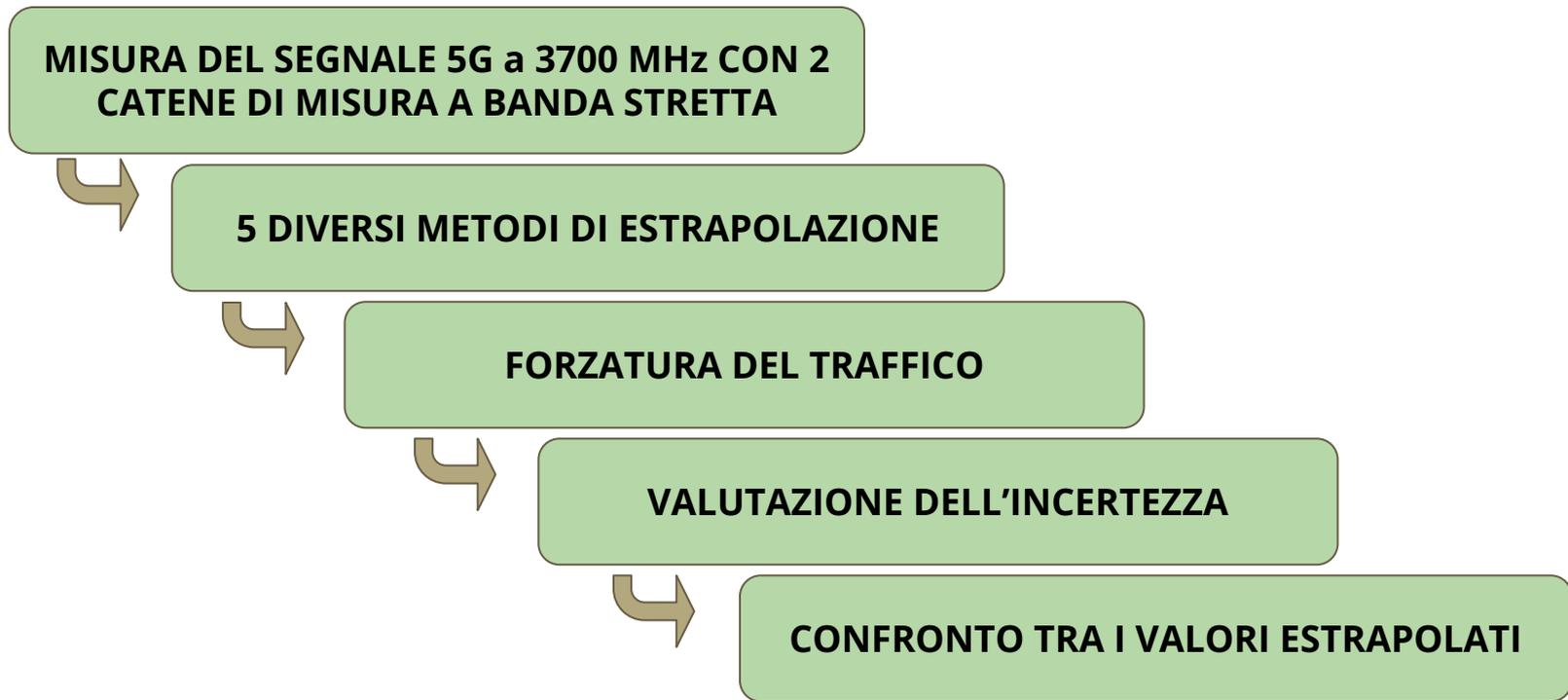

Approfondimenti del segnale 5G NR sub-6 GHz in un sito reale: confronti tra misure con analizzatori di spettro, portatile e vettoriale, al fine dell'estrapolazione alla massima potenza

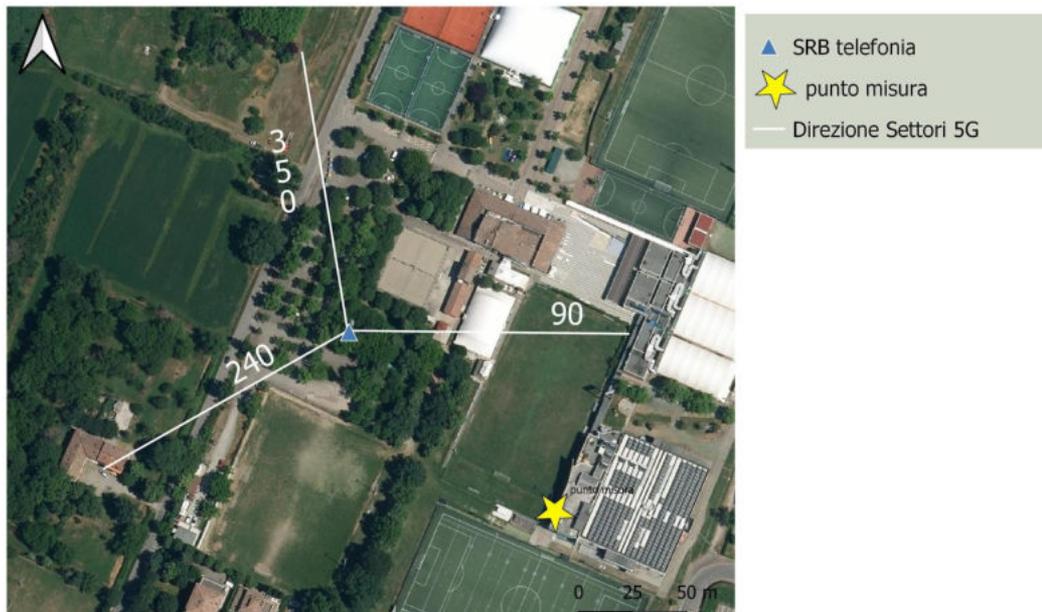
Barbara Notari, Martino Cremona, Emanuele De Sena, Irene Taddei,
Massimo Tedeschini, Matteo Tiberti, Tiziana Melfi, Maurizio Poli

Attività svolta

Il presente lavoro riporta come Arpae ha testato 5 diverse metodologie per l'**estrapolazione** del segnale **5G NR FR1 (a 3700 MHz)** in un **SITO REALE**



Caratteristiche del sito

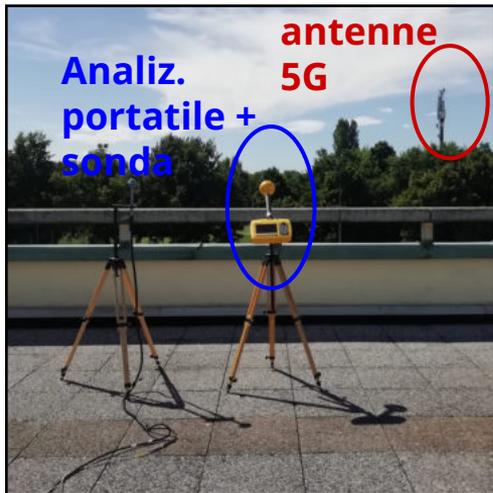


Nel sito esaminato sono presenti tutti e quattro i gestori principali. Complessivamente risultano attivi nell'area i sistemi di tutte le generazioni di telefonia, è tuttavia presente **un solo sistema 5G NR a 3700 MHz**, che si trova a circa **128 m di distanza**.

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.

Il punto di misura si trova a bordo del lobo che costituisce il Settore 1 (90°N).

Punto di misura e Strumentazione



Analizzatore di spettro portatile SRM3006 della Narda

- sonda triassiale (420 MHz - 6 GHz)
- modulo di decodifica dei PCI e misura del campo elettrico associato ai Resource Element (RE) degli SSB associati
- incertezza estesa dello strumento pari a **2.6 dB** (secondo la Norma CEI 211-7)

Analizzatore di spettro vettoriale FSVA 3007 della Rohde & Schwarz

- cavo TS-EMFZ2 da 8 metri
- sonda triassiale R&S modello TS-EMF (700 MHz - 6 GHz),
- incertezza estesa pari a **3 dB** (Norma CEI 211-7)

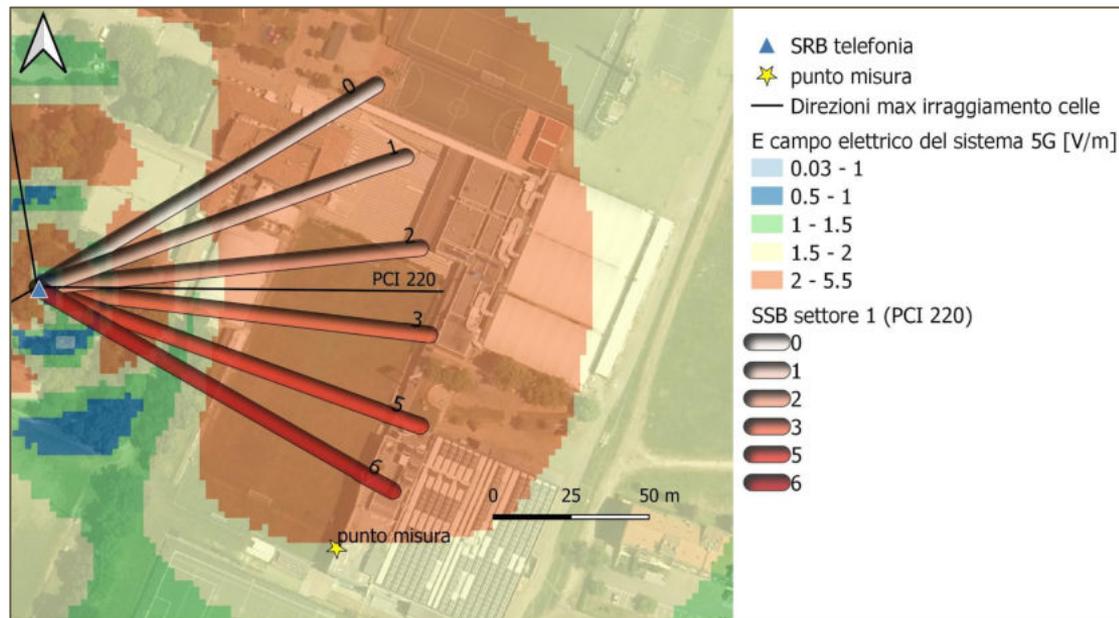
Caratteristiche del segnale 5G

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 e sono identificati con gli indici 0, 1, 2, 3, 5, 6

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		

Stima preventiva dei livelli di campo elettrico

- il contributo del sistema 5G a 3700 MHz nel punto di misura risulta pari a 2.0 V/m, di cui **1.9 V/m** è il contributo del solo settore 1 (90°N), corrispondente alla cella con PCI 220
- il contributo del 5G tiene già conto del fattore α_{24} (0.31) dichiarato per la valutazione preventiva in fase di autorizzazione per l'esposizione prolungata
- i fasci dei SSB sono 6 e hanno le direzioni rispetto alla direzione di massima irradiazione della cella, secondo quanto dichiarato dal gestore



Forzatura del traffico

Le due tecniche di forzatura utilizzate, attraverso l'uso di un terminale commerciale e di una scheda SIM 5G, sono state:

1. **Ookla speedtest** sul segnale 5G: viene indotto uno scaricamento dati massivo da parte del terminale alla velocità massima raggiungibile dal sistema 5G (poco meno di 1 GBps/s nel punto di misura), di durata circa 15 s, ma solo per una volta; in test successivi permettono una velocità inferiore (fino ad un massimo di circa 300-400 MBps/s)
2. **http file transfer**: di caricamento sul terminale di un file di grandezza pari a 10 GBytes da un apposito sito, che induce uno caricamento massivo di dati; si osserva un andamento più discontinuo della forzatura



Metodo 1 -

Formula di estrapolazione nella NORMA CEI EN IEC 62232

$$E_{5G,max} = E_{broadcast} \times \sqrt{F_{BW}} \times \sqrt{F_{PR}} \times \sqrt{F_{TDC}} \times \sqrt{BF^{-1}} \times \sqrt{F_{extbeam}}$$

$E_{broadcast}$ campo elettrico misurato per Resource Element del più intenso fra i fasci di broadcast, che si “presuppone” essere quello cioè più vicino alla direzione tra SRB e punto di misura

F_{BW} numero totale di sottoportanti nella banda di frequenza utilizzata 58.2 MHz su 60 MHz, pari a 1944

F_{PR} fattore di riduzione della potenza che si ottiene da un'analisi di tipo statistico, considerato uguale a 1 se già ricompreso nel fattore $F_{extBeam}$ valutato sul campo

F_{TDC} rapporto tra la porzione di trama dedicata al downlink e quello totale, nel caso in esame è pari a 0.743, nel nostro caso al posto di F_{TDC} è stato applicato il fattore $\alpha 24$ che include F_{TDC}

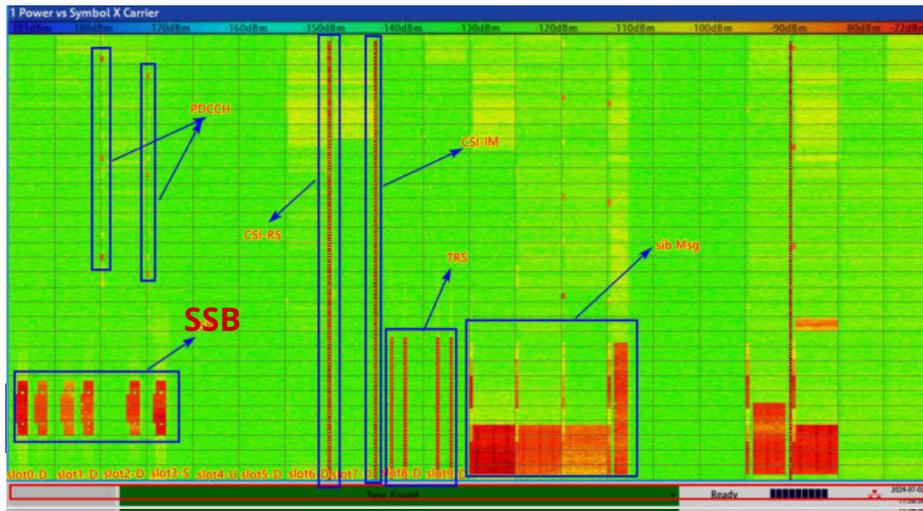
BF boosting factor, fattore di incremento della potenza dei canali di controllo rispetto a quelli di traffico, che l'operatore può decidere di applicare o meno, nel caso in esame è pari a 1

$F_{extBeam}$ **rapporto tra l'inviluppo del fascio di traffico ed il corrispondente di controllo nella direzione del punto di misura:** nel nostro caso è stato ottenuto sperimentalmente attraverso due procedure che utilizzano catene strumentali differenti

Metodo 1 - SSB come segnali di riferimento

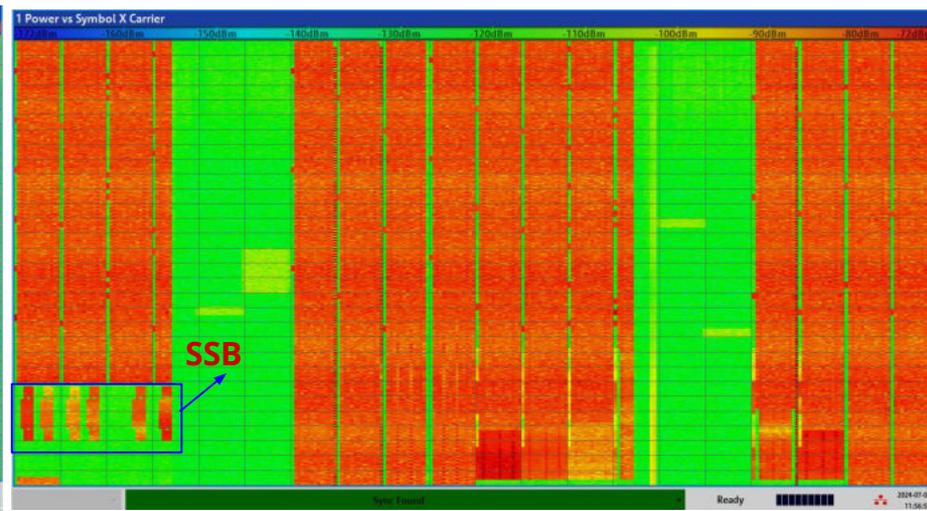
Power vs symbol per carrier a trama vuota
(no traffico)

si rileva la presenza degli segnali di controllo
sempre on air (tra cui gli SSB)

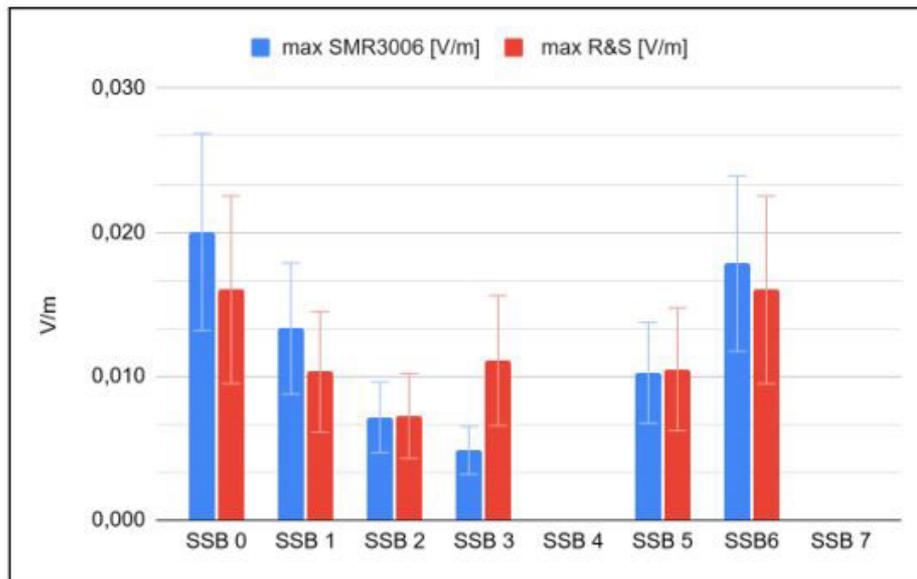


Power vs symbol per carrier a trama piena
(forzatura traffico 5G)

si rileva che la potenza ricevuta per RE aumenta per
tutti gli slot di downlink



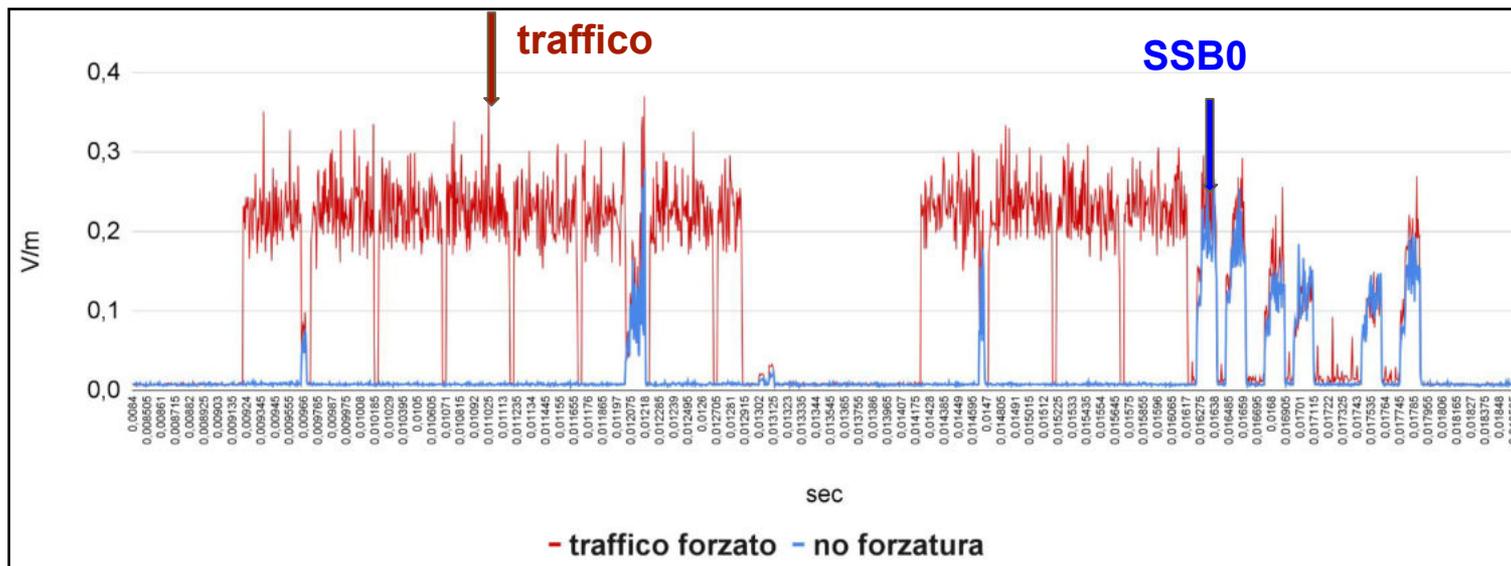
Metodo 1 - Valori di campo elettrico misurati per Resource Element associati agli SSB



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

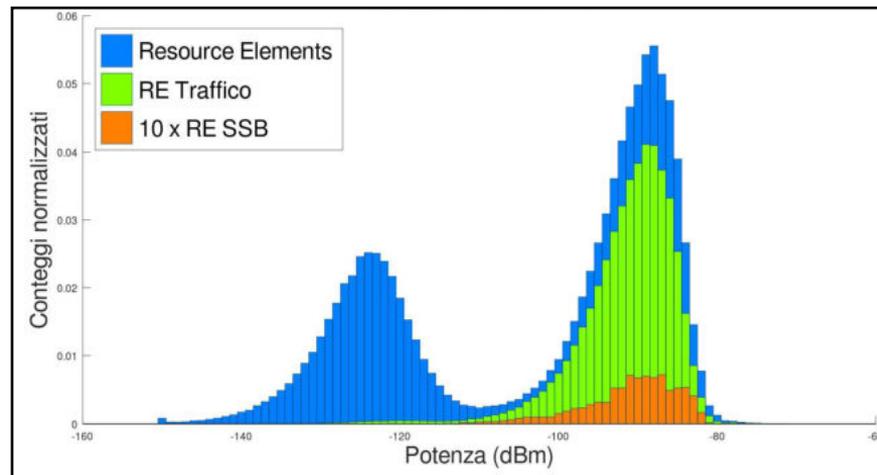
Metodo 1 - $F_{extBeam}$ con analizzatore portatile

1. Attraverso rilevazioni *a span zero*, $F_{extBeam}$ è quantificato come la differenza tra il valore massimo (sulla traccia Max) del campo elettrico misurato sugli slot di traffico nel momento della forzatura dello stesso e il valore medio (sulla traccia Max) misurato per l'SSB più elevato (SSB0) in assenza di traffico.



2. $F_{extBeam}$ = valore massimo della potenza per RE associata al SSB0 - valore massimo della potenza per RE associata ai canali PDSCH n (traffico) con 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) per associare i valori di potenza dei singoli RE ai differenti segnali presenti nella trama ed analizzarli statisticamente



Metodo 1

Risultati per $F_{extBeam}$

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

Risultati dell'estrapolazione del segnale 5G

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	

Metodo 2 - Misura a *span zero* con analizzatore portatile

$$E_{5G,Max} = \sqrt{\frac{N_{sc} \cdot \Delta f}{NBW}} \cdot E_{traffico} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

N_{sc} numero totale di sottoportanti nella banda di frequenza utilizzata 58.2 MHz utilizzati su 60 MHz, pari a 1944 sottoportanti

Δf spaziatura delle sottoportanti (nel nostro caso 30 kHz)

NBW noise bandwidth dell'analizzatore (in mancanza di questa informazione, in prima approssimazione si può ritenere uguale alla RBW (nel nostro caso 8 MHz), pari a 267 sottoportanti

$E_{traffico}$ valori di campo elettrico misurati durante gli slot di traffico forzato associata alla specifica RBW (8 MHz) impostata

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	

Metodo 3 - Misura a *channel power* con analizzatore portatile

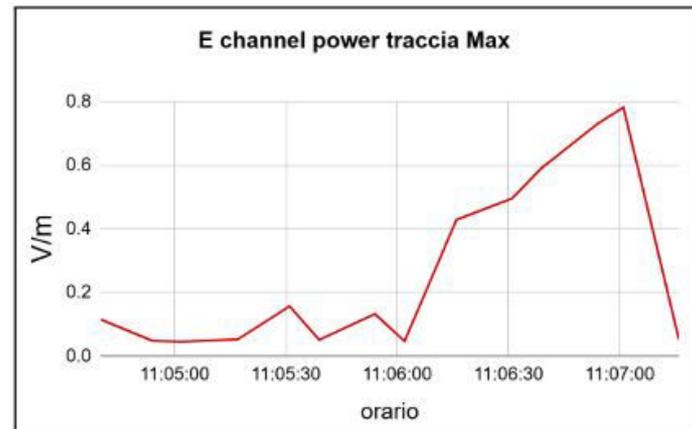
$$E_{5G_{max}} = E_{CP,traffico} \cdot \sqrt{\alpha 24 / F_{TDC}} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

$E_{CP,traffico}$ massimo valore su n acquisizioni del contributo energetico nell'intera banda di funzionamento del 5G (58.32 MHz) durante la forzatura del traffico = **0.78 V/m**

F_{TDC} 0.743 (è già compreso nella misura in *channel power*)

$\alpha 24$ 0.31 (fattore che tiene conto dell'esposizione prolungata)

$$E_{5G,max} = 0.55 \text{ V/m}$$



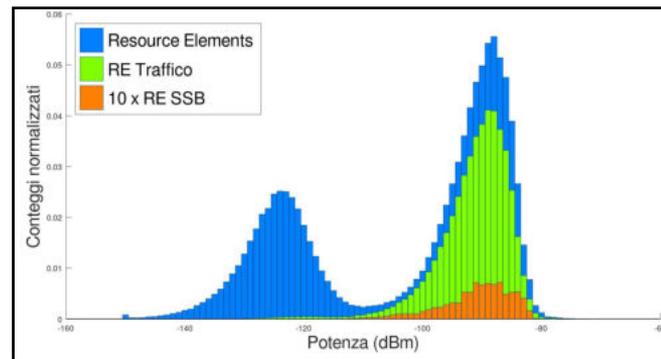
Metodo 4 - Acquisizione potenza sui canali di traffico PDSCH con analizzatore vettoriale

$$E_{5G_{max}} = E_{RE,PDSCH} \cdot \sqrt{F_{BW} \cdot \alpha24} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

$E_{RE,PDSCH}$ *media, moda o massimo* della distribuzione dei valori di potenza per RE associati ai canali PDSCH del traffico (analisi statistica eseguita con lo strumento creato con Gnu Octave)

F_{BW} numero totale di sottoportanti nella banda di frequenza utilizzata 58.2 MHz su 60 MHz, pari a 1944

$\alpha24$ 0.31 (fattore che tiene conto dell'esposizione prolungata)



Parametro statistico	$E_{RE,PDSCH}$ [V/m]	F_{BW} [n° sottoportanti]	$\alpha24$	$E_{estrapolato}$ [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	

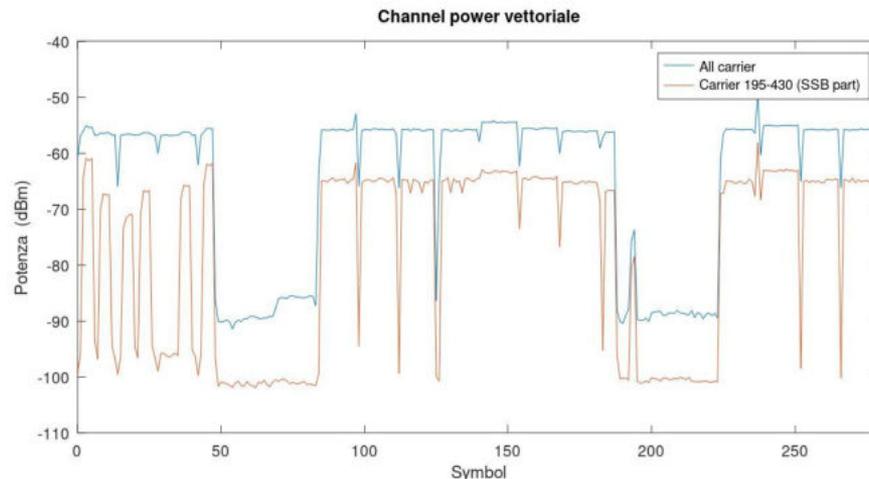
Metodo 5 - Channel Power vettoriale

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

E_{VCP} *massimo* della somma delle potenze degli RE dedicati al traffico durante il tempo di un simbolo risultato pari a **0.68 V/m**

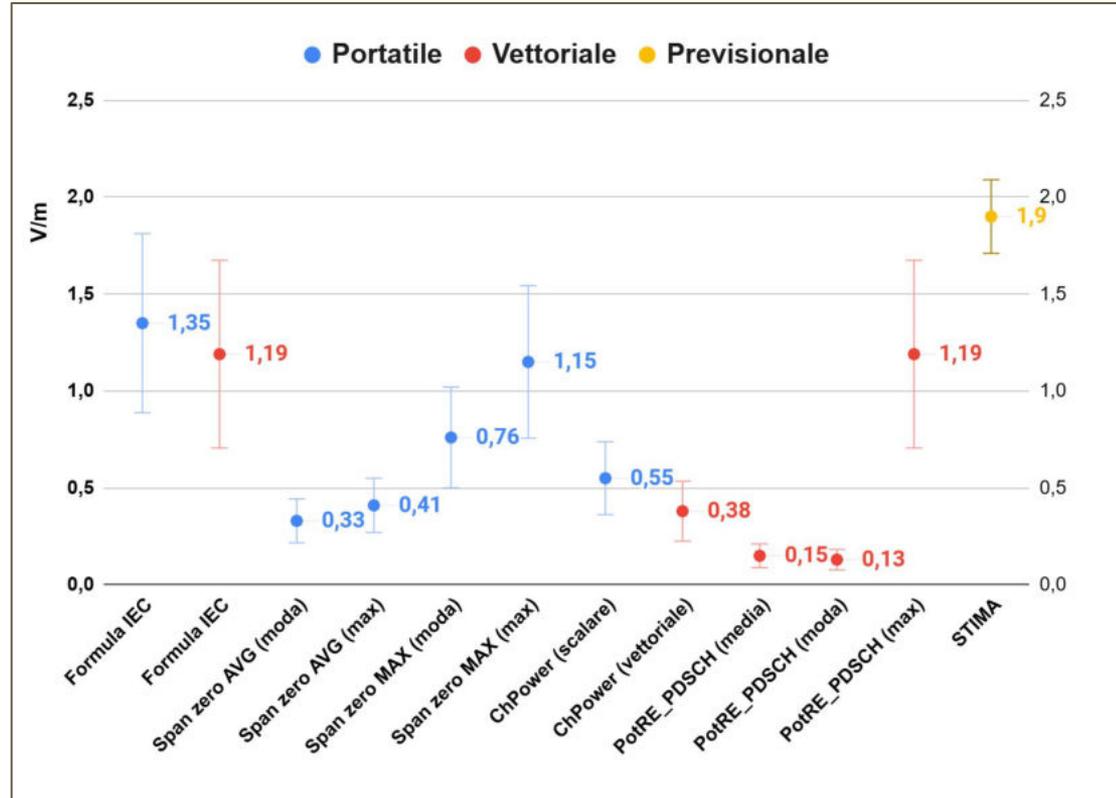
$\alpha 24$ fattore di riduzione per l'esposizione prolungata = 0.31

$$E_{5G,max} = 0.38 \text{ V/m}$$



Risultati finali

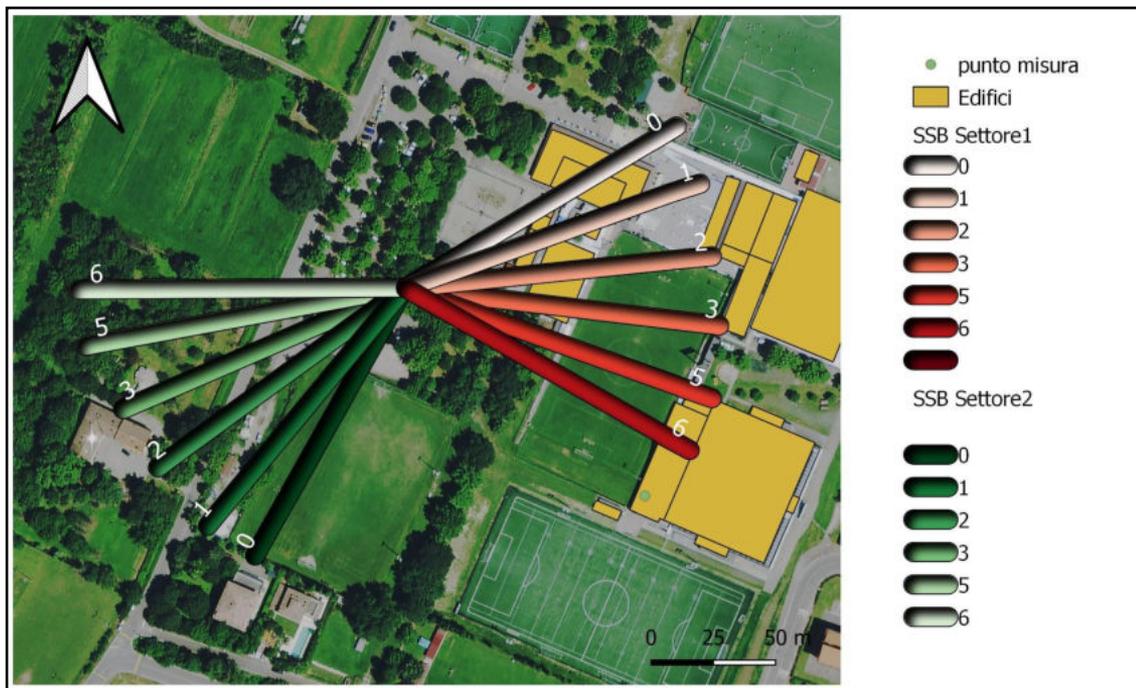
Si osserva una grande dispersione dei risultati



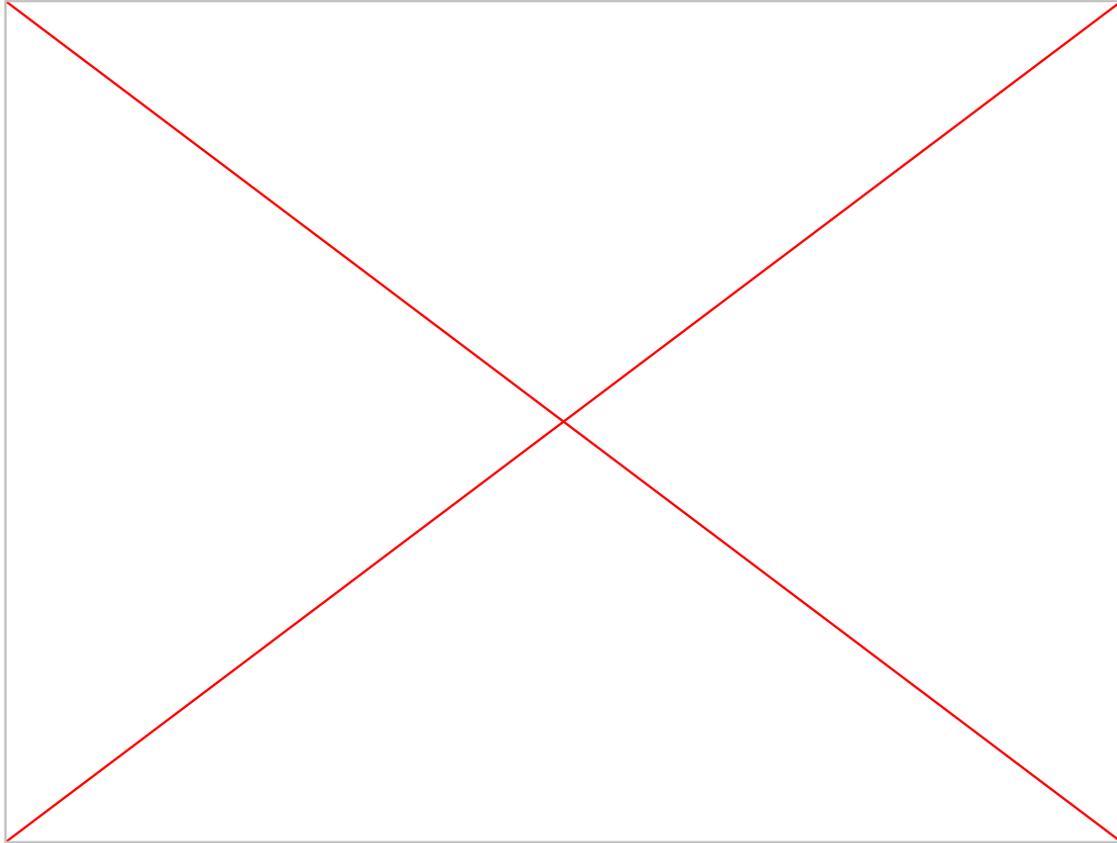
Le misure in un caso REALE non standard si sono rivelate particolarmente complesse e con diversi elementi di incertezza:

1. il **valore teorico**, ottenuto dai diagrammi di irradiazione in sviluppo di tutti i possibili fasci di traffico, **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, perciò cautelativo;
2. 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**;
3. 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 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**;
4. alla luce del punto precedente, in condizioni di misura distanti dalla direzione di massimo irraggiamento della cella, **la formula indicata nel documento IEC 62232 (2020) potrebbe risultare di difficile applicazione?** qual è l'SSB di riferimento? il più in direzione o quello misurato con maggior potenza nel punto di misura?
5. dall'esperienza fatta non è possibile trarre considerazioni conclusive riguardo a quale tecnica di estrapolazione sia più efficiente: in questo caso specifico (punto di misura **a bordo cella e distanza superiore a 100 m dall'antenna**) le estrapolazioni sviluppate a partire dai valori massimi misurati, quale che sia il metodo utilizzato, sembrano fornire migliori risultati.

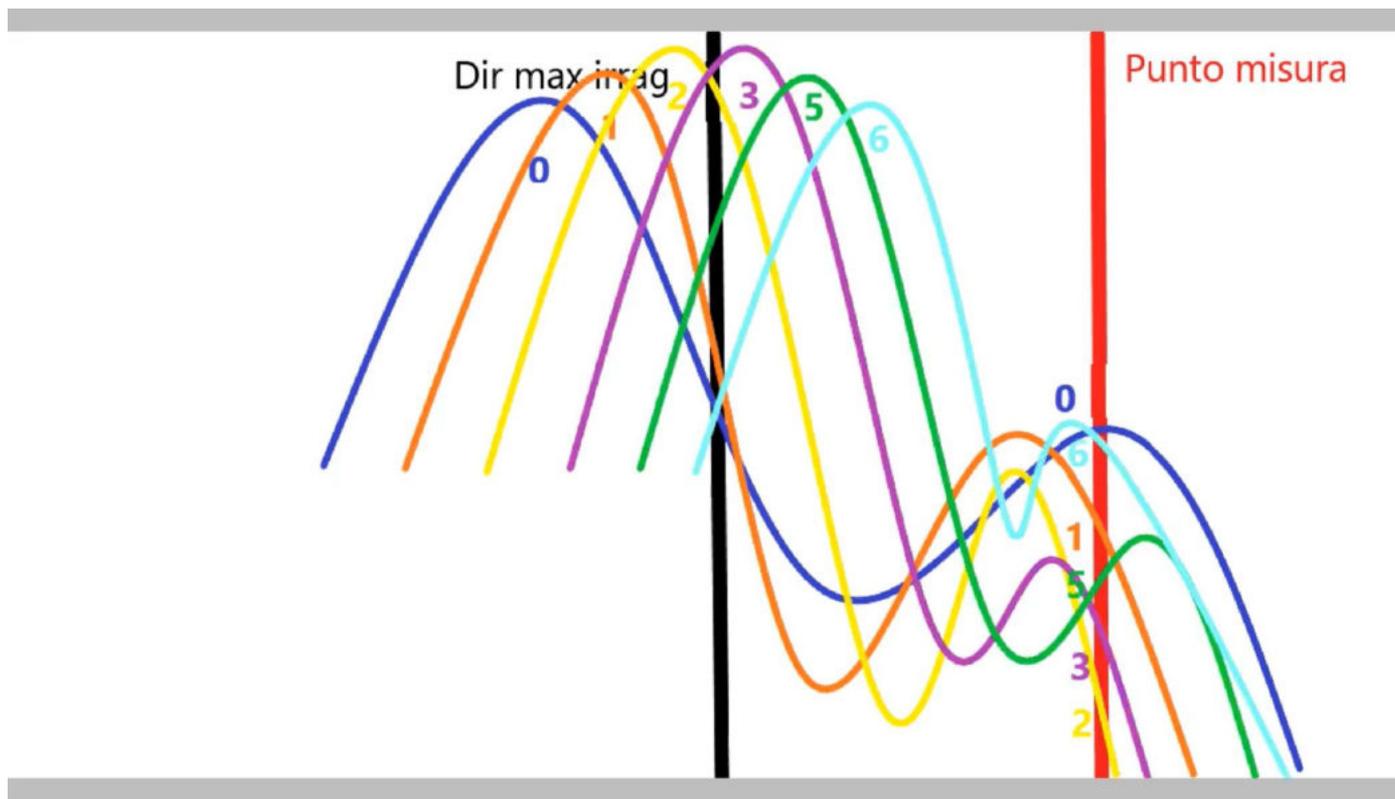
Distribuzione spaziale e successione temporale dei SSB



Influenza dei lobi secondari dei diagrammi degli SSB nel punto di misura



Influenza dei lobi secondari dei diagrammi degli SSB nel punto di misura



Sviluppi futuri

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 dalle difficoltà riscontrate, per approfondire il lavoro:

- attraverso misure in diversi punti del settore,
- con l'utilizzo di più di un terminale,
- acquisendo i diagrammi elementari dell'antenna.

Grazie per l'attenzione

bnotari@arpae.it

