

Wireless Metropolitan Area Networks (IEEE 802.16)

Ing. Daniele Tarchi

Università degli Studi di Firenze



WiMAX (World Interoperability for Microwave Access)



- WiMAX è una tecnologia broadband, basata sullo standard IEEE802.16, largamente supportata dall'industria delle telecomunicazioni ed informatica. Grazie al WiMAX Forum si avrà interoperabilità dei dispositivi.
- Rispetto ad altre tecnologie, come ADSL, WiMAX permetterà agli operatori e ai service provider di raggiungere milioni di nuovi utenti con costi contenuti fornendo loro broadband ICT.
- Questo è di particolare importanza in aree rurali per le quali il rapporto tra il costo di investimento e il fattore di domanda (quindi il profitto) è fondamentale.
- WiMAX rappresenta uno dei maggiori candidati per la riduzione del "Digital Divide"
- Lo standard IEEE 802.16-2005, approvato nel Dicembre 2005, permette collegamenti wireless sia fissi che in mobilità.

Caratteristiche WiMAX

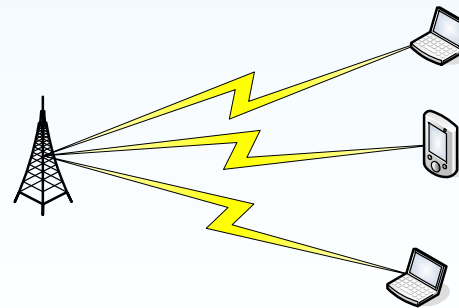
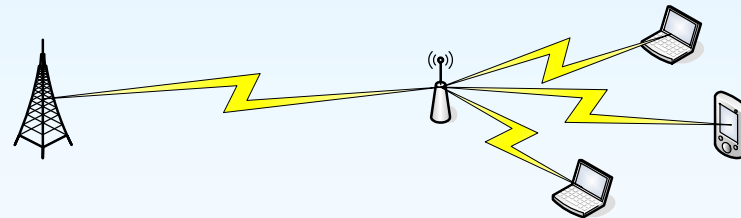
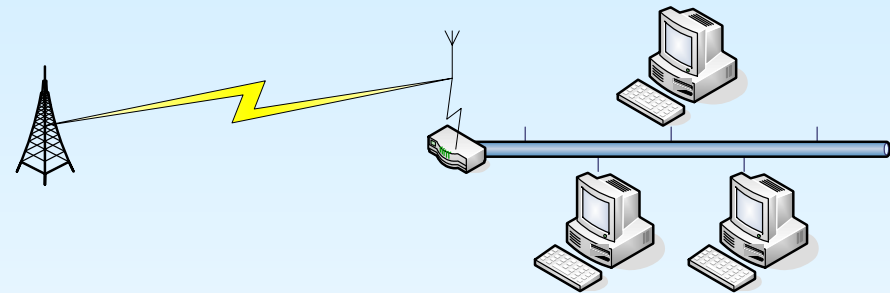
- Facilità di installazione e bassi costi (grazie alla copertura LOS/NLOS)
- Ampie aree di copertura (grazie alla tecnica OFDM): 15Km NLOS, 50Km LOS
- Flessibilità (può essere sviluppato per connessioni: Point-MultiPoint; ultimo miglio ma anche come backhaul verso la rete PSTN e verso punti di accesso Internet).
- Flessibilità di spettro (possibilità di lavoro in differenti range di frequenza: bande licenziate 3.3-3.8 GHz e 2.3-2.7 GHz; bande non licenziate 5.725-5.85 GHz).
- Tecnologia multi-applicazione: usa il protocollo IP per supportare tutti i tipi di servizi multimediali dal VoIP all'accesso Internet, al trasferimento Video ad alta velocità. Grazie agli alti data rate (fino a 70Mb/s) garantiti è in grado di supportare tutti i servizi di ultima generazione ed oltre.
- Nella stessa rete può supportare accessi fissi, nomadici, mobili.

Lo standard IEEE 802.16

- Al momento sono previste due possibili soluzioni in grado di supportare accessi fissi nomadici e mobili:
 - 802.16-2004 WiMAX.
 - Basato sugli standard IEEE802.16-2004 e ETSI HiperMAN. Usa la tecnica OFDM e supporta accessi fissi e nomadici LOS e NLOS.
 - I primi profili sono nelle bande di frequenza a 3.5GHz e 5.8GHz. I primi dispositivi certificati sono già disponibili.
 - 802.16e WiMAX.
 - Basato sullo standard IEEE802.16e è ottimizzato per comunicazioni mobili con supporto per l'handoff e il roaming. Fornisce anche una migliore copertura indoor.
 - Usa la tecnica Scalable OFDMA (SOFDMA) ovvero un OFDMA in cui i sottocanali sono dimensionati in base alla banda a disposizione.
 - Il WiMAX forum non ha ancora dichiarato quali bande di frequenza utilizzerà ma 2.3 e 2.5 GHz sono i principali candidati anche se altre frequenze potranno essere aggiunte in base alla richiesta.
- Per WiMAX 802.16-2004 è previsto uno sviluppo in tempi immediati, grazie anche alla minore complessità. Tuttavia gli operatori che svilupperanno questa versione di WiMAX possono prevedere differenti strategie di migrazione per passare da 802.16-2004 a 802.16e (overlay networks, dual-mode user devices, software-upgradeable base stations, dual-mode base stations).

WMAN - WiMax

- Standard IEEE 802.16
- Estensione del concetto di WLAN ad aree cittadine
- Tre tipi di collegamento:
 - Roof-top antennas
 - AP dual-mode WiFi-WiMax
 - Collegamento diretto
- Throughput massimo di 70Mb/s e raggio di copertura di circa 50Km



Broadband Access

- Molte compagnie stanno pensando a WiMAX per la connettività nell'ultimo miglio ad alto rate. Questo potrebbe comportare una diminuzione dei costi sia per utenze residenziali che business.
- In aree senza un pre-esistente cavo in fibra o la rete telefonica WiMAX potrebbe diventare una valida alternativa per l'accesso a banda larga che altrimenti sarebbe economicamente svantaggioso; prima di WiMAX infatti gli operatori sono ricorsi a soluzioni proprietarie.
- Limitazioni
 - Comunemente si dice che WiMAX permetterà di avere 70 Mbit/s su una distanza di circa 110 Km. Questo è vero solo in parte perché i due fatti non possono avvenire contemporaneamente. Analogamente alle connessioni DSL non è possibile avere sia la banda larga che la copertura a lunga distanza. Oltretutto si deve considerare che tale banda è da considerarsi condivisa fra i vari utenti attivi all'interno di un singolo settore.

Applicazioni mobili

- Alcune compagnie di telefonia cellulare stanno valutando WiMAX come un sistema per aumentare la banda a disposizione per applicazioni multimediali.
- In linea con queste possibili applicazioni WiMAX può già servire da backhaul per traffico internet o cellulare da aree remote alla backbone di internet
- Sebbene i costi di WiMAX siano non bassi per applicazioni remote potrebbero essere una possibile alternativa anche per ridurre i costi delle connessioni T1.
- Soprattutto per i paesi in via di sviluppo i costi di installazione di una stazione WiMAX su un preesistente sito cellulare o anche come hub a se stante possono essere notevolmente inferiori di una soluzione wired.
- Aree a bassa densità abitativa e con terreno piatto sono particolarmente appetibili. Nelle nazioni in cui la soluzione wired non è stata considerata per alti costi, WiMAX può sicuramente rappresentare una valida alternativa.

Informazioni tecniche

- WiMAX è un termine coniato per definire lo standard e le operazioni di interoperabilità delle reti IEEE 802.16 in maniera del tutto simile a Wi-Fi che contraddistingue le operazioni di interoperabilità per reti IEEE 802.11. WiMAX è però molto diverso da Wi-Fi dal punto di vista tecnico.
- MAC layer
 - Nel Wi-Fi il livello MAC utilizza un accesso a contesa - tutte le subscriber stations che vogliono inviare dati verso un AP competono per le risorse in maniera casuale. Questo potrebbe comportare l'effetto cattura (utenti vicini coprono il segnale di utenti lontani). Questo impedisce un utilizzo efficace per servizi che chiedono un mantenimento della QoS come VoIP o IPTV nel caso di molti utenti presenti nella rete.
 - Al contrario il MAC di 802.16 è basato su un algoritmo di scheduling per cui le subscriber stations competono solo per l'ingresso alla rete, dopodiché uno slot di accesso viene allocato staticamente alle varie stazioni. La porzione di banda assegnata alle varie stazioni può variare anche in base al carico di traffico di ognuna, ma permette di gestire in maniera molto più efficiente situazioni ad alto carico pur mantenendo garantiti certi parametri di QoS.
- Physical layer
 - Lo standard WiMAX originario specificava l'utilizzo nel range da 10 a 66 GHz. La sottoversione 802.16a, aggiornata poi nel 2004 alla 802.16-2004 (nota anche come 802.16d), ha aggiunto specifiche per il range da 2 a 11 GHz. 802.16d (noto come WiMAX fisso) è stato aggiornato alla versione 802.16e nel 2005 (noto come WiMAX mobile) e usa una versione scalabile di OFDM, opposta alla versione con numero di portanti fissa usata in 802.16d.
 - Questo porta molti vantaggi in termini di copertura, installazione, consumo di potenza, riutilizzo delle frequenze e efficienza di banda. 802.16e aggiunge inoltre il supporto per la mobilità piena.
 - L'interesse maggiore andrà proprio negli standard 802.16d e .16e, poiché le frequenze più basse soffrono meno dell'attenuazione del segnale e quindi permettono una maggior penetrazione negli edifici.

Informazioni tecniche (Cont'd)

- Vantaggi su Wi-Fi
 - Le specifiche WiMAX prevedono una banda maggiore, una copertura maggiore e migliori algoritmi di encryption.
 - Permette la connettività senza una line of sight diretta in circostanze favorevoli. La propagazione NLOS (non-line-of-sight) richiede le versioni 16d o 16e, per le frequenze minori.
- Allocazione delle frequenze
 - Le specifiche 802.16 si applicano ad una gran varietà di frequenze dello spazio RF. Comunque, specifiche non equivale a dire permesso di usarle. Non c'è uno spettro riconosciuto a livello globale per WiMAX. Negli Stati Uniti la più grande porzione è nell'intorno dei 2.5 GHz. Nel resto del mondo le bande che con maggior probabilità saranno usate sono 3.5 GHz, 2.3/2.5 GHz, o 5 GHz. In aggiunta molte compagnie hanno annunciato di voler utilizzare WiMAX nelle bande 1.7/2.1 GHz, recentemente assegnate dall'FCC ai cosiddetti "Advanced Wireless Services" (AWS).
 - Ci sono alcune prospettive che le frequenze attualmente occupate dalla televisione analogica possano essere assegnate ai servizi WiMAX, anche se prima è necessario completare il passaggio al digitale. In ogni caso tale porzione dello spettro è di interesse anche di altri sistemi.
 - Inoltre è possibile che nella pratica verranno implementate diverse varianti dello standard, dipendentemente dai regolamenti della singola nazione e su quali porzioni di spettro questa allocherà al servizio. Gli apparati WiMAX pertanto non potrebbero avere quella portabilità universale che adesso caratterizza gli apparati Wi-Fi.
 - Anche la larghezza di banda potrebbe variare, con allocazioni tipiche di 5 MHz o 7 MHz.

Standards

- La versione più recente di 802.16 è la .16e-2005, approvata nel dicembre 2005. Ha seguito la .16-2004, che ha rimpiazzato la .16-2001, la .16c-2002, e la .16a-2003.
- In particolare la versione IEEE 802.16-2004 (802.16d) è orientata ai sistemi fissi, mentre la versione 802.16e aggiunge la mobilità.
- IEEE 802.16e
 - IEEE 802.16e-2005 (noto anche come Mobile WiMAX) fornisce un miglioramento agli schemi di modulazione originariamente previsti per il WiMAX; in particolare ha migliorato lo schema OFDMA per un miglior utilizzo in contesti mobili.
 - Dall'altra parte, 802.16-2004 offre il vantaggio di avere prodotti commerciali disponibili e implementazioni per accesso fisso. WiMAX fisso è molto popolare per installazioni in aree di sviluppo per le alte prestazioni.
 - SOFDMA and OFDMA non sono compatibili, così molti costruttori dovranno aggiornare o rimpiazzare i prodotti già sviluppati.

Standards

- **HIPERMAN**
 - E' l'equivalente di 802.16 in Europa. Il WiMAX Forum sta lavorando affinché i due standard possano interoperare in maniera trasparente.
- **WiBro**
 - In Corea del Sud è stato sviluppato un proprio standard da Samsung ed enti di ricerca coreani. Nel 2004 Intel e LG Electronics hanno deciso di collaborare allo sviluppo di WiBro rendendolo compatibile con WiMAX.
 - WiBro ha il supporto del governo coreano ed era pensato come un'alternativa nazionale ai sistemi cellulari 3.5G o 4G con potenzialità di espansione in tutta l'area asiatica e oltre.
 - In seguito però è stato deciso di armonizzare WiBro con il percorso di standardizzazione di WiMAX cosicché WiBro è adesso uno dei possibili profili d'uso di WiMAX. Al di là di tutto resta comunque un'importantissimo 'test case' prestazionale per la futura introduzione di WiMAX.

IEEE 802.16 Std.

L'IEEE 802.16 è lo standard progettato per l'impiego in reti WMAN



WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) è il consorzio commerciale che si interessa della promozione e della certificazione dei prodotti basati su tecnologie BWA

Progetto iniziale su banda
10 – 66 GHz



Estensione a 2 – 11 GHz con introduzione
di frequenze licence - exempt

**Lo standard IEEE 802.16 definisce le specifiche
PHY e MAC dell'interfaccia aerea per
sistemi fissi di tipo BWA**



Aggiunta di tecniche OFDM
ed OFDMA



Estensione a collegamenti NLOS e
configurazioni *mesh* sia in banda
proprietaria che ISM. Basi per il progetto
di una versione in mobilità (802.16e)

Principali Caratteristiche PHY

- I profili dello standard IEEE802.16 presi in considerazione del WIMAX forum sono tutti basati su OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) per supportare comunicazioni NLoS:
 - IEEE802.16-2004 → OFDM con FFT-256 e TDMA
 - IEEE802.16e → SOFDMA
- Sono previste modalità TDD e FDD;
- Modulazioni Adattative: QPSK, 16QAM, 64QAM

Table 2. WiMAX Forum certification profiles

Frequency (MHz)	Duplexing	Channels (MHz)	IEEE standard
3400-3600	TDD	3.5	802.16-2004
3400-3600	FDD	3.5	802.16-2004
3400-3600	TDD	7	802.16-2004
3400-3600	FDD	7	802.16-2004
5725-5850	TDD	10	802.16-2004

IEEE802.16-2004 (per 802.16e non sono ancora stati definiti i profili)

Specifiche PHY

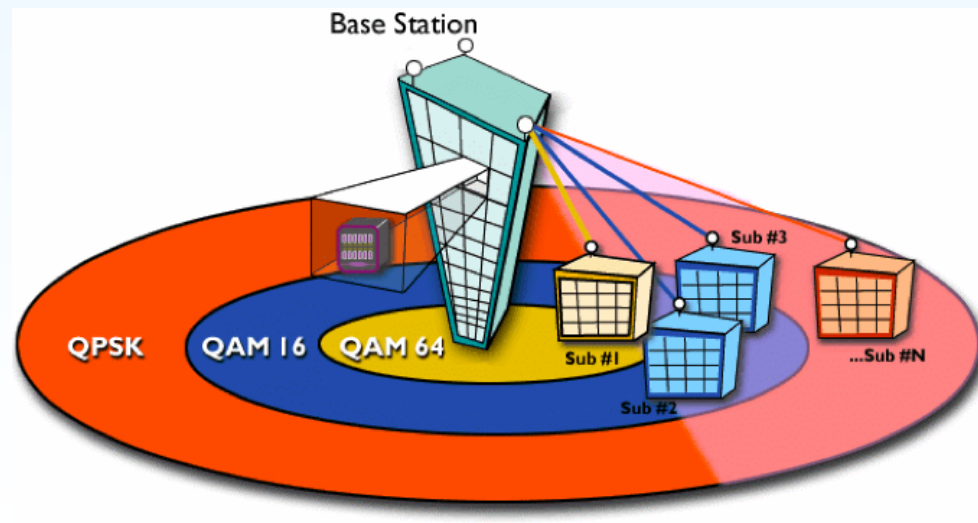
- Possibilità di trasmissione sia in TDD che in FDD (half e/o full duplex)
- Bande di canale da 20, 25 e 28 MHz
- Modulazioni QPSK, 16QAM e 64QAM
- Shape dell'impulso informativo a coseno rialzato con fattore di roll-off pari a 0.25
- Struttura temporale composta da frame con durata variabile tra 0.5,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

Channel Size [MHz]	Symbol Rate [MBaud]	Bitrate QPSK [Mbps]	Bitrate 16QAM [Mbps]	Bitrate 64QAM [Mbps]	Frame Duration [ms]	Number of Physical Slot (PS)*
20	16	32	64	96	1	4000
25	20	40	80	120	1	5000
28	22.4	48.4	89.6	134.4	1	5600

* La lunghezza in byte di ogni PS dipende da modulazione e canale scelti
Corso di Reti di Telecomunicazioni

Livello Fisico

- 10-66 GHz;
 - modulazione SC
 - TDD e FDD
 - canali da 20, 25, 28 MHz
- 2-11 GHz;
 - modulazione SC, OFDM, OFDMA
 - TDD e FDD
 - canali da 1,75 a 20 MHz



Modalità PHY

	SC	SCa	OFDM	OFDMA
Frequency	10-66 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
No. of subcarriers	N/A	N/A	256	2048
Duplexing	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD
Channel Bandwidth	28 MHz	1,75-20 MHz	1,75-20 MHz	1,75-20 MHz

Specifiche MAC

Il livello MAC è suddiviso in tre sottolivelli:

✓ Convergence Sublayer: gestione interfaccia ATM ed IP

✓ Common Part Sublayer: costruzione pacchetti informativi, gestione della QoS e interfaccia con PHY

■ Costruzione e trasmissione delle PDU

✓ Privacy Sublayer: gestione procedure di crittatura ed autenticazione

■ Supporto PHY

Frammentazione

Concatenamento

TDD o FDD (packet time duplex)

Definizione della struttura del frame

banda garantita senza richiesta

Definizione delle procedure di ingresso

richiesta di banda unicast e possibilità

di banda minima garantita. Divieto di

contesa

richieste sia unicast che a contesa.

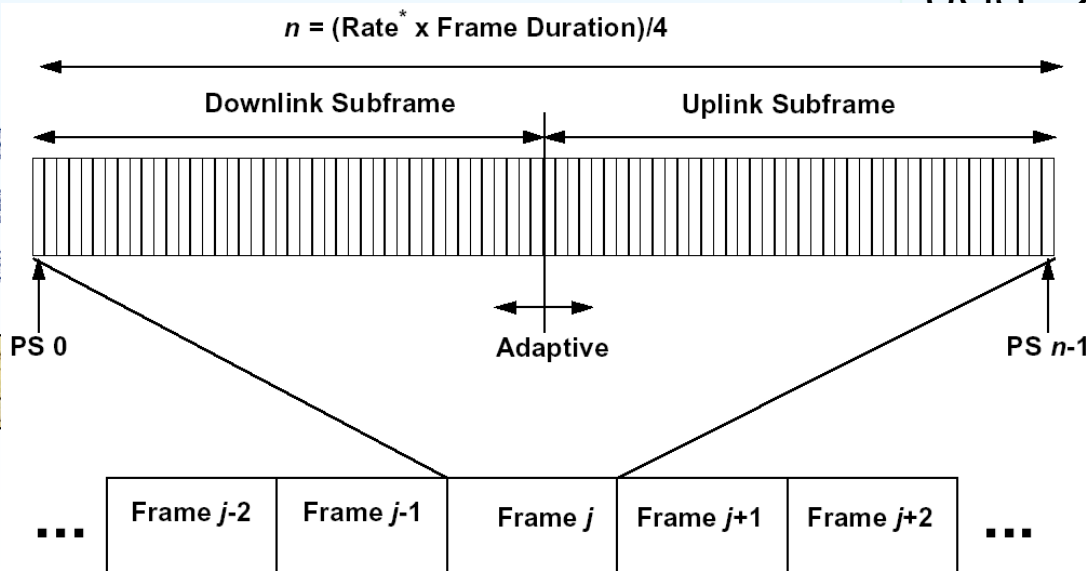
Banda minima garantita

richieste a contesa e nessuna

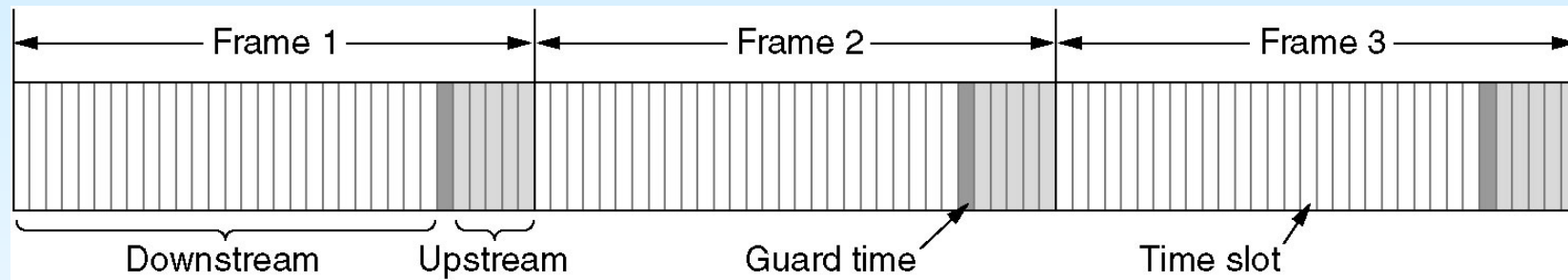
garanzia sulle risorse di trasmissione

allocate

TIGS →



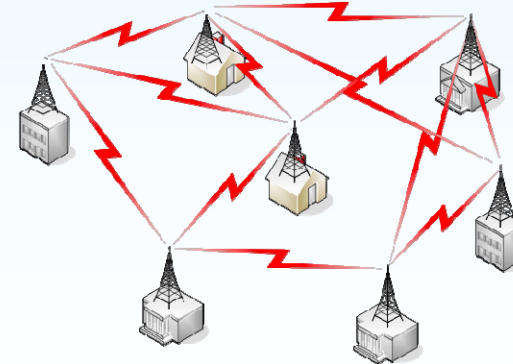
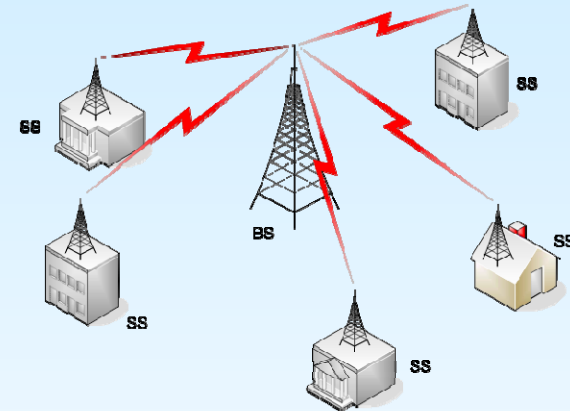
Il frame 802.16



- E' possibile comunicare in Full Duplex
- Sono previste quattro classi di traffico:
 - Bit-Rate costante
 - Bit-Rate variabile in tempo reale
 - Bit-Rate variabile non in tempo reale
 - Best Effort

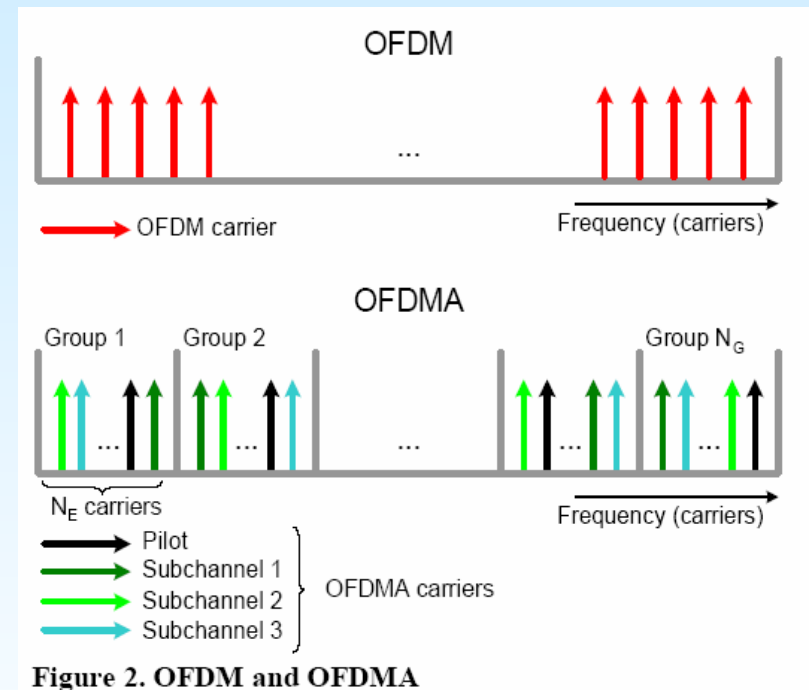
Caratteristiche MAC

- Topologia: PmP, Mesh
- Connection Oriented
- Supporto per ambienti utente complicati:
 - centinaia di utenti per canale
 - differenti tipi di traffico (continuo, burst)
 - uso efficiente della banda
- Indipendente dai protocolli (ATM, IP, Ethernet)
- Gestione della QoS efficiente e flessibile:
 - operazioni contention-based e contention-less
 - CBR, rt-VBR, nrt-VBR, BE (e sottoclassi)
- Supporto di differenti livelli fisici (PHY)
- Sicurezza e Privacy



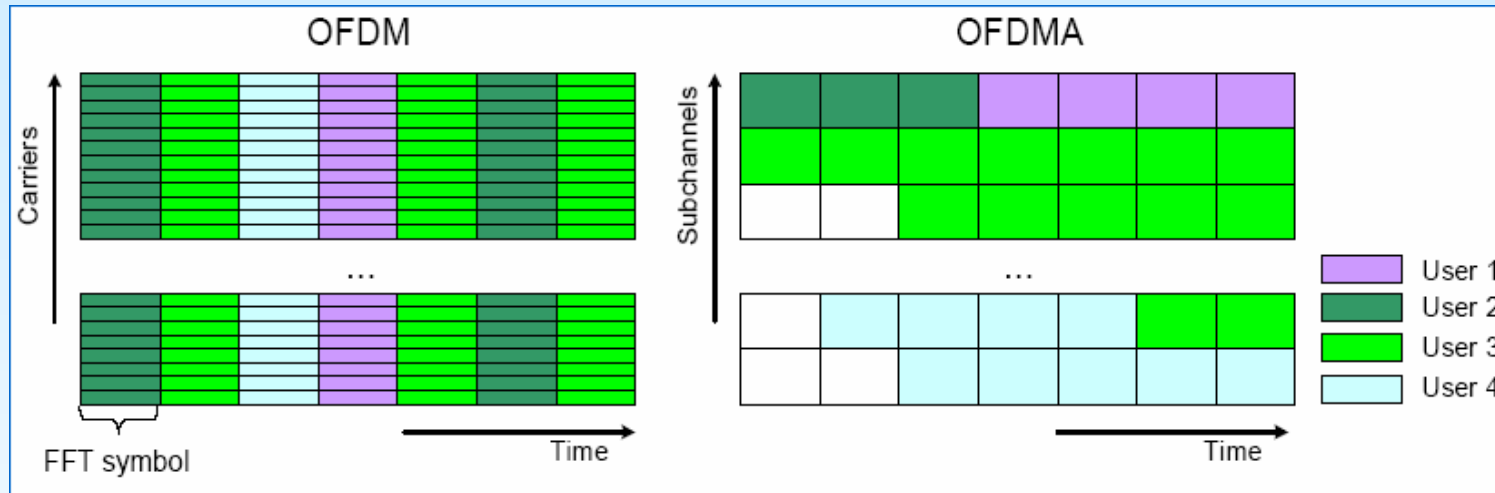
OFDM e OFDMA

- Nell'OFDM tutte le portanti sono trasmesse in parallelo con la stessa ampiezza.
- Nell'OFDMA le portanti sono divise in N_G sottogruppi ciascuno con N_E sottoportanti e in N_E sotto canali.
- Codifica, modulazione e ampiezza possono essere impostate separatamente per ogni sottocanale sulla base delle condizioni di propagazione con un'ottimizzazione delle risorse di rete.



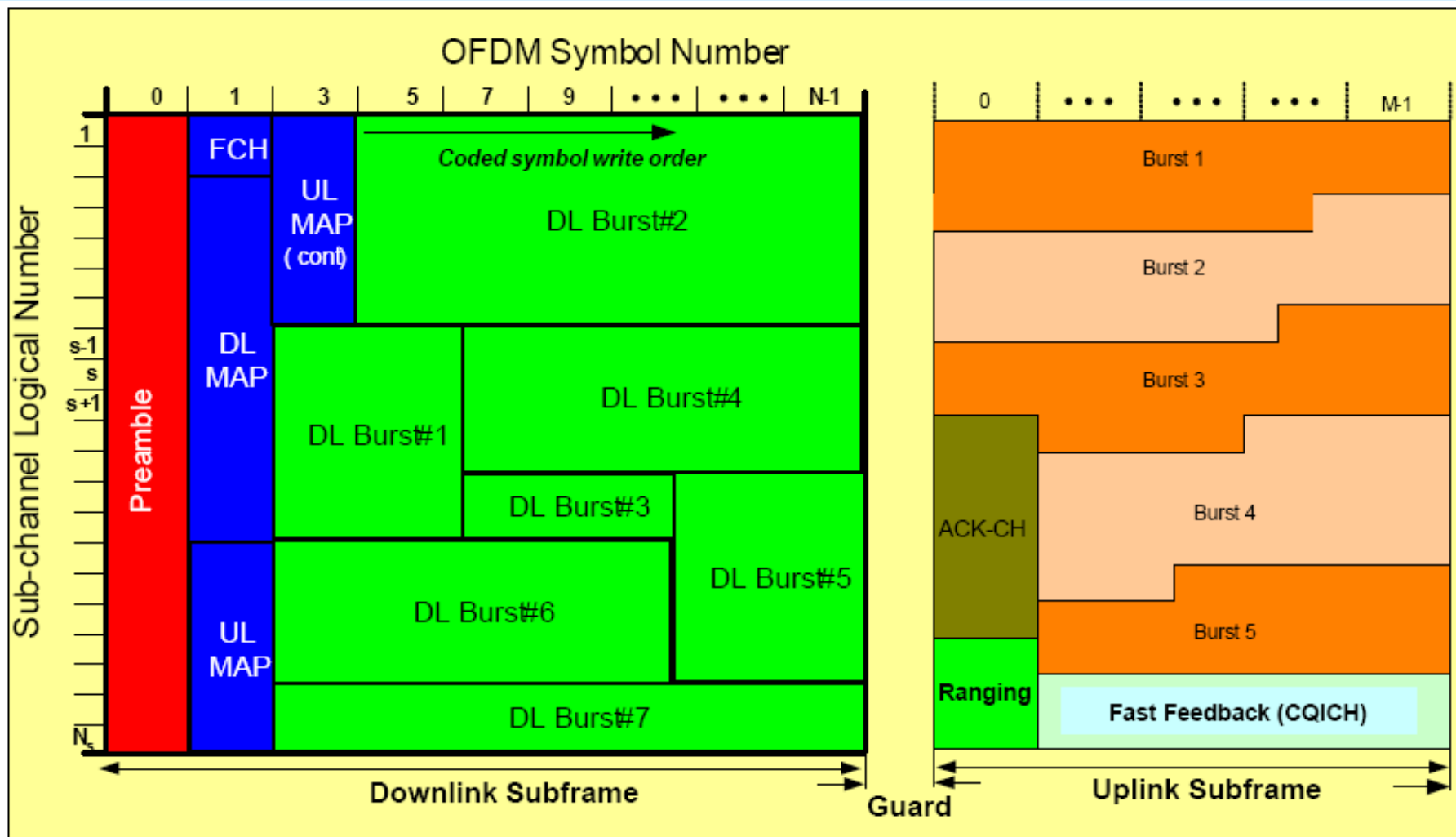
- OFDM è più efficiente per comunicazioni fisse con antenne direttive.
- OFDMA permette una maggiore flessibilità nella gestione delle risorse.
- SOFDMA: maggiore flessibilità: scala la dimensione della FFT in base alla larghezza di banda per mantenere costante la spaziatura tra le portanti.

Accesso Multiplo



- Nell'OFDM l'accesso multiplo avviene con un TDMA
- Nell'OFDMA la sottocanalizzazione permette a più utenti di trasmettere contemporaneamente.

WiMAX Frame



Aspetti Cross-layer

- La necessità di aumentare le prestazioni nelle attuali reti ha portato a rivedere profondamente il concetto di divisione dei protocolli in strati.
- Tale aspetto è ancor più marcato nelle reti wireless in quanto dotato delle seguenti caratteristiche:
 - canale radio fortemente tempo-variabile
 - mobilità dei nodi
 - problematiche di consumo energetico

Gestione delle risorse

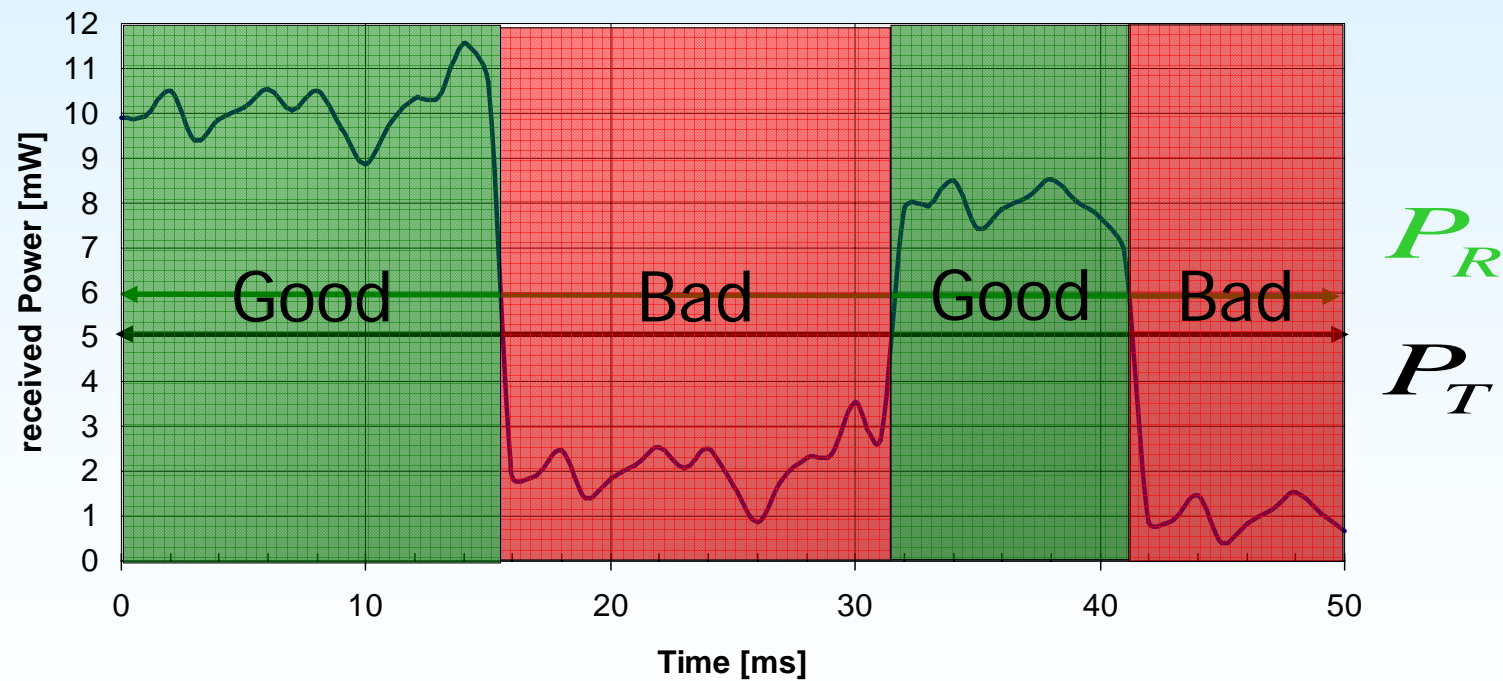
- La tecnica SOFDMA permette di allocare un numero diverso di sottoportanti agli utenti in base alle risorse a disposizione e in base allo stato del canale.
- L'operatore ha maggiore flessibilità nella gestione della banda, della potenza di trasmissione con un uso efficiente delle risorse:
 - Adaptive Modulation and Coding
 - Allocazione adattativa delle portanti
 - Power control

Variazione dello schema di modulazione e codifica

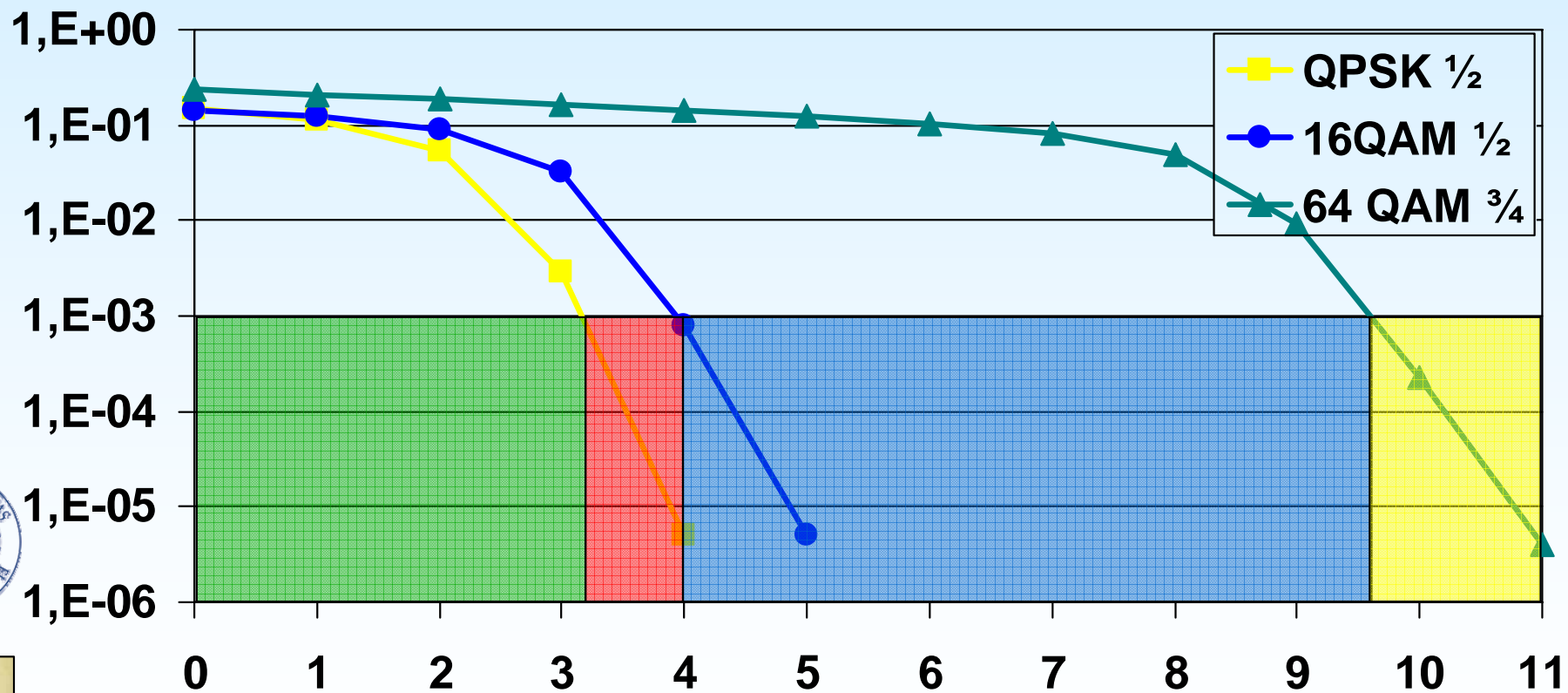
- Le cosiddette tecniche di Adaptive Modulation and Coding (AMC) sono state proposte affinché possa essere scelto lo schema più efficace in base allo stato del canale.
- Scelta dei livelli di Modulazione Codifica che ottimizzano il servizio richiesto.

Modello di Canale Fisico

Channel output



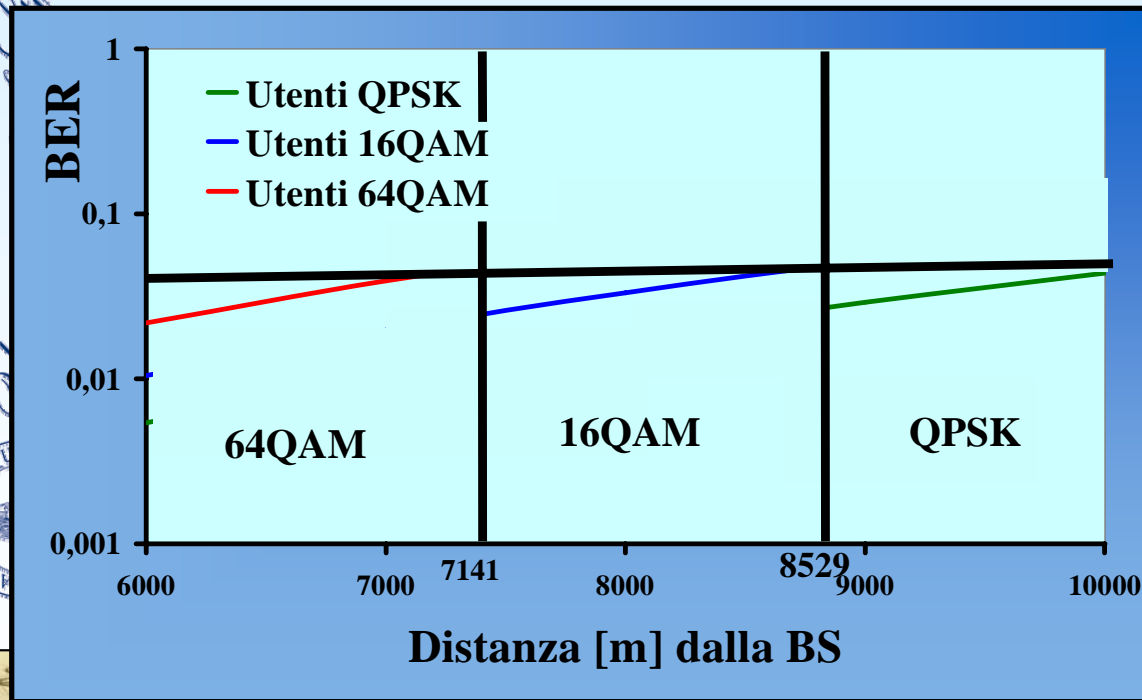
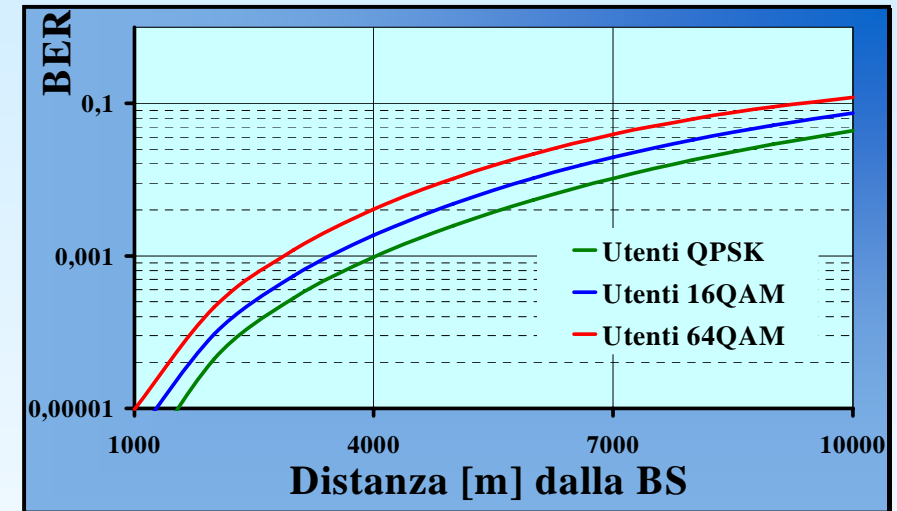
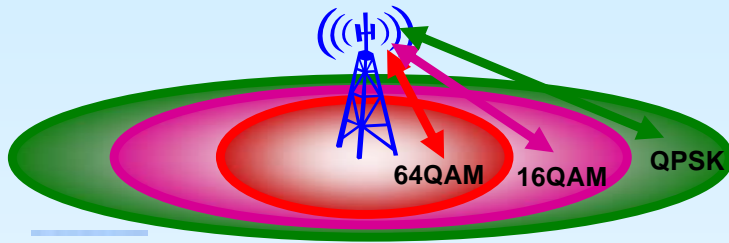
Scelta del MCS in base ad un target



Allocazione dinamica delle portanti e/o della potenza

- Basandosi sullo stesso principio visto nel caso precedente è possibile agire su altri parametri.
- Lo schema di accesso SOFDMA permette l'allocazione delle portanti a diversi utenti
- Per limitare l'interferenza è possibile inoltre agire sul livello di potenza.

Dynamic Resource Management



Si può per esempio fissare una BER target e quindi determinare l'incremento di potenza necessario per passare da una modulazione all'altra.

Quando un utente si disconnette:

- redistribuzione delle portanti
- redistribuzione della potenza

QPSK → 16QAM
3dB

16QAM → 64QAM
3,4dB

Associazioni

- WiMAX Forum

- Il WiMAX Forum è l'associazione che certifica l'interoperabilità di prodotti a banda larga wireless, definendo e conducendo i test di interoperabilità per assicurare che sistemi di diversi produttori siano compatibili. Quelli che passano il test possono fregiarsi del marchio "WiMAX Forum Certified". I prodotti con scritto "WiMAX-ready", "WiMAX-compliant", o "pre-WiMAX" non sono certificati da WiMAX Forum.



- WiMAX Spectrum Owners Alliance - WiSOA

- WiSOA è la prima organizzazione globale composta unicamente da proprietari delle porzioni di spettro per WiMAX. WiSOA è dedicata alla regolazione, commercializzazione e sviluppo dello spettro nei range 2.3-2.5 GHz e 3.4-3.5 GHz.



Tecnologie in competizione

- UMTS
 - Essendo una tecnologia wireless a larga banda per accesso a Internet ampiamente usata è uno dei principali avversari di WiMAX. In alcuni paesi dove l'uso dell'UMTS è ormai molto diffuso è stato deciso di bloccare per il momento l'assegnazione delle frequenze a WiMAX; questo è il caso della Francia e della Finlandia nel Luglio 2005 o della Malaysia nel Settembre 2006.
 - UMTS permette sia vera commutazione di circuito e di pacchetto rendendolo idoneo sia a traffico voce/video che dati.
- UMTS su W-CDMA
 - UMTS su W-CDMA è stata sviluppata soprattutto in Europa. L'introduzione di HSDPA permette di raggiungere 14.4 Mbit/s in downlink. La simmetria spettrale in uplink e downlink rende WCDMA particolarmente adatto a traffico voce.
- UMTS-TDD
 - UMTS-TDD utilizza TD-CDMA invece di W-CDMA e come WiMAX è stato pensato soprattutto come rete di accesso ad Internet per traffico dati. UMTS-TDD usa Time Division Duplexing così downlink e uplink condividono la stessa banda, rendendo però più dinamica la suddivisione nei due sensi. UMTS-TDD ha una banda e una copertura inferiore rispetto a WiMAX ma è più regolare nelle aree di copertura.
- 4G UMTS: HSOPA e altri sviluppi LTE
 - Il 3GPP ha uno working group dedicato allo sviluppo di UMTS noto come 3GPP Long Term Evolution (LTE). Recentemente si sta convergendo verso un'interfaccia fisica con OFDMA similmente a WiMAX nota HSOPA.

Tecnologie in competizione

- Wi-Fi
 - Wi-Fi lavora su spettro non licenziato; è economico e semplice da installare, fornendo collegamenti ad alta velocità.
 - WiMAX usa spettro licenziato e ha meccanismi di autenticazione molto robusti. Ha una copertura molto più estesa che non WiFi. In questo senso le due tecnologie potrebbero essere complementari.
 - Wi-Fi si sta sviluppando verso configurazioni mesh per la copertura di intere aree urbane grazie anche alla facilità di installazione e ai bassi costi.
 - WiMAX è pensato invece come punto di accesso molto flessibile con possibilità di creare picocelle o macrocelle. E' in via di sviluppo lo standard 802.16j, Mobile Multi-hop Relay, per lo sviluppo di scenari multi-hop.
- IEEE 802.22
 - IEEE 802.22 è il nome dello standard per reti WRAN (Wireless Regional Area network) che utilizzino le bande televisive lasciate libere
 - IEEE 802.22 punta alla creazione di strutture punto-multipunto che useranno le frequenze UHF/VHF fra 54 e 862 MHz.