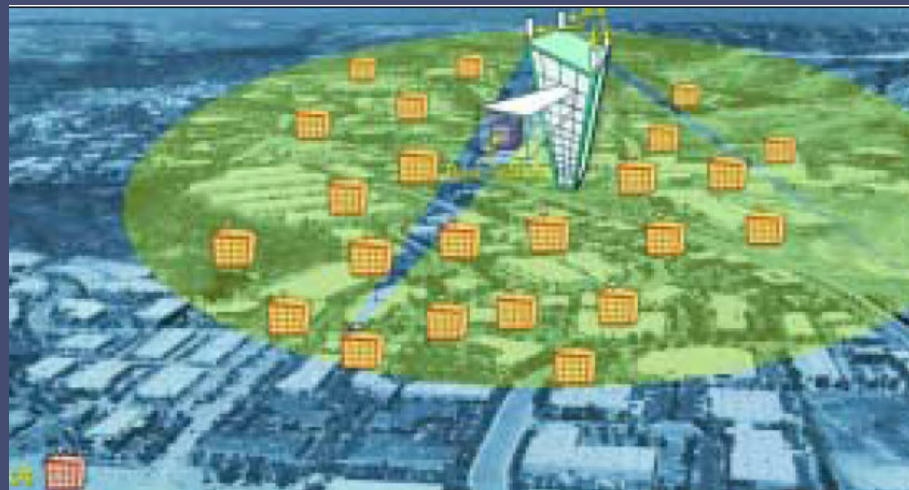


Building
the networked
society of the future

Seminario su WiMAX

roberto.grasso@create-net.it

pasquale.imperatore@create-net.it



Verona, 26 Maggio 2006

Agenda

- Scenario Attuale
- Introduzione a WiMAX
 - Scenari utilizzo
 - Posizionamento della Tecnologia
 - Punti aperti
 - Opportunita'
 - Tecnologia
- Sperimentazione HyperLan a Trento
- Sperimentazione WiMAX in Piemonte
- Conclusioni

CREATE-NET

- Ente di ricerca internazionale finanziato dalla Provincia di Trento, fondato da sette istituzioni/laboratori decentrati, diretto e gestito dalla sede centrale di Trento
- La sua unicità risiede nella combinazione tra Ricerca di altissima qualità e Sperimentazione sul campo nella
 - Comunicazione a banda larga
 - Comunicazione pervasiva
 - Sicurezza
 - Reti wireless
 - Applicazioni e Servizi

Budapest University of
Technology and Economics

TU Berlin
TKN

Politecnico


di Torino


Technion


CNR Pisa


ITC
irst


UNIVERSITY OF TRENTO - Italy
Department of Information
and Communication Technology

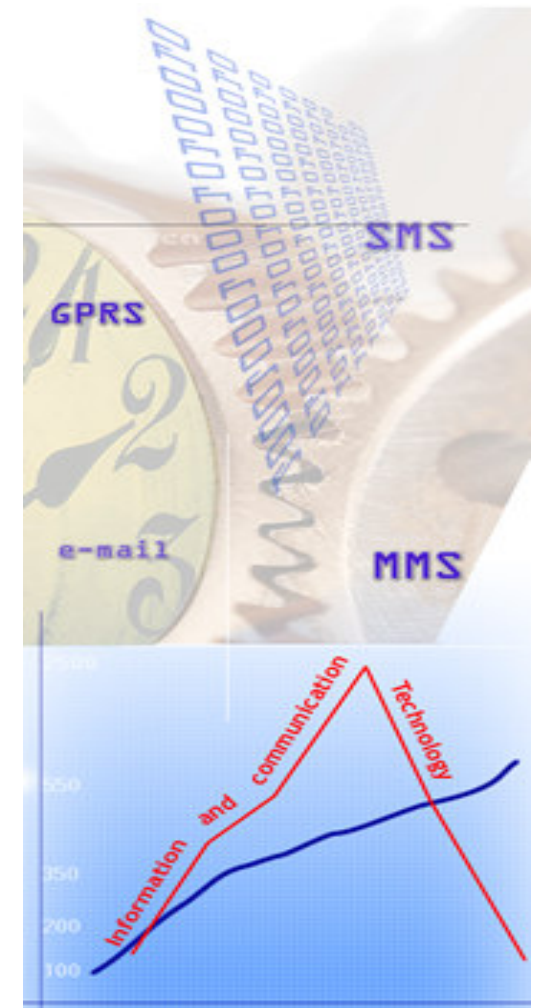
Scenario Attuale - I

- Presenza forte del fenomeno del “**Digital Divide**” tra le zone urbane e le zone rurali dove xDLS non e’ conveniente
- Insostenibile crescita dei costi di R&D (17% delle vendite nel 2003): necessita’ di creare consorzi tra imprese, centri di ricerche ed Universita’, Istituzioni Pubbliche per ridurre i costi, i rischi, e le esperienze per arrivare a standard condivisi



Scenario Attuale - II

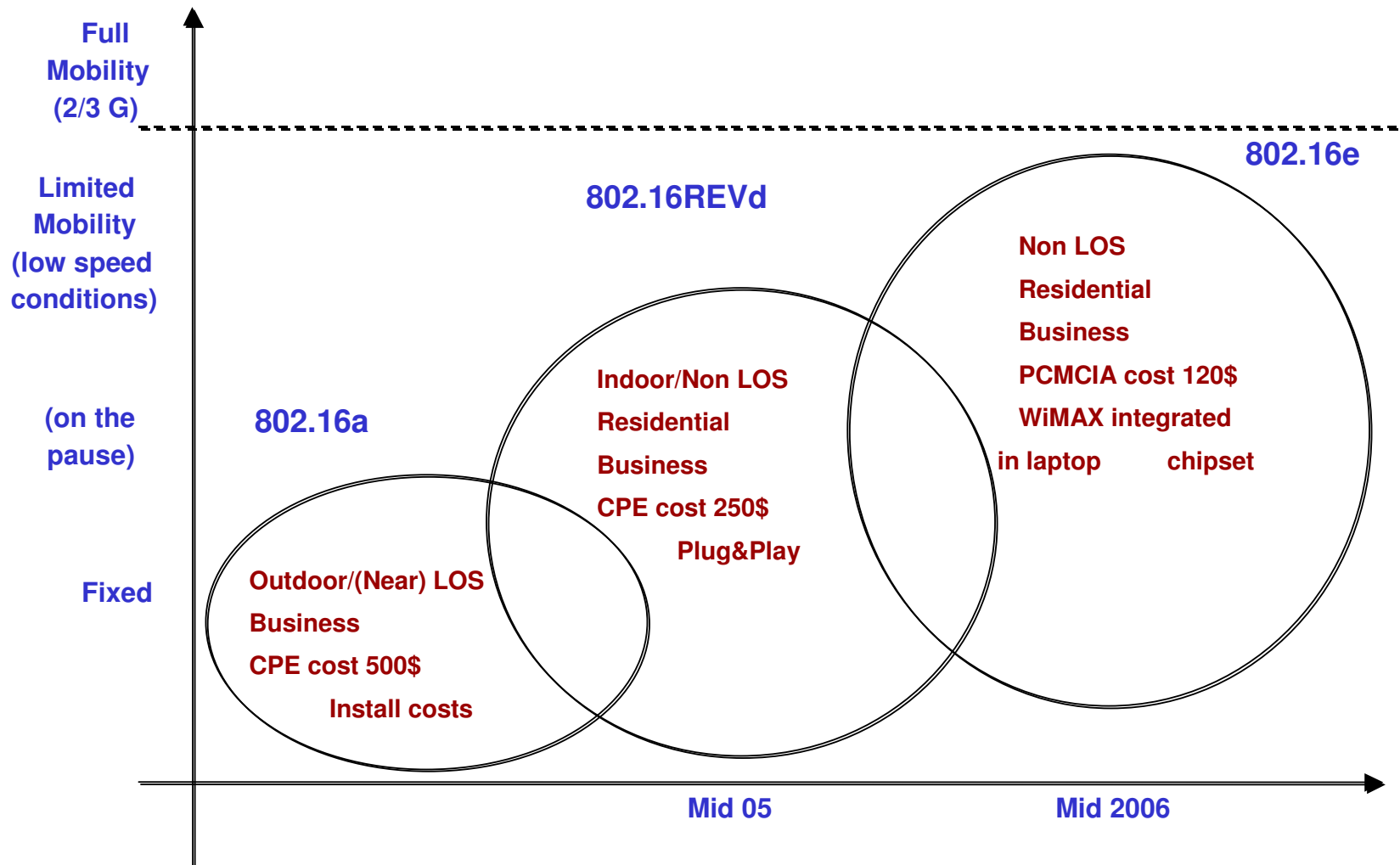
- Scarsa fiducia nel settore telecom in particolare dopo lo scoppio della bolla internet. Essere in grado di anticipare il mercato diventa fattore critico di successo in presenza di business case credibili (Fastweb, H3G, ...)
- Necessita' di Tecnologia efficiente ed efficace per reti Metro size per fornire servizi innovativi basati sul paradigma IP come: IP telephony, Video conference, IP TV, Health care, Storage Area Network, Gaming, video on demand,



WiMAX: storia

- ↑ WiMAX noto come IEEE 802.16, definisce un sistema Broadband Wireless Access (BWA) basato su OFDM con capacità NLOS nella banda da 2 a 11 GHz
- ↑ La variante 802.16e introdurrà mobilità in condizioni di bassa velocità
- ↑ Il WiMAX forum (www.wimaxforum.org) annovera più di 80 multinazionali del settore ICT (Intel, Alcatel, Siemens, Nokia,...)
- ↑ Primo caso di una tecnologia guidata lato client (INTEL)
- ↑ 802.XX usa il pacchetto Ethernet

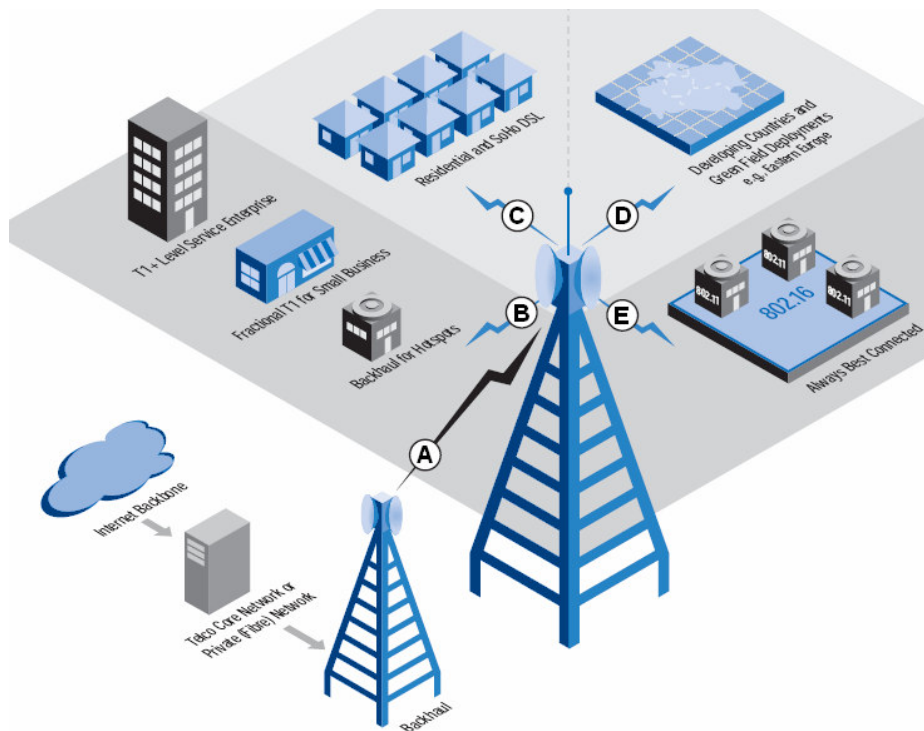
WiMAX: RoadMap



Standard

	802.16	802.16a/2004	802.16e
Completato	Dicembre 2001	802.16a: Gennaio 2003 802.16-2004: Ottobre 2004	Q2 2005
Frequenze	10 to 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Condizioni di canale	LOS only	NLOS	NLOS
Bit Rate	32 to 134 Mb/s at 28 MHz channelization	Up to 75 Mb/s at 20 MHz channelization	UP to 15 Mb/s at 5 MHz channelization
Modulazione	QPSK, 16-QAM and 64-QAM	OFDM 256, OFDMA, 64-QAM, 16-QAM, QPSK and BPSK	Same as 802.16-2004
Mobilità	Fixed	Fixed and portable	Mobility, Regional roaming
Banda del Canale	20, 25 and 28 MHz	Selectable channel bandwidths between 1.25 and 20 MHz	Same as 802.16-2004
Tipico raggio di cella	1 to 3 miles	3 to 5 miles	1 to 3 miles

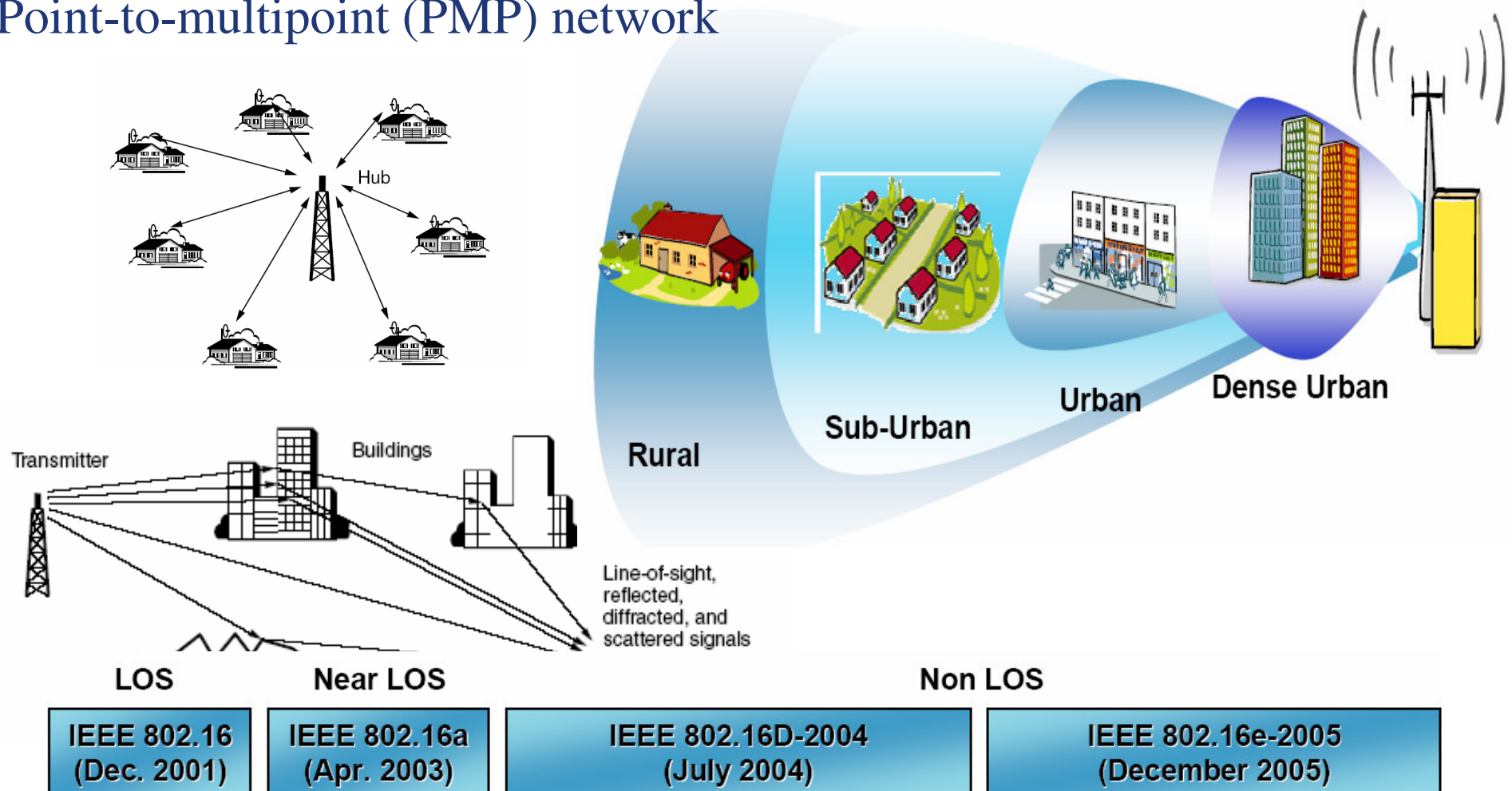
Applicazioni WiMAX



- A. Cellular backhaul
- B. Broadband on-demand
- C. Residential broadband
- D. Underserved areas
- E. Best-connected wireless service

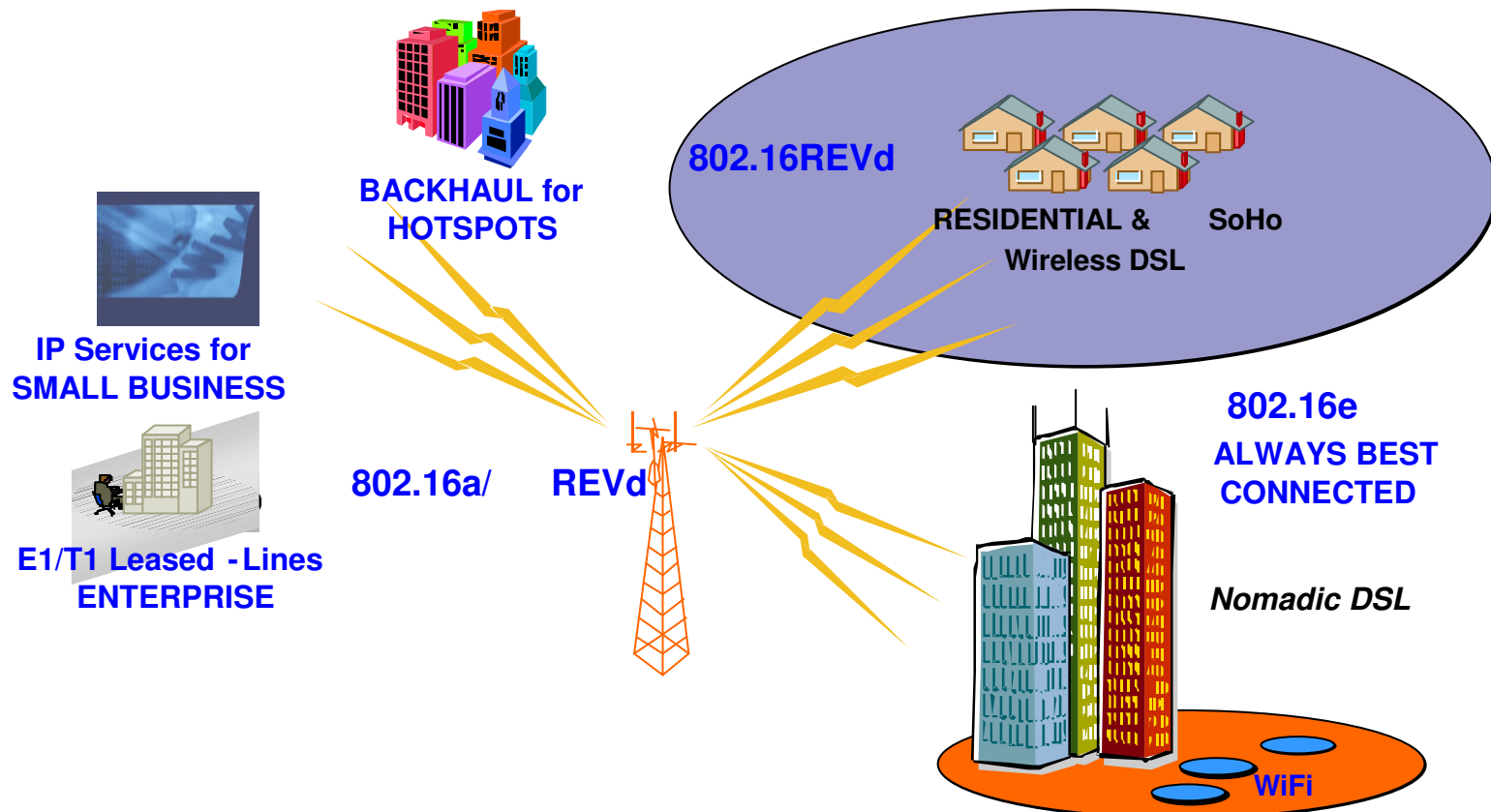
Scenari territoriali

Point-to-multipoint (PMP) network



WiMAX: Come puo' essere usato

- Servizi offerti in base alla versione dello standard



WiMAX: Posizionamento

	Uso fisso	Uso Nomadico in zone limitate (hotzone)	Uso in mobilita' Limitata
Target	Business Residenziale	Viaggiatori Business Residenziale	Viaggiatori Business Residenziale
Servizi	Accesso Internet + voce	Accesso Internet + MM (Multi Media sia Real Time che non Real Time)	Accesso Internet + MM Dervizi non Real Time in mobilita'
Disponibilita' della tecnologia	802.16a/REVd 1Sem2005	802.16REVd 2Sem2005	802.16e 2006
Disponibilita' del terminale	CPE Fisso LOS 1Sem2005 CPE Fisso NLOS 2Sem2005	Chipset o PCMCIA in Laptop 1Sem2006 Dual-modeWiFi/WiMAX	Chipset o PCMCIA in Laptop e PDA 2006
Soluzione alternativa	DSL WIP/2way sat	WLAN Pubbliche 2.4G/3G	3G-HSDPA, TDD-UMTS
			802.30, 4G

Performance

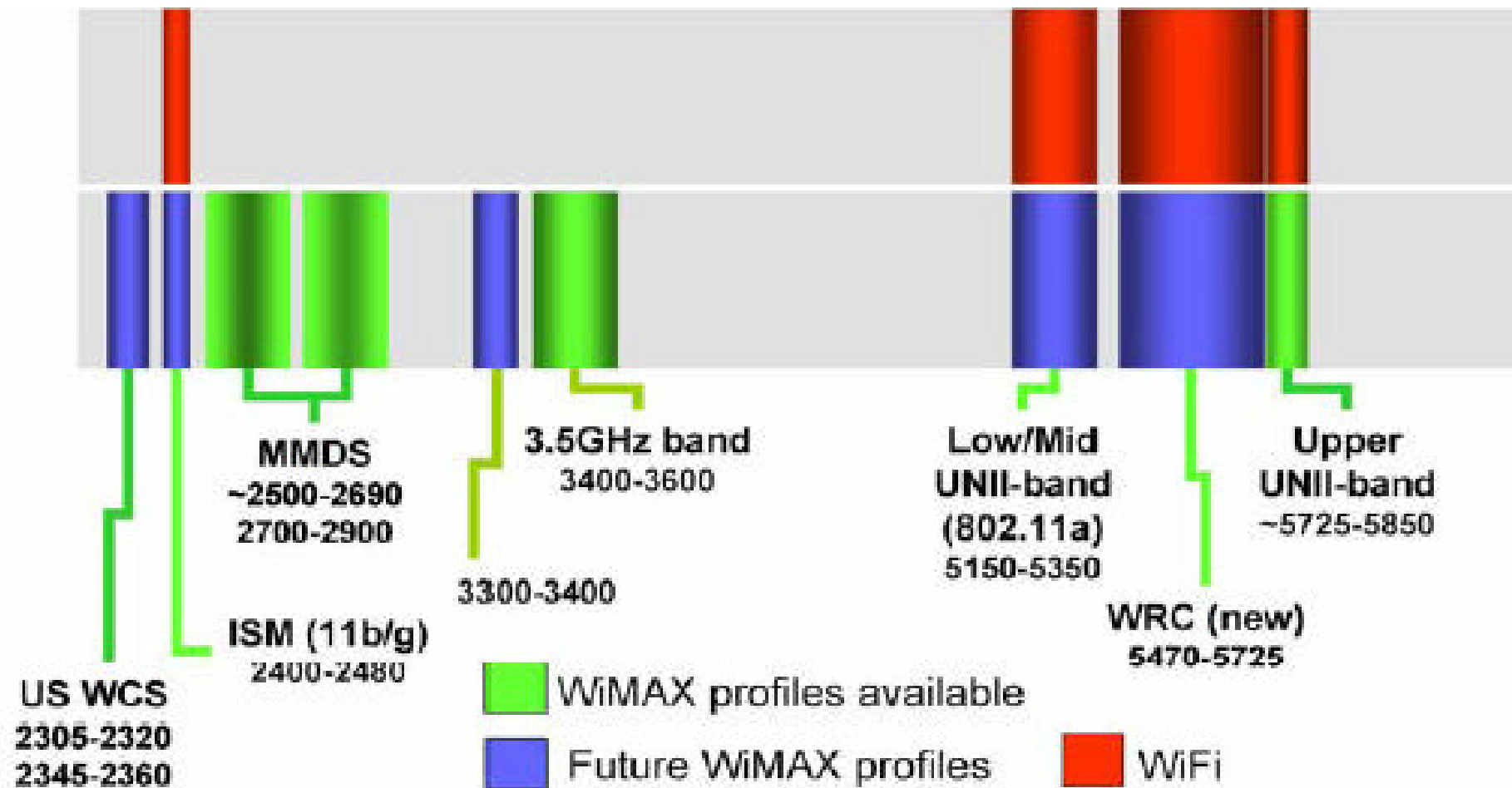
- **Rapidità d'installazione**
- **Alto Throughput fino a 100 Mbps (Applicazioni LOS)**
- **Throughput fino a 70 Mbps (Applicazioni NLOS)**
- **Collegamenti fino a 30Km**
- **Propagazione NLOS nel range 2-11 GHz**
- **Alta utilizzazione dello spettro (5 bps/Hz)**
- **Supporta la Qualità del Servizio per voce e video**

Banda e copertura teoriche

	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64-QAM 3/4
1.75 MHz	1.45	2.18	2.91	4.36	5.82	6.55
3.5 MHz	2.91	4.36	5.82	8.73	11.64	13.09
7.0 MHz	5.82	8.73	11.64	17.45	23.27	26.18
14.0 MHz	11.64	17.45	23.27	34.91	46.55	52.36
20.0 MHz	16.26	24.40	32.53	48.79	65.05	73.19

	Rooftop Antenna	Window/Fixed Antenna	Indoor/Portable Antenna
Rural	< 20 Km	< 8 Km	< 4 Km
Suburban	N/A	< 4 Km	< 2 Km
Urban	N/A	< 2 Km	< 1 Km

Frequenze

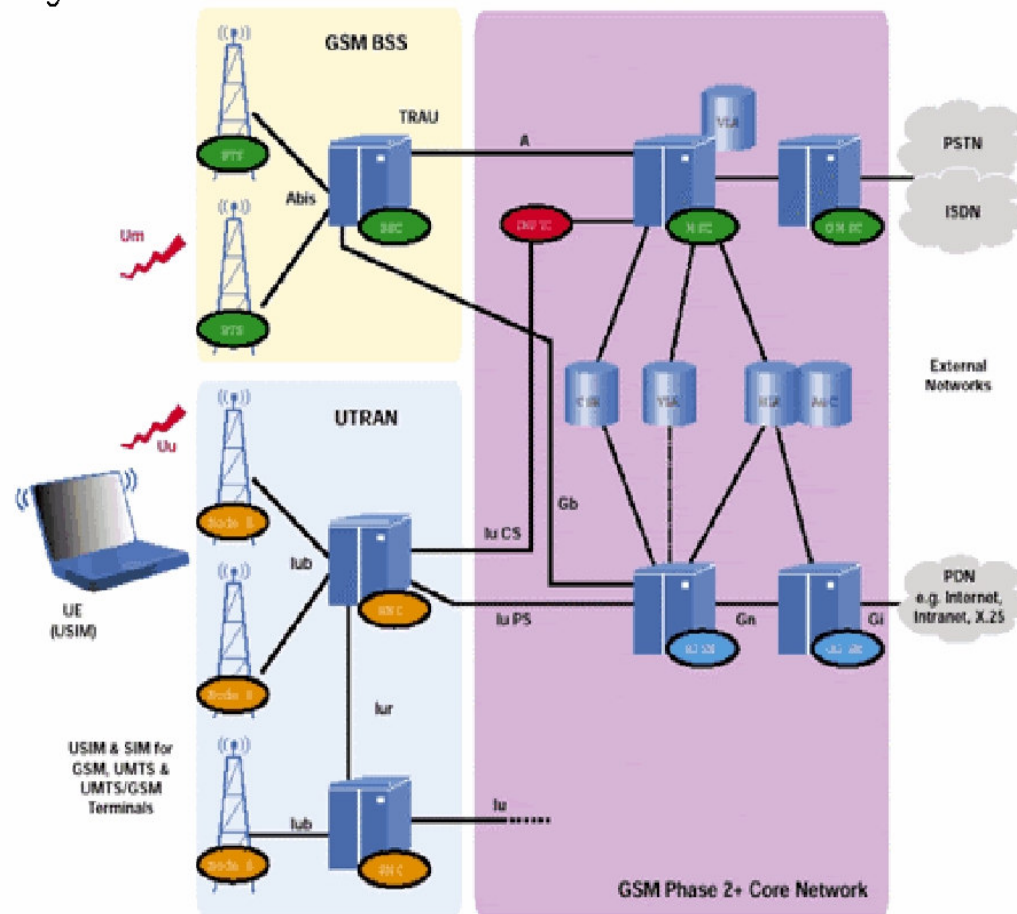


ISM: Industrial, Scientific & Medical Band – Unlicensed band

UNII: Unlicensed National Information Infrastructure Band – Unlicensed band

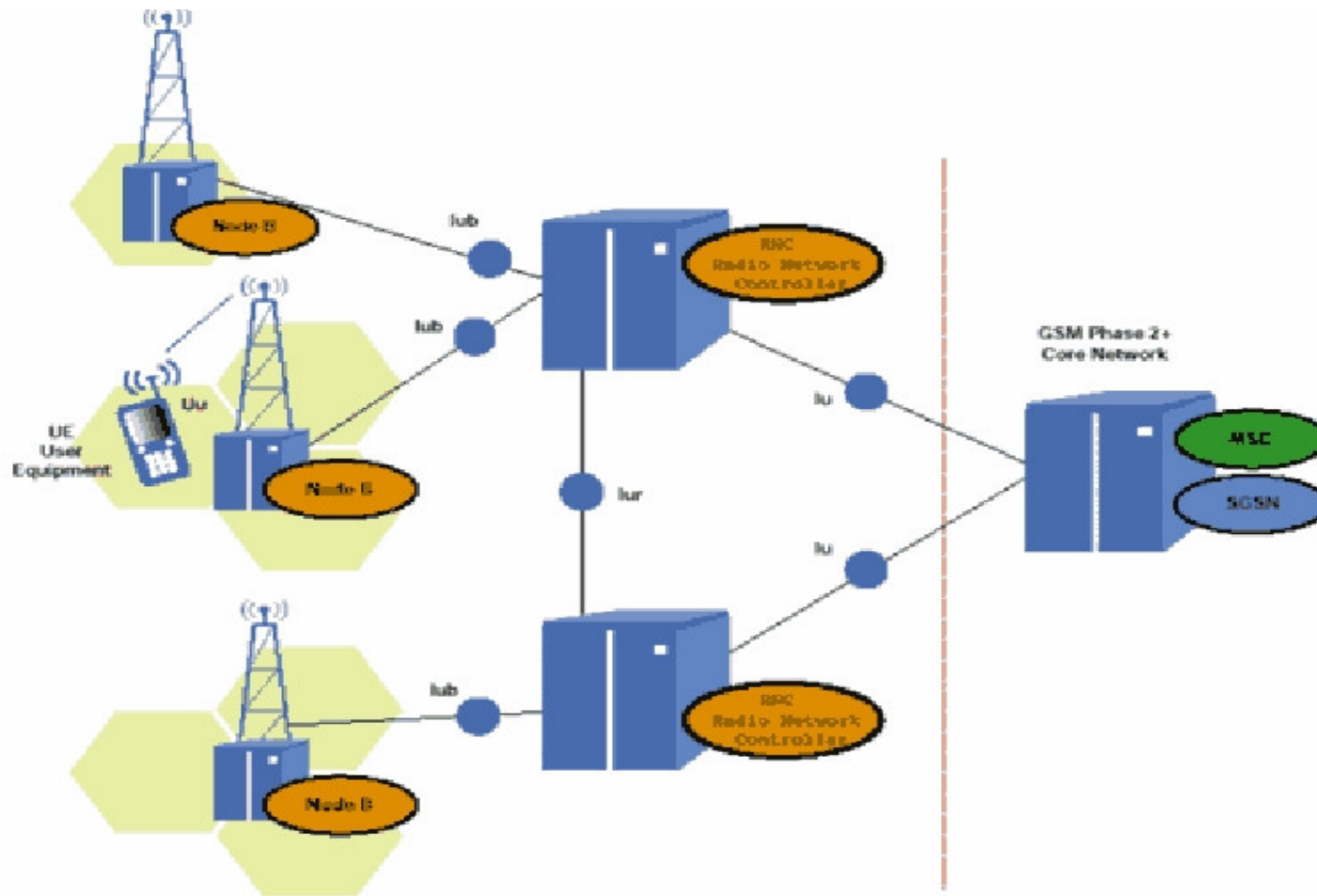
Comparazione con altre tecnologie: UMTS

- UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) implementa lo standard 3G codificato da 3GPP
- Da 2G a 3G
ETSI nella fase GSM-2 ha inserito IN, CAMEL, HSCSD, GPRS, ED
- UMTS utilizza la core network GSM-2+, ma implementa W-CDMA (interfaccia radio UTRA)
- Implementa nuove interfacce tra RNC e CN
- Voice Centric
- Offre circa 300 kbps non in grado di migrare l'ADSL su mobile, superato da WiMAX, rimane innovativo a livello di CN (SIP)



Comparazione con altre tecnologie: UMTS

- UMTS fase 1



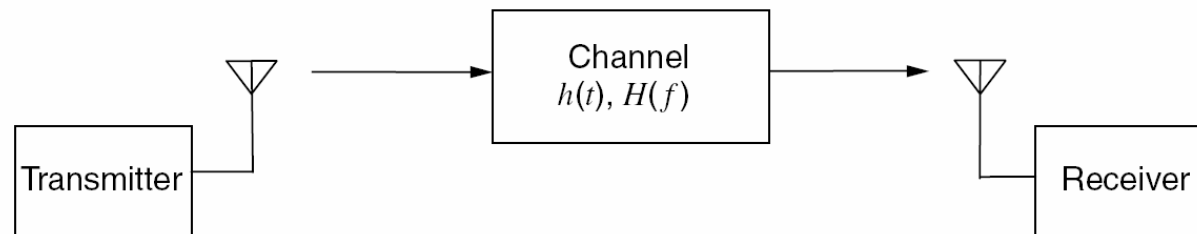
Comparazione con altre tecnologie BWA

- Hyperlan: lavora su bande non licenziate nella banda 5,4 – 5.7 GHz
- 802.20 offrire un Mbps ad utenti mobili fino a 250 Kmph
- WiBRO (proprietario, implementato da TI)
- Flash OFDM (Lucent, un all IP wireless Radio Router a bassa latenza)
- UMTS TDD (basati su W-CDMA)
- TD-CDMA,
- 1xEV-DO (Evolution Data Only), EV-DO Revision A
- Broadband cellular HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) , HSUPA, capaci di raggiungere 1 Mbps

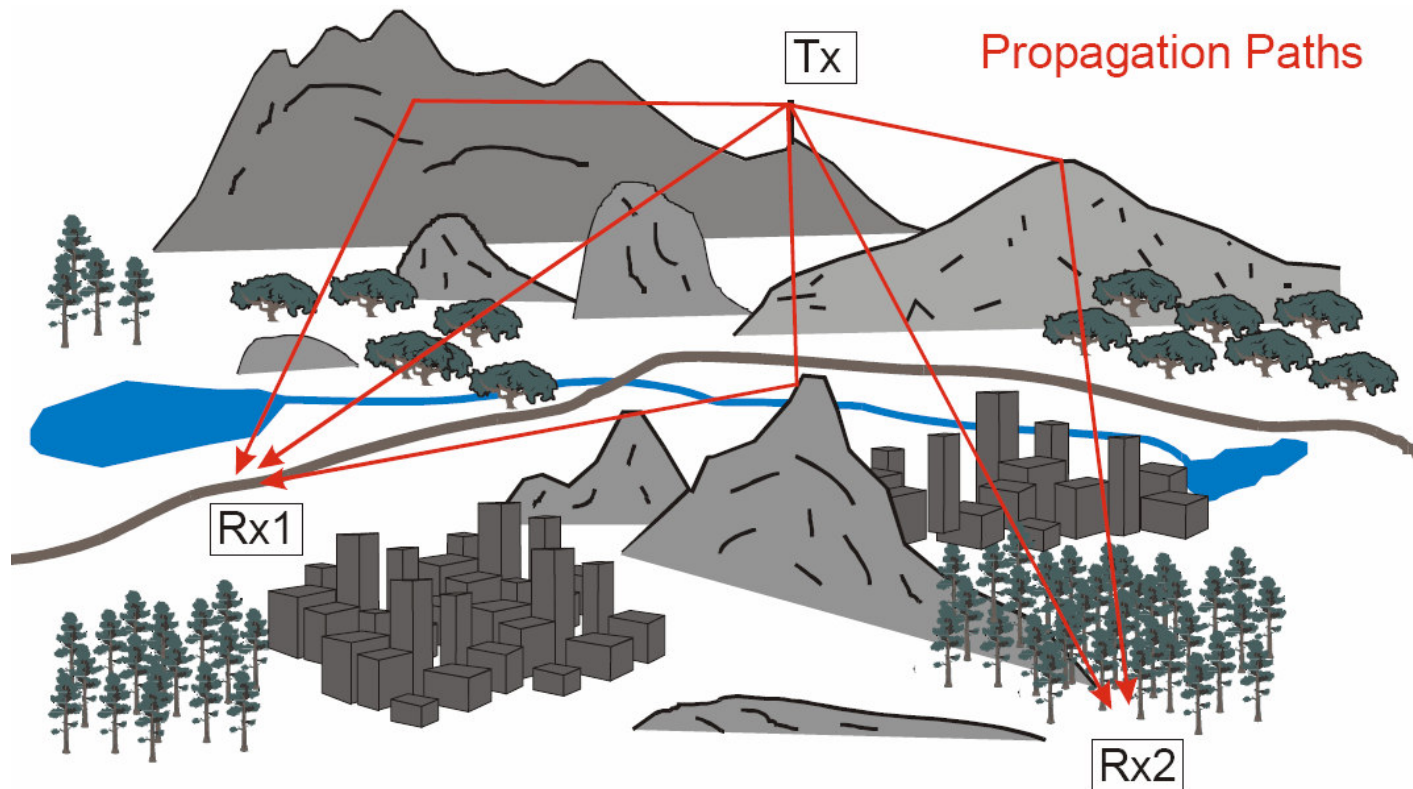
Comparazione con altre tecnologie BWA

Technology	Available	Mobility	Data rate (Mbps)	Comment
HSDPA	End-05	Yes	14.0	Voice/data
UMTS-TDD	Now	Yes	12.0	Data/VoIP
TD-SCDMA	2006	Yes	2.0	Voice/data
1xEV-DO	Now	Yes	2.4	Voice/data
1xEV-DO Rev. A	End-05	Yes	3.1	Voice/data
802.16d	3Q05	No	40.0	Data/VoIP
802.16e	Mid-06	Yes	15.0	Data/VoIP
802.11a/b/g	Now	Limited	54.0	Data/VoIP
FLASH-OFDM	Now	Yes	3.2	Data/VoIP

Propagazione EM



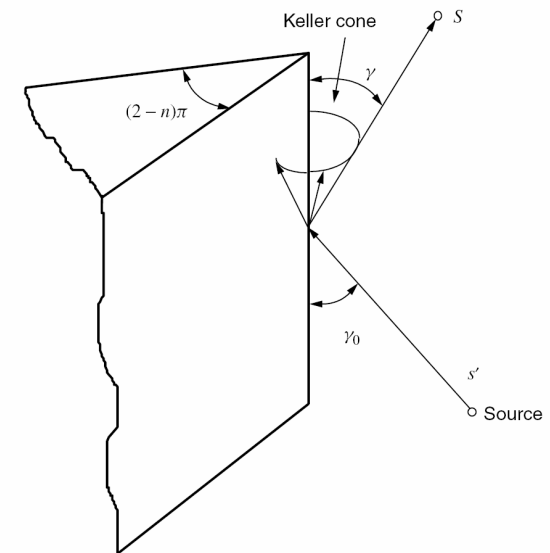
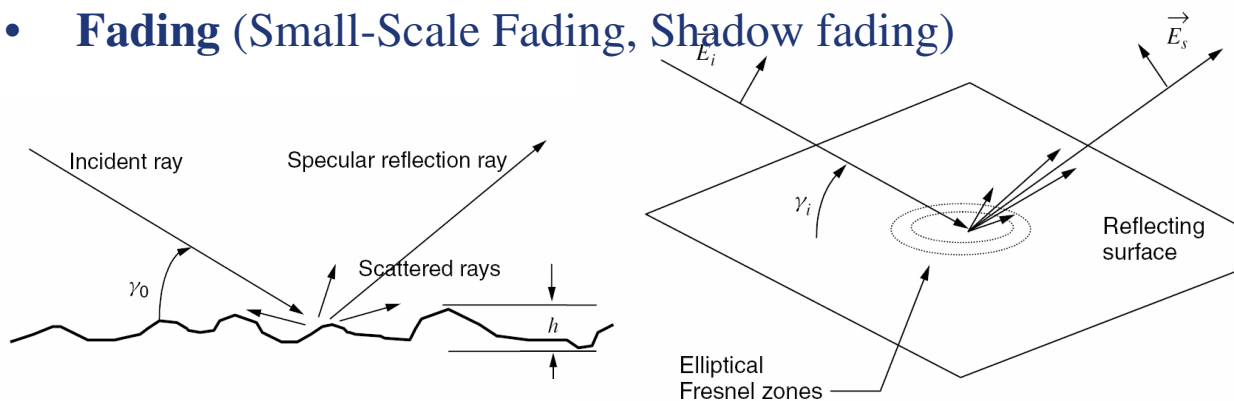
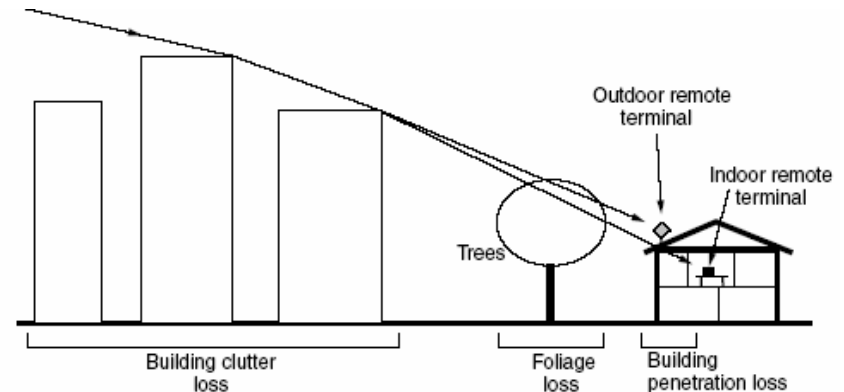
Fisica della propagazione EM





Fenomeni di propagazione EM

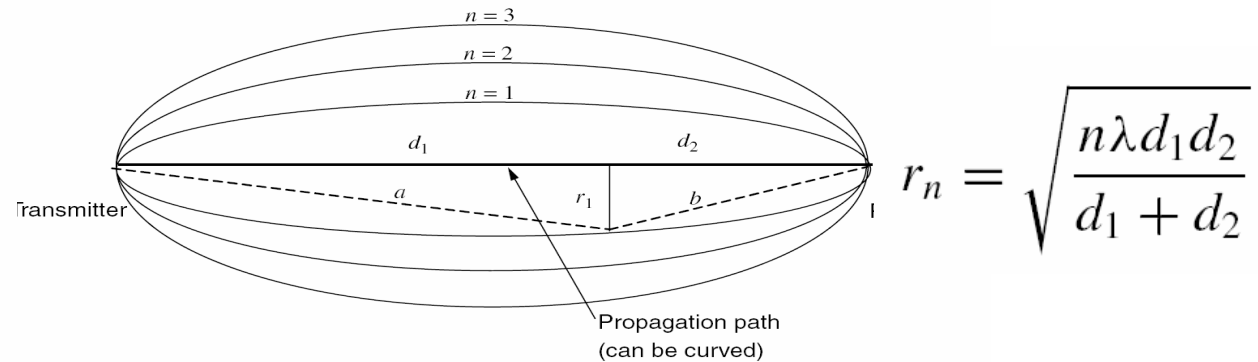
- **FREE-SPACE** propagation
- **Riflessione/ Trasmissione**
- **Diffrazione** (uniform theory of diffraction UTD
- ...Keller, Kouyoumjian and Pathak)
- **Scattering** (Rayleigh criterion)
- **Rifrazione/assorbimento** atmosferico
- **Depolarizzazione**
- Costanti dielettriche (complesse) – (Edifici, fogliame, etc.)
- Interazioni multiple, fenomeni di **Multipath**
- **Fading** (Small-Scale Fading, Shadow fading)



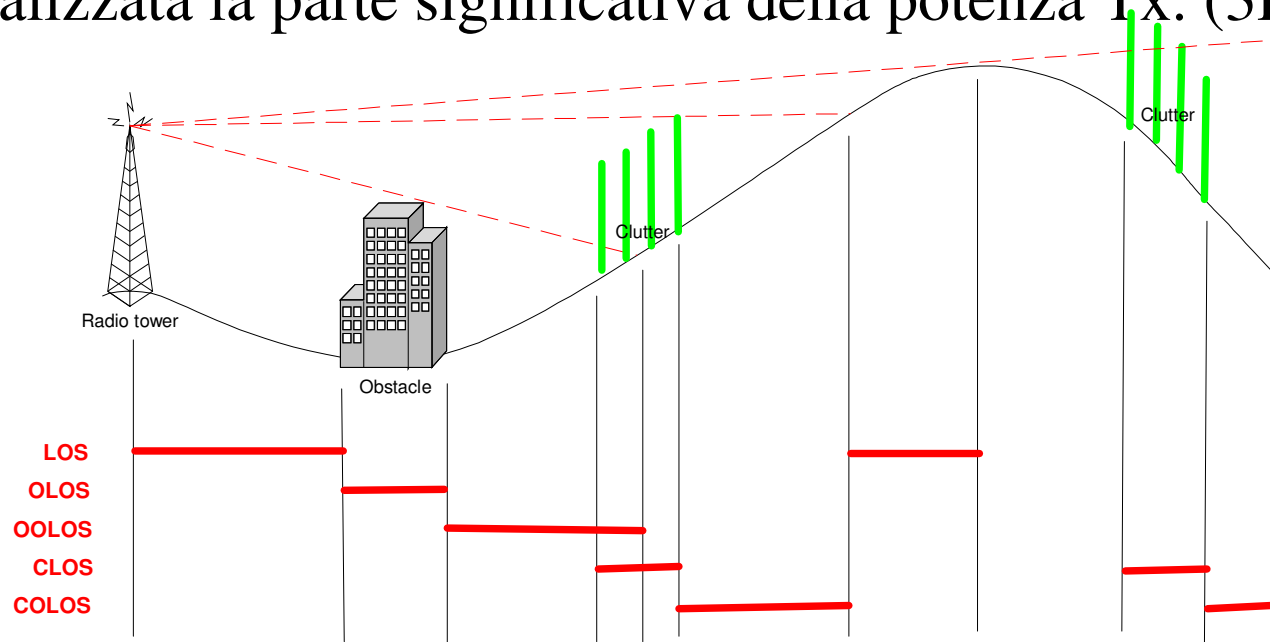
FRESNEL ZONES AND PATH CLEARANCE

luogo dei punti

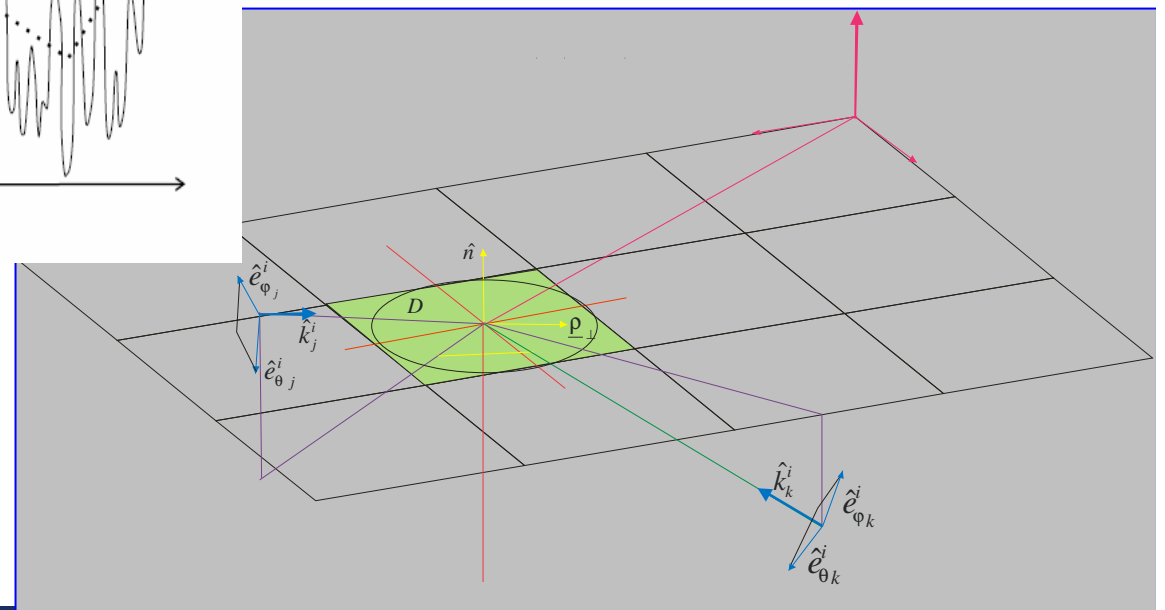
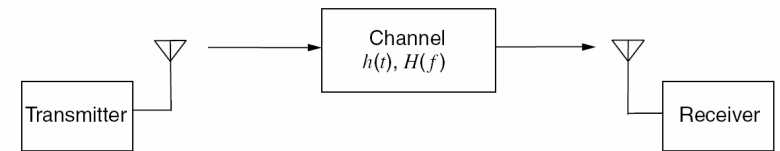
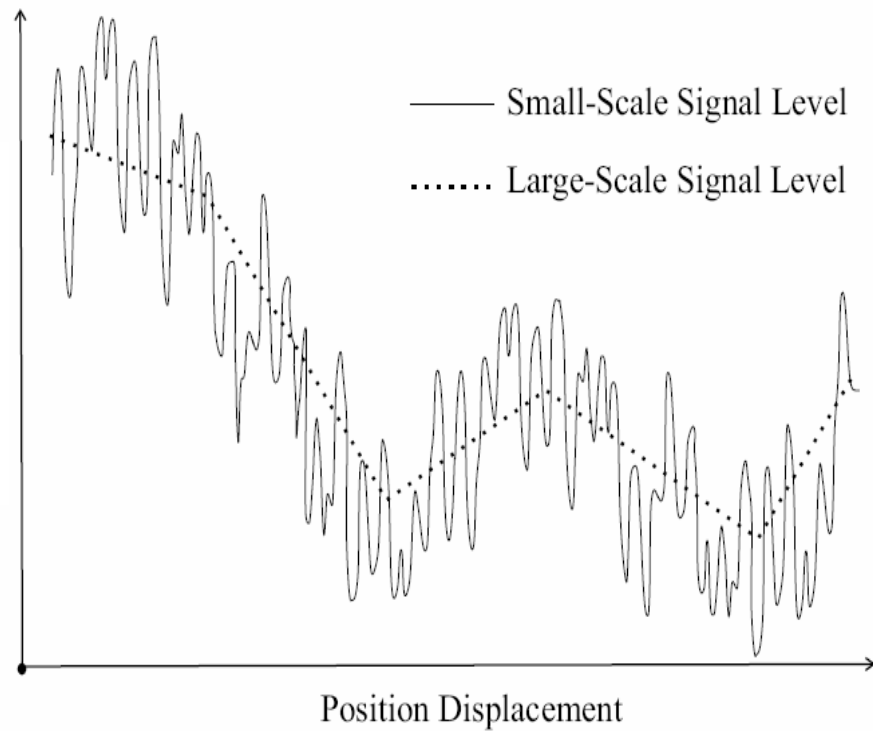
$$d_1 + d_2 + \frac{n\lambda}{2} = a + b$$



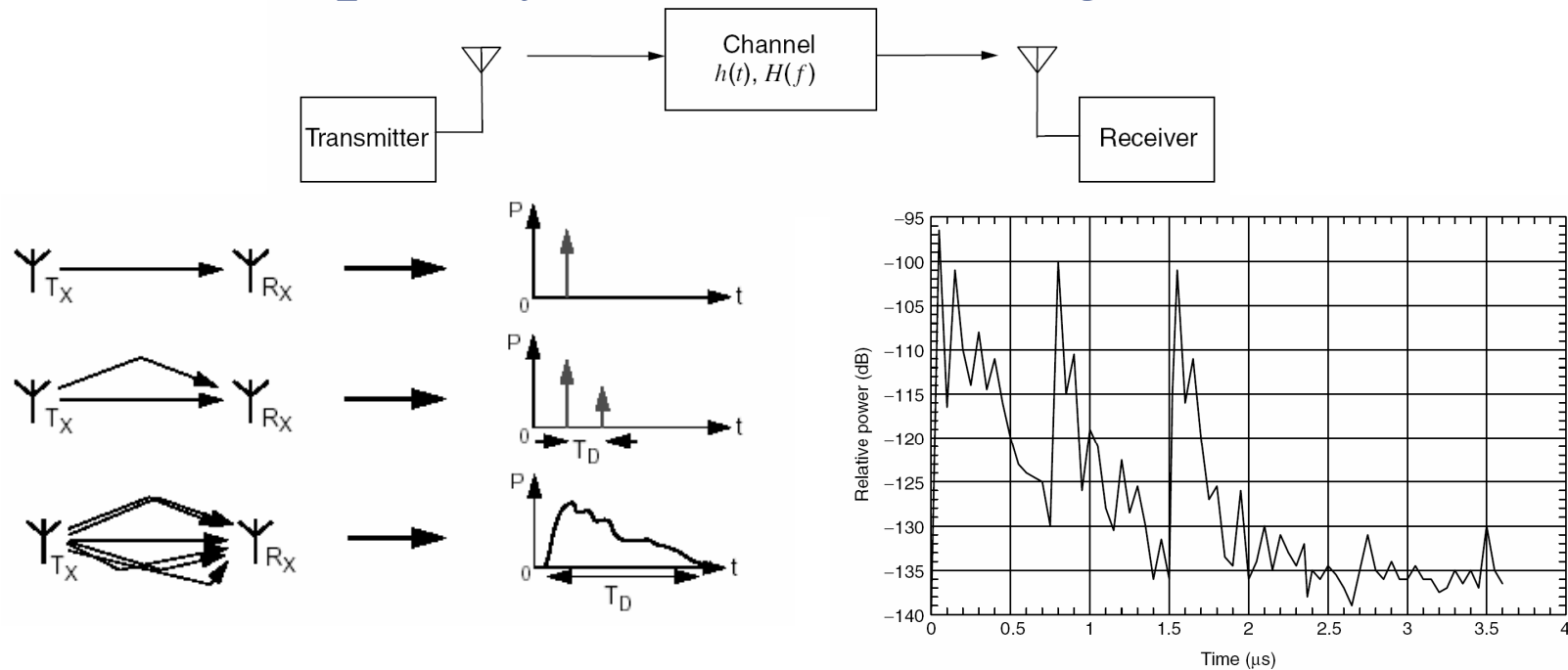
La prima zona di Fresnel: essenzialmente la regione dove e' localizzata la parte significativa della potenza Tx. (3D!)



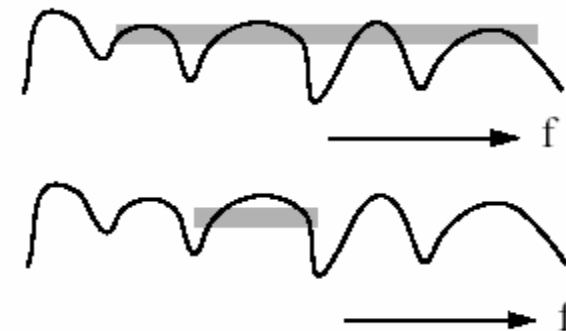
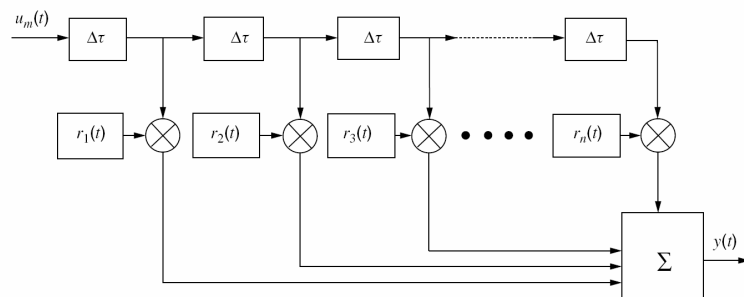
Fading



Frequency-selective fading channels



Canali dispersivi (delay-spread) $\rightarrow$ inter-symbol interference (ISI)



Il canale radio / Relazioni di dualita'

I canale wireless e' *time-varying, space-varying e frequency selective*.

- Il canale wireless e' pensabile come un *processo stocastico*
- Funzioni di autocorrelazione -> *spectrum* - Trasf. *Fourier*
(*tempo, frequenza, spazio*) -> (*Doppler, delay, wavevector*)
- Al crescere dello spread dualmente la selettivita' del canale (*temporale, frequency, spatial*) aumenta e la coerenza (*time, bandwidth, distance*) diminuisce

wavevector - spettro angolare degli angoli di arrivo del multipath

[*processi WSS - F.T. autocorrelazione <-> Power spectrum*]

Relazioni di Dualita'

Domain Pairs	Transform	Inverse Transform
frequency, $f \iff$ delay, τ	$\int_{-\infty}^{+\infty} \{ \} \exp(j2\pi\tau f) df$	$\int_{-\infty}^{+\infty} \{ \} \exp(-j2\pi\tau f) d\tau$
position, $\vec{r} \iff$ wavevector, $\vec{k}$	$\int_{-\infty}^{+\infty} \{ \} \exp(-j\vec{k} \cdot \vec{r}) d\vec{r}$	$\frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{+\infty} \{ \} \exp(j\vec{k} \cdot \vec{r}) d\vec{k}$
time, $t \iff$ Doppler, ω	$\int_{-\infty}^{+\infty} \{ \} \exp(-j\omega t) dt$	$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \{ \} \exp(j\omega t) d\omega$

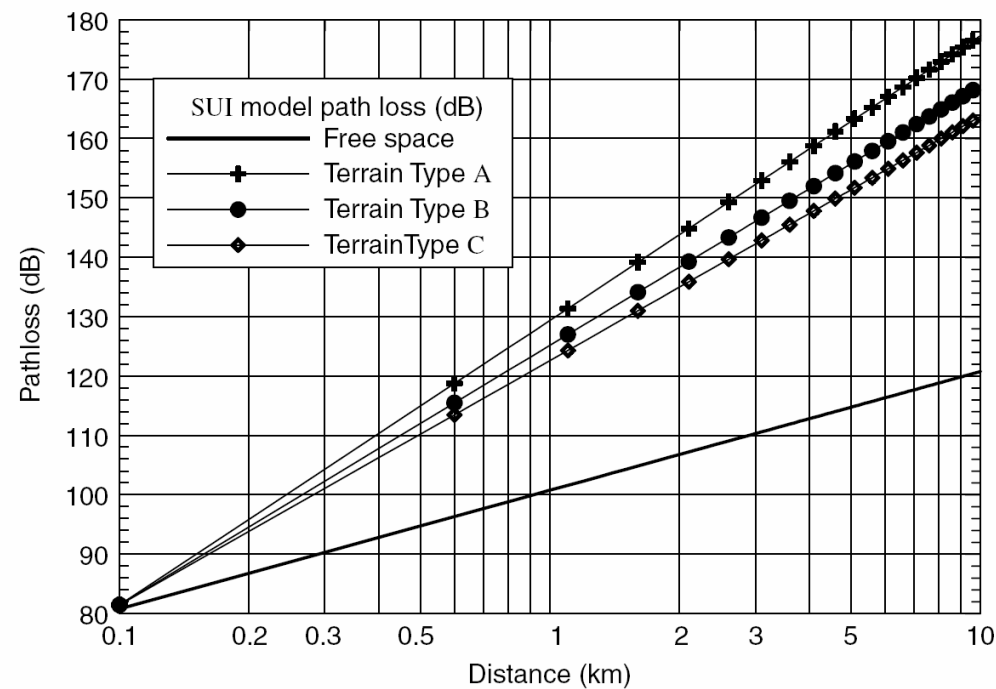
	<i>Time</i>	<i>Frequency</i>	<i>Space</i>
Dependency	time, t	frequency, f	position, $\vec{r}$
Coherence Window	time, T_c	bandwidth, B_c	distance, D_c
Spectral Domain	Doppler, ω	delay, τ	wavevector, $\vec{k}$
RMS Spectral Width	Doppler spread, σ_ω	delay spread, σ_τ	wavenumber spread, σ_k

Radio Propagation Modelling/ geographical coverage

RF planning e' cruciale per un efficiente deployment.

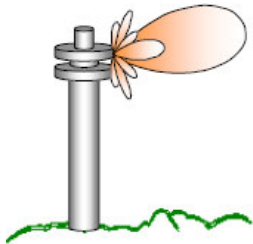
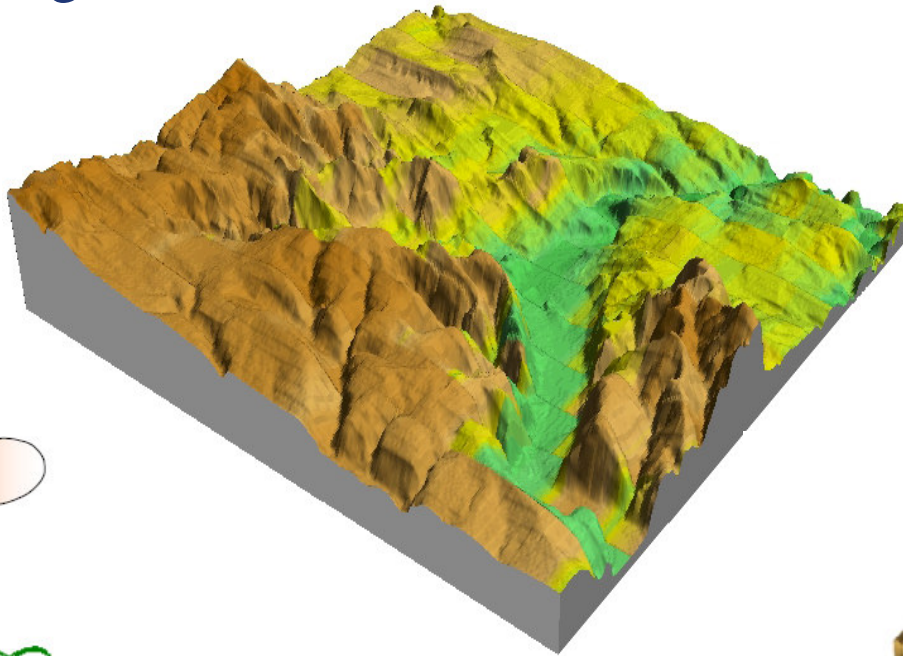
- **Teorici/ probabilistici** (Bello, Turin, Suzuki, Hashemi)
- **Empirici** (Okumura, COST-231 Hata model, SUI, etc)
- **Fisici/deterministici** (Epstein–Peterson, Deygout... ray tracing)
(site specific/cartographic & building database)

Modelli IEEE 802.16 Stanford University Interim (SUI)



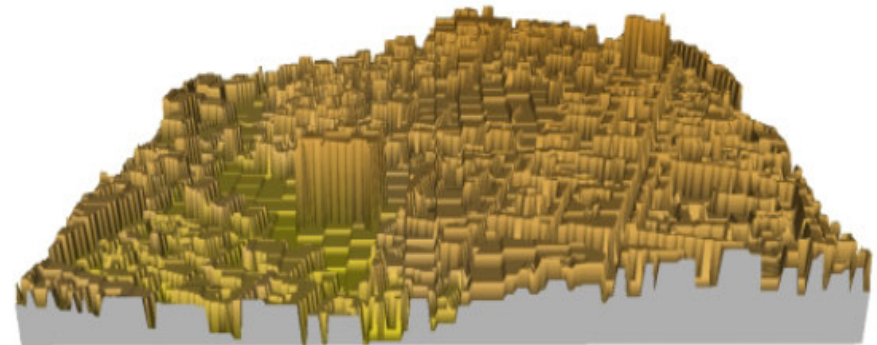
Modellistica Scenario

DTM – Digital Terrain Model

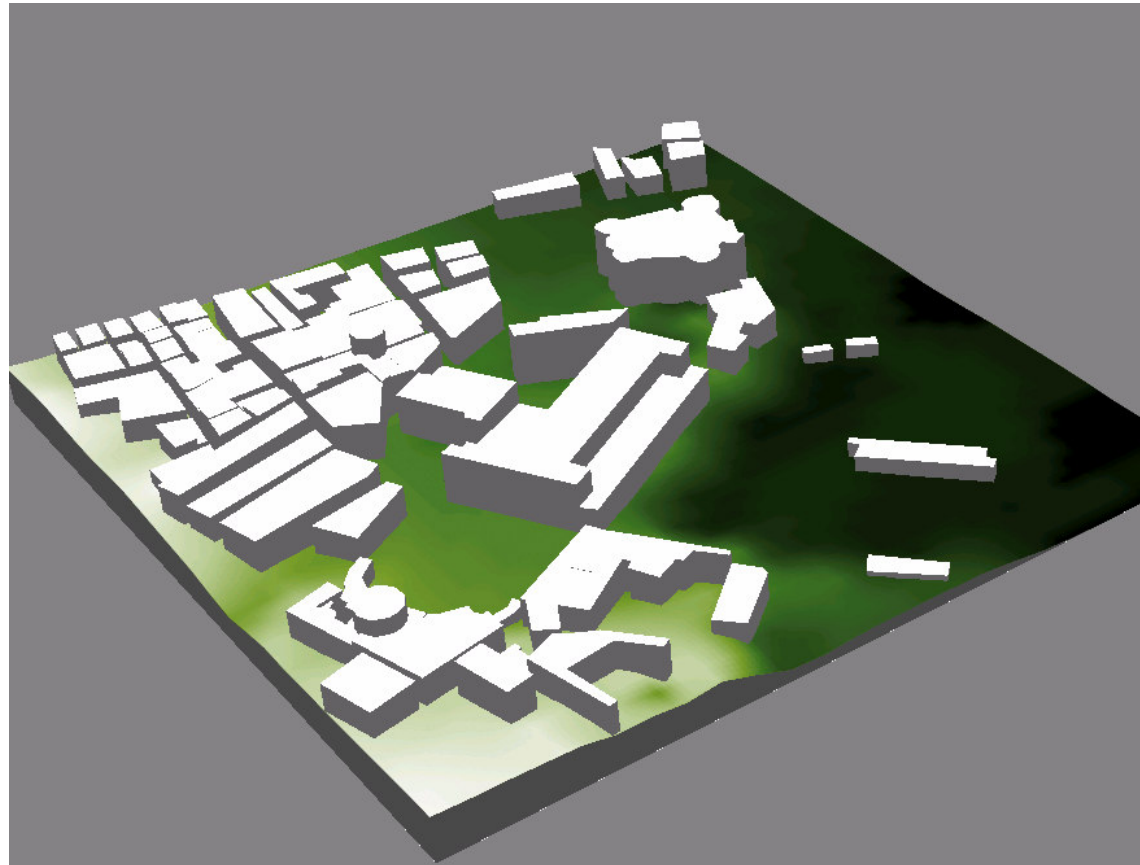


		Source				
		Paper Maps	SAR Satellite Data	Satellite Images	Aerial Photography	Laser Scanning
Resolution	1000m	x				
	500m	x				
	200m	x				
	100m	x	x			
	50m	x	x			
	25m	x	x	x		
	10m	x		x	x	
	5m	x			x	x
	1m	x			x	x

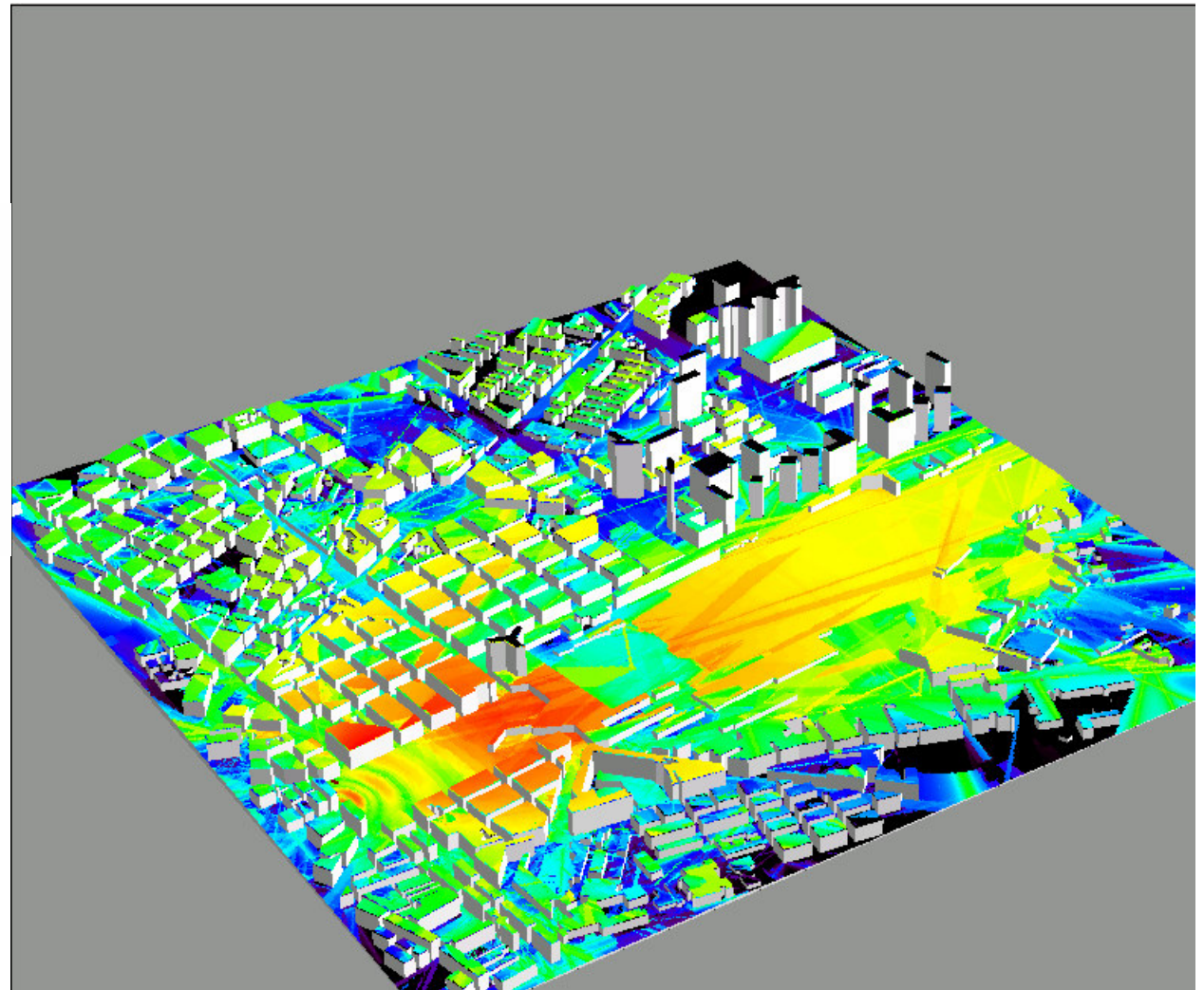
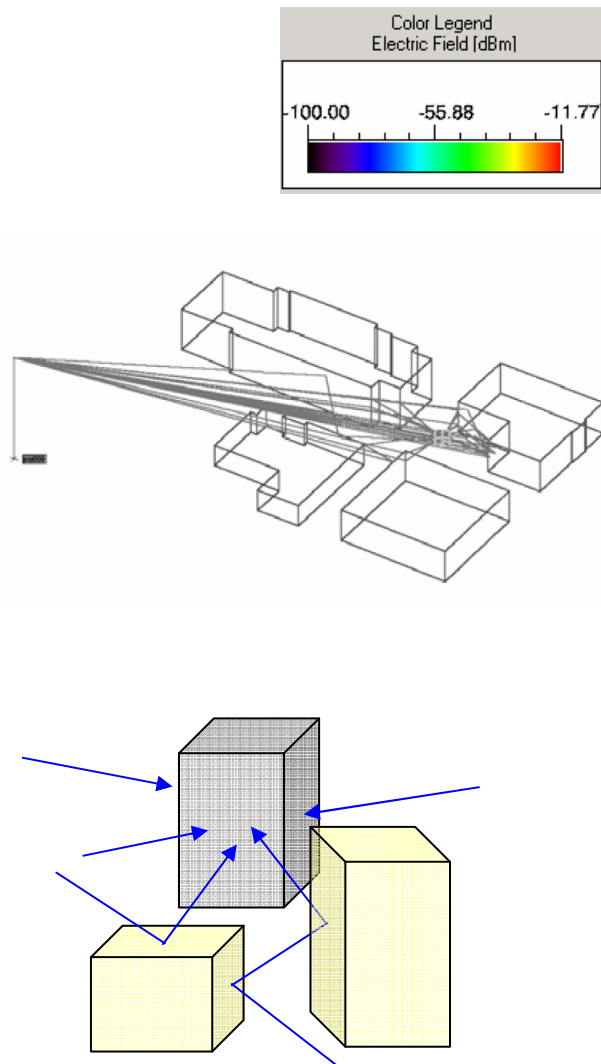
DEM – Digital Elevation Model



Scenario urbano. Edificato – dati vettoriali+raster

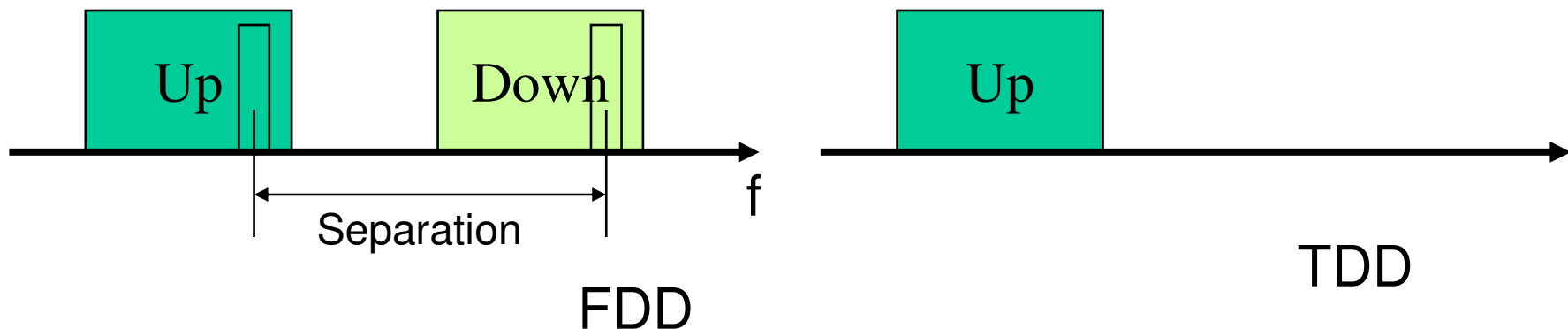


Tecniche di Ray Launching



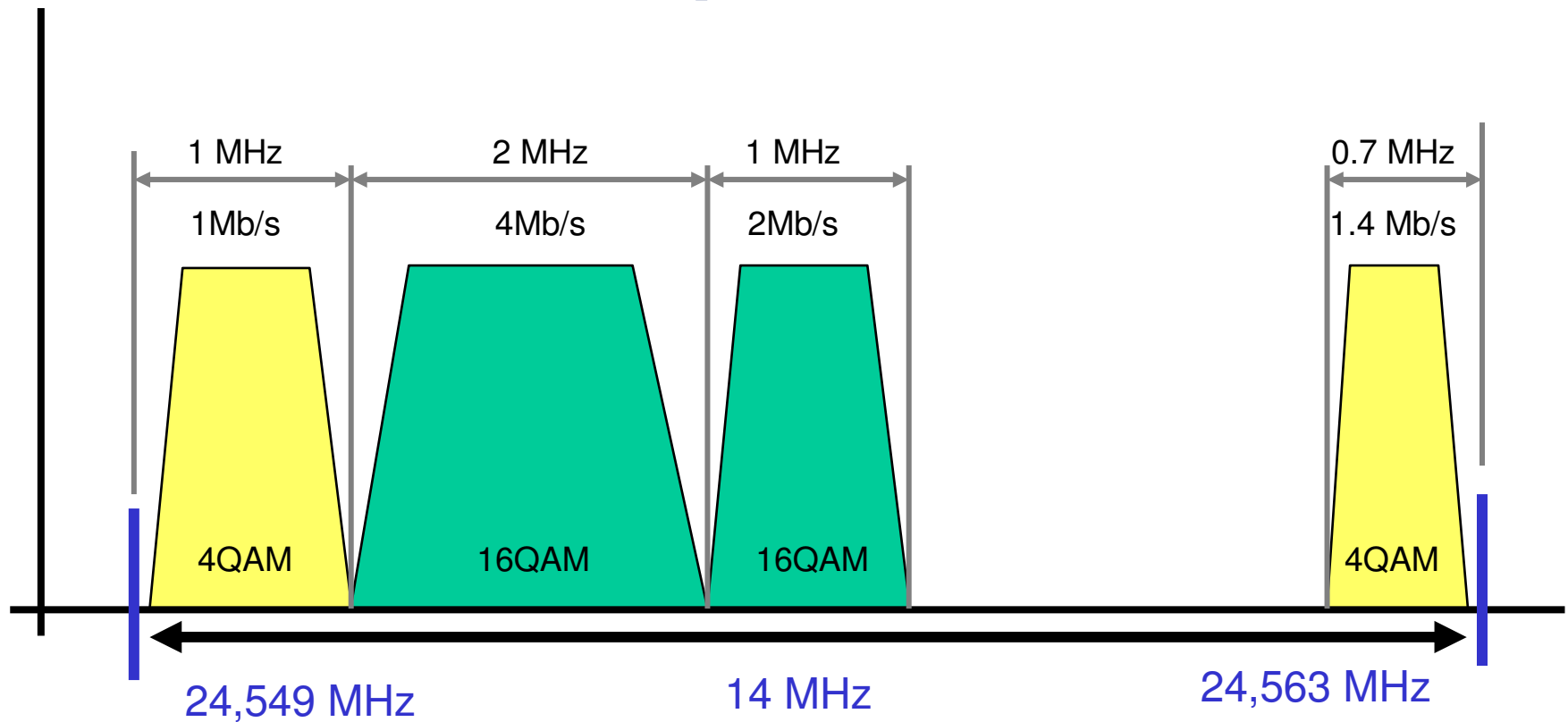
Tecnologia: Le basi TDD vs FDD

- Una trasmissione full-duplex puo' essere implementata attraverso:
 - FDD - Frequency Division Duplex
 - Due blocchi di banda, separati in frequenza
 - Un blocco per l'uplink, uno per il downlink
 - TDD - Time Division Duplex
 - Un solo blocco di banda, separato nel tempo
 - Durante il tempo A per uplink, Durante il tempo B downlink



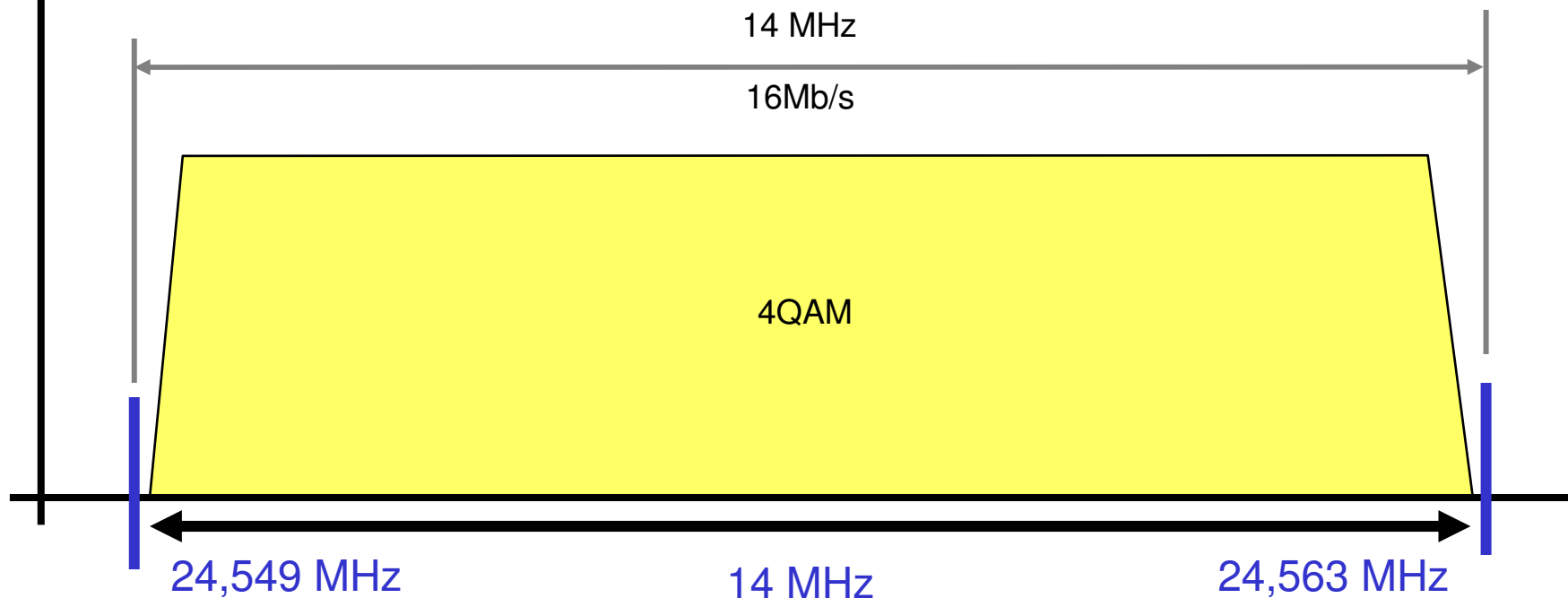
Tecnologia: FDMA

- La banda disponibile e' divisa e allocata ai vari utenti
- Differenti tecniche di modulazione possono essere usate usate



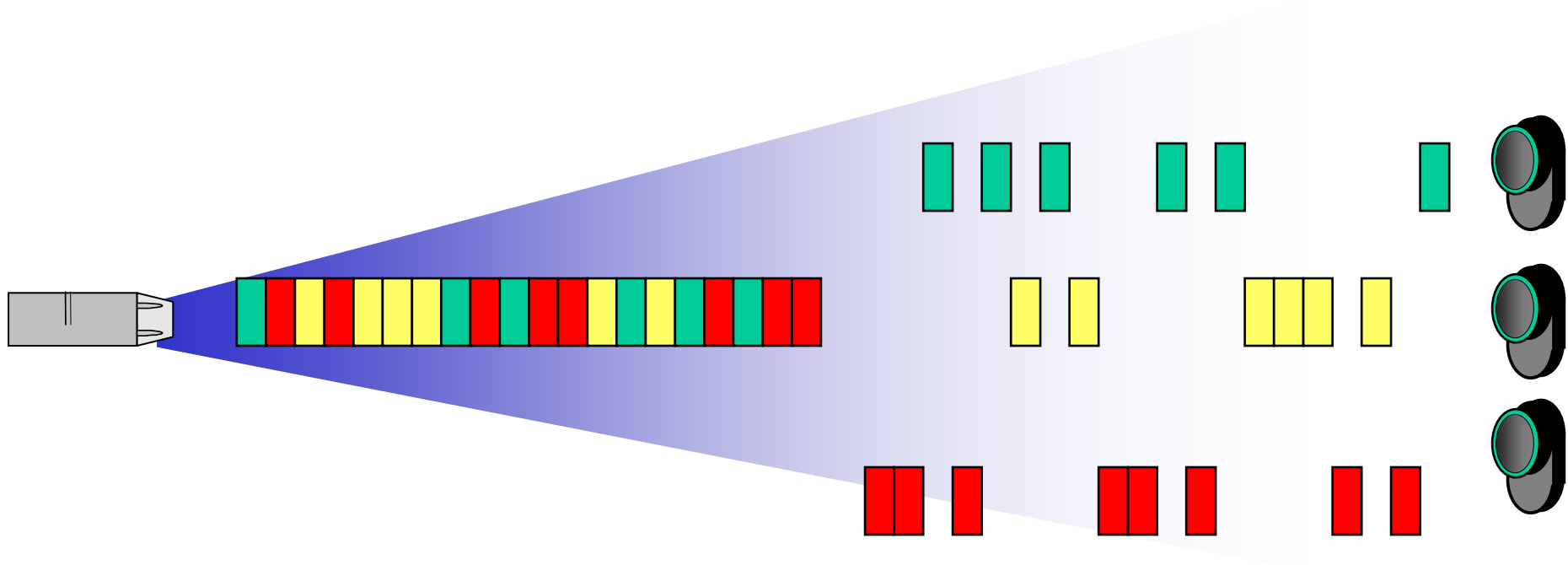
Tecnologia: TDMA

- TDM/TDMA: Tutta la banda e' allocata su un singolo segnale broad-band signal.



Tecnologia: TDMA

- Tutta la banda e' allocata a un singolo segnale broad-band
- Downstream e' Time Division Multiplexed
- Upstream e' Time Division Multiple Access
- Agli utenti vengono assegnati "timeslots" per trasmettere i dati



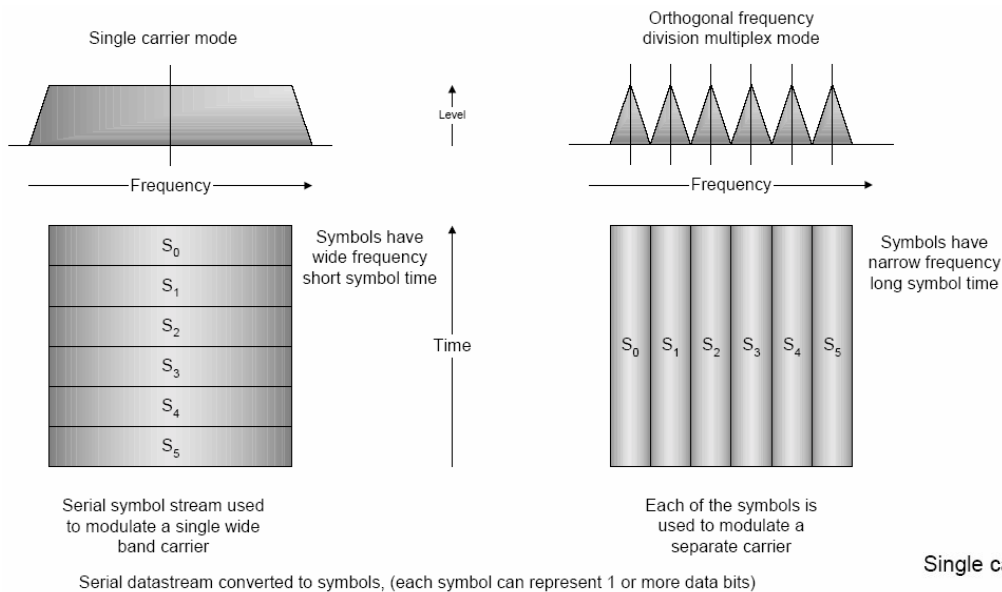
Tecnologia: OFDM in WiMAX

Lo standard 802.16 specifica 2 differenti tipi di OFDM:

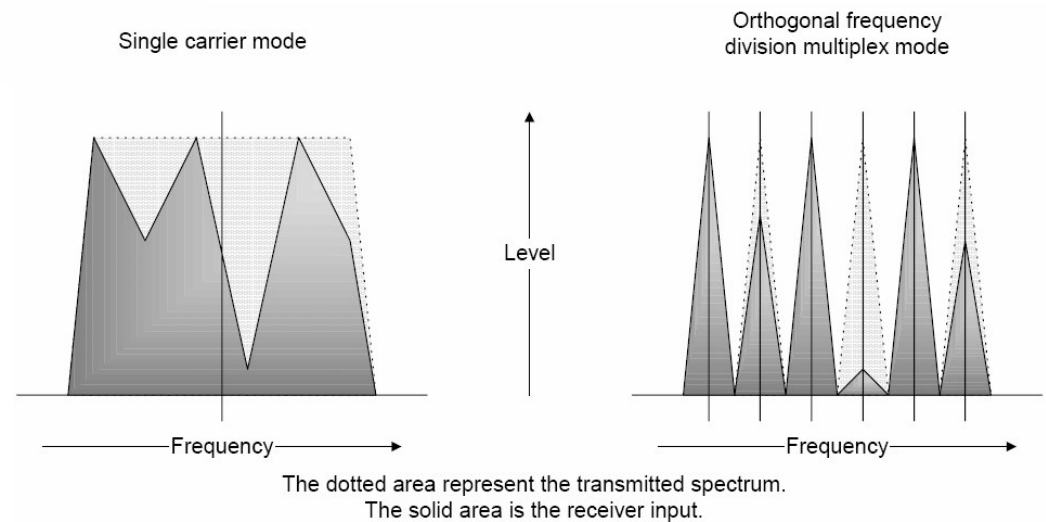
- OFDM
 - FFT a 256 punti
 - Tutte le SS trasmettono insieme
 - Downlink TDM e Uplink TDMA
- OFDMA
 - FFT a 2048 o 4096 punti, divisa in sub-channels
 - In ogni canale possono essere usate differenti modulazioni (QPSK, 16 or 64-QAM)
 - Assegnazione ai sub-channels in downlink dal MAC

Single carrier VS OFDM

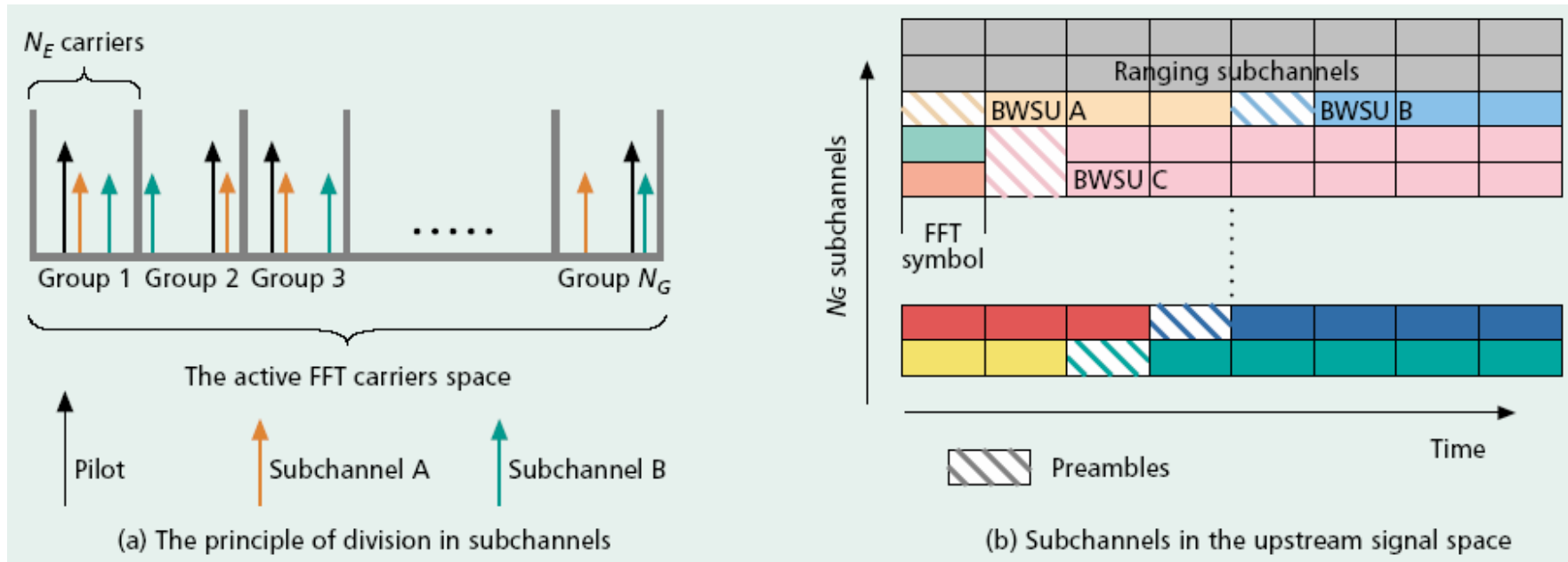
Differenza nel
segnale trasmesso



Differenza nel
segnale ricevuto

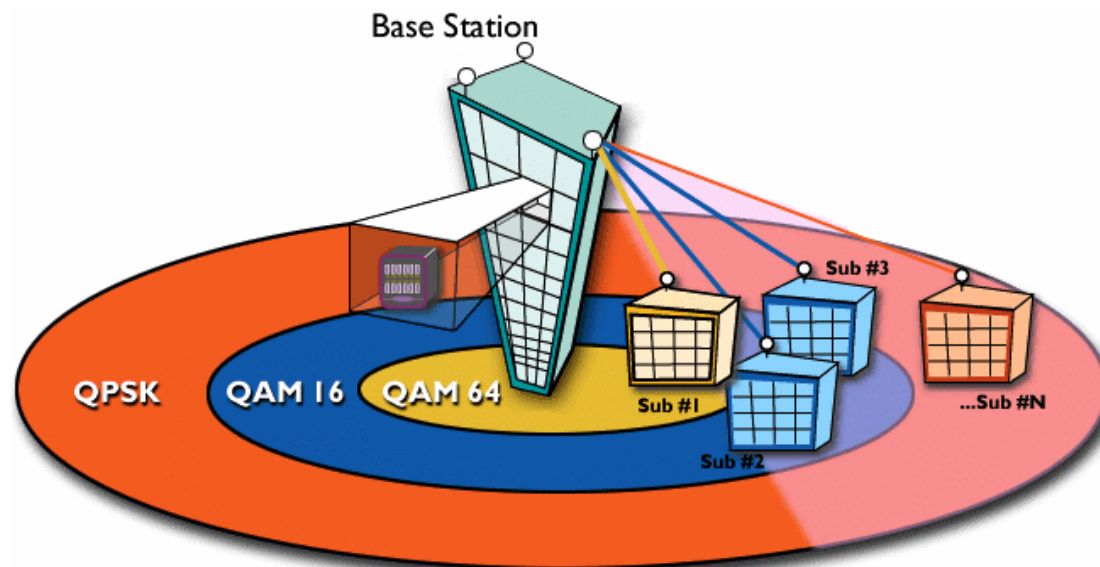


OFDMA



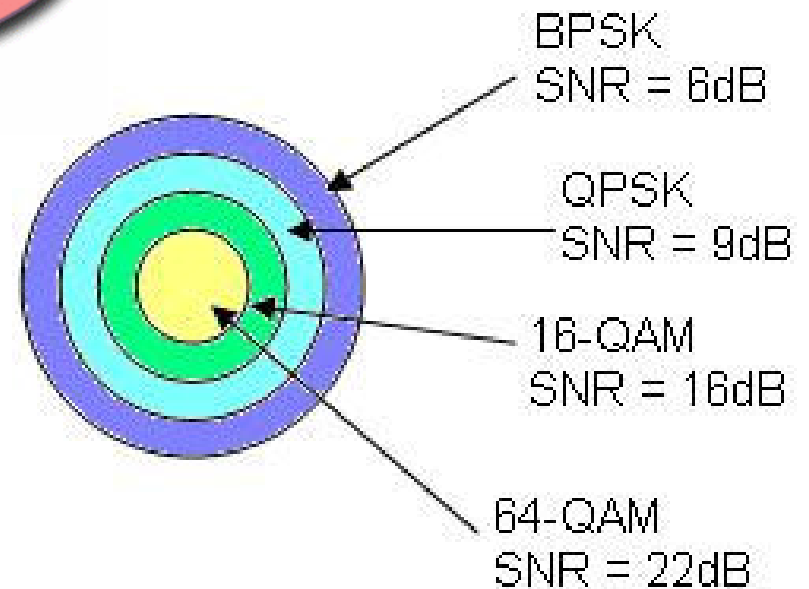
Vantaggi OFDMA: drastica riduzione dell'interferenza Intersimbolica, maggiore robustezza ai rumori (selettivi)

Modulazione adattativa



Se SNR è buono (22dB), il sistema può passare alla modulazione che garantisce il più alto throughput, la 64-QAM.

La modulazione adattativa permette ad un sistema WiMAX di aggiustare lo schema di modulazione in accordo con SNR del link radio.

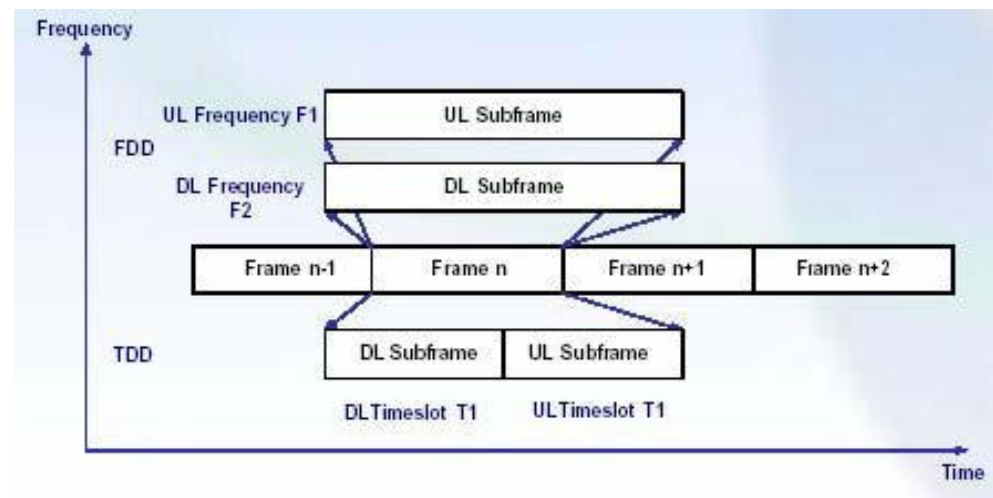


Modulazioni disponibili

Data rate (Mbps)	Modulazione	Coding rate	Code bits per OFDM symbol	Data bits per OFDM symbol	Min. SNR
6	BPSK	1/2	48	24	6 dB
9	BPSK	3/4	48	36	7 dB
12	QPSK	1/2	96	48	9 dB
18	QPSK	3/4	96	72	11 dB
24	16-QAM	1/2	192	96	14 dB
36	16-QAM	3/4	192	144	18 dB
48	64-QAM	2/3	288	192	22 dB
54	64-QAM	3/4	288	216	23 dB

TDD/FDD

- **Time Division Duplex (TDD)**
 - SS non riceve/trasmette simultaneamente (cost più bassi)
 - DL&UL usano la stessa RF
- **Frequency Division Duplex (FDD)**
 - Tx/Rx simultaneo
 - DL&UL usano separati RF canali
 - SSs supportano half duplex



Tecniche di controllo d'errore

Due metodi per il controllo di errore a livello PHY: FEC e ARQ

↑ FEC:

- ↑ 802.16 usa un codice di Reed-Solomon
- ↑ opzione per usare Block Turbo Code per aumentare il throughput e il raggio di copertura della BS.

↑ ARQ:

- ↑ meccanismo opzionale
- ↑ parametri ARQ specificati e negoziati durante la creazione o il cambio di connessione
- ↑ connessione non può avere un misto di traffico ARQ e non-ARQ e
- ↑ il traffico ARQ non può essere frammentato.

MAC 802.16

- Accesso al mezzo condiviso, prevenendo trasmissioni simultanee da SS separate.
- Formato da tre sub-layer:
 - MAC Common Part Sublayer (MAC-CPS): fornisce le funzioni di base: Scheduling, Richiesta e Allocazione di banda, Ranging, Controllo di Connessione
 - Service Specific Protocol Layer (MAC-SSPL): interfaccia verso i protocolli di livello superiore (IPv4, IPv6, ATM,...)
 - Privacy Sublayer (MAC-PS): Autenticazione, data encryption

Quality of Service (I)

- Il meccanismo principale con cui sono definite le caratteristiche di QoS è quello di associare ai pacchetti che attraversano l'interfaccia MAC un Service Flow (SF). Un SF è un flusso unidirezionale di pacchetti a cui è fornita una particolare QoS. L'intento primario è quello di definire l'ordine e lo scheduling delle trasmissioni sull'interfaccia aerea. I SF possono esistere sia in uplink sia in downlink e hanno tutti un Service Flow Identifier (SFID) di 32 bit e un Connection Identifier (CID) di 16 bit.
- Le proprietà dei SF sono raggruppate nelle Service Classes, così che le entità dei livelli superiori e le applicazioni esterne possono richiedere i SF con i parametri di QoS in una modalità globalmente coerente.

Quality of Service (II)

- Unsolicited Grant Services (UGS): supporta traffico Constant Bit Rate (CBR) o CBR-like Service Flows (SF), per esempio emulazione T1/E1.
- Real-Time Polling Services (rtPS): supporta real-time SF che generano pacchetti di dimensione variabile su basi periodiche, per esempio video MPEG.
- Non-Real-Time Polling Services (nrtPS): supporta non-real-time SF che richiedono variable size data grant burst type on a regular basis, per esempio FTP.
- Best Effort Services (BE): supporta servizi Internet, per esempio Web surfing.

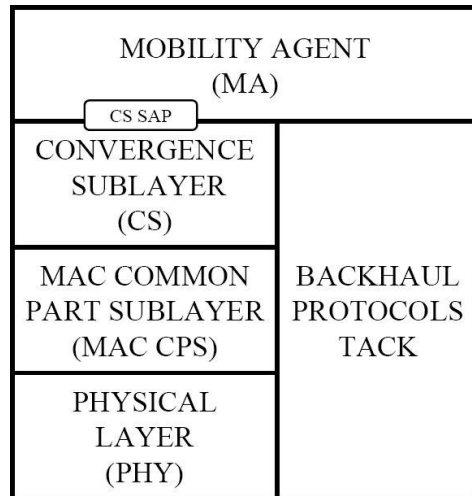
GPSS vs GPC

- Bandwidth Grant per Subscriber Station (GPSS)
 - La base station concede banda alla SS
 - La SS può ridistribuire la banda tra le sue connessioni
 - Adatto per molte connessioni per terminale
 - Basso overhead ma richiede che le SS siano intelligenti
- Bandwidth Grant per Connection (GPC)
 - Base station concede banda ad una connessione
 - Più adatta per pochi utenti per SS
 - Maggiore overhead, ma permette SS più semplici

Benefici del MAC

Caratteristica	Beneficio
Connection oriented	QoS per connessione
Supporto della QoS	Rapido Routing/Forwarding dei pacchetti Bassa latenza per servizi sensibili al ritardo Trasporto ottimo per traffico VBR Prioritizzazione dei dati
ARQ	Aumento delle performance End-to-end
TDM/TDMA scheduled frame	Efficienza di banda
Power control	Interferenze ridotte
Link adaptation	Aumenta il throughput del sistema, usando il miglior schema di modulazione in accordo con le condizioni del canale
Security e encryption	Privacy dell'utente protetta
Bandwidth on demand	Capacità di allocazione frame-by-frame

802.16e



Il Mobility Agent (MA) ha funzioni simili a quelle del Foreign Agent (FA) di Mobile IP:

- Terminazione di tunnel che porta dati dalla home network della MSS incluso il decapsulamento delle unità di dati in arrivo.
- Creazione/Distruzione di connessioni dopo l'arrivo/partenza di MSS.
- Specifiche di appropriata QoS per connessione.

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 ($1/F_s$, nsec)	700	350	175	88	44
FFT size (N_{FFT})	128	256	512	1024	2048
Subcarrier frequency spacing	11.16071429 kHz				
Useful symbol time ($T_b = 1/\Delta f$)	89.6 μ s				
Guard time ($T_g = T_b/8$)	11.2 μ s				
OFDMA symbol time ($T_s = T_b + T_g$)	100.8 μ s				

Handoff

- Handoff (HO): Processo in cui una MSS migra dalla interfaccia aerea fornita da una BS a quella fornita da un'altra BS. Sono definite due varianti di HO:
 - Hard HO: Un HO dove il servizio con la nuova BS comincia dopo una disconnessione di servizio con la vecchia BS.
 - Soft HO: Un HO dove il servizio con la nuova BS comincia prima della disconnessione del servizio con la vecchia BS.