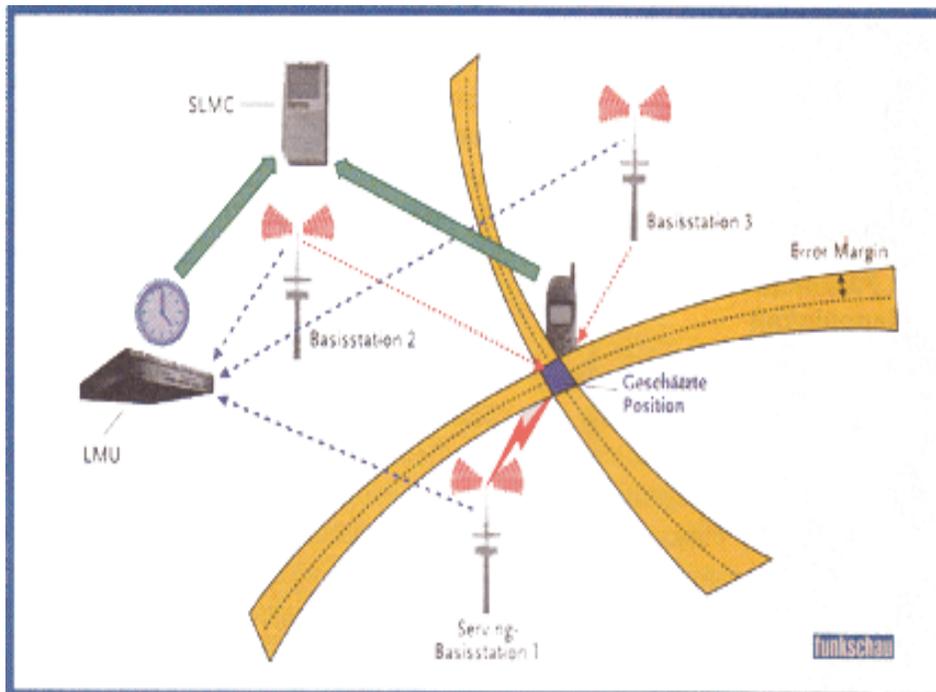
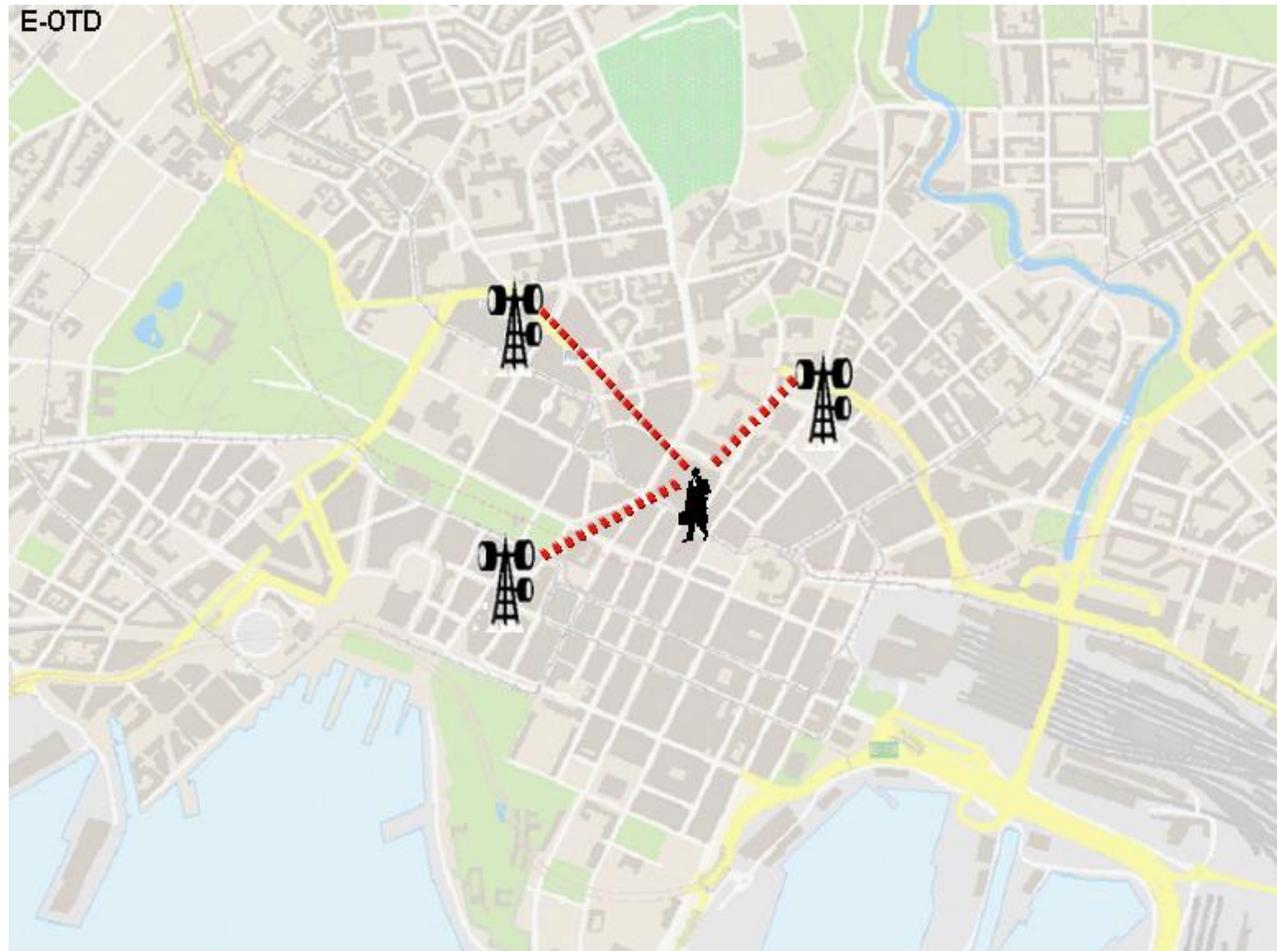


TECNOLOGIE di LOCALIZZAZIONE da RETE TERRESTRE



- Sistemi cellulari (GSM, UMTS)
- Sistemi *Ultra Wideband*

Tecniche di radiolocalizzazione tramite reti cellulari



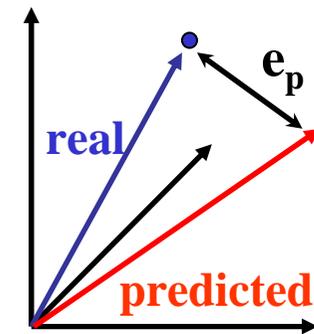
Aspetti e ipotesi generali (1/2)

- ✓ I sistemi cellulari possono essere considerati *Proximity/Radiolocation Systems*, in cui le stazioni base vengono ovviamente utilizzate come stazioni fisse di riferimento
- ✓ Realizzare un sistema di radiolocalizzazione su rete cellulare non è un compito banale
 - modifiche HW e/o SW alla rete e/o ai terminali mobili
 - l'esigenza di nuove prestazioni e la riduzione dei costi per gli operatori portano a considerare soluzioni basate sulle reti cellulari oltre alle soluzioni GPS Based
 - i servizi location-based richiedono precisioni molto variabili
- ✓ Stati Uniti: direttiva E911 della FCC (Federal Communications Commission)

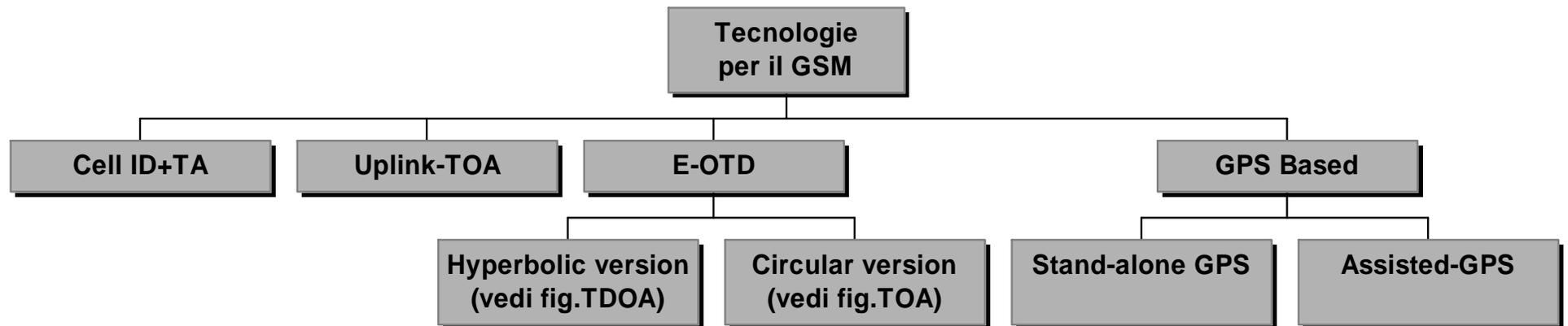
Errore di localizzazione: $e_p = \left| \vec{P}_{stimata} - \vec{P}_{reale} \right|$

Specifica FCC (2001): $\text{Prob}\{e_p < 125 \text{ m}\} = 0.67$

In futuro: $\text{Prob}\{e_p < 13 \text{ m}\} = 0.90$



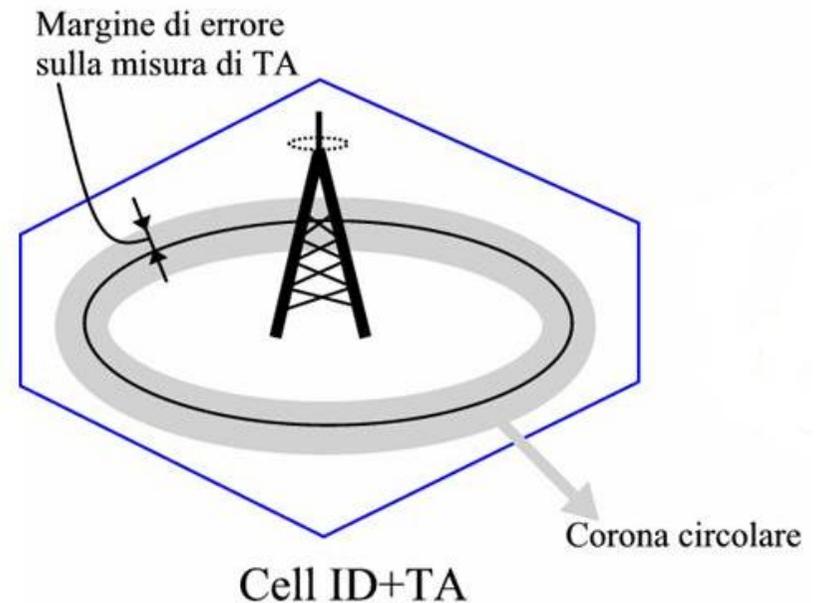
Tecnologie per il GSM



- **E-OTD: Enhanced-Observed Time Difference**

Cell ID + TA

- ✓ La posizione del mobile viene in sostanza ricavata dalla conoscenza dell'identificativo della BS/settore servente e dalla misura del tempo di propagazione fra mobile e BS/settore.
- ✓ Sistema di scarsa precisione



E-OTD

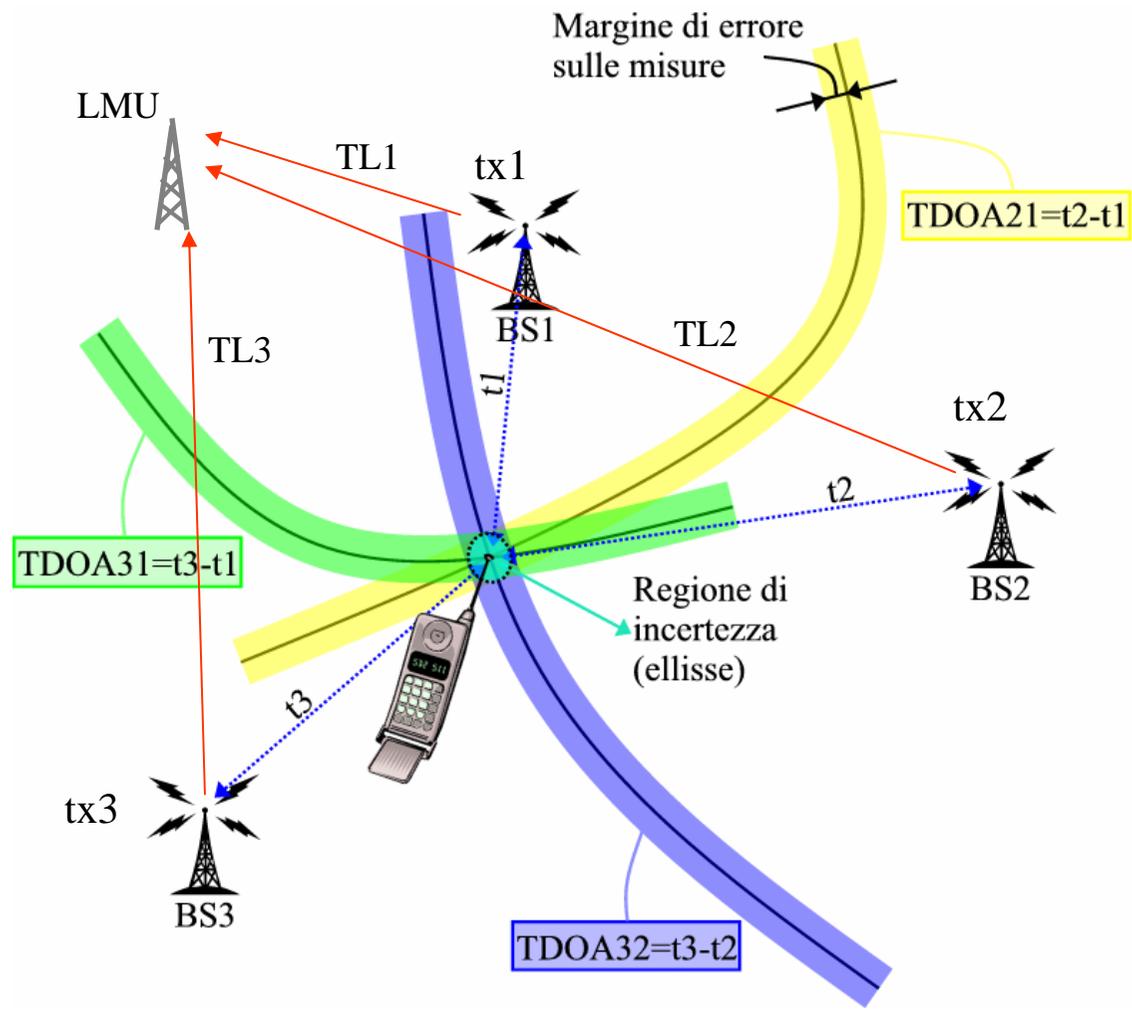
Enhanced-Observed Time Difference

**SCH: signalling
channel burst**

**BCCH: broadcast
control channel**

- E' la tecnologia probabilmente più vantaggiosa per il GSM;
- Il parametro di localizzazione è il ritardo di propagazione MS-BS, misurato dal mobile (Il tempo di arrivo è calcolato su multipli bursts SCH trasmessi sul canale BCCH)
- Poiché il sistema è asincrono è necessario adottare un certo numero di *Location Measurement Unit (LMU)* in posizione nota. Ogni LMU pertanto conosce una lista di BSs da “ascoltare” al fine di valutare gli offset di trasmissione
- Si può avere una versione iperbolica (TDoA) e una versione circolare (ToA)

E-OTD: hyperbolic version (1/3)



E-OTD: hyperbolic version (2/3)

- 1) MOT (*Observed Time at the MS*) \rightarrow {MOT1, MOT2}.
- 2) LOT (*Observed Time at the LMU*) \rightarrow {LOT1, LOT2}.
- 3) OTD (*Observed Time Difference*): differenza fra gli istanti di arrivo misurati:

$$\text{OTD}_{12_{\text{MS}}} = \text{MOT1} - \text{MOT2};$$

$$\text{OTD}_{12_{\text{LMU}}} = \text{LOT1} - \text{LOT2}.$$

NOTA: La OTD non è la differenza dei tempi effettivi di propagazione, perchè i tempi di trasmissione tx_1 e tx_2 delle 2 BSs sono in generale diversi

- 4) RTD (*Real Time Difference*): differenza fra gli istanti di trasmissione delle 2 BSs (offset di trasmissione):

$$\text{RTD} = tx_1 - tx_2.$$

- 5) GTD (*Geometric Time Difference*): differenza fra i tempi effettivi di propagazione (e' il parametro in funzione del quale viene poi calcolata la stima di posizione).

E-OTD: hyperbolic version (3/3)

✓ In generale risulta

$$\mathbf{GTD = OTD - RTD}$$

$$\text{es: } \mathbf{GTD_{MS} = (T_1 - tx_1) - (T_2 - tx_2) = OTD_{12_{MS}} - RTD}$$

Ovvero per i *geometric time difference* riferiti a MS e LMU

a) $\mathbf{GTD_{MS} = OTD_{MS} - RTD}$

b) $\mathbf{GTD_{LMU} = OTD_{LMU} - RTD}$



Poichè BSs e LMUs si trovano in posizione nota, $\mathbf{GTD_{LMU}}$ è nota \Rightarrow la misura di $\mathbf{OTD_{LMU}}$ consente di ricavare RTD dalla b) \Rightarrow Si può ricavare $\mathbf{GTD_{MS}}$ dalla a), e cioè l'iperbole relativa alla coppia di BSs considerate

✓ Due soluzioni possibili:

- *Network based, Handset assisted*: il mobile invia gli OTDs alla rete, che calcola i GTDs e quindi la posizione, sfruttando i RTDs calcolati dalle LMUs

- *Handset based, Network assisted*: la rete calcola i RTDs e li invia al mobile, insieme alle coordinate delle BSs; il mobile procede quindi al calcolo della posizione.

E-OTD: circular version

- ✓ tecnologia basata sul *metodo ToA*, versione di *downlink*.
- ✓ MS e LMU misurano gli istanti di arrivo dei segnali trasmessi dalle BSs, senza effettuarne la differenza. Si definiscono:

MOT (vedi def. precedente);

LOT (vedi def. precedente);

DMB (geometrical Distance from MS to BS): distanza incognita;

DLB (geometrical Distance from LMU to BS): distanza nota;

$\varepsilon = t_{MS} - t_{LMU}$, offset temporale fra il clock interno alla MS e quello interno all'LMU.

Tali grandezze sono fra loro legate dalla relazione:

$$DMB - DLB = c * (MOT - LOT + \varepsilon)$$

Poichè ci sono 3 quantità incognite (x_{MS} , y_{MS} , ε) sono necessarie misure da almeno 3 BSs.

- ✓ In pratica l'unica differenza fra le due versioni (*hyperolic e circular*) e' il legame che sussiste fra gli errori di misura e la regione di incertezza, a causa della diversa tecnica impiegata.

Uplink TOA

- ✓ È tecnologia basata sul metodo **TdoA**, versione di *uplink*: la stima di posizione viene realizzata in rete (*network based*) sfruttando le misure delle differenze degli istanti di arrivo del segnale noto trasmesso dalla MS e ricevuto da almeno 3 LMUs.
- ✓ I ToA stimati dagli LMUs vengono inviati all'SMC, che ne calcola le differenze a coppie allo scopo di eliminare la dipendenza dal clock incognito della MS.
- ✓ È chiaro che, *affinchè le misure siano significative, è necessario che la rete di LMUs sia sincronizzata* (si utilizzano allo scopo costosi orologi atomici o GPS, da inserire quasi in ogni sito cellulare).

GPS Based (1/2)

- ✓ Si basa sul *sistema satellitare GPS-NAVSTAR*:
 - costellazione di 24 satelliti disposti su 6 orbite in ad una altitudine 20.200 Km sulla superficie terrestre
 - I satelliti trasmettono verso la terra segnali di tipo DS-SS (DS-Spread Spectrum) alla chip rate di 1.023 Mchip/s alla frequenza portante e' di 1575.42 MHz; il segnale trasmesso contiene un “messaggio di navigazione” che include l'accurata temporizzazione e la descrizione della posizione del satellite emittente.
- ✓ Quando 4 o più satelliti sono in linea di vista , il ricevitore può calcolare la propria posizione applicando la tecnica ToA (necessarie almeno 4 misure perchè le incognite sono x_{MS} , y_{MS} , z_{MS} e l'offset del clock interno del mobile rispetto al riferimento temporale assoluto della rete GPS).

GPS Based (2/2)

- ✓ 2 versioni possibili:

Stand Alone GPS: nella MS viene integrato un ricevitore GPS completo. Il calcolo della posizione viene effettuato completamente dal terminale mobile (*handset based*).

Assisted GPS: la stima di posizione effettuata dalla MS viene aiutata, velocizzata da un' opportuna rete di riferimento GPS che trasmette al mobile dei dati di assistenza che consentono di migliorare le prestazioni del ricevitore GPS (non completo) integrato (*handset based, network assisted*).

- ✓ Vantaggi/svantaggi della scelta GPS

- ☺ usuali condizioni LOS e presentare

- ☺ rare situazioni di multipath.

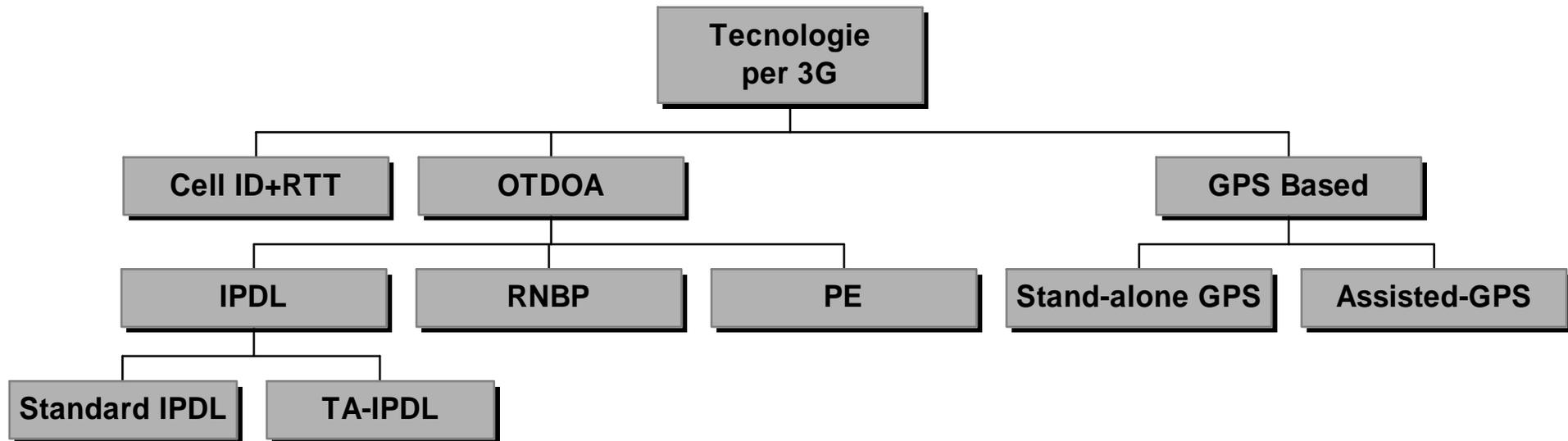
- ☹ l'integrazione di un ricevitore GPS sulle MSs comporta notevoli problemi di costo, dimensioni e *power consumption*

- ☹ precisione drasticamente ridotta nelle pur rare situazioni NLOS/*multipath*.

Confronto fra varie tecnologie GSM

	Precisione del sistema	Disponibilità commerciale	Controllo della Privacy	Velocità di risposta	Costo dell'upgrade di rete	Costo dell'upgrade del terminale
E-OTD	15 - 75m	2000	Possibile	2-5 s	Medio (LMU per RTD [1:2/4siti] e nuovi elementi di rete)	Basso (modifiche SW)
Cell ID		1999		3 s	Minimo (Interfaccia MSC)	Nulla
Cell ID + TA	150 m– 1km	1999		5 s	Minimo	Nulla
Assisted - GPS	<50m in zona non urbana densa	Fine 2001	Possibile		Medio (nuovi elementi di rete)	Elevato (anche +40%; impatto su dimensioni e batterie)
TOA based	Difficilmente <125m	Non definite		<10 s	Alto (LMU per TOA e RTD [~1:1siti])	Nulla
AOA based	Difficilmente <125m	Non definite		<10 s	(Smart antennas)	Nulla

Tecnologie per sistemi 3G

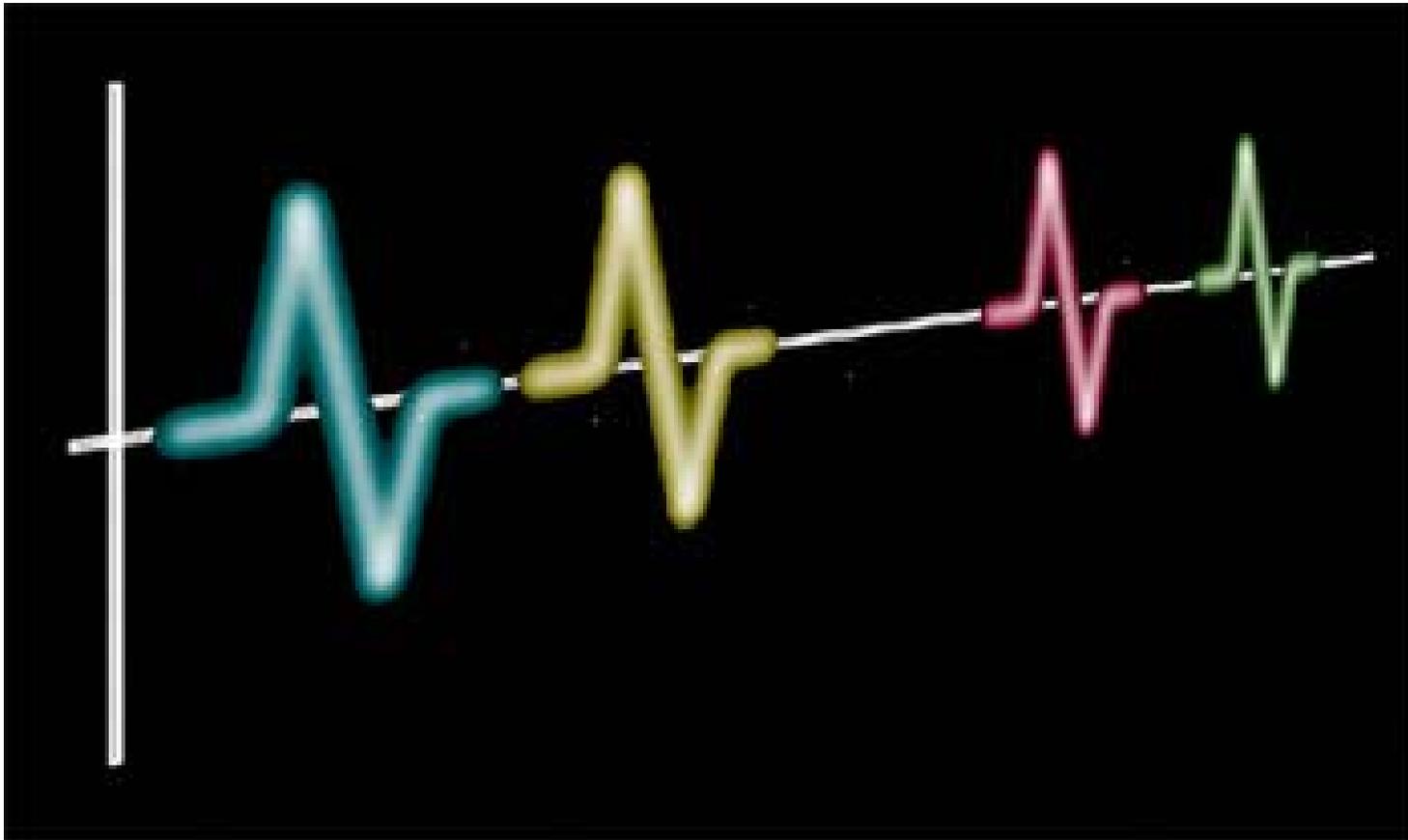


- ✓ Cell ID + Round Trip Time: tecnologia analoga al *Cell ID + TA* proposto per GSM
- ✓ GPS based: analogo al *GPS based* proposto per GSM

OTDOA: Observed Time Difference Of Arrival

- ✓ estensione al sistema UMTS della tecnologia E-OTD-*Hyperbolic version*: si basa infatti sul *metodo TdoA* in versione *di downlink*.
- ✓ Misure effettuate dal mobile per mezzo di correlazioni sui canali pilota *broadcast CpiCH (Common Pilot Channel)* trasmessi dalle stazioni base e dunque presenti nel normale funzionamento di rete.
- ✓ Nella versione FDD del sistema UMTS, le BSs non sono sincronizzate \Rightarrow come nel caso GSM è necessaria la realizzazione di una rete di LMUs sul territorio al fine di valutare i RTDs. (Nota: per UMTS esistono anche proposte di sistema sincrono – es. proposta *Qualcomm* –, cioè BSs sincronizzate via segnali satellitari \Rightarrow in tal caso non c'è *offset* di trasmissione \Rightarrow no LMUs necessari).
- ✓ OTDOA: Observed TDOA
 - **IPDL: Idle Period DownLink**
 - **TA-IPDL: Time Aligned-IPDL**
 - RNBP: Reference Node-Based Positioning
 - PE: Positioning Elements

Localization via Ultra Wideband Radios



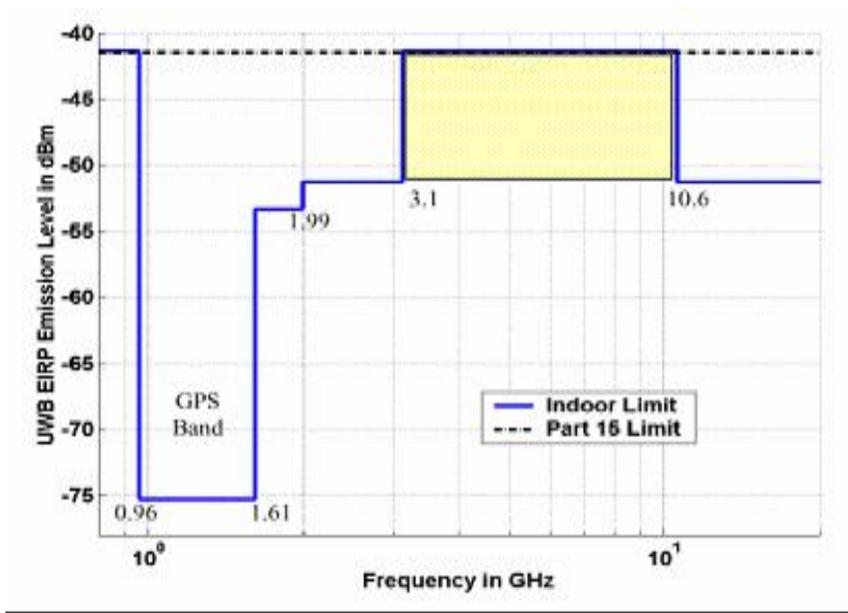
Ultra Wideband Systems

- Definizione: si definisce **Ultra Wideband (UWB)** un sistema di radio comunicazione che abbia una **banda assoluta** (a -10 dB) di almeno **500 MHz** o, una **banda relativa^(*)** \geq a **0,25**
- Principio di funzionamento: si tratta di un sistema *Impulsive Radio* (IR), basato cioè sulla trasmissione di impulsi di durata brevissima (100 ps ÷ 1 nsec) e non sulla modulazione di una portante a radiofrequenza \Rightarrow sistema *carrier free, base-band o impulsive*
- La trasmissione di impulsi di durata estremamente breve giustifica evidentemente l'elevata occupazione di banda

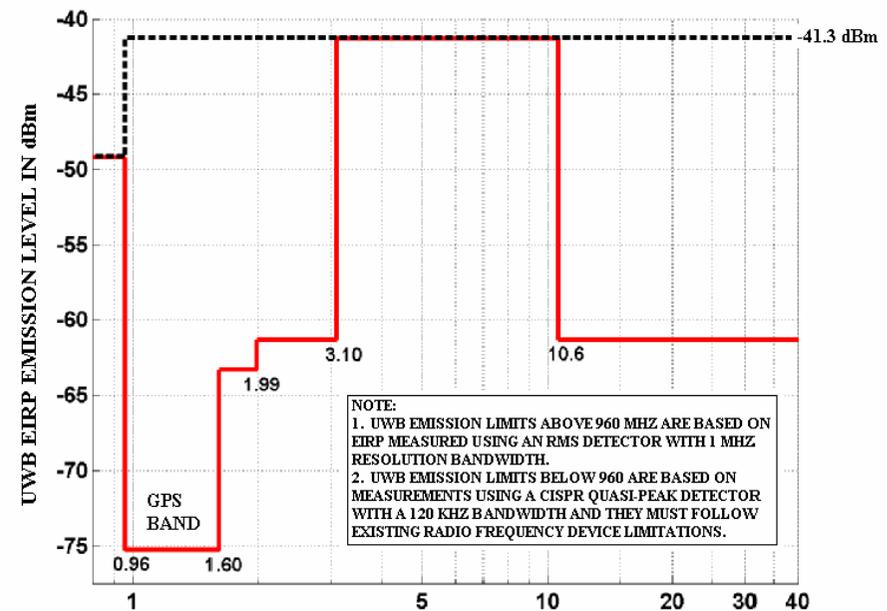
(*) banda relativa = rapporto fra la larghezza di banda (a -10) dB e la frequenza di centro banda

Potenza emessa e caratteristiche spettrali (1/2)

- Per limitare il rischio di sovrapposizione in banda altri sistemi (rischio elevato, data la larghezza di banda propria dei sistemi UWB), si sono posti vincoli ben precisi alla massima potenza in emissione di un sistema UWB



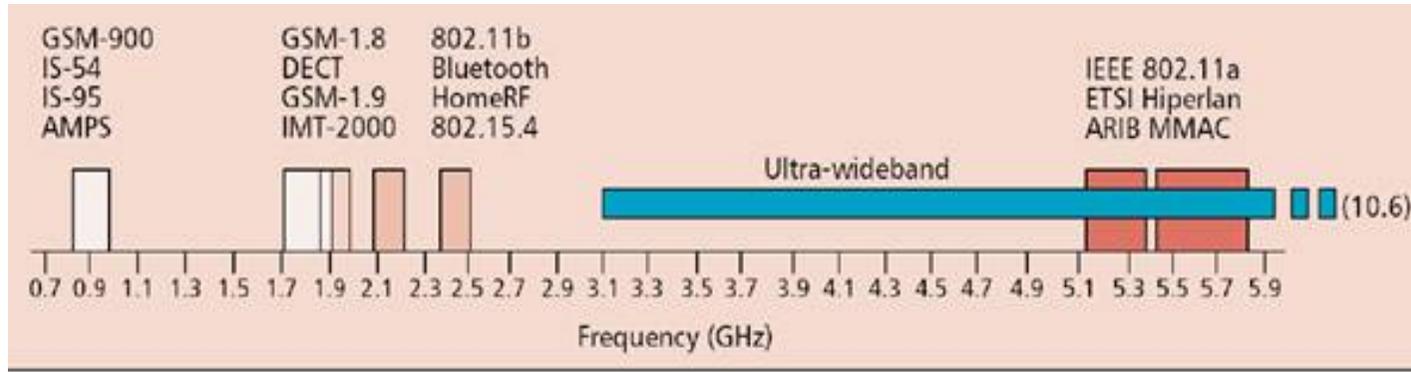
Maschera EIRP FCC - Indoor



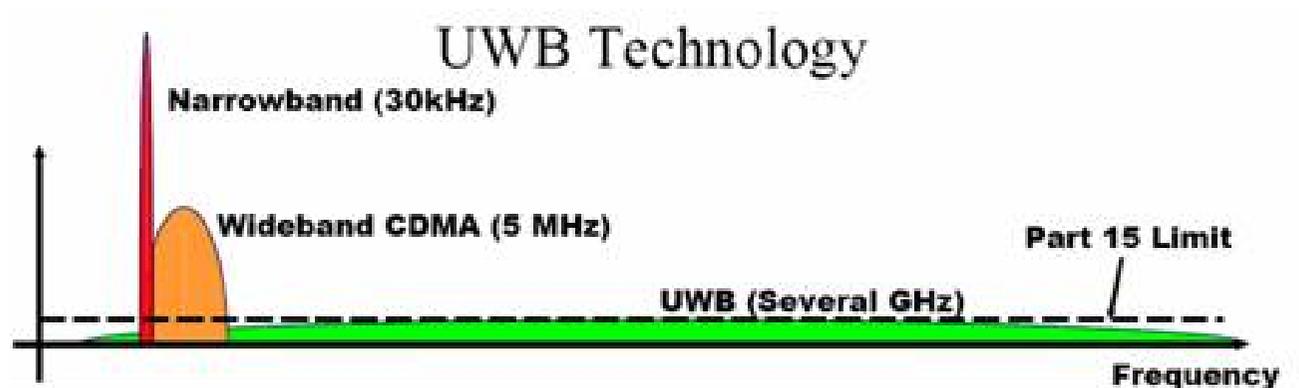
Maschera EIRP FCC - Outdoor

- Di fatto sistemi UWB sono usualmente allocati nella banda [3.1 ÷ 10.6] GHz, dove comunque il valore di EIRP consentito assume valore massimo (**-41.3 dBm**, rimane comunque alquanto basso)

Potenza emessa e caratteristiche spettrali (2/2)



- Ampiezza di banda e ridotta possibilità di emissione \Rightarrow densità spettrale di potenza (PSD) estremamente bassa e \sim costante



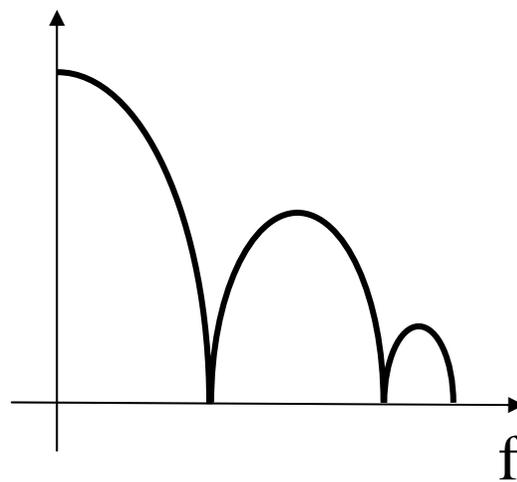
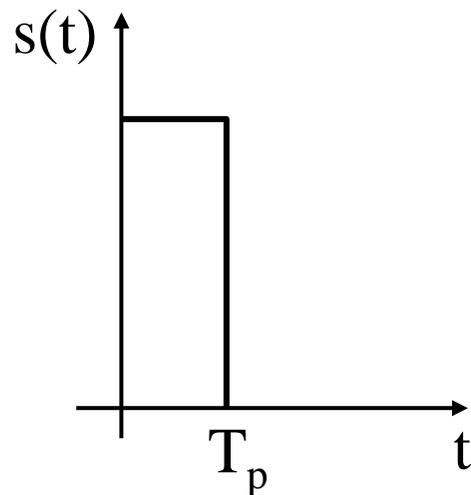
Forme d'onda per l'impulso elementare (1/2)

- Trasmissione di impulsi in banda base + la banda operativa assegnata > 3.1 GHz \Rightarrow occorre utilizzare impulsi il cui spettro rientri nella banda assegnata, ed avente quindi componente in continua trascurabile;

1. Impulso rettangolare $s(t) = \frac{1}{\sqrt{T_p}} [u(t) - u(t - T_p)]$

T_p : durata dell'impulso;

$u(t)$: funzione gradino unitario;



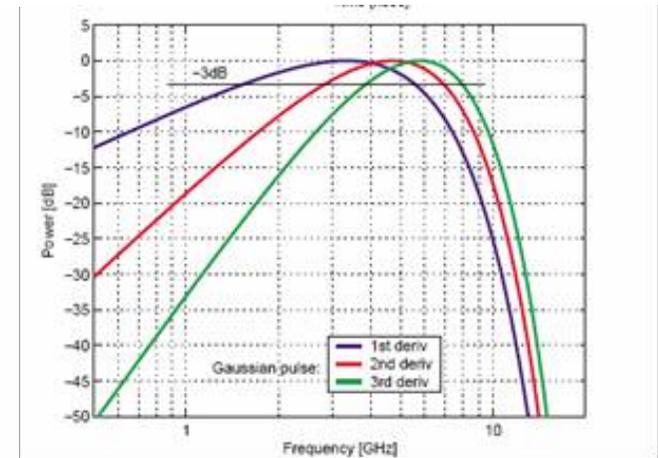
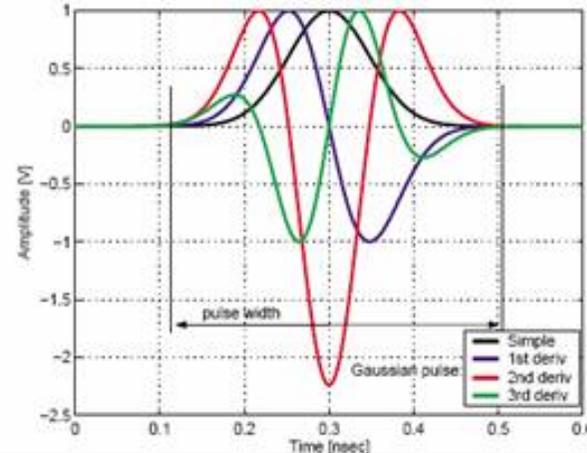
componente in continua
affatto trascurabile \Rightarrow
necessario individuare
forme d'onda più
opportune

Forme d'onda per l'impulso elementare (2/2)

2. Gaussian pulses:

$$s(t) = Ke^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$$

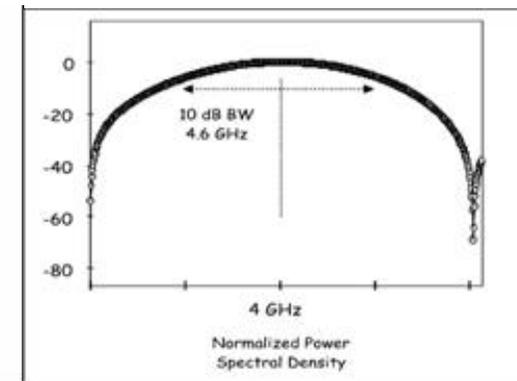
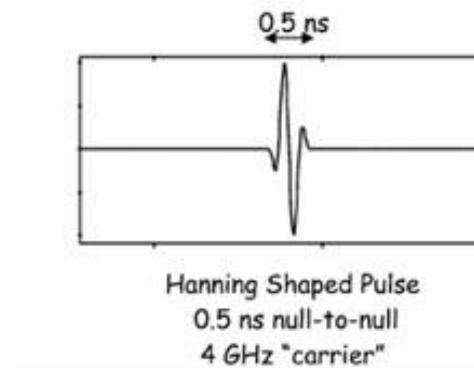
Impulso gaussiano o
sue derivate
(per ridurre la continua)



3. Hanning Shaped pulse: $s(t) = 0.5[1 - \cos(2\pi f_s t)] \cos(2\pi f_c t)$

f_c : centrobanda

f_s : valore opportuno che
influisce sulla banda
complessiva

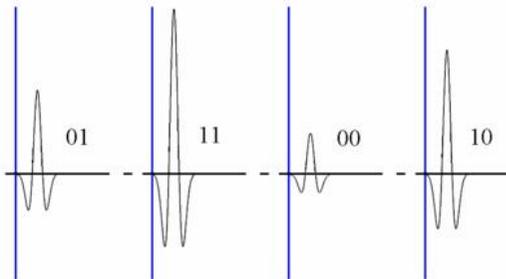


- *Hermite pulse e Modified Hermite pulse* ottenibili come soluzione di opportune equazioni differenziali

Modulazione

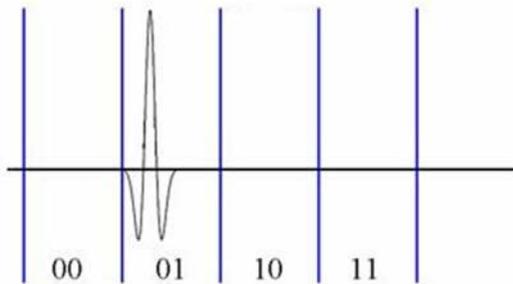
- L'assenza di una portante a radiofrequenza non significa ovviamente assenza di modulazione, sempre necessaria per trasmettere informazione;
- Tecniche di modulazione più usuali per sistemi UWB:

I. Pulse Amplitude Modulation (PAM)



l'informazione viene trasmessa
variando l'ampiezza degli
impulsi trasmessi;

II. Pulse Position Modulation (PPM)



l'informazione viene trasmessa
variando la posizione sull'asse
temporale degli impulsi trasmessi;

- NOTA: in luogo di un singolo impulso si usa trasmettere a volte un “treno” di impulsi consecutivi

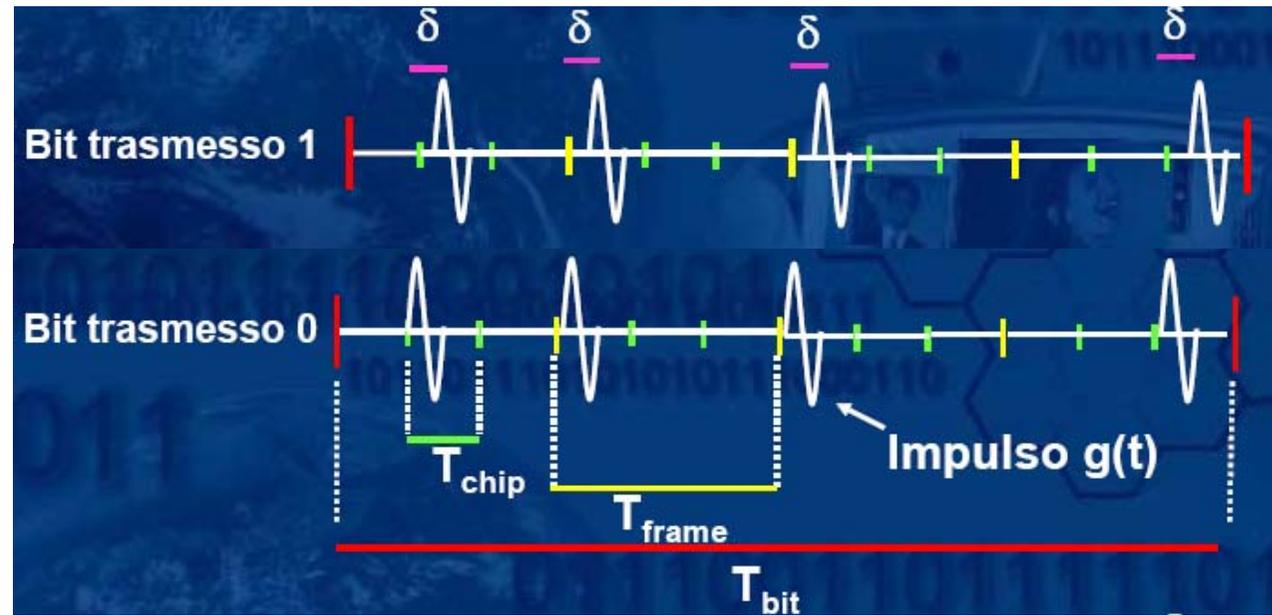
Accesso Multiplo

- Tutti gli schemi classici di accesso multiplo al canale radio (TDMA, FDMA, CDMA) possono essere opportunamente riproposti nell'ambito UWB;
- Esiste inoltre una modalità di accesso peculiare per i sistemi UWB, chiamata *Time Hopping* (TH) e spesso associata alla modulazione PPM (TH-PPM):
 - il tempo di bit T_b viene diviso in *frame*, ed ogni *frame* viene ulteriormente suddiviso in *chip*;
 - ad ogni utente viene assegnato in maniera esclusiva un *chip* per ogni *frame*;
 - all'interno dei *chip* assegnati vengono posizionati gli impulsi in maniera diversa a seconda dell'informazione (bit) da trasmettere;
 - l'assegnazione dei chip avviene per mezzo di un opportuno codice (noto ovviamente a trasmettitore e ricevitore)
 - occorre evidentemente sincronismo fra I terminali

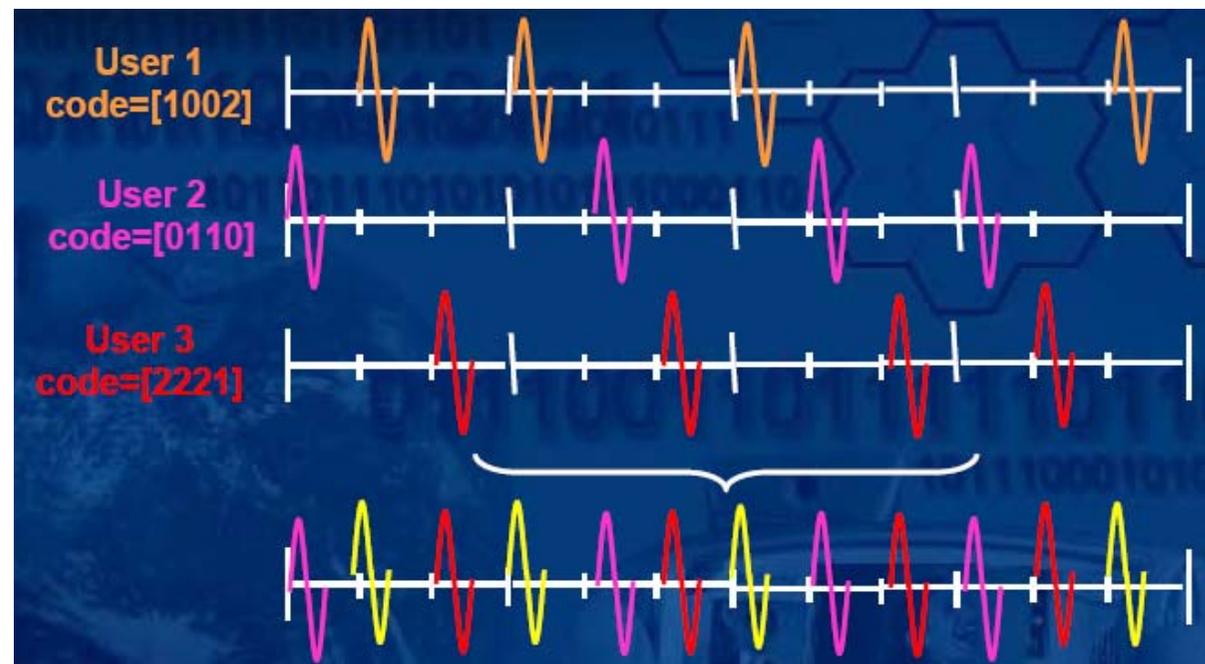
Esempio TH-PPM

User 1
code [1002]

2° chip del frame 1
1° chip del frame 2
1° chip del frame 3
3° chip del frame 4



L'assegnazione opportuna dei codici consente di recuperare l'informazione utile.



UWB pros&cons (1/3)

- 😊 Bassa complessità (e quindi bassi costi) dei dispositivi;
- 😊 Basso consumo di potenza (< 100 mW) da parte dei dispositivi;
- 😊 Potenziale immunità ai cammini multipli (potenzialmente “risolvibili”, poichè la brevissima durata degli impulsi \Rightarrow bassa *pulse-on-pulse probability*);
- 😊 Elevata capacità dovuta alla larghezza di banda

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{B \cdot N_0} \right) \quad \text{teorema di Shannon}$$

C: massima capacità del canale;

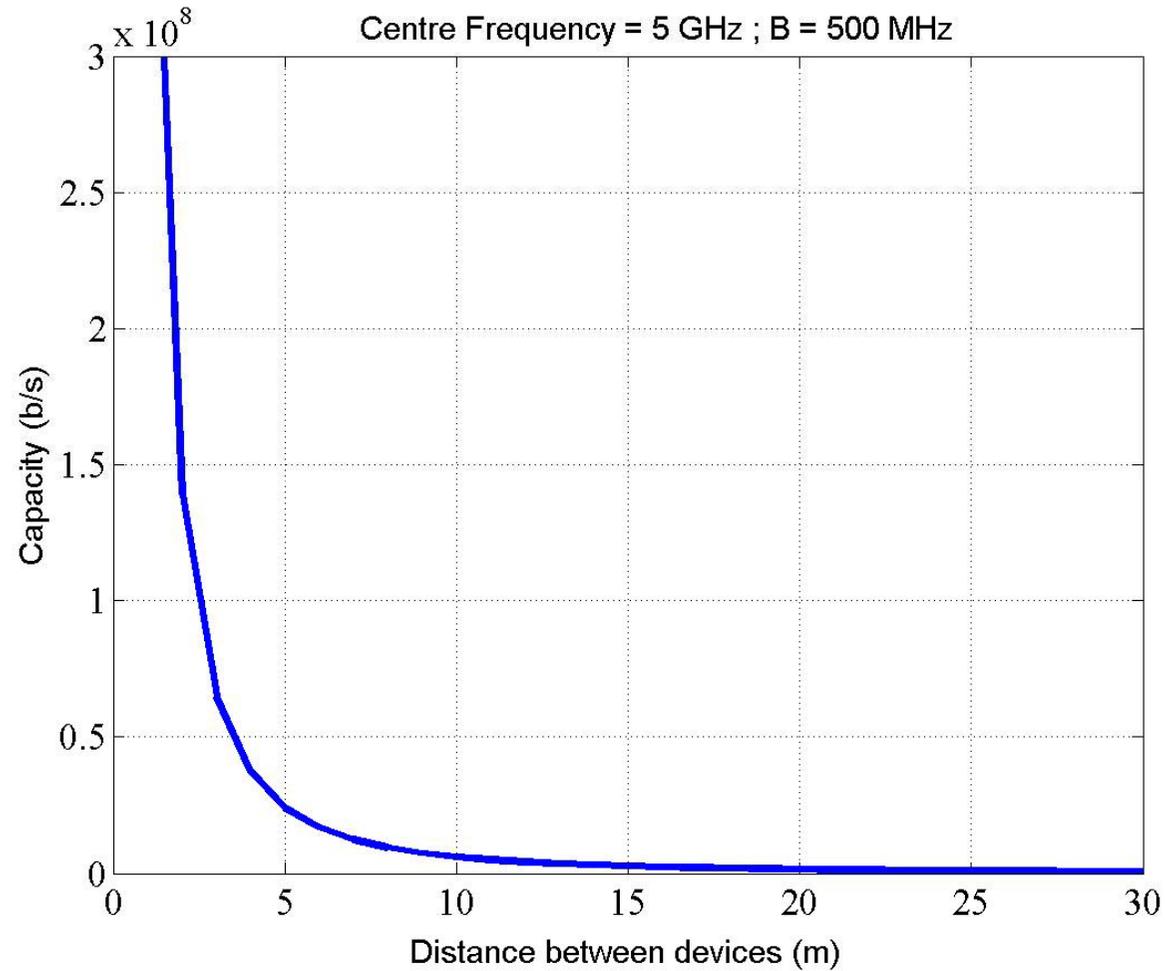
B: banda (> 500 MHz)

N_0 : densità spettrale di rumore (~ -114 dBm/MHz)

S: potenza utile ricevuta

($S \sim \text{EIRP} - \text{Loss} \approx -41.3 \text{ dBm} - 20 \cdot \log_{10}[4\pi R/\lambda]$)

Capacità - esempio



In condizioni ottimali, si possono raggiungere e superare i 100 Mb/s su distanze inferiori ai 10 m

UWB pros&cons (2/3)

- ☺ Potenziali buone capacità di penetrazione dei materiali
 - In termini generali, l'onda EM tende ad interagire debolmente con oggetti di dimensioni molto piccole rispetto a λ
 - La capacità di penetrazione dell'onda aumenta quindi in generale al diminuire della frequenza;
 - Le proprietà di penetrazione sono quindi tanto migliori quanto più la banda UWB si avvicina alla “continua” ($f = 0$);
 - La limitazione imposta alla potenza emessa ha di fatto limitato lo spettro di un sistema UWB a frequenze > 3.1 GHz ($\lambda < 10$ cm) \Rightarrow riduzione della effettiva proprietà di penetrazione;
 - La capacità di penetrazione è quindi in realtà buona in senso relativo, cioè rispetto ai sistemi a banda più stretta che trovano allocazione nella medesima banda (es. WLaN a 5 GHz)

UWB pros&cons (3/3)

- ☹ Sistemi a corto raggio, a causa della limitazione sulla potenza emessa:
 - HR-UWB: *range* massimo di 10 m e *bit-rate* massima di 500 Mbps;
 - LR-UWB: *range* massimo di 90-100 m e *bit-rate* massima di ~ 800 Kbps;
- ☹ Distorsione del segnale, poiché la banda è così ampia da essere certamente $>$ della banda di coerenza del canale
- ☹ Problemi di sincronizzazione in ricezione dovuta alla durata estremamente breve degli impulsi (TH-PPM)
- ☹ Caratterizzazione delle antenne e dei dispositivi a banda larga: non è immediato individuare dispositivi in grado di assicurare un comportamento costante su una banda così ampia \Rightarrow aumenta la distorsione introdotta dai dispositivi

Radiolocation via UWB

- 😊 Ampiezza di banda \Rightarrow risoluzione temporale potenzialmente molto accurata (incertezza qualitativamente pari alla durata dell'impulso)
esempio: $B \sim 1 \text{ GHz} \Rightarrow$ max. errore di misura $\sim 30 \text{ cm}$
- 😊 Sistemi UWB si prefigurano come naturalmente “auto-immuni” dai cammini multipli (*pulse-on-pulse probability* ~ 0)
- 😊 Buona capacità di penetrazione (anche se da intendersi in senso relativo) \Rightarrow aumenta la probabilità di avere un chiaro, rilevabile contributo diretto (anche se non LoS)
- ☹ Corto raggio d'azione \Rightarrow localizzazione prevalentemente *indoor*

Applicazioni - Esempi

1. Multispectral (www.multispectral.com)

Commercialization of an ultra wideband precision asset location system, IEEE Conference on Ultra Wideband System and Technologies, November 2003

2. Timedomain (www.timedomain.com)

3. Ubisense (www.ubisense.net)

UWB (ultrawideband) technology is used because it combines a high level of accuracy with low infrastructure investment. Once installed, Ubisense typically can deliver up to 30cm 3D accuracy in real-time with the ability to monitor thousands of people and assets...

2. Aether Wire and Location (www.aetherwire.com)

3. Uraxs (www.uraxs.com)

.....

Technology	Description	Location technology
GPS	Geodan Movida supports pull and push GPS position. With a pull system, the GPS device is "waken up" by Movida on request of an application. With push location, Movida continuously collects and stores GPS positions. The system allows for smart GPS management, based on e.g. speed of movement. The communication channels between the GPS and Movida include: SMS, GPRS or UMTS.	Movida supports GPS devices:  
Telecom operators and assisted GPS	Geodan Movida supports the location technology of the majority of European telecom operators. Movida collects the position of a cell-phone through a dedicated connection to the telecom operator, while managing privacy and security of position information. Location technology supported includes: Cell-ID, E-Cell-ID, Cell-ID-Rx, A-GPS.	Movida connects to multiple telecom operators in Europe, such as: 
Wi-Fi location	By triangulating the time of arrival of Wi-Fi signals from location receiver hot-spots and Wi-Fi devices, it is possible to precisely estimate the position of a Wi-Fi device, indoors and outdoors. Geodan Movida locates specific Wi-Fi tags as well as any other Wi-Fi device, such as a laptop, VOIP phone or handheld.	Movida uses the technology of AeroScout for Wi-Fi time-based location measurement. 
RFID sensors for location determination	Geodan Movida uses active RFID for locating objects or people in indoor environments within logical areas, such as a room or a section of a building. Movida connects to RFID readers that recognize the presence of RFID tags in their proximity	Movida uses active RFID technology for logical location and proximity. 
Ultrawideband location	Ultrawideband location exploits the characteristics of time synchronization of ultrawideband communication to achieve very high indoor location accuracy (20 cm). Ultrawideband location is suitable for high-precision, real-time, 2D and 3D location.	Movida preferred partner for high-precision indoor location technology is Ubisense.



<http://www.cefrirel.it/press/olympicGames/innovativeSolutions/smartFieldHockey/default.html?lang=it>

SmartField™ Hockey

Nuove frontiere dello sport

La ricerca universitaria al servizio degli allenamenti e delle strategie di gioco. CEFRIEL annuncia SmartField™ Hockey una piattaforma presentata in anteprima a Torino 2006 che consente di ottenere informazioni complete e puntuali sull'allenamento e la partita e, mediante ricostruzioni 3D, di scegliere nuovi punti di vista da cui osservare una competizione. Osservare una partita di hockey dalla panchina e vederla in contemporanea anche su un computer, attraverso una ricostruzione digitale, scegliendo di seguire solo l'azione dell'attaccante o del portiere. Oppure scegliere di visualizzare solo il disco per analizzare il suo percorso sul ghiaccio. E disporre in tempo reale di tutte le informazioni e le statistiche per capire chi ha già dato tutto e deve essere sostituito. Sono solo alcuni degli scenari possibili grazie all'utilizzo di SmartField™ Hockey la piattaforma per l'analisi digitale in tempo reale di allenamenti e gare. SmartField™ è adatta a numerosissime tipologie di sport quali hockey, basket, pallavolo, ma anche pattinaggio, atletica, ecc. In particolare, in occasione dei Giochi Olimpici di Torino viene mostrata la applicazione SmartField™ Hockey.

Gli allenamenti e le competizioni completamente monitorati

L'utilizzo di SmartField™ Hockey rivoluziona radicalmente le tecniche di allenamento e la definizione delle strategie di gioco. E, infatti, possibile monitorare tutti i movimenti di tutti gli atleti in campo semplicemente applicando a ciascun atleta sensori RFID (Radio Frequency Identification) UWB (Ultra Wide Band) di ridottissime dimensioni. In questo modo si riesce a osservare una partita da più punti di vista: è possibile seguire, in una stessa azione, i movimenti di ogni giocatore singolarmente, oppure di tutta la squadra, ma anche offrire il punto di vista dell'arbitro per comprendere meglio il perché della segnalazione di un'infrazione.

Poiché tutti i movimenti degli atleti sono registrati con assoluta precisione, la piattaforma SmartField™ Hockey può immediatamente rispondere a numerose domande su allenamenti e le gare. Per gli atleti si aprono nuovi orizzonti di esplorazione per il miglioramento delle proprie prestazioni. Gli allenatori, i tecnici ed i preparatori atletici potranno invece disporre di uno strumento di esame che renderà precisa e puntuale la valutazione del rendimento di ogni atleta.

Come è possibile tutto questo?

RFID-UWB è un sistema radio pensato per l'identificazione e la localizzazione di persone e oggetti. Sensori RFID-UWB (detti tag) delle dimensioni tipiche di una moneta possono essere applicati su persone e oggetti che si vuole monitorare.

I segnali radio trasmessi da questi sensori vengono elaborati da speciali sistemi riceventi (detti reader) in grado di calcolare con esattezza la posizione nello spazio del sensore (con precisione nell'ordine dei centimetri).

La piattaforma SmartField™ Hockey è uno dei risultati della collaborazione tra CEFRIEL ed Eximia, un'azienda italiana leader nella tecnologia RFID e RFID-UWB. Entrambi i gruppi sono attivi da tempo nel campo della tecnologia UWB, per impieghi non solo in soluzioni di localizzazione, ma anche in sistemi di comunicazione a elevatissime capacità e in sistemi radar molto precisi e a basso costo (adatti, ad esempio, per il settore automotive).

Diversi aspetti dei sistemi basati su tecnologia UWB vengono studiati e sviluppati nei laboratori di CEFRIEL: dalle soluzioni circuitali elettroniche, dove si cerca di minimizzare consumi, costi e dimensioni e al contempo massimizzare le prestazioni, alle componenti di comunicazione, dove si stanno valutando gli aspetti di interferenza con altre tecnologie trasmissive, ai servizi e applicazioni di utilità per il mondo reale, fino al design estetico e funzionale delle soluzioni sviluppate.