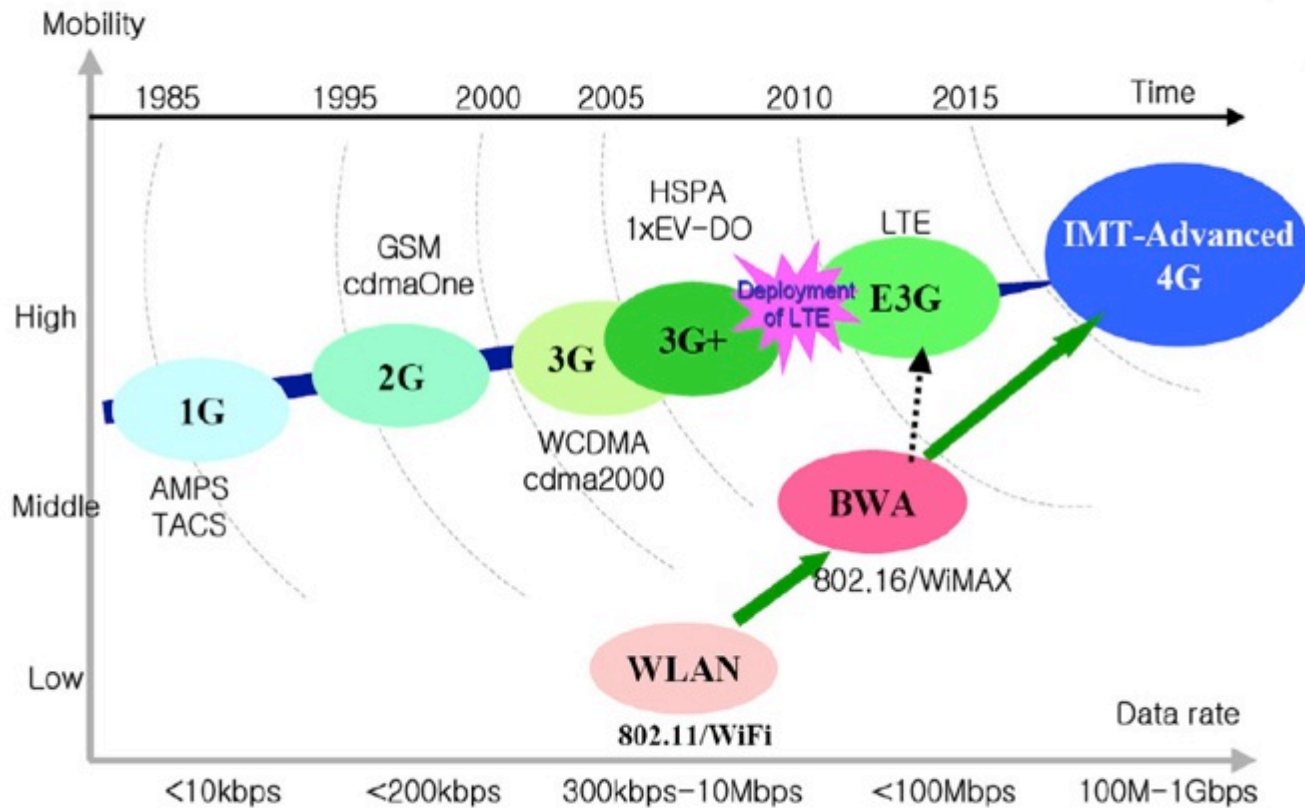
# Sommario

- Introduzione
- Obiettivi
- Architettura
- Livello fisico
- MIMO
- Livello 2: MAC
- RRM
- The Real 4G
- Domande comuni
- QoS

# INTRODUZIONE



- Evolution of wireless standards



# La standardizzazione

Analogamente a quanto fatto per 3G, nell' Ottobre 2005 ITU definisce quali sono i target per una rete mobile 4G chiamata IMT-A (International Mobile Telecommunications-Advanced).

2 Fasi:

- LTE: rete 3,5G (Release 8)
- LTE-A: rete 4G (Release 9 2011, Rel. 10 da pubblicare)

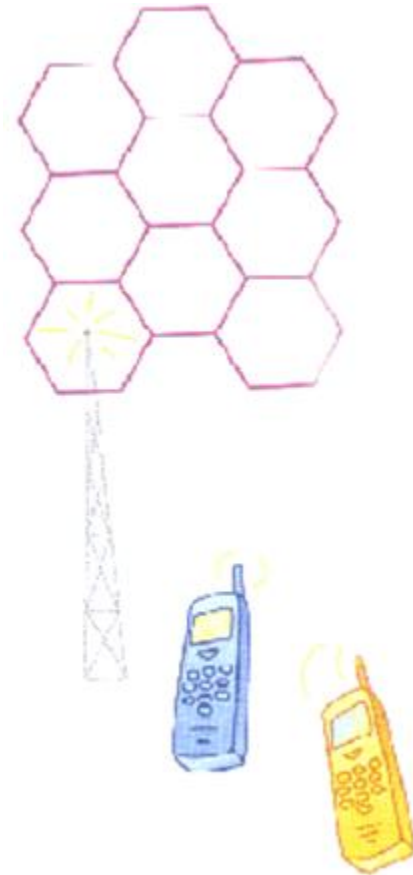
Obiettivi:

- Supporto alla grande varietà di servizi sul mercato (VoIP, VPN, etc..)
- Differenti QoS
- Efficienza spettrale
- Velocità, etc.

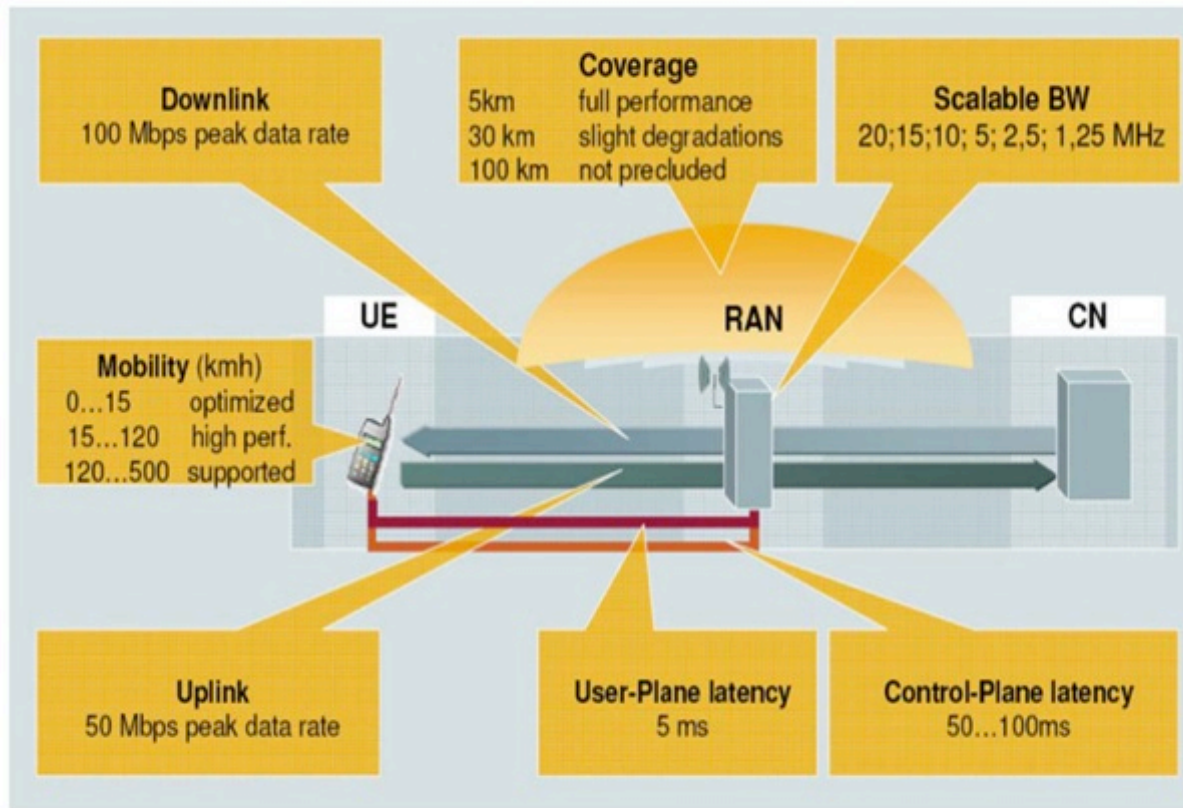
# OBIETTIVI

Requisiti	LTE	LTE-Advanced
Peak data Rate	100 Mbps	1Gbps
Latenza	100 ms	5 ms
Bandwidth	Fino a 20MHz	Fino a 100Mhz
Spectrum Efficiency	16 bit/s/Hz	30 bit/s/Hz
Commutazione	Circuito e pacchetto	pacchetto
Bande di utilizzo	Varie incluse	GSM e UMTS

# ARCHITETTURA



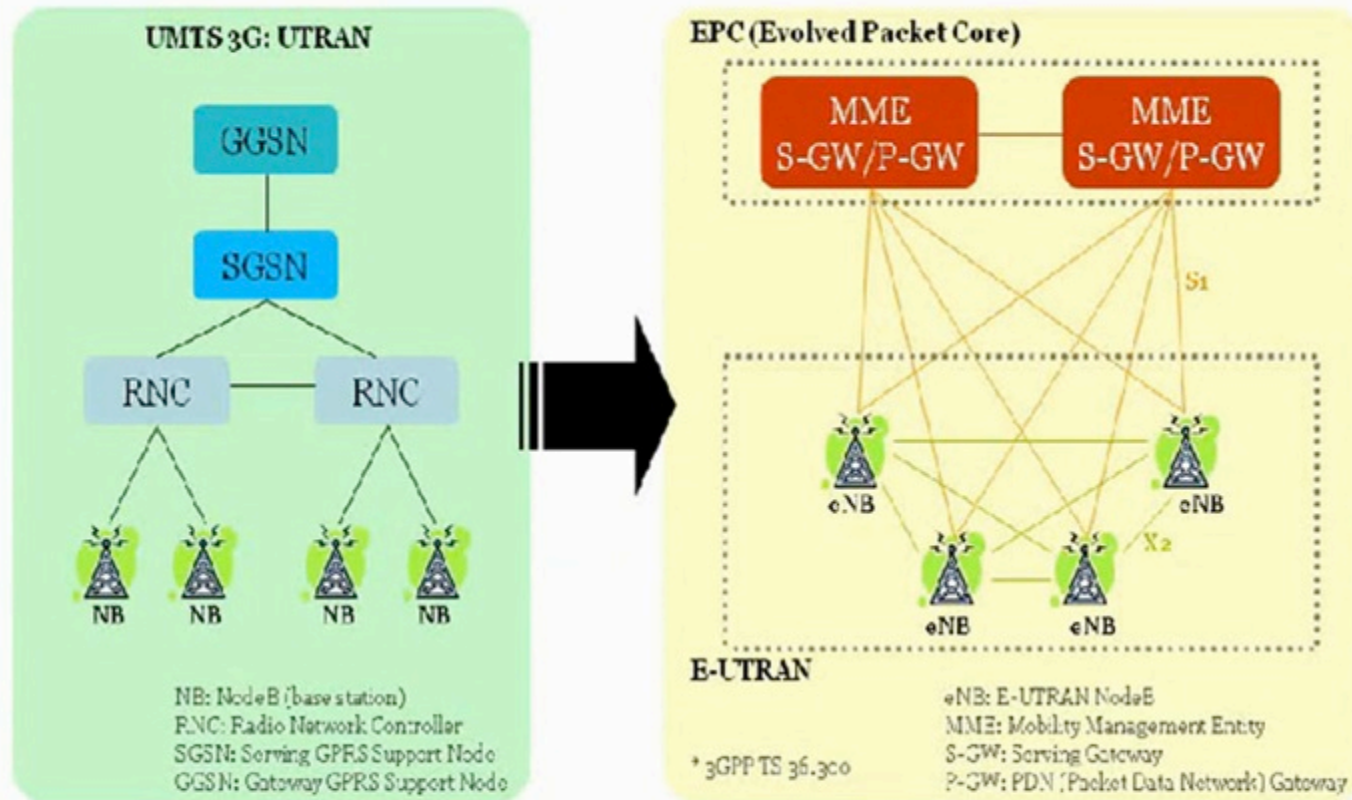
# «Uno sguardo dall'alto»





# LTE Network Architecture

- E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)



## In particolare le **nuove stazioni radio base**:

- garantiscono le funzioni di accesso e di gestione delle risorse radio;
- svolgono autonomamente la gestione del traffico di interfaccia;
- assicurano il conseguimento della qualità di servizio;
- sono responsabili dell'effettuazione dell'handover.

## In particolare **MME** gestisce:

- la mobilità dell'utente e la segnalazione di gestione della sessione: ciò comprende funzioni quali l'autenticazione, il supporto dell'handover tra differenti eNB e verso/da differenti reti radio;
- l'inseguimento della localizzazione per MS nello stato di inattività;
- la scelta di un gateway verso Internet quando un MS richiede l'instaurazione di una sessione.

# LAYER 1



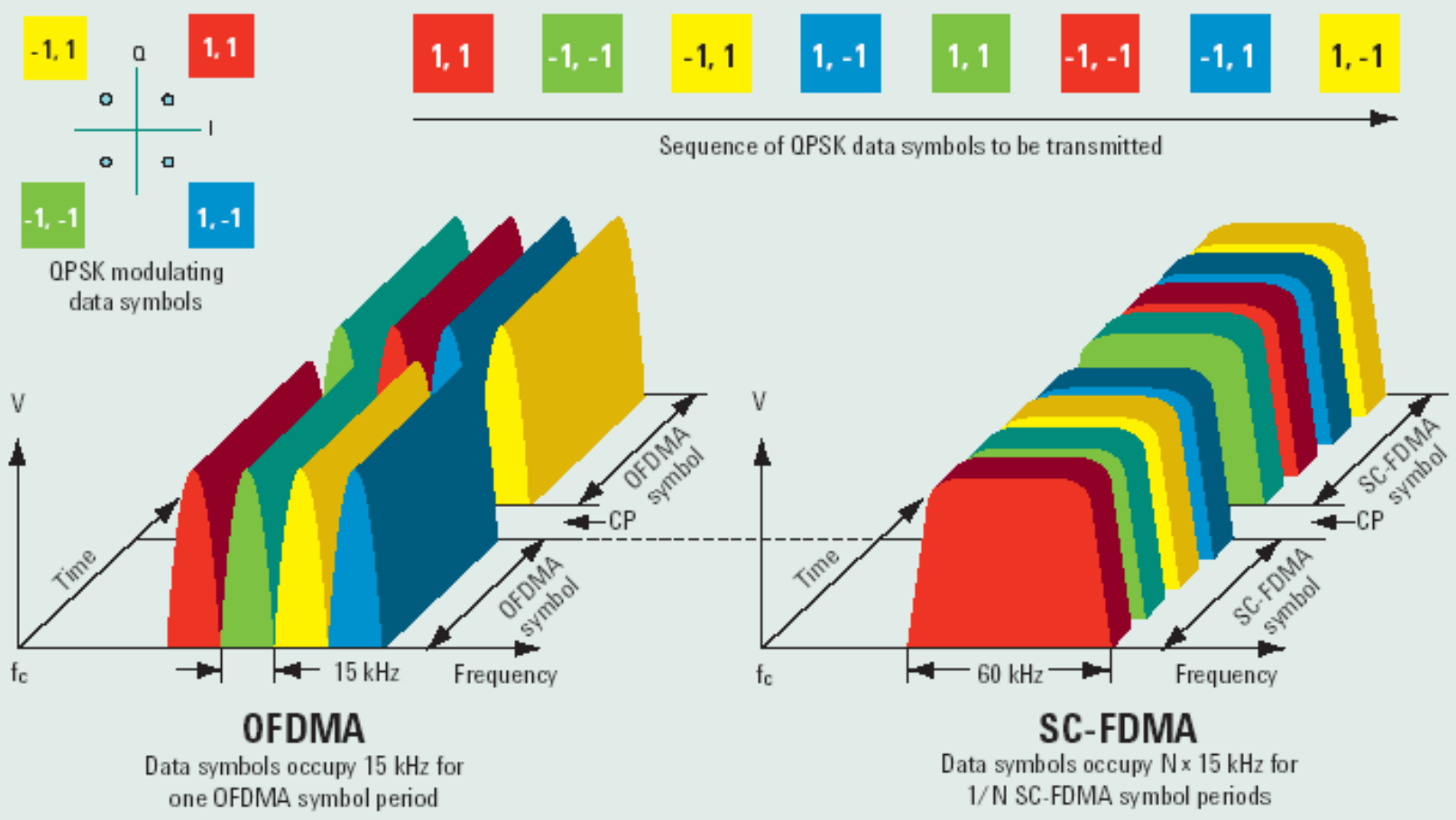
# Interfaccia radio

- L'interfaccia radio in ambiente **LTE** **abbandona** la soluzione adottata in **UMTS** (una sola portante a sostegno di una larga banda di frequenza) e **adotta** in sua vece uno schema **multi-portante**.
- I **vantaggi** sostanziali di questa soluzione risiedono nella possibilità di meglio fronteggiare il fenomeno dei cammini multipli e il conseguente spreading dei ritardi sui diversi cammini tra emettitore e ricevitore.

# Accesso al canale e Modulazione

- Downlink: **OFDMA** con modulazioni possibili per sottoportante QPSK, 16QAM, 64QAM
- Uplink: **SC-FDMA** con modulazioni possibili per sottoportante QPSK, 16QAM.

# Differenze



# Perché differenza tra DL e UL?

- Lo schema adottato per il trasferimento in uplink è leggermente diverso da quello adottato in downlink; infatti con OFDMA la trasmissione soffre di un elevato **PAPR** (Peak to Average Power Ratio).
- Tale elevato PAPR avrebbe conseguenze negative nel progetto del trasmettitore di una MS e, in particolare, dell'amplificatore di potenza: infatti in quest'ultimo occorre conseguire un'efficienza che deve essere la più elevata possibile e un elevato PAPR ne è di impedimento.
- La scelta dello schema di trasmissione in uplink si è quindi orientata verso una modalità multi-portante, che presenta un PAPR decisamente migliore rispetto all'OFDMA: tale modalità è quella del SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access).



# Parametri fisici

- La sp...  
comp...  
con l'e...  
con ve...
- Secon...  
radio...  
**1,25 M**...  
sono r...  
nume...  
queste...  
algorit...
- Bande...  
1900 M...

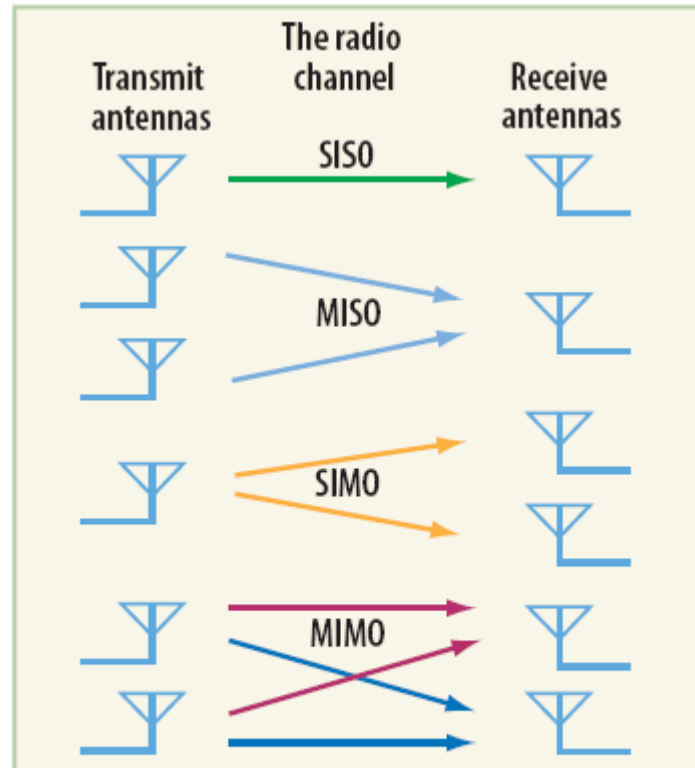
Larghezza di banda (MHz)	Numero di sotto-portanti
1,25	76
2,5	151
5	301
10	601
15	901
20	1201

o da  
a  
osta

o di  
ella

li

# MIMO

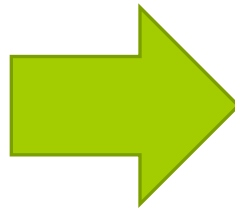


1. These diagrams show different single- and multiple-antenna techniques.

# MIMO

**A parità di potenza trasmessa o di banda impiegata :**

- Spatial multiplexing
- Transmit Diversity
- Beamforming



- Maggiori velocità di trasmissione
- Maggiore efficienza spettrale
- Miglioramento della copertura

# Generalità MIMO LTE

- Lo standard LTE specifica sistemi multi-antenna del tipo 2x2 e 4x4, nei quali ogni estremità del collegamento radio utilizza una coppia o una quadrupla di antenne.
- E' naturale che la prima di queste soluzioni sia anche la prima ad essere adottata; ciò per due motivi:
  - i vincoli di ingombro della MS;
  - la spaziatura delle antenne che deve essere di almeno mezza lunghezza d'onda (circa 7 cm alla frequenza di 2GHz).
- Inoltre la modalità 2x2 può essere attuata con una singola antenna cross-polare, che combina due antenne trasmettenti su polarizzazioni tra loro ortogonali.

# Effetto MIMO su LTE: caso pratico

- In una situazione ideale, una soluzione 2x2 può raddoppiare la bit rate, mentre quella 4x4 lo può quadruplicare; ma l'incremento della bit rate è decisamente più contenuto in condizioni meno favorevoli.
- Calcoliamo la bit rate di picco  $R_p$  su un canale LTE downlink con le ipotesi prese da standard:

# Ipotesi

- larghezza di banda del canale radio = 20 MHz (la massima possibile secondo lo standard);
- conseguente numero delle sottoportanti  $N_p = 1201$
- modulazione impiegata 64 QAM (massimo ordine di modulazione secondo lo standard) con  $N_b = 6$  bit/simbolo
- tempo di trasmissione di un simbolo includendo il prefisso ciclico  $T_b = 71,367 \mu s$ ;

$$R_p = (1/T_b) \times N_b \times N_p = (1 / 71,367 \times 10^{-6}) \times 6 \times 1201 = 100,971 \text{ Mbit/s}$$

Quando è usato un MIMO 2x2 o 4x4, questo ritmo raddoppia (200 Mbit/s) o quadruplica (400 Mbit/s).

# Perché lo standard stabilisce solo 100 Mbit/s?

E' tuttavia da sottolineare che **questi valori** di  $R_p$ , riferiti a condizioni ideali **non sono in pratica raggiungibili** per una varietà di ragioni:

- la modulazione 64 QAM può essere usata solo in stretta prossimità della stazione radio-base; in sua vece sono più realistiche le modulazioni 16 QAM (4 bit/simbolo) e QPSK (2 bit/simbolo);
- la codifica a rivelazione e a correzione di errore è indispensabile sull'interfaccia radio; ritmi di codifica uguali a 1/3 sono valori riscontrabili in media; conseguentemente l'overhead di codifica è nell'intervallo 25 – 30 %;
- anche in presenza di codifiche per correzione, è ragionevole prevedere ritrasmissione dei pacchetti con quote dell'ordine del 20 %;
- i canali pilota e quelli di controllo, che sono presenti accanto ai canali dati, introducono un significativo overhead;
- in molti casi la larghezza di banda disponibile è minore di 20 MHz;
- quando si usa la tecnica MIMO l'ordine di modulazione QAM deve essere ridotto sotto condizioni di trasmissione meno che ideali;
- occorre infine tenere conto degli effetti di degradazione prodotti dalle interferenze di celle vicine sulla stessa banda di frequenze.

## Quindi in pratica:

- è probabile che il throughput in downlink per cella sia circa il 30 – 50 % del valore teorico sopra riportato.
- Per una cella con banda 10 MHz e con un MIMO 2x2 può essere ottenuta una capacità complessiva dello strato IP uguale a circa 30 Mbit/s.



# Tecniche MIMO in LTE

- 1) SU-MIMO
- 2) Transmit diversity
- 3) Closed loop rank 1
- 4) MU- MIMO
- 5) Beamforming

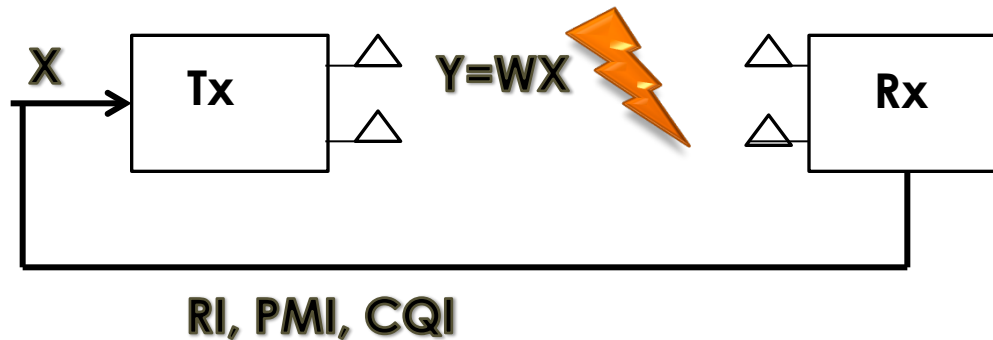
# 1) Single User MIMO: SU-MIMO

Ci sono 2 modalità:

- Closed Loop
- Open Loop

## CLOSED LOOP SU-MIMO

La base station eNodeB applica una **precodifica** al segnale da trasmettere in accordo a ciò che viene comunicato dal UE. In questo modo il segnale trasmesso tiene in considerazione il canale percepito dall' utente.

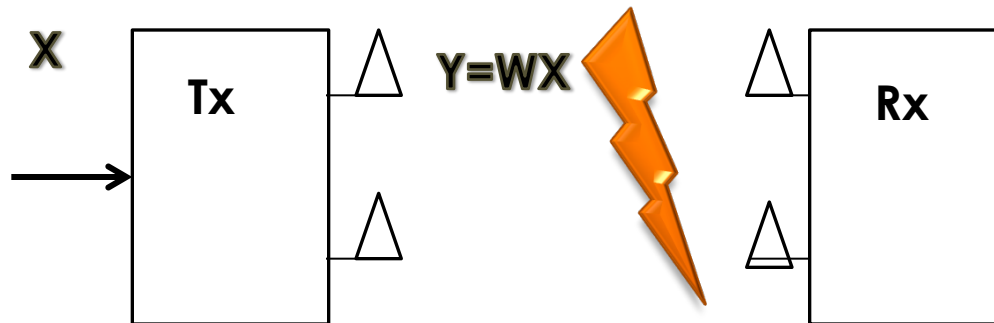


- **RI**: rank indicator
- **PMI**: Precoding Matrix Indicator
- **CQI**: Channel Quality Indicator

## OPEN LOOP SU-MIMO

- Quando la velocità di trasmissione del feedback è troppo bassa
- Quando l'overhead del feedback è troppo grande

Il eNodeB usa un determinato set di matrici di precodifica (scelto in base al rank del UE) che viene applicato ciclicamente a tutte le portanti trasmesse



## 2) Transmit Diversity

Lo stesso segnale viene inviato da più antenne in trasmissione. In ricezione si useranno tecniche di combining per sfruttare la diversità spaziale

## 3) Closed Loop Rank-1

Stesso meccanismo del closed loop di prima ma assumendo  $RI=1$ . Con questa assunzione diminuisce l'overhead di ritrasmissione e quindi diventano più veloci i tempi di trasmissione

## 4) Multi User MIMO, MU-MIMO

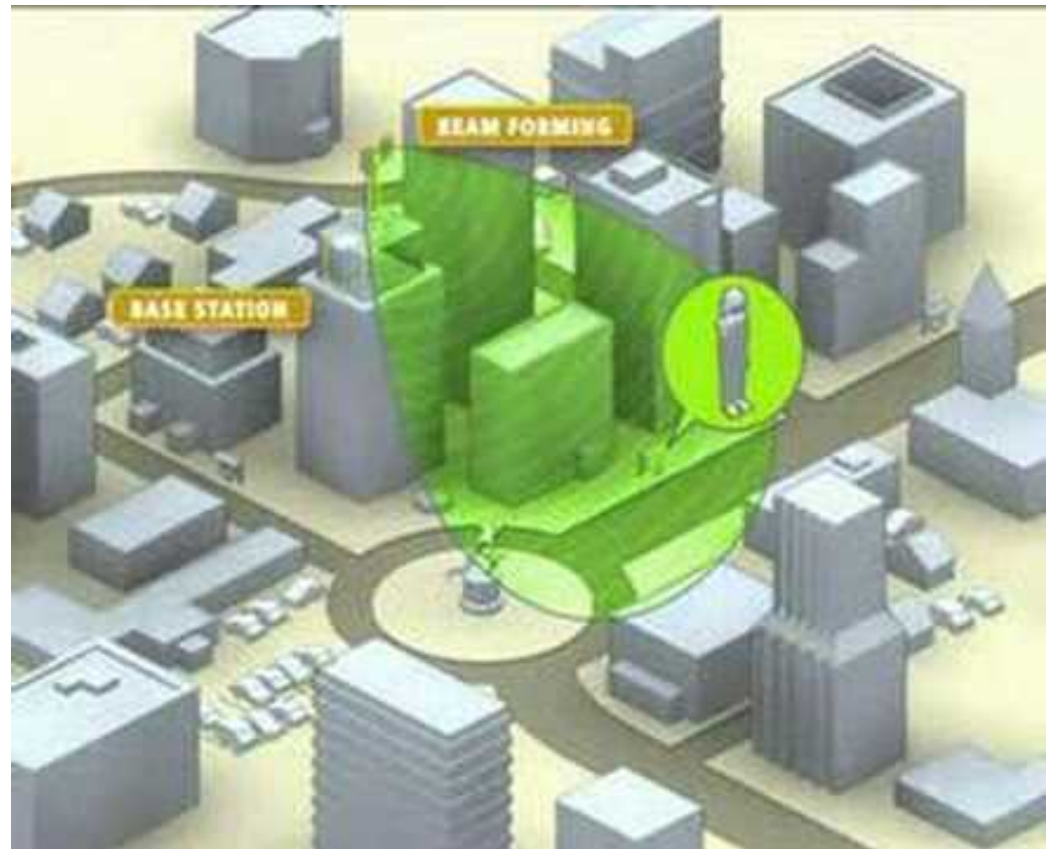
Il eNodeB può trasmettere (e ricevere) **nella stessa risorsa tempo-frequenza** a (e da) più utenti.

Affinchè eNodeB possa correttamente riconoscere i segnali provenienti da più utenti questo assegna **segnali di riferimento ortogonali**

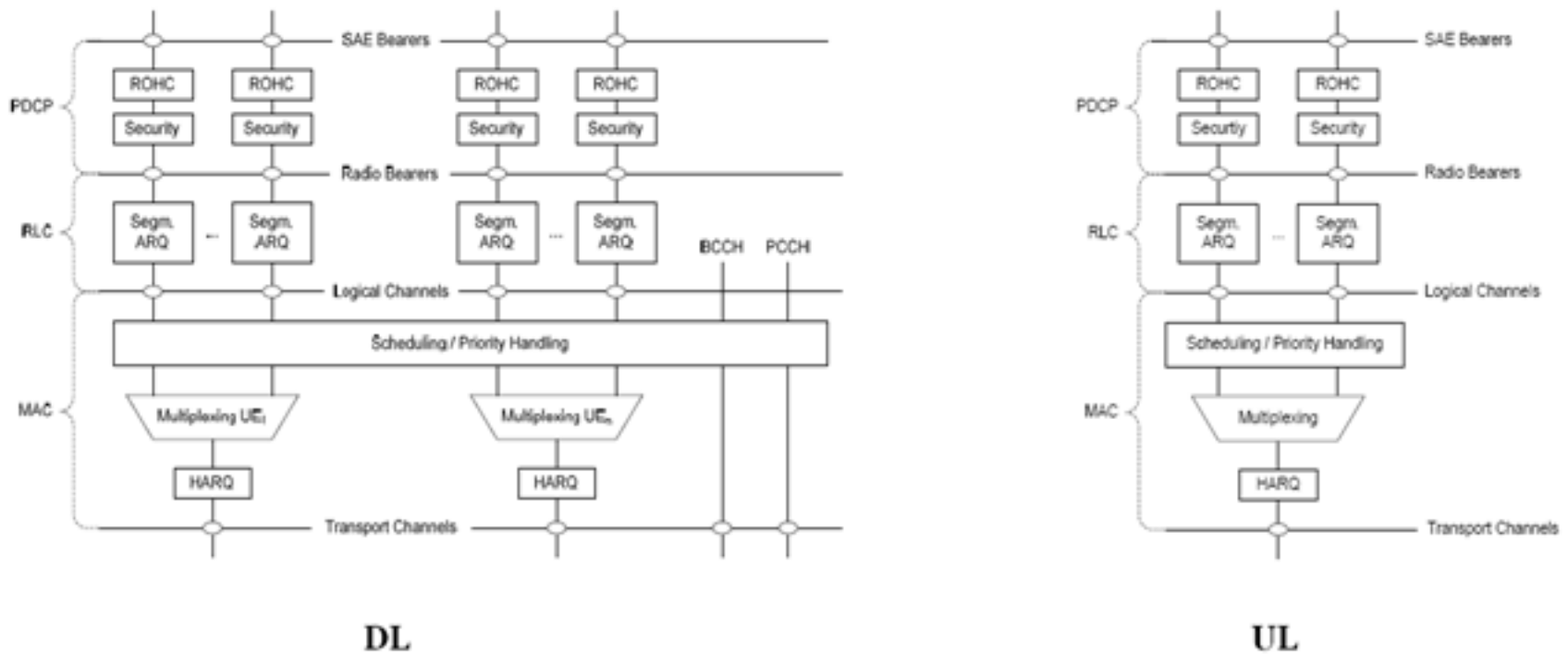
## 5) BEAMFORMING

eNodeB genera un beam usando le antenne a disposizione come gli elementi di un array.

# LAYER 2



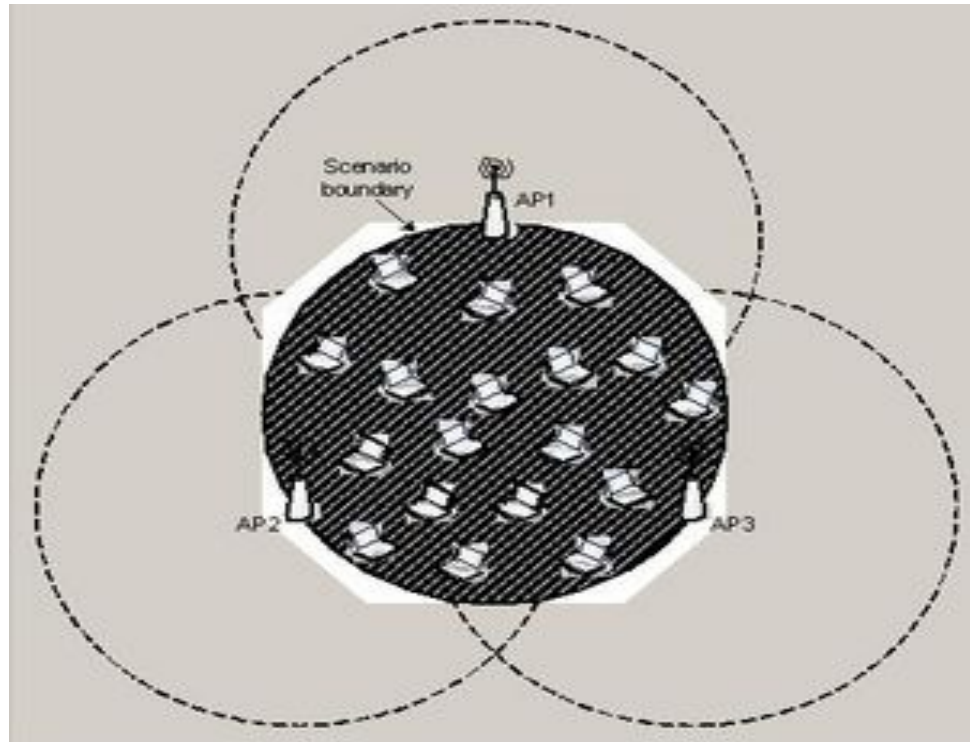
# Strato 2: MAC, accesso al canale



- Lo strato 2 è costituito da tre sottostrati che sono:
- MAC (Medium Access Control);
  - RLC (Radio Link Control);
  - PDCP (Packet Data Convergence Protocol).

**Qual è la funzione complessivamente svolta?**

# Radio Resource Management

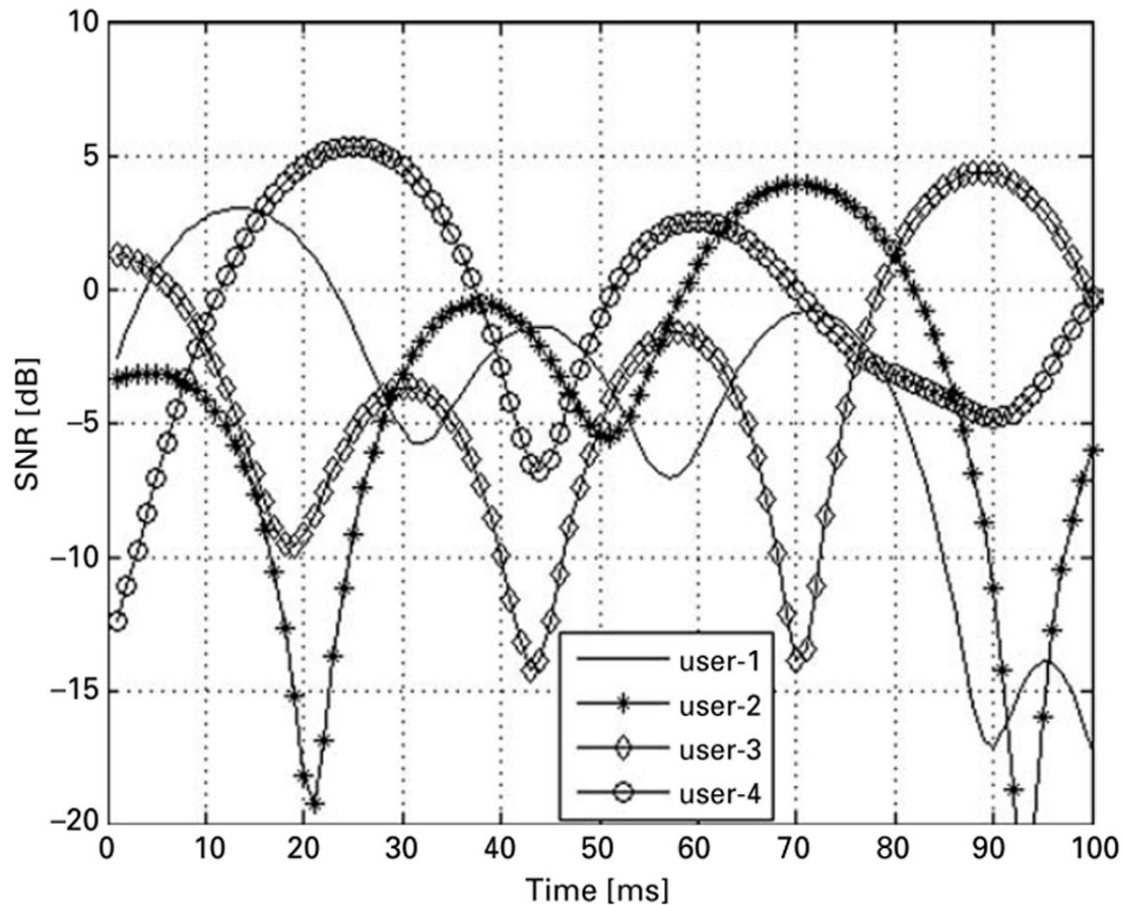




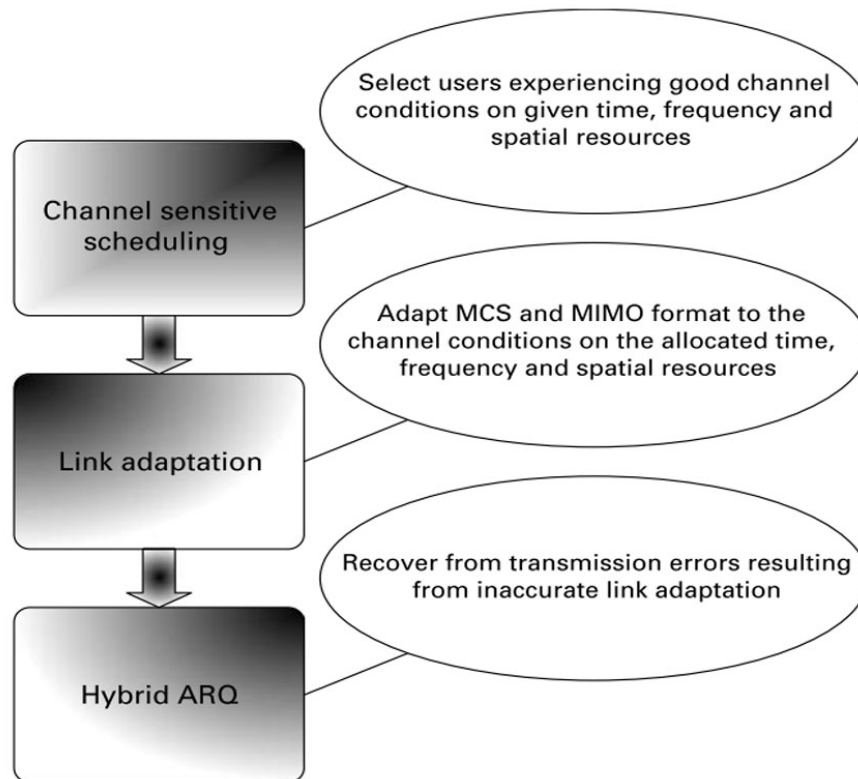
# RRM

- A velocità di movimento del UE medio-basse, **le variazioni del canale possono essere seguite dal eNodeB e le variazioni veloci dovute al fading di Rayleigh possono essere usate a nostro vantaggio.** Per la trasmissione in downlink, UE manda dei feedback al eNodeB sulla qualità del segnale ricevuto. eNodeB usando una scelta politica di scheduling (ad esempio “proportional fair”) può scegliere quale frequenza e quale slot temporale dare ad un determinato utente in base a quale risorsa massimizza la capacità del sistema.

Se su una determinata banda ci sono molti utenti con fade indipendenti, è molto probabile trovare in ciascun istante un utente che massimizza l'uso della risorsa a cui fare l'assegnamento.



# Come si assegna la frequenza:



# Channel sensitive scheduling

- Esplora l'andamento del fading del canale per tutti gli utenti e assegna di conseguenza le risorse.

# Link adaptation

- Lo scopo del Link adaptation è quello di assegnare i migliori parametri di trasmissione (schema di codifica e modulazione –MCS-, tecnica MIMO, precodifica del segnale) alle condizioni del canale considerato nella risorsa assegnata dallo scheduler.

# Hybrid ARQ

- Il termine Hybrid ARQ è usato per descrivere l'uso combinato di FEC (Forward Error Correction) e ARQ (Automatic Repeat Request), nel quale i pacchetti sbagliati non vengono scartati ma assegnati al correttore d'errori.

BEYOND:

# *LTE- Advanced*

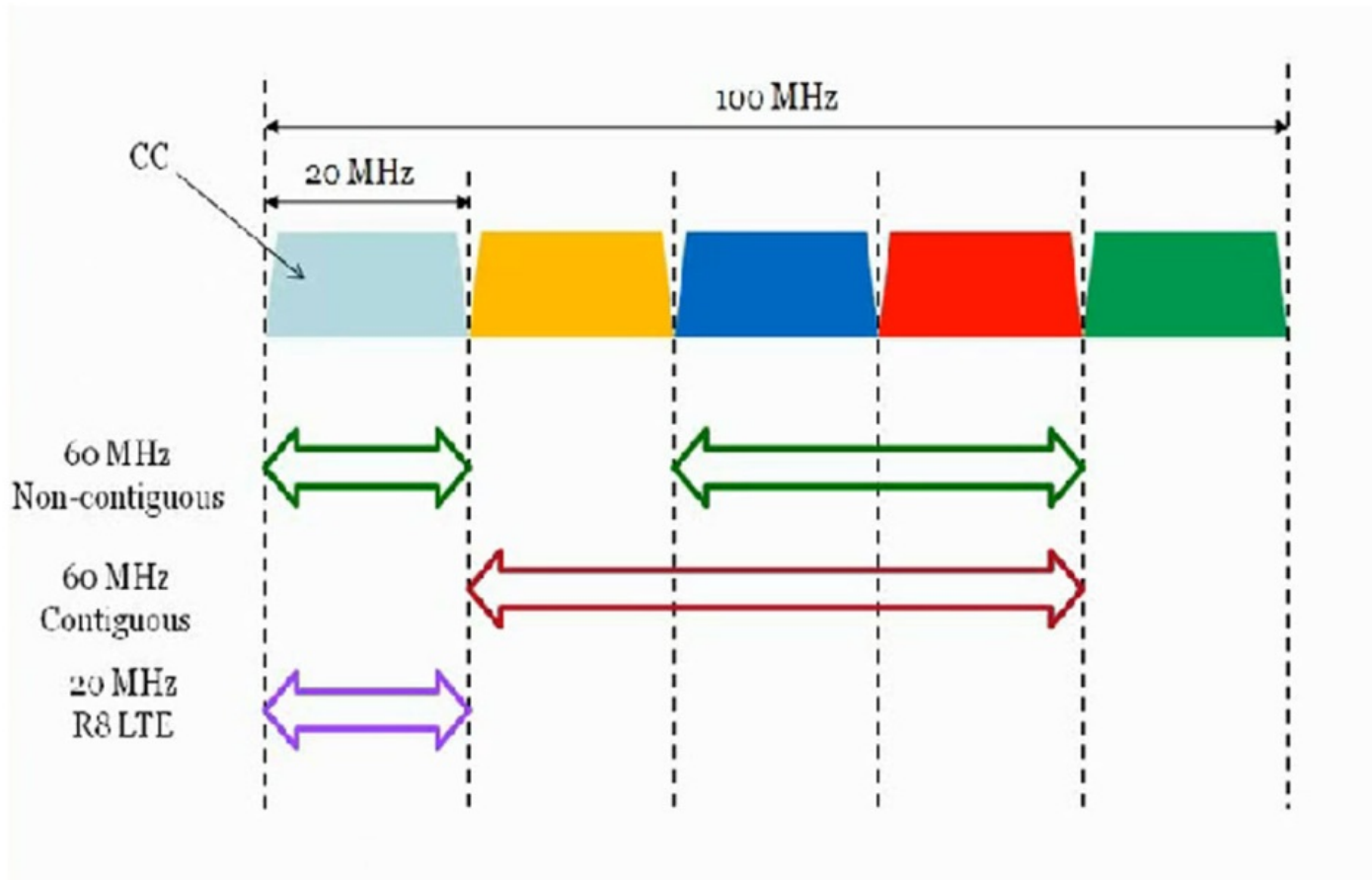


A GLOBAL INITIATIVE

# RELEASE-10

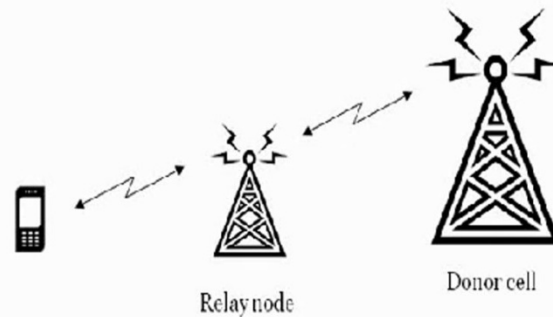
# LTE-Advanced: the real 4g

Requisiti	LTE	LTE-Advanced
Peak data Rate	100 Mbps	1Gbps
Latenza	100 ms	5 ms
Bandwidth	Fino a 20MHz	Fino a 100Mhz
Spectrum Efficiency	16 bit/s/Hz	30 bit/s/Hz
Commutazione	Circuito e pacchetto	pacchetto
Bande di utilizzo	Varie incluse	GSM e UMTS



- MIMO 8x8 DL e 4x4 UL
- Relaying: Uso di ripetitori (anche wireless) collegati all'eNodeB per aumentare la copertura

- Improves coverage and cell-edge performance.



- Coordinare trasmissioni da più eNodeB allo stesso UE



# Qual è il vantaggio dell'usare uno spettro non «monolitico»?

Per sfruttare la frammentazione dello spettro ed **aumentarne quindi l'efficienza** d'uso.

## Ma allora: cosa lo differenzia dalle Cognitive Radio?

C'è una grossa differenza in quanto l'assegnazione di uno spettro frammentato avviene **SOLO su bande licenziate** e assegnate per questo servizio, mentre le Cognitive Radio ha più «libertà di scelta» tra gli spectrum hole a disposizione.

## Punti su cui lavorare (alcuni)

- eNodeB comunicano tra di loro
- Sostituire il meccanismo di feedback con una previsione a monte per aumentare la velocità
- Uso dello spettro: prediligere le frequenze più basse per aumentare la copertura
- Frequenze più alte per risparmiare energia (Green ICT) e aumentare il throughput verso Gigabit wireless
- Idee varie ed eventuali

---

# **EVOLUZIONE DEI SISTEMI PER LE COMUNICAZIONI MOBILI DALLA TERZA ALLA QUARTA GENERAZIONE: ASPETTI TECNOLOGICI ED IMPATTO TERRITORIALE“**

Claudia Carciofi

Fondazione Ugo Bordoni

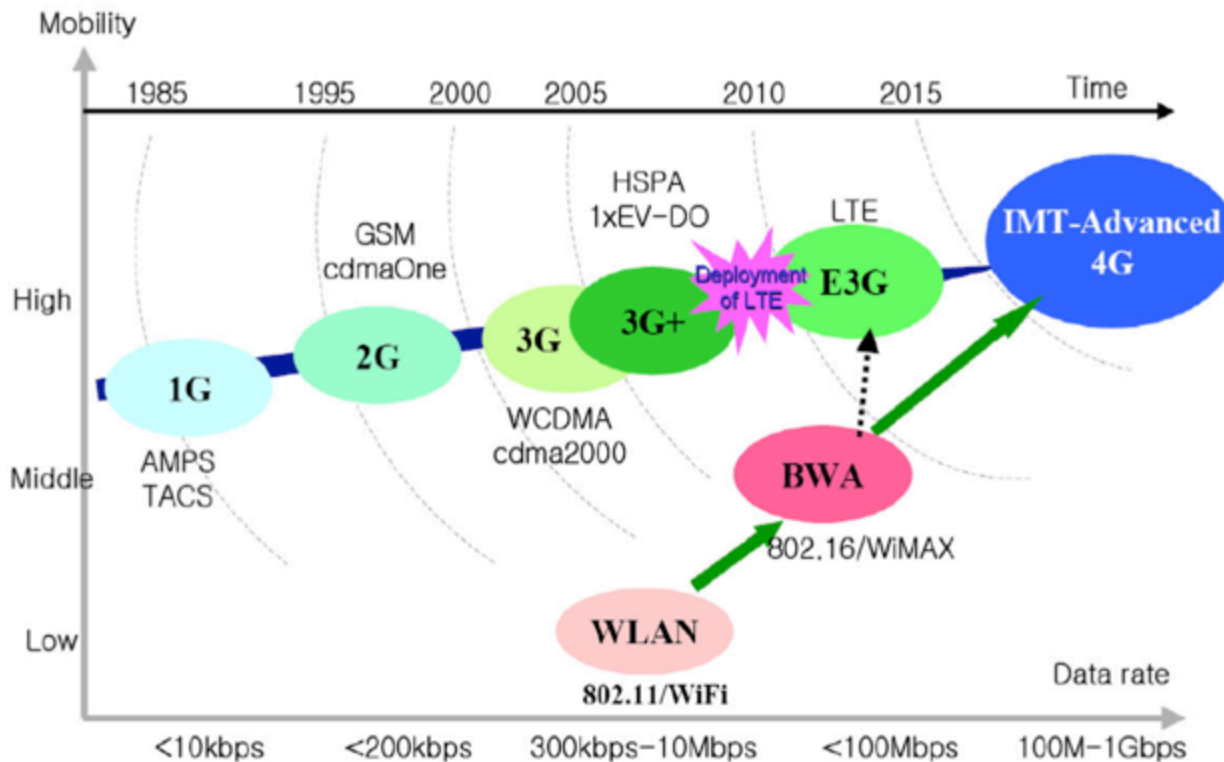
Pontecchio Marconi, 10 Aprile 2013

## Argomenti della presentazione

- ❑ Caratteristiche tecniche del sistema LTE: frequenze utilizzate, interfaccia radio, architettura del sistema
- ❑ Evoluzione della copertura territoriale dalle reti esistenti alla nuova infrastruttura LTE: scenari di interesse e punti di attenzione

# Evoluzione sistemi cellulari di terza generazione

- Evolution of wireless standards



## Motivazione sistema LTE

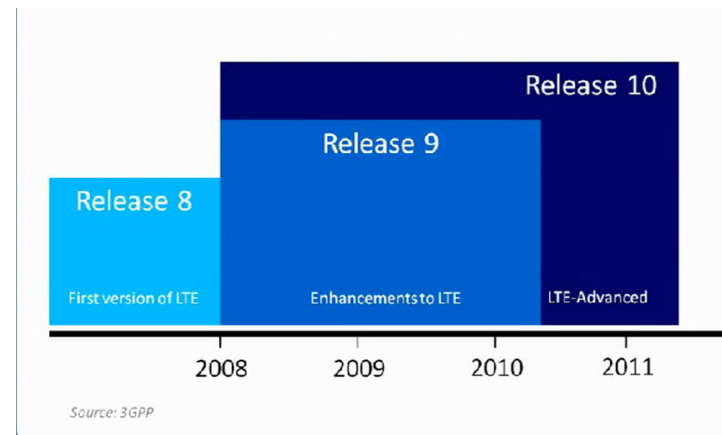
- ❑ Domanda degli utenti per velocità di trasferimento dati più elevate e migliore qualità del servizio
- ❑ Sistema ottimizzato a commutazione di pacchetto
- ❑ Continua domanda di riduzione dei costi (CAPEX e OPEX) - Bassa complessità del sistema
- ❑ Evitare l'inutile frammentazione delle tecnologie per apparati garantendo il funzionamento in diverse bande di frequenza
- ❑ Necessità di garantire la continuità/ evoluzione dei sistemi 3G

	<i>Down-link</i>	<i>Up-link</i>
UMTS : massimo teorico	2048 Kb/s	768 Kb/s
HSPA : massimo teorico	14.4 Mb/s	5.8 Mb/s
HSPA+ : massimo teorico (2x2 MIMO; 16QAM)	28 Mb/s	12 Mb/s
HSPA+ : massimo picco teorico (2x2MIMO; 64 QAM DL; 16 QAM UL)	42 Mb/s	12 Mb/s
3GPP LTE target (in 20 MHz di banda)	≥100 Mb/s	≥50 Mb/s

***CONFRONTO DEI DATA- RATE MASSIMI TEORICI PER CELLA  
(Per i sistemi UMTS e HSPA la banda di riferimento è pari a 5 MHz FDD)***

# Standardizzazione LTE

- ❑ **LTE: acronimo di Long Term Evolution**
- ❑ **La standardizzazione è stata completata dalla 3GPP (3rd Generation Partnership Project) all'inizio del 2008 (Release 8)**
- ❑ **Release 9/10 (2011-2014) LTE evolved MBMS, IMT-Advanced (4G)**
- ❑ **3GPP 36 series specifications ([www.3gpp.org/LTE](http://www.3gpp.org/LTE)): "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)**
  - TS 36.211 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation
  - TS 36.213 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures
  - TS 36.300 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2
  - TS 36.321 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification



## OBIETTIVI

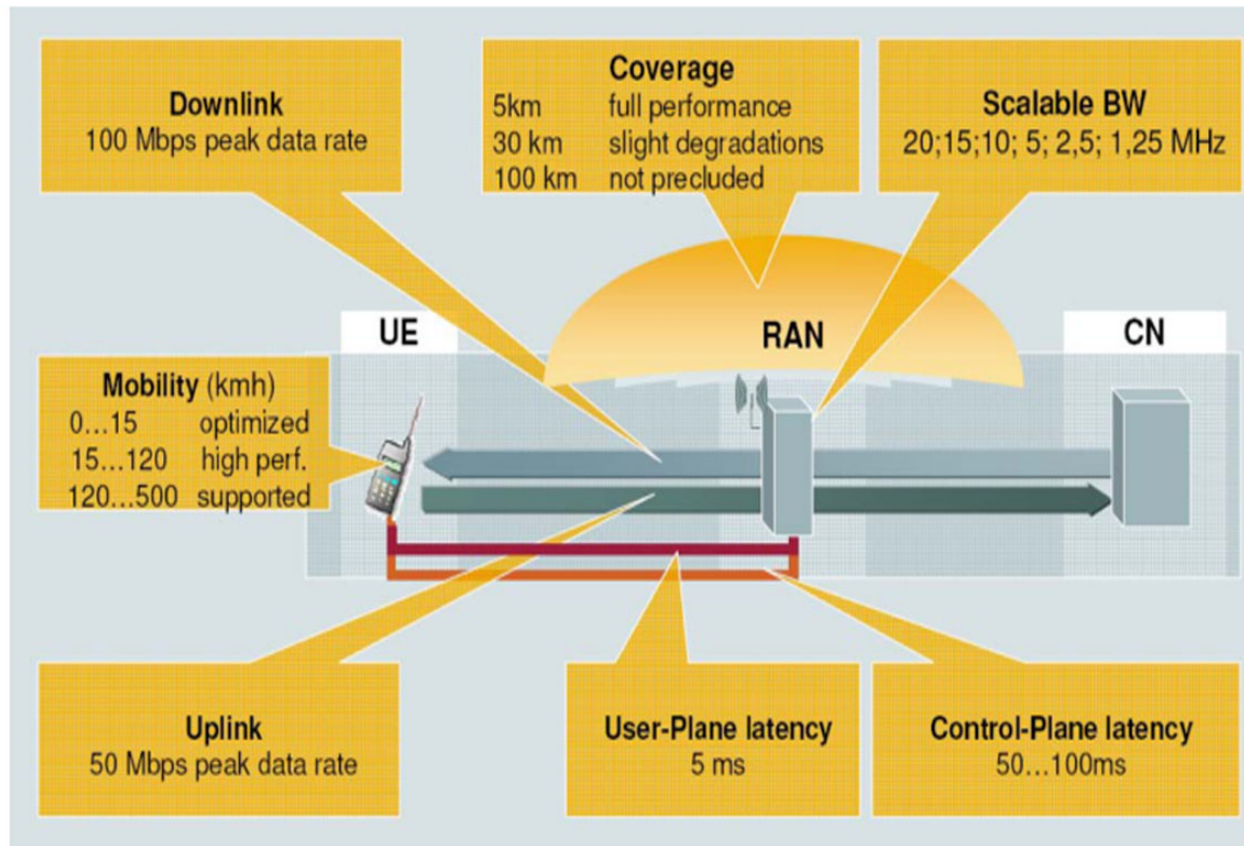
Requisiti	LTE	LTE-Advanced
Peak data Rate	100 Mbps	1Gbps
Latenza	100 ms	5 ms
Bandwidth	Fino a 20MHz	Fino a 100Mhz
Spectrum Efficiency	16 bit/s/Hz	30 bit/s/Hz
Commutazione	Circuito e pacchetto	pacchetto
Bande di utilizzo	Varie incluse	GSM e UMTS



## Caratteristiche tecniche LTE

- ❑ *frequenze utilizzate*: diverse, incluse quelle del GSM, dell'UMTS e di nuove bande a 2.6 GHz, con possibilità di aggiungerne altre nel tempo, a seconda delle necessità
- ❑ *tecnologia di accesso*: OFDMA scalabile in DL e SC-FDMA in UL
- ❑ *larghezza di banda del canale*: 1.4, 3, 5, 10, 15 e 20 MHz sia in UL che in DL
- ❑ *mobilità*: fino a 120-350 km/h (500 km/h con determinate frequenze)
- ❑ *duplex mode*: focalizzato sul FDD, ma specificato anche per TDD
- ❑ *throughput*: 100 MBps per il DL e 50 MBps per l' UL
- ❑ *latenza*: < 5 ms per pacchetti di piccola dimensione con una larghezza di banda di 5 MHz o superiore (contro i 70 ms dell'HSPA e i 200 ms dell'UMTS)
- ❑ *servizi*: VoIP e dati a pacchetto
- ❑ *end-to-end*: rete basata sul protocollo IP (All-IP based)

# Architettura LTE di alto livello

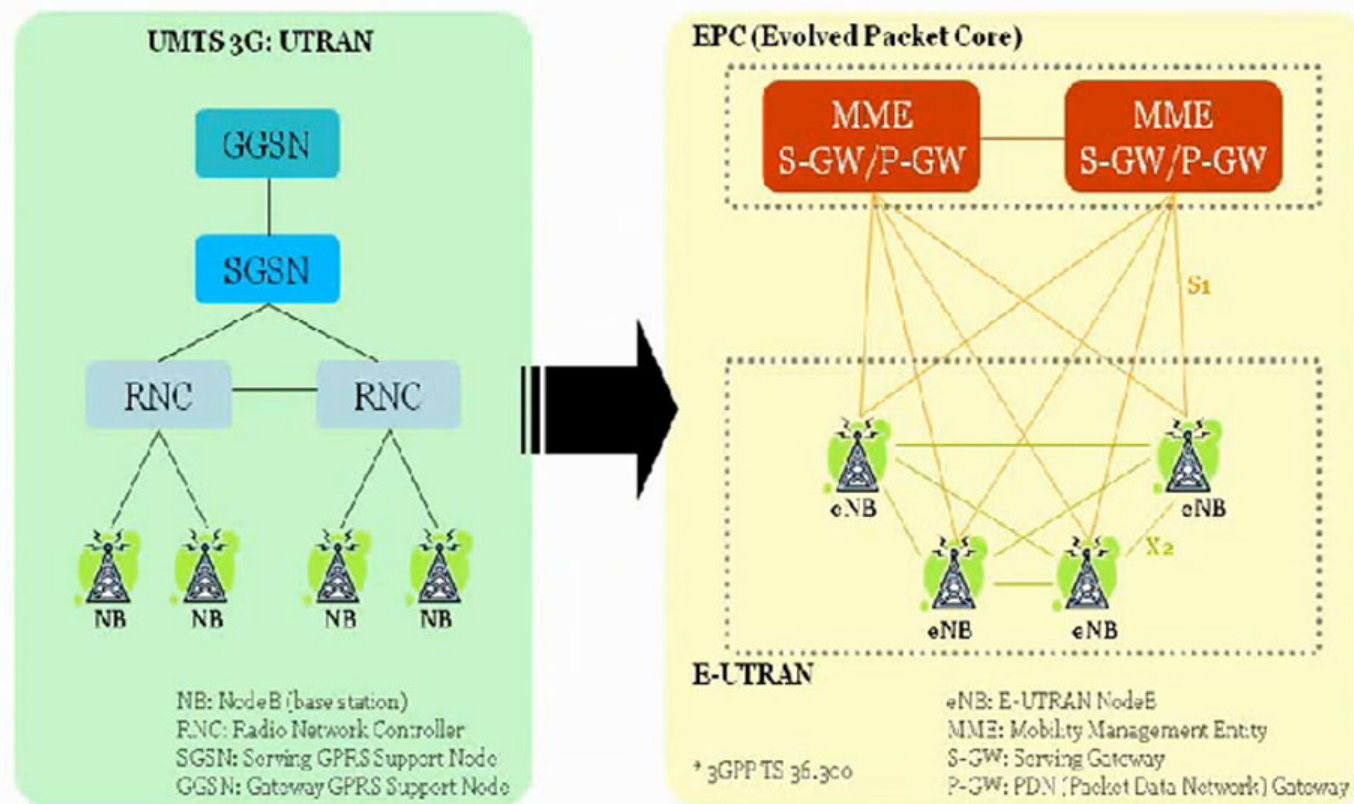


# System Architecture Evolution

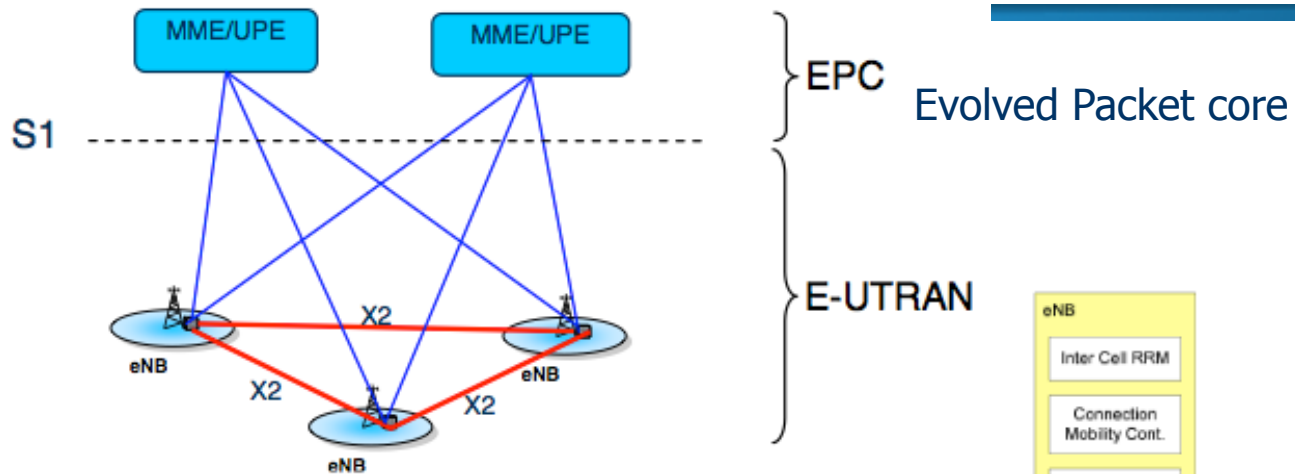
- ❑ Si basa sull'adozione del protocollo IP come standard di trasporto multiservizio
- ❑ Scompare il nodo Radio Network Controller (presente nell'architettura UMTS)
- ❑ Elementi di rete:
  - Evolved Radio Access Network (RAN) evolved Node B: controllo e gestione delle risorse radio verso utente, livello fisico, MAC
  - Mobility Management Entity/User Plane Entity: paging messages, UE mobility, IP compression
  - Inter-Access System Anchor
  - Home Location Register
  - Policy and Charging Rules Function: gestisce le politiche di QoS
  - Packet Data Network Gateway (PDN GW): permette al terminale utente di effettuare la connessione con le reti a pacchetto esterne (anche verso reti WiMax, CDMA)
  - SAE Gateway (GW): ha il compito di indirizzare i pacchetti degli utenti anche verso altre reti 3GPP

# LTE Network Architecture

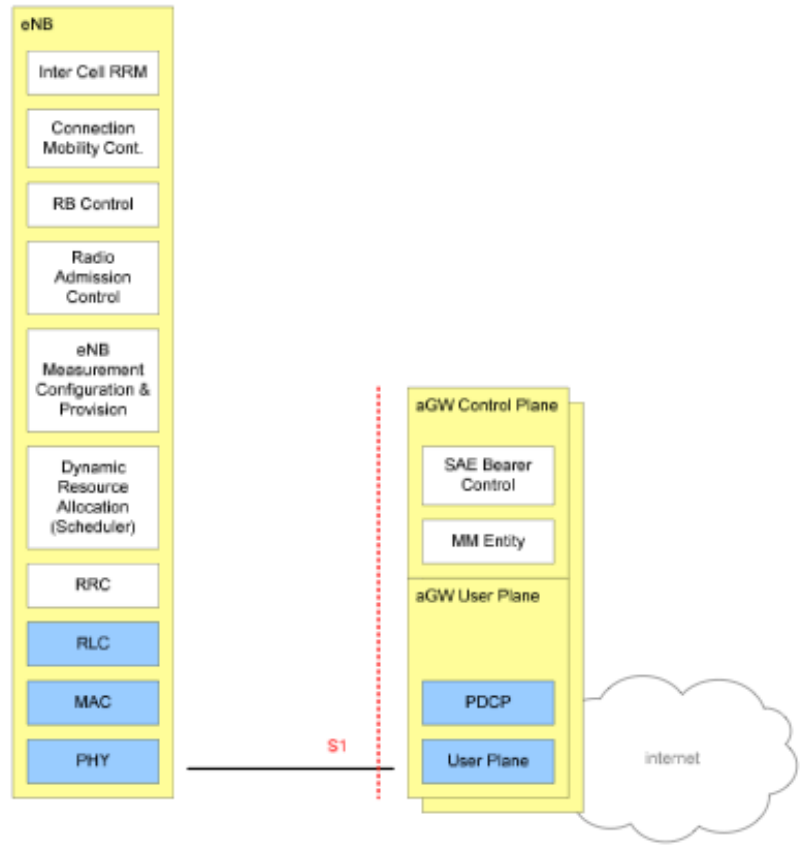
- E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)



# Architettura di rete



S1:  
 It provides access to Evolved RAN radio resources for the transport of user plane and control plane traffic. The S1 reference point shall enable MME and UPE separation and also deployments of a combined MME and UPE solution.



## Elementi architettura LTE

### Stazioni Radiobase:

- ❑ garantiscono le funzioni di accesso e di gestione delle risorse radio;
- ❑ svolgono autonomamente la gestione del traffico di interfaccia;
- ❑ assicurano il conseguimento della qualità di servizio;
- ❑ sono responsabili dell'effettuazione dell'handover.

### MME gestisce:

- ❑ la mobilità dell'utente e la segnalazione di gestione della sessione: ciò comprende funzioni quali l'autenticazione, il supporto dell'handover tra differenti eNB e verso/da differenti reti radio;
- ❑ l'inseguimento della localizzazione per MS nello stato di inattività;
- ❑ la scelta di un gateway verso Internet quando un MS richiede l'instaurazione di una sessione.

### Gateway verso Internet:

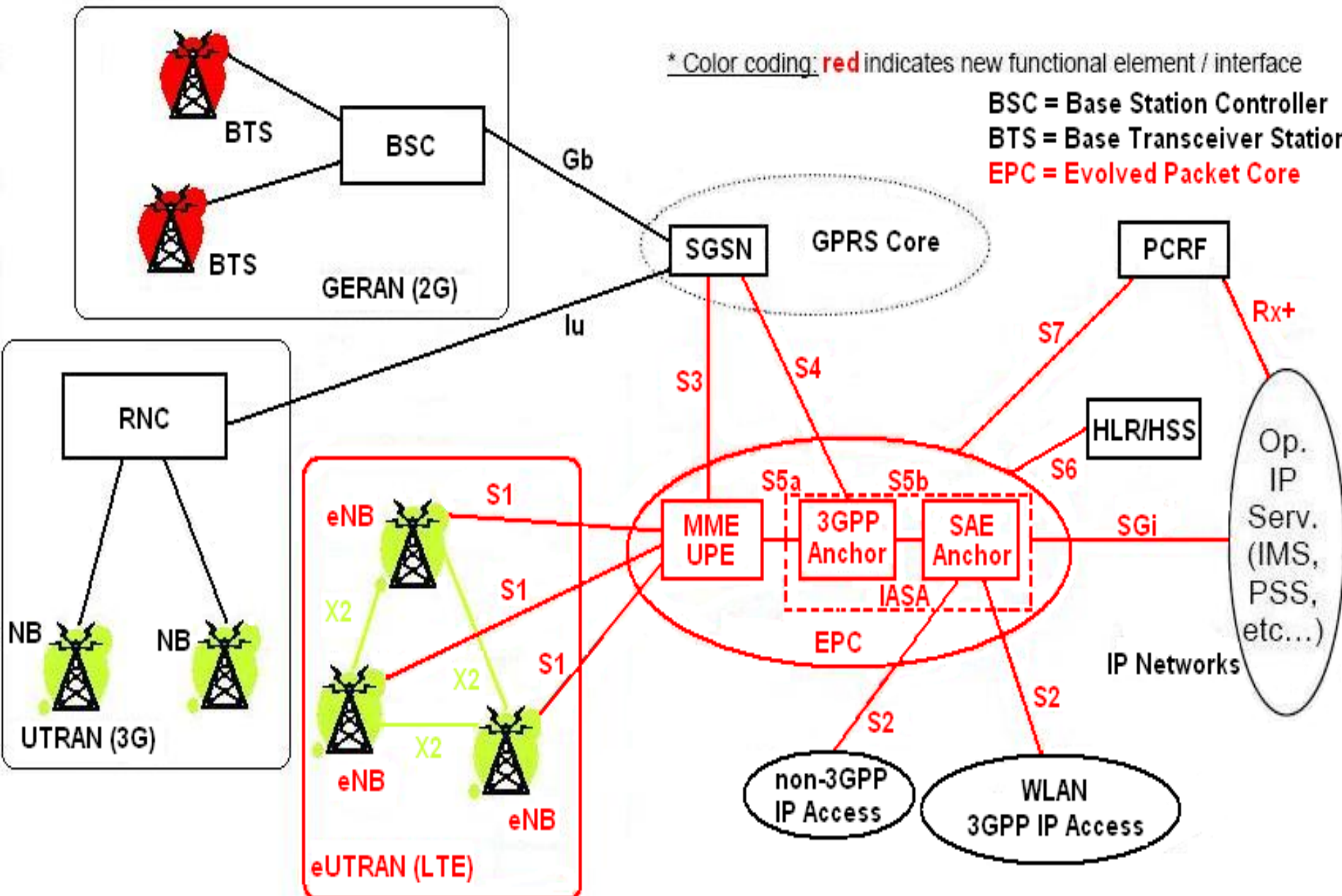
- ❑ Il router alla frontiera tra la core network e Internet è chiamato PDN (Packet Data Network) – Gateway e assolve compiti analoghi a quelli dell'entità GGSN in UMTS.
- ❑ In particolare un suo compito è gestire gli indirizzi IP per le sessioni che sono attivate nella rete mobile e assegnare uno di questi all'utente che ne fa richiesta all'inizio di una sessione.



# Architettura sistema LTE

\* Color coding: **red** indicates new functional element / interface

**BSC = Base Station Controller**  
**BTS = Base Transceiver Station**  
**EPC = Evolved Packet Core**



# System Architecture Evolution

## VANTAGGI:

- ✓ sono scomparsi i nodi di commutazione (presenti nelle reti a commutazione di circuito)
- ✓ la semplificazione dell'architettura di rete si traduce in un costo dell'infrastruttura poco dipendente dal traffico generato in rete
- ✓ è dunque una struttura adatta a tariffe di tipo flat (non basate sul volume di traffico) che potrebbero diventare sostenibili anche per gli operatori mobili

## SVANTAGGI:

- ✗ il corretto dimensionamento delle reti di back-hauling è più complesso per via delle aumentate capacità di traffico generate
- ✗ vincolo di un'occupazione della risorsa spettrale comune agli utenti (per quanto riguarda l'accesso)



## ***Interfaccia radio LTE***

- ❑ **Nel tratto di DownLink, anche nel caso LTE, viene adottato l' OFDMA**
- ❑ **Nel tratto di UpLink invece si usa il SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access)**
- ❑ **Sia in UL che in DL, la banda disponibile è divisa in tante sottobande da 15 KHz (fino ad un massimo di 2048)**
- ❑ **Ogni banda usa modulazioni QAM con opportune codifiche per la protezione e la correzione degli errori**
- ❑ **Nel caso OFDMA, le modulazioni per sottoportante possibili sono QPSK, 16QAM e 64QAM**
- ❑ **Nel caso SC-FDMA, invece, sono utilizzate solo QPSK e 16QAM**
- ❑ **Gli accessi multipli sono realizzati mediante assegnazione di un "set" di sottoportanti in un determinato intervallo temporale per la generica comunicazione**
- ❑ **È previsto anche l'uso di tecniche MIMO (Multiple Input Multiple Output) con un impiego di un numero di antenne che va da 2 a 4**