

---

# Studio di un sito SRB complesso con 5G: dalle misure all'estrapolazione alla configurazione autorizzata nell'ottica delle verifiche per il rispetto del 'nuovo' valore di attenzione e dei limiti assentibili

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

**arpae - Servizi Sistemi Ambientali**

---

La radioprotezione della popolazione: esposizioni pianificate ed esistenti in un'ottica di sostenibilità  
25-27 Settembre 2024

Il presente lavoro riporta come Arpae ha affrontato la **verifica del rispetto del valore di attenzione**, recentemente innalzato da 6 a 15 V/m (L.n.214/2023), in un **SITO REALE**, con presenza di segnali di nuova generazione, in particolare di un **segnale 5G a 3700 MHz**, dalle misure all'**estrapolazione** dell'esposizione alla massima potenza autorizzata

VALUTAZIONE PRELIMINARE DEL SITO

MISURE A LARGA BANDA, IN CONTINUO E  
A BANDA STRETTA

DECODIFICA DEI CANALI DI CONTROLLO  
PER I SISTEMI ATTIVI

ESTRAPOLAZIONE ALLA MASSIMA  
POTENZA

VERIFICA DEL RISPETTO DEL VALORE DI  
ATTENZIONE E DEI LIMITI EMISSIVI ASSENTIBILI

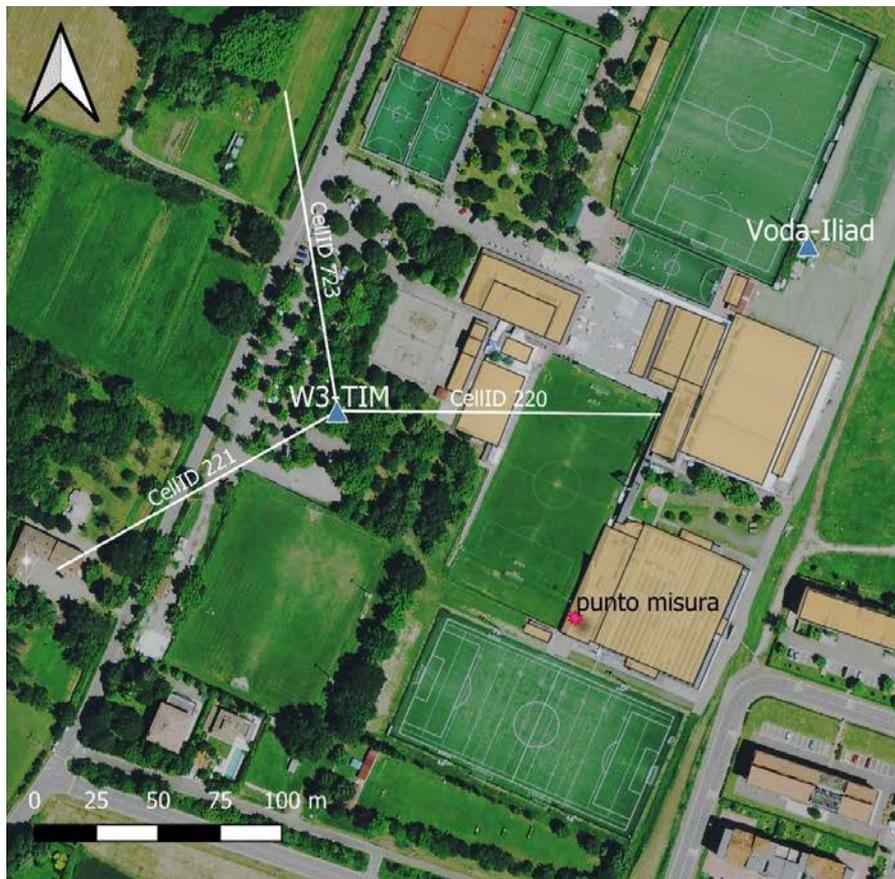
# Caratteristiche del sito indagato

In seguito ad esposto, Arpae esegue nel novembre 2022 delle indagini strumentali presso la struttura sportiva nelle cui vicinanze sono installati due pali di telefonia che ospitano:

1. 2 SRB dei gestori Wind Tre e Tim
2. 2 SRB dei gestori Vodafone e Iliad

Complessivamente nel sito in esame sono presenti i sistemi di tutte le generazioni di telefonia:

- 2G (GSM),
- 3G (UMTS) al
- 4G (LTE),
- 4G TDD
- 4G-5G DSS
- **5G NR a 3700 MHz** da parte del solo gestore W3



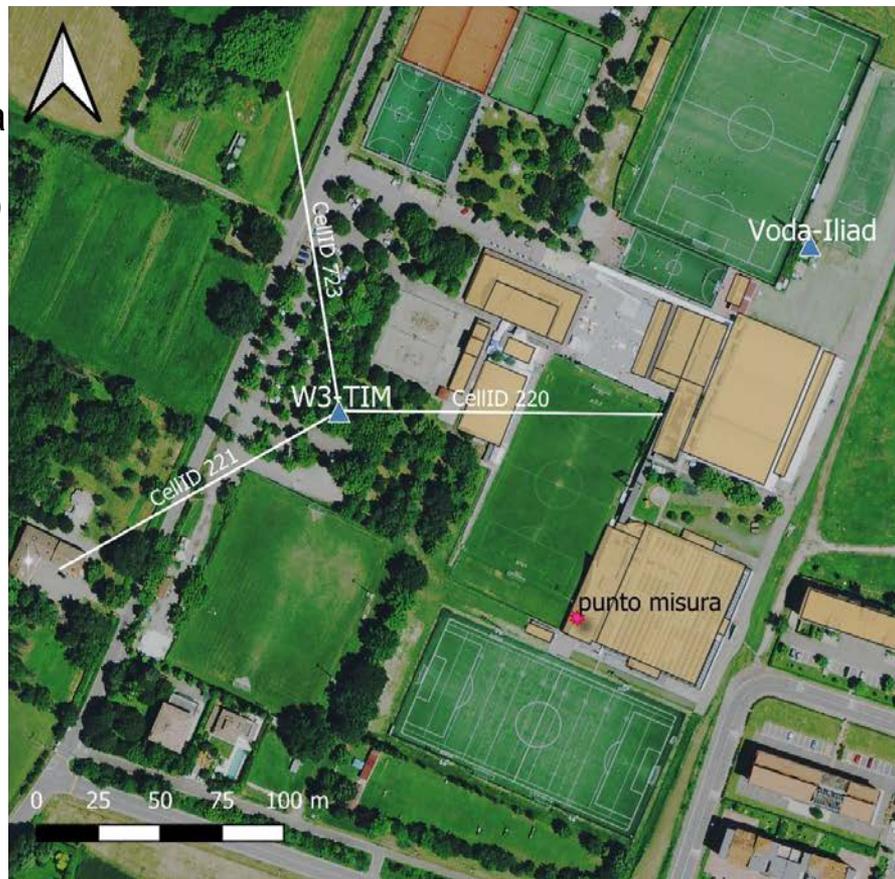
- ▲ cositing SRB telefonia
- ★ punto di misura
- Direzione Settori W3
- Edifici

# Caratteristiche del punto di indagine

Punto di misura → terrazza solarium al 2° piano di un edificio, ospitante la palestra della Polisportiva (classificato come pertinenza di un edificio con permanenza prolungata o comunque luogo intensamente frequentato)

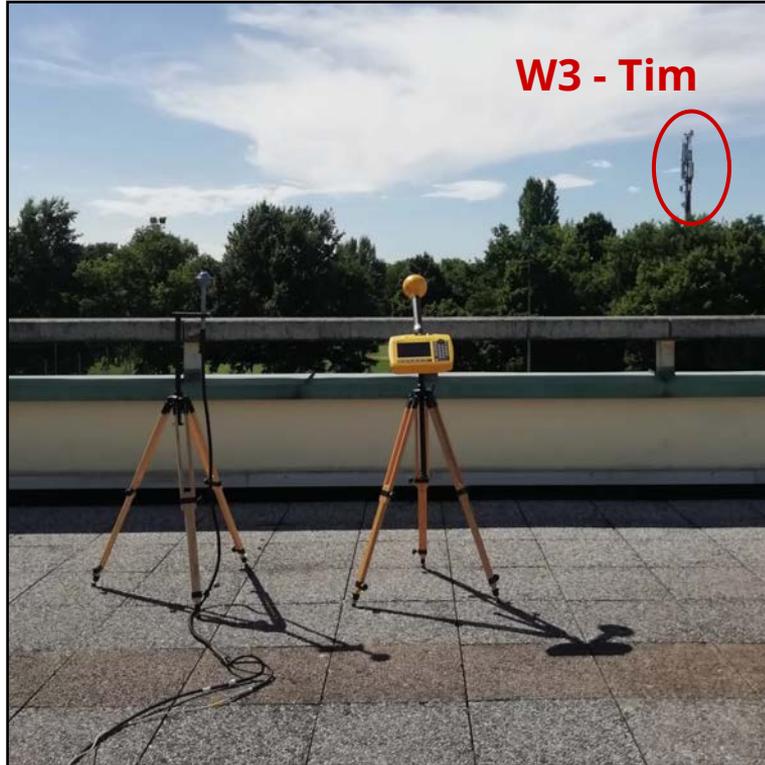
Scelto secondo i criteri:

- posizione rialzata (9 m dal suolo)
- in visibilità ottica rispetto alle sorgenti di campo elettromagnetico (128 m dal palo W3-Tim; 180 m dal palo Vodafone-Iliad)
- significativo e cautelativo ai fine della verifica della conformità alla normativa per il ricevitore sportivo nel suo complesso
- accessibilità e possibilità di lasciare la strumentazione



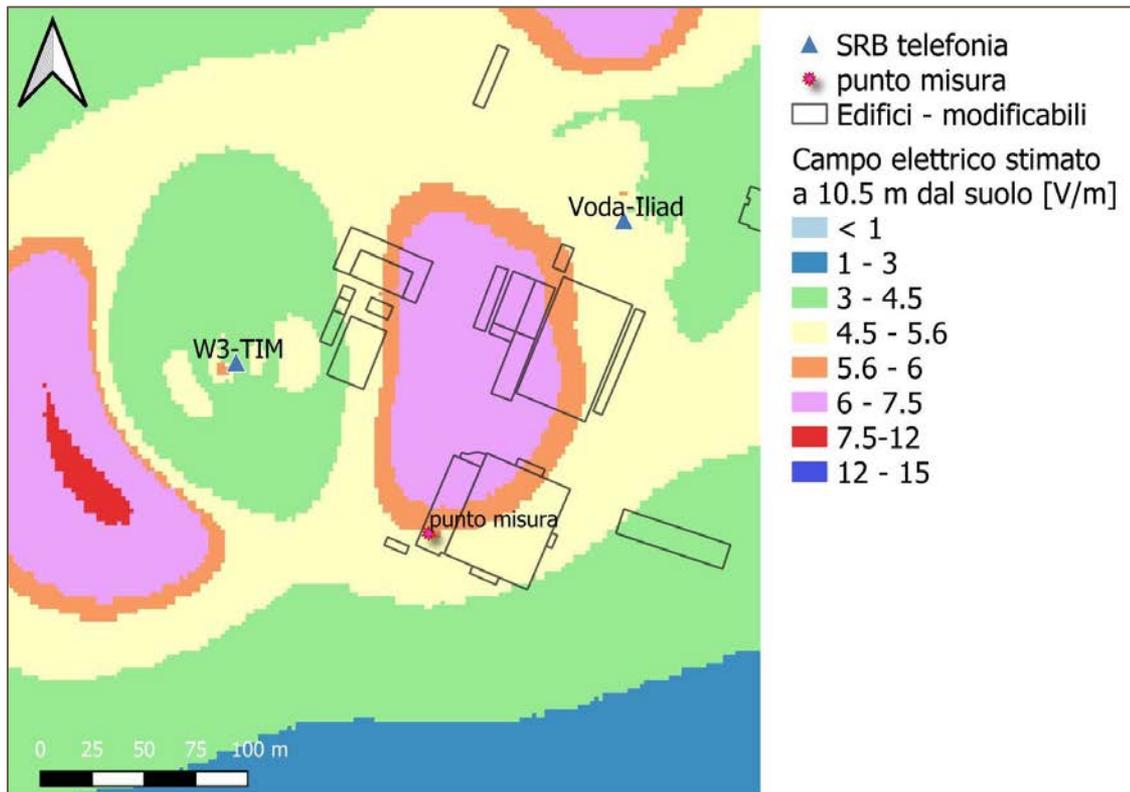
- ▲ cositing SRB telefonia
- ★ punto di misura
- Direzione Settori W3
- Edifici

# Caratteristiche del punto di indagine



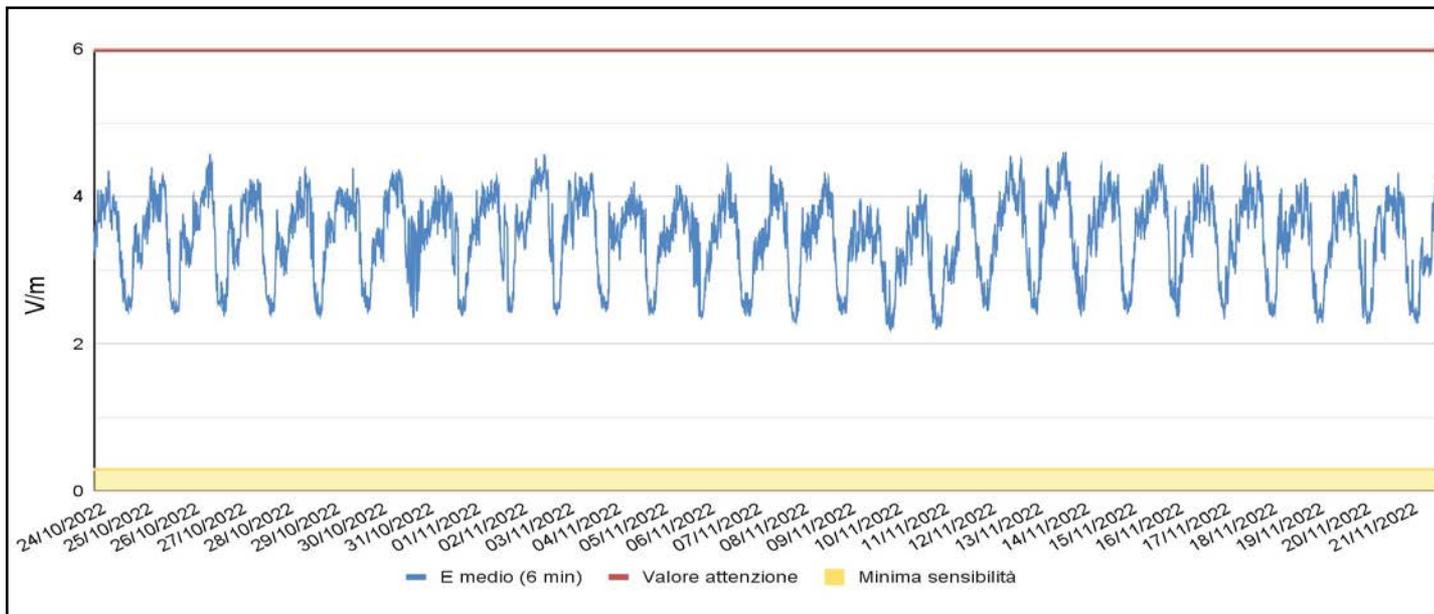
# Valutazione preventive del 2022 (non modificate fino al 2024)

- nel punto di misura il livello di campo elettrico stimato dovuto a tutti i sistemi di tutti i gestori alla massima potenza autorizzata risulta pari a **5.6 V/m**
- il contributo del sistema **5G a 3700 MHz di W3** risulta pari a 2.0 V/m, di cui **1.9 V/m** è il contributo del solo settore 1 con direzione di massimo irraggiamento pari a 90°N, corrispondente alla cella con Cell ID 220
- il contributo del 5G tiene già conto del fattore Alfa24 (0.31) dichiarato per la valutazione preventiva in fase di autorizzazione per l'esposizione prolungata



A seguito della richiesta da parte del comune di verificare l'allora valore di attenzione di 6 V/m presso la Polisportiva, Arpae ha eseguito:

1. misura a banda larga, livello di campo elettrico mediato su 6 minuti è risultato **E = 3.2 V/m**
2. monitoraggio in continuo di durata 28 gg, valori medi su 6 minuti compresi tra un minimo di 2.2 e un massimo di 4.6 V/m: il massimo delle medie su 24h è risultato **E = 3.8 V/m**



3. **misura** a banda stretta con l'analizzatore portatile ha dato come risultato il contributo di ciascun sistema attivo di ogni gestore

4. **estrapolazione alla massima potenza** secondo le indicazioni dell'Appendice E della Norma CEI 211-7

Gestore/Servizio	Radio	TV	Tim	W3	Voda fone	Iliad	Altro	Totale
Altro	0.3	0.1					0.6	0.7
GSM 900			1.0	0.2	0.6			1.2
UMTS 900				0.2		0.1		0.2
UMTS 2100				0.3				0.3
LTE 700 DSS						0.1		0.1
LTE 800				0.5	0.3			0.6
LTE 1800			2.3	0.8	0.3	0.3		2.5
LTE 2100			0.3	0.5	0.7	0.1		0.9
LTE 2600 FDD				0.3				0.3
LTE 2600 TDD				0.4	0.5	0.2		0.7
5G 3700				0.1				0.1
<b>Totale [V/m]</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>	<b>2.5</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>3.1</b>

Gestore/Servizio	Radio	TV	Tim	W3	Voda fone	Iliad	Altro	Totale
Altro	0.3	0.1					0.6	0.7
GSM 900			1.4	0.3	0.8			1.6
UMTS 900				1.7		0.2		1.7
UMTS 2100				0.5				0.5
LTE 700 DSS						0.2		0.2
LTE 800				0.7	0.7			1.0
LTE 1800			2.8	0.9	0.7	0.5		3.1
LTE 2100			0.4	0.8	1.2	0.4		1.5
LTE 2600 FDD				0.7	1.1	0.4		1.4
LTE 2600 TDD				0.3				0.3
5G 3700				?				0.0
<b>Totale [V/m]</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>	<b>3.2</b>	<b>2.4</b>	<b>2.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>	<b>4.6</b>

# Conclusioni dell'indagine del 2022

- i livelli di campo elettrico misurati con i diversi strumenti risultano in accordo;
- con gli strumenti in uso ad Arpae e le tecniche conosciute nel 2022, non era stato possibile ottenere il contributo di campo elettrico dovuto al segnale 5G di W3;
- pur escludendo tale contributo, il valore complessivo di campo elettrico, ottenuto attraverso la misura dei canali di controllo per ciascun servizio e gestore, estrapolando alla massima potenza autorizzata, secondo le indicazioni e formule dell'Appendice E (Norma CEI 211-7), aveva evidenziato un livello di campo (4.6 V/m) che si avvicinava al valore di attenzione di 6 V/m
- la Norma CEI 211-7 afferma che *l'“estrapolazione per confronto con valori di soglia del campo elettrico mediati sulle 24 ore potrà essere eseguita:...per la verifica di un potenziale superamento delle soglie stabilite dalla legge per il valore di attenzione e per l'obiettivo di qualità, nel corso della vita dell'impianto e al variare delle condizioni di carico, laddove sia utilizzato il coefficiente Alfa24 autorizzato dall'ente locale ai sensi della normativa vigente per uno specifico impianto sotto indagine”*



**Arpae non poteva essere totalmente certa che la situazione indagata rispettasse SEMPRE il valore di attenzione di 6 V/m, a causa dell'impossibilità di estrapolare il contributo del segnale 5G**

A fronte dell'acquisizione dell'analizzatore vettoriale e della conoscenza delle caratteristiche del segnale 5G di W3, Arpae decide di ripetere le misure nel sito e approfondire in particolare le tecniche di estrapolazione del contributo 5G.

L'Agenzia ha eseguito:

1. misura a banda larga, livello di campo elettrico mediato su 6 minuti è risultato  **$E = 2.3 \text{ V/m}$**
2. misura a banda stretta con l'analizzatore portatile ha fornito un valore di campo elettrico complessivo dovuto alla somma di tutti i contributi dei servizi attivi per ogni gestore  **$E = 2.6 \text{ V/m}$**
3. demodulazione del segnale 5G con l'analizzatore scalare portatile
4. analisi del segnale 5G con analizzatore di spettro vettoriale



# Caratteristiche del segnale 5G di W3

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

DATI RELATIVI 5G 3600 MHz TDD	SETTORE 1	SETTORE 2	SETTORE 3
	Portante	Portante	Portante
Azimut [°N]	90	240	350
Frequenza centro banda [MHz]	3590,01	3590,01	3590,01
Larghezza di banda [MHz]	60	60	60
Potenza in trasmissione [W]	50	60	80
Cell ID	220	221	723
SISO/MIMO configuration	MIMO 4x4	MIMO 4x4	MIMO 4x4
Numerologia $\mu$	1	1	1
SubCarrier Spacing [kHz]	30	30	30
Frequenza del PDSCH (SSB) [MHz]	3570,24	3570,24	3570,24
Number of SSB	6	6	6
Configurazione TDD: Case	C	C	C
$F_{TDC}$	0,743	0,743	0,743
Boosting factor	1	1	1

# Analisi del segnale 5G con l'analizzatore di spettro vettoriale

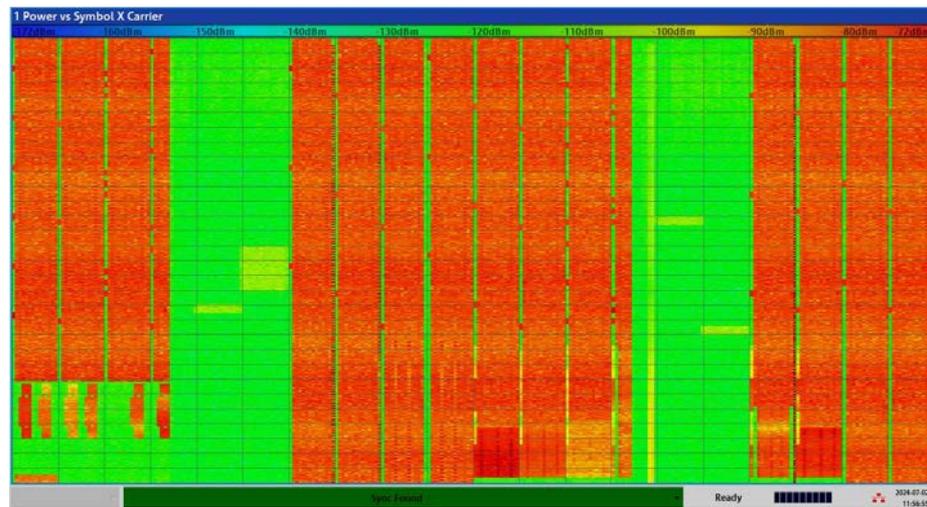
Power vs symbol per carrier a trama vuota  
(no traffico)

si rileva la presenza degli segnali di controllo sempre on air (tra cui gli SSB), identificati anche tramite un confronto con l'operatore W3



Power vs symbol per carrier a trama piena  
(traffico forzato)

la stessa misura effettuata però durante la forzatura del traffico 5G: si rileva che la potenza ricevuta per RE aumenta per tutti gli slot di downlink



# Analisi del segnale 5G con l'analizzatore di spettro vettoriale



L'analisi di spettro vettoriale ha permesso di analizzare il segnale 5G attraverso:

- l'individuazione dei 6 SSB, identificati con gli indici 0, 1, 2, 3, 5, 6, con frequenza centrale pari a 3570.24 MHz e ampiezza in banda pari a 7.2 MHz
- la misura della potenza per simbolo per portante di una trama (di durata 10 ms), quindi della potenza per Resource Element
- l'associazione della potenza per RE agli SSB $n$  e statistica della stessa (valore max, min, medio)

Le due tecniche di forzatura utilizzate, attraverso l'uso di un terminale commerciale e di una scheda SIM di W3 comprensiva di traffico 5G, sono state:

1. 'Ookla speed test' sul segnale 5G: da questa applicazione viene indotto uno scaricamento dati massivo da parte del terminale alla velocità massima raggiungibile dal sistema 5G (poco meno di 1 GBytes/s nel punto di misura), di durata circa 15 s, ma solo per una volta; a test successivi permettono una velocità inferiore, fino ad un massimo di circa 300-400 MBytes/s)
2. 'http file transfer': richiesta di caricamento sul terminale di un file di grandezza pari a 10 GBytes da un apposito sito, che induce uno caricamento massivo di dati



# Formula di estrapolazione del 5G alla massima potenza

E' stato forzato il traffico 5G nella direzione del punto di misura al fine di ottenere il fattore  $F_{extBeam}$ , per l'applicazione della formula per l'estrapolazione del segnale 5G indicata al punto F.9.2.1.4 della Norma CEI EN IEC 62232

$$E_{5G} = E_{broadcast} \times \sqrt{F_{BW}} \times \sqrt{F_{PR}} \times \sqrt{F_{TDC}} \times \sqrt{BF^{-1}} \times \sqrt{F_{extbeam}} \quad \left[ \frac{V}{m} \right]$$

$E_{broadcast}$  è il valore del campo elettrico misurato per Resource Element del più intenso fra i fasci di broadcast (SSBn), quello cioè più vicino alla direzione tra SRB e punto di misura

$F_{BW}$  rappresenta il rapporto tra tutta la banda a disposizione dell'operatore (58.3 MHz che vengono effettivamente utilizzati rispetto all'ampiezza di banda di 60 MHz) e la larghezza di banda del  $E_{broadcast}$  misurato: poiché quest'ultimo corrisponde ad un singolo RE dell'SSB0, e la sua larghezza di banda è pari a 30 kHz, occorre moltiplicare per la radice quadrata del numero totale di sottoportanti pari a 1944

$F_{PR}$  fornisce una misura della riduzione della potenza che si ottiene da un'analisi di tipo statistico e può essere posto uguale a 1 se già ricompreso nel fattore  $F_{extBeam}$

$F_{TDC}$  rappresenta il rapporto tra la porzione di trama dedicata al downlink e quello totale, nel caso in esame è pari a 0.743. Nel caso si voglia verificare il rispetto del valore di attenzione per la permanenza prolungata, al posto di  $F_{TDC}$  dovrà essere applicato il fattore Alfa24

boosting factor BF rappresenta il rapporto tra la potenza della sottoportante dei canali di controllo e la potenza di una sottoportante dei canali di traffico, nel caso in esame è pari a 1

# $F_{extBeam}$ ottenuto con due diverse procedure e catene di misura

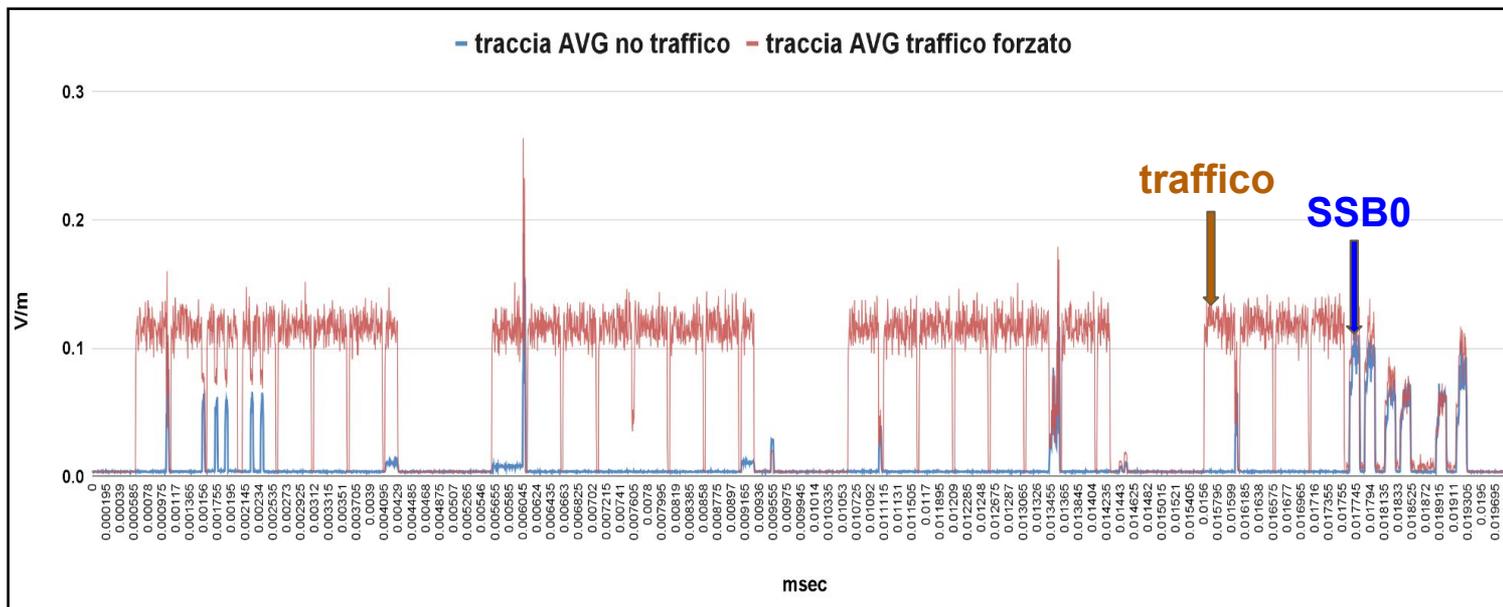
Il fattore  $F_{extBeam}$  rappresenta il rapporto tra l'inviluppo del fascio di traffico ed il corrispondente di broadcast nella direzione del punto di misura

Nel nostro caso  $F_{extBeam}$  è stato ottenuto sperimentalmente attraverso due procedure che utilizzano catene strumentali differenti:

1. **analizzatore scalare**, attraverso una misura a span zero durante la forzatura del traffico 5G, centrando la banda passante sulla frequenza centrale degli SSB, con span pari a 8 MHz
2. **analizzatore vettoriale**, che permette la misura di potenza ricevuta per RE e la decodifica del tipo di canale trasmesso per RE

# $F_{extBeam}$ ottenuto con analizzatore scalare portatile e misura a span zero

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



# $F_{extBeam}$ ottenuto con analizzatore vettoriale, misura della potenza per RE e decodifica dei canali associati agli RE

2.  $F_{extBeam}$  è quantificato come la differenza tra il valore massimo della potenza ricevuta per RE associata al SSB0 e il massimo della potenza per RE associata ai canali PDSCH $n$  (traffico) nella momento della forzatura dello stesso

Tipo di misura	Strumentazione	dB	volte
1. Span Zero	analizzatore portatile	-12.5	17.9
2. Misure di potenza per RE con decodifica dei canali	analizzatore vettoriale	-12.8	18.9

# Risultati dell'estrapolazione

Per quanto riguarda l'estrapolazione dei valori misurati nel 2022, considerando che le condizioni delle SRB nel sito non sono cambiate dal 2022 (non sono infatti state presentate né valutate riconfigurazioni degli impianti nel periodo intercorso tra le due sessioni di misura) e che la strumentazione è stata collocata nella stessa posizione (perciò il segnale 5G è influenzato dallo stesso ambiente di propagazione), si è ritenuto opportuno utilizzare lo stesso fattore  $F_{extBeam}$  ottenuto nella sessione del 2024

Anno	Metodo	$E_{broadcast} = E_{RF-SSB0}$ [V/m]	$F_{extBeam}$	n° sottoportanti	Alfa24	$E_{estrapolata}$ [V/m]	$E_{stimato}$ [V/m]
2022	1	0.019	17.9	1944	0.31	2.0	1.9
2024	1	0.020	17.9			2.1	
2024	2	0.016	18.9			1.7	

# Risultati dell'estrapolazione confronto 2002-2024

## 2022

Emittente/ Gestore	Radio	TV	Tim	WindTre	Vodafone	Iliad	Altro	Totale	%
Altro	0.3	0.1					0.6	0.7	1.8%
GSM 900			1.39	0.30	0.79			1.6	10.4%
UMTS 900				1.73		0.15		1.7	11.9%
UMTS 2100				0.51				0.5	1.0%
LTE 700 DSS								0.2	0.2%
LTE 800				0.70	0.71	0.22		1.0	3.9%
LTE 1800			2.84	0.85	0.72	0.53		3.1	37.8%
LTE 2100			0.37	0.76	1.20	0.38		1.5	9.0%
LTE 2600 FDD				0.68	1.13	0.42		1.4	7.5%
LTE 2600 TDD				0.32				0.3	0.4%
5G 3700				2.02				2.0	16.1%
<b>Totale 2022</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.1</b>	<b>2.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>	<b>5.0</b>	
%	0.4%	0.0%	39.9%	38.6%	17.1%	2.6%	1.4%		100.0%

## 2024

Emittente/ Gestore	Radio	TV	Tim	WindTre	Vodafone	Iliad	Altro	Totale	%
Altro	0.3	0.1					0.6	0.7	2.4%
GSM 900			1.63	0.70	0.33			1.8	17.0%
UMTS 900				0.50		0.23		0.6	1.6%
UMTS 2100				-				0.0	0.0%
LTE 700 DSS						0.22		0.2	0.3%
LTE 800				0.52	0.21			0.6	1.6%
LTE 1800			2.68	0.83	0.42	0.42		2.9	43.0%
LTE 2100			0.01	0.73	0.72	0.30		1.1	6.0%
LTE 2600 FDD				0.52	-	0.41		0.7	2.3%
LTE 2600 TDD				0.34				0.3	0.6%
5G 3700				2.20				2.2	25.3%
<b>Totale 2024</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>	<b>3.1</b>	<b>2.7</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	<b>4.4</b>	
%	0.5%	0.1%	51.5%	39.0%	4.4%	2.8%	1.9%		100.0%

## 6 V/m

## 15 V/m

I livelli di campo elettrico complessivo estrapolati risultano **inferiori al valore di attenzione ed ai livelli valutati in fase preventiva** alla massima potenza, a causa soprattutto della potenza implementata sui sistemi di trasmissione a volte inferiore rispetto a quella richiesta in fase autorizzativa. Alcuni sistemi autorizzati inoltre risultano non attivati, ad esempio la tecnologia UMTS a 2100 MHz di W3 e quella LTE a 2600 MHz di Vodafone risultavano non attive nella sessione del 2024.

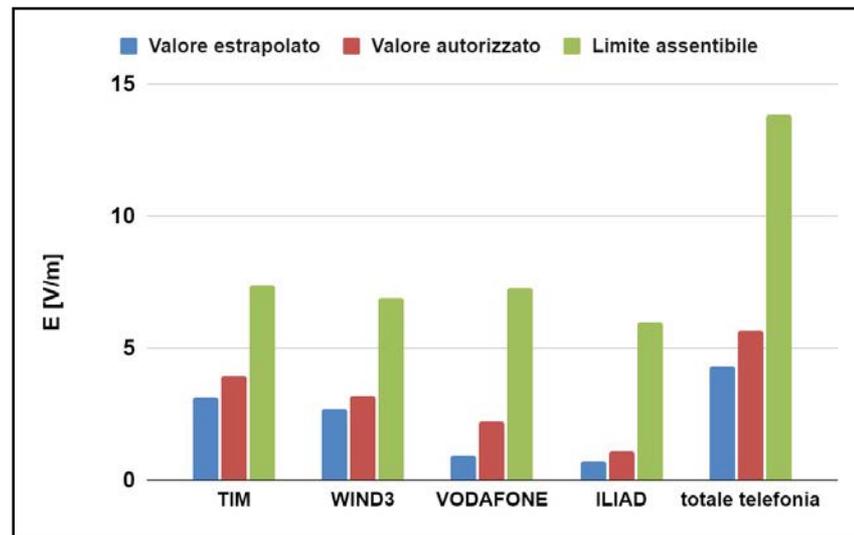
# Confronto con i limiti emissivi assentibili

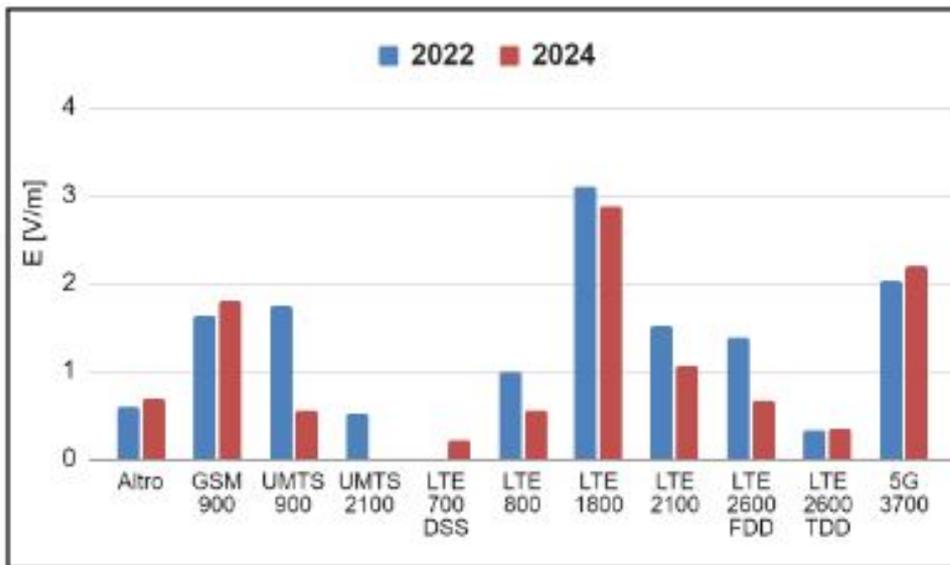
Gestore	Valore estrapolato	Valore autorizzato	Limite assentibile
TIM	3.1	4.0	7.4
WIND3	2.7	3.2	6.9
VODAFONE	0.9	2.2	7.3
ILIAD	0.7	1.1	6
Totale telefonia	4.3	5.7	-

Ogni gestore rispetta il proprio limite emissivo assentibile e anche il valore di fatto autorizzato in fase di valutazione preventiva.

In entrambe le sessioni di misura i contributi più elevati risultano dovuti ai impianti di Tim e di Wind Tre, che sono installati su un palo più vicino al punto di misura rispetto a quello di Vodafone e Iliad.

I contributi delle emittenti radio e tv sono trascurabili: ad esse la recente normativa attribuisce un contributo massimo ammissibile di 6 V/m all'interno del valore limite di 15 V/m.





Per quanto riguarda l'impatto delle diverse tecnologie, risultano contribuire maggiormente al valore di campo elettrico i sistemi LTE a 1800 MHz, ma non sono trascurabili anche i contributi del 5G a 3700 MHz e il GSM a 900 MHz, sia nel 2022 che nel 2024, mentre il sistema UMTS si conferma in via di dismissione.

1. un sito che due anni fa era quasi saturo, con l'innalzamento del valore di attenzione da 6 a 15 V/m offre ad oggi la possibilità per i gestori di implementare il numero dei sistemi e/o la loro potenza
2. il valore di attenzione ed i limiti emissivi assentibili risultano attualmente ampiamente rispettati: opportunità di semplificare le stime preventive in fase di parere tecnico da parte delle Agenzie Ambientali, trascurando i fattori di attenuazione attualmente utilizzati, compreso l' $\alpha_{24}$ ?
3. la verifica del rispetto del limite assentibile è onerosa in termini di tempo e complessità delle misure e delle successive elaborazioni
4. l'estrapolazione del segnale 5G risulta particolarmente complessa per l'uso di strumentazione avanzata e necessità di forzatura del traffico
5. nelle condizioni reali in cui è stata fatta l'esperienza, caratterizzata da assenza di ostacoli, poche riflessioni e distanze sorgente-ricettore non troppo grandi, le due tecniche di estrapolazione testate, che prevedono l'uso di due diverse catene di misura, e l'applicazione della formula contenuta nel Norma CEI EN IEC 62232, hanno fornito risultati comparabili tra loro e con il valore stimato in fase autorizzativa.

**Grazie**  
bnotari@arpae.it

