

NB-IoT nelle reti LTE: analisi dell'allocazione delle risorse radio nella banda di guardia

Introduzione

Quando si parla di NB-IoT, una delle domande più frequenti è: dove viene trasmesso realmente il segnale? Utilizza un canale dedicato oppure condivide le risorse della rete LTE? La risposta non è univoca, perché il 3GPP ha previsto diverse modalità di implementazione, ciascuna con vantaggi e compromessi in termini di efficienza spettrale, capacità e copertura.

L'integrazione dell'Internet of Things (IoT) nelle reti cellulari esistenti richiede una conoscenza approfondita delle modalità con cui le risorse radio vengono allocate all'interno dello spettro LTE.

Uno degli aspetti meno immediati riguarda l'identificazione della reale posizione delle risorse NB-IoT, poiché alcune implementazioni non risultano immediatamente riconducibili alla griglia LTE standard, rendendo l'analisi complessa anche dal punto di vista strumentale.

Per questo motivo è stata condotta un'attività di analisi sperimentale mediante strumentazione dedicata, con l'obiettivo di verificare il posizionamento delle risorse NB-IoT all'interno di un canale LTE e correlare le misure ottenute dai diversi strumenti utilizzati.

Approccio metodologico di misura

Per analizzare il comportamento dell'NB-IoT è stato adottato un approccio basato su misure incrociate ottenute tramite tre differenti tipologie di strumentazione:

- uno scanner IoT dedicato all'analisi dei segnali NB-IoT: Siretta Snyder IoT
- un analizzatore LTE per la mappatura delle Resource Block: CellAdvisio Viavi (RB)
- un analizzatore di spettro: Agilent/Keysight ESA E4407B

L'utilizzo combinato di strumenti con caratteristiche differenti ha permesso di correlare l'osservazione del segnale NB-IoT, la struttura delle Resource Block LTE e l'occupazione spettrale complessiva.

L'obiettivo è stato quello di correlare la presenza del segnale NB-IoT con la struttura della griglia LTE, verificando eventuali disallineamenti o posizionamenti non immediatamente evidenti all'interno della banda nominale.

Setup

La campagna di misura è stata inizialmente condotta su siti radio situati fuori dal comune di Bologna, selezionando specificamente stazioni base in aree a bassa densità abitativa o in campo aperto.

Questa scelta è stata motivata dalla necessità di:

- ridurre al minimo le riflessioni multipath
- favorire la ricezione del segnale diretto da un unico eNodeB
- migliorare la stabilità delle misure radio

Le antenne di misura sono state posizionate ad un'altezza di circa 3 metri da terra, in corrispondenza di una distanza di circa 400 metri dalla BTS, in posizione quasi centrale tra due settori.

Le strumentazioni sono state sincronizzate tramite riferimento GPS, al fine di garantire coerenza temporale e spaziale tra le acquisizioni.



Prime osservazioni sul posizionamento NB-IoT

Le misure iniziali hanno permesso di identificare la posizione in frequenza delle portanti NB-IoT per i diversi operatori analizzati.

Nel caso specifico della rete Vodafone, è stato osservato che le risorse NB-IoT risultavano collocate alle seguenti frequenze:

- Settore 0: 811,40 MHz
- Settore 2: 820,60 MHz

L'identificazione del TAC, che risulta identico per le celle osservate, e la progressione degli ID di cella tra i diversi settori rilevati confermano che le celle appartengono allo stesso sito radio (eNodeB), organizzato in configurazione settoriale, piuttosto che a siti distinti.

In altre parole, le differenze osservate tra PCI e livelli di segnale non sono riconducibili a infrastrutture differenti, ma alla geometria dei settori e alla direttività dei lobi di antenna all'interno della stessa stazione radio base. Nell'immagine seguente viene riportata la misurazione effettuata con lo scanner NB-IoT

GRAPHYTE Risultati di 1 Misurazione (Tutte le reti)

NB-IoT Risultati Misurazione

Cella	Indice	EARFCN	dBm	%	RSSI	MCC	MNC	IDCella	TAC	Banda	PCI	RSRP	RSRQ	DL (MHz)	UL (MHz)	Segnale di rete
1	1	6446	-53	62	48	222	10	11905903	27092	20 (800 MHz)	83	-80	-10	820.60	861.60	Vodafone
2	2	6254	-59	54	41	222	01	205790881	38073	20 (800 MHz)	444	-88	-10	801.40	842.40	TIM
3	3	6354	-60	53	40	222	10	11905904	27092	20 (800 MHz)	168	-89	-10	811.40	852.40	Vodafone
4	4	6154	-73	35	27	222	88	51763846	20577	20 (800 MHz)	183	-106	-13	791.40	832.40	Wind Tre

NB-IoT Registrazione Misura

Nome rete	PLMN	85%	70%	55%	40%	25%	10%
Vodafone	22210	0	0	1	2	2	2
TIM	22201	0	0	0	1	1	1
Wind Tre	22288	0	0	0	0	1	1

Un elemento rilevante emerso dall'analisi è che tali allocazioni risultavano fuori dalla griglia LTE standard, collocandosi all'interno della banda di guardia.

Prime considerazioni tecniche

Questo comportamento suggerisce una strategia di allocazione volta a:

- ridurre possibili collisioni con risorse LTE tradizionali
- mantenere separata l'allocazione NB-IoT dalle risorse LTE convenzionali
- ottimizzare l'utilizzo complessivo dello spettro disponibile senza impattare le portanti LTE attive

In particolare, l'utilizzo di porzioni di spettro interne alla guard band consente agli operatori di massimizzare l'efficienza spettrale, grazie alla separazione logica tra traffico broadband LTE e traffico IoT.

Complessità della misura NB-IoT con analizzatori LTE

Uno degli aspetti più critici nell'analisi dell'NB-IoT riguarda la difficoltà di rilevazione delle risorse radio quando queste risultano collocate al di fuori della griglia LTE standard.

Gli analizzatori LTE sono progettati per operare su una struttura ben definita di Resource Block (RB) da 180 kHz, allineata alla griglia LTE. Tuttavia, nel caso dell'NB-IoT, la presenza di allocazioni in aree non coincidenti con la griglia introduce limitazioni nella misura diretta.

Approccio adottato per l'estensione della griglia RB

Per superare questa limitazione, è stato adottato un approccio basato sull'estensione della griglia di analisi dello strumento.

È stata effettuata una riconfigurazione della larghezza di banda di analisi introducendo ulteriori Resource Block da 180 kHz.

Le acquisizioni sono state effettuate solo dopo la stabilizzazione del riferimento GPS a 10 MHz, utilizzato per ridurre l'errore di frequenza.

La misura è stata impostata sul subframe 0, caratterizzato da una maggiore densità di canali di controllo e sincronizzazione.

Questa scelta ha permesso di:

- migliorare la visibilità delle strutture di allocazione
- aumentare la probabilità di intercettare le risorse NB-IoT
- ridurre l'ambiguità legata alla dinamica del traffico dati

Le misure hanno anche evidenziato che la risorsa NB-IoT presenta uno shift di potenza superiore rispetto al traffico LTE tradizionale.

È stato possibile mappare le Physical Resource Block in posizioni non convenzionali rispetto alla griglia LTE standard:

Il canale analizzato è una portante LTE da 10 MHz in banda 20 e le posizioni degli RB per le portanti IoT riscontrate sono state le seguenti:

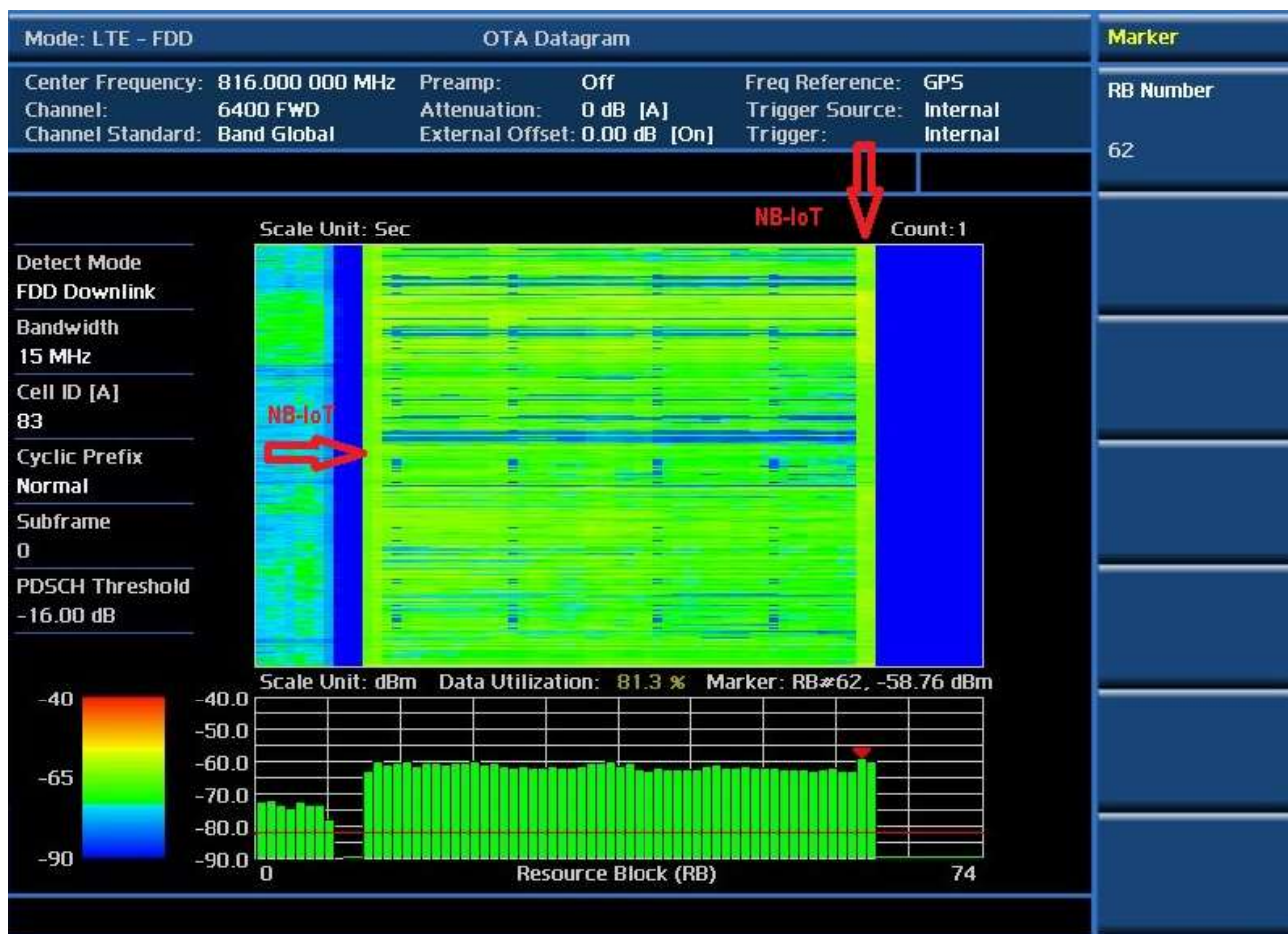
- RB -1 per un settore
- e RB 50 per l'altro settore

La seguente immagine mostra la misura effettuata con la griglia LTE estesa, nella quale sono evidenziate tramite frecce le Resource Block associate alla trasmissione NB-IoT.

In questa configurazione lo strumento ha rilevato la presenza simultanea di due Physical Cell Identity (PCI), conseguenza diretta della posizione del punto di misura in una regione di sovrapposizione tra due settori radio adiacenti.

In particolare, il segnale dominante risulta associato al PCI 83, mentre è visibile anche la presenza del PCI 168, con livelli di potenza inferiori ma comunque sufficienti a essere demodulati dallo strumento di analisi.

Questa condizione spiega la sovrapposizione delle due strutture di griglia LTE visualizzate nello strumento, che riporta simultaneamente le risorse dei due settori nella stessa rappresentazione spettrale estesa.



Correlazione con la griglia LTE estesa

Le frequenze coincidono con le posizioni osservate nella griglia LTE estesa:

- RB -1 per un settore
- RB 50 per l'altro settore

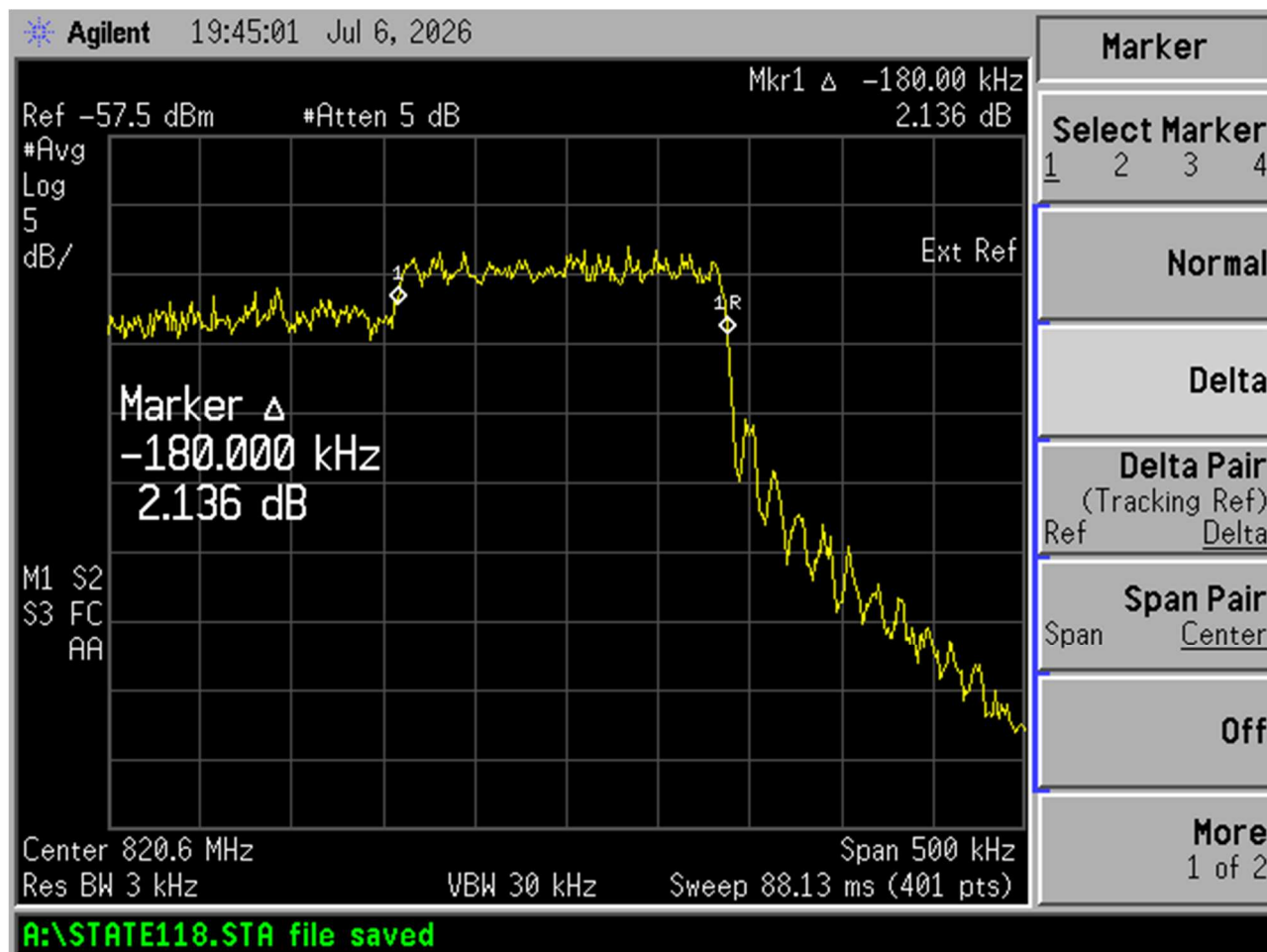
Questa corrispondenza conferma la presenza di una componente NB-IoT collocata ai margini della griglia LTE.

E' inoltre plausibile che le Resource Element (RE) non risultino perfettamente allineate alla griglia LTE nominale e che, trovandosi in posizioni intermedie tra due RB, la potenza venga distribuita e interpretata come occupazione simultanea di due Resource Block adiacenti.

Correlazione tra la griglia LTE estesa e la misurazione di una delle portanti IoT con l'analizzatore di spettro

Nello specifico è stata misurata la larghezza di banda della portante NB-IoT avente EARFCN 6446, che corrisponde alla frequenza 820,60 MHz.

L'immagine seguente mostra chiaramente che il canale ha una larghezza di banda pari a 180 kHz e che quindi corrisponde a una singola RB.



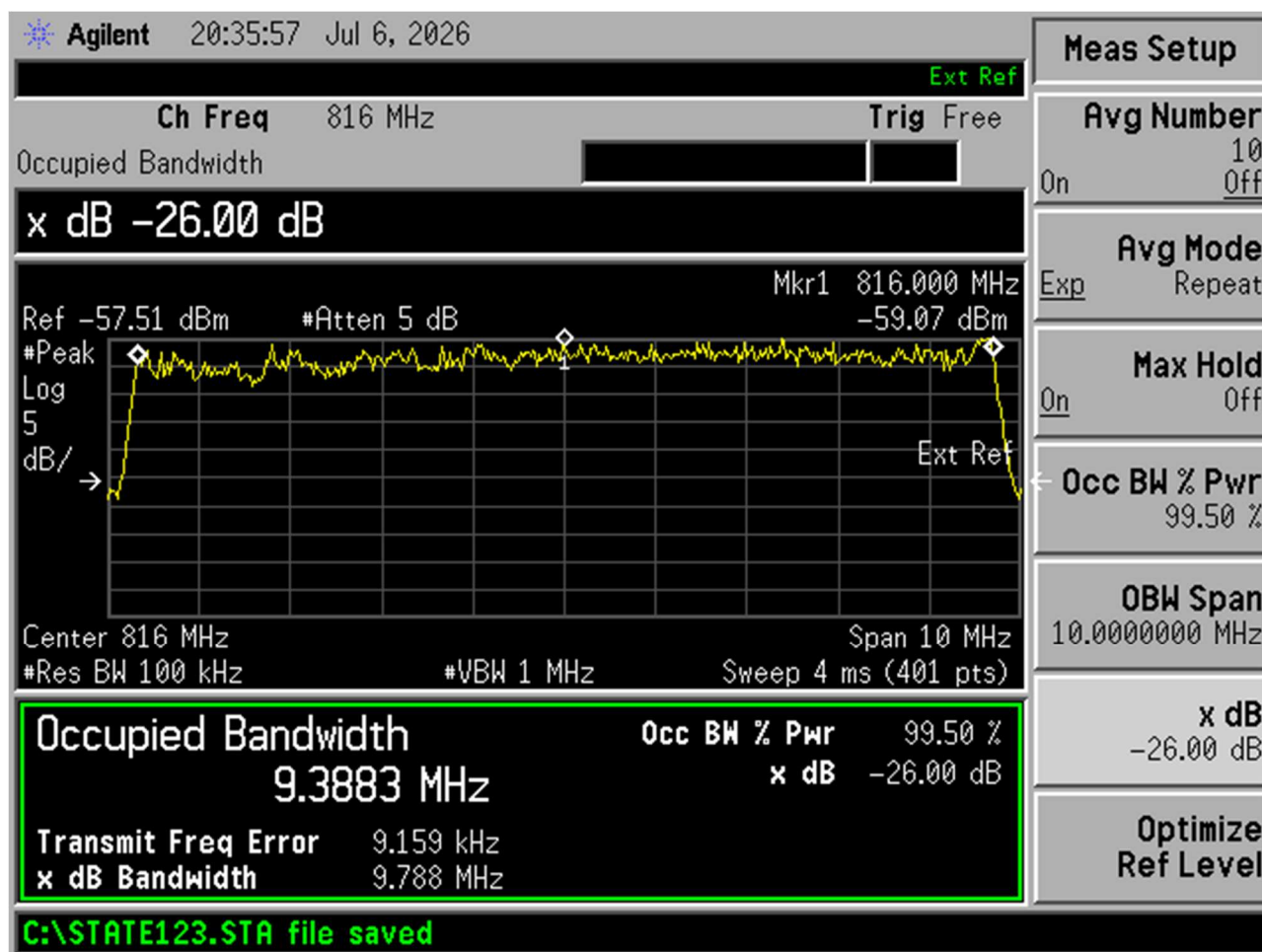
L'analizzatore di spettro conferma che, nella regione di frequenza occupata dal segnale NB-IoT, la potenza trasmessa risulta superiore rispetto a quella del traffico LTE adiacente. È inoltre plausibile che la larghezza di banda complessiva occupata sia pari alla somma della portante LTE (9 MHz) e dei contributi NB-IoT dei due settori, pari nel caso specifico a $180 \text{ kHz} \times 2$.

L'analisi evidenzia ancora una volta i limiti degli strumenti LTE tradizionali quando applicati a scenari NB-IoT non pienamente conformi alla rappresentazione standard della griglia fisica. Come mostrato in precedenza, lo strumento di analisi LTE riportava una doppia risorsa per canale, interpretazione che l'analisi successiva ha permesso di escludere.

A questo punto è stata effettuata anche una misura dell'occupazione di banda, al fine di verificare sperimentalmente se la larghezza di banda complessiva risultasse effettivamente pari a quella teoricamente prevista, ossia 9,360 MHz (9 MHz della portante LTE più i due contributi NB-IoT da 180 kHz). Per fare questa

verifica è stato usato nuovamente l'analizzatore di spettro, ma stavolta in modalità "Occupied Bandwidth" con acquisizione "Max Hold".

Come possiamo vedere dalla seguente immagine, la misura ha restituito un valore di larghezza di banda complessivo molto vicino a quello stimato.



L'analisi svolta evidenzia come la reale implementazione dell'NB-IoT possa differire dalla rappresentazione offerta dagli strumenti LTE convenzionali. La correlazione tra scanner NB-IoT, analizzatore LTE e analizzatore di spettro ha permesso di interpretare correttamente l'allocazione delle risorse radio, confermando che l'impiego della banda di guardia rappresenti una soluzione efficace per integrare i servizi IoT all'interno delle reti LTE senza compromettere l'utilizzo delle risorse destinate al traffico broadband.

Le misure presentate sono state effettuate su una specifica implementazione di rete LTE, configurazioni differenti possono adottare modalità di allocazione NB-IoT diverse, in accordo con le specifiche 3GPP.

Utilità dell'analisi nelle attività di rete

Questo tipo di analisi può risultare utile nelle attività di verifica, ottimizzazione e troubleshooting delle reti cellulari, soprattutto quando il comportamento osservato sul campo non risulta immediatamente interpretabile attraverso i soli strumenti di monitoraggio tradizionali.