

## Caratterizzazione in banda stretta di impianti WiMAX

A.Barellini ARPA Toscana, Dip. Prov.le Pisa, via V.Veneto 27, Pisa, a.barellini@arpat.toscana.it  
G.Licitra ARPA Toscana, Dip. Prov.le Lucca, via Vallisneri 6, Lucca, g.licitra@arpat.toscana.it  
B.Siervo IFAC– CNR, via Madonna del Piano, Sesto Fiorentino (FI), siervo@ifac.cnr.it  
Alberto Maria Silvi ARPA Toscana, Dip. Prov.le Pisa, via V.Veneto 27, Pisa, am.silvi@arpat.toscana.it  
Andrea Zari ARPA Toscana, Dip. Prov.le Livorno, via Marradi 114, Livorno, a.zari@arpat.toscana.it

### Riassunto

*Negli ultimi anni l'aumento della domanda di accesso alle applicazioni internet e multimediali e alla rete mobile a basso costo ha determinato un grande interesse per i segnali digitali a banda larga. Lo standard IEEE 802.16, meglio noto con il termine WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), si colloca tra gli standard proposti per consentire l'accesso wireless alla rete e, nella versione IEEE 802.16e, anche in mobilità. Analogamente a quanto accade per le altre sorgenti a radiofrequenza, i segnali digitali sono una possibile sorgente di inquinamento elettromagnetico per cui è necessario monitorarne le emissioni [Betta, 2010]. In questo articolo verrà caratterizzato il segnale WiMAX mediante l'utilizzo di un analizzatore di spettro tradizionale individuando potenzialità e limiti nell'utilizzo di questa tipologia di strumento.*

### INTRODUZIONE

La tecnologia WiMAX, basata sullo standard IEEE 802.16, si propone di fornire l'accesso wireless a servizi a larga banda nelle zone dove non è disponibile alcun tipo di collegamento tradizionale (fibra ottica e tecnologie DSL). Lo standard IEEE 802.16d (IEEE 802.16-2004, 2004) inizialmente proposto è stato successivamente aggiornato con lo standard Mobile WiMAX, IEEE 802.16e (IEEE 802.16e-2005, 2005), che garantisce la fruizione di servizi a banda larga anche in condizioni di mobilità. Scopo del presente lavoro è quello di effettuare misure di potenza di segnali con standard 802.16e per mezzo di una catena strumentale in banda stretta che utilizza un analizzatore di spettro supereterodina. Il segnale WiMAX viene caratterizzato sia nel dominio della frequenza che in quello del tempo allo scopo di individuare potenzialità e limiti nell'utilizzo di questa tipologia di strumento [Angrisani, 2003]. Le misure sono state effettuate in prossimità di Stazioni Radio Base Mobile WiMAX ubicate nelle province di Lucca e Livorno.

### CARATTERISTICHE DELLO STANDARD MOBILE WiMAX (IEEE 801.16e)

La tecnologia Mobile Wimax si basa sull'utilizzo della modulazione OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) che consiste nel suddividere l'intera banda contenente un flusso di dati ad alta velocità di segnalazione in numerosi sotto-flussi paralleli più lenti, ognuno modulato su una singola portante. Tali portanti sono equispaziate in frequenza e sono ortogonali tra loro; in tal modo il segnale risulta essere meno sensibile alla distorsione multicammino del canale e all'interferenza intersimbolica (ISI). La tecnologia OFDMA è una tecnica di accesso multiplo e grazie alla sub-canalizzazione della risorsa radio permette a più utenti di trasmettere sullo stesso canale. Lo standard prevede che la spaziatura tra le portanti sia pari a 10.94 kHz e che il numero delle sottoportanti vari in base alla larghezza della banda in esame [Kumar, 2008]. Le Stazioni Radio Base (SRB) oggetto delle misure utilizzano una banda di 10 MHz per portante ed il numero di sottoportanti è pari a 1024. Lo standard utilizza la tecnica di trasmissione TDD (Time Division Duplex) dove la SRB e gli utenti condividono la stessa banda di frequenza. Pertanto, ogni frame TDD è suddiviso in due subframes, uno per il downlink e uno per l'uplink (Figura 1), separati tra loro da due intervalli di guardia (TTG e RTG). La lunghezza dell'intero frame è pari a 5 ms e contiene 48 simboli, ciascuno di durata 102,94  $\mu$ s.

Nel dominio della frequenza le sottoportanti di un simbolo OFDM sono raggruppate in 60 cluster (14 sottoportanti per ogni cluster) ed in generale non sono adiacenti tra loro in modo da ridurre il fading selettivo in frequenza. Il Download Subframe che è costituito dal Preambolo, dall'FCH (Frame Control Header) e dai Download data bursts (Figura 1). Il Preambolo viene utilizzato per la sincronizzazione del tempo e della frequenza, individua l'inizio di un nuovo frame ed ha durata pari ad un simbolo OFDM. Il Preambolo è costituito da 852 sottoportanti, e se si utilizza un solo segmento durante il tempo di Preambolo viene trasmessa una portante ogni tre. Le sottoportanti pilota nel Preambolo servono al ricevitore per stimare gli errori di frequenza e fase e per sincronizzarsi al trasmettitore. L'FCH contiene le informazioni relative alla configurazione del

frame, come ad esempio la lunghezza dei messaggi MAP (DL-MAP, UL-MAP), la modulazione, lo schema di codifica, le sottoportanti utilizzate ed ha durata pari a due simboli.

L'allocazione delle sottoportanti, in generale, si basa su due schemi, lo schema PUSC (Partial Utilization of Subcarrier) e lo schema FUSC (Full Utilization of Subcarrier).

L'allocazione delle sottoportanti, secondo lo schema di permutazione delle sottoportanti PUSC, prevede che non tutte le sottoportanti siano allocate per la trasmissione in downlink e in uplink. Nello schema FUSC, invece, tutte le sottoportanti vengono utilizzate per il traffico dati. Nel downlink PUSC un sottocanale è costituito da due cluster (28 sottoportanti) per un totale di 24 sottoportanti dati e 4 sottoportanti pilota. Riportiamo in Tabella 1 i parametri della permutazione delle sottoportanti del DL PUSC [Nuaymi, 2007]. Un insieme di sottocanali OFDM costituisce un segmento.

Lo standard prevede che le sottoportanti utilizzate durante la trasmissione del preambolo siano trasmesse ad un valore di potenza di 8 volte superiore a quello delle portanti dati (Boosting factor pari a 9 dB) mentre quelle utilizzate per la trasmissione delle sottoportanti pilota siano trasmesse con boosting factor pari a 2,5 dB [Daniele Trincherò, 2009].

Figura 1: Downlink ed Uplink subframe

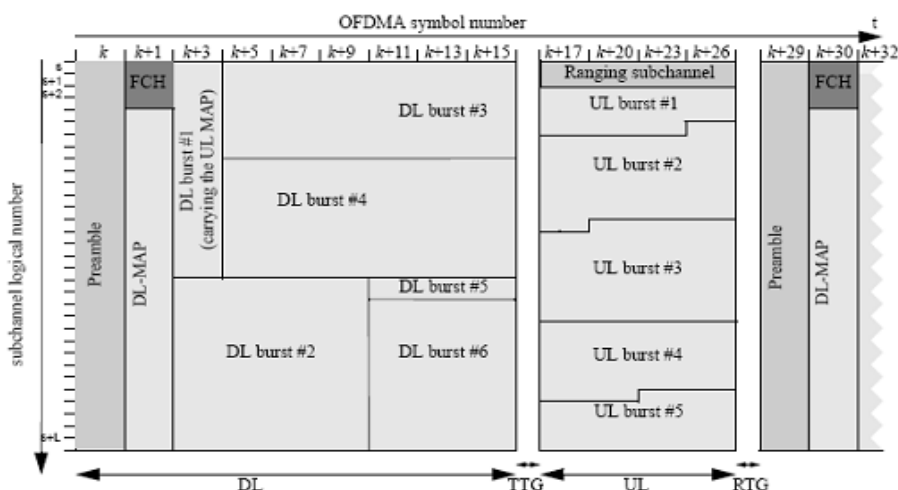


Tabella 1: parametri dello schema di permutazione delle sottoportanti PUSC

FFT size	1024
Subcarrier per cluster	14
Number of subchannels	30
Data subcarrier used	720
Pilot subcarrier	120
Left-guard subcarrier	92
Right-guard subcarrier	91

## MATERIALI, METODI E RISULTATI

Le misure si riferiscono a Stazioni Radio Base (SRB) che trasmettono nella banda di frequenza di 3.4÷3.6 GHz. Esse sono state effettuate utilizzando una catena strumentale costituita da un'antenna log-spirale EMCO mod. 3102 (1÷10 GHz) collegata tramite un cavo coassiale ad un analizzatore di spettro Agilent ESA mod. 4407B (100 kHz – 26.5 GHz).

### MISURE DI POTENZA MEDIANTE IL METODO "CHANNEL POWER"

Diversi studi asseriscono la validità dell'utilizzo della funzione Channel Power [Agilent, 2003; Bertocco, 2006; Licitra, 2006; Betta, 2008; Joseph, 2008] nel caso di segnali digitali a banda larga

ai fini della misura dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da essi prodotti. Tale metodica può essere applicata a tutti i segnali di tipo noise-like, quali ad esempio i segnali UMTS, DVB-T, DVB-H.

Essendo il segnale WiMAX stesso un segnale digitale di tipo noise-like, si può ipotizzare di applicare anche in questo caso tale metodica. In Figura 2 è riportato un esempio di misura di segnale WiMAX con modalità Channel Power (in Tabella 2 sono riportati i parametri utilizzati per la misura). Si ricorda che l'espressione per il calcolo del CP è data da:

$$CP = 10 \cdot \text{LOG}_{10} \left( \frac{B_s}{NBW} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{P_i}{10}} \right) \right)$$

dove  $B_s$  è la banda occupata dal segnale, NBW ( $NBW = \alpha \cdot RBW$  con  $\alpha = 1.128$  per l'analizzatore utilizzato) è la banda equivalente di rumore dell'analizzatore di spettro, N (401 nel caso in esame) è il numero dei punti all'interno della banda e  $P_i$  è la potenza associata al pixel i-esimo. Ad ogni pixel (bin) corrisponde un piccolo intervallo di frequenze ed un determinato numero di campioni ottenuti tramite il convertitore ADC. Di tali valori è possibile visualizzare sul display il valor medio (utilizzando il detector in modalità RMS) o il valore maggiore (detector in modalità Peak). La larghezza del filtro RBW dell'analizzatore deve essere pari a qualche percento della banda di integrazione (IBW). Inoltre in presenza di segnali di tipo noise-like è opportuno impostare sull'analizzatore valori per la larghezza di banda del filtro video (VBW) tale che valga la relazione  $VBW \geq 3 \cdot RBW$  [Adda, 2006; Baldini, 2009].

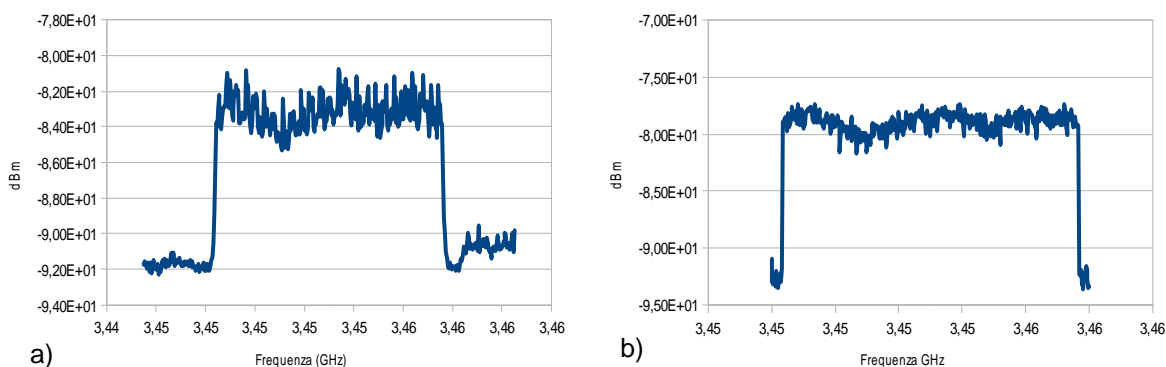
Come noto, l'utilizzo del detector di Peak sull'analizzatore e della funzione Max Hold comporta notevoli sovrastime del valore della potenza ricevuta e di conseguenza dei livelli di campo elettrico relativi. A dimostrazione di questo è stato acquisito uno spettro in quest'ultima modalità ed è stato calcolato per via analitica, utilizzando la formula riportata in alto, il valore della potenza di canale.

Tabella 2: Parametri dell'analizzatore di spettro e misura della potenza del segnale Wimax

	Channel Power	Max hold
<i>Center Frequency (GHz)</i>	3,453	3,453
<i>RBW (kHz)</i>	100	10
<i>VBW (kHz)</i>	1000	10
<i>Detector</i>	RMS	Peak
<i>Sweep (ms)</i>	100	129 (Auto)
<i>Potenza (dBm)</i>	-64.01	-49,67

Come evidenziato in Tabella 2, il valore così ottenuto risulta superiore di circa 14,3 dB rispetto a quello ottenuto con detector RMS.

Figura 2: andamento della potenza del segnale Wimax ottenuta utilizzando a) la funzione Channel Power e b) la modalità Max Hold



## ANDAMENTO DEL SEGNALE WIMAX NEL DOMINIO DEL TEMPO

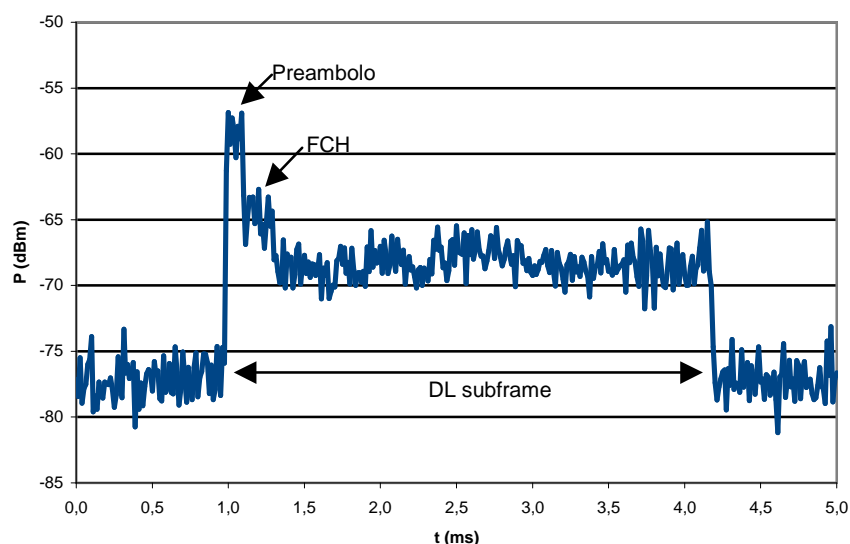
Una misura di esposizione può essere ottenuta anche effettuando misure nel dominio del tempo ed utilizzando l'analizzatore in modalità Zero Span con frequenza centrale pari a quella del centro banda del segnale analizzato. A questo scopo tuttavia risulta necessario che l'analizzatore disponga di un valore di RBW almeno pari alla larghezza della banda del segnale WiMAX.

L'analizzatore utilizzato non possiede una RBW maggiore od uguale di 10 MHz, pertanto sono state eseguite misure con un valore di RBW pari a 1 MHz al fine di verificare i risultati ottenibili in tale configurazione. La Tabella 3 riassume i parametri utilizzati per le misure mentre in Figura 3 è riportato un esempio di andamento ottenuto. La durata della Sweep è pari alla durata di una trama.

Tabella 3: Parametri dell'analizzatore di spettro utilizzati per la misura di Figura 3

Center Frequency	3,453 GHz
RBW	1 MHz
VBW	1 MHz
Detector	Peak
Sweep Time	5 ms

Figura 3: Andamento nel tempo ottenuto utilizzando un valore della RBW pari a 1 MHz



Dal grafico di Figura 3 è possibile individuare diversi tempi tipici del segnale WiMAX. Infatti, come evidenziato nella stessa figura, si può distinguere il tempo di durata del Preambolo (pari alla durata di un simbolo, ovvero 102,94  $\mu$ s), dell'FCH (pari alla durata di due simboli) nonché la durata complessiva del subframe DL (31 simboli nel caso in oggetto) in modo da individuare il tempo di accensione della SRB rispetto alla durata complessiva del frame (Tabella 4).

Tabella 4: Durata degli elementi del DL subframe

	Durata (ms)
Preambolo	0,11
FCH	0,20
DL subframe	3,23

In Tabella 5 è riportata la potenza media ricevuta durante il Preambolo, quella ricevuta durante i due simboli in cui viene trasmesso l'FCH e quella ricevuta durante la restante porzione del DL subframe, ricavata mediando i valori di potenza ottenuti in ciascun intervallo. L'intensità del segnale si può ipotizzare sia collegata al numero di sottocanali (e di conseguenza al numero di subcarrier) utilizzati simbolo per simbolo. Il grafico di Figura 4 (Agilent, 2008) riporta la differenza

teorica tra la potenza ricevuta durante il preambolo e quella ricevuta durante la trasmissione dei simboli successivi ( $P_{\text{pilota}} + P_{\text{Data}}$ ).

Tabella 5: Potenza media degli elementi del DL subframe

Potenza media	dBm	diff rif. $P_{\text{Preambolo}}$ (dB)
Preambolo	-58,19	-
FCH	-64,14	-5,95
DL subframe rimanente	-67,46	-9.27

I valori ottenuti sperimentalmente per tali differenze (ricavabili da Tabella 5) possono essere confrontati in via di esempio con quanto previsto teoricamente. La differenza di circa 6 db tra la potenza del preambolo e quella dei simboli in cui viene trasmesso l'FCH fanno ipotizzare l'utilizzo durante quest'ultimo di circa 12 sottocanali. Al contrario la differenza di circa 10 dB tra la potenza del preambolo e quella dei rimanenti simboli del DL subframe fanno ipotizzare la presenza di un numero esiguo di sottocanali attivi.

Figura 4: differenza tra la potenza del preambolo e la potenza del simbolo ( $P_{\text{pilota}} + P_{\text{Data}}$ ) in funzione dei sottocanali utilizzati



#### CARATTERIZZAZIONE DELLE SOTTOPORTANTI WIMAX NEL DOMINIO DEL TEMPO

Successivamente è stato indagato l'andamento nel tempo della potenza trasmessa sulle singole sottoportanti utilizzando, come in precedenza la funzione Zero Span dell'analizzatore e selezionando un valore del filtro RBW (10 kHz) tale da poter risolvere la singola sottoportante. I parametri dell'analizzatore di spettro utilizzati sono riportati in Tabella 6.

Tabella 6: Parametri dell'analizzatore di spettro per la caratterizzazione delle sottoportanti

Banda	Span	Sweep	RBW	VBW	Detector
10 MHz	Zero	10 ms	10 kHz	100 kHz	RMS

In figura 5 è riportato lo schema di un cluster e della posizione delle sottoportanti pilota nello schema downlink PUSC. In tale schema, un sottocanale è costituito da due cluster (28 sottoportanti) costituito da di 24 sottoportanti dati e 4 sottoportanti pilota [Jeffrey, 2007]. Nel dominio del tempo la configurazione delle sottoportanti pilota cambia a seconda se si tratta di un simbolo pari o dispari (Figura 5). La Figura 6 riporta l'andamento della potenza ricevuta durante un frame sulla prima sottoportante oltre la frequenza di centro banda.

In Figura 6 si nota la presenza del preambolo (primo picco) e successivamente la presenza di picchi ripetuti (15 in totale) equidistanti corrispondenti ai simboli in cui la sottoportante è utilizzata come sottoportante pilota. La distanza temporale tra i picchi è infatti di circa 0,20 ms, valore prossimo alla durata di due simboli. Per maggior chiarezza in figura è stata schematizzata la corrispondenza tra i picchi individuati e la successione delle sottoportanti pilota all'interno di un cluster (la sottoportante è indicata con la freccia rossa).

Figura 5: Schema di un cluster e della posizione delle sottoportanti pilota nello schema downlink PUSC

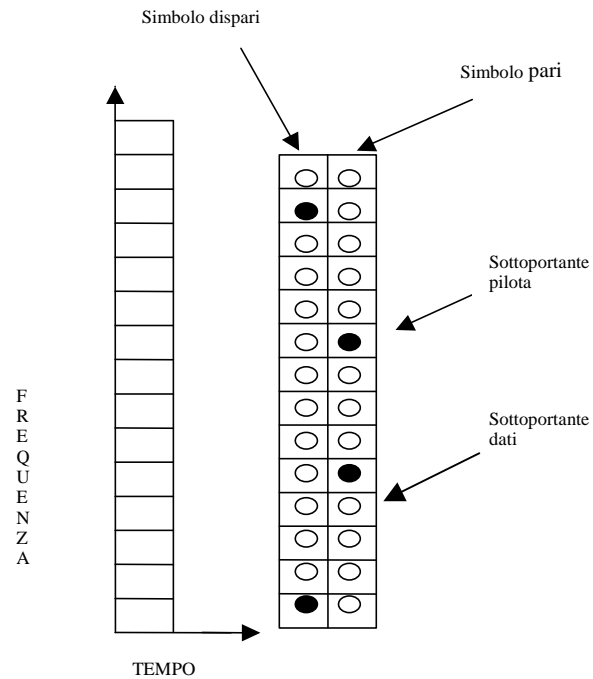
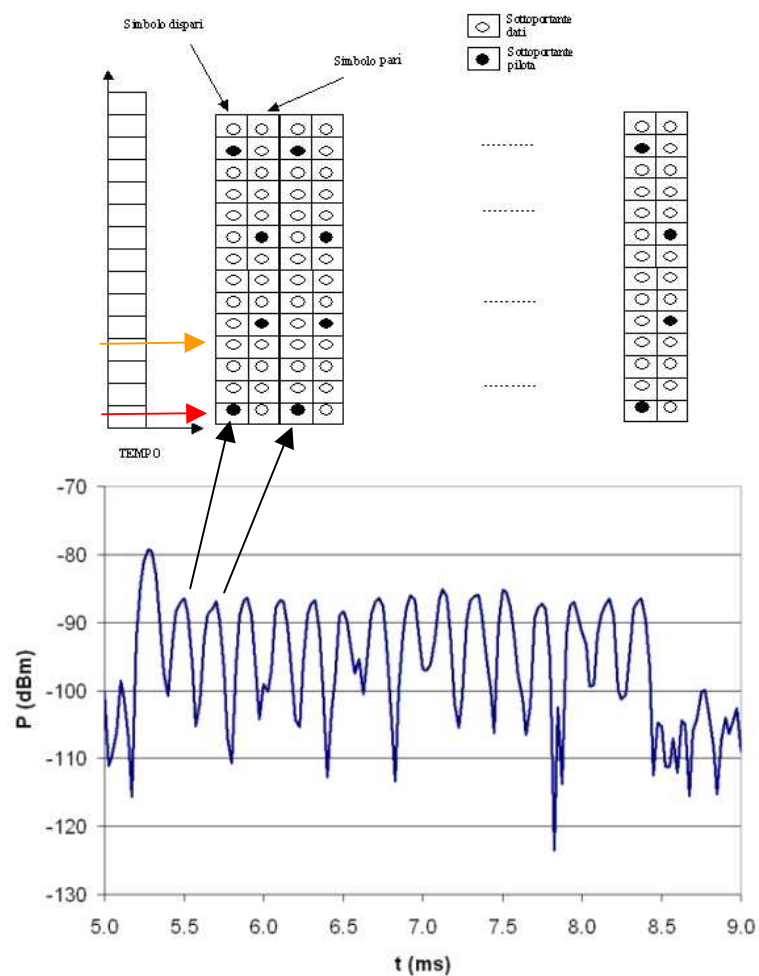


Figura 6: Andamento della potenza ricevuta sulla prima sottoportante oltre la frequenza centrale ( $f = 3453010900$  Hz)

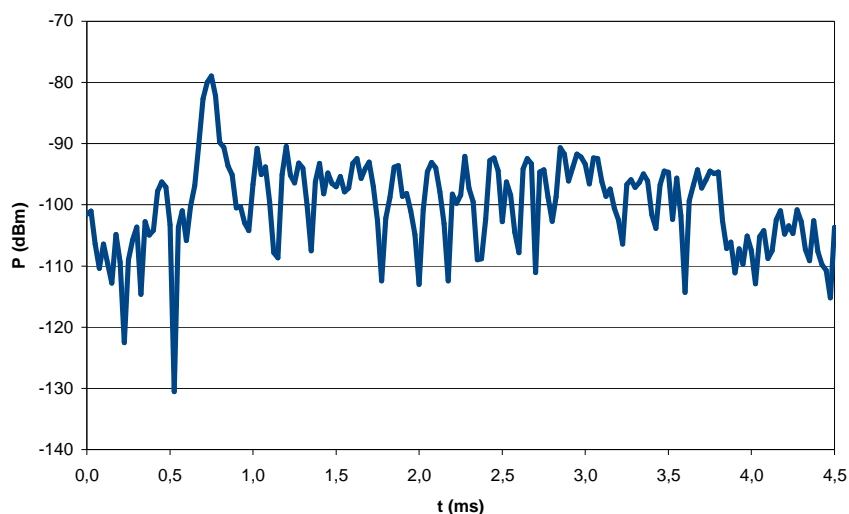


Confrontando la potenza del picco corrispondente al preambolo  $P_{\text{preambolo}}$  (pari a -79,3 dBm) e la potenza media dei picchi successivi corrispondenti alle sottoportanti pilota  $P_{\text{pilota}}$  (pari a -85.2 dBm) si ottiene una differenza pari a 5.9 dB. Tale valore è in accordo con il *boosting factor* teorico di 6,5 dB. Anche in questo caso il grafico permette di individuare la durata del DL subframe che risulta essere pari a 3,20 ms.

Lo standard prevede che nel caso di utilizzo di un solo segmento, durante il preambolo risulti attiva una sottoportante ogni 3. In Figura 7 è riportato l'andamento della potenza ricevuta durante un frame sulla quarta sottoportante oltre la frequenza di centro banda ( $f=3453043700$  Hz), ovvero la terza sottoportante successiva a quella di Figura 6.

Anche in questo caso si nota la presenza del preambolo la cui potenza è pari a -79,8 dBm e quindi del tutto confrontabile con quella ottenuta in precedenza. Tuttavia, come atteso (si veda la sottoportante indicata con la freccia arancione in Figura 6) non si ottengono i picchi ottenuti in precedenza e corrispondenti alle sottoportanti pilota.

Figura 7: Andamento della potenza ricevuta sulla quarta sottoportante oltre la frequenza centrale ( $f= 3453043700$  Hz)



## CONCLUSIONI

E' stata condotta una campagna di misure in situ presso impianti Mobile WiMAX nelle province di Livorno e Lucca con strumentazione in banda stretta che utilizza un analizzatore supereterodina. L'uso di questo analizzatore consente di applicare a tale tipologia di impianti metodiche analoghe a quelle utilizzate per altri segnali a banda larga quali il DVB-T e DVB-H (che utilizzano la stessa tecnica di modulazione OFDM) per la determinazione dei livelli di esposizione determinata da tali impianti (misura in modalità Channel Power). Le misure effettuate hanno inoltre mostrato come anche l'analizzatore di spettro supereterodina consenta di individuare alcuni parametri del segnale WiMAX, anche in mancanza di un analizzatore di spettro vettoriale. In particolare risultano individuabili i tempi tipici del frame WiMAX quali la durata del preambolo, la durata dell' FCH e la durata complessiva del DL subframe che consente di individuare la frazione della durata del frame (5 ms) riservata alla trasmissione da parte della SRB.

L'analisi sulle singole sottoportanti ha inoltre permesso di verificare i boosting factor delle sottoportanti attive durante il preambolo e di quelle utilizzate per la trasmissione dei piloti. La combinazione delle misure di potenza del preambolo e delle sottoportanti pilota e le misure di durata del DL subframe possono essere la base da cui estrapolare il massimo valore di campo elettrico che la SRB può produrre nel punto di misura.



## Bibliografia

1. Betta Giovanni, Capriglione Domenico, Miele Gianfranco "How to use traditional spectrum analyzer for correct evaluation of the human exposure to electromagnetic fields generated by Wimax device", 2010, Metrology and Measurement Systems Vol. XVII, n.4, pp. 525-536.
2. IEEE 802.16-2004 "IEEE standard for local and metropolitan area network " Part 16 : "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands " , 2004.
3. IEEE 802.16e-2005 " IEEE standard for local and metropolitan area network "Part 16 : "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1 " , 2005.
4. Angrisani Leopoldo, D'Apuzzo Massimo, D'Arco Mauro " A new method for power measurements in digital wireless communication Systems" Agosto 2003, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement Vol. 52, n.54, pp.1097-1106.
5. Kumar Amitabh "Mobile Broadcasting with WiMAX: Principles", 2008, Technology, and Applications" Focal Press.
6. Nuaymi Loutfi "WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access", 2007 John Wiley & Sons.
7. Trincherò Daniele, Galardini Alessandro, Longobardi Federico, Stefanelli Riccardo, Fiorelli Benedetta, Anglesio Laura, Benedetto Alberto, Stefano Trincherò, d'Amore Giovanni, Michele Borsero, Giuseppe Vizio "Misura dell'esposizione a segnali radio digitali a banda larga mediante strumenti selettivi in frequenza", 2009, Controllo ambientale degli Agenti Fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti, Vercelli.
8. Agilent Technologies Inc.:AN 1303 "Spectrum Analyzers Measurements and Noise", December 2003, <http://www.agilent.com>.
9. Bertocco Matteo, Sona Alessandro "On the Measurement of power via a Superheterodyne Spectrum Analyzer" , 2006, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements Vol. 55 n.5 pp.1494-1501.
10. Licitra Gaetano, Barellini Andrea, Palazzuoli Diego, Pinzauti Andrea, Silvi Alberto Maria, "Metodiche e strumenti per la misura dei campi elettromagnetici per sistemi UMTS: confronto e valutazioni, 2006, III Convegno Nazionale "Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica, Biella.
11. Betta Giovanni, Capriglione Domenico, Miele Gianfranco, and Rossi Luca, "Reliable measurements of Wi-Fi electromagnetic pollution by means of traditional spectrum analyzers", May 2008, In Proceedings of International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC2008), pp. 206–211, Victoria, Vancouver Island, Canada.
12. Joseph Wout, Olivier Christof and Martens Luc "Accurate Assessment of electromagnetic exposure from Wimax signals using a spectrum analyzer", March 2008, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement , vol.57, pp. 518-521.
13. Adda Sara , Anglesio Laura, Bertoldo Silvano, La Paglia Maurizio, Trincherò Daniele "Tecniche di valutazione dell'esposizione al campo elettromagnetico in presenza di segnali DVB-T e DVB-H", Giugno 2006, atti del Terzo Convegno Nazionale - Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica, pp. 476-481, Biella.
14. Baldini Michele, Barellini Andrea, Bogi Luca, Licitra Gaetano, Silvi Alberto Maria, Zari Andrea, "Characterisation and measurement of signals generated by DVB-H 'GAP-filler' repeaters", December 2009, Radiation Protection Dosimetry .
15. Agilent Technologies Application Note "Mobile WiMAX PHY Layer (RF) Operation and Measurement", July 2008.
16. Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, "Fundamentals of WiMAX", 2007, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, Theodore S. Rappaport, Series Editor.