



**CORSO DI TECNOLOGIE D'ACCESSO**

**WiMAX  
(Worldwide  
Interoperability  
for Microwave Access)**

- ✓ Cosa è WiMAX ?
- ✓ Perché WiMAX ?
- ✓ PHY Layer - Tecniche di accesso
- ✓ PHY Layer - Modulazioni
- ✓ MAC Layer
- ✓ QoS
- ✓ Scheduling
- ✓ Handover
- ✓ WiMAX vs WiFi

# Cosa è WiMAX ?



- ✓ Il termine WiMAX rappresenta “un marchio di certificazione”, definito dal “WiMAX Forum” (un consorzio formato da più di 420 aziende (tra cui Intel, Accenture, Ericsson, Google, Microsoft, Sony e Telecom Italia) con l’obiettivo di verificare, testare e certificare che i prodotti WiMAX siano conformi allo **Standard IEEE 802.16** e che rispettino i requisiti dei “profili” fissati dal Forum come quello dell’“interoperabilità” dei dispositivi WiMAX



- ✓ Due dispositivi IEEE 802.16 possono essere conformi allo Standard ma non essere “WiMAX certified” perché ad esempio non sono interoperabili

# Cosa è WiMAX ?



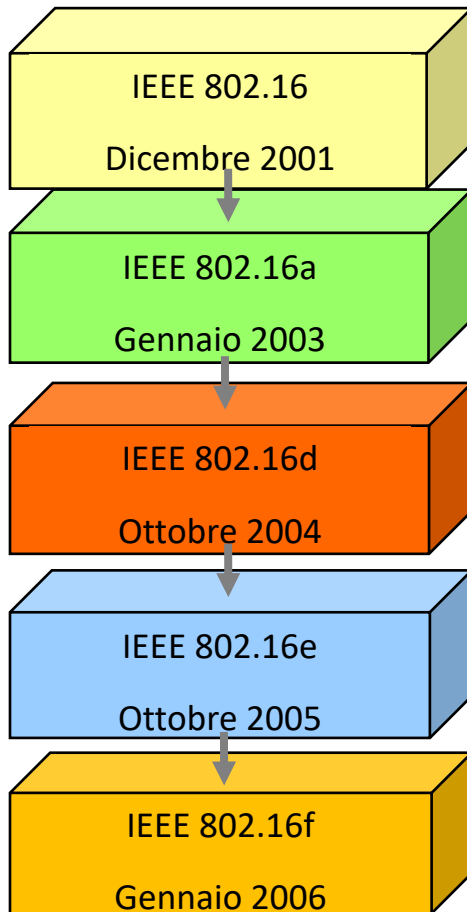
- ✓ Il Gruppo di lavoro numero 16 dell'IEEE 802 si è formato nel 1999 con l'obiettivo di definire e standardizzare l'interfaccia radio tra la "Stazione Base" (Base Station - BS) e la "Stazione Utente" (Subscriber Station - SS) per l'accesso ai sistemi wireless a "banda larga" (Broadband Wireless Access - BWA) con estensione "metropolitana" (Metropolitan Area Network - MAN), fissi, nomadici e mobili, di tipo Point-to-Multipoint (PMP) e Multipoint-to-Multipoint (MPM) o Mesh

# Cosa è WiMAX ?



- ✓ Nel corso degli anni seguenti si sono avuti vari rilasci ed estensioni dello Standard 802.16 a seguito dei miglioramenti tecnici apportati principalmente ai livelli PHY e MAC
- ✓ Nell'Ottobre 2004 è stato approvato l'emendamento **802.16d** per i sistemi fissi e nomadici nelle topologie PMP e MPM
- ✓ Nell'Ottobre 2005 è stato approvato l'emendamento **802.16e** (Mobile WiMAX) che aggiunge componenti per la mobilità
- ✓ Nel gennaio 2006 viene approvato l' **802.16f** che specifica la Management Information Base (MIB) per i livelli MAC e PHY

# Cosa è WiMAX ?



- ✓ Interfaccia aria per l'accesso fisso a banda larga compresa tra 11 e 66GHz
- ✓ Solo *Line-Of-Sight*
- ✓ Solo topologia *Point-to-Multipoint* (PMP)
- ✓ Aggiunta banda compresa tra 2 e 11GHz
- ✓ Aggiunte trasmissioni *Non-Line-Of-Sight*
- ✓ Aggiunta topologia PMP o *Mesh*
  
- ✓ Interfaccia aria per l'accesso "fisso e nomadico" a banda larga PMP e MPM tra 2 e 66GHz (è la sintesi tra l'802.16 e l'802.16a)
  
- ✓ Interfaccia aria per l'accesso "mobile", a banda larga PMP, per le bande licenziate comprese tra 2 e 6GHz anche a velocità veicolari.
  
- ✓ Specifica la Management Information Base (MIB) per i livelli MAC e PHY

- ✓ WiMAX è una tecnologia Broadband Wireless Access che consente l'accesso a reti di telecomunicazioni senza fili a “banda larga” su lunghe distanze
  
- ✓ Tale tecnologia è particolarmente adatta per
  - accesso ad Internet ad alta mobilità (es. servizi VoIP, IPTV)
  - trasmissione di servizi multimediali (es. streaming audio e video)
  - trasmissione di servizi real-time (es. videoconferenza, video-emergenza)

# Perchè WiMAX ?



- ✓ **Flessibilità:** è in grado di supportare sistemi PMP e MPM o MESH
- ✓ **Sicurezza:** implementa diverse tecniche di crittografia e autenticazioni contro intrusioni da parte di terzi
- ✓ **QoS:** supporta 5 tipologie di servizio
- ✓ **Throughput:** trasporta una sufficiente quantità di traffico con un medio livello di efficienza spettrale e tolleranza ai segnali riflessi
- ✓ **Installazione:** non richiede equipaggiamenti particolari
- ✓ **Mobilità:** grazie allo standard 802.16e permette connessioni in ambienti mobili

- ✓ Vantaggi legati all'utilizzo di una rete WiMAX:
  - il sistema fisso e nomadico può rimpiazzare o integrarsi sia con le linee fisse a banda larga di tipo DSL che con quelle wireless LAN di tipo WiFi e si possono raggiungere velocità di trasmissione dati in condivisione fino a 70Mbps
  - In un sistema fisso una tipica BS può riuscire a coprire una vasta area di servizio che può raggiungere fino a 50Km di raggio in condizioni LOS tra la BS e la SS
  - Può sostituirsi alle tecnologie mobili in quanto una tipica BS riesce a coprire una vasta area di servizio che può arrivare fino a 5-7Km di raggio
  - In un sistema "Mobile WiMAX" si possono raggiungere velocità di trasmissione dati fino a 63 Mbps in downlink e 28 Mbps in uplink in condizioni di velocità veicolari della SS fino a 122Km/h

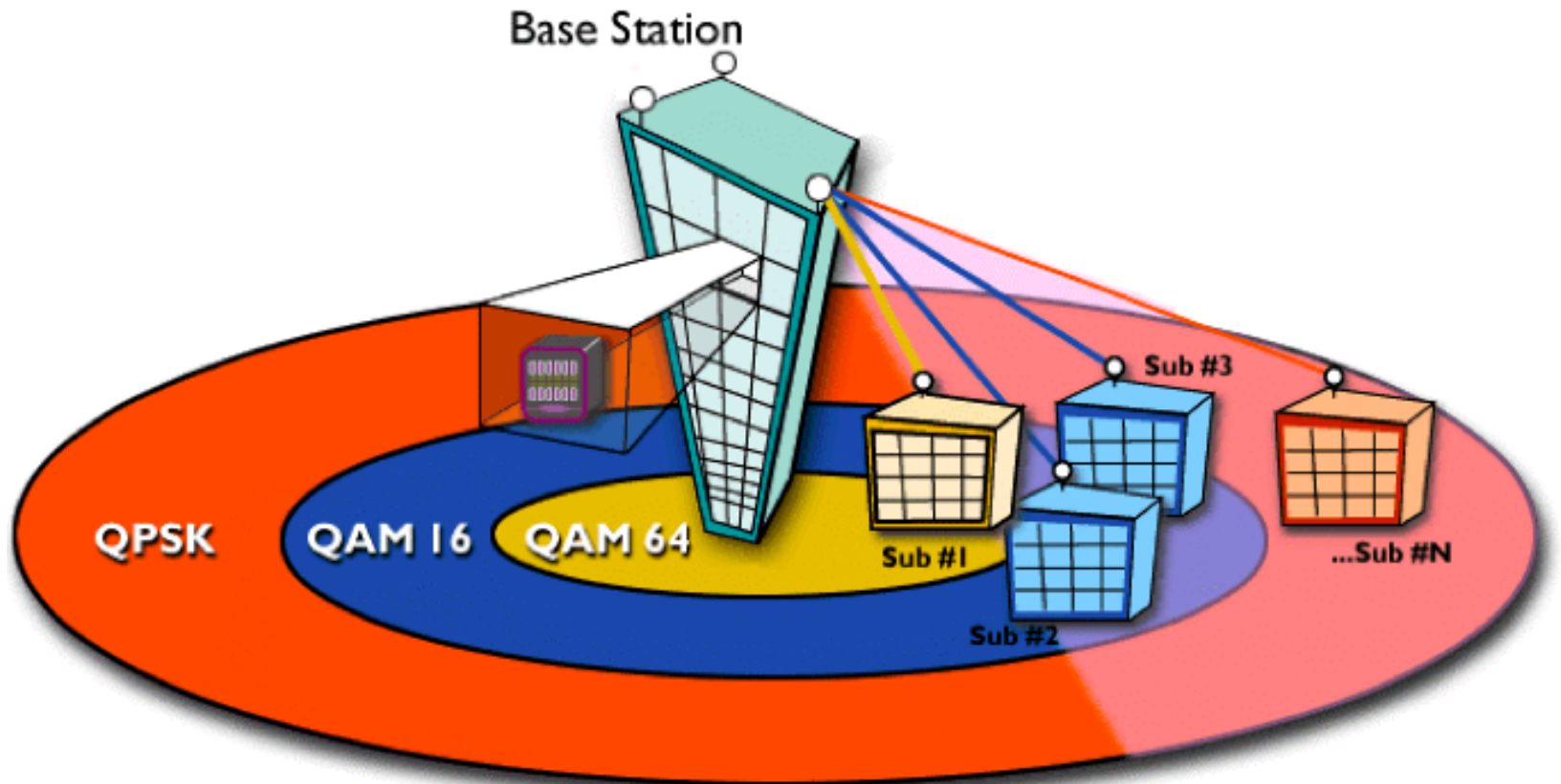
- ✓ Vantaggi legati all'utilizzo di una rete WiMAX:
  - grazie alle sue prestazioni in termini di raggio d'azione (circa 50Km) e di velocità di trasmissione (circa 70Mbps) può servire a banda larga anche utenti che si trovano in aree disagiate e non facilmente raggiungibili con il cavo o con le antenne wireless, o non economicamente convenienti risolvendo in modo veloce ed economico, il problema del **Digital Divide**
  - può fornire un'alternativa ai collegamenti cablati xDSL e WiFi nelle le trasmissioni dell'**ultimo miglio**

- ✓ Lo Standard IEEE 802.16 definisce i livelli MAC e PHY della pila protocollare ISO/OSI definendo l'interfaccia radio tra la BS e la SS
  - Il livello MAC è responsabile di stabilire e mantenere le connessioni tra la BS e la SS occupandosi della gestione degli accessi multipli sul canale di UL, dello scheduling, della sicurezza e della mobilità
  - Il livello PHY è responsabile di realizzare le trasmissioni fisiche dei dati sui canali di DL e UL occupandosi della modulazione del segnale, della gestione delle frequenze e della potenza di trasmissione ecc.

- ✓ Possibilità di trasmissione sia in TDD che in FDD (half e/o full duplex)
- ✓ Bande di canale da 1.75, 20, 25 e 28 MHz
- ✓ Modulazioni QPSK, 16QAM e 64QAM
- ✓ Shape dell'impulso informativo a coseno rialzato con fattore di roll-off pari a 0.25
- ✓ Struttura temporale composta da frame con durata variabile tra 0.5, 1 e 2 ms ma viene raccomandata la trama da 1 ms

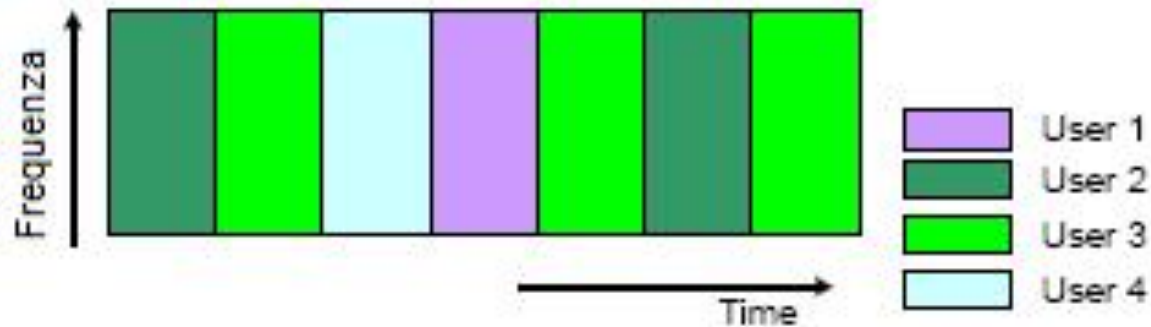
✓ La trama da 1 ms presenta le seguenti caratteristiche

Ch [MHz]	S Rate [Mbaud]	QPSK [Mbps]	16PSK [Mbps]	64PSK [Mbps]	Frame [ms]	N PHY slots
20	16	32	64	96	1	4000
25	22	40	80	120	1	5000
28	22.4	48.4	89.6	134.4	1	5600



## Tecnica d'accesso

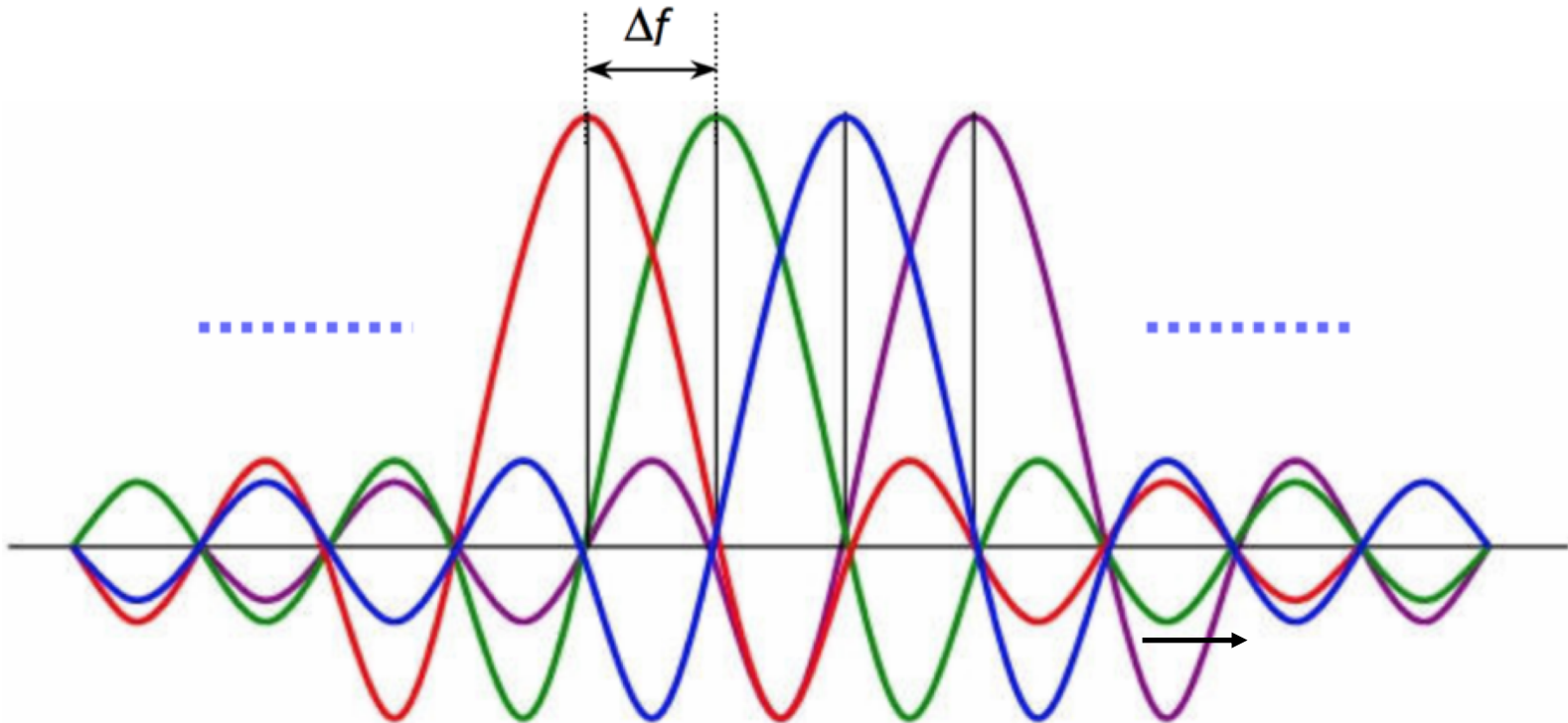
- ✓ Lo Standard IEEE 802.16 definisce due tecniche di trasmissione del segnale
  - a portante singola (single-carrier) in cui viene trasmessa una sola portante modulata con il segnale generato da un unico utente sull'intera banda disponibile all'interno di uno stesso TS



- a multi-portante (multiple-carrier) in cui viene trasmesso un elevato numero di "sottoportanti" diverse ciascuna modulata da un sub-stream in cui viene ripartito il segnale prodotto da un solo utente o i segnali prodotti da più utenti diversi all'interno dello stesso TS

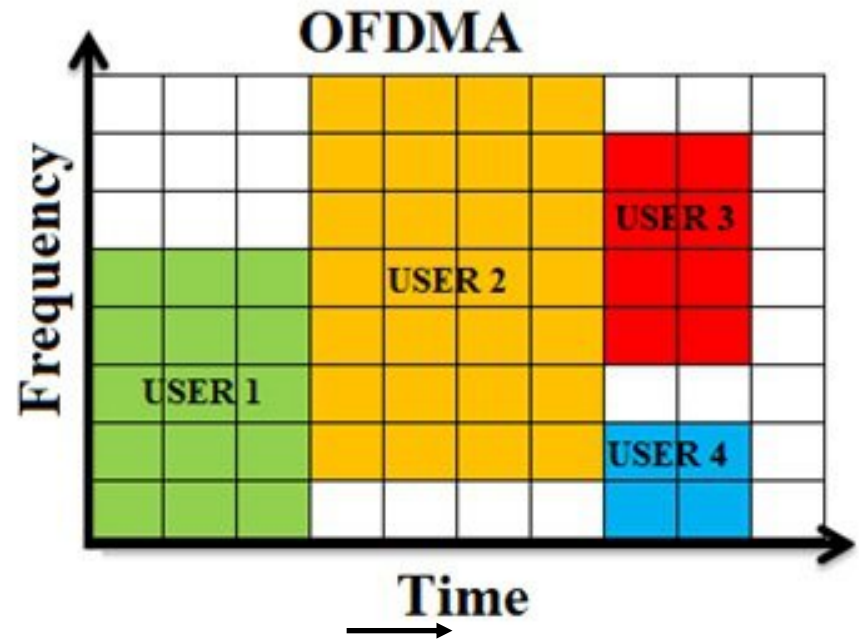
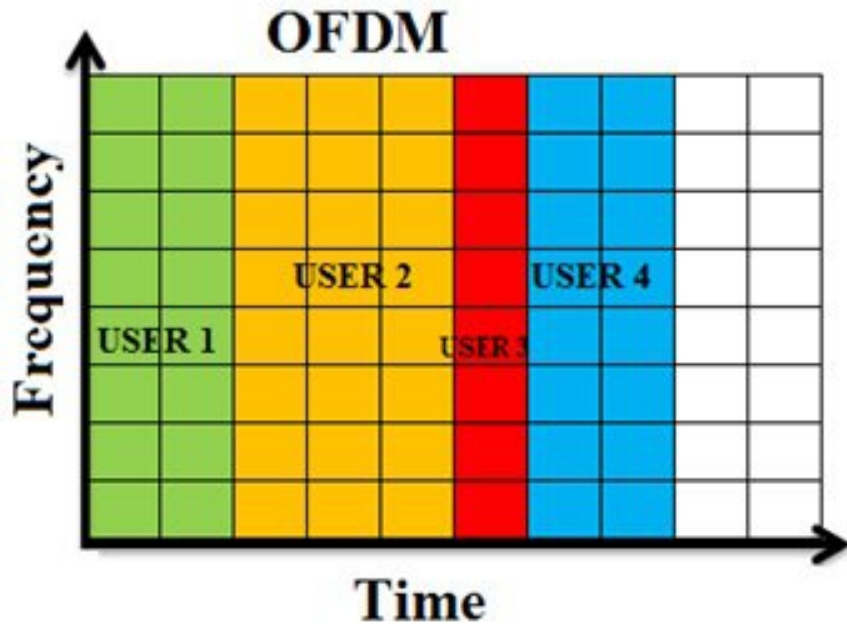
## Tecnica d'accesso

- ✓ Lo Standard IEEE 802.16 definisce tre tecniche di trasmissione di tipo “multiple-carrier”
  - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) in cui le sottoportanti trasmesse sono ortogonali tra loro e vengono modulate dal segnale generato da un solo utente all'interno dello stesso TS
  - OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) in cui le sottoportanti trasmesse possono essere modulate da sub-stream ottenuti da utenti diversi all'interno dello stesso TS
  - S-OFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access) il numero delle sottoportanti modulate e trasmesse è variabile, può “scalare” tra 128, 512, 1024 e 2048 -> Viene utilizzata nel “Mobile WiMAX”, dove le condizioni del canale sono molto variabili a causa della mobilità degli utenti



- ✓ OFDMA impiega più sottoportanti ravvicinate esattamente come OFDM ma queste sono ulteriormente suddivise in gruppi di sottoportanti
- ✓ Le sottoportanti che formano un sub-channel non devono essere necessariamente adiacenti
- ✓ In downlink un sub-channel può essere destinato a differenti ricevitori
- ✓ In uplink, un trasmettitore può essere assegnato a uno o più sottocanali

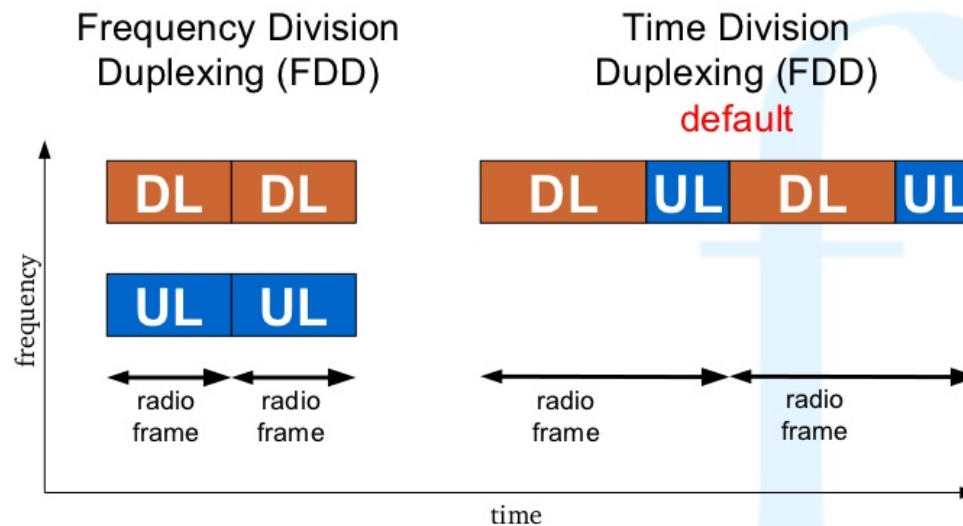
- ✓ La sottocanalizzazione definisce sub-channels che possono essere assegnati a SSs a seconda delle loro condizioni di canale e requisiti dei dati
- ✓ Utilizzando la sottocanalizzazione all'interno della stessa fascia oraria una BS può allocare più potenza di trasmissione per i dispositivi degli utenti con minore SNR e meno per i dispositivi degli utenti con una maggiore SNR
- ✓ La sottocanalizzazione consente inoltre alla BS di destinare potenza superiore ai sotto-canali assegnati a SS indoor con conseguente aumento della copertura all'interno della struttura



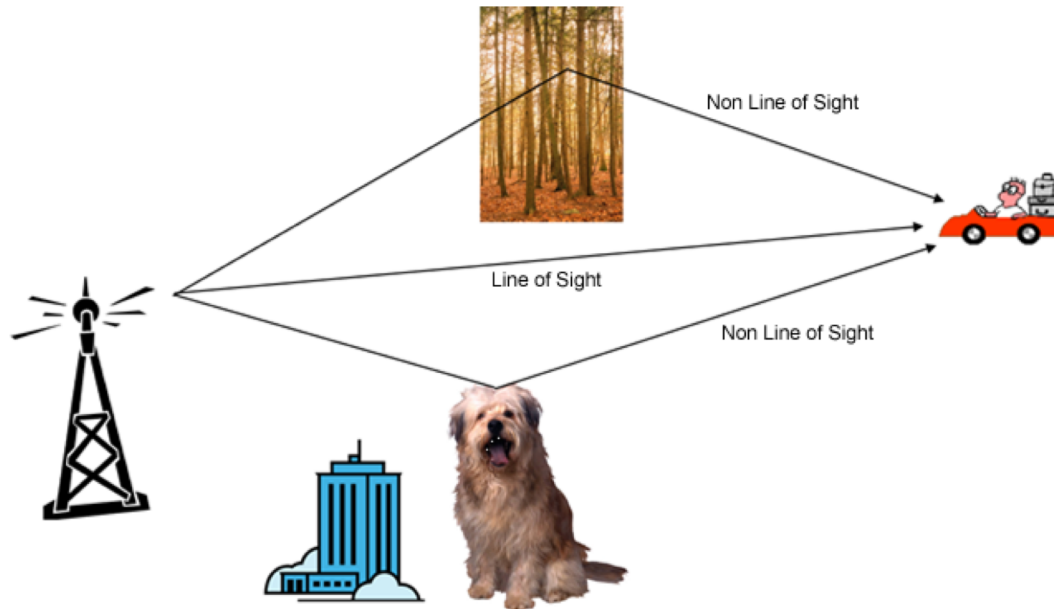
- ✓ Aggiunge scalabilità alla modulazione OFDMA in quanto viene scalata la dimensione della FFT per la larghezza di banda del canale mantenendo costante la spaziatura della frequenza sottoportante tra le larghezze di banda di canale
- ✓ Dimensione minore di FFT è data a canali di larghezza di banda inferiore mentre dimensione maggiore viene assegnata a canali di dimensione maggiore
- ✓ Rendendo la spaziatura tra sottoportanti costante S-OFDMA riduce la complessità del sistema di canali più piccoli e migliora le prestazioni dei canali più larghi

## Tecnica d'accesso

- ✓ Lo standard IEEE 802.16 prevede due modalità di duplexing attraverso i quali la capacità del collegamento radio (la banda di frequenza) viene condivisa tra due canali trasmissivi (DL e UL)
  - la tecnica duplex TDD (Time Division Duplex)
  - la tecnica duplex FDD (Frequency Division Duplex)



- ✓ Le bande di frequenza (licenziate e non) vanno da 2 a 66 GHz
- ✓ Quelle al di sotto degli 11 GHz sono adatte alle trasmissioni NLOS anche se perdono potenza e si degradano piuttosto velocemente a causa della propagazione che soffre dei rimbalzi e riflessioni sugli ostacoli (multipath)



- ✓ Le trasmissioni NLOS permettono lo sviluppo di sistemi indoor richiedendo però la gestione dei fenomeni di diffrazione, rimbalzo ed attenuazione del segnale, a causa degli ostacoli che si trovano sul loro cammino
- ✓ Il recupero del segnale originario è affidato a tecniche di trasmissione di tipo OFDM che utilizzano un numero elevato (e scalabile S-OFDMA) di multiportanti ortogonali

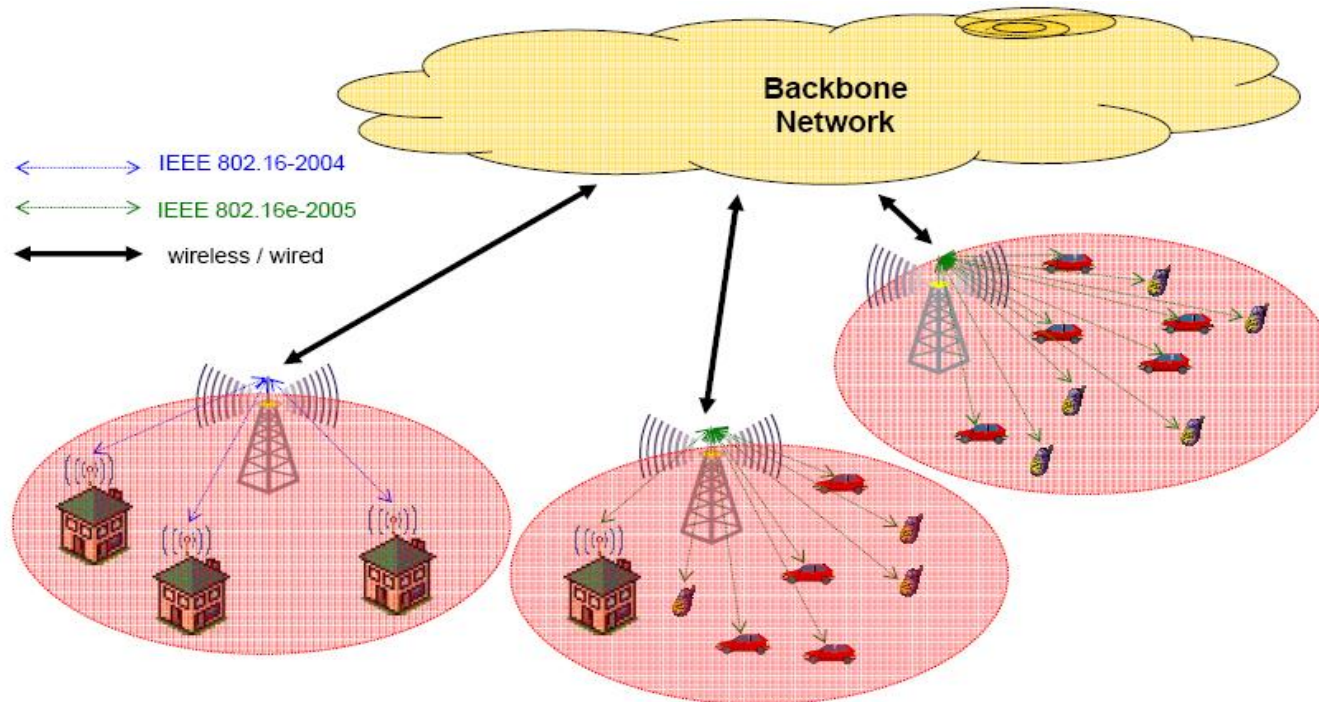
## Tabella riassuntiva

TX Type	Frequenza [GHz]	Modulazione	Sotto portanti	Duplex	Ch BW [MHz]
SC	10 – 66	QPSK 16QAM 64QAM	N/A	TDD FDD	28
SC	2 – 11	BPSK QPSK 16QAM 64QAM 256QAM	N/A	TDD FDD	1.75 – 20
OFDM	2 – 11	QPSK 16QAM 64QAM	256	TDD FDD	1.75 – 20
OFDMA	2 – 11	QPSK 16QAM 64QAM	2048	TDD FDD	1.75 – 20

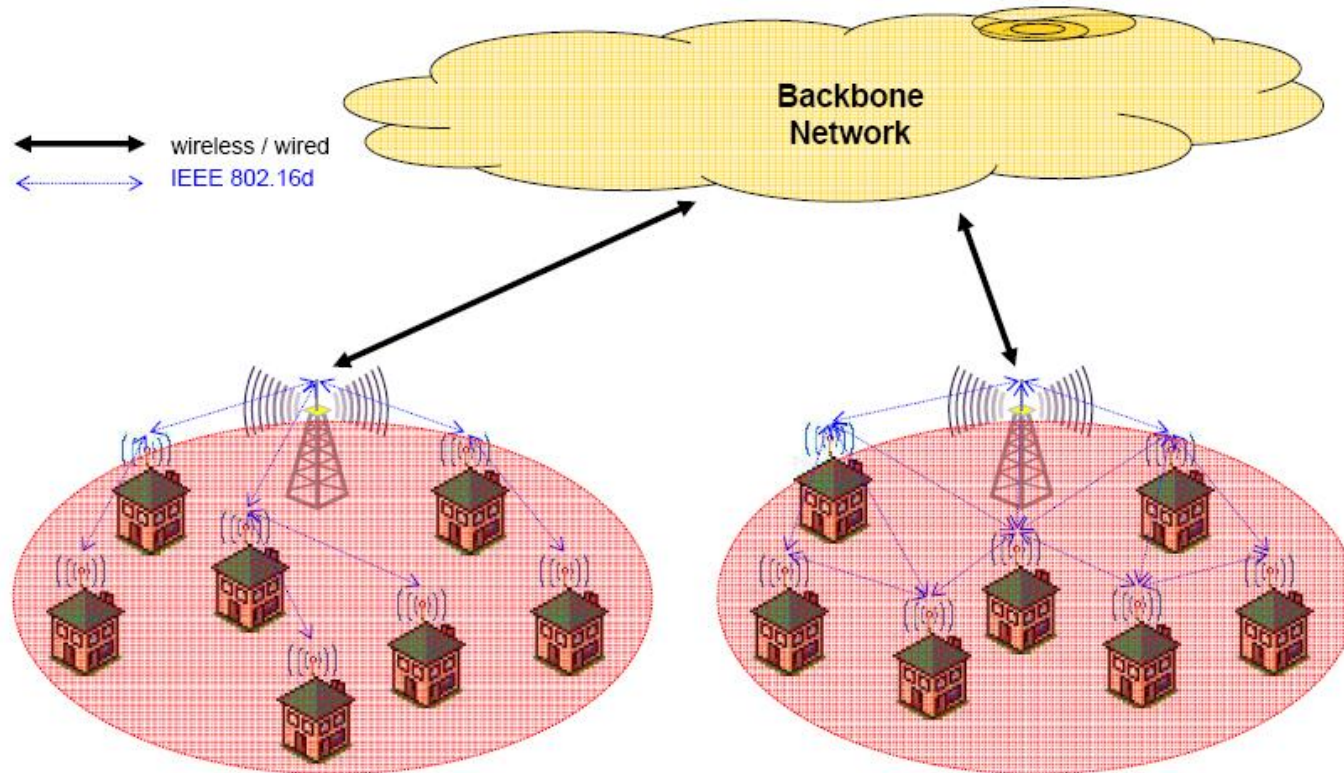
- ✓ Il livello MAC è responsabile di stabilire e mantenere le connessioni tra la BS e la SS occupandosi
  - dell'ingresso delle SS nella rete
  - della gestione degli accessi multipli sul canale di UL
  - dello scheduling dei servizi
  - della sicurezza
  - della mobilità
  
- ✓ Il livello MAC è composto da tre sottolivelli
  - Convergence Sublayer (CS)
  - MAC Common Part Sublayer (MAC CPS)
  - Security Sublayer

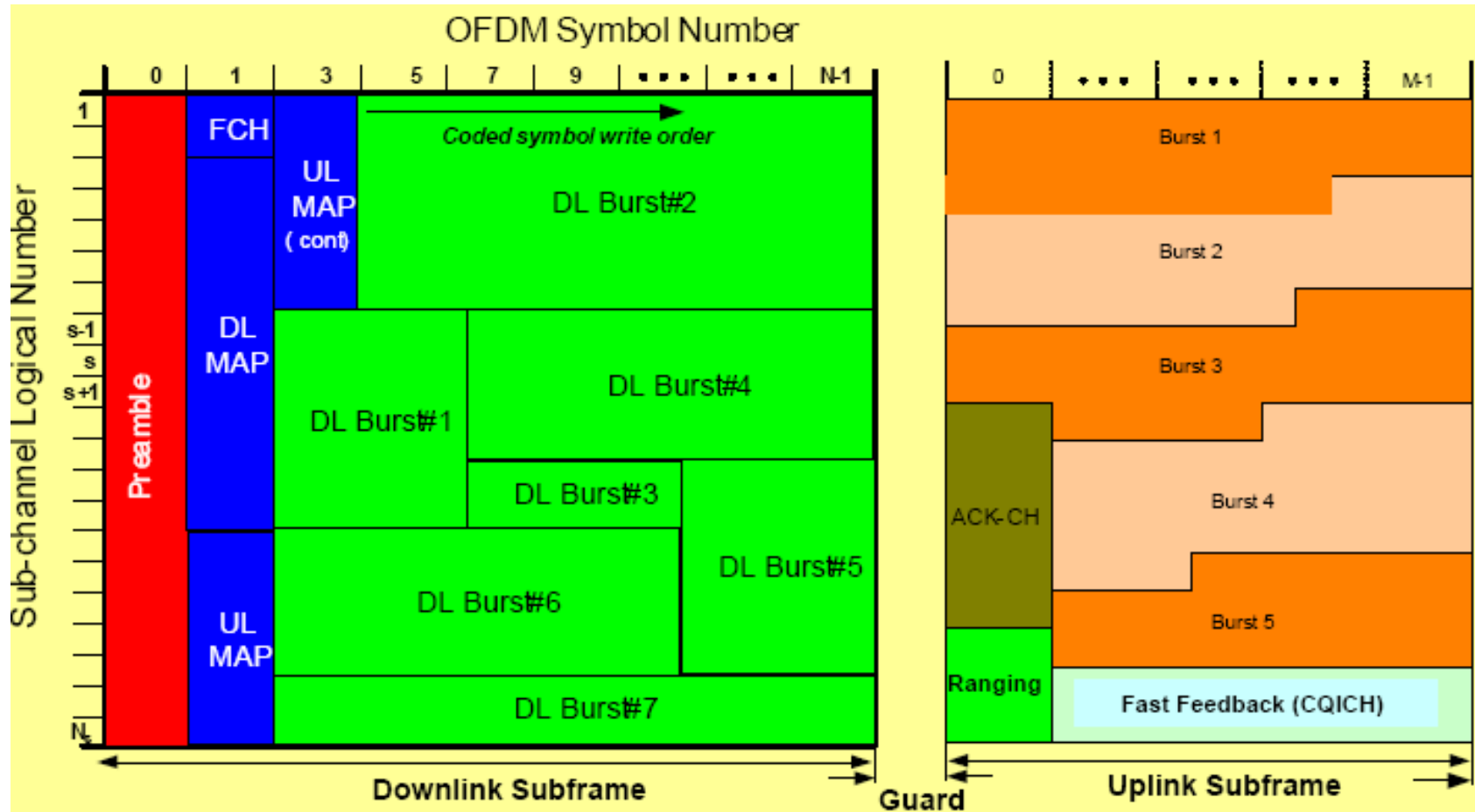
- ✓ Convergence Sublayer (CS) accetta le MAC packet data unit (MPDU) dei livelli superiori attraverso il CS Service Access Point (SAP): classifica e mappa le MSDU sul corretto flusso di servizio e sul CID (Connection Identifier) della corrispondente connessione
- ✓ MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) accetta le MPDU dal livello CS attraverso il MAC SAP: stabilisce e mantiene le connessioni tra la BS e la SS e si occupa di allocare la banda in DL ed UL ai servizi (applicando una politica di scheduling) e della costruzione dei Frame (DL ed UL Sub-frame)
- ✓ Security Sublayer fornisce autenticazione, scambio sicuro delle chiavi, algoritmi crittografici forti dei dati come AES (Advanced Encryption Standard), Triple-DES (Data Encryption Standard) e controllo di integrità

- ✓ Point-to-Multipoint (PMP): tutte le comunicazioni avvengono in modo centralizzato passando per la BS la quale raccoglie tutto il traffico proveniente dalle SS che si trovano sotto il suo raggio d'azione



- ✓ Multipoint-to-Multipoint (MPM) o Mesh: il traffico può essere instradato sulle altre SS fino alla BS





- ✓ Lo Standard IEEE 802.16 fornisce un meccanismo di QoS differenziato a seconda della tipologia di servizio trasmesso dall'utente e delle sue caratteristiche
  
- ✓ Attualmente WiMAX prevede cinque “Classi di Servizio” ciascuna delle quali possiede le proprie caratteristiche da gestire come
  - massimo ritardo tollerato
  - jitter
  - banda minima garantita
  - perdita dei pacchetti
  - throughput
  - fairness

- ✓ **UGS** (Unsolicited Grant Services): traffico real-time con pacchetti di dati a dimensione fissa e trasmessi ad intervalli di tempo costanti (VoIP senza soppressione del silenzio)
- ✓ **rtPS** (real-time Polling Service): traffico real-time con pacchetti di dati a dimensione più o meno variabile e trasmessi ad intervalli più o meno costanti di tempo (Video MPEG)
- ✓ **ertPS** (extended real-time Polling Service): traffico real-time con pacchetti di dimensione variabile e trasmessi ad intervalli di tempo costanti (VoIP con soppressione del silenzio)
- ✓ **nrtPS** (non real-time Polling Service): traffico non real-time “delay tolerant” con pacchetti di dati a dimensione variabile per i quali è richiesta una banda minima garantita (FTP ed il video on-demand)
- ✓ **BE** (Best Effort): traffico per il quale non è richiesto alcun livello minimo di servizio e che riceve la banda disponibile dopo l’allocazione dei servizi con particolari esigenze (web browsing, e-mail)

- ✓ Il meccanismo di QoS richiede che il livello MAC sia **connection-oriented** ovvero ogni volta che una SS richiede di trasmettere un nuovo servizio verso un'altra SS deve prima stabilire una connessione con il livello MAC della BS la quale individua la classe di appartenenza del servizio da trasmettere e ne determina i meccanismi di gestione
- ✓ Una volta stabilita la connessione tra la BS e la SS relativa alla richiesta di trasmissione di un servizio la QoS dello Standard definisce le modalità attraverso cui la SS può fare le sue “richieste di banda” per trasmettere il suo servizio

- ✓ I servizi **UGS** ed **ertPS** utilizzano un meccanismo di “Unicast Grant”, in base al quale la BS indirizza le concessioni di banda al CID (Connection Identifier) della SS in modo periodico
- ✓ I servizi **rtPS**, utilizzano un meccanismo di “Unicast Polling” in base al quale la BS concede ad intervalli periodici alla SS la possibilità di fare richieste di banda per il suo servizio e tali richieste possono essere di tipo “stand-alone” o “piggy-back”
- ✓ i servizi **nrtPS** e **BE** utilizzano un meccanismo di “Multicast o Broadcast Polling” che non è diretto esplicitamente verso un CID di una SS ma verso un CID multicast o broadcast ed una SS appartenente al gruppo può fare la sua richiesta di banda durante ogni intervallo di contesa (bandwidth requests contention slot) allocato per quell’indirizzo

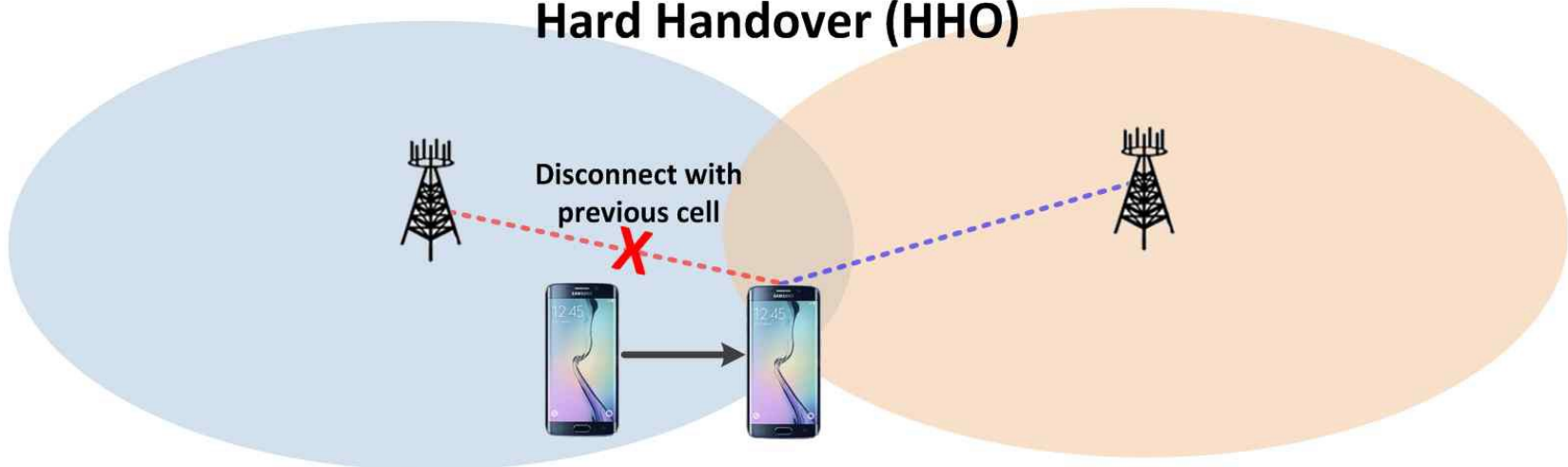
- ✓ Meccanismo attraverso il quale la BS riceve le richieste di trasmissione delle SS verso altre SS determina le frequenze e i TS sul canale di UL in cui ciascuna SS può trasmettere i dati del suo servizio
- ✓ Nelle topologie PMP e Mesh centralizzato tutte le trasmissioni tra le SS devono passare per la BS per cui se una SS vuole trasmettere un servizio (ad es. VoIP) verso un'altra SS deve chiedere alla BS di determinare le frequenze e i TS sul canale di UL in cui potrà trasmettere il suo servizio
- ✓ Lo Standard IEEE 802.16 non definisce le politiche di scheduling in base alle quali le trasmissioni di servizio da parte delle SS devono essere allocate sul canale di UL ovvero non definisce un ordine con cui soddisfare le richieste di trasmissione

- ✓ Lo Standard 802.16e definisce due tipologie di “handover” (o handoff):
  - l’hard handover nel quale la MS (Mobile Station) interrompe la sessione corrente con la BS attuale prima di instaurare un’altra sessione con una nuova BS
  - il soft handover nel quale la MS instaura due o più sessioni con due o più nuove BS contemporaneamente prima di interrompere la sessione corrente con la BS attuale
  
- ✓ Il soft handover è più veloce dell’hard handover poiché la MS non deve effettuare ogni volta la procedura completa di ingresso nella rete relativa alla nuova BS

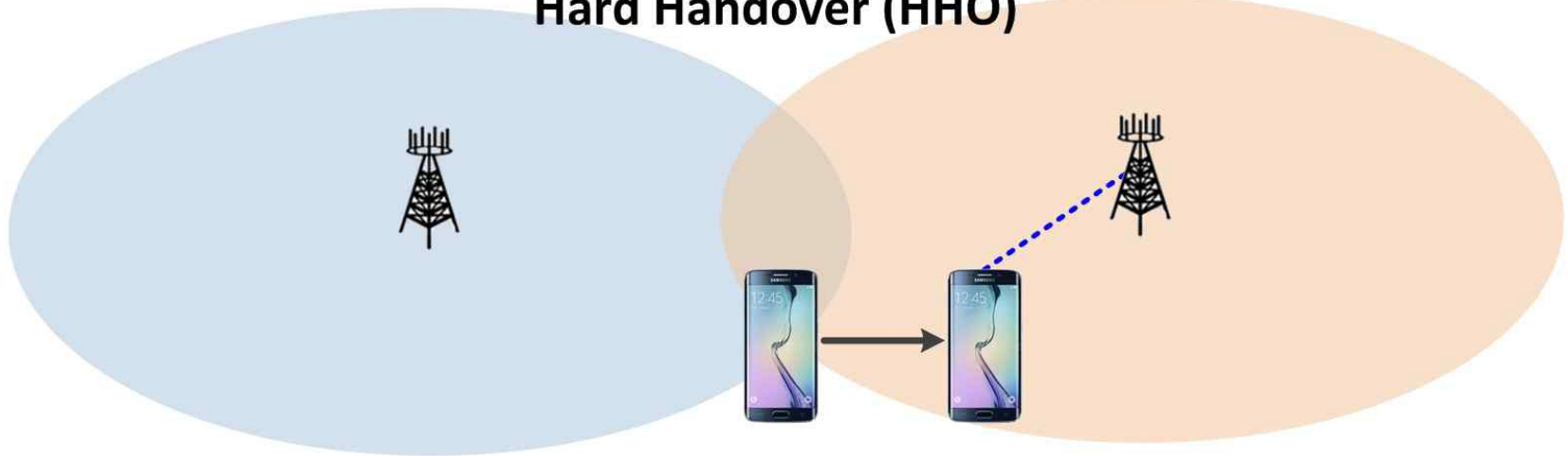
## Hard Handover (HHO)



## Hard Handover (HHO)



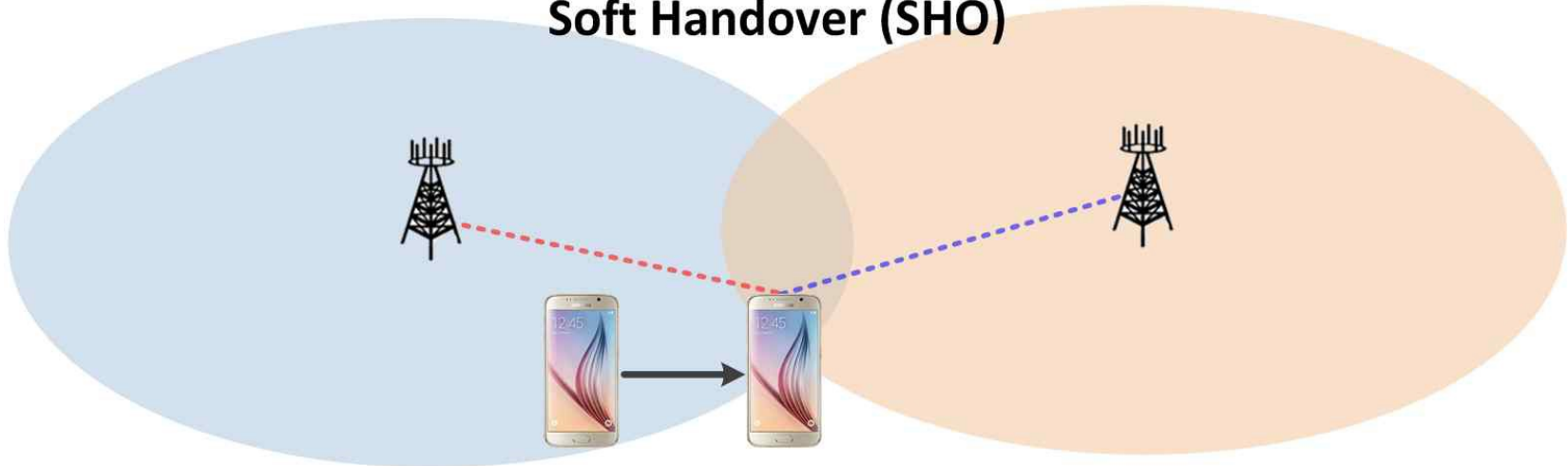
## Hard Handover (HHO)



## Soft Handover (SHO)



## Soft Handover (SHO)



## Soft Handover (SHO)



	802.11	802.16
<b>Raggio</b>	Ottimizzato fino a 100m Topologia Point-to-Point	Ottimizzato fino a 50Km Topologia Point-to-Multipoint
<b>Copertura</b>	Ottimizzato per usi indoor NO supporto per Mesh	Ottimizzato per usi NLOS Supporto per Mesh
<b>Scalabilità</b>	Banda canale 20MHz Il livello MAC supporta decine di utenti	Banda canale scalabile da 1.25 a 20MHz Il livello MAC supporta centinaia di utenti
<b>Performance</b>	Max Data Rate: 54Mbps in 20MHz Solo TDD asimmetrico MAC basato sulle contese NON ci sono garanzie di QoS	Max Data Rate: 100Mbps in 20MHz TDD/FDD simmetrico e asimmetrico MAC basato sulla possibilità per ogni tipologia di servizio di richiedere banda
<b>QoS</b>	NON garantisce contro la latenza per servizi real-time Voce e Video NON supportati livelli di servizio differenziati QoS basata solo sulla priorità	Garantisce contro la latenza per i servizi real-time Voce e Video Supportati livelli di servizio differenziati QoS basata sulla gestione di cinque "Classi di Servizio" differenziate