



Approfondimenti del segnale 5G NR sub-6 GHz in un sito reale: confronti tra misure con analizzatori di spettro, portatile e vettoriale, al fine dell'extrapolazione alla massima potenza

Barbara Notari¹, Martino Cremona¹, Emanuele De Sena¹, Irene Taddei¹, Massimo Tedeschini¹, Matteo Tiberti¹, Tiziana Melfi¹, Maurizio Poli¹

¹Arpae, Apa Centro e Apa Ovest, Servizi Sistemi Ambientali

bnotari@arpae.it

Riassunto

Il presente lavoro riporta osservazioni e considerazioni critiche riguardo l'esperienza di misura fatta da Arpae relativamente ad un segnale 5G NR a 3700 MHz in un caso reale, ove il punto di verifica si trova decentrato rispetto alla direzione di massimo irraggiamento di una cella. La finalità principale dell'indagine è stata quella di ottenere i parametri e i valori di campo elettrico necessari per l'extrapolazione dell'intensità del segnale 5G alla massima potenza, al fine di valutare l'esposizione massima nel punto ricevente dovuta al 5G. La sessione di misura si è svolta attraverso l'utilizzo di due analizzatori di spettro, uno portatile e uno vettoriale, con sonda triassiale. Il traffico 5G è stato forzato con l'utilizzo di un terminale commerciale, in due modi differenti: attraverso l'attivazione di uno 'speed-test' e richiedendo uno scaricamento massivo attraverso la procedura 'http file transfer'. Sono state effettuate misure in channel power, a span zero, decodifica dei segnali di controllo da parte dell'analizzatore portatile e dell'intera trama con l'analizzatore vettoriale: quest'ultima ha permesso l'analisi statistica della potenza ricevuta per Resource Element (RE) e successive elaborazioni con un strumento software appositamente sviluppato. I risultati hanno evidenziato un comportamento spazio-temporale insolito dei fasci SSB, che è stato approfondito anche con l'operatore di telefonia. Sono state testate le procedure di extrapolazione finora individuate, compresa la formula indicata dal documento IEC 62232 (2020), i cui esiti sono stati messi a confronto.

DESCRIZIONE DEL SITO DI INDAGINE E DEL PUNTO DI MISURA

Durante un'indagine effettuata in un sito per la telefonia a Modena corrispondente ad una Polisportiva, Arpae ha svolto un approfondimento rispetto alla misura del segnale 5G a 3700 MHz e alla sua extrapolazione alla massima potenza, testando diverse procedure, alcune già individuate dalla normativa tecnica internazionale, altre in via di sperimentazione.

Nel sito esaminato sono presenti tutti e quattro i gestori principali, installati su due diversi pali: uno ospita le SRB di Wind Tre (W3) e Tim e l'altro quelle di Vodafone e Iliad. Complessivamente risultano attivi nell'area i sistemi di tutte le generazioni di telefonia, è tuttavia presente un solo sistema 5G NR a 3700 MHz del gestore W3, che si trova a circa 128 m di distanza in direzione W-NW, vedi Fig. 1 in cui vengono evidenziate le tre direzioni di massimo irraggiamento del sistema 5G in esame.

Il punto di misura consiste nella terrazza solarium al 2° piano dell'edificio ospitante la palestra: tale collocazione è stata scelta in quanto in posizione rialzata rispetto al suolo ed in visibilità ottica rispetto alle antenne. Si può osservare che il punto di misura non si trova esattamente nella direzione di massimo irraggiamento del Settore 1 (90°N), ma piuttosto al bordo di tale cella.

Il sito oggetto di indagine infine si trova nella zona periferica a sud della città: non vi sono altri impianti SRB nel raggio di 2 km in tutto il quadrante sud-est; per quanto riguarda le antenne di W3 vi è un solo impianto tra 1 e 1.5 km di distanza, altre Stazioni di W3 si trovano oltre i 1,5 km. Per queste caratteristiche si ritiene che il segnale 5G rilevato nel punto di indagine sia essenzialmente dovuto alle antenne emittenti nel sito.

Figura 1 - Foto aeree del sito e direzioni di massimo irraggiamento 5G



METODOLOGIA DI MISURA E STRUMENTAZIONE

Le misure sono state effettuate in condizioni di campo lontano, in linea di vista e con strumentazione sottoposta a taratura, che risponde alle specifiche delle normative tecniche, in particolare alle norme CEI 211-7 e CEI 211-10, posizionando la sonda a 1.5 m dal piano di calpestio, con un cavalletto di materiale dielettrico.

Nello specifico sono state eseguite misure a banda stretta con due catene di misura:

- analizzatore di spettro portatile della ditta Narda, modello SRM3006, dotato di sonda triassiale (con intervallo di funzionamento per frequenze tra 420 MHz e 6 GHz), avente minima sensibilità pari a 0.00014 V/m, modulo di decodifica degli SSB e misura del campo elettrico associato ai Resource Element (RE) degli SSS, incertezza estesa dello strumento pari a 2.6 dB (calcolata secondo le indicazioni della Norma CEI 211-7);
- analizzatore vettoriale della Rohde & Schwarz (R&S), modello FSV3 3007, equipaggiato con cavo TS-EMF22 da 8 metri e sonda triassiale della R&S modello TS-EMF, che rileva segnali con frequenza da 700 MHz a 6 GHz, incertezza estesa pari a 3 dB (idem come sopra).

Figura 2 - A sx foto del palo su cui è installato il sistema 5G e collocazione delle sonde delle due catene di misura. A dx analizzatore vettoriale.



CARATTERISTICHE DEL SEGNALE 5G A 3700 MHz E STIMA PREVISIONALE DEI LIVELLI DI CAMPO ELETTRICO

Nel sito oggetto di indagine l'implementazione del sistema 5G è stata richiesta e valutata nel 2020: il modello previsionale tiene conto delle caratteristiche geometriche e radioelettriche

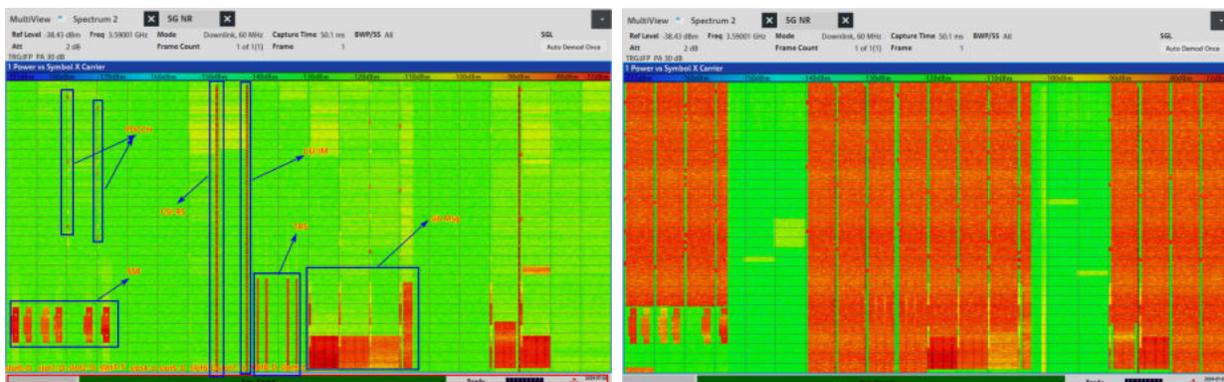
delle antenne, delle potenze massime e dei fattori di attenuazione dichiarati (nel caso in esame il fattore risulta pari a 0.31), nonché del diagramma di irradiazione di ogni sistema che, per quanto riguarda il sistema 5G, consiste nel diagramma di inviluppo dei possibili fasci di traffico, fornito dal gestore. Il segnale 5G in esame ha le caratteristiche riportate in Tab.1.

Tabella 1 - Caratteristiche del segnale 5G in esame

DATI RELATIVI 5G 3600 MHz TDD	Settore 1	Settore 2	Settore 3
Azimut [°N]	90	240	350
Frequenza centro banda [MHz]	3590.01		
Larghezza di banda [MHz]	60		
Potenza in trasmissione [W]	50	60	80
Cell ID	220	221	723
SISO/MIMO configuration	MIMO 4x4		
Numerologia μ	1	1	1
SubCarrier Spacing [kHz]	30	30	30
Frequenza del PDSCH (SSB) [MHz]	3570,24		
Number of SSB	6		
Configurazione TDD: Case	C		
F_{TDC}	0.743		
α_{24}	0.31		
Boosting factor	1		

La configurazione TDD implementata corrisponde al Case C definito dallo standard 3GPP, che è caratterizzato dalla possibile implementazione di 8 fasci di controllo SSB, di cui solo 6 risultano attivi nel caso in esame. Nello specifico sono stati rilevati gli SSB identificati con gli indici 0, 1, 2, 3, 5 e 6, con frequenza centrale pari a 3570.24 MHz e ampiezza in banda pari a 7.2 MHz. In Fig.3 a sinistra viene riportata la misura della potenza per simbolo per portante di una trama (durata 10 ms) effettuata con l'analizzatore vettoriale in assenza di traffico: si rileva la presenza degli segnali di controllo sempre attivi (tra cui gli SSB in basso a sinistra). Nella parte a destra è riportata la misura effettuata analogamente durante la forzatura del traffico 5G: si rileva che la potenza ricevuta per RE aumenta per tutti gli slot dedicati al downlink.

Figura 3 - Power vs symbol per carrier: a sx trama vuota (no traffico), a dx trama piena (traffico forzato)

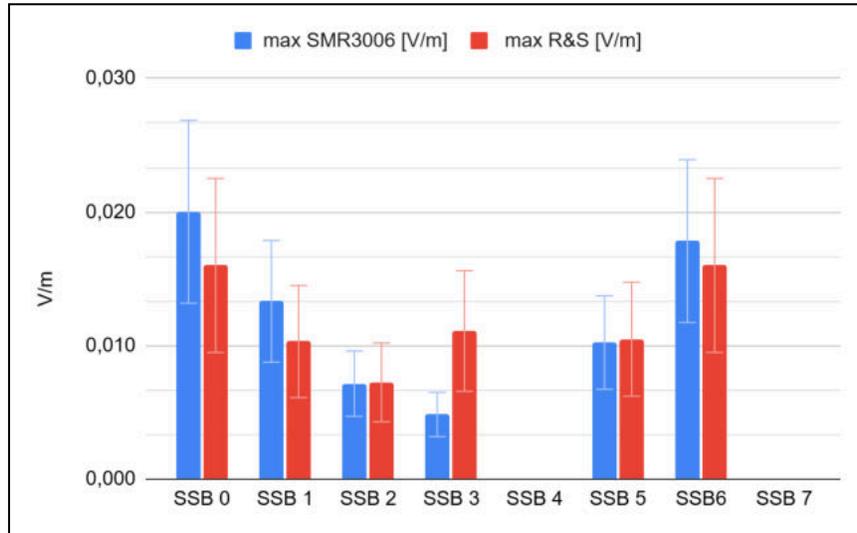


Si osserva che la potenza associata agli SSB è costante indipendentemente dal traffico presente, come del resto ci si aspetta secondo le caratteristiche della tecnologia 5G. Inoltre l'SSB0 risulta il segnale di controllo con maggiore potenza: queste informazioni risultano confermate dalla misura della potenza massima per RE assegnata ai diversi SSB, sia con l'analizzatore portatile che con quello vettoriale, come si osserva in Tab.2 e Fig. 4.

Tabella 2 - Valori misurati per il campo elettrico massimo per RE degli SSB

Analizzatore	SSB0	SSB1	SSB2	SSB3	SSB5	SSB6
portatile 2024	0.020	0.013	0.007	0.005	0.010	0.018
vettoriale 2024	0.016	0.010	0.007	0.011	0.010	0.016

Figura 4 - Campo elettrico misurato per RE



Nel punto di misura il contributo del sistema 5G a 3700 MHz, stimato con il software previsionale utilizzato in fase di autorizzazione, risulta pari a 2.0 V/m, di cui 1.9 V/m è dovuto al settore 1, su cui ci siamo concentrati in quanto incide in modo prevalente sul punto di misura. Il campo elettrico stimato tiene conto del fattore α_{24} (pari a 0.31) dichiarato dal gestore per la valutazione dell'esposizione prolungata. Sui valori stimati è stata considerata un'incertezza pari al 10% (Rossana Lietti et al., 2021).

FORZATURA DEL TRAFFICO

Tutte le procedure di estrapolazione di seguito descritte necessitano di richiamare il traffico 5G, al fine di stimolare la formazione del fascio verso la direzione in cui si trova il punto di misura. A tal fine è stato utilizzato un terminale commerciale abilitato al segnale 5G ed è stato forzato il traffico utilizzando due diverse tecniche:

1. *Ookla speed-test* sul segnale 5G: da questa applicazione viene indotto uno scaricamento dati massivo, di durata circa 15 sec, da parte del terminale alla velocità massima raggiungibile dal sistema 5G (poco meno di 1 Gbps/s nel punto di misura);
2. *http file transfer*: richiesta di caricamento sul terminale di un file di grandezza pari a 10 GBytes da un apposito sito, che induce un caricamento massivo di dati.

PROCEDURE DI ESTRAPOLAZIONE ALLA MASSIMA POTENZA DEL SEGNALE 5G

L'extrapolazione del segnale 5G per la valutazione della massima esposizione è stata effettuata con 5 diverse tecniche e procedure.

1. FORMULA INDICATA DELLA NORMA CEI EN IEC 62232 (PUNTO F.9.2.1.4)

Attualmente l'unico riferimento ufficiale per l'extrapolazione del segnale 5G risiede nella Norma CEI EN IEC 62232, che propone la seguente formula:

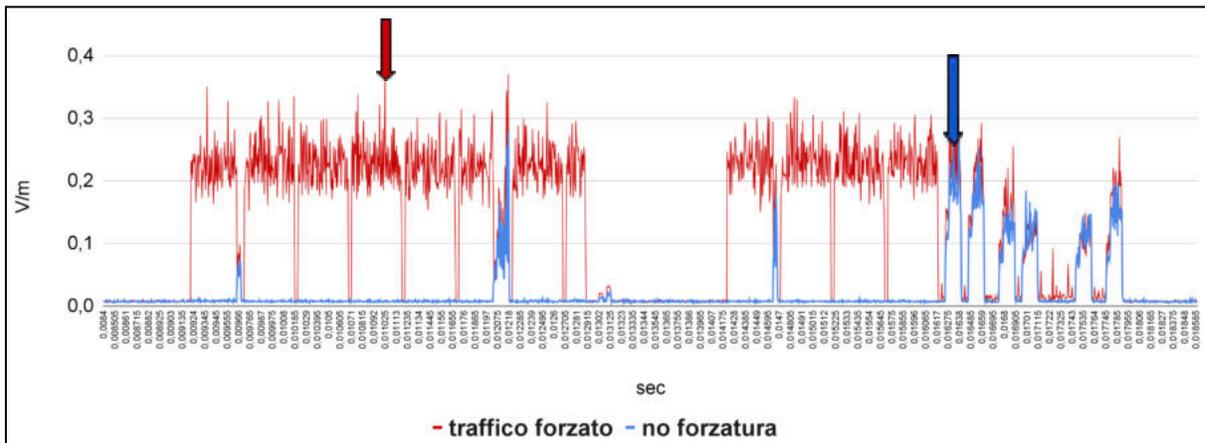
$$E_{5G,24h} = E_{broadcast} \times \sqrt{F_{BW}} \times \sqrt{\alpha_{24}} \times \sqrt{F_{TDC}} \times \sqrt{BF^{-1}} \times \sqrt{F_{extbeam}} \left[\frac{V}{m} \right] \quad (1)$$

Nel caso del 5G $E_{broadcast}$ rappresenta il valore del campo elettrico misurato per Resource Element del più intenso fra i fasci di controllo (SSB); per gli altri parametri si fa riferimento alla descrizione contenuta della Norma citata: i fattori F_{PR} e BF nel caso in esame sono pari a 1; F_{BW} rappresenta il numero totale di sottoportanti che costituiscono il segnale in esame (in questo caso 58.3 MHz=1944 sottoportanti).

Il fattore $F_{extBeam}$ rappresenta il fattore di estrapolazione che tiene conto dell'effetto del meccanismo di beamforming sui valori di campo elettrico misurati per i canali di controllo e di traffico nella direzione del punto di misura. Tale fattore è stato ricavato sperimentalmente in due modi attraverso l'utilizzo di:

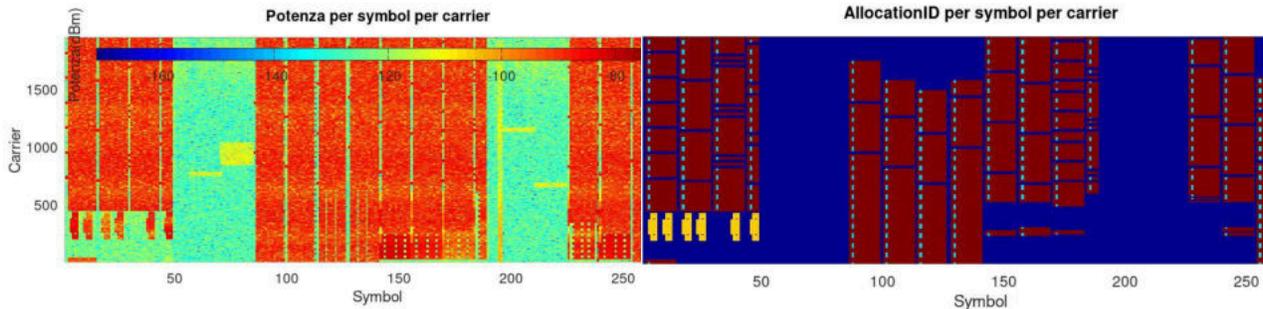
- A. analizzatore portatile, con una misura a *span zero* attraverso la forzatura del traffico 5G, centrando la banda passante sulla frequenza centrale degli SSB e RBW pari a 8 MHz (vedi Fig. 5): $F_{extBeam}$ è quantificato come la differenza, in termini di dB, tra il valore massimo del campo elettrico (sulla traccia *MAX*) misurato sugli slot di traffico nel momento della forzatura dello stesso e il valore medio (nella traccia *MAX*) del campo elettrico associato al SSB più elevato (SSB0) senza forzatura del traffico. Nel caso del SSB è stato considerato il valore medio, in quanto avendo utilizzato una RBW di 8 MHz, più ampio della larghezza di banda del SSB (7.2 MHz), il valore massimo potrebbe non appartenere al canale di controllo ma a qualche RE dedicato ad altri segnali e/o traffico estemporaneo.

Figura 5 - Misura a span zero con analizzatore portatile



- B. analizzatore vettoriale, attraverso la misura di potenza per RE associata alla decodifica del tipo di canale trasmesso, in grado di distinguere tra gli SSB1, SSB2, ..., SSB6 e i canali di traffico (*PDSCH*): $F_{extBeam}$ è quantificato come la differenza tra il valore massimo della potenza per RE associata al SSB0 e il massimo della potenza per RE associata ai canali *PDSCH* nella momento della forzatura del traffico. L'analisi statistica della potenza misurata per RE è stata eseguita attraverso uno strumento realizzato ad hoc attraverso il software open source *Gnu Octave*, che è in grado di leggere e confrontare i file di output dell'analizzatore vettoriale (*Power vs symbol per carrier* e *AllocationID per symbol per carrier* - Fig.6) per associare i valori di potenza dei singoli RE ai differenti segnali presenti nella trama ed analizzarli statisticamente (vedi in Fig.7).

Figura 6 - Risultati delle misure con analizzatore vettoriale



I risultati ottenuti per il fattore $F_{extBeam}$ con i due metodi sono riportati in Tab. 3.

Tabella 3 - Valori di $F_{extBeam}$ ricavati con le due diverse metodologie

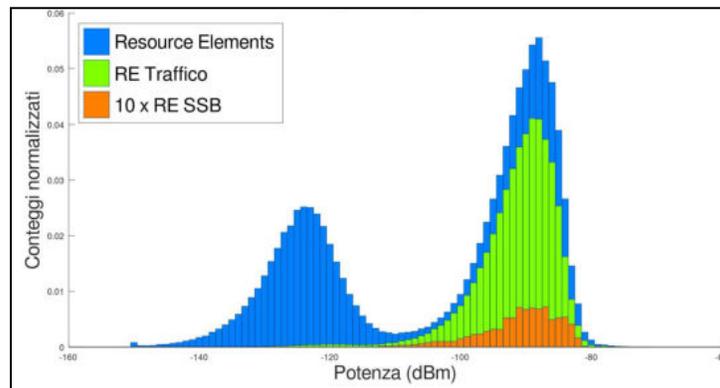
Tipo di misura (tipo analizzatore)	Potenza max traffico [V/m]	Potenza max SSB0	$F_{extBeam}$ [dB]	$F_{extBeam}$ [volte]
A. Span Zero (portatile)	0.33	0.12	8.8	7.6
B. Misure di potenza per RE (vettoriale)	-71.8	-81.6	9.8	9.6

I valori estrapolati per la portante 5G attribuibile alla cella 220 (90°N), che si trova maggiormente in direzione rispetto al punto di misura, sono riportati nella seguente Tab.4.

Tabella 4 - Valori di E estrapolato vs E stimato

Metodo	$E_{broadcast} = E_{RESSB0}$ [V/m]	$F_{extBeam}$ [volte]	$F_{BW=n^\circ}$ sottoportanti	α_{24}	$E_{estrapolato}$ [V/m]	$E_{stimato}$ [V/m]
A	0.020	7.6	1944	0.31	1.35	1.9
B	0.016	9.6			1.19	

Figura 7 - Distribuzione delle potenze per Resource Element



Si rileva che i risultati ottenuti con le due metodologie di estrapolazione sono in sostanziale accordo tra loro, ma risultano inferiori rispetto al valore atteso.

2. MISURA A SPAN ZERO CON ANALIZZATORE PORTATILE

La misura a *span zero* è stata utilizzata anche per determinare il livello massimo di potenza associato al traffico: sono state acquisite le tracce AVG e MAX, da cui sono stati ricavati i parametri statistici (moda e massimo) dei valori di campo elettrico misurati durante gli slot di traffico forzato ($E_{traffico}$) associata alla specifica RBW (8 MHz) impostata.

Da essi è possibile ricavare il campo massimo associato all'intera banda del segnale con la formula (2):

$$E_{Max} = \sqrt{\frac{N_{sc} \cdot \Delta f}{NBW}} \cdot E_{traffico} \quad \left[\frac{V}{m}\right] \quad (2)$$

dove N_{sc} è il numero di sottoportanti dall'intera banda in esame (58,32 MHz=1944 sottoportanti nel nostro caso), Δf è la spaziatura delle sottoportanti (30 kHz) e NBW è la noise bandwidth dell'analizzatore (in mancanza di questa informazione si può ritenere uguale alla RBW=8 MHz=267 sottoportanti). In Tab. 5 sono riportati i risultati ottenuti partendo da diversi parametri statistici ottenuti dai valori rilevati sulla traccia AVG e sulla traccia MAX.

Tabella 5 - Valori di E estrapolato vs E stimato

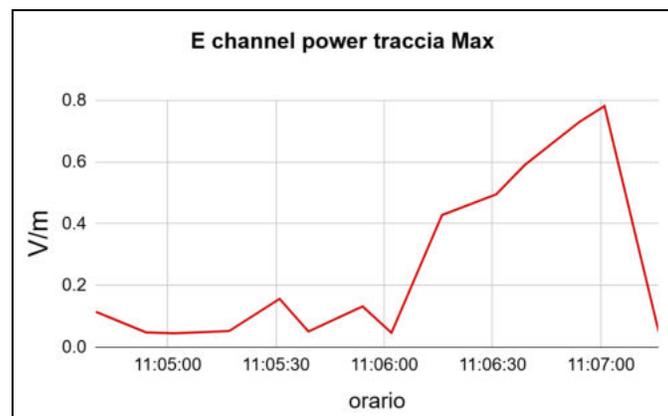
Traccia	Parametro statistico	E [V/m]	$N_{sc} \cdot \Delta f$ [n° sottoportanti]	NBW=RBW [n° sottoportanti]	α_{24}	$E_{estrapolato}$ [V/m]	$E_{stimato}$ [V/m]
AVG	moda	0.22	267	1944	0.31	0.33	1.9
AVG	massimo	0.27				0.41	
MAX	moda	0.46				0.76	
MAX	massimo	0.77				1.15	

Si osserva che i valori estrapolati con questa metodologia partendo dalla traccia AVG risultano decisamente inferiori rispetto al valore stimato in fase preventiva e sono più bassi anche dei valori stimati con la metodologia 1, mentre il campo elettrico estrapolato dai parametri ottenuti dalla traccia MAX si avvicinano maggiormente a quelli ottenuti con il metodo 1.

3. MISURA IN CHANNEL POWER CON ANALIZZATORE PORTATILE

La misura in *Channel Power (CP)* del contributo energetico dell'intera banda di frequenza del segnale 5G in esame (58.32 MHz), durante la forzatura del traffico attraverso applicazione dello *Speed-test*, attraverso acquisizioni della traccia MAX nel tempo, ha dato come valore massimo 0.78 V/m, come si può osservare in Fig. 8.

Figura 8 - Misura in *Channel Power* con analizzatore portatile



Il valore di campo elettrico estrapolato si ottiene, correggendo innanzitutto il valore per la taratura (fattore moltiplicativo 1.1), poi applicando la formula (3):

$$E_{5G_{max}} = E_{CP,traffico} \cdot \sqrt{\alpha_{24}/F_{TDC}} \quad \left[\frac{V}{m}\right] \quad (3)$$

in quanto la misura in channel power $E_{CP,traffico}$ nel momento di forzatura del traffico consiste in una media energetica che contiene già l'effetto della trasmissione in TDD.

Il livello di campo elettrico ottenuto con questa tecnica, pari a **0.55 V/m**, si colloca come intermedio tra i risultati dei metodi precedenti, seppur maggiormente in accordo con gli esiti del metodo 2.

4. ACQUISIZIONE POTENZA SUI CANALI DI TRAFFICO PDSCH CON ANALIZZATORE VETTORIALE

Attraverso la misura vettoriale con decodifica dell'intera trama del segnale, si ottiene la distribuzione della potenza per Resource Element (RE) dedicati al traffico durante la forzatura (vedi Fig. 6 e 7) che, tramite l'elaborazione statistica del tool descritto al punto 1, fornisce il dato di partenza ($E_{RE,PDSCH}$) al fine di applicare la formula di estrapolazione 5G riportata in (4):

$$E_{5G_{max}} = E_{RE,PDSCH} \cdot \sqrt{F_{BW} \cdot \alpha 24} \quad \left[\frac{V}{m} \right] \quad (4)$$

dove $E_{RE,PDSCH}$ può essere ottenuto come *media*, *moda* o *massimo* (Sara Adda et al., 2022) della distribuzione dei valori di potenza per RE associati ai canali PDSCH del traffico.

Tabella 6 - Valori di E estrapolato vs E stimato

Parametro statistico	$E_{RE,PDSCH}$ [V/m]	F_{BW} [n° sottoportanti]	$\alpha 24$	$E_{estrapolato}$ [V/m]	$E_{stimato}$ [V/m]
<i>media</i>	0.006	1944	0.31	0.15	1.9
<i>moda</i>	0.005			0.13	
<i>massimo</i>	0.049			1.19	

I valori di campo elettrico estrapolati con questa procedura considerando il valore medio e la moda della distribuzione della potenza sui RE risultano molto sottostimati rispetto al valore calcolato con il modello previsionale; partendo invece dal valore massimo della distribuzione si ottiene un livello estrapolato prossimo a quello calcolato con il metodo 1 con la Formula IEC.

5. CHANNEL POWER VETTORIALE

Con il termine *Channel Power* vettoriale (VCP) si intende la somma energetica (integrale) delle potenze ricevute per RE durante il tempo di un simbolo. A partire dalla trama demodulata, si può ottenere il valore VCP per ciascun simbolo, sommando il campo elettrico misurato dall'analizzatore vettoriale su tutte le sottoportanti di ciascuno dei 288 simboli di una trama. Selezionando quei simboli in cui il PDSCH risulta essere totalmente allocato, operando sempre in condizioni di traffico forzato, e considerando il simbolo con massimo campo elettrico associato (E_{VCP}), si può ottenere una stima della massima esposizione dovuta al segnale 5G nel punto di misura.

Il valore di campo elettrico E_{VCP} è legato a $E_{RE,PDSCH}$ attraverso la seguente espressione

$$E_{VCP} = \max_i [\sum E_{i,RE,PDSCH}]$$

dove i sono i simboli da 0 a 279, da cui è possibile ottenere la relativa formula di estrapolazione:

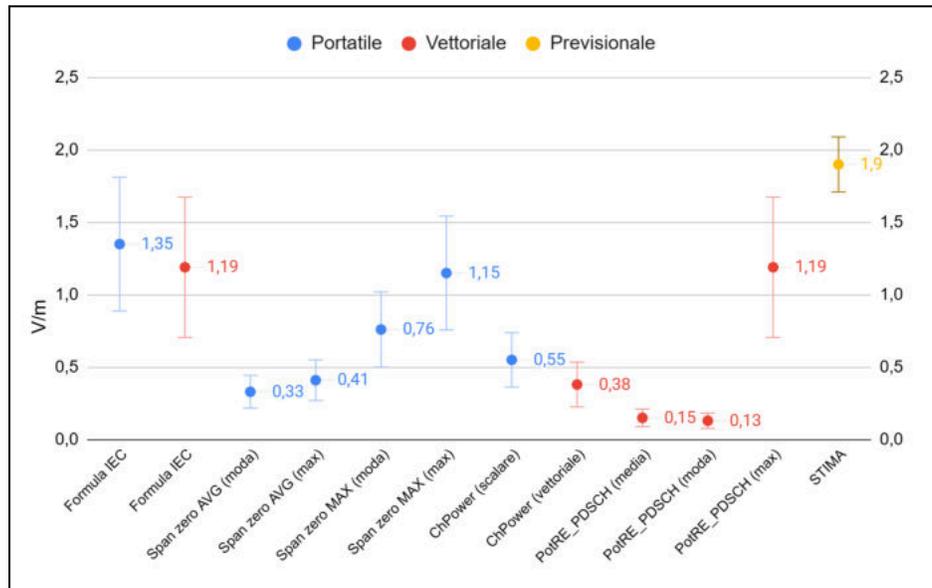
$$E_{5G} = E_{VCP} \cdot \sqrt{\alpha 24} \quad \left[\frac{V}{m} \right] \quad (5)$$

Il valore di campo elettrico estrapolato con questa procedura risulta pari a **0,38 V/m**.

RISULTATI E CONCLUSIONI

L'indagine relativa al segnale 5G e alle possibili tecniche di estrapolazione del suo contributo alla massima potenza relativamente al caso reale esaminato, dove il punto di misura si trova in direzione decentrata rispetto a quella di massimo irraggiamento, in una posizione che può essere considerata al bordo della cella incidente, ha fornito i risultati rappresentati in Fig. 9.

Figura 9 - Valori estrapolati ottenuti e loro incertezze



Si osserva in prima battuta una dispersione dei valori ottenuti con le diverse tecniche, nonché un'intensità del campo estrapolato sempre inferiore al livello di campo elettrico teorico. Tuttavia si rileva una possibile suddivisione degli esiti in due gruppi: alcuni risultati che non si discostano in modo significativo dal valore stimato e quelli invece che mostrano valori decisamente più bassi. I risultati appartenenti al primo gruppo sono quelli ottenuti:

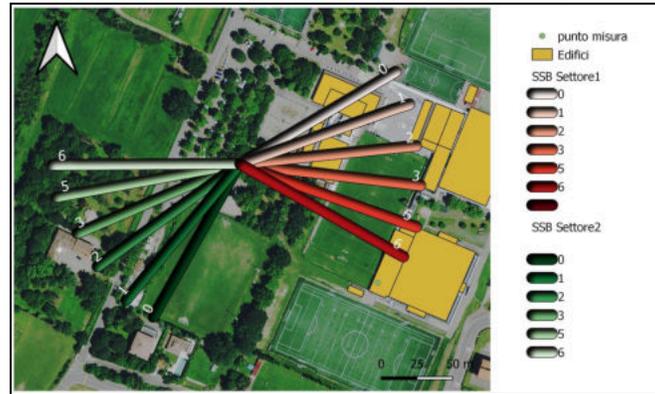
- con la formula (1) proposta dal documento IEC 62232 (2020);
- con misure a *span zero* in presenza di forzatura del traffico (utilizzando il valore massimo della traccia MAX);
- con l'acquisizione della potenza ricevuta per RE sui canali *PDSCH* del traffico forzato, sempre partendo dal valore massimo della distribuzione.

Le ragioni delle differenze osservate possono essere varie e vengono riportate di seguito:

- il valore teorico, essendo ottenuto a partire dai diagrammi di irradiazione involuppo di tutti i possibili fasci di traffico, come semplificazione cautelativa dell'effetto di formazione dei fasci del segnale 5G, non riproduce in modo realistico l'effettivo livello di campo elettrico che si genera in un punto di misura nel momento di richiamo del traffico, ma fornisce un valore sovrastimato;
- la forzatura del traffico con un terminale commerciale e l'applicazione di protocolli anch'essi commerciali (*'Speed-test'* o *'http file transfer'*) non garantiscono il richiamo del traffico massimo in modo stabile nel tempo: nel nostro caso l'uso di un solo terminale e l'utilizzo prevalente della tecnica *'http file transfer'* (lo speed-test non permetteva di ripetere in modo consecutivo la forzatura con la stessa velocità) non hanno consentito di effettuare le rilevazioni in modo ripetibile con forzatura del traffico massimo o (forse) non è stato proprio possibile richiamare il traffico alla massima potenza;
- la mancata conoscenza dei diagrammi elementari, non solo dei fasci di traffico ma anche dei fasci di controllo, genera ulteriori incertezze; infatti l'andamento insolito dell'intensità degli SSB rilevata durante le misure (vedi Fig. 4) ha richiesto un approfondimento con il gestore/vendor dell'antenna utilizzata: a bordo cella l'effetto dei lobi secondari dei diagrammi degli SSB risulta prevalente rispetto ai lobi principali, per cui, mentre ci si aspettava che il

fascio SSB6 per la sua collocazione spaziale (Fig. 10) risultasse il più elevato, in realtà quello con maggior intensità rilevata è risultato essere un lobo secondario del'SSB0;

Figura 10 - Distribuzione spaziale e successione temporale dei SSB



4. alla luce del punto precedente, in condizioni di misura distanti dalla direzione di massimo irraggiamento della cella, l'applicazione della formula indicata (1) nel documento IEC 62232 (2020) potrebbe risultare difficile: l'individuazione del SSB di riferimento è complessa a causa della possibile sovrapposizione dei lobi secondari dei fasci degli SSB e dalla grande variabilità angolare del loro guadagno.

Dall'esperienza fatta non è possibile trarre considerazioni conclusive riguardo a quale tecnica di estrapolazione sia più efficiente in generale: in questo caso specifico, in cui il punto di misura si trova in condizioni di bordo cella ed in presenza di modesti livelli di campo elettrico, sembrano fornire migliori risultati le estrapolazioni sviluppate a partire dai valori massimi misurati, quale che sia la procedura seguita.

Poiché l'applicazione delle tecniche di estrapolazione del segnale 5G in punti di indagine reali rappresenta uno strumento importante per svolgere in modo esaustivo l'attività di vigilanza delle Agenzie riguardo ai siti di telefonia, e lo sarà sempre di più con lo sviluppo della tecnologia, si ritiene opportuno cogliere lo spunto dall'esperienza fatta e dai limiti riscontrati, per approfondire il lavoro (ad es. attraverso misure in diversi punti del settore, utilizzo di più di un terminale, analisi dei diagrammi elementari dell'antenna).

Bibliografia

IEC 62232, *Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure*, 2020, Technical Report TC 106

Rossana Lietti et al., *Valutazione dell'incertezza e utilizzo nei modelli in fase previsionale dei campi elettromagnetici prodotti da impianti di telefonia cellulare e radiotelevisivi*, 2021, Atti Convegno Airp Roma

Sara Adda et al., *Methodology Based on Vector and Scalar Measurement of Traffic Channel Power Levels to Assess Maximum Exposure to Electromagnetic Radiation Generated by 5G NR Systems*, 2022, IEC