

# Ultra Wideband Systems

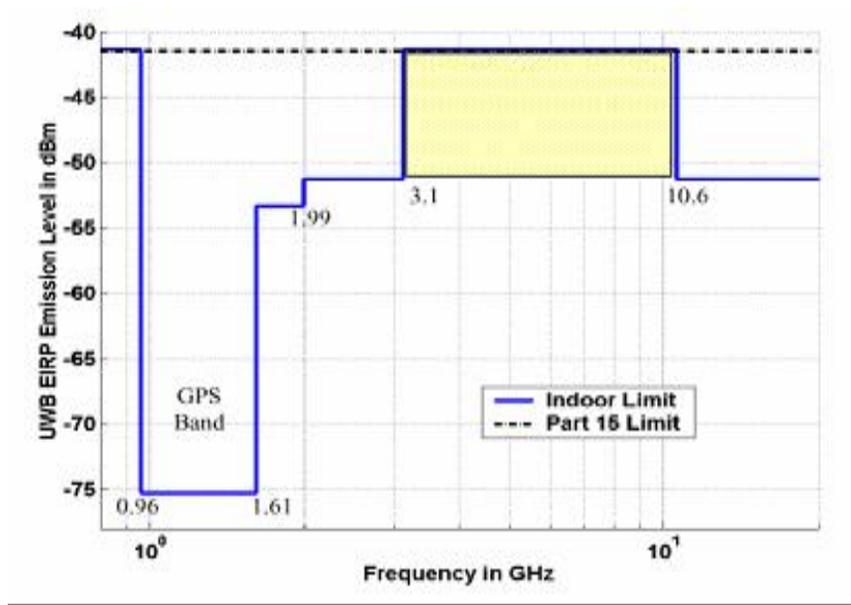
- Definizione: si definisce **Ultra Wideband (UWB)** un sistema di radio comunicazione che abbia una **banda assoluta** (a -10 dB) di almeno **500 MHz** o, una **banda relativa<sup>(\*)</sup>**  $\geq 0,25$
- Principio di funzionamento: si tratta di un sistema *Impulsive Radio* (IR), basato cioè sulla 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

---

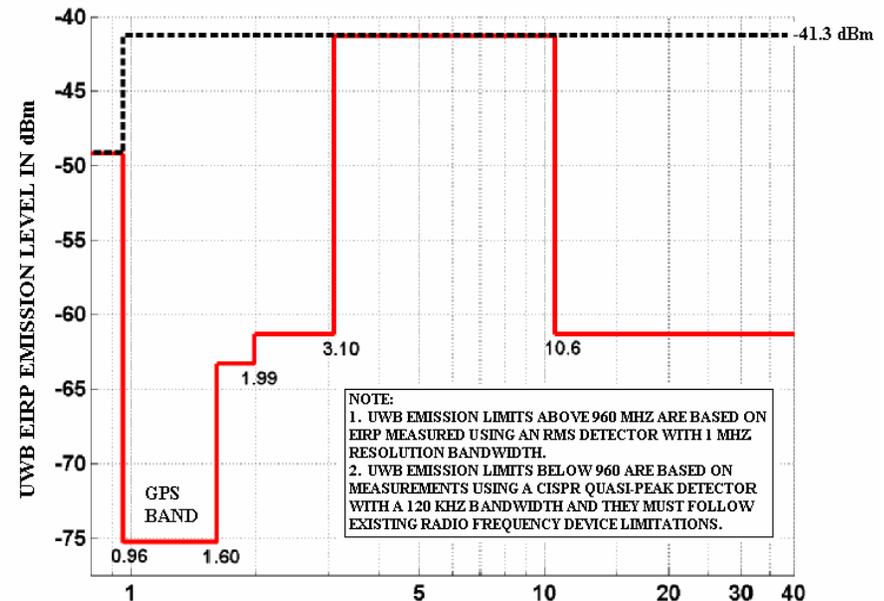
<sup>(\*)</sup> banda relativa = rapporto fra la larghezza di banda (a -10) dB e la frequenza di centro banda

# Potenza emessa e caratteristiche spettrali (1/2)

- Per limitare il rischio di interferenza su 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



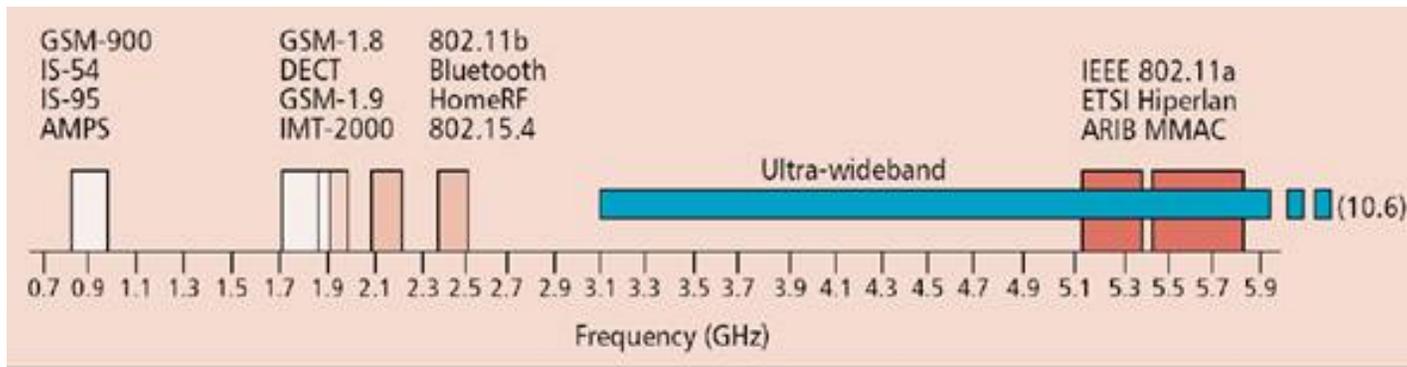
Maschera EIRP FCC - Indoor



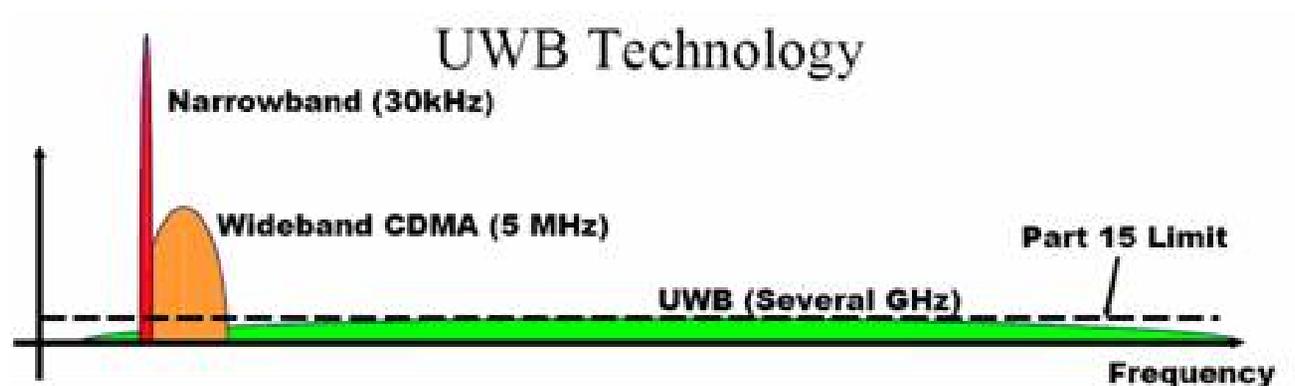
Maschera EIRP FCC - Outdoor

- 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



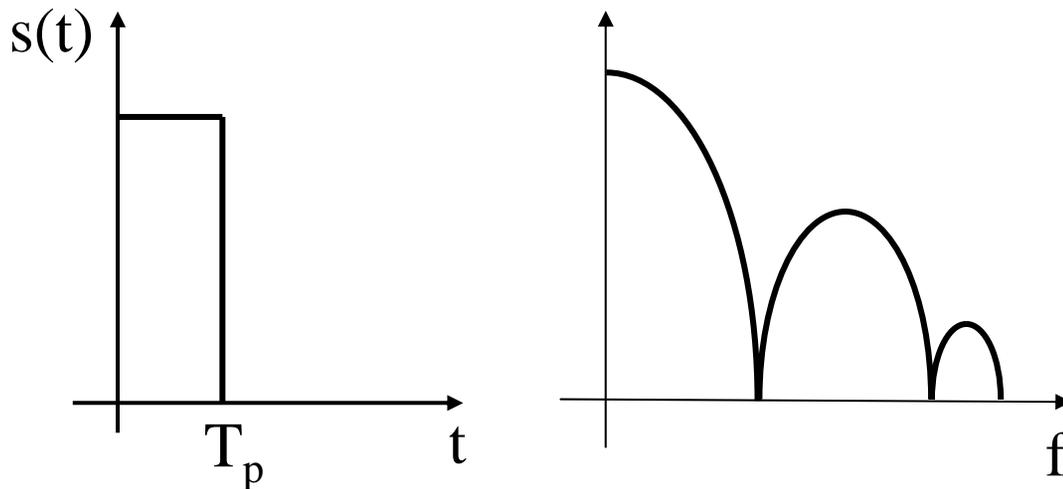
# Forme d'onda per l'impulso elementare (1/2)

- Trasmissione di impulsi in banda base + 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;



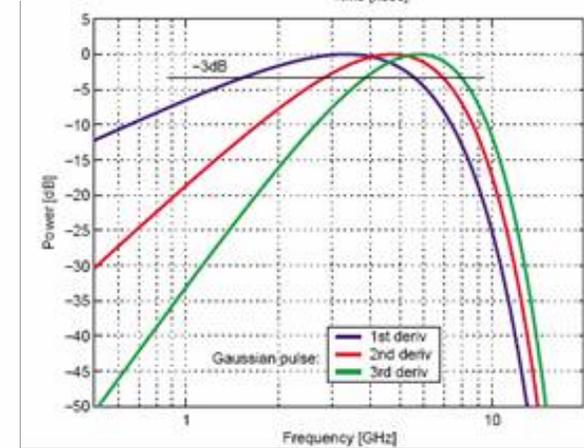
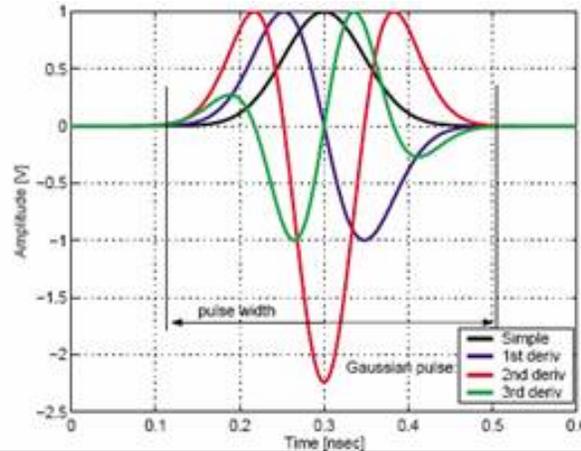
componente in continua  
affatto trascurabile  $\Rightarrow$   
necessario individuare  
forme d'onda più  
opportune

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

## 2. Gaussian pulses:

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

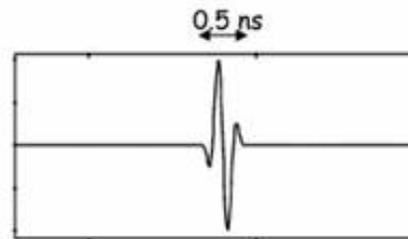
Impulso gaussiano o  
sue derivate  
(per ridurre la continua)



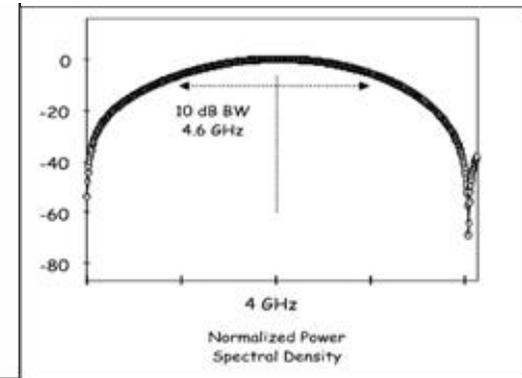
## 3. Hanning Shaped pulse: $s(t) = 0.5[1 - \cos(2\pi f_s t)]\cos(2\pi f_c t)$

$f_c$ : centrobanda

$f_s$ : valore opportuno che  
influisce sulla banda  
complessiva



Hanning Shaped Pulse  
0.5 ns null-to-null  
4 GHz "carrier"

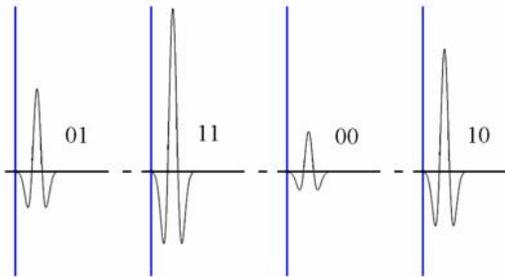


- *Hermite pulse e Modified Hermite pulse* ottenibili come soluzione di opportune equazioni differenziali

# Modulazione

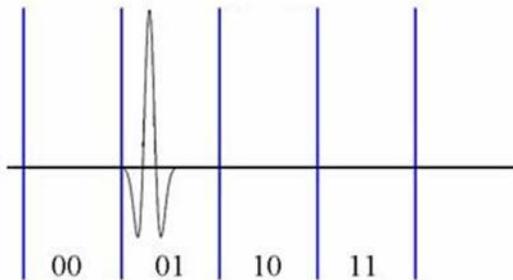
- L'assenza di una portante a radiofrequenza non significa ovviamente assenza di modulazione, sempre necessaria per trasmettere informazione;
- Tecniche di modulazione più usuali per sistemi UWB:

## 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

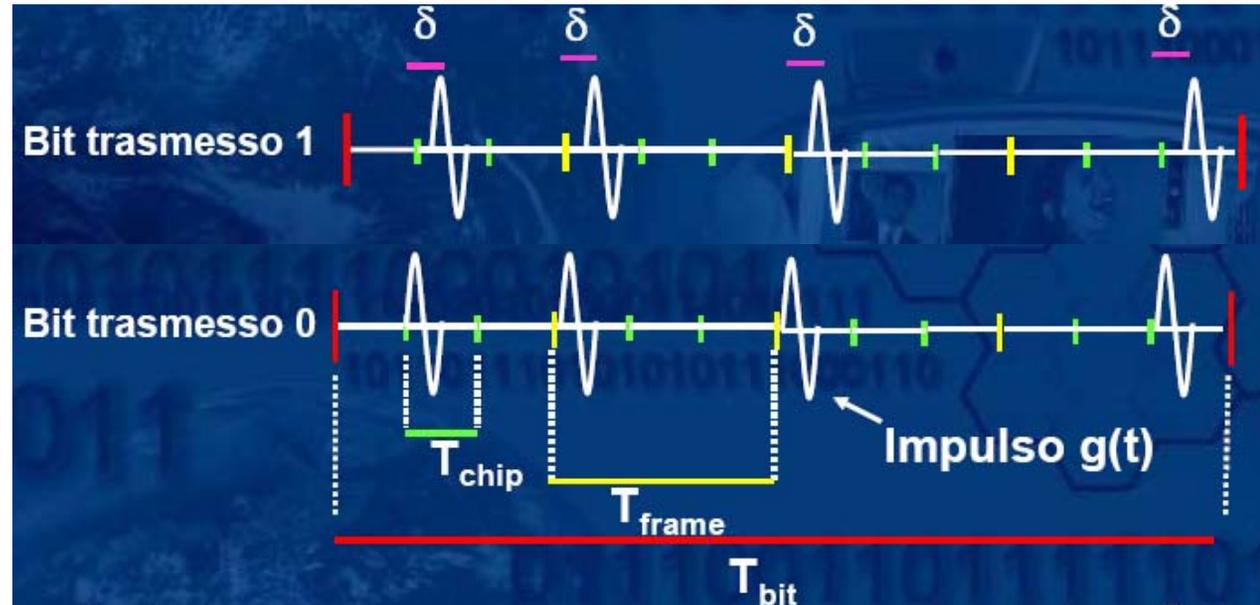
# Accesso Multiplo

- 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

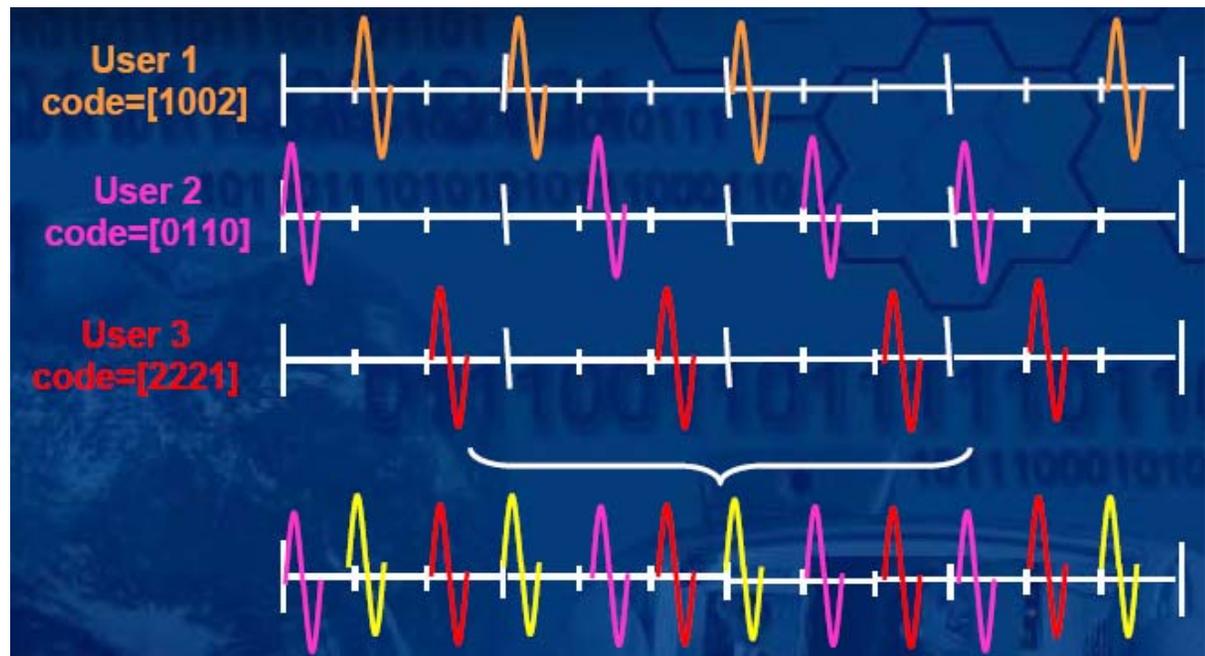
# Esempio TH-PPM

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”, poiché 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;

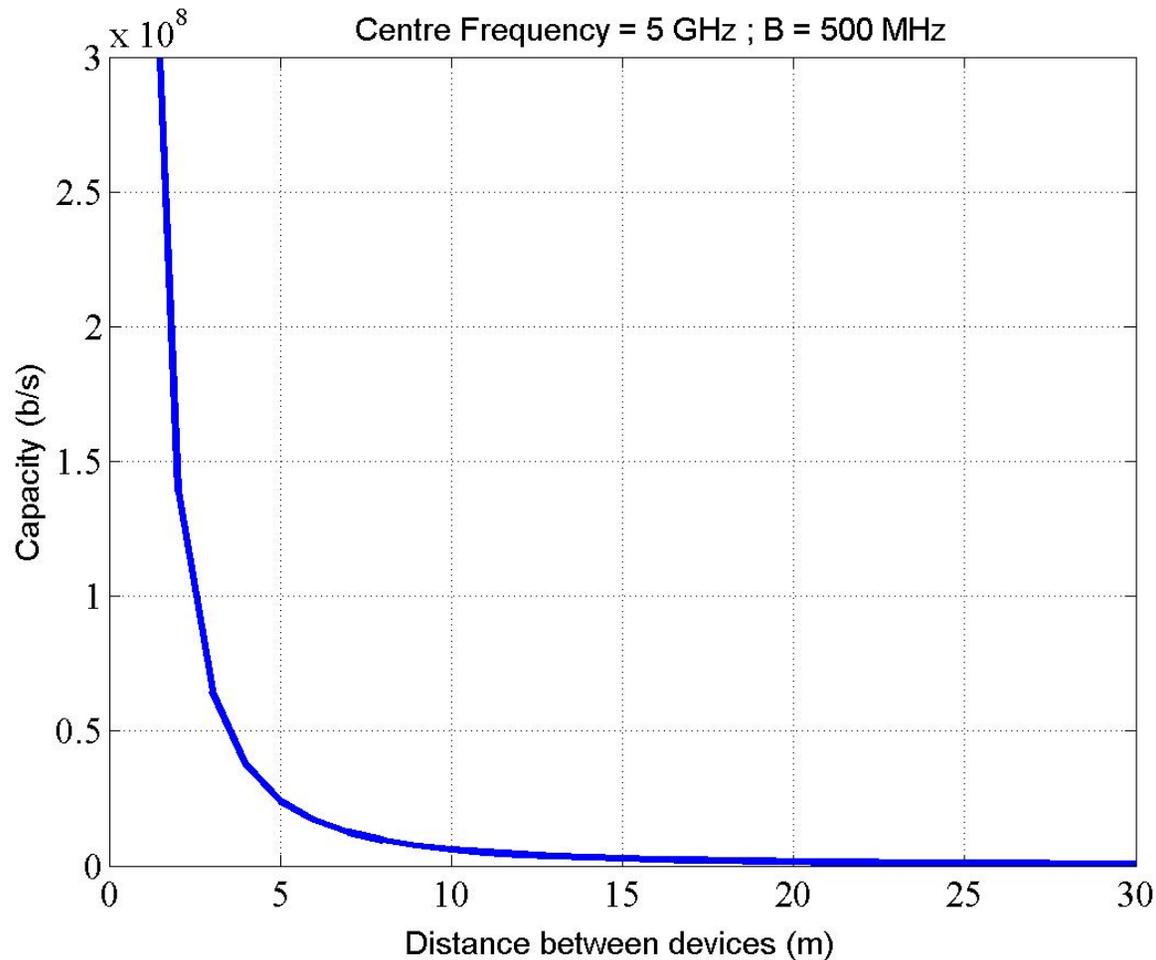
B: banda ( $> 500$  MHz)

$N_0$ : densità spettrale di rumore ( $\sim -114$  dBm/MHz)

S: potenza utile ricevuta

(  $S \sim \text{EIRP} - \text{Loss} \approx -41.3$  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  $\lambda$
  - 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