



Università degli Studi di Cagliari

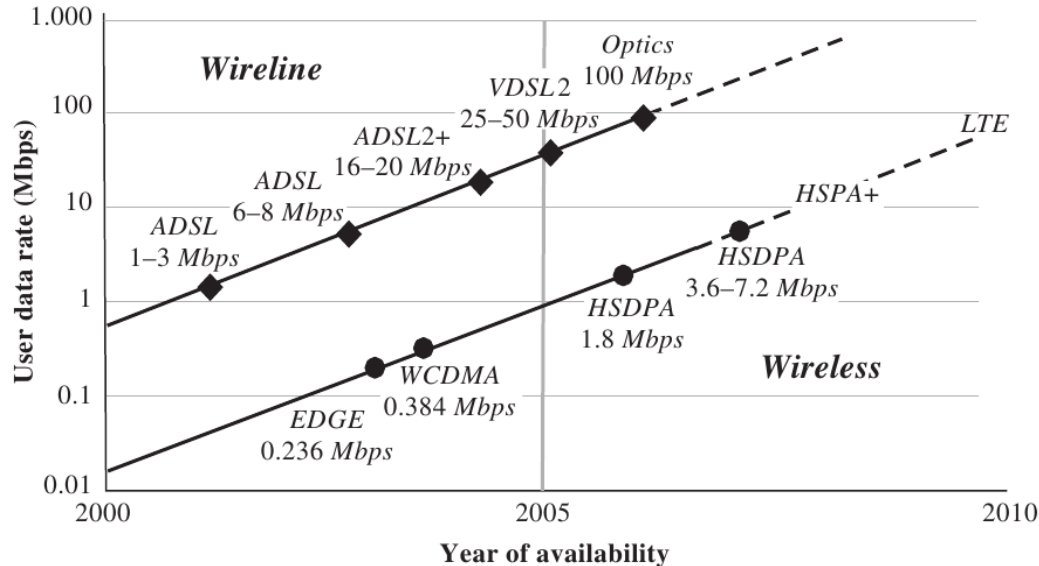
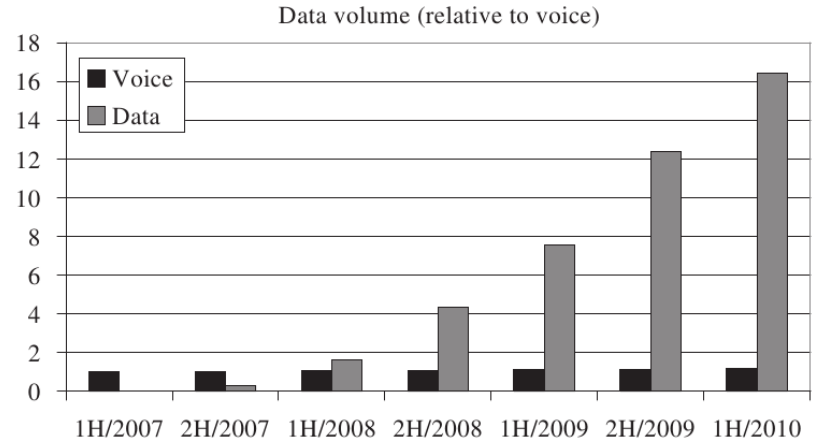
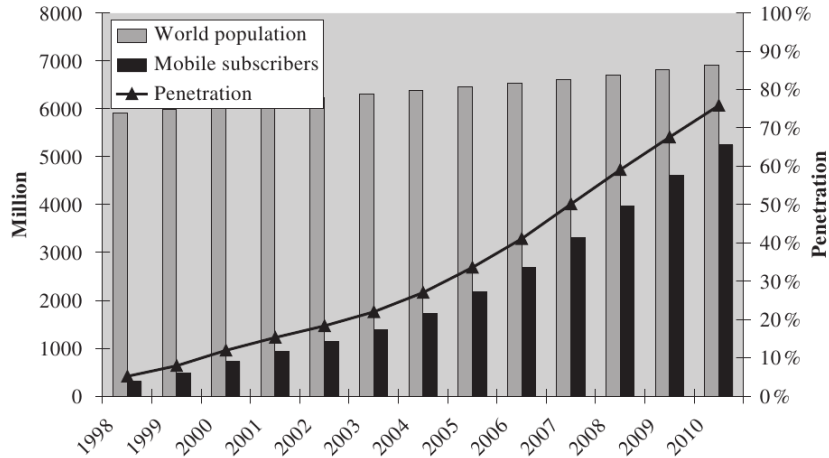
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Tecnologie per
Internet

LTE

Long Term Evolution



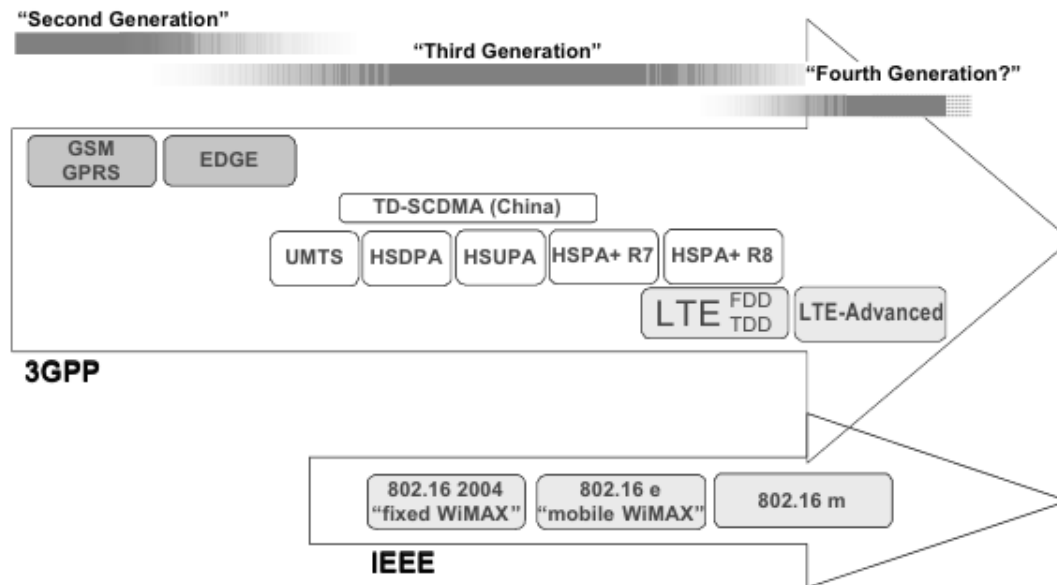
Verso LTE...





LTE - 3GPP Rel. 8

- ✓ LTE viene standardizzato da parte del Third Generation Partnership Project (3GPP) nella **Release 8** (2008)
- ✓ LTE rappresenta l'evoluzione dei sistemi HSPA
- ✓ Il sistema LTE viene definito come sistema **3.9G**



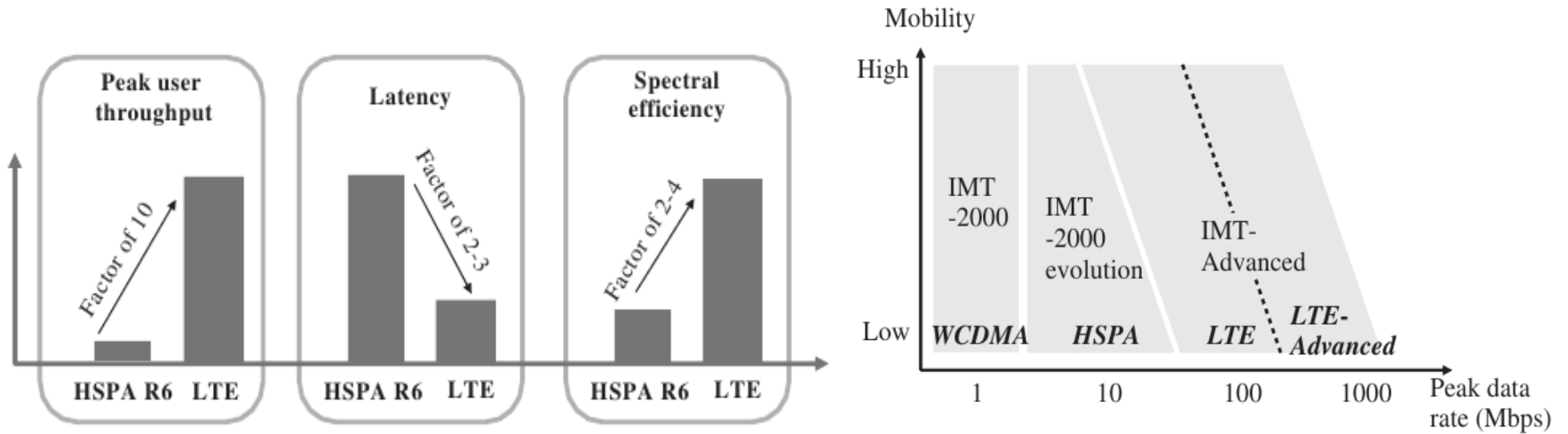


Targets

- ✓ Aumento del **data rate** (>100 Mbps con canali da 20 MHz)
- ✓ Migliore **efficienza spettrale** (bit/s/Hz)
- ✓ Riduzione del **delay** (stabilimento della connessione e latenza in trasmissione)
- ✓ Flessibilità nell'allocazione e nell'utilizzo dello spettro
- ✓ Semplificata architettura di rete
- ✓ Riduzione del costo per bit
- ✓ Garanzia del servizio sino a velocità prossime ai **350 km/h**
- ✓ Inter Radio Access Network (RAT) handover
- ✓ Ragionevole consumo di potenza per i terminali



Targets





LTE vs UMTS

Requisiti	UMTS <i>Release 6</i>	LTE <i>Release 8</i>
Picco di trasferimento dati	14 Mbps DL / 5.76 Mbps UL	<u>100 Mbps DL / 50 Mbps UL</u>
Efficienza Spettrale (bps/Hz/cell)	0.6-0.8 DL / 0.35 UL	3-4x DL / 2-3x UL volte
5% capacità della trasmissione a pacchetto	64 kbps DL / 5 kbps UL	3-4x DL / 2-3x UL volte
<i>Throughput</i> medio utente	900 kbps DL / 150 kbps UL	3-4x DL / 2-3x UL volte
Latenza	50 ms	<u>5 ms</u>
Tempo di instaurazione chiamata	2 s	50 ms
Trasferimento dati in <i>broadcast</i>	384 kbps	6-8x volte
Mobilità	fino a 250 km/h	fino a 350 km/h
Supporto multi antenna	No	Sì
Larghezza di banda	5 MHz	<u>scalabile fino a 20 MHz</u>
<i>round trip time</i>	200 ms	<u>inferiore a 10 ms</u>

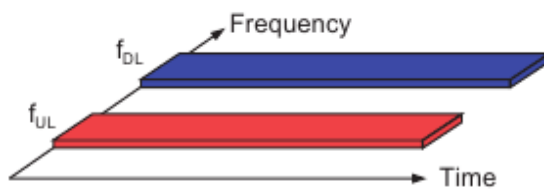
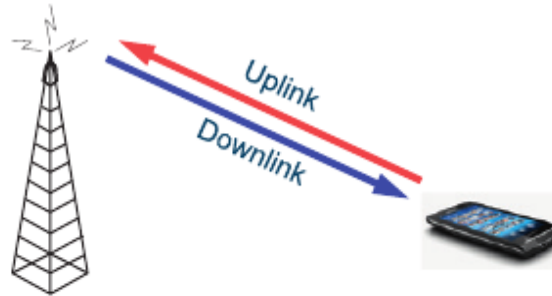


Bande e frequenze

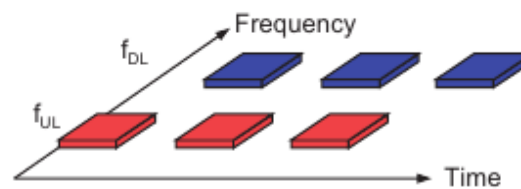
- ✓ Diverse frequenze operative
 - 400, 600, 800, 900 MHz (frequenze liberate grazie al DTT)
 - 1.8, 1.9, 2.6 GHz
 - Allocazione di LTE nello spettro correntemente occupato da altre tecnologie radio (**frequency refarming**)
- ✓ Diverse larghezze di banda
 - 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz

Accesso

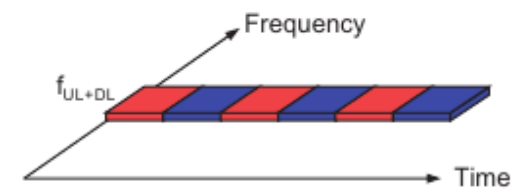
- ✓ Supporto di larghezze di banda diverse in downlink ed uplink
- ✓ Supporto di FDD, TDD, half-duplex



FDD



Half-duplex FDD
(terminal-side only)



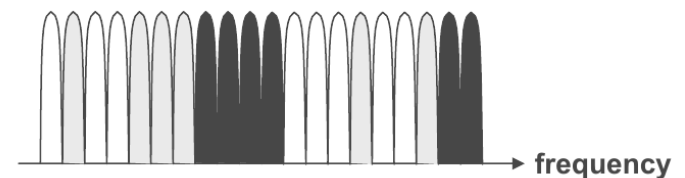
TDD



Modulazione multi-portante

- ✓ Flessibilità nell'allocazione di banda
- ✓ Possibilità di usare diverse porzioni di spettro senza cambiare i parametri del sistema
- ✓ Possibilità di sfruttare il dominio frequenziale nelle procedure di scheduling
- ✓ Maggiore robustezza ai canali radio time-dispersive
- ✓ Frequency-domain equalization
- ✓ Ricevitori a bassa complessità

OFDMA Downlink

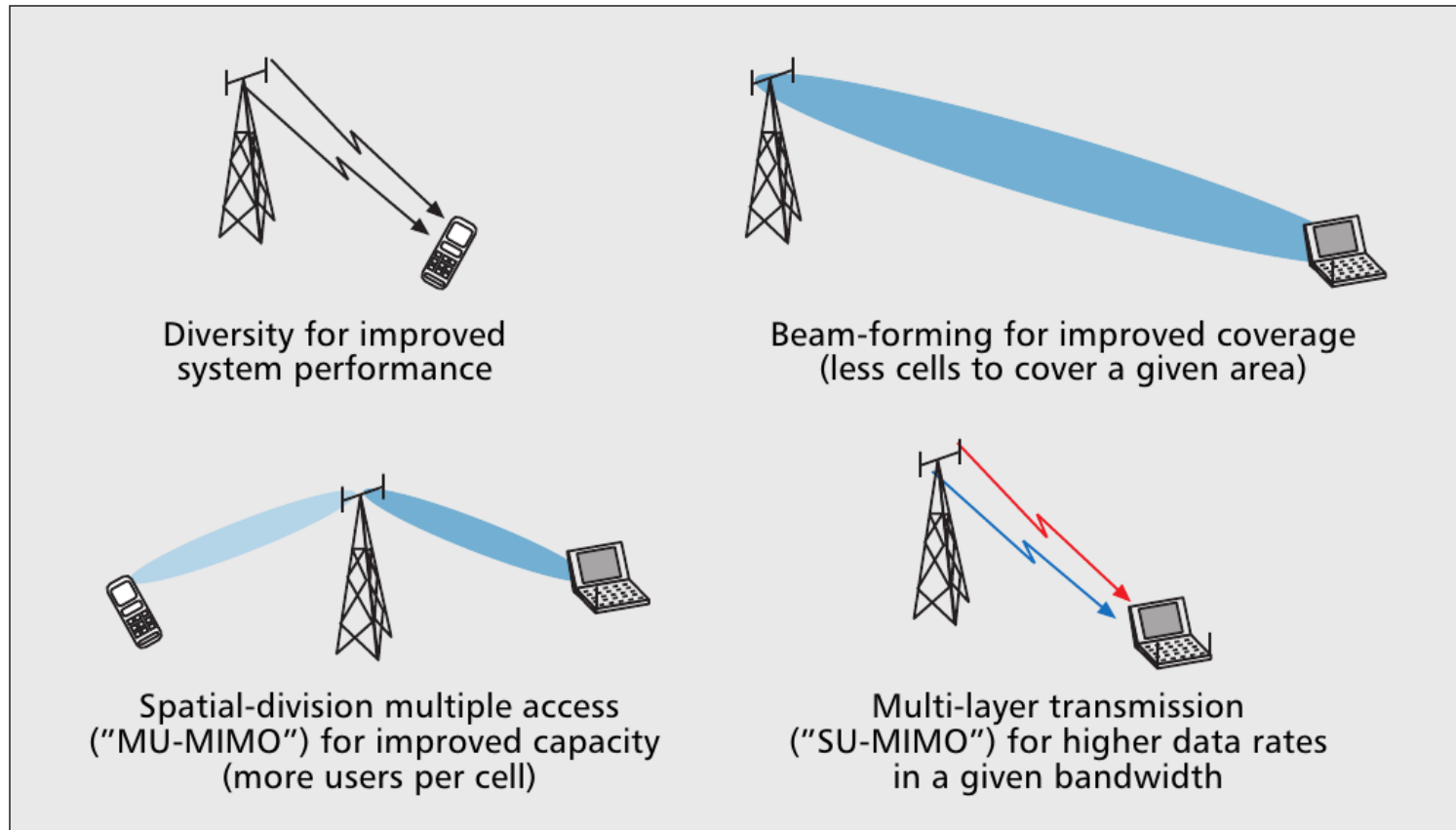


SC-FDMA Uplink





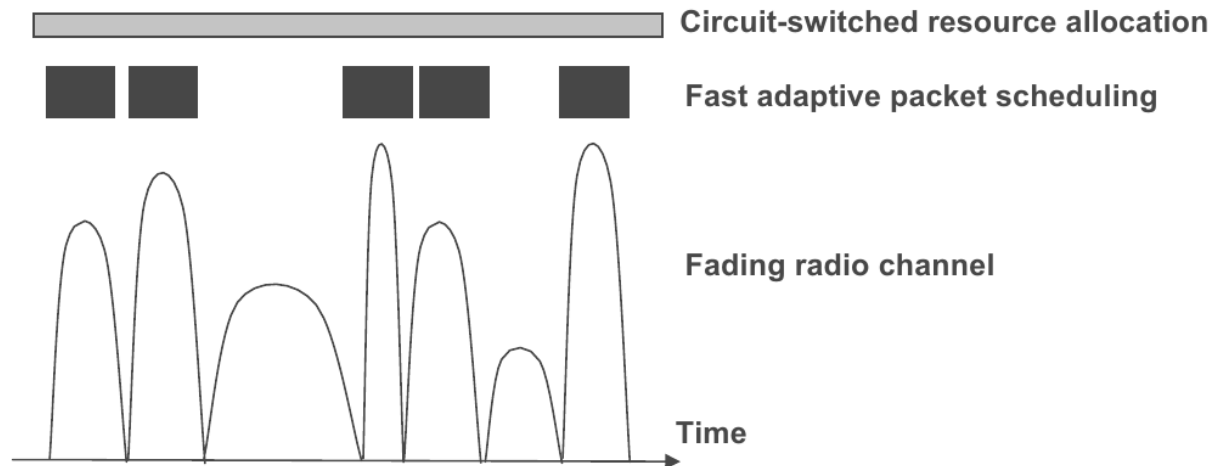
Multiple Input Multiple Output (MIMO)





Packet-Switched Radio Interface

- ✓ Rete completamente packet-oriented
- ✓ Ridotta latenza
- ✓ Voice over LTE (VoLTE)
- ✓ High-quality multimedia service
- ✓ Scheduling adattativo nel dominio frequenziale e temporale





Caratteristiche

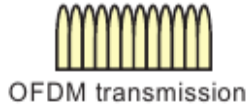
	UE category				
	1	2	3	4	5
Maximum downlink data rate (Mbps)	10	50	100	150	300
Maximum uplink data rate (Mbps)	5	25	50	50	75
Number of receive antennas required	2	2	2	2	4
Number of downlink MIMO streams supported	1	2	2	2	4
Support for 64QAM modulation in downlink	✓	✓	✓	✓	✓
Support for 64QAM modulation in uplink	✗	✗	✗	✗	✓
Relative memory requirement for physical layer processing (normalized to category 1 level)	1	4.9	4.9	7.3	14.6

Modulation and coding	Bits/Symbols	MIMO usage	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
			6	15	25	50	75	100
QPSK 1/2	1.0	Single stream	0.8	2.2	3.7	7.4	11.2	14.9
16-QAM 1/2	2.0	Single stream	1.5	4.4	7.4	14.9	22.4	29.9
16-QAM 3/4	3.0	Single stream	2.3	6.6	11.1	22.3	33.6	44.8
64-QAM 3/4	4.5	Single stream	3.5	9.9	16.6	33.5	50.4	67.2
64-QAM 1/1	6.0	Single stream	4.6	13.2	22.2	44.7	67.2	89.7
64-QAM 3/4	9.0	2x2	6.6	18.9	31.9	64.3	96.7	129.1
64-QAM 1/1	12.0	2x2	8.8	25.3	42.5	85.7	128.9	172.1
64-QAM 1/1	24.0	4x4	16.6	47.7	80.3	161.9	243.5	325.1



Rel. 8 – Rel. 10

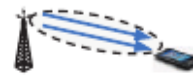
LTE



Multi-antenna support



ICIC



Dual-layer beam forming



Channel-dependent scheduling



Hybrid ARQ



Positioning



MBMS



Bandwidth flexibility

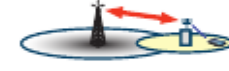


FDD and TDD support

LTE-A



Multi-antenna extensions



Relaying



Carrier Aggregation

Rel-8

Rel-9

Rel-10

Basic LTE functionality

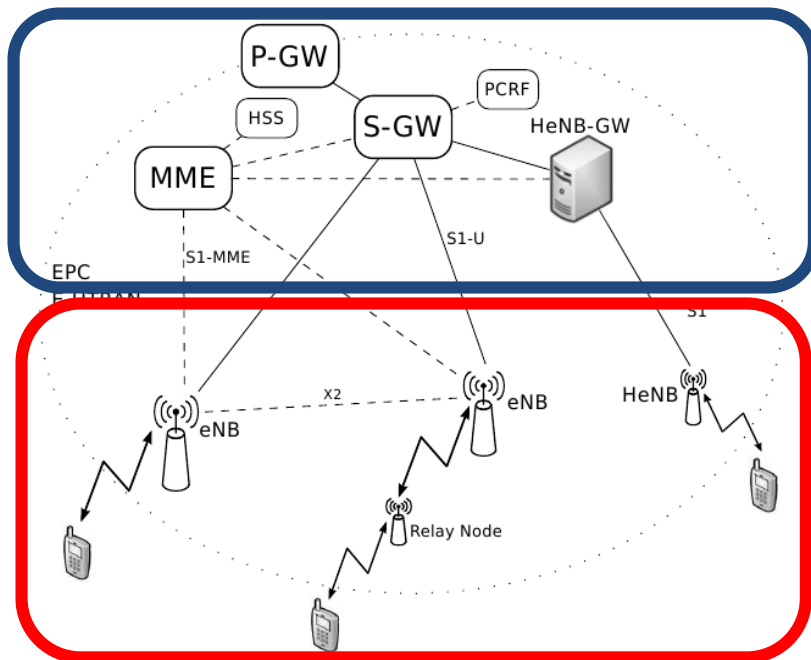
Enhancements & extensions

Further enhancements & extensions
 IMT-Advanced compliant

- ICIC (Inter-cell Interference Coordination)
- MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services)

LTE & SAE

- ✓ Il lavoro svolto da 3GPP si è focalizzato su due progetti:
 - **Long Term Evolution (LTE)** che definisce la rete di accesso
 - **System Architecture Evolution (SAE)** che definisce la core network



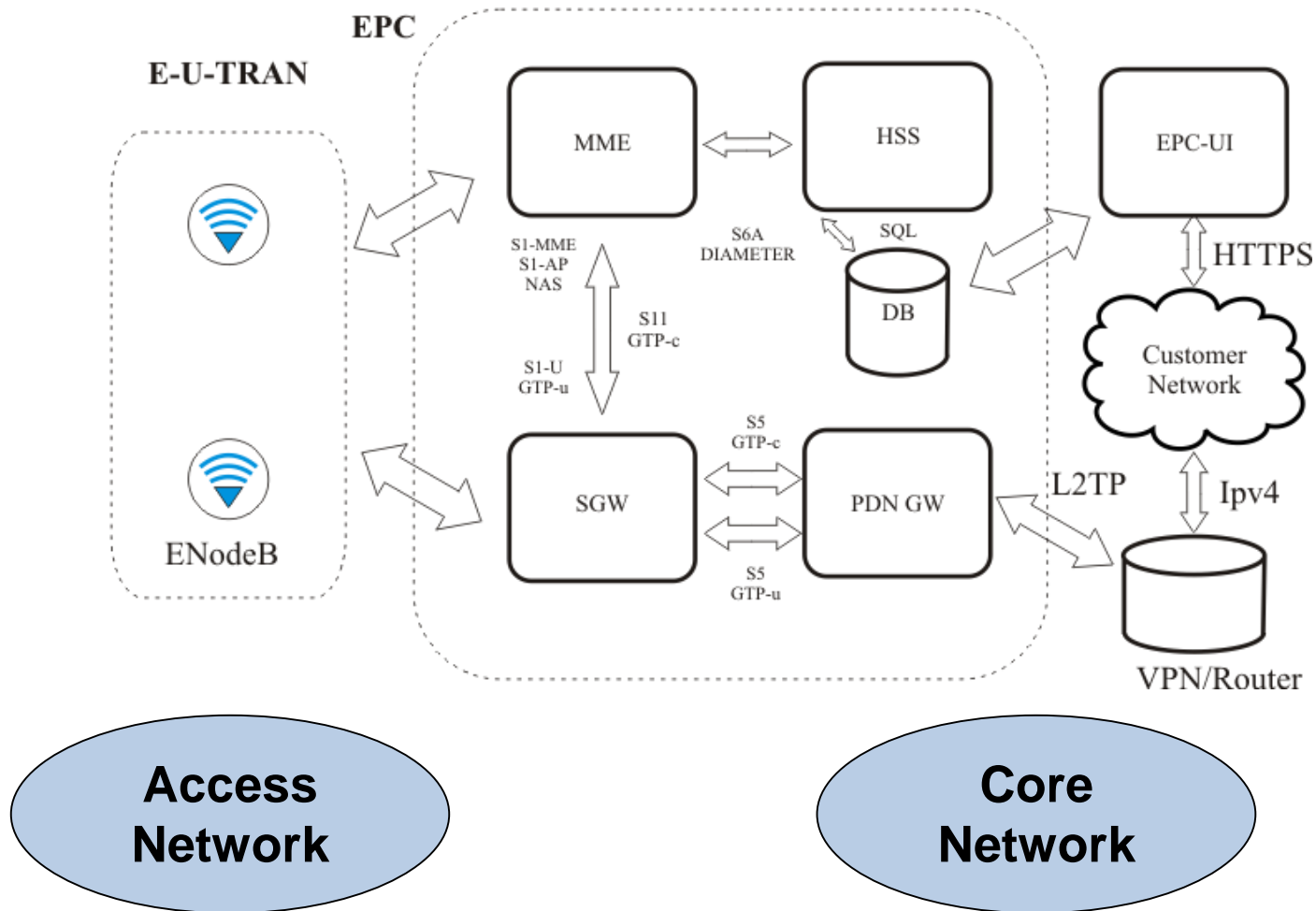
Evolved Packet Core (EPC)

HSS: memorizza le informazioni per autenticare l'utente
PCRF: memorizza i profili per la gestione della QoS

Evolved-UTRAN (E-UTRAN)



Architettura di rete





Architettura di rete

Access Network

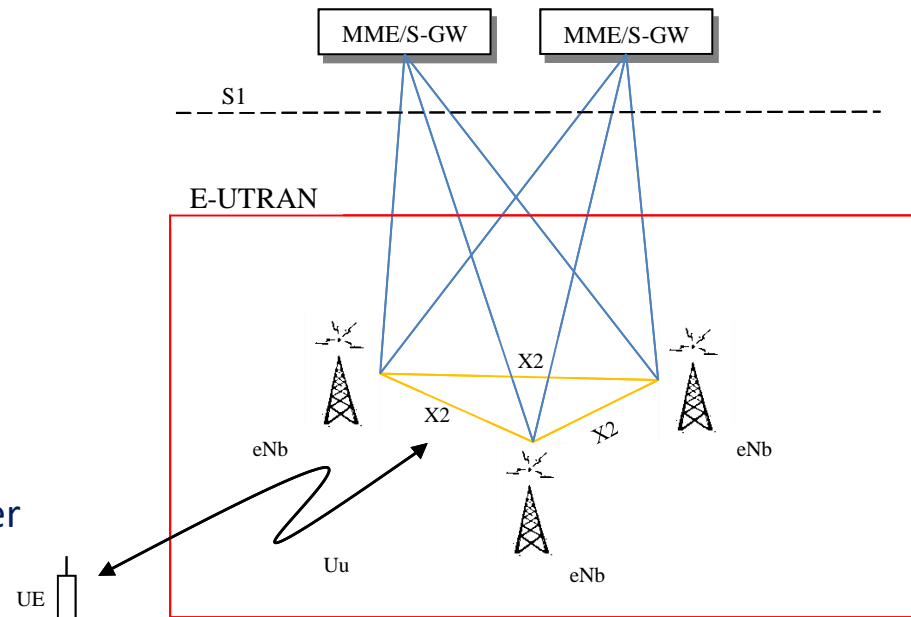
C
o
s
a
f
f
a

Composta da



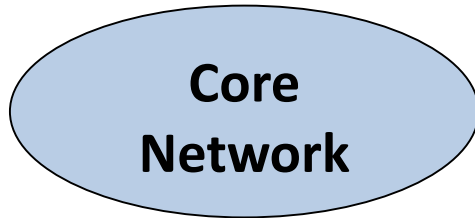
Evolved Node B: integra le funzioni che in UMTS erano gestite separatamente dal Node B e dal Radio Network Control (RNC)

- ✓ modulazione/demodulazione
- ✓ misure di qualità sul canale radio
- ✓ controllo di potenza
- ✓ gestione della chiamata
- ✓ controllo del carico di cella
- ✓ gestione delle procedure di handover





Architettura di rete

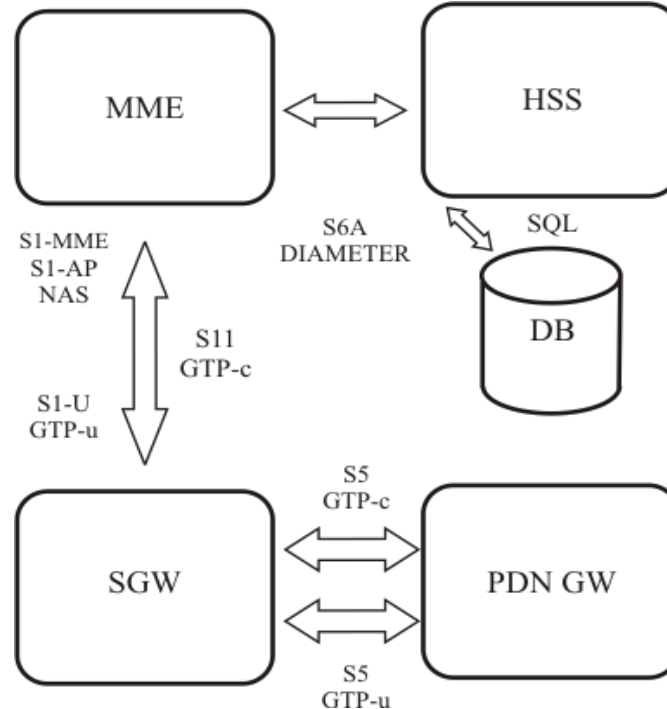


composta da

- ✓ Mobility Management Entity (MME)
- ✓ PDN Gateway (P-GW)
- ✓ Serving Gateway
- ✓ Home Subscriber Server (HSS)

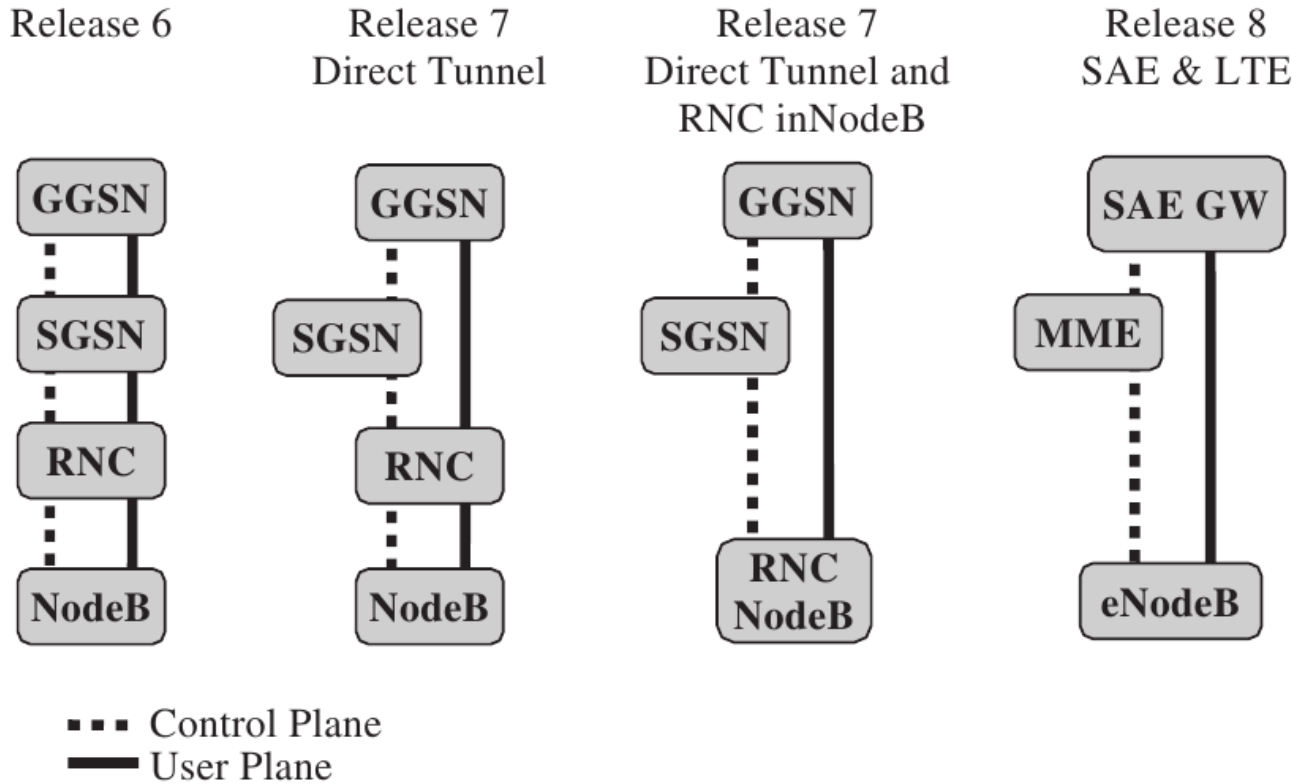


TRASFERIMENTO dei dati da e verso le reti a pacchetto esterne





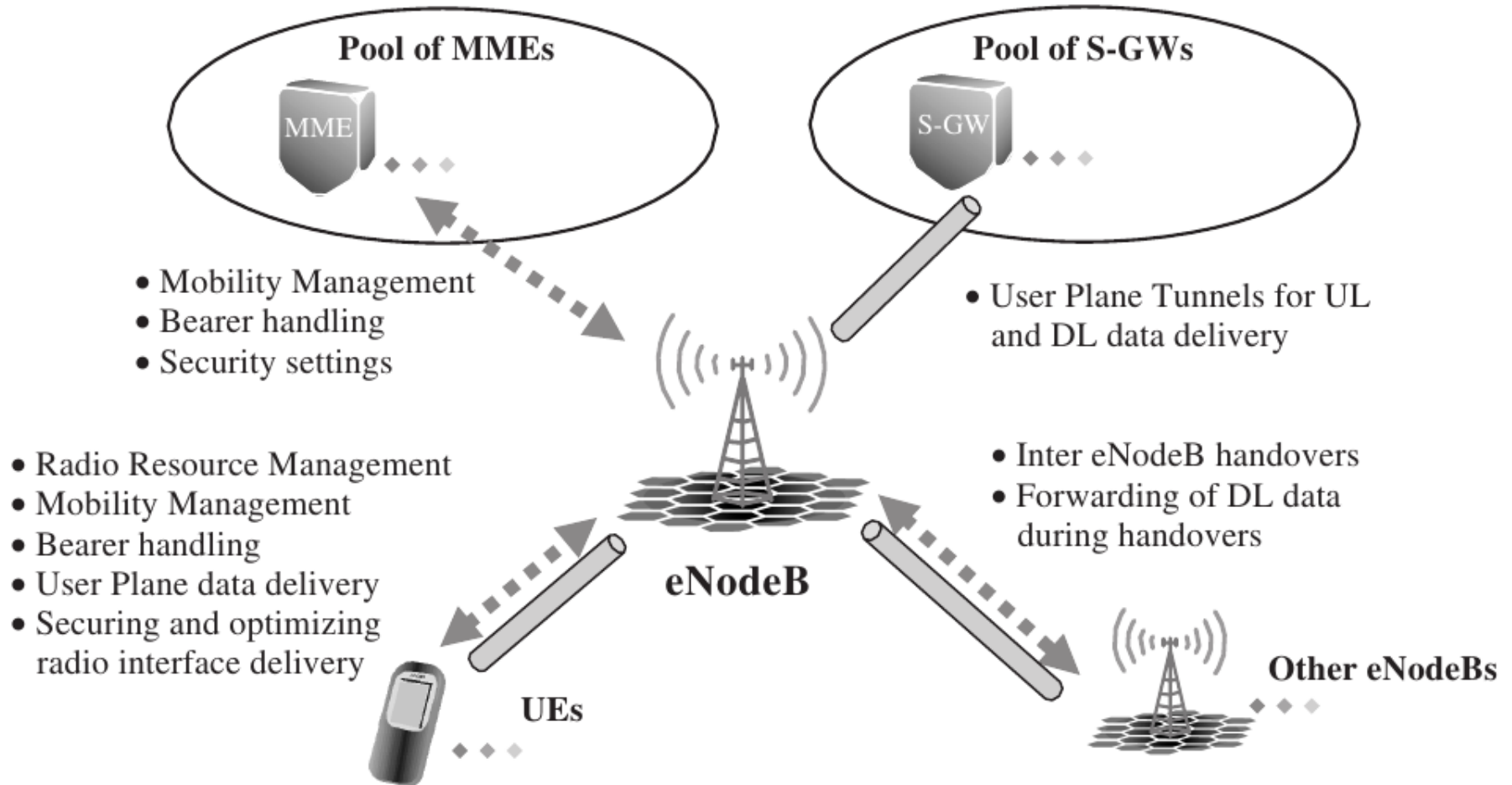
Rel.6-Rel.8



Tutte i tipi di traffico (control e user plane) viaggiano su IP

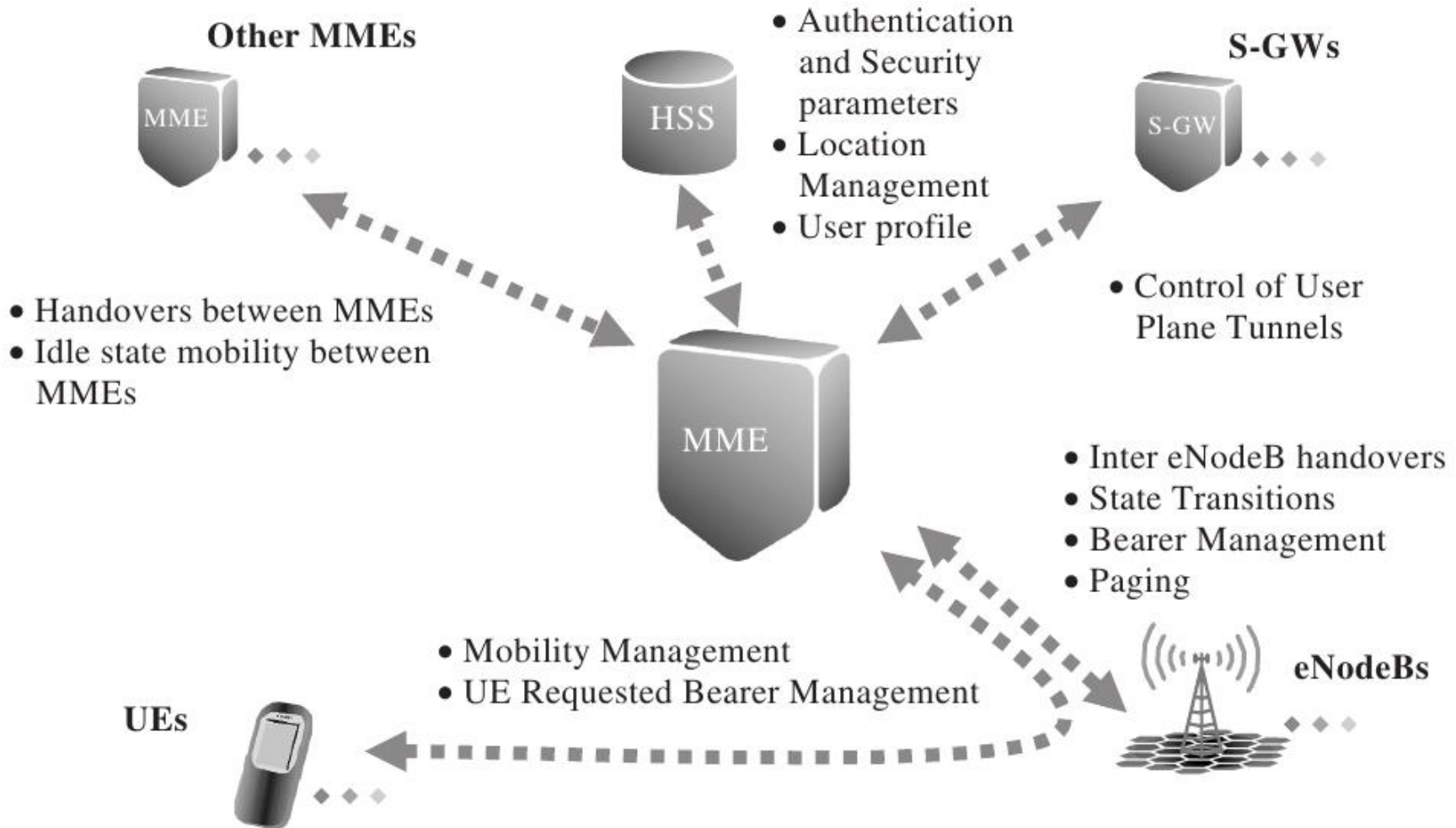


eNodeB



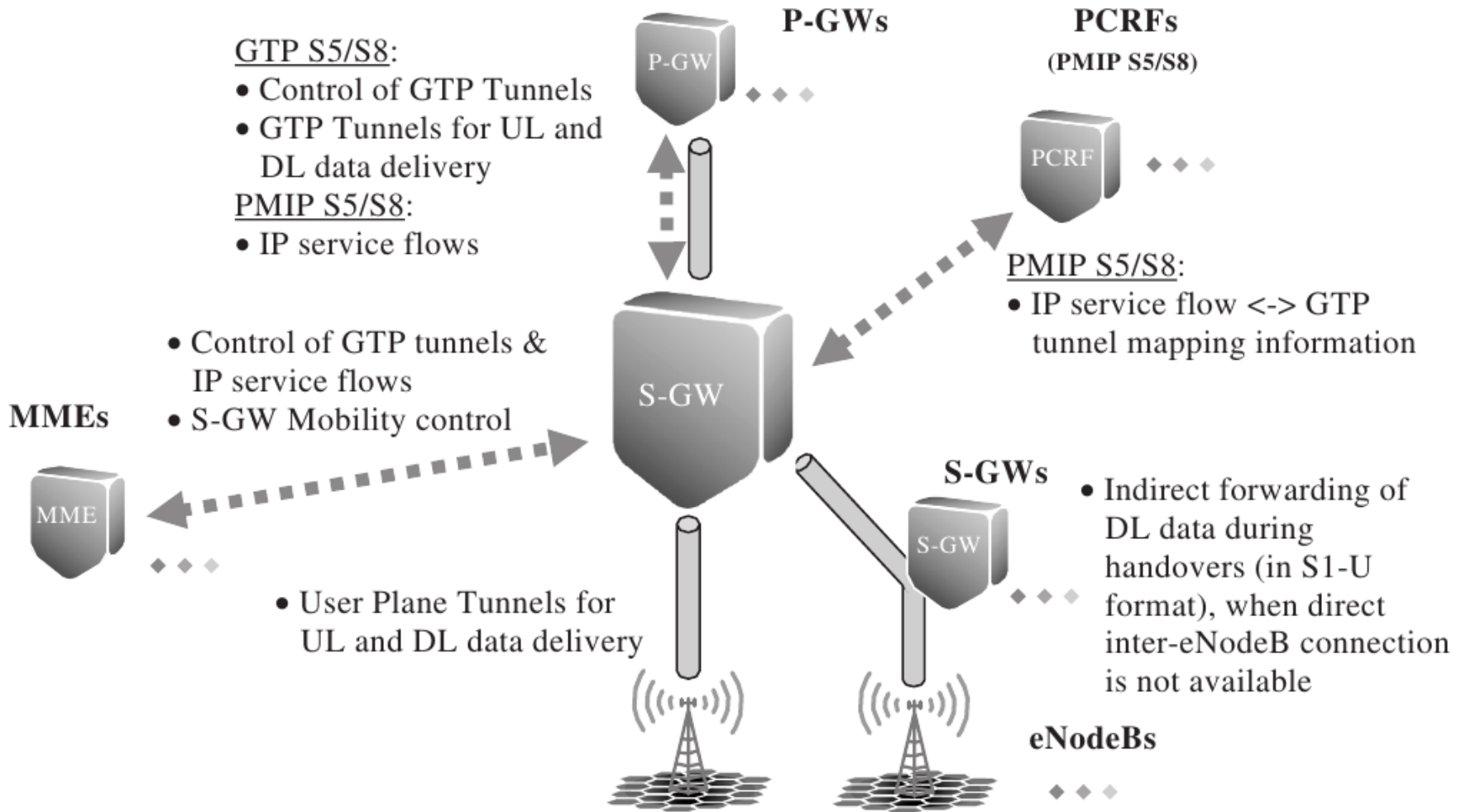


Mobility Management Entity





Serving Gateway





Radio bearer

- Un **radio bearer** definisce i parametri che caratterizzano un flusso dati (sia esso user o controllo plane)
- I radio bearer si possono classificare sulla base dei requisiti di QoS del traffico che essi trasportano

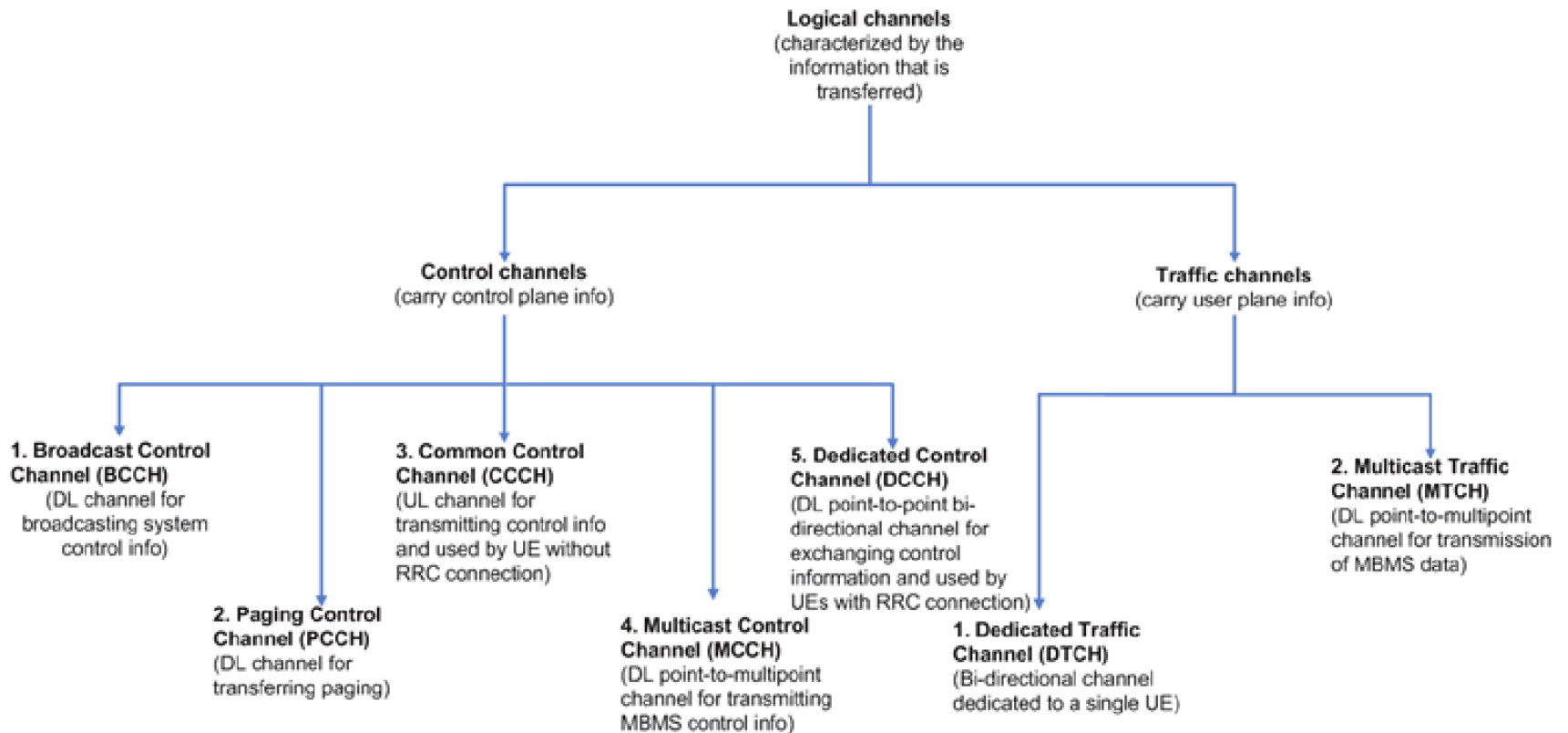
Guaranteed Bit Rate (GBR)

NON-GBR

QCI	Resource type	Priority	Packet delay budget (ms)	Packet error loss rate	Example services
1	GBR	2	100	10^{-2}	Conversational voice
2	GBR	4	150	10^{-3}	Conversational video (live streaming)
3	GBR	5	300	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
4	GBR	3	50	10^{-3}	Real time gaming
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	IMS signalling
6	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Voice, video (live streaming), interactive gaming
7	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Video (buffered streaming)
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	TCP-based (e.g. WWW, e-mail) chat, FTP, p2p file sharing, progressive video, etc.
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	

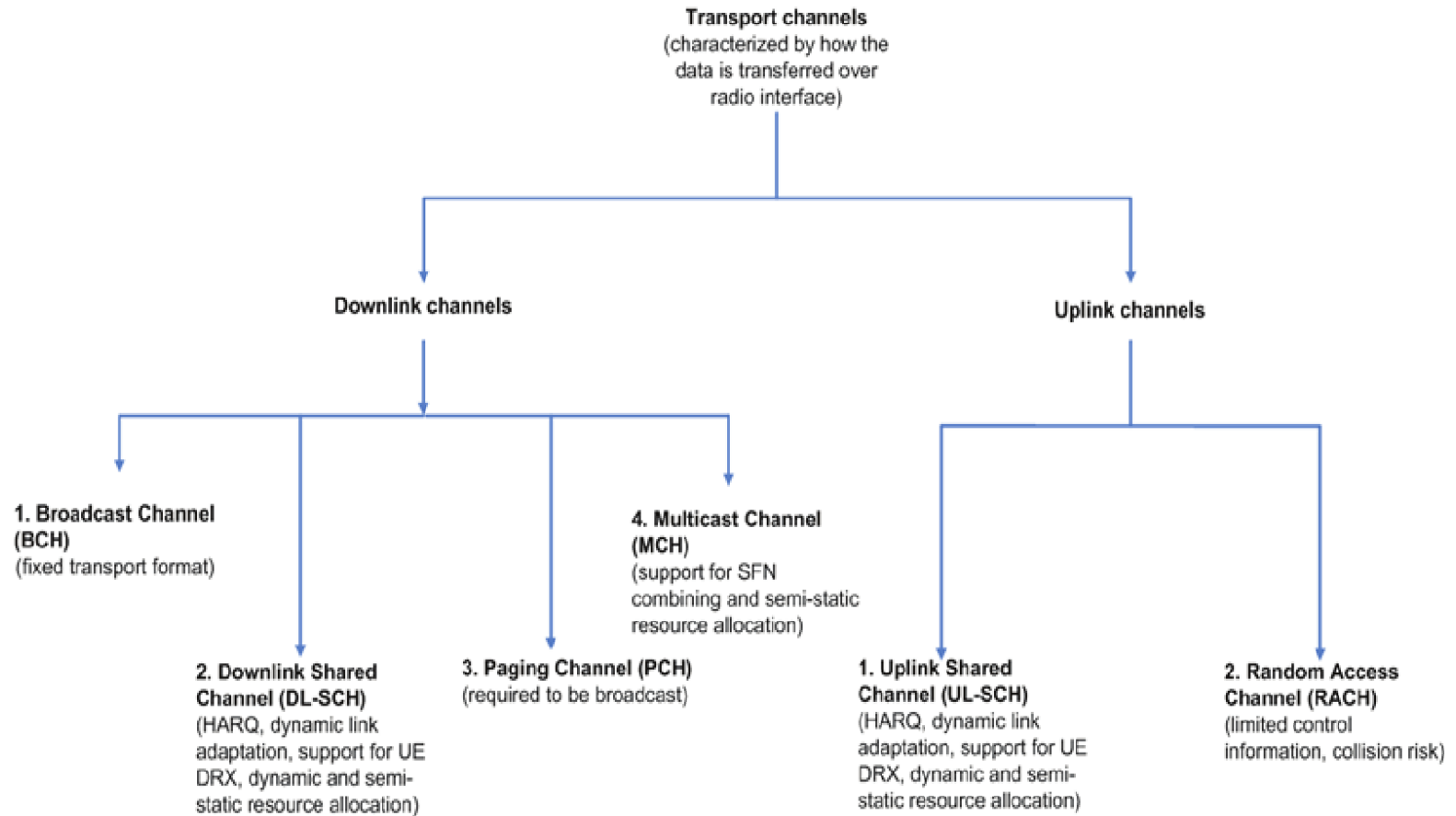


Logical Channels



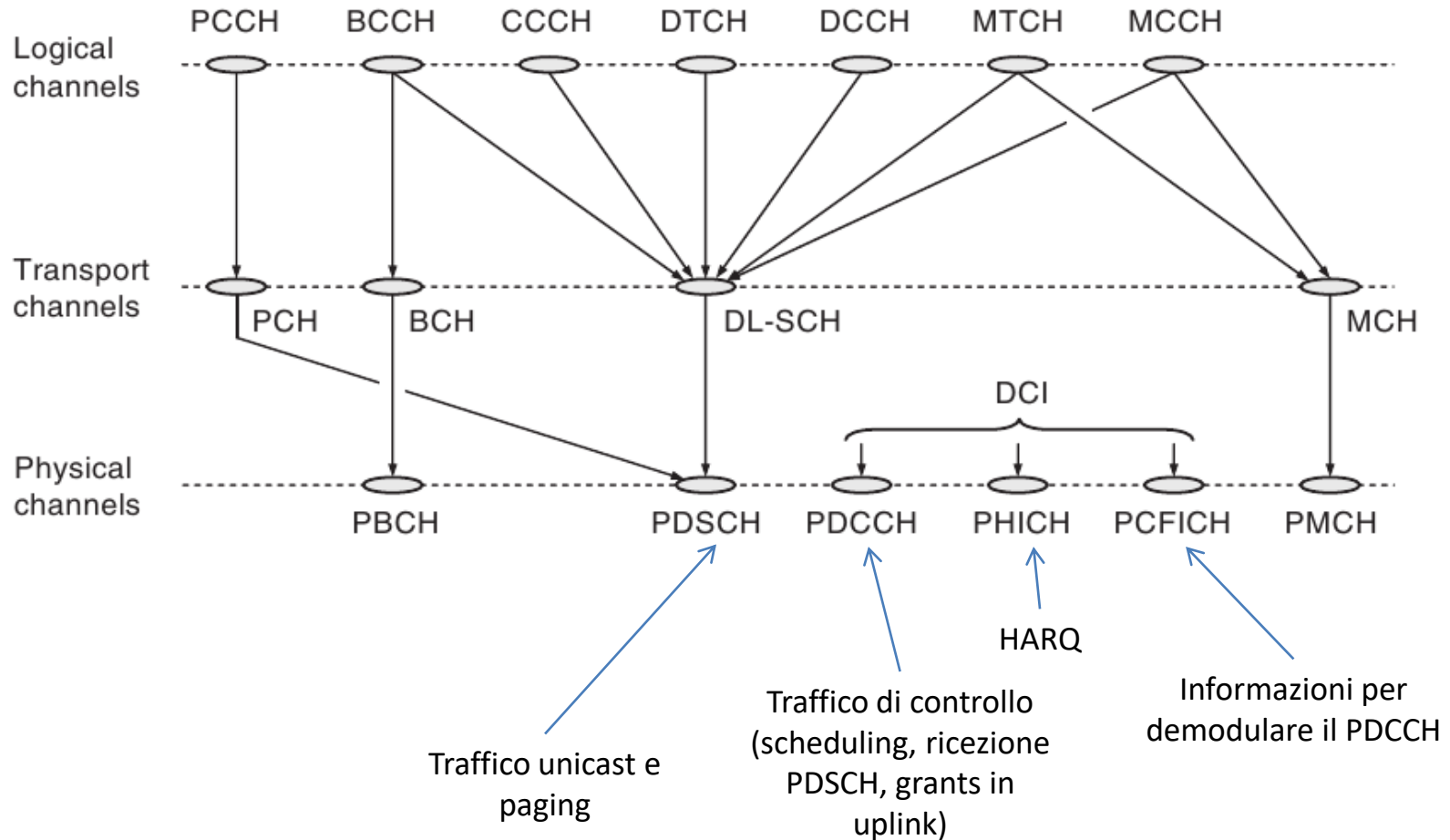


Transport Channels



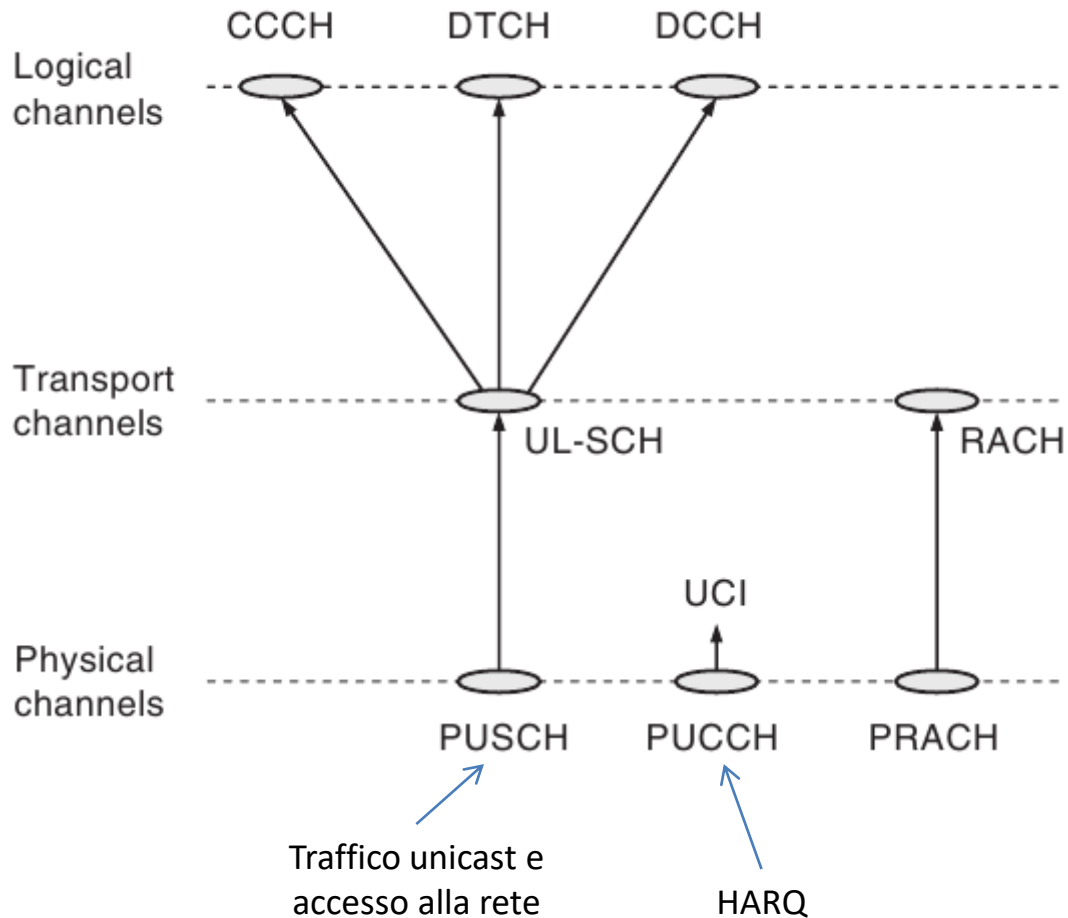


Mapping (downlink)





Mapping (uplink)





Handover

✓ Seamless Handover

- Usato per i tipi di traffico con requisiti stringenti in termini di delay ma non in termini di perdite
- Si applica ai radio bearer che trasportano traffico control plane
- Si applica ai radio bearer mappati con RLC Unacknowledged Mode (voce, ecc.)

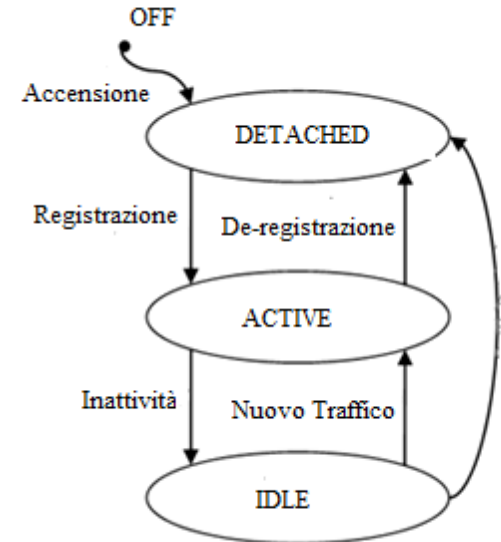
✓ Lossless Handover

- Usato per servizi delay-tolerant sensibili agli errori (file downloading, web browsing, ecc.)
- Si applica ai radio bearer mappati con RLC Acknowledged Mode



Mobilità e Handover

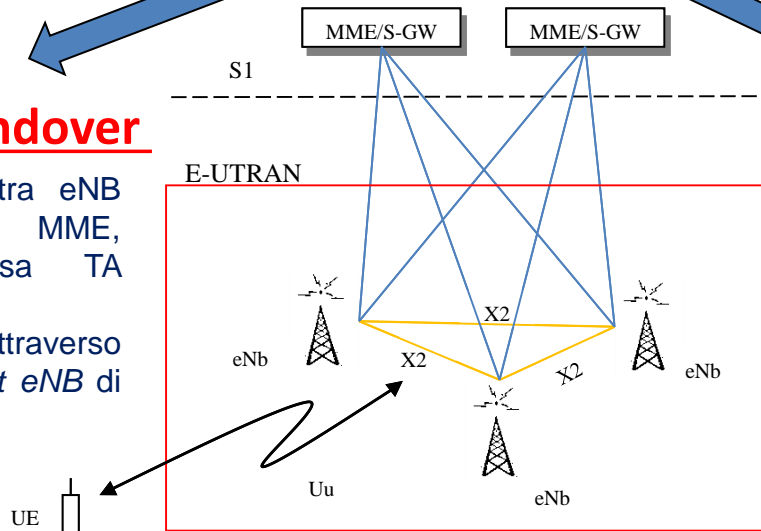
- ✓ **Detached:** si instaurano tutte le operazioni necessarie alla registrazione presso un eNB – IL DISPOSITIVO NON E' CONNESSO ALLA RETE
- ✓ **Active:** il terminale è connesso alla rete e può svolgere le operazioni permesse
- ✓ **Idle:** il terminale è in pausa per un determinato intervallo di tempo



Handover

(Intra-pool) X2-Handover

- ✓ Il terminale si sposta tra eNB gestiti dallo stesso MME, all'interno della stessa TA (TrackingArea).
- ✓ L'handover avviene attraverso l'interfaccia X2 e il *target eNB* di destinazione.



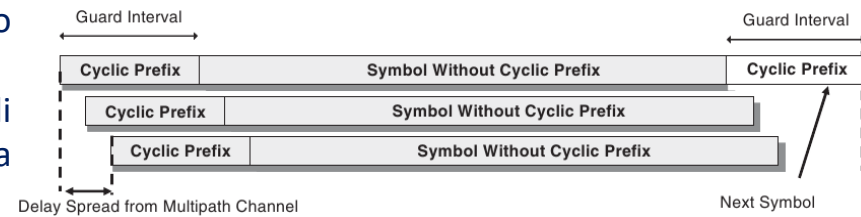
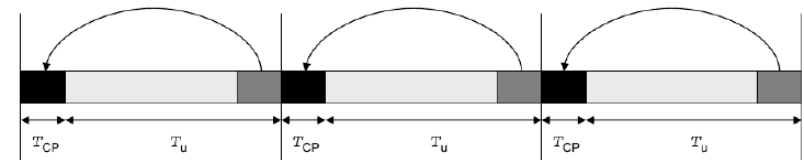
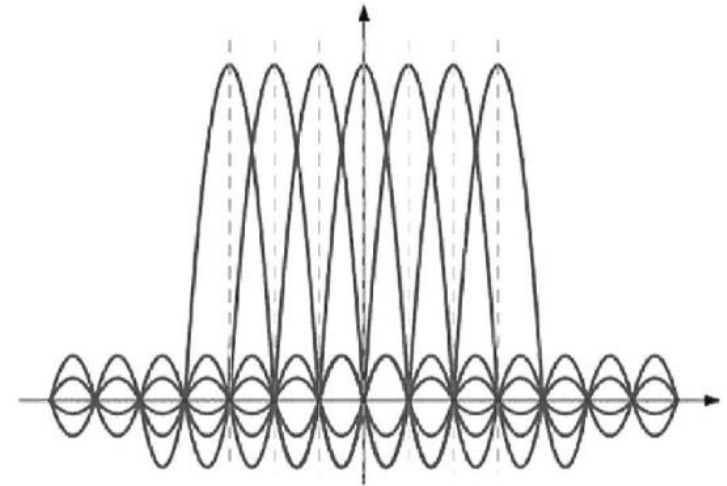
(Inter-pool) S1-Handover

- ✓ L'handover tramite l'interfaccia S1 è quello che si verifica quando il terminale si sposta da una pool area o TA ad un'altra



OFDM

- ✓ In Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) dobbiamo distinguere tra dominio temporale e frequenziale
- ✓ La banda viene divisa in diverse sottoportanti tra di loro ortogonali
 - Il flusso dati viene “diviso” e trasmesso in parallelo sulle diverse sottoportanti
 - Ogni sottoportante, poiché ortogonale, viene ricevuta in maniera indipendente
- ✓ Nel dominio temporale parliamo di simbolo OFDM, formato da una componente dati e da un prefisso ciclico
 - Il prefisso ciclico si forma copiando all’inizio del simbolo la porzione finale del simbolo
 - Questa procedura serve per ridurre i fenomeni di ISI e di delay spread (distorsione del segnale che arriva a destinazione in più repliche in tempi diversi)



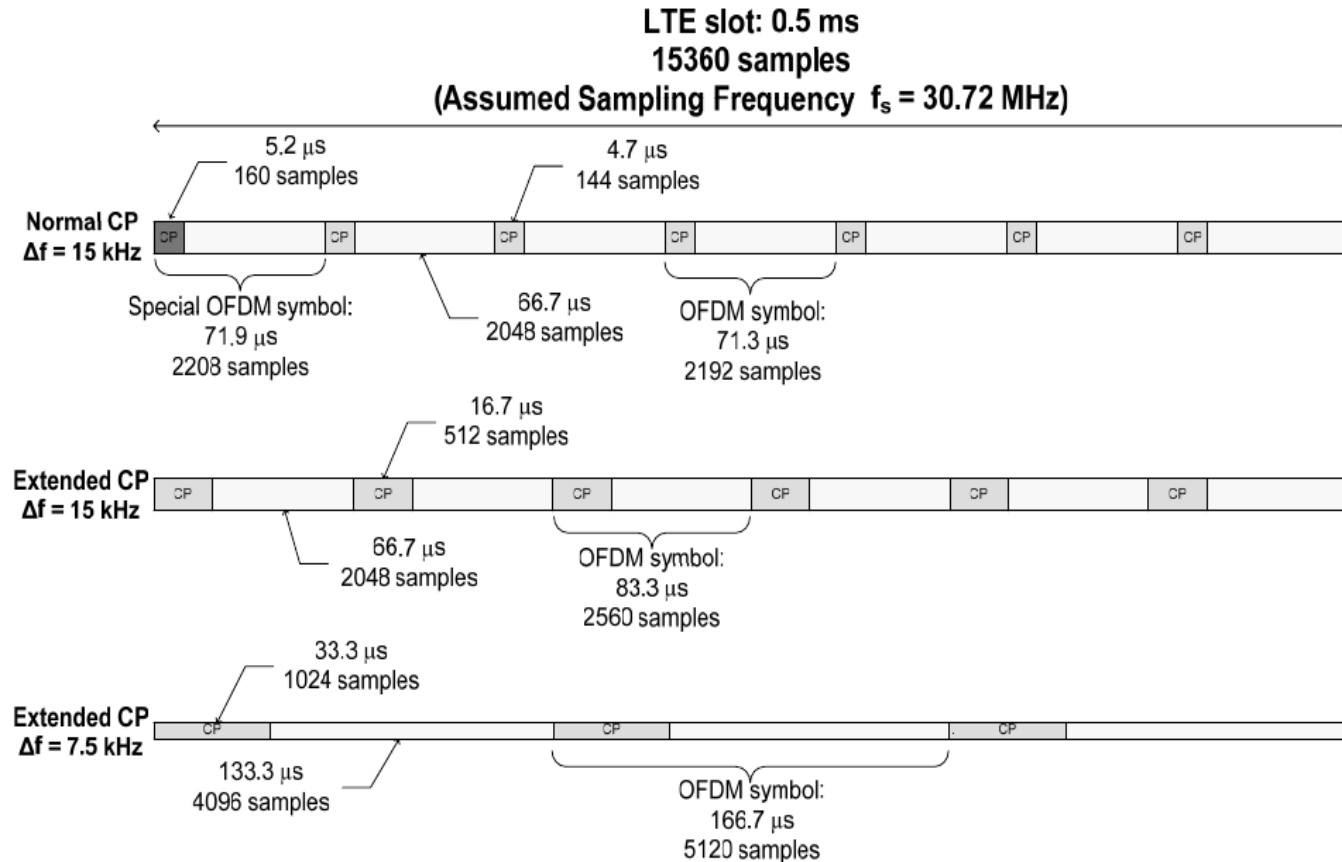


OFDM

Scenario urbano

Scenario suburbano

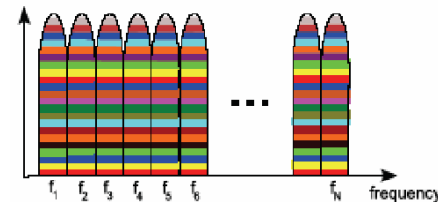
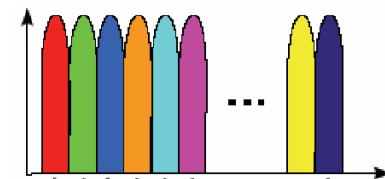
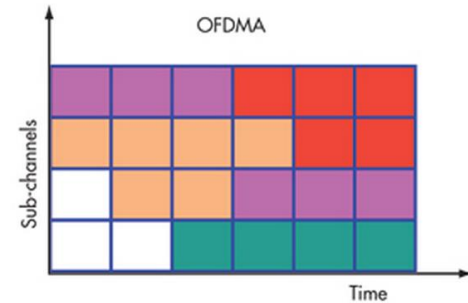
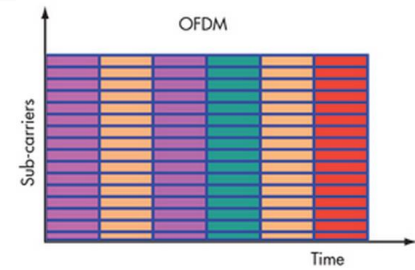
MBSFN





Accesso Multiplo con OFDM

- ✓ In OFDM in un istante di tempo tutte le sottoportanti sono assegnate al medesimo utente
 - ✓ L'accesso multiplo si realizza nel tempo
- Downlink**
- ✓ In Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) in un dato istante le sottoportanti disponibili sono divise tra più utenti
 - ✓ Ogni sottoportante trasporta informazioni relative ad un singolo simbolo
- Uplink**
- ✓ Nella tecnica Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) ogni sottoportante contiene informazioni su tutti i simboli trasmessi verso l'utente
 - ✓ Si riducono le fluttuazioni del segnale trasmesso, con una conseguente diminuzione della potenza in trasmissione





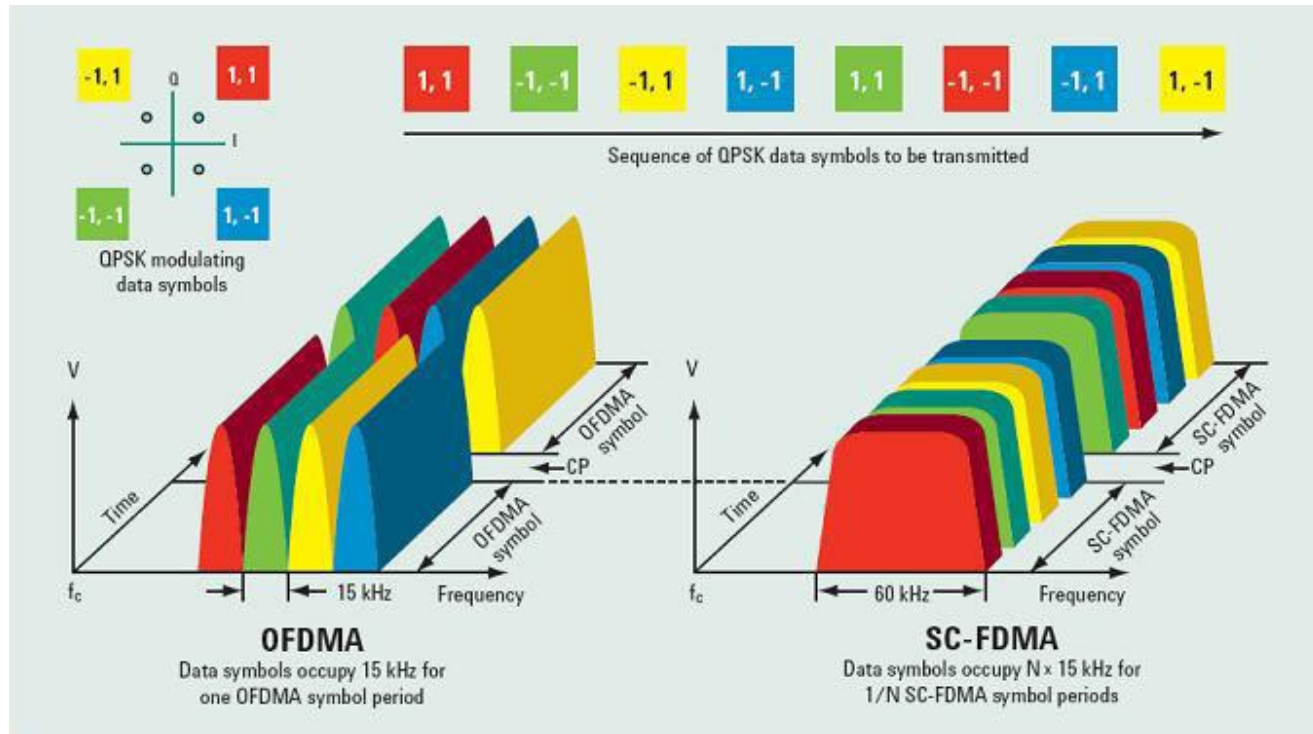
Accesso Multiplo

✓ OFDMA in Downlink

Assegna a ciascun utente un sottoinsieme delle portanti in cui viene suddivisa la banda disponibile per un determinato intervallo di tempo

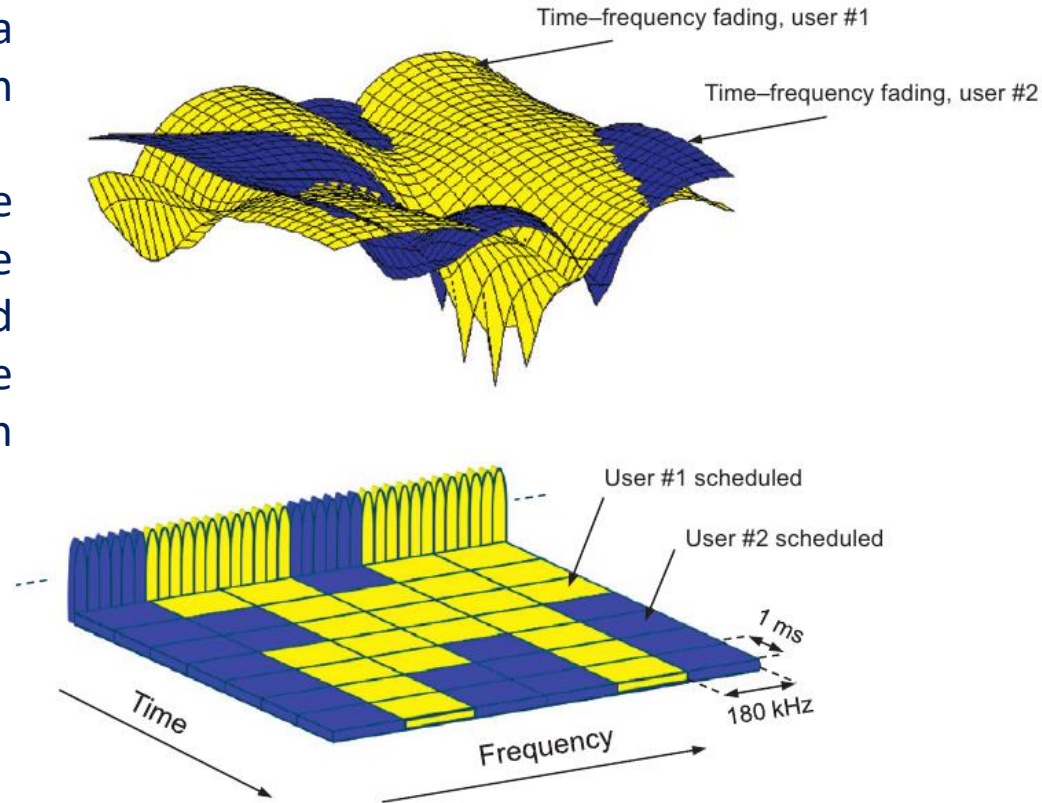
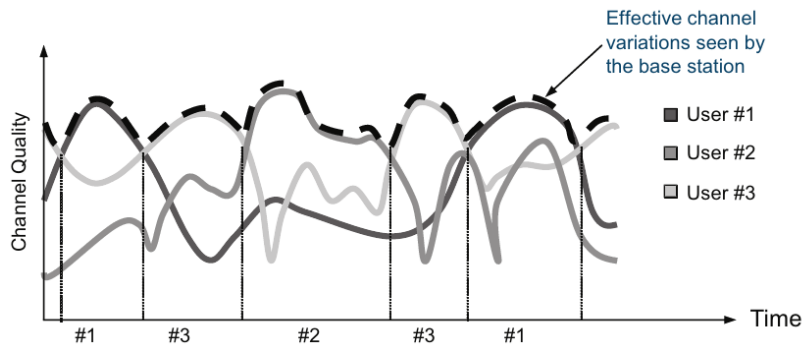
✓ SC-FDMA in Uplink

La banda disponibile è suddivisa in una serie di sotto-portanti ortogonali tra loro, che non sono più trasmesse in parallelo, come nella OFDMA, ma sequenzialmente



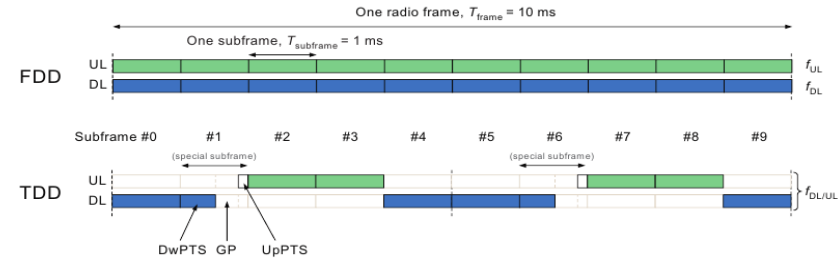
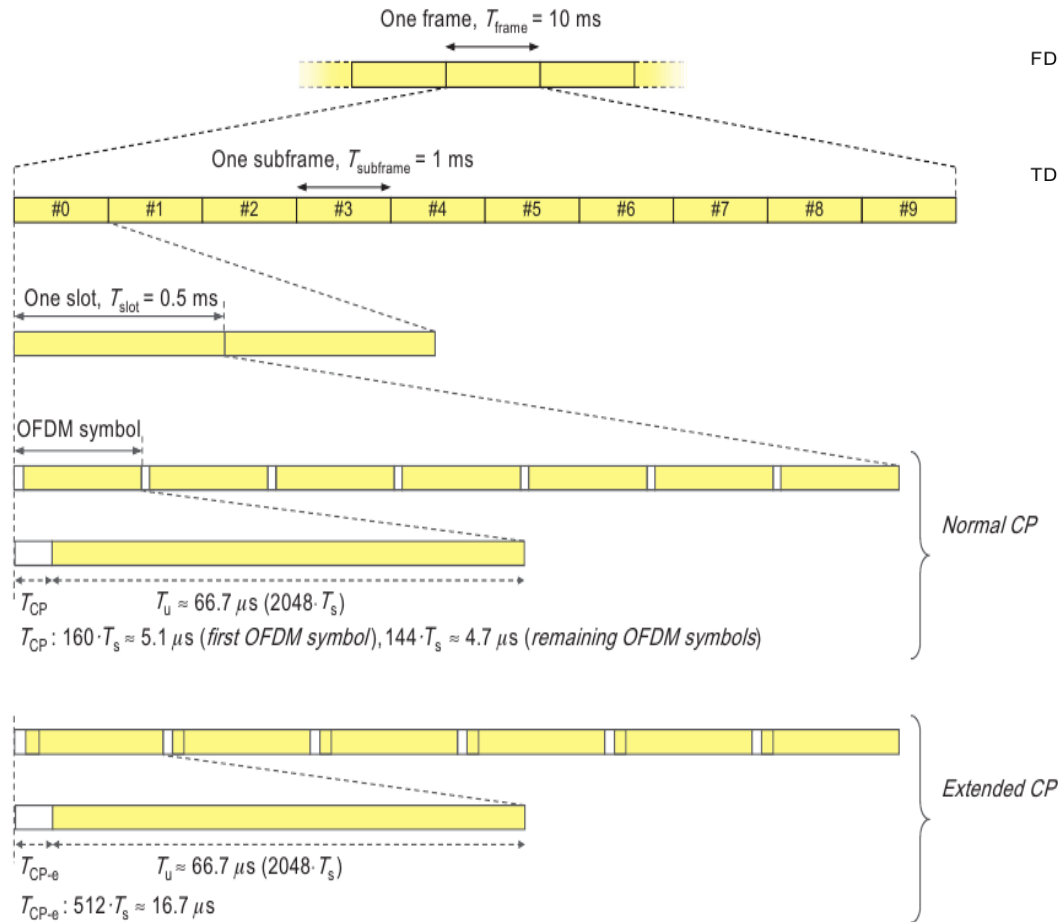
Channel Dependent Scheduling

- ✓ **Frequency selectivity:** selezionare la porzione di banda da assegnare ad un utente
- ✓ **Multisuser diversity:** ogni utente misura diverse qualità di canale sulle diverse porzioni di banda, quindi ad ogni utente posso assegnare le porzioni “migliori” sfruttando in maniera ottimale il canale radio





Trama Fisica



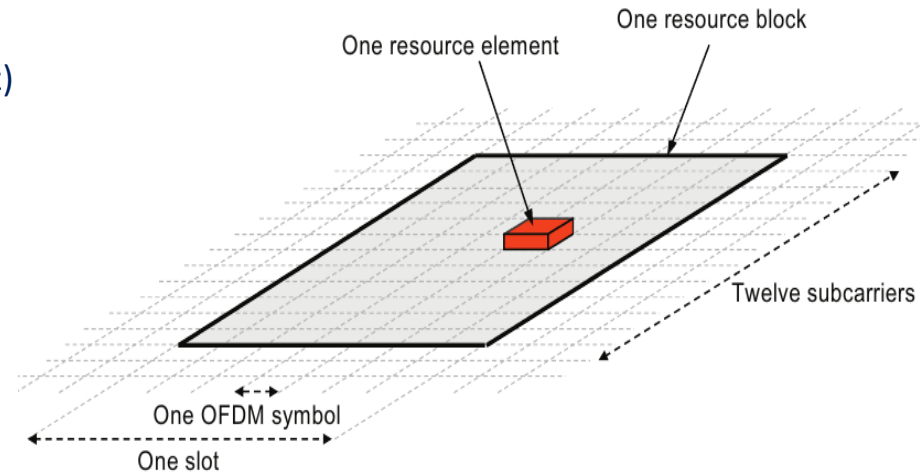
- ✓ Un subframe viene chiamato Transmission Time Interval (TTI) ed ha una durata di 1 ms
 - Si assume che le condizioni di canale siano costanti durante un TTI
 - I parametri trasmissivi (schema di modulazione e code rate) vengono aggiornati ogni TTI
- ✓ Uno slot dura 0.5 ms ed è formato da più simboli OFDM
 - 7 simboli con prefisso normal
 - 6 simboli con prefisso extended
 - 3 simboli nel caso MBSFN

Resource Block

✓ Un **Resource Block (RB)** è formato da:

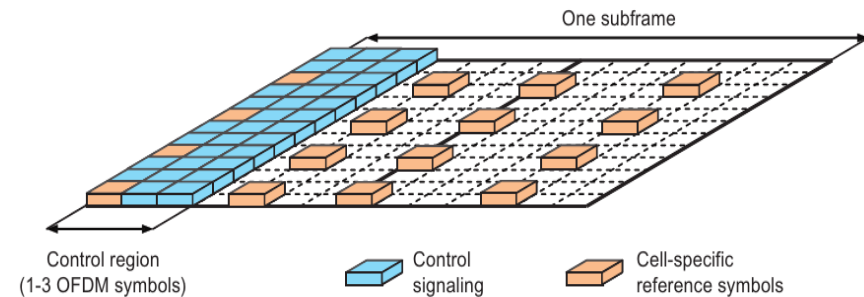
- 12 sottoportanti adiacenti (per un totale di 180 kHz)
- 1 slot (0.5 ms)

Channel Bandwidth [MHz]	Number of RBs N_{RB}^{DL}
1.4	6
3	15
5	25
10	50
15	75
20	100



✓ Un **RB** “contiene” sia il PDCCH che il PDSCH

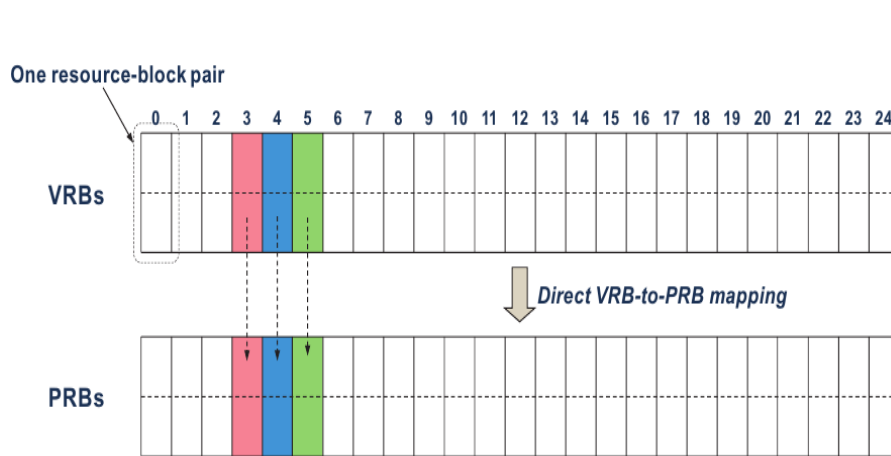
- I primi simboli (da 1 a 3) trasportano il PDCCH che contiene le informazioni per decodificare il PDSCH
- I reference signals servono come segnali pilota e si usano per valutare le condizioni di canale



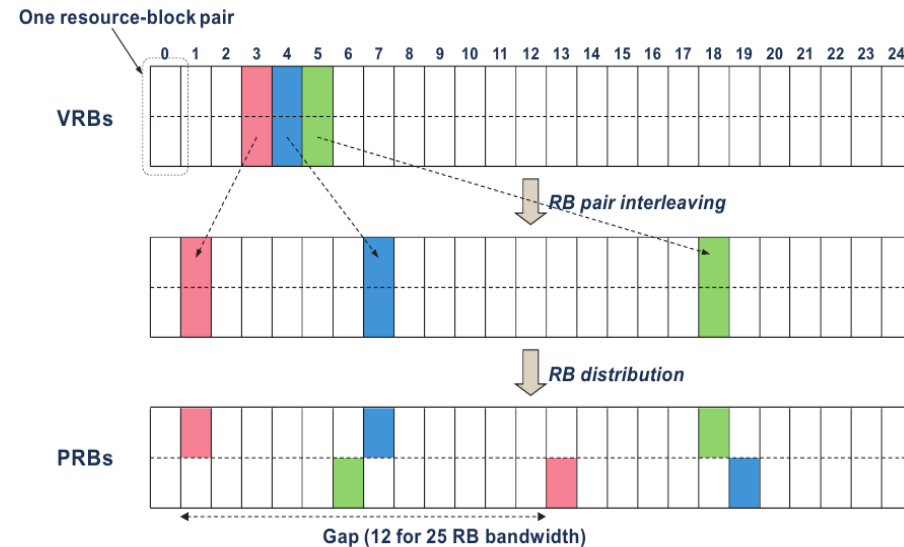


Resource Block

- ✓ Lo scheduler assegna i RB ogni TTI (cioè, ogni millisecondo)
- ✓ Un RB dura 0.5 ms, quindi ogni TTI vengono assegnati 2 RB nel dominio temporale (**RB block pair**)
- ✓ **Virtual RB (VRB)**: sono i RB gestiti dallo scheduler
- ✓ **Physical RB (PRB)**: sono i RB fisicamente inviati sul canale radio



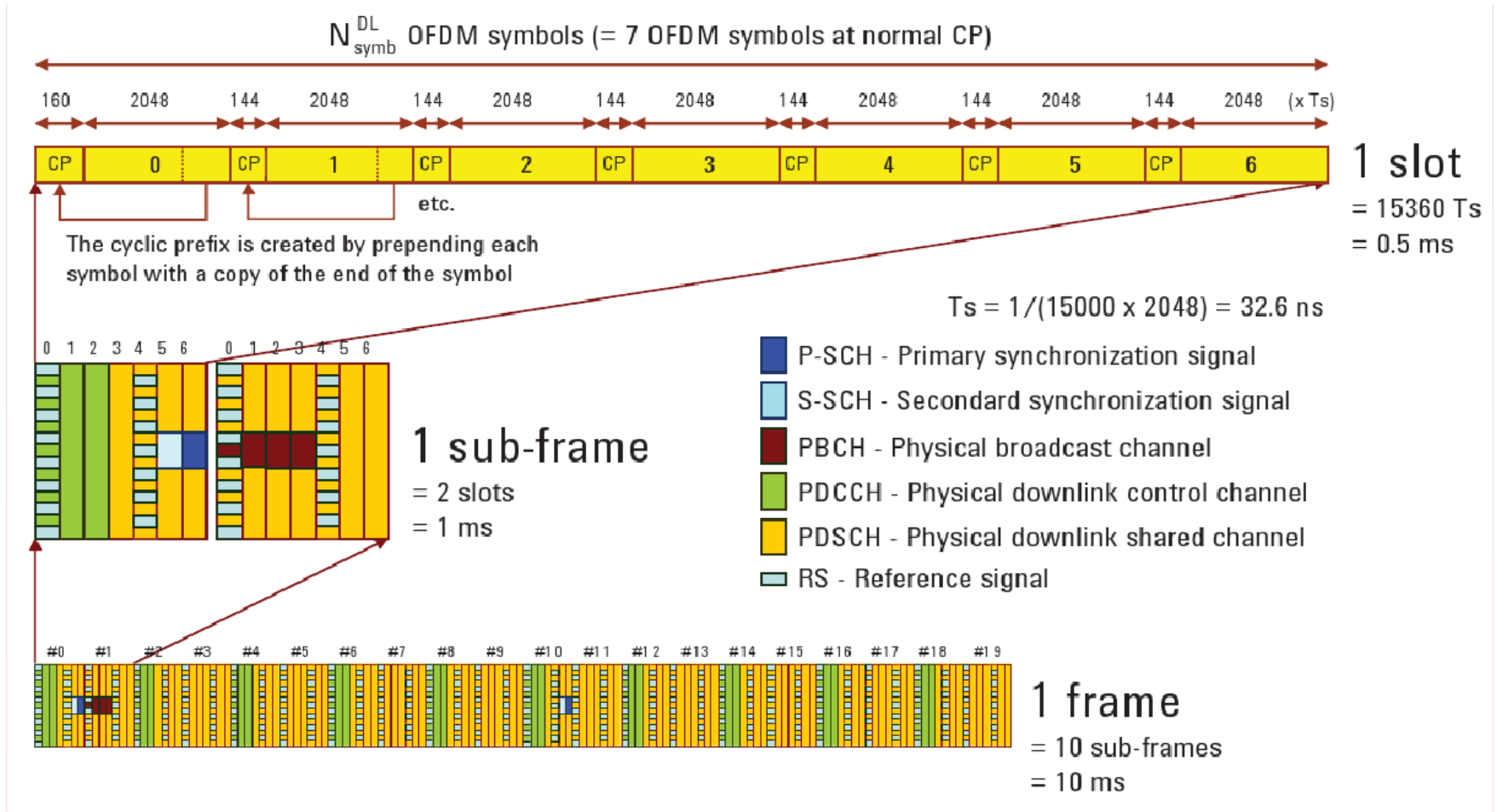
Localized VRB-to-PRB mapping



Distributed VRB-to-PRB mapping



Resource Block

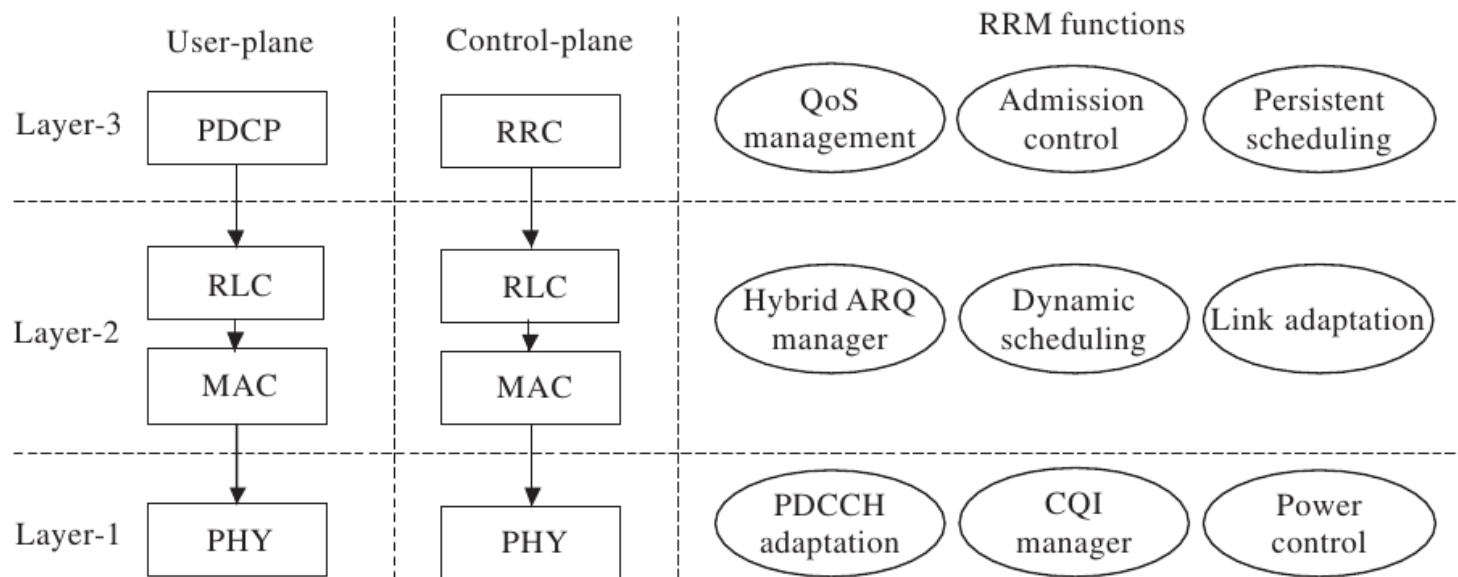




Radio Resource Management

✓ Il Radio Resource Management (**RRM**) si occupa di:

- Gestire in maniera efficiente le risorse radio (dominio frequenziale e temporale)
- Adattare dinamicamente i parametri trasmissivi
- Garantire i requisiti di QoS per ciascun flusso





Admission Control e QoS

✓ Admission Control (AC)

- Decide se accettare o meno una nuova richiesta (un EPS bearer)
- La scelta viene presa considerando i requisiti di QoS e di priorità del nuovo bearer e di tutti i bearer già attivi nella cella
- La richiesta viene accettata solo se si potrà garantire la QoS richiesta dal nuovo bearer senza intaccare la QoS dei flussi già attivi
- Gli algoritmi di AC non sono standardizzati da 3GPP e un operatore è libero di implementare il proprio algoritmo

QCI	Resource type	Priority	Packet delay budget (ms)	Packet error loss rate	Example services
1	GBR	2	100	10^{-2}	Conversational voice
2	GBR	4	150	10^{-3}	Conversational video (live streaming)
3	GBR	5	300	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
4	GBR	3	50	10^{-3}	Real time gaming
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	IMS signalling
6	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Voice, video (live streaming), interactive gaming
7	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Video (buffered streaming)
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	TCP-based (e.g. WWW, e-mail) chat, FTP, p2p file sharing, progressive video, etc.
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	



Scheduling e Link Adaptation

- ✓ L'entità di RRM di livello 2 il Packet Scheduler (**PS**)
 - Effettua le operazioni di scheduling ogni **TTI** (TTI = 1ms)
 - Alloca i Resource Block (**RB**) agli utenti selezionati per la trasmissione
 - Sceglie i parametri di trasmissione (modulation and coding scheme, **MCS**) per gli RB (**link adaptation**)
- ✓ Gli obiettivi del PS sono:
 - Massimizzare la capacità della cella (in termini di utenti serviti)
 - Garantire l'adeguata QoS a ciascun flusso
 - Offrire un adeguato numero di risorse ai flussi best-effort (web browsing, mail, ecc.)



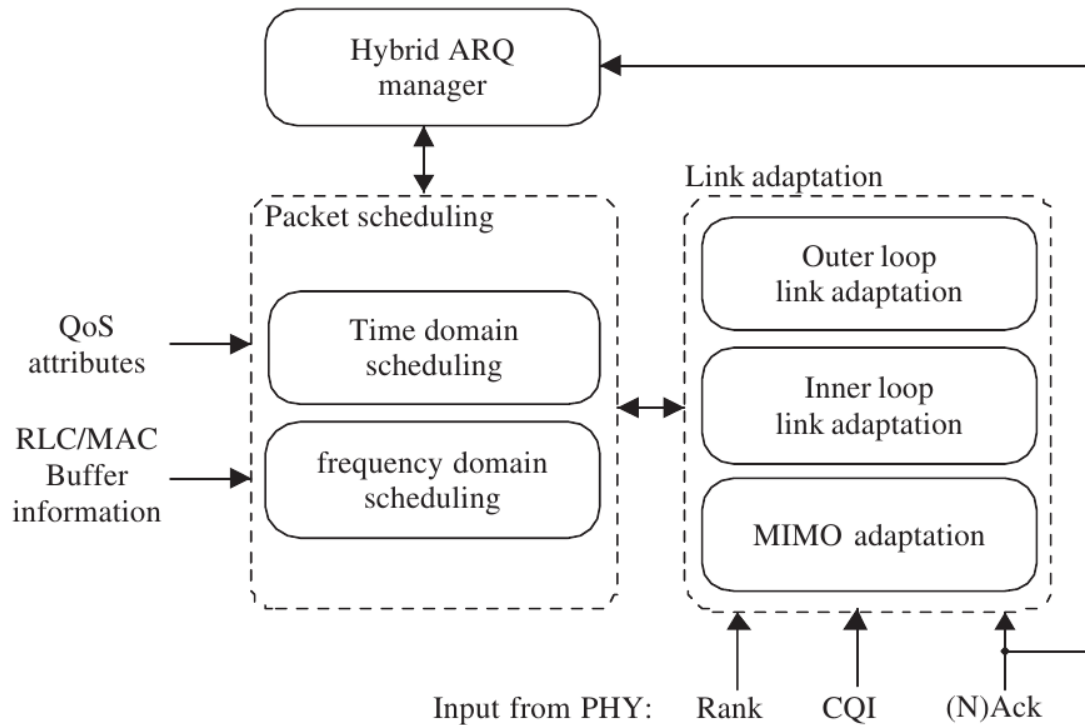
Scheduling e Link Adaptation

- ✓ Sebbene un utente abbia più flussi attivi, le decisioni del PS sono fatte su **base utente**
 - Ogni flusso ha un identificativo univoco (Logical Channel Identification, LCID)
 - Una volta che il PS seleziona le risorse da assegnare a ciascun utente, il livello MAC si occuperà di selezionare la quantità di dati da inviare da ciascun LCID



Scheduling e Link Adaptation

- ✓ **HARQ** si occupa delle ritrasmissioni (al massimo nove ritrasmissioni)

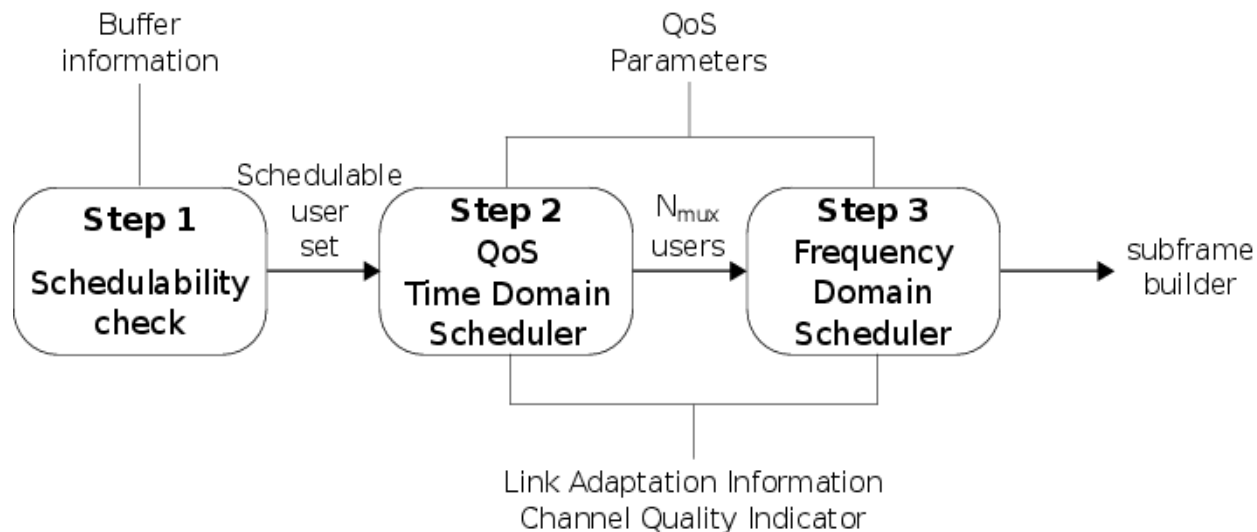


- ✓ Ogni TTI il PS decide se inviare una ritrasmissione pendente oppure una nuova ritrasmissione per ciascun utente selezionato



Packet Scheduler

- ✓ **Step 1** si selezionano gli utenti che hanno traffico pendente nei rispettivi buffer
- ✓ **Step 2** in base ai parametri di QoS del traffico dell'utente, si seleziona la quantità di dati (cioè il numero di pacchetti) da prelevare da ciascuna coda
- ✓ **Step 3** sulla base della quantità di dati da inviare all'utente, si seleziona il numero di RB da assegnare all'utente. Si assegnano gli RB all'utente e lo schema di modulazione per gli RB assegnati





Channel Quality Indicator (CQI)

- ✓ La scelta dello schema di modulazione per i diversi RB assegnati ad un utente si effettua in base alla qualità del canale percepita dagli utenti
- ✓ Si calcola il Signal to Interference plus Noise Ratio (**SINR**) per ciascuna sottoportante
 - ✓ Path Loss
 - ✓ Slow fading (shadowing)
 - ✓ Fast Fading (multipath)
 - ✓ Interferenza (intra- e inter-cella)
- ✓ Il valore di SINR ottenuto si “converte” nel **Channel Quality Indicator (CQI)**
 - Il CQI indica il massimo schema di modulazione (MCS) supportato dall’utente al fine di garantire una ricezione del traffico con un Block Error Rate (BLER) inferiore al 10%
 - Il CQI viene trasmesso all’eNB dall’utente

$$SINR_i = \frac{P_0 \times PL_0 \times h_0}{\sum_{j=1}^{N_{BS}} (P_j \times PL_j \times h_j) + N_o}$$



Channel Quality Indicator (CQI)

- ✓ Un valore di CQI non influenza il massimo data rate supportato dall'utente. Il data rate dipende esclusivamente dal numero di RB assegnati

CQI value	Modulation	Code rate	Minimum Rate [kbps]	Maximum Rate [kbps]
1	QPSK	0.076	25.59	1279.32
2	QPSK	0.120	39.38	1968.96
3	QPSK	0.190	63.34	3166.80
4	QPSK	0.300	101.07	5053.44
5	QPSK	0.440	147.34	7366.80
6	QPSK	0.590	197.53	9876.72
7	16-QAM	0.370	248.07	12403.44
8	16-QAM	0.480	321.57	16078.44
9	16-QAM	0.600	404.26	20212.92
10	64-QAM	0.450	458.72	22936.20
11	64-QAM	0.550	558.15	27907.32
12	64-QAM	0.650	655.59	32779.32
13	64-QAM	0.750	759.93	37996.56
14	64-QAM	0.850	859.35	42967.68
15	64-QAM	0.930	933.19	46659.48



CQI

- ✓ **Wideband CQI**
 - ✓ L'UE trasmette un solo valore di CQI per l'intera banda LTE
- ✓ **eNodeB-configured subband feedback**
 - ✓ L'UE trasmette un wideband CQI e un valore di CQI per ogni sottobanda dello spettro (una sottobanda viene definita come un insieme di k RB, dove k viene definito dallo standard)

Channel Bandwidth (RBs)	Subband size (k RBs)
6-7	(Wideband CQI only)
8-10	4
11-26	4
27-63	6
64-110	8



CQI

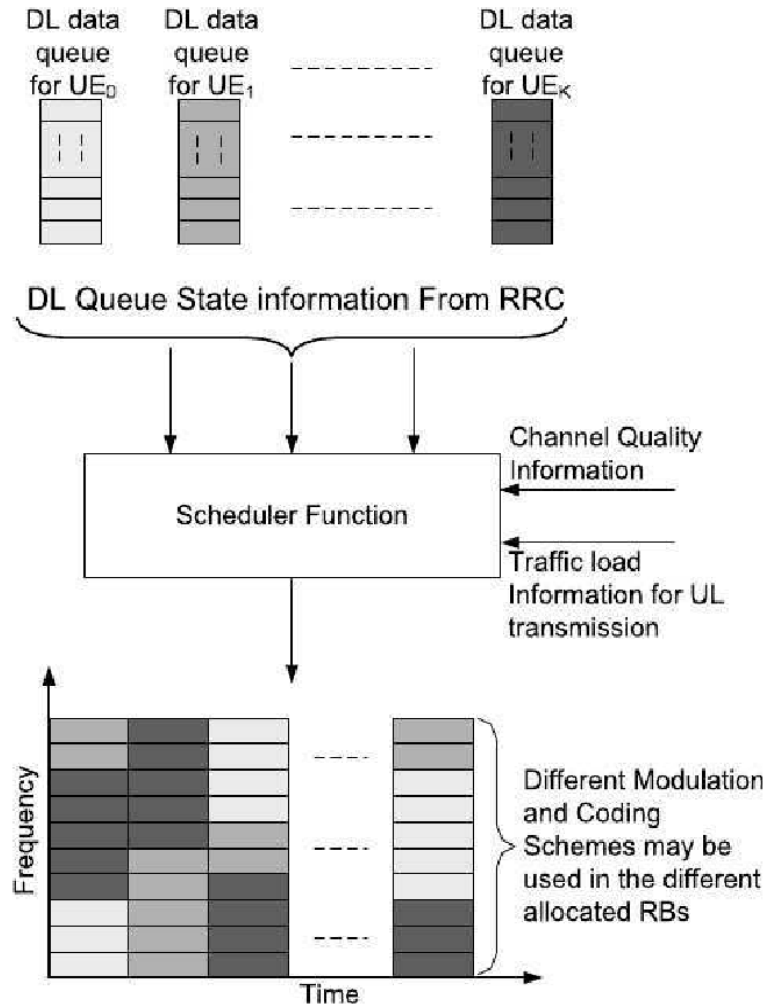
✓ UE-selected subband feedback

- ✓ L'UE seleziona M sottobande preferite e calcola il CQI sulle M sottobande.
- ✓ Si invia all'eNB il CQI delle M sottobande, la posizione delle M sottobande e il wideband CQI

Channel Bandwidth (RBs)	Subband size (k RBs)	Number of preferred subbands (M)
6-7	(Wideband CQI only)	(Wideband CQI only)
8-10	2	1
11-26	2	3
27-63	3	5
64-110	4	6



Scheduling





IMT Advanced

✓ La quarta generazione **4G** wireless viene definita dal progetto International Mobile Telecommunications Advanced (**IMT-Advanced**) pubblicato da ITU-R a Luglio del 2008:

- **LTE-Advanced (LTE-A)** è la soluzione proposta da parte di 3 GPP (LTE Rel. 10)
- **IEEE 802.16m** (mobile WiMAX) è la soluzione proposta da IEEE

Item		Antenna configuration	IMT Advanced	LTE (Rel. 8)	LTE Advanced
Peak data rate	DL	8 × 8	1 Gbps	300 Mbps	1 Gbps
	UL	4 × 4	–	75 Mbps	500 Mbps
Peak spectrum efficiency (bps/Hz)	DL	8 × 8	15	15	30
	UL	4 × 4	6.75	3.75	15
Capacity (bps/Hz/cell)	DL	2 × 2	–	1.69	2.4
		4 × 2	2.2	1.87	2.6
	UL	4 × 4	–	2.67	3.7
		1 × 2	–	0.74	1.2
Cell-edge user throughput (bps/Hz/cell/user)	DL	2 × 4	1.4	–	2.0
		2 × 2	–	0.05	0.07
	UL	4 × 2	0.06	0.06	0.09
		4 × 4	–	0.08	0.12
UL	1 × 2	–	0.024	0.04	
	2 × 4	0.03	–	0.07	



LTE-A

- ✓ LTE-A si pone l'obiettivo di portare la banda larga sui sistemi radiomobili
- ✓ LTE-A considera una larghezza di banda massima di **100 MHz**
- ✓ Oltre alle porzioni di banda già allocate per LTE, si prevede l'impiego di bande aggiuntive
 - 450-470 MHz
 - 698-862 MHz
 - 790-862 MHz
 - 2.3-2.4 GHz
 - 3.4-4.2 GHz
 - 4.4-4.9 GHz



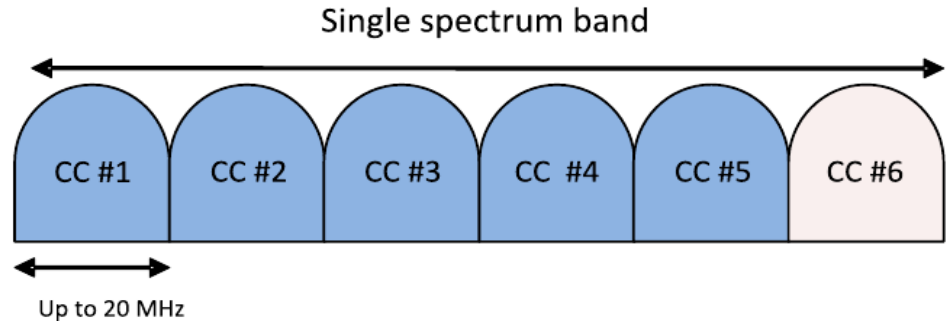
Carrier Aggregation

- ✓ Per raggiungere i 100 MHz di larghezza di banda si usano tecniche di **Carrier Aggregation**
 - Si raggruppano più **Component Carrier (CC)** LTE
 - Al massimo 5 CC (20 MHz x 5 CC)
 - Un utente LTE-A “vede” uno spettro da 100 MHz poiché potrà usare contemporaneamente tutte le CC
 - Un utente LTE “vede” una sola CC
 - Si assicura la retro-compatibilità con i sistemi Rel. 8

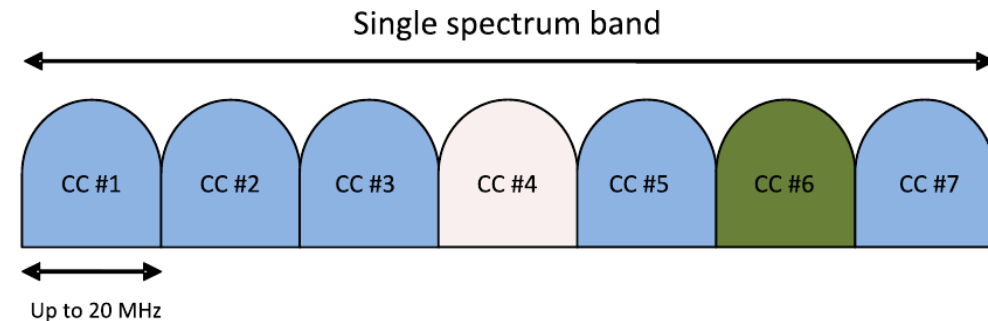


Carrier Aggregation

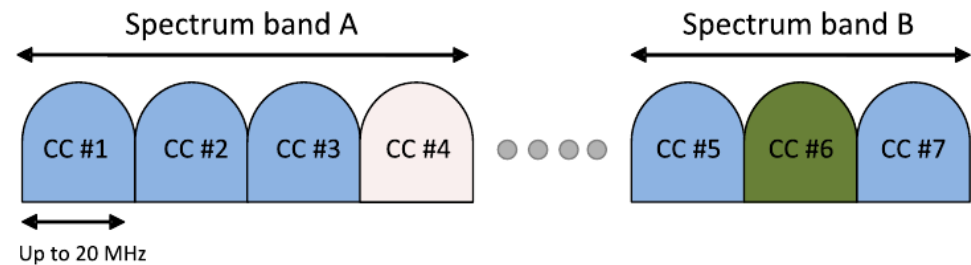
✓ Bande contigue nella stessa porzione di spettro



✓ Bande non contigue nella stessa porzione di spettro



✓ Bande non contigue in porzioni diverse di spettro





MIMO

Per raggiungere gli obiettivi di performance richiesti una parte essenziale in LTE è data da: **MIMO (Multiple Input Multiple Out)**

Scopi di **MIMO** in LTE sono:

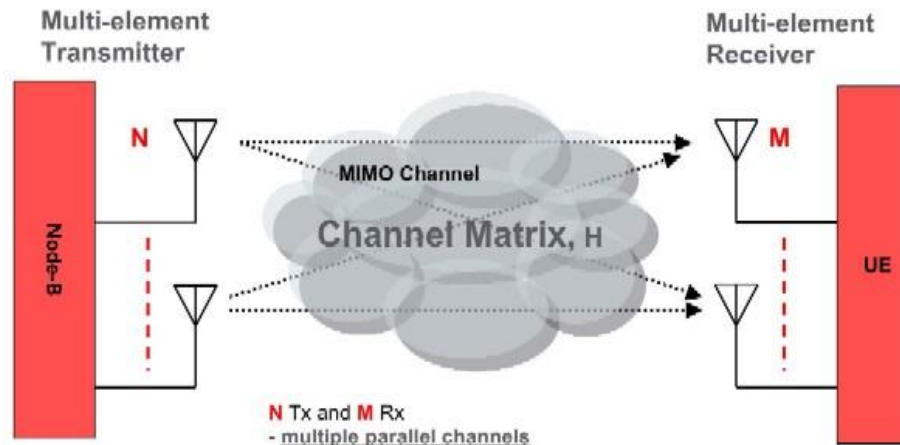
1. Aumentare la velocità dei dati
2. Migliorare la copertura cellulare
3. Migliorare il throughput delle celle

Esistono tre tipi di modalità:

1. Spatial multiplexing
2. Transmit diversity
3. Beamforming

Scelte in base

Caratteristiche del canale di trasmissione





MIMO

Spatial Multiplexing

permette di trasmettere flussi di dati diversi contemporaneamente

Si divide in:

SU-MIMO

MU-MIMO

se i flussi di dati appartengono a un singolo utente

se i flussi di dati appartengono a utenti diversi



AUMENTA LA VELOCITÀ DELLA TRASMISSIONE

AUMENTA LA CAPACITÀ COMPLESSIVA DEL CANALE

Transmit Diversity

Ogni antenna di trasmissione trasmette lo stesso flusso di dati, in questo modo il ricevitore riceve repliche dello stesso segnale



AUMENTA IL RAPPORTO SEGNALE RUMORE SUL LATO DEL RICEVITORE

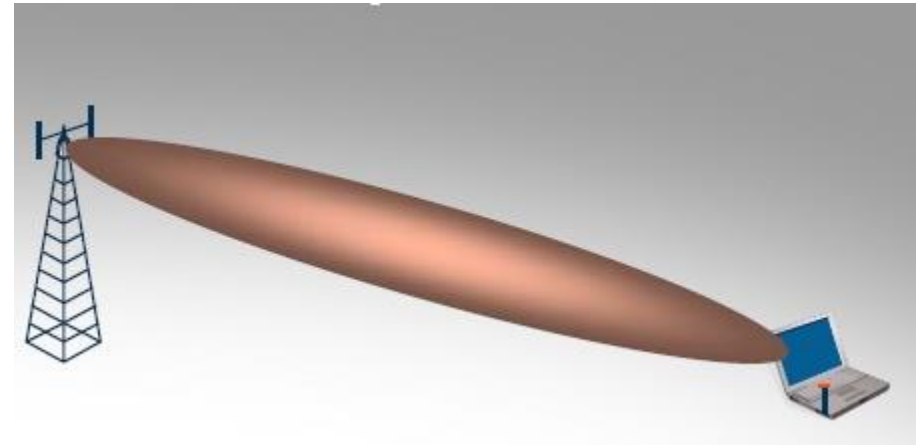


AUMENTA LA ROBUSTEZZA DELLA TRASMISSIONE



MIMO

- ✓ Beamforming
- ✓ Utilizza antenne multiple per controllare la direzione di un fronte d'onda ponderando opportunamente l'ampiezza e la fase dei singoli segnali d'antenna
↓
- ✓ migliore copertura su aree specifiche lungo i bordi delle celle
↓
- ✓ Se la posizione di UE è nota, i coefficienti di beamforming possono essere adattati di conseguenza per ottimizzare la trasmissione per questo UE



MIMO

✓ Single-User MIMO (**SU-MIMO**)

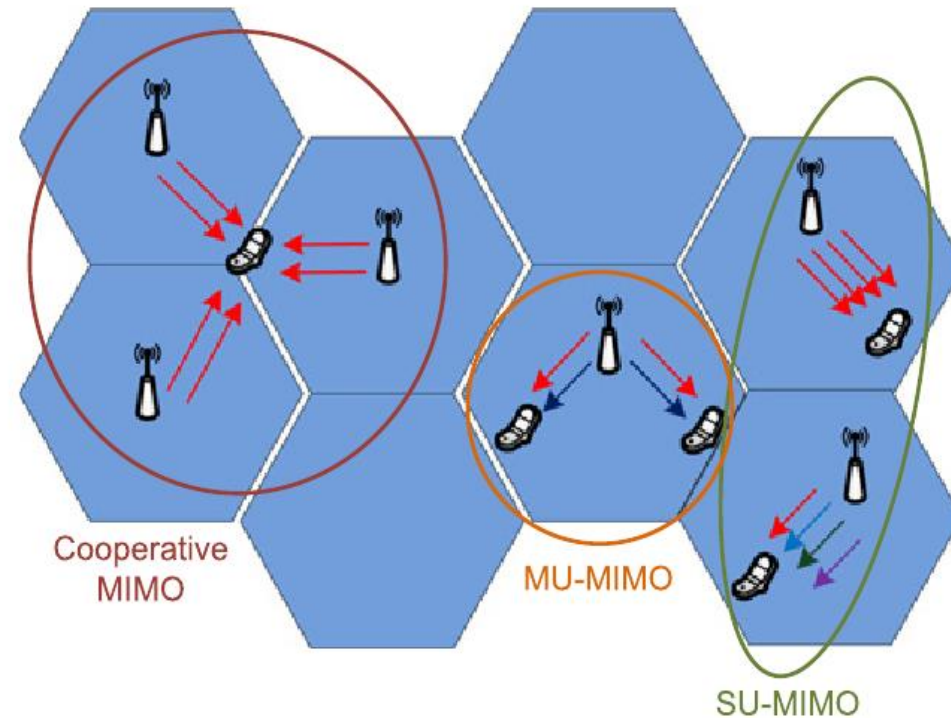
- Più stream simultanei (transmit diversity)
- Aumento potenza in ricezione
- Aumento data rate

✓ Multi-User MIMO (**MU-MIMO**)

- SU-MIMO + beamforming
- Sfrutta la Spatial Division Multiple Access (SDMA)

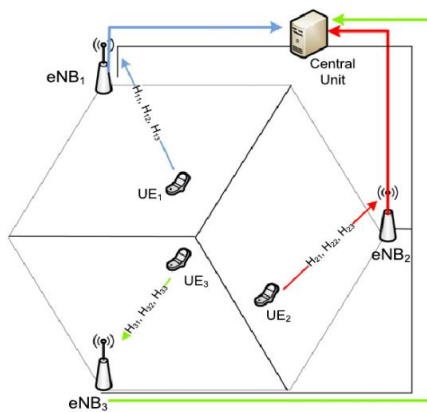
✓ Cooperative MIMO

- Più antenne si coordinano per trasmettere lo stesso segnale ad un utente
- Aumento della potenza in ricezione con un conseguente aumento della qualità percepita dall'utente

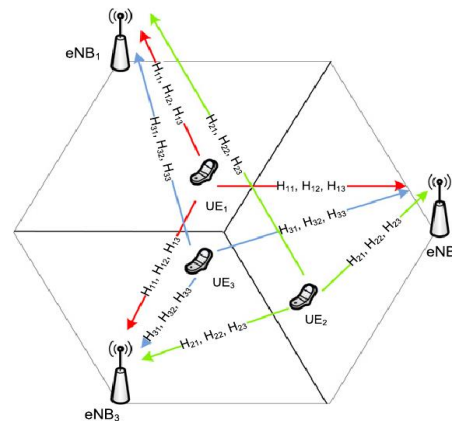


CoMP

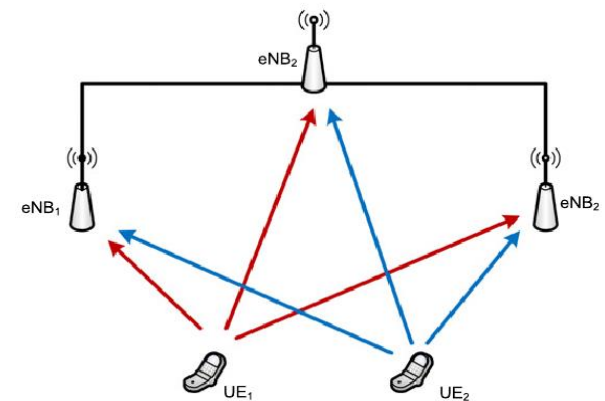
- ✓ Cooperative multipoint transmission and reception (**CoMP**)
- ✓ Più base station cooperano per la trasmissione verso uno o più terminali
 - ✓ **Centralized**: la central unit si occupa di raccogliere i messaggi di controllo degli UE e di effettuare le decisioni di scheduling
 - ✓ **Distributed**: gli eNB scambiano tra di loro le informazioni ricevute dagli utenti delle rispettive celle ed effettuano lo scheduling in maniera indipendente
 - ✓ **Uplink CoMP**: un utente trasmette a più eNB al fine di garantire un maggiore throughput



Centralized CoMP



Distributed CoMP

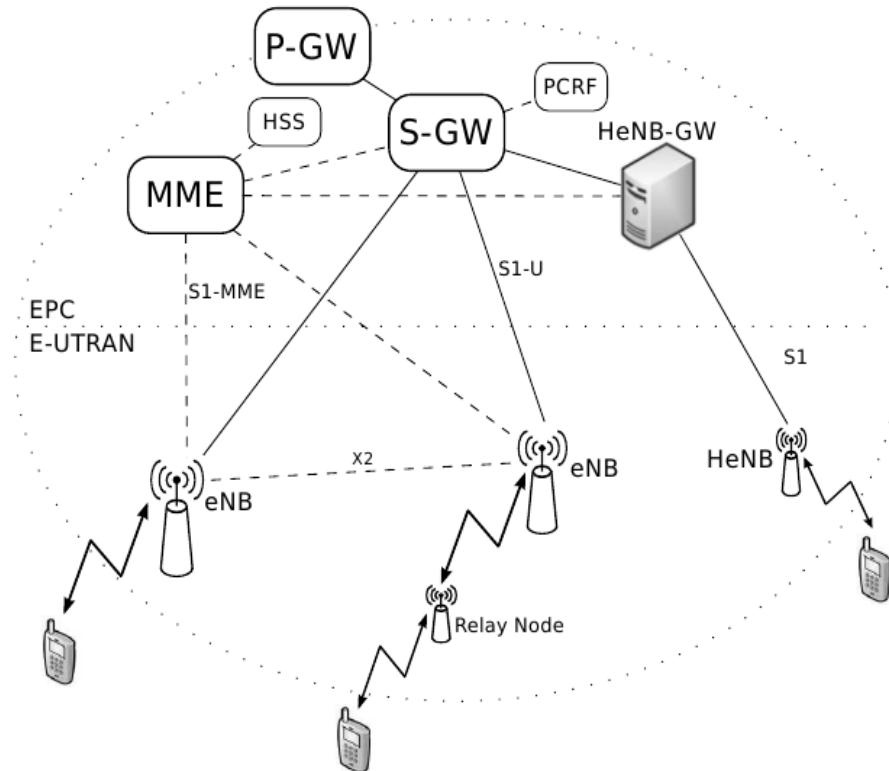


Uplink CoMP



Heterogeneous Network (HetNet)

- ✓ Coesistenza di celle a lungo raggio (**macro cell**) e di celle a corto raggio (**micro cell**) (macro cell 5-40W; micro cell 250mW-2W)
- ✓ Estensione della copertura in zone d'ombra
- ✓ Aumento del numero di utenti serviti
- ✓ Aumento del throughput per gli utenti a bordo cella
- ✓ Aumento del raggio di copertura della macro cella
- ✓ Hot-spot
- ✓ Riduzione dei costi di installazione (una micro cell costa meno di eNB)
- ✓ Diminuzione del consumo di potenza dei terminali mobili
- ✓ Diminuzione della potenza in trasmissione delle base station





Pico Cell

- ✓ È un normale eNB
- ✓ Indoor/Outdoor
- ✓ La sola differenza rispetto ad un macro eNB è che ha una più bassa potenza in trasmissione (250mW-2W in outdoor; <100mW indoor)
- ✓ Trasmissione omni-direzionale
- ✓ Dal punto di vista architetturale è un “normale” eNB, quindi dotato dell’interfaccia X2 per l’interconnessione con altre picocelle e con altri eNB



Femto Cell (HeNB)

- ✓ Tipicamente sono dei nodi per copertura indoor
- ✓ Trasmissione omni-direzionale con potenza inferiore ai 100mW
- ✓ Usano la linea dati dell'utente (DSL, modem, ecc.) per l'interconnessione con la rete
- ✓ Si distinguono in femtocelle open (garantiscono l'accesso a chiunque) e closed (garantiscono l'accesso solo ad un set limitato di utenti)

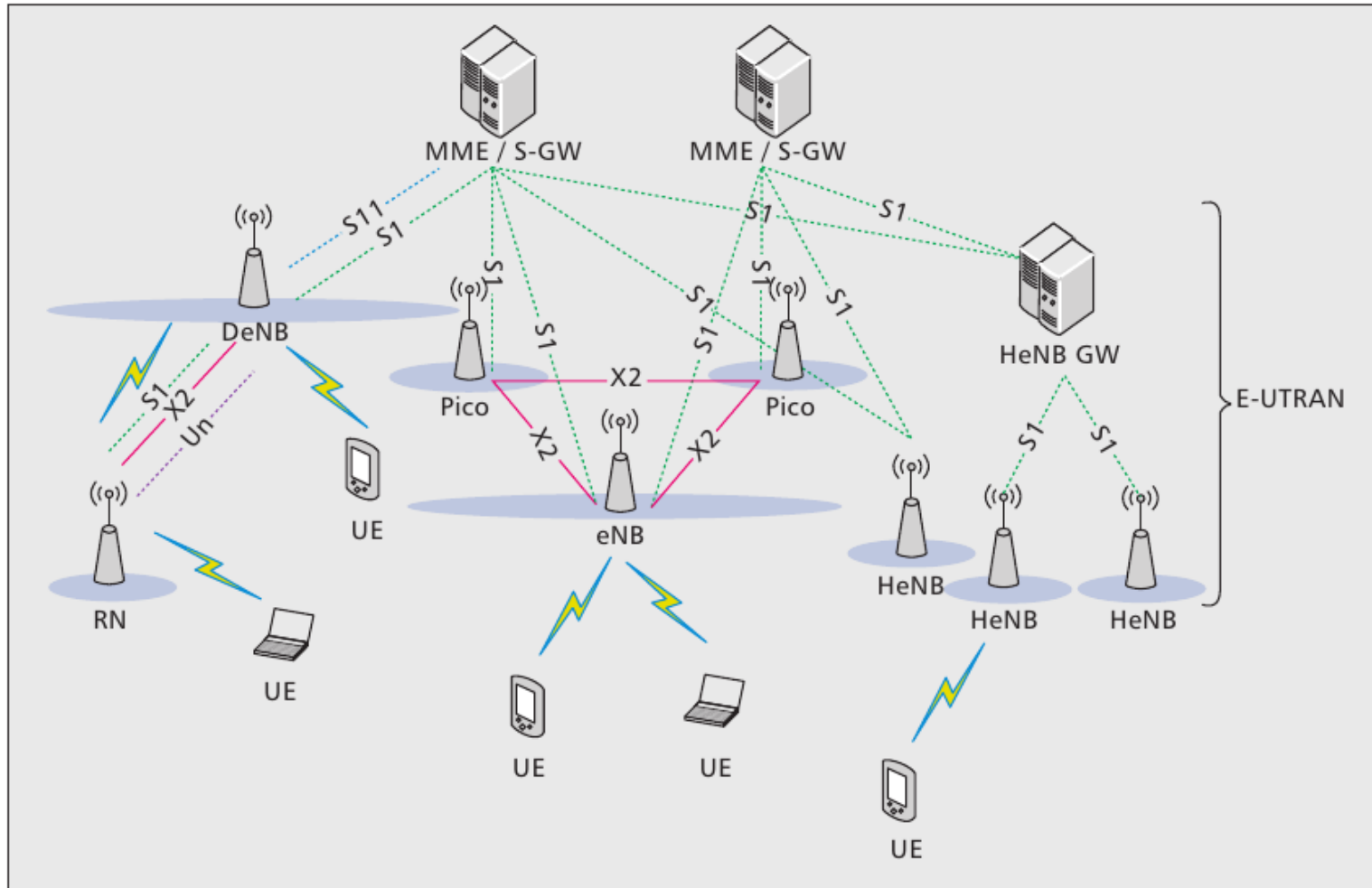


Relay Node (RN)

- ✓ È un' "estensione" dell'eNB
- ✓ Per l'eNB il RN è come se fosse un UE
- ✓ Per l'UE il RN è come se fosse un eNB



HetNet





Open issues

✓ Carrier Aggregation

- Come gestire i canali di controllo
- Co-esistenza terminali LTE Rel. 8 e Rel. 10
- Maggiore complessità nelle operazioni di scheduling
 - ❖ Il numero di RB da gestire sale sino a 500
 - ❖ Bisogna scegliere come distribuire il traffico tra le diverse CC (load balancing)

✓ Channel estimation

- Come calcolo la qualità del canale su una larghezza di banda di 100 MHz???
- Introduzione di nuovi parametri per il supporto di tecniche MIMO
 - ❖ Numero di stream supportati
 - ❖ Precoding matrix per la creazione del beamforming



Open issues

✓ CoMP

- Sincronizzazione degli eNodeB
- Cloud RAN

✓ HetNet

- Gestione dell'interferenza
 - ❖ Comprendere come distribuire le potenze tra le macro e le micro celle al fine di evitare che l'introduzione di micro celle comporti un'enorme interferenza per gli utenti serviti dalla macro base station