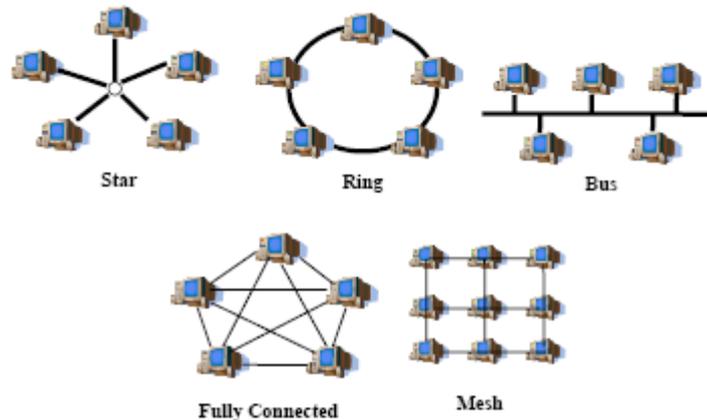


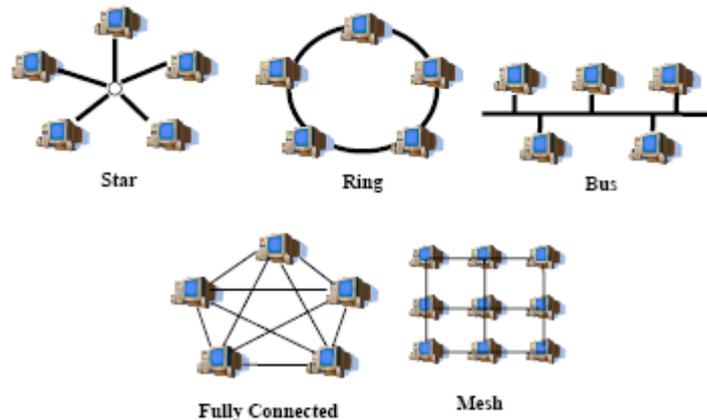
# Richiami topologie di rete

# RICHIAMI TOPOLOGIE DI RETE



**Rete “Fully connected”:** ogni nodo può comunicare direttamente con ogni altro nodo. Soffre di un problema di complessità: per ogni nodo in più nella rete, il numero di collegamenti necessari cresce esponenzialmente. Quindi, se ho una rete con un numero molto elevato di nodi (reti di sensori), il problema del routing diventa computazionalmente intrattabile anche con elevate capacità di calcolo.

# RICHIAMI TOPOLOGIE DI RETE

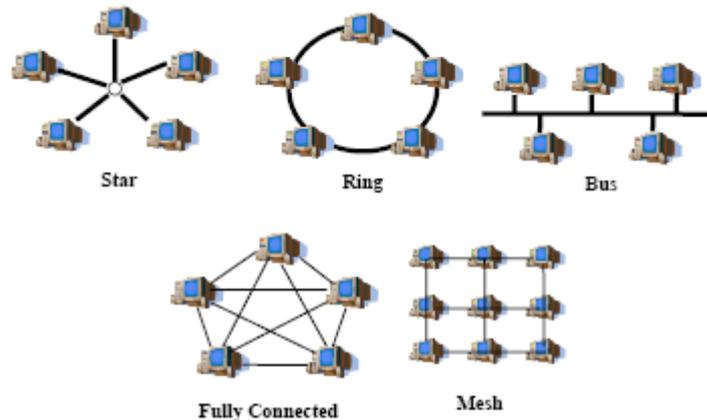


**Topologia a Stella (Star):** tutti i nodi sono connessi a un singolo hub. L'hub deve avere maggiori capacità di calcolo e di memoria rispetto agli altri nodi in quanto deve gestire il routing, elaborare delle informazioni per prendere delle decisioni, gestire le comunicazioni tra tutti i nodi. Se un collegamento si interrompe, solo il nodo che è connesso con quel collegamento all'hub ne risentirà. D'altra parte, se si rompe l'hub, tutta la rete cade.

**Topologia ad anello (ring):** tutti i nodi realizzano le stesse funzioni e non c'è un nodo leader. I messaggi viaggiano nell'anello in una sola direzione. Ogni nodo prende solo l'informazione ad esso destinata, da tutta l'informazione che riceve. Se un link si rompe, tutte le comunicazioni sono perse.

**A Bus:** i messaggi vengono mandati in broadcast sul bus e tutti i nodi. Ogni nodo controlla l'indirizzo di destinazione nell'header del messaggio e processa solo quello ad esso indirizzato. La topologia a BUS è passiva, nel senso che ogni nodo semplicemente ascolta se ci sono messaggi per se', ma non è responsabile per ritrasmetterli (come nell'anello).

# RICHIAMI TOPOLOGIE DI RETE



**Mesh Networks:** sono reti distribuite che permettono la trasmissione solo verso il o i nodi più vicini. I nodi sono in genere identici (non c'è un nodo che fa da coordinatore delle comunicazioni con gli altri nodi). Le reti mesh a volte sono chiamate reti peer-to-peer.

Sono un buon approccio nel caso di reti di sensori con un elevatissimo numero di nodi distribuiti su un'ampia area geografica. I nodi inoltre in molte applicazioni tipiche delle reti di sensori, non hanno range di comunicazione sufficienti da poter raggiungere con un solo hop il destinatario.

I vantaggi di questo tipo di reti quando ho molti nodi in aree estese è che con l'approccio multihop si può, ridurre il consumo di potenza per coprire una certa area.

Inoltre, poiché in genere tra sorgente e destinatario ci sono diversi possibili "cammini", sono robuste a malfunzionamenti di alcuni nodi.

Inoltre, anche se i nodi sono funzionalmente identici, alcuni nodi possono svolgere delle funzioni di "group leader" e quindi svolgere funzioni particolari. Ma ogni altro nodo è in grado di prendere il suo posto se quel nodo non può più svolgerlo per qualche motivo (es. si rompe).

# **Tecnologie Wireless per le Smart Grid**

# SMART GRID

## WLAN



Dispositivo WiFi *Wireless Fidelity*, ossia in grado di collegarsi a reti locali senza fili (WLAN) basate sulle specifiche della famiglia di standard IEEE 802.11. Il consorzio Wi-Fi Alliance (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) testa e certifica la compatibilità dei componenti wireless con gli standard 802.11x (della famiglia 802.11).

- ✓ **802.11b (Older Generation)**
  - Standard for 2.4GHz ISM band (80 MHz)
  - **Frequency hopped spread spectrum**
  - 1.6-10 Mbps, 500 ft range
- ✓ **802.11a (Newer Generation)**
  - Standard for 5GHz NII band (300 MHz)
  - **OFDM with time division**
  - 20-70 Mbps, range variabile
- ✓ **802.11g**
  - Standard in 2.4 GHz and 5 GHz bands
  - **OFDM**
  - Speeds up to 54 Mbps

- ✓ **802.11n (New Standard)**
  - Standard in 2.4 GHz
  - **DSSS, OFDM**
  - Speeds up to 125Mbps
  - **Use of MIMO technology**

# SMART GRID

## WLAN

Lavora su bande non licenziate

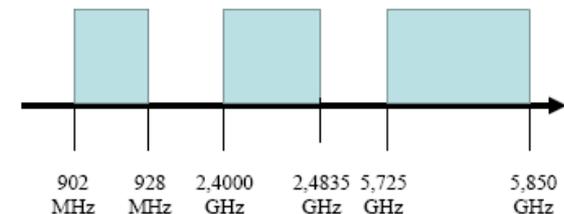


costi minori rispetto ad altri sistemi che lavorano su bande licenziate (WiMAX, 3G)  
ma  
problemi d'interferenza con altri dispositivi che lavorano nella stessa banda

Le bande non licenziate sono bande di frequenze regolarmente assegnate dal piano di ripartizione nazionale (ed internazionale) ad altro servizio, e lasciate al libero impiego solo per le applicazioni che prevedono potenze EIRP (Massima Potenza Equivalente Irradiata da antenna Isotropica) di non più di 20 dBm ed che in genere vanno utilizzate all'interno di una proprietà privata (no attraversamento suolo pubblico).

Nelle bande non licenziate attorno a 5GHz (5,4 GHz) (standard 802.11a/h) è possibile l'attraversamento del suolo pubblico.

Fissate dal Federal Communications Commission (FCC) e dalle ETSI (European Telecommunications Standardization Inst.

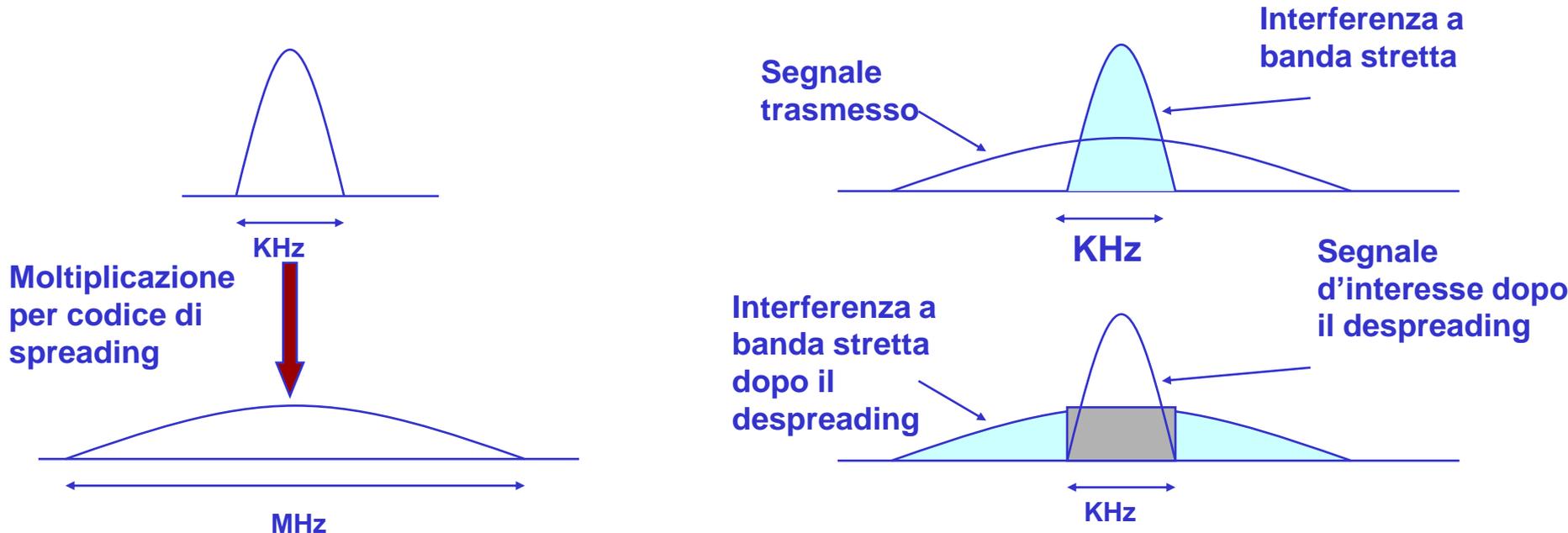


Banda ISM (Industrial, Scientific and Medical)

# SMART GRID

## WLAN

Utilizzano tecniche Spread Spectrum



Solo una piccola porzione dell'interferente rimane nella banda del segnale d'interesse

Lo stesso succede ad interferenti a banda larga che dopo il despreading rimangono a "banda larga"

La robustezza dei sistemi SS è strettamente legata al guadagno di processo: banda segnale "dopo spreading"/Banda segnale interesse originario

# SMART GRID

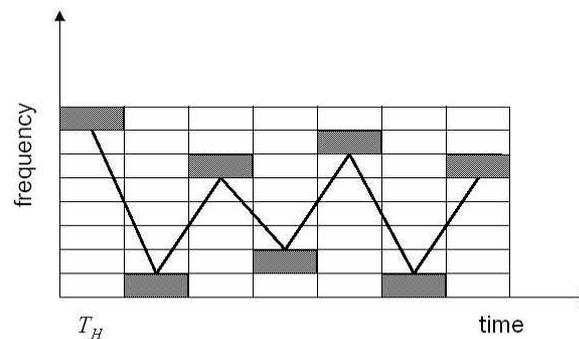
## WLAN

### Utilizzano tecniche Spread Spectrum

Due tipi di tecniche SS sono utilizzati:

**Direct Sequence (DS)-SS:** il segnale è trasmesso per una sequenza di spreading (codici pseudo-random) con chip rate  $\gg$  della data rate del segnale.

**Frequency Hopping (FH)-SS:** La banda è suddivisa in un elevato numero di slot in frequenza contigui. In ogni intervallo di bit, il segnale occupa uno o più slots. La scelta dei blocchi da occupare è fatta in accordo ad un codice pseudo-random specifico per quella comunicazione.



# SMART GRID

## WLAN

Utilizzano tecniche Spred Spectrum

L'uso di tecniche SS permette di ottenere:

- Tolleranza nei confronti dell'interferenza (eventualmente intenzionale: Jamming) che può essere elevata
- Assicurare una bassa probabilità di intercettazione
- Coesistenza nella stessa banda di più sistemi
- Tolleranza al multipath cioè alla selettività in frequenza

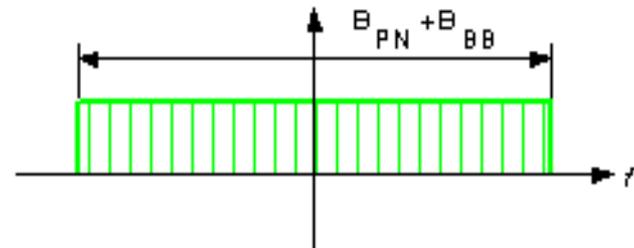
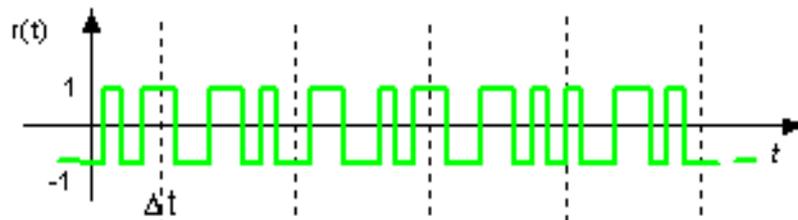
# SMART GRID

## WLAN

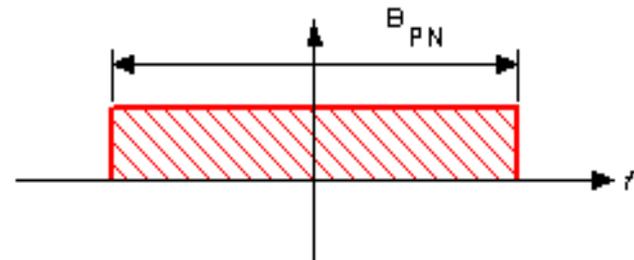
### Principio del DS-SS

received delayed spread spectrum

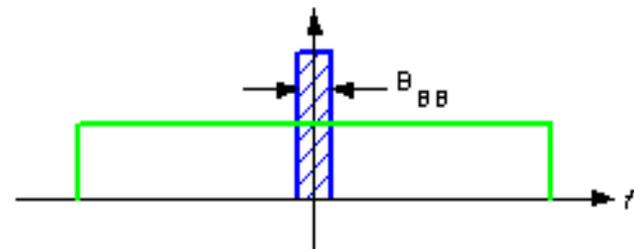
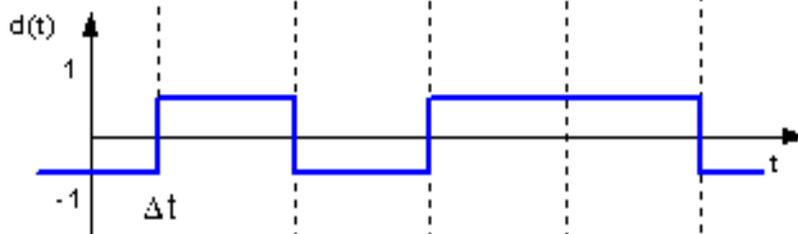
$$\text{signal } r(t) = e(t + \Delta t) \cdot s(t + \Delta t)$$



wideband despreading delayed PN-signal  $s(t + \Delta t)$



detected despreading encoded signal  $d(t)$



# SMART GRID

## WLAN

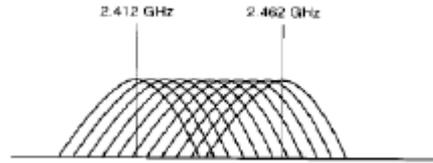
### FH-SS in 802.11

- ❑ In IEEE 802.11 FHSS specifica 78 hops separati da 1 MHz.
- ❑ Queste “frequenze” sono divise in tre gruppi di 26 hops,
  - ❑ Ciascuno corrispondente ai numeri di canale (0,3,6,..),
  - ❑ (1,4,7,..) e (2,5,8,...)
- ❑ Queste scelte sono disponibili per tre differenti sistemi che possono coesistere nella stessa area geografica senza alcuna collisione tra gli hops

# SMART GRID

## WiFi

### DS-SS in 802.11



La banda a 2.4 GHz è suddivisa in 11 canali spazati di 5MHz per poter installare più reti nella stessa area di copertura

Il sottostrato di management fisico sceglie il canale più opportuno

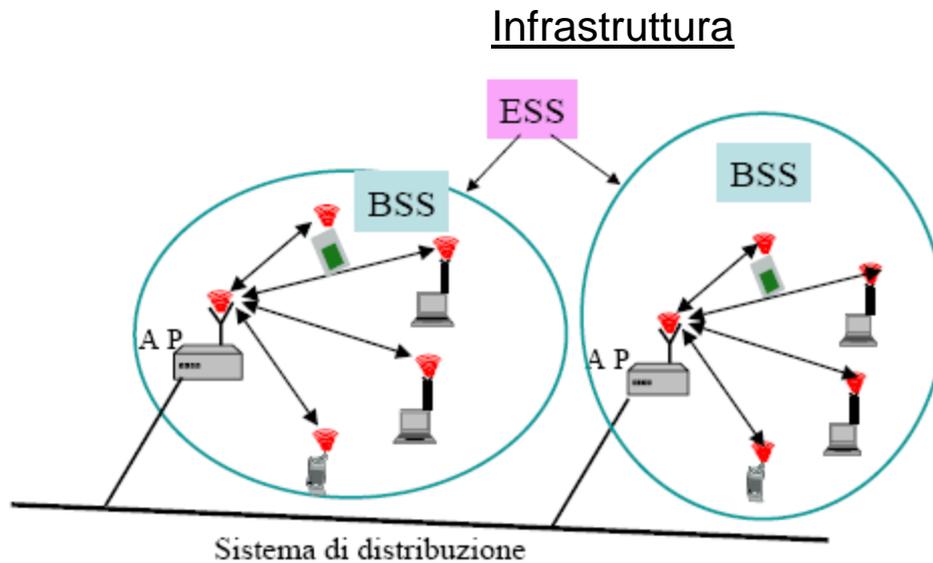
**FH-SS è più semplice e consuma meno, ma le velocità di trasmissione che garantisce sono minori rispetto al DS-SS**

# SMART GRID

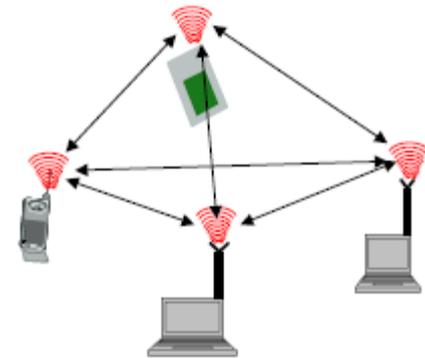
## WiFi

### Topologie di rete

Sono definite due topologie di rete:



Senza infrastruttura: ad hoc



Basic Service Set (BSS)

Extended Service Set (ESS)

# SMART GRID

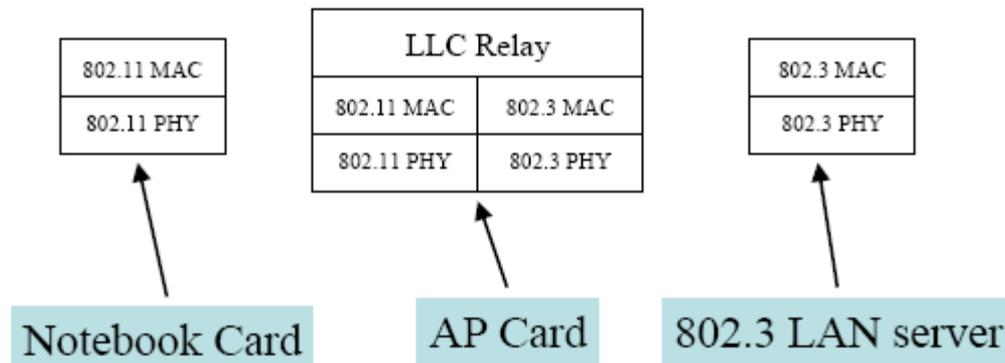
## WiFi

### Topologie di rete

#### Con infrastruttura

Le comunicazioni passano per un nodo Access Point che di fatto fa da “bridge” con il resto della rete Internet cablata.

L’AP ha anche la funzione di bridge per convertire il protocollo IEEE 802.11 in (tipicamente) 802.3 (Ethernet). I notebook si connettono alla LAN per comunicare con altri notebook o con il server della LAN.

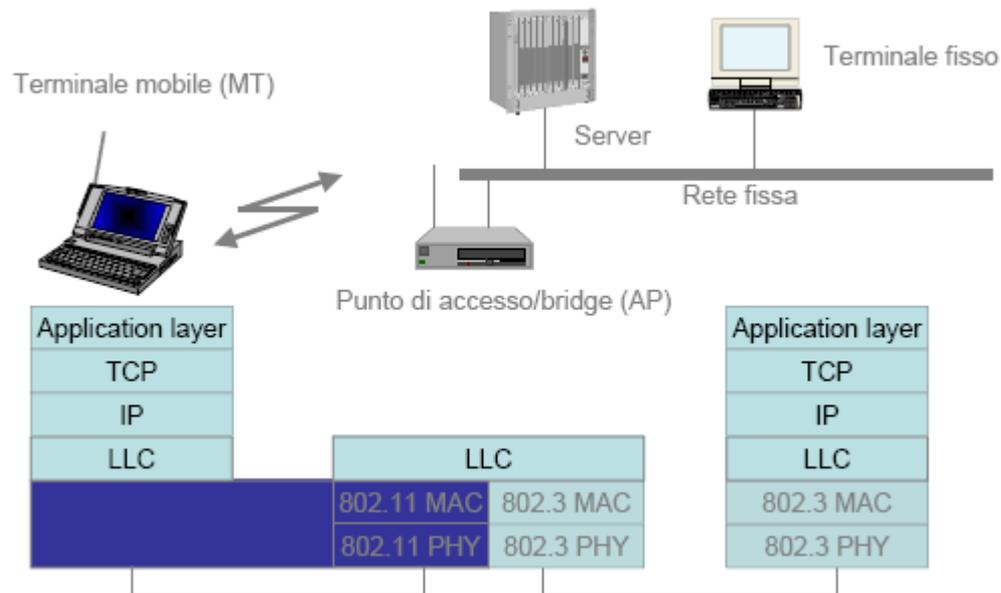


# SMART GRID

WiFi

## Topologie di rete

Con infrastruttura  
Bridging

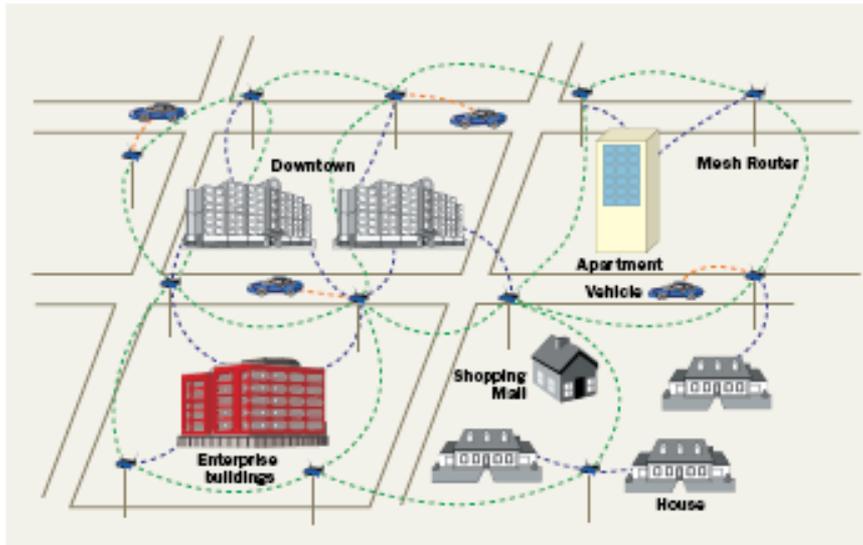


# SMART GRID

## WiFi

### Topologie di rete

#### Reti Mesh con WiFi



Ho vari dispositivi connessi a diversi APs, i quali sono collegati tra loro in modalità magliata.

**Fino a qualche anno fa, il paradosso era che i Wireless APs erano connessi tra loro tramite cavi.**

Si è quindi sviluppato lo standard 802.11s, che si basa sul PHY degli standard attuali (802.11a/b/g/n) e sulle prestazioni aggiuntive che permettono ad ogni nodo di collegarsi ad un altro nodo di rete, autenticarsi e stabilire una connessione. Inoltre, permette una gestione più efficiente in caso di antenne direttive. Infatti, per evitare interferenze con i dispositivi della Hot Spot che lavorano a 2.4GHz, o si lavora a 5GHz (come l'8002.11g) o si lavora con antenne molto direttive che collegano uno o piu' access points.

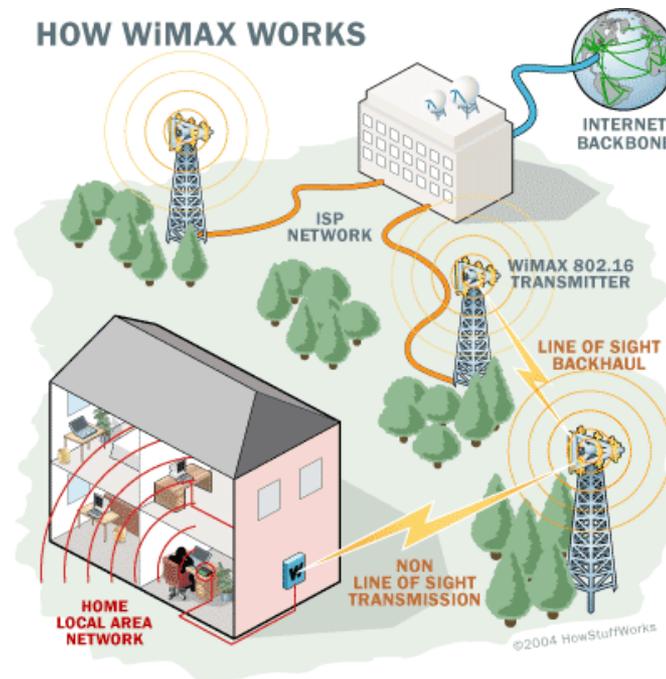
# SMART GRID

## Wimax

Le tecnologie WiMAX (**Worldwide Interoperability for Microwave Access**) sono tecnologie per l'accesso wireless a banda larga basate sullo standard IEEE 802.16.

### Applicazioni target:

- per il backhauling, ossia per estendere la connettività broadband della dorsale alle zone limitrofe
- ultimo miglio, ovvero per offrire servizi broadband agli utenti sia residenziali sia business locati nell'area geografica coperta in modalità d'accesso fissa, nomadica, portatile e mobile.



# SMART GRID

## Wimax

Possono operare sia in bande licenziate (2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,5 GHz) sia in bande non licenziate (5.8GHz):

□il deployment nelle bande licenziate è indicato per coprire aree dense e competitive, ove l'interferenza rappresenta il maggior problema da risolvere;

□il deployment nelle bande non licenziate, invece, è indicato per coprire aree ristrette per limitare l'interferenza e l'investimento iniziale (es. per risolvere il problema del digital divide in aree rurali).

L'attuale normativa prevede in Italia l'utilizzo della tecnologia WiMAX unicamente nella banda di frequenze 3,4 - 3,6 GHz

# SMART GRID

## Wimax

La prima versione dello standard IEEE 802.16, ratificata nel 2001 e concepita per applicazioni FBWA, supporta trasmissioni in scenari LOS (Line Of Sight) nel range delle bande licenziate da 10 a 66 GHz e non consente né la portabilità né la mobilità.

La successiva versione IEEE 802.16–2004 opera nella banda 2-11 GHz anche in scenari NLOS e con accesso nomade, consentendo l'utilizzo di Subscriber Unit (SU) indoor.

Infine la versione IEEE 802.16e, approvata il 7 Dicembre 2005, include le precedenti versioni dello standard e aggiunge alcune funzionalità, tra le quali l'handoff e il power saving, per supportare l'accesso portatile e mobile, il MIMO, l'Adaptive Antenna System (AAS) e lo Space Time Coding, per migliorare le prestazioni del sistema.

Per poter meglio supportare la mobilità, inoltre, è implementata una nuova tecnica di trasmissione, la SOFDMA (Scalable OFDMA). E' bene osservare che le modulazioni OFDMA e SOFDMA non sono compatibili e, quindi, due terminali, uno basato sulla modulazione OFDMA e l'altro sulla SOFDMA, non possono comunicare tra loro.

# Wimax

Tabella 1 – Principali caratteristiche delle tecnologie 802.16

	802.16-2004	802.16e
Approvato	Giugno 2004	Dicembre 2005
Banda	2 – 11 GHz	2 – 11 GHz per l'accesso fisso 2 – 6 GHz per l'accesso mobile
Scenario operativo	LOS/NLOS	LOS/NLOS
Velocità di trasmissione	75 Mbps in 20 MHz	75 Mbps in 20 MHz per l'accesso fisso 15 Mbps in 5 MHz per l'accesso mobile
Tecnica di trasmissione	OFDM (256 sottoportanti), OFDMA (2048 sottoportanti)	OFDM, OFDMA, SOFDMA
Accesso multiplo	TDMA, OFDMA	TDMA, SOFDMA
Formato del duplexing	TDD/FDD	TDD/FDD
Ampiezza di banda del canale	Variabile tra 1.25 MHz e 20 MHz	Variabile tra 1.25 MHz e 20 MHz
Efficienza spettrale	3.75 bps/Hz in 20 MHz	3.75 bps/Hz in 20 MHz per l'accesso fisso 3 bps/Hz in 5 MHz per l'accesso mobile
Compatibilità con 802.16-2004		No, se si usa la modulazione SOFDMA

# SMART GRID

Wimax

## Accesso multiplo TD-OFDMA

divisione in frame di durata temporale  $T_f$

Durante ogni frame, risorse allocate mediante FDMA  $\Rightarrow$  OFDMA

le  $N$  sottobande vengono distribuite tra gli utenti presenti



Ogni utente usa un modulatore OFDM a  $N$  toni:

- Sui toni assegnati a lui trasmette simboli QAM
- I toni non assegnati a lui vengono “mascherati” (trasmettendo simboli nulli)
- Al frame successivo (dopo  $T_f$  secondi) si possono riallocare i toni

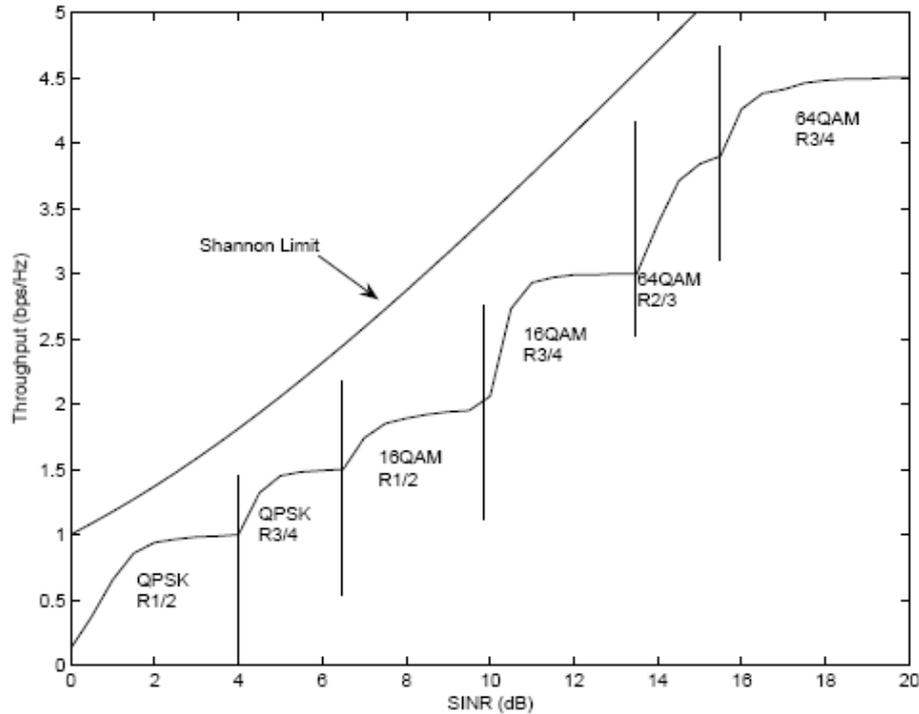
Possibilità di distribuire i toni in modo interlacciato (bande non contigue)



# Wimax

## AMC (Adaptive Modulation and Coding) in Wimax

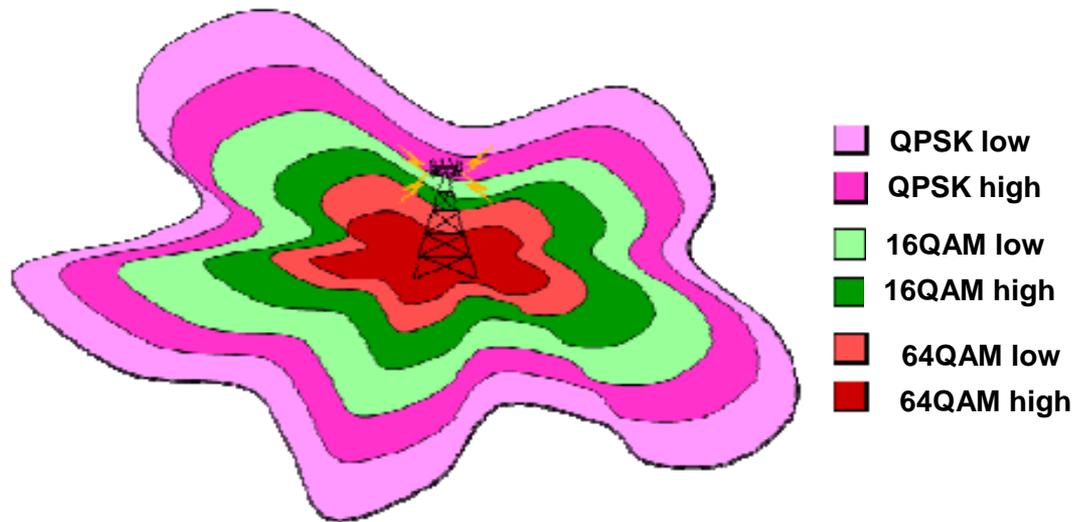
Wimax prevede 52 modi operativi (combinazioni modulazione/codifica), dette “burst profile”. Gran parte delle implementazioni dello Wimax prevedono solo una frazione di questi modi. Il “burst profile” viene assegnato ad un sottocanale. Per questo è applicabile solo con la modalità adjacent subcarrier permutation.



Con solo 6 burst profile è già possibile una ampio range di efficienza spettrale

# Wimax

## AMC (Adaptive Modulation and Coding) in Wimax



Source: WITech

AMC in presenza di shadowing

# Wimax

## AMC (Adaptive Modulation and Coding) in Wimax

Velocità di trasmissione supportate dall'OFDMA con 2048 sottoportanti

Ampiezza di banda del canale [MHz]	Velocità di trasmissione [Mbps]					
	QPSK Low (1/2)	QPSK high (3/4)	16QAM low (1/2)	16QAM low (3/4)	64QAM low (1/2)	64QAM low (3/4)
3.5	2.91	4.36	5.82	8.73	11.64	13.00
7.0	5.82	8.73	11.64	17.45	23.27	26.18
10.0	8.38	12.57	16.76	25.13	33.51	37.70

# Wimax

## Scalabilità

Il concetto di scalabilità non era presente nella prima versione dello standard 802.16 (del 2004), ma è un elemento fondamentale per la versione 802.16e che si propone di supportare la mobilità, e quindi, deve poter funzionare bene in diversi scenari operativi, caratterizzati da diverso delay spread o Doppler Shift, da condizioni di shadowing diverse durante la trasmissione (nel caso di bassa mobilità o utenti fissi, posso supporre la media del segnale ricevuto costante, ora invece no).

Definizione di “scalabile”: un sistema si dice scalabile quando è possibile aggiungere ulteriori funzionalità senza doverne modificare le caratteristiche fondamentali.

# Wimax

## Scalabilità

Il livello fisico dell'802.16e è progettato per funzionare in NLOS (Non Line of Sight) in diverse bande di frequenza e diverse condizioni di propagazione.

La separazione delle sottoportanti è mantenuta costante!

Ciò che si varia è la dimensione della FFT per supportare le diverse bande a disposizione

$$\Delta f \rightarrow$$

$$T_N = 1/\Delta f \rightarrow$$

Parameters	Values				
System bandwidth (MHz)	1.25	2.5	5	10	20
Sampling frequency ( $F_s$ MHz)	1.429	2.857	5.714	11.429	22.857
Sample time ( $1/F_s$ msec)	700	350	175	88	44
FFT size ( $N_{FFT}$ )	128	256	512	1024	2048
Subcarrier frequency spacing	11.16071429 kHz				
Useful symbol time ( $T_u = 1/f$ )	89.6 $\mu$ s				
Guard time ( $T_g = T_u/8$ )	11.2 $\mu$ s				
OFDMA symbol time ( $T_s = T_u + T_g$ )	100.8 $\mu$ s				

Hassan Yaghoobi, Intel Communications Group, Intel Corporation, "Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 WirelessMAN", **Intel Technology Journal, Volume 8, Issue 3, 2004.**

# Wimax

Verifica con i parametri (vedi precedente tabella) se si riesce a supportare la trasmissione in piena mobilità.

Innanzitutto, il sistema non deve essere sensibile al Doppler Shift associato alla mobilità. Per una velocità di 125Km/h (che non comprende i treni ad alta velocità, ma comprende le velocità massime degli autoveicoli in US, Europa e Asia), se lavoro a 3.5 GHz (a metà tra 2 e 6GHz), il massimo Doppler Shift è:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} = \frac{35m/s}{0.086m} = 407Hz$$

a 6GHz sarebbe 700Hz.

Rule of Thumb (regola d'oro) per non avere una eccessiva distorsione dovuta al Doppler Shift è che

$$f_{d,\max} < 0.01\Delta f$$



$$\Delta f > \frac{f_{d,\max}}{0.01} = 408 * 100 \approx 40kHz$$

Una separazione delle sottoportanti di circa 10kHz può comunque andare bene in quanto è piuttosto maggiore di 407Hz.

# Wimax

Verifica con i parametri (vedi precedente tabella) se si riesce a supportare la trasmissione in piena mobilità.

La prima versione dello Wimax era pensata per uno scenario BFWA dove il delay spread peggiore è quello corrispondente al modello di canale (Stanford University Interim) SUI-6 (Tipo di terreno collinoso con moderata densità fino a elevata densità di alberi), ed è pari a  $5.24\mu\text{s}$ . Quindi, la banda di coerenza è:

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_m} = \frac{1}{5 \cdot 5,24 \cdot 10^{-6}} \approx 38\text{kHz}$$

La nuova versione progettata per la mobilità, deve tener conto che in base al modello di canale ITU (International Telecommunications Union ) veicolare di tipo B, il delay spread è di  $20\mu\text{s}$  e quindi si deve verificare che la larghezza di ogni sottobanda sia minore della banda di coerenza.

La banda di coerenza di un canale con questo massimo delay spread è circa:

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_m} = \frac{1}{5 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} = 10\text{kHz}$$

Quindi, dentro ogni sottobanda larga 10kHz il canale si può considerare costante. Quindi, 10kHz di separazione va bene anche per il caso peggiore.

# Wimax

## Scalabilità

Supponiamo che la dimensione delle FFT è fissa a 2048 e che la banda a disposizione è 20MHz.

$$\Delta f = \frac{20 \cdot 10^6}{2048} = 9.76 \cdot 10^3 \approx 10 \text{kHz}$$

Supponiamo ora che la banda sia 2.5MHz e che la FFT sia sempre di 2048.

$$\Delta f = \frac{2.5 \cdot 10^6}{2048} = 1.22 \cdot 10^3 \approx 1 \text{kHz}$$

Se il Doppler Shift in ambiente veicolare (ITU vehicular B) è di circa 400Hz alla portante 3.5GHz e fino a 700Hz per 6GHz, si osserverebbe una forte degradazione delle prestazioni perché il Doppler Shift è quasi uguale alla separazione delle sottoportanti.



**Si comprende come per avere un sistema che garantisca minimi requisiti di qualità in tutti gli ambienti, devo avere un sistema in cui almeno la dimensione delle FFT cambia.**

# Wimax

## Scalabilità

Elementi principali del concetto di scalabilità implementato nello standard:

- La separazione delle sottoportanti non dipende dalla banda
- Il numero di sottoportanti usate (e la dimensione della FFT) varia in accordo con la banda
- La più piccola unità di banda allocata, specificata dal concetto di sottocanale, è fissa e non dipende dalla banda o da altre modalità operative
- Il numero di sottocanali varia in accordo con la banda (banda minore, minore è il numero di sottocanali e quindi di unità di banda allocabili ai vari utenti).
- La capacità di ogni sottocanale rimane invariata.

# Wimax

## AAS e STC

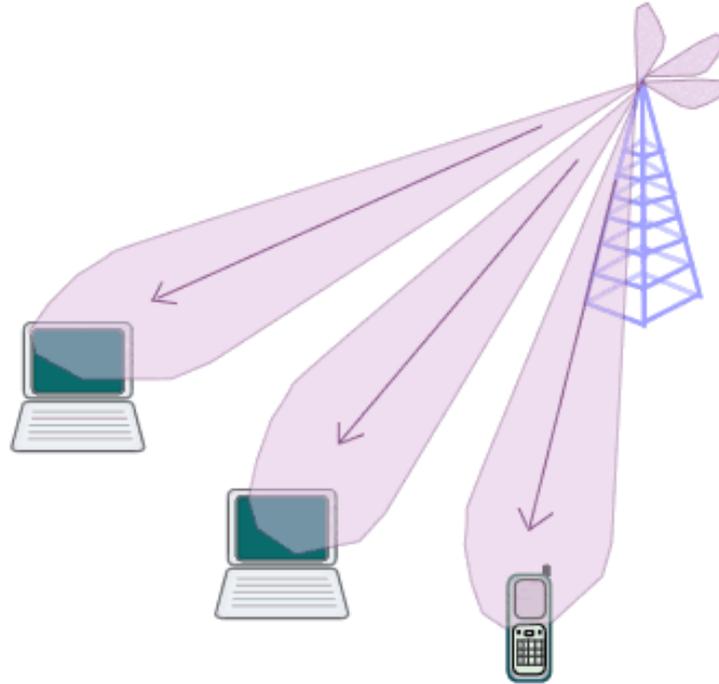
Le tecnologie 802.16, sia 802.16-2004 che 802.16e, supportano alcune funzionalità opzionali, quali gli STC e l'AAS:

- Adaptive Antenna System (AAS): grazie alla combinazione tra un array di antenne e la capacità di processare segnali digitali, l'AAS può automaticamente cambiare la direzione del fascio di radiazione a seconda dell'ambiente in modo da minimizzare dinamicamente l'interferenza, massimizzare la ricezione del segnale voluto e migliorare la gestione della potenza del sistema e dell'allocazione spettrale.
- Space Time Code (STC): supporta un insieme di tecniche STC dal secondo al quarto ordine nel DL e del secondo ordine nell'UL. Queste tecniche includono anche tecniche di Spatial Multiplexing (che massimizzano l'efficienza spettrale e non il guadagno di diversità)

# Wimax

## AAS e STC

### Opzione AAS



AAS permette di realizzare la cosiddetta tecnica di access SDMA (Space Division Multiple Access) dove multiple SS sono separate nello spazio e possono trasmettere contemporaneamente sullo stesso sottocanale. Inoltre, posso posizionare dei “nulli” nella direzione di un interferente per minimizzare l’interferenza

## Opzione STC

Diversità del secondo ordine

$$A = \begin{bmatrix} S_i & -S_{i+1}^* \\ S_i & S_i^* \end{bmatrix} \quad \longrightarrow \quad \text{Tipo Alamouti rate=1}$$

$$B = \begin{bmatrix} S_i \\ S_{i+1} \end{bmatrix} \quad \longrightarrow \quad \text{SM puro, rate=2}$$

Dove  $S_i$  sono i simboli OFDM nel dominio della frequenza (cioè prima la IFFT)  
Questa opzione del secondo ordine è supportata anche nell'UL.

In particolare, la matrice B può essere usata da due SSs in una forma di  
moltiplicazione “collaborativa” (una SS “aiuta” un'altra SS a trasmettere la propria  
informazione)

### Opzione STC

Diversità del quarto ordine

$$A = \begin{bmatrix} S_i & -S_{i+1}^* & 0 & 0 \\ S_i & S_i^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{i+2} & -S_{i+3}^* \\ 0 & 0 & S_{i+3} & S_{i+2}^* \end{bmatrix} \Rightarrow \text{Tipo Alamouti rate}=1$$

$$B = \begin{bmatrix} S_i & -S_{i+1}^* & S_{i+4} & -S_{i+6}^* \\ S_{i+1} & S_i^* & S_{i+5} & -S_{i+7}^* \\ S_{i+2} & -S_{i+3}^* & S_{i+6} & S_{i+4}^* \\ S_{i+3} & S_{i+2}^* & S_{i+7} & S_{i+5}^* \end{bmatrix} \Rightarrow \text{rate}=2$$

$$C = \begin{bmatrix} S_i \\ S_{i+1} \\ S_{i+2} \\ S_{i+3} \end{bmatrix} \Rightarrow \text{rate}=4$$

*Nota: si omettono i dati per la diversità di ordine tre, far riferimento alla bibliografia*

# Wimax

## Diversità

Lo Standard Wimax utilizza diverse forme di diversità:

- Multiutente
- In frequenza (con la codifica e le sottoportanti distribuite sullo spettro)
- Nel tempo (interleaving di sottoportanti nel tempo)
- Spaziale

In guadagni di diversità sopracitati NON si sommano, ma sono in effetti in competizione tra loro.

Per esempio, le tecniche STC riducono le fluttuazioni del guadagno di canale per sottoportante (il guadagno di diversità è la riduzione della varianza). Quindi, sarà meno probabile che un utente sia in deep fade e quindi il guadagno di diversità multiutente sarà minore rispetto al caso di non STC. Lo stesso vale se distribuisco le sottoportanti di un sottocanale su tutto lo spettro aumentando il guadagno di diversità in frequenza, riduco il guadagno multiutente.

# SMART GRID

## Wimax

- ❑ WiMAX implementa diverse tecniche di crittografia, sicurezza e autenticazione contro intrusioni da parte di terzi
- ❑ WiMAX supporta 5 tipologie di qualità del servizio: *Unsolicited Grant Service* (UGS) per sistemi real time di dimensione fissa (es. VoIP), *Real-Time Polling Service* (rtPS) per sistemi real time di dimensione variabile (es. applicazioni video), *Non Real-Time Polling Service* (nrtPS) per flussi di dati tolleranti al ritardo (es. applicazioni FTP), *Extended Real-Time Polling Service* (ErtPS) simile al rtPS per flussi real time a dimensione fissa (es. VoIP con soppressione di silenzio), *Best Effort* (BE) per flussi di dati dove non è richiesto livello minimo di servizio.
- ❑ Copertura di circa 50km MA DISTANZA E VELOCITA' DI TRASMISSIONE SONO INVERSAMENTE PROPORZIONALI per via dell'uso di tecniche Adaptive Modulation and Coding.
- ❑ Dato che le reti IEEE 802.16 utilizzano lo stesso protocollo Logical link control (LLC), standardizzato come IEEE 802.2, possono essere collegate a reti WLAN IEEE 802.11 per connettere vari APs, creando una copertura di tipo Mesh.