

# MISURE DI SEGNALI 5G IN PROPAGAZIONE NLOS

UNO STUDIO AFFRONTA LE SFIDE DELLA MISURA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI 5G IN BANDA MILLIMETRICA (FR2), ANALIZZANDO SCENARI LOS E NLOS. ATTRAVERSO TEST SPERIMENTALI E DIVERSE CONFIGURAZIONI D'ANTENNA, PROPONE UNA METODOLOGIA AFFIDABILE PER VALUTARE L'ESPOSIZIONE E VALIDARE I PARAMETRI DI RETE.

**N**onostante gli impianti 5G che operano nella banda delle onde millimetriche (Fr2) non siano ancora molto diffusi in Italia, è essenziale prestare attenzione alla misurazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici generati da questi sistemi, in particolar modo nei casi di propagazione *non in linea di vista* (Nlos).

La letteratura scientifica ha proposto numerose soluzioni pratiche [1,2,3] per valutare con precisione il livello massimo del campo nei punti di misurazione dei sistemi 5G nella banda Fr1 (sub-6 GHz). Al contrario, l'adozione della banda Fr2 è stata lenta a causa della complessità della tecnologia delle onde mm-wave e della limitata diffusione di dispositivi mobili compatibili con questa banda. Lo studio presentato è stato il primo ad affrontare le sfide legate a tale tipologia di misurazioni, proponendo una metodologia efficace per ottenere risultati affidabili.

## Setup e metodologia delle misure

Il sito selezionato per le misure si trova nel comune di Ivrea e ospita un impianto 5G a 27,4 GHz di proprietà di Vodafone. Sono stati individuati quattro punti di misura con caratteristiche di visibilità

diverse rispetto al punto di emissione, comprendendo sia scenari in piena linea di vista che in totale non linea di vista (da P1 a P4 in *figura 1a*).

La visibilità relativa tra la stazione radio base (Bs) e i punti di misura è mostrata in *figura 1b*, dove i punti colorati in verde sono in condizione Los e quelli colorati in rosso in condizione Nlos. Le principali caratteristiche del segnale trasmesso dalla Bs sono riportate nella *tabella 1*.

Per completezza, in *figura 2*, è riportata la configurazione della trama.

Per impostare il collegamento con la Bs e forzare il flusso di dati di *downlink* è stato utilizzato un telefonino (*user equipment*, Ue) in banda Fr2 e dotato di una funzionalità che permette di monitorare i *resource block* (Rb) trasmessi, al fine di verificare che la trama fosse piena durante l'acquisizione della traccia.

Le misurazioni sono state eseguite con un analizzatore di spettro Keysight N9960B Vsa, che poteva essere collegato o a un'antenna omnidirezionale o a una direttiva, come osservabile in *figura 3*:  
- antenna Steatite Q-Par, polarizzata linearmente, omnidirezionale, operante nella banda di frequenza da 26 GHz a 40 GHz

- antenna Horn Schwarzbeck, modello Bba9120I, funzionante nella banda di frequenza da 3 GHz a 40 GHz.

L'analizzatore è stato configurato in modalità *zero span* (Zs) alla frequenza centrale degli Ssb, e sono state acquisite tracce in Average (Avg), MaxHold (Mh), Clear-Write (Cw):

- la traccia Avg è ottenuta facendo la media di n=10 tracce
- la traccia Mh mostra il massimo livello che il segnale raggiunge nelle n tracce
- la traccia Cw rappresenta l'ultima delle n tracce.

Durante la campagna di misura sono stati eseguiti test progettati per acquisire quante più informazioni possibili sia sui canali di controllo nell'Ssb sia sul canale di traffico:

- test *Idle*: l'Ue è in modalità inattiva, ovvero non ci sono dati di traffico scambiati con la Bs e quindi è possibile misurare solo la potenza degli Ssb
- test *traffic*: l'Ue è configurato per forzare

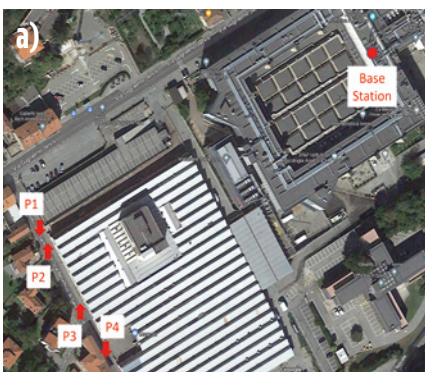


FIG. 1 SITO DI MISURA

I pixel verdi indicano i punti nella propagazione Los, quelli rossi nella propagazione Nlos.

a) Vista satellitare del sito di misura.

b) Visibilità tra Bs e punti di misura.

Parametri	Valori
Center frequency fc	27.400 GHz
Bandwidth B	200 MHz
Duplexing	Time-domain duplex (Tdd)
Downlink/uplink sequence	D-D-D-S-U
Special slot	10:2:2
Ftdc	0,742
Ssb sub-carrier spacing Δf	240 kHz (μ = 4)
Traffic sub-carrier spacing Δf	120 kHz (μ = 3)
Ssb allocation [2, Δ4]	Case E
Ssb slots	8
Ssb per slot	4
Ssb periodicity	20 ms
Downlink traffic	full frame
Mimo configuration	Grid of beams

TAB. 1 CONFIGURAZIONE

Configurazione della stazione radio base (Bs).

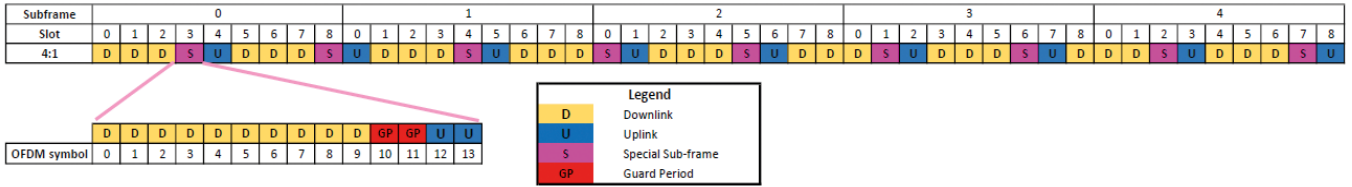


FIG. 2 TRAMA  
Configurazione della trama.



FIG. 3 STRUMENTI  
Antenne di misura e analizzatore di spettro vettoriale.

la trasmissione in *downlink* ad alta velocità utilizzando il software iPerf [4]  
 - test *download (DI) speed*: l'Ue viene gestito tramite applicazioni specifiche, come la *Ookla speedtest* [5], che si occupa di attivare il collegamento con la Bs e di indirizzare il fascio verso la Ue  
 - test *upload (UI) speed*: la stessa applicazione utilizzata per il test *download speed* viene utilizzata per forzare il traffico nella tratta *uplink*.

### Risultati sperimentali

La figura 4a mostra 2 ms di una traccia Mh acquisita in P1 con l'antenna direttiva.  
 Poiché non c'è traffico tra la Ue e la Bs, la potenza ricevuta si riferisce solo agli Ssb. La figura mostra un cluster di blocchi Ssb. Se ingrandiamo uno dei blocchi (figura 4b), vediamo che esso è composto da quattro diversi livelli di potenza, ciascuno dei quali rappresenta un Ssb associato a un diverso raggio della griglia. Ciascun Ssb ha una durata di circa 19 μs, vicino ai 16,8 μs attesi.  
 In figura 5 è mostrato uno zoom di 1 ms di una traccia Avg registrata in P1 durante il test del traffico.  
 La traccia mostra chiaramente la sequenza degli slot D-D-D-S-U di figura 2. La durata di ciascun slot D è

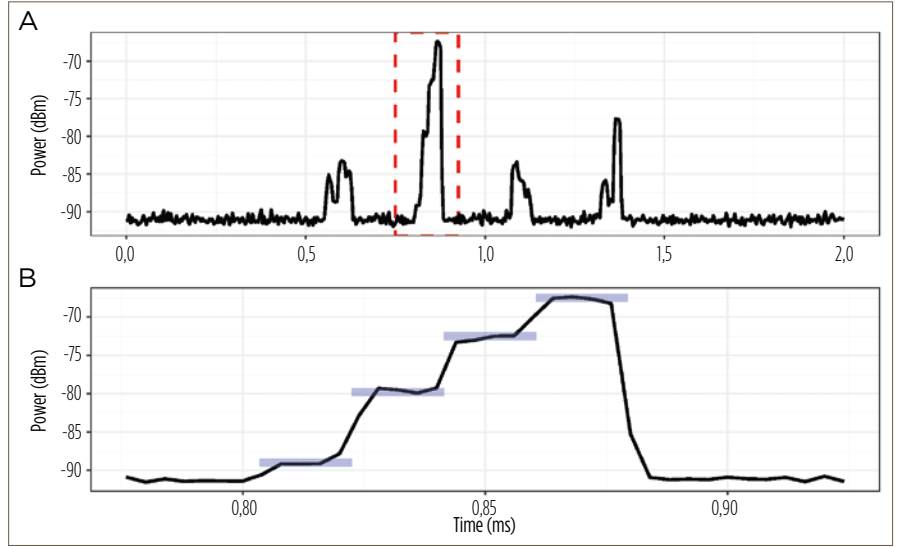


FIG. 4 SSB  
Misure degli Ssb nel punto P1 con antenna direttiva.

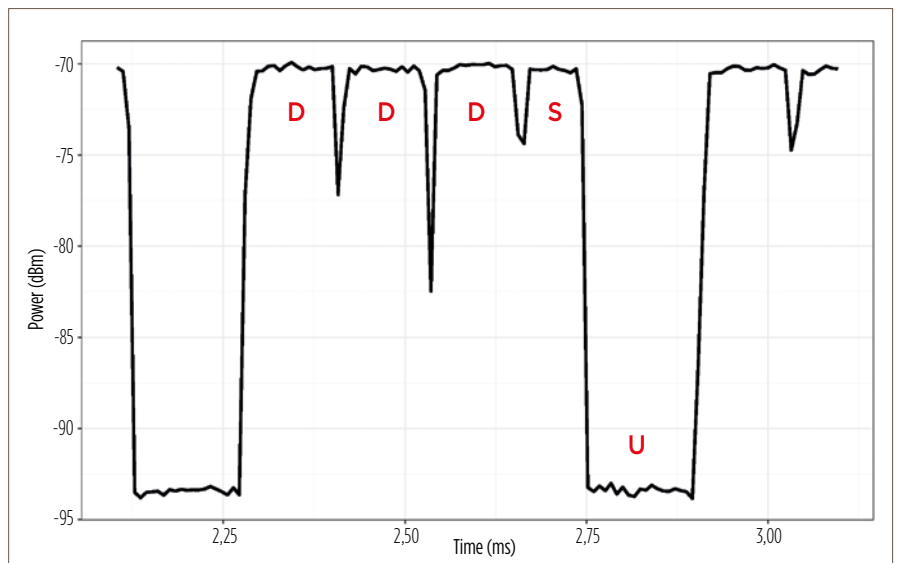


FIG. 5 RILEVAMENTO DELLO "SPECIAL SLOT"

TAB. 2  
LIVELLI DI CAMPO  
Confronto tra livelli di campo in dBm tra antenna direttiva e antenna omnidirezionale (Bs).

Point	Antenna		
	Omnidirectional	Directional	
		Base station	Max power
P1	-77,02	-69,78	N/A
P2	-88,67	-87,35	N/A
P4	-89,83	-92,83	-82,69

compresa tra 112 e 119  $\mu$ s, vicino ai 116,6  $\mu$ s come previsto per il segnale in esame. Le misurazioni Zs possono essere utilizzate anche per studiare le differenze tra i segnali di controllo (figura 4) e il traffico (figura 5). Nel caso in questione, i canali di controllo e di traffico vengono trasmessi sugli stessi raggi.

Questa analisi mostra che le misurazioni scalari possono essere efficaci nel validare la configurazione fornita dall'operatore/ produttore riportata nella tabella 1. La figura 6 mostra tracce in Zs della potenza misurata con l'antenna omnidirezionale in ciascun punto di misurazione con le tre modalità di traccia (Cw, Avg e Mh), per ciascun test.

**Traffico**

In P1, quando il traffico *downlink* viene forzato si osserva che la porzione *downlink* del frame è piena e i Re vengono trasmessi a potenza costante, con un livello quasi identico in tutte e tre le modalità di acquisizione. Esiste anche traffico *uplink* generato dall'Ue che viene catturato dall'antenna ricevente.

La potenza misurata dei Re di *uplink* dipende dalla distanza tra la Ue e l'antenna ricevente.

Passando da una propagazione Los completa (P1) a una condizione quasi Nlos (P2), la potenza del traffico *downlink* diminuisce perché una porzione rilevante viene attenuata dall'edificio che blocca parzialmente la propagazione tra Bs e Ue.

In questo scenario, la potenza di *uplink* diventa dominante rispetto al collegamento *downlink*.

In P3 non è stato possibile effettuare misurazioni poiché non è stato possibile

stabilire la connessione *downlink* a causa delle forti condizioni Nlos.

In P4 (Nlos con riflessioni e diffrazione), il livello di potenza del canale *downlink* è simile a quello misurato in P2.

**Download (DL) speed**

I risultati sono simili a quelli ottenuti nel test del traffico, l'unica differenza è che è stata ricevuta una certa potenza anche in P3, sebbene sia relativa al canale di *uplink*, mentre per il canale di *downlink* c'è solo il rumore di fondo come previsto. Infine sono stati eseguiti test di "traffico" con l'analizzatore collegato sia all'antenna direttiva sia a quella omnidirezionale per valutare la differenza nei livelli di potenza tra i punti di misurazione Los e Nlos. I risultati sono riportati nella tabella 2 per la traccia Avg.

L'analisi dei risultati riportati in tabella 2 mostra che quando si ha a che fare con uno scenario Los, l'uso di

antenne direttive può garantire risultati di misura più accurati.

Al contrario, le antenne direttive in caso di propagazione Nlos non garantiscono che la densità di potenza proveniente da direzioni diverse a causa delle riflessioni venga misurata interamente.

In tale condizione, dovrebbero essere preferite le antenne omnidirezionali, prestando attenzione al contributo di *uplink* quando si eseguono misurazioni che non possono separare la trasmissione di *uplink* dalla trasmissione di *downlink*.

Sara Adda<sup>1</sup>, Valeria Bottura<sup>2</sup>, Stefano D'Elia<sup>3</sup>, Nicola Pasquino<sup>4</sup>, Riccardo Suman<sup>5</sup>, Mattia Vaccarone<sup>1</sup>

- 1. Arpa Piemonte
- 2. Arpa Valle d'Aosta
- 3. Vodafone networks, mobile access engineering
- 4. Dieti, Università degli studi di Napoli Federico II

**RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- [1] Adda S., Aureli T., Bastonero S., D'Elia S., Franci D., Grillo E., Migliore M.D., Pasquino N., Pavoncello S., Schettino F., Schiavoni A., Scotti R., Suman R., Vaccarone M., 2022, "Methodology based on vector and scalar measurement of traffic channel power levels to assess maximum exposure to electromagnetic radiation generated by 5G NR systems", *Ieee Access*, vol. 10, pp. 12125-12136.
- [2] Adda S., Aureli T., D'Elia S., Franci D., Grillo E., Migliore M.D., Pavoncello S., Schettino F., Suman R., 2020 "A theoretical and experimental investigation on the measurement of the electromagnetic field radiated by 5G base stations", *Ieee Access*, vol. 8, pp. 101448-101463.
- [3] Betta G., Capriglione D., Cerro G., Miele G., Migliore M.D., Šuka D., 2022, "Experimental analysis of 5G pilot signals' variability in urban scenarios", *Ieee*.
- [4] iPerf software, <https://iperf.fr>.
- [5] Ookla speedtest, [www.speedtest.net](http://www.speedtest.net)

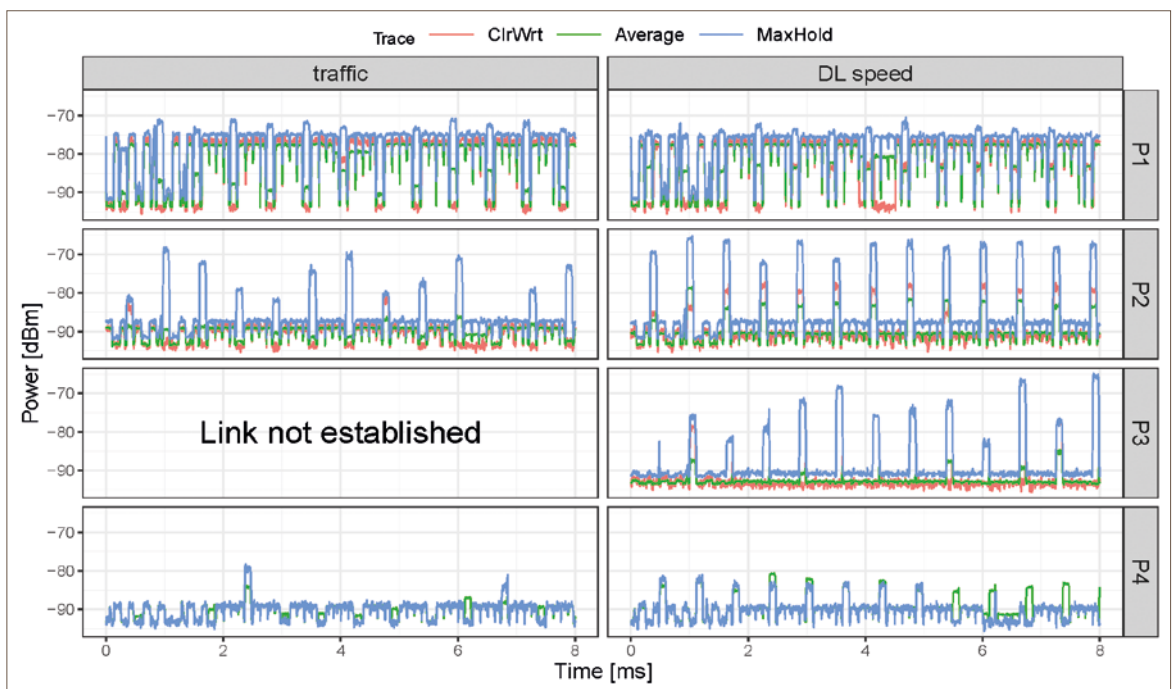


FIG. 6  
ZERO SPAN

Tracce in Zs con antenna omnidirezionale per ogni tipo di traccia in ogni.