



Seminario di studio

Procedure autorizzative degli impianti di telefonia mobile 5G

Roma - 28 novembre 2019 - ISPRA

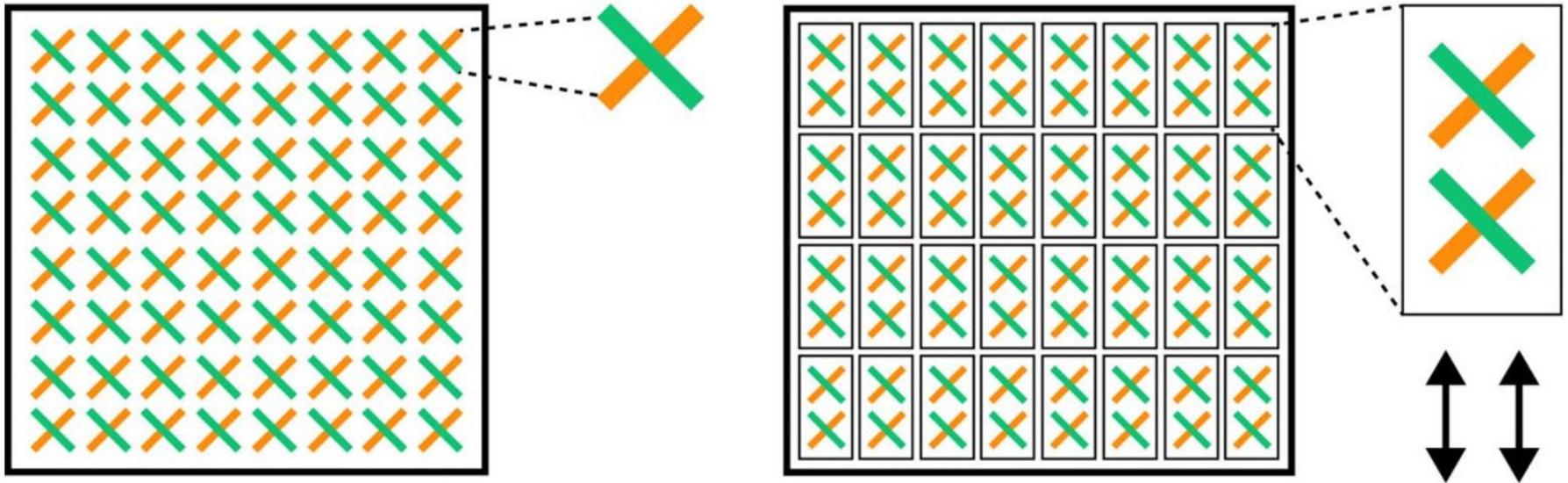
Esempi pratici e riflessione critica sull'impatto dei fattori attenuativi e del diagramma inviluppo sulla valutazione relativa ad impianti 5G

Ing. Enrico Grillo
Unità Controlli 2
Sede di Roma

SOMMARIO

- **VALUTAZIONI PREVISIONALI 5G E CRITICITA'**
- **CENNI DI ANTENNE mMIMO**
- **FATTORI DI ATTENUAZIONE**
- **DIAGRAMMA INVILUPPO**
- **ESEMPI DI SIMULAZIONI 5G**
- **CONSIDERAZIONI SUI FATTORI DI ATTENUAZIONE**
- **CONSIDERAZIONI SUL LIMITE DI ESPOSIZIONE**

ANTENNE mMIMO



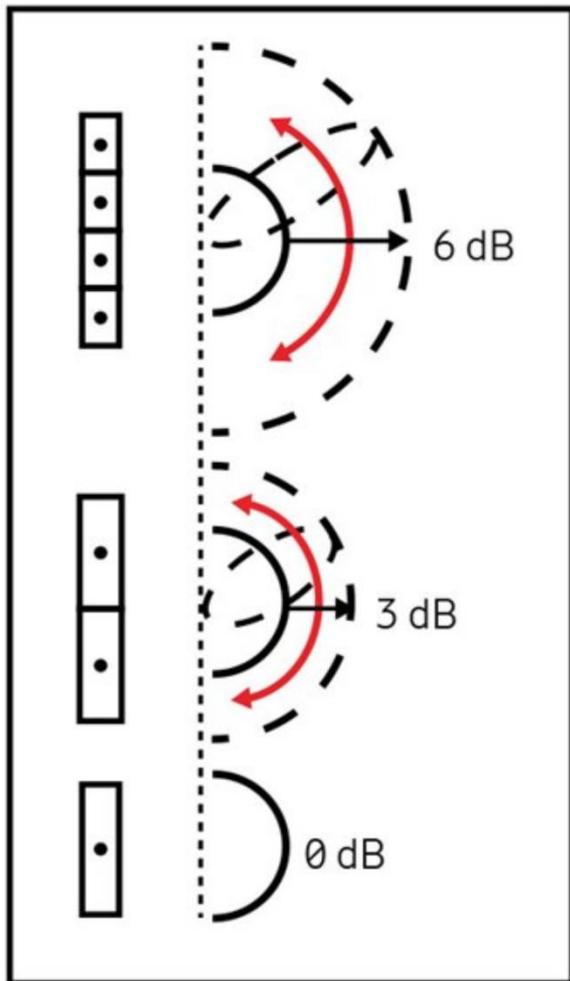
ARRAY PLANARE DI ANTENNE

MATRICE DI ELEMENTI A DOPPIA POLARIZZAZIONE

MATRICE DI SUB-ARRAY (2, 4, 8 ELEMENTI)

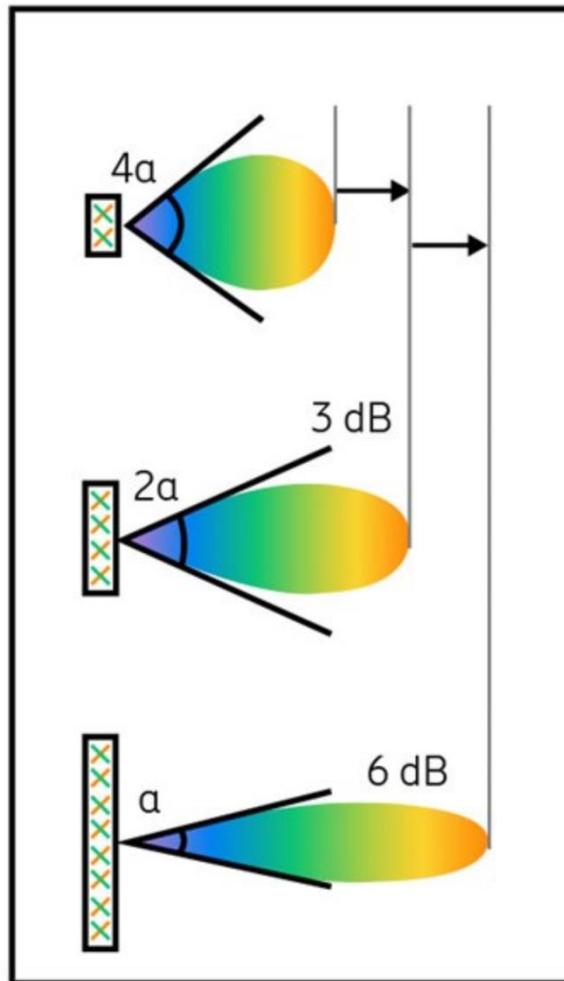
DIAGRAMMA ASSOCIATO A ELEMENTO O SUB-ARRAY

ANTENNE mMIMO



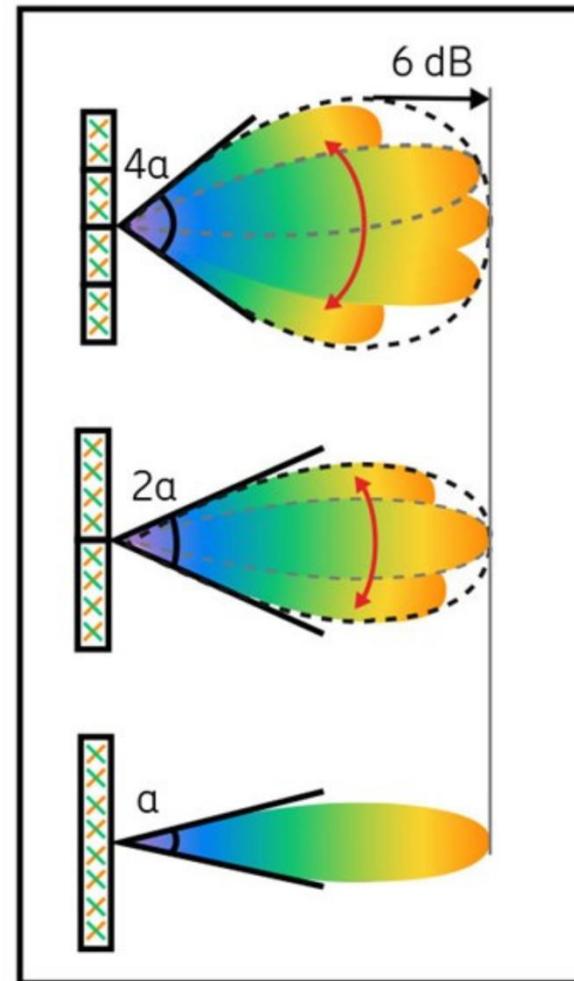
Array gain

x



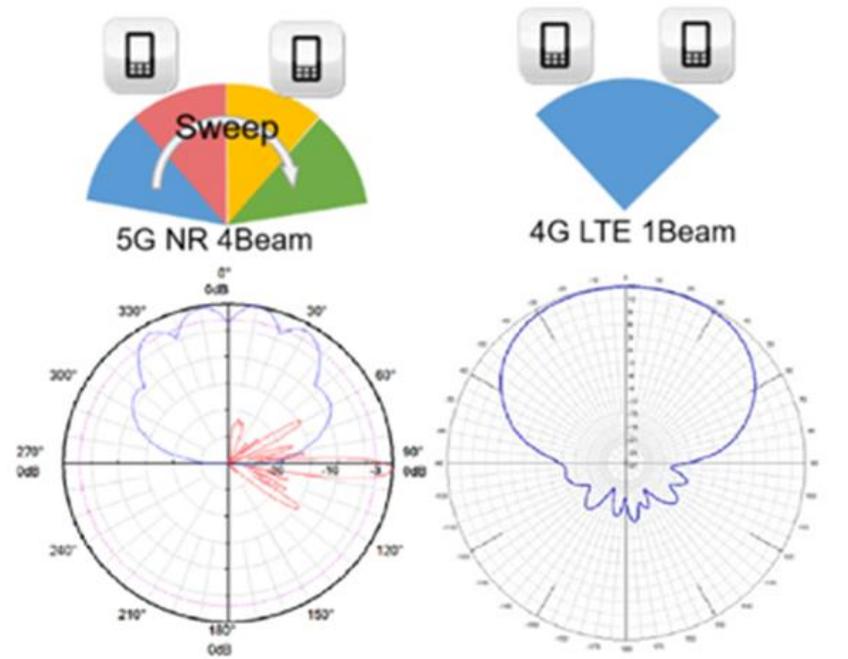
Sub-array gain

=



Total antenna gain

BROADCAST E SERVICE BEAM

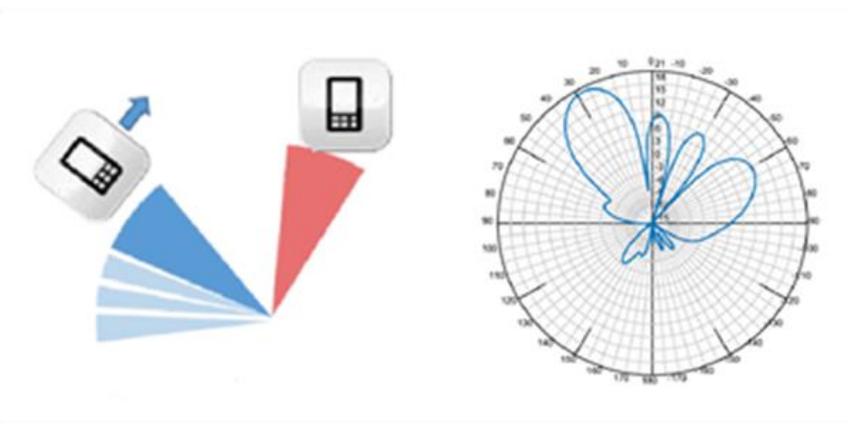


CONTROL CHANNELS (SSB)

BROADCAST BEAM

BEAMSWEEPING 5G

DIAGRAMMA BROADCAST



DATA CHANNELS

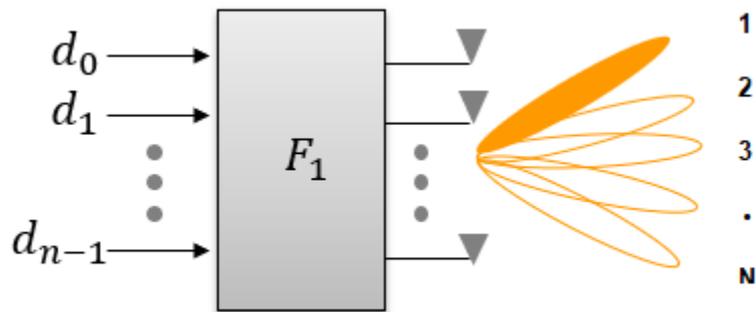
SERVICE BEAM

BEAMFORMING 5G

DIAGRAMMI MULTIPLI

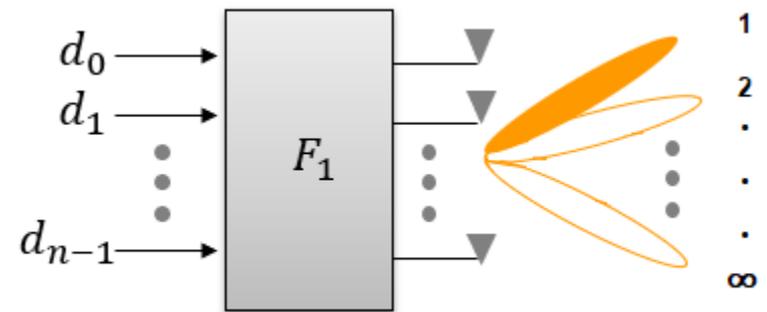
mMIMO - Procedura di Beamforming

GRID OF BEAMS (CODEBOOK PREDEFINITO)



- Numero finito di sequenze di pesatura
- Numero predefinito di beam
- Diagramma involuppo «semplice»

SINTESI IN TEMPO REALE (FEEDBACK O STIMA DI CANALE)



- Sequenze di pesatura non predefinite
- Numero indefinito di beam
- Diagramma involuppo «complesso»

EIRP → CAMPO ELETTRICO

$$EIRP = P_{eff} \cdot G_{inv}(\theta, \varphi)$$

$$P_{eff} = P_{TXM} \cdot F_{TDC} \cdot F_{PR} \quad G_{inv}(\theta, \varphi) = G_{MLB} \cdot \hat{F}_G(\theta, \varphi)$$

Fattore TDD

Fattore statistico

Diagramma Inviluppo

$$E = \sqrt{\frac{377 \cdot P_{eff} \cdot G_{inv}}{4\pi \cdot r^2}}$$

Campo elettrico previsionale

FATTORE STATISTICO

IEC TR 62669 presenta esperimenti di stima per FPR

mMIMO 64T, $F_{TDD} = 0.75$, LTE 2600, 6 differenti scenari

Contatori SRB - 1 acquisizione ogni 15 min

- media della potenza trasmessa in downlink
- media # fasci simultanei generati con beamforming
- media # PRB allocati per ogni slot
- media # utenti attivi per ogni slot

Analisi statistica dell'Actual Maximum Power (P_{media})

CDF – Stima della funzione di distribuzione cumulativa

FATTORE STATISTICO

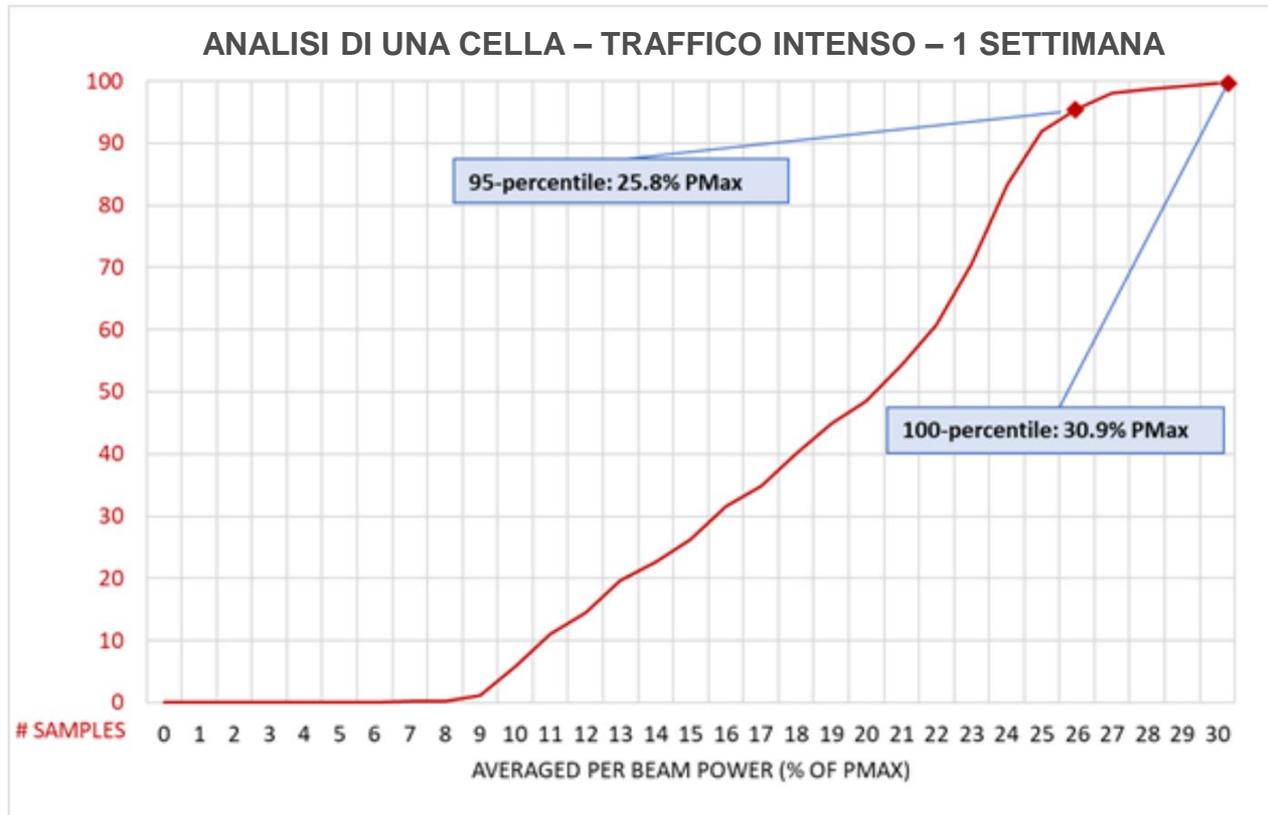


Table 18 – Actual maximum values for experiment #5

	Using the 100 th percentile approach	Using the 95 th percentile approach (for larger sample)
Power reduction factor	0,31	0,26

TR 62669:2019 - Fattore TDD

In merito al fattore F_{TDC} il TR fornisce indicazioni criptiche, se non contrastanti:
da un lato lascia intendere che sia incluso nel fattore statistico...

The four counters defined in 13.3.3.3 have been used. The reporting interval for network counters was 15 minutes in most cases though data collection at 5-minutes and 1 second intervals was performed for benchmarking purposes. In all cases, the reporting interval is several orders of magnitude longer than the transmission interval, so TDD uplink (UL) slots are, by definition, averaged out by the counter (thus, no additional TDD correction is added to the counters itself).

...mentre dall'altro **specifica in maniera esplicita come tale fattore vada moltiplicato a parte!**

The power reduction factor is derived from the statistical analysis (CDF) of the time-averaged transmitted power and therefore does not include deterministic factors such as the technology duty cycle factor. The actual maximum transmitted power is derived from the maximum transmitted power (generally corresponding to the rated maximum transmitted power if there is no feeder loss) using Equations $PTXMA = PTXM \times FTDC \times FPR$ (3):

In Table 18, for example, the actual maximum EIRP using the 95th percentile approach is calculated with Equation (3) as follows:

- actual maximum EIRP = 80 W x 0,75 x 10^{^2,4} x 0,26

Considerazioni su contatori e TDD

Osservazione sui contatori – CEI CT106

- Nel caso di sistemi TDD, se il Contatore della Potenza contiene:

- Potenza media solo in DL →



→ il fattore $F_{TDC} < 1$ non è incluso

tempo
→

- Potenza media con DL+UL



→ il fattore $F_{TDC} < 1$ è incluso

- Nel caso di sistemi FDD: $F_{TDC} = 1$

Considerazioni su contatori e TDD

Osservazione sui contatori – CEI CT106

- Nel caso di sistemi TDD, se il Contatore della Potenza contiene:

- Potenza media solo in DL →



→ il fattore $F_{TDC} < 1$ non è incluso

tempo



- Potenza media con DL+UL



→ il fattore $F_{TDC} < 1$ è incluso

- Nel caso di sistemi FDD: $F_{TDC} = 1$

Contatori utilizzati negli use cases dello IEC TR 62669

Table 16 – Measurement campaign parameters for RF exposure validation of several massive MIMO sites and site clusters

Type	Measurement campaign parameters	Example (s)	New
General	Investigation purpose	Validation of modelling studies	
Base station counters	Technology (ies) under investigation	Average DL RF transmitted power; Average number of paired layers; Average PRB usage index; Average number of active users	
	Technology use case	Mobile broadband	

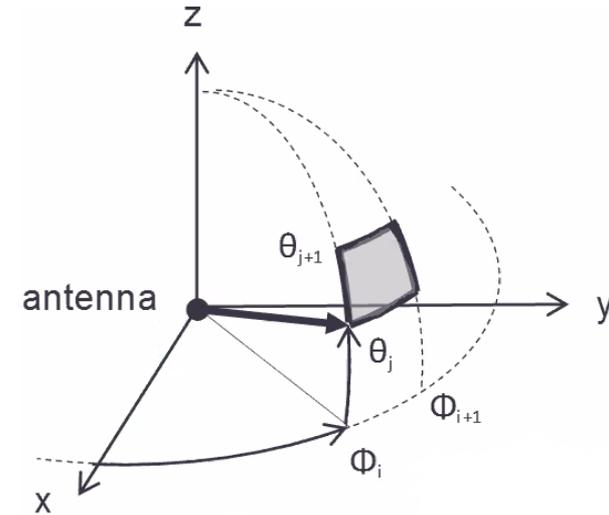
LINEE DI INDIRIZZO SNPA

- **Dati che devono fornire i gestori:**
 - **Potenza massima al connettore d'antenna**
 - **Diagramma involuppo**
- **Rispetto dei limiti mediati sui 6 min:**
 - **Obbligo di contatori!!!**
 - **TDD: $F_{PR} = 0,31$ (TDD già incluso!!!)**
 - **FDD: $F_{PR} = 0,4$ rural - $0,45$ con max 4 fasci**
 - **Actual Max Tx Pw $< (P_{max} * F_{PR})$**
- **Rispetto dei limiti mediati su 24 ore**
 - **Esclusivo utilizzo di α_{24}**
 - **Oppure $\alpha_{24} = F_{PR}$**

DIAGRAMMA INVILUPPO

$$G_{inv}(\theta, \varphi) = G_{MLB} \cdot \widehat{F}_G(\theta, \varphi)$$

$\forall (\theta, \varphi)$ presenta il massimo valore del guadagno tra tutti i possibili diagrammi di irradiazione sintetizzabili dall'antenna



- La F_G è approssimata con la funzione che $\forall (\theta, \varphi)$ rappresenta il suo valore massimo $F_G(\theta, \varphi) = F_G(\theta, \varphi, t) \Big|_{MAX}$
- G_{inv} non è un diagramma fisico
- G_{inv} viene fornito dai costruttori d'antenne (file .msi)
- **Diverse configurazioni -> Differenti G_{inv}**

DIAGRAMMA INVILUPPO

Più pattern per antenna mMIMO

Antenna Huawei AAU5613

Pattern	Horizontal HPBW	Vertical HPBW	Tilt	Azimuth
0	105°	6°	6°	0°
1	110°	6°	6°	0°
2	90°	6°	6°	0°
3	65°	6°	6°	0°
4	45°	6°	6°	0°
5	25°	6°	6°	0°
6	110°	12°	6°	0°
7	90°	12°	6°	0°
8	65°	12°	6°	0°
9	45°	12°	6°	0°
10	25°	12°	6°	0°
11	15°	12°	6°	0°
12	110°	25°	6°	0°
13	65°	25°	6°	0°
14	45°	25°	6°	0°
15	25°	25°	6°	0°
16	15°	25°	6°	0°

DIAGRAMMA INVILUPPO

Più pattern per antenna mMIMO

Antenna Huawei AAU5613

Pattern	Horizontal HPBW	Vertical HPBW	Tilt	Azimuth
0	105°	6°	6°	0°
1	110°	6°	6°	0°
2	90°	6°	6°	0°
3	65°	6°	6°	0°
4	45°	6°	6°	0°
5	25°	6°	6°	0°
6	110°	12°	6°	0°
7	90°	12°	6°	0°
8	65°	12°	6°	0°
9	45°	12°	6°	0°
10	25°	12°	6°	0°
11	15°	12°	6°	0°
12	110°	25°	6°	0°
13	65°	25°	6°	0°
14	45°	25°	6°	0°
15	25°	25°	6°	0°
16	15°	25°	6°	0°

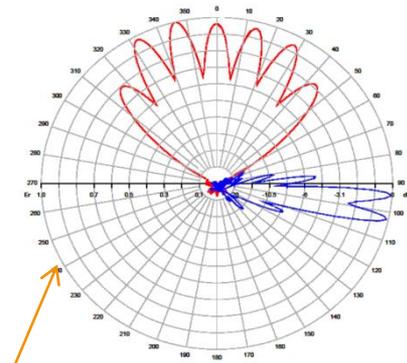


DIAGRAMMA INVILUPPO

Più pattern per antenna mMIMO

Antenna Huawei AAU5613

Pattern	Horizontal HPBW	Vertical HPBW	Tilt	Azimuth
0	105°	6°	6°	0°
1	110°	6°	6°	0°
2	90°	6°	6°	0°
3	65°	6°	6°	0°
4	45°	6°	6°	0°
5	25°	6°	6°	0°
6	110°	12°	6°	0°
7	90°	12°	6°	0°
8	65°	12°	6°	0°
9	45°	12°	6°	0°
10	25°	12°	6°	0°
11	15°	12°	6°	0°
12	110°	25°	6°	0°
13	65°	25°	6°	0°
14	45°	25°	6°	0°
15	25°	25°	6°	0°
16	15°	25°	6°	0°

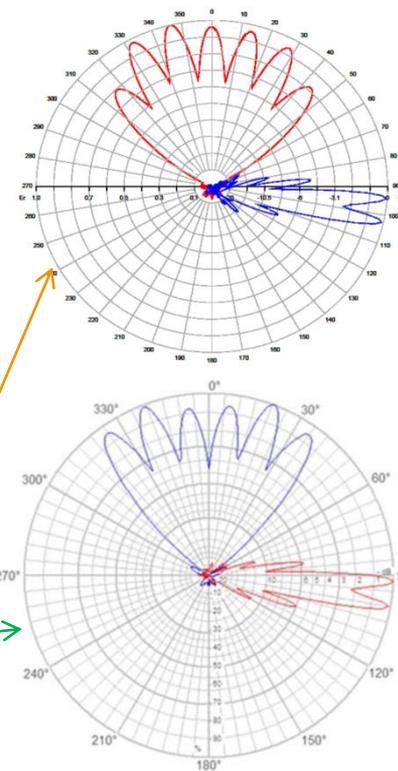
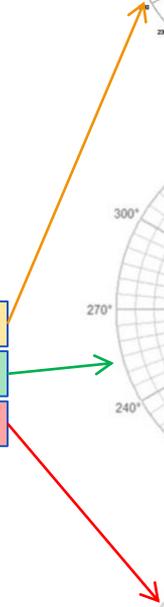
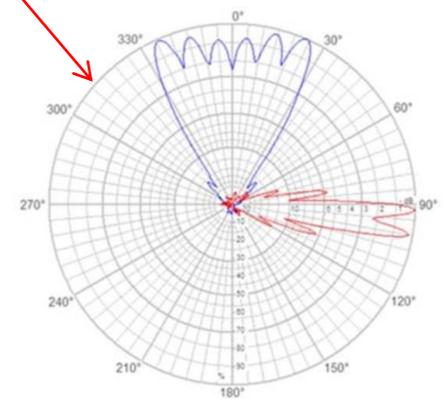
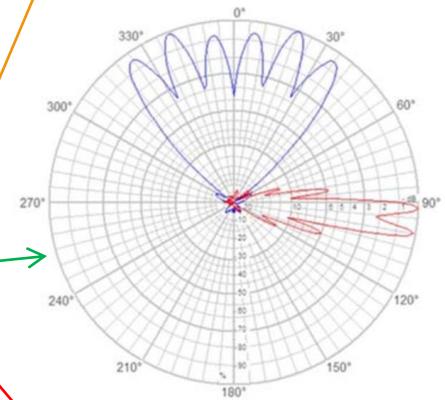
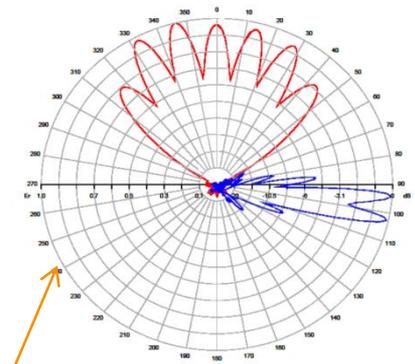


DIAGRAMMA INVILUPPO

Più pattern per antenna mMIMO

Antenna Huawei AAU5613

Pattern	Horizontal HPBW	Vertical HPBW	Tilt	Azimuth
0	105°	6°	6°	0°
1	110°	6°	6°	0°
2	90°	6°	6°	0°
3	65°	6°	6°	0°
4	45°	6°	6°	0°
5	25°	6°	6°	0°
6	110°	12°	6°	0°
7	90°	12°	6°	0°
8	65°	12°	6°	0°
9	45°	12°	6°	0°
10	25°	12°	6°	0°
11	15°	12°	6°	0°
12	110°	25°	6°	0°
13	65°	25°	6°	0°
14	45°	25°	6°	0°
15	25°	25°	6°	0°
16	15°	25°	6°	0°



ESEMPI DI SIMULAZIONI 5G

- IMPIANTO TRISETTORIALE (0°, 120°, 240°)
- CENTRO ELETTRICO = 25 m
- FREQUENZA = 3700 MHz
- POTENZA AL CONNETTORE = 100 W
- 4 IPOTESI DI ESERCIZIO:
 - FDD Senza fattori di attenuazione
 - TDD $F_{TDC} = 0.75$
 - FPR $F_{PR} = 0.31$ (F_{TDC} incluso)
 - TDD_031 $F_{TDC} = 0.75$ e $F_{PR} = 0.31$
- 3 TIPI DI ANTENNE mMIMO
 - ERICSSON AIR6488_B43FB ($G_{MAX} = 24.1$ dBi)
 - HUAWEI AAU5613 ($G_{MAX} = 24.9$ dBi)
 - NOKIA AEQD ($G_{MAX} = 22.5$ dBi)
- IPOTESI DI UNICO VALORE DI GUADAGNO = 24.1 dBi
- SOFTWARE DI SIMULAZIONE ARPA LAZIO: 3DSIMULATION

ANTENNE mMIMO DISPONIBILI

Ericsson AIR6488



Huawei AAU5613



Nokia AEQD



— Technical Specification

— Antenna Elements	128
— Antenna Branches	64T64R
— Antenna Matrix (row x col)	4 x 8, (2x1 subarray)
— Band	3600–3800Mhz
— IBW	100 MHz
— Output Power	200 W
— Power Consumption	<1000 W
— Weight	~45 kg
— Dimensions	800*400*150 mm
— Type of cooling	Passive
— CEPT compliance	

Multi-layer MU MIMO:
Up to 16 layers

Item	Specifications
Frequency Range	3600 MHz to 3800 MHz
Carrier Bandwidth	40 MHz, 60 MHz, 80 MHz, and 100 MHz
IBW	200 MHz
OBW	200 MHz
Dimensions (H x W x D)	795 mm x 395 mm x 220 mm
Weight	~ 45 kg (not including mounting kits)
Typical Power Consumption	950 W
Maximum Total Transmit Power	200 W
Polarization Mode	+/-45°
Gain (dBi)	25
Horizontal Beam Sweeping Range (°)	-60 to 60
Vertical Beam Sweeping Range (°)	-15 to 15
Port Impedance (Ω)	50
Surge Protection	DC grounding

Specification	3GPP compliant, TDD
Frequency range	3600 - 3800 MHz
Max. supported modulation	256 QAM
Number of TX/RX paths	64T / 64R
MIMO streams	16
Instantaneous bandwidth IBW	100 MHz
Occupied bandwidth OBW	100 MHz
Total average EIRP	76 dBm
Max. output power per TRX	3.125 W / TRX (200 W total)
Antenna configuration	8, 8, 2 (±45° X-polarized)
Max. Antenna gain	24 dBi
Horizontal beamwidth	12.5° (boresight)
Vertical beamwidth	9° (boresight)
Horizontal coverage angle	±45° (3 dB), ±60° (6 dB)
Vertical steering angle	±11.25°
Dimensions	900 mm (H) x 480 mm (W) x 188 mm (D)
Volume	81 l
Weight	47 kg (without mounting brackets)
Supply voltage / Connector type	DC -40.5 V ... -57 V / 2 pole connector
Power consumption	≤1300 W typical (75% DL duty cycle, 30% RF load) ≤1600 W max (75% DL duty cycle, 100% RF load)

MARCA MODELLO	Ericsson AIR6488_B43FB	Huawei AAU5613	Nokia AEQD
G [dBi]	24.1	24.9	22.5

3D Simulation

- Interamente realizzato in **linguaggio C++**
- Basato sul pacchetto software **ROOT**, un *object-oriented framework* per l'analisi dati sviluppato al CERN
- Conforme alla **Norma CEI 211-10** →
$$E = \sqrt{\frac{377 \cdot P_{max} \cdot G \cdot A_v \cdot A_h}{4 \cdot \pi \cdot r^2}}$$
- Interfaccia con software **geo-cartografici** (Google Earth, GIS) per la visualizzazione dei risultati
- Interfaccia con il **database CEM** di ARPA Lazio
- Progetto a **costo zero** e **codice aperto** a modifiche e nuove funzionalità
- Possibilità di inserire i fattori **alfa24** per il rispetto dei valori di attenzione
- Possibilità di introdurre i fattori statistici e deterministici dello **IEC TR 62669**
- Possibilità di rappresentare **linea di conformità del limite di esposizione** in contesto **multi-frequenza**.

versione
beta

3D Simulation

3DSimulation - (C) 2012-2017, Copyright by Daniele Franci - Tutti i diritti sono riservati

Carica trasmettitori

Azimuth vista verticale [0;359]

Alpha24 No Alpha24

FTDC FPR

Avvia simulazione SRB

Coordinate dei punti di misura (rho; phi; h; E)

Campo E:

Impronta - α_{24h}

— 20 V/m — 6 V/m — 4 V/m — 3 V/m

y (Nord) [metri]

x [metri]

Angolo $\phi = 0 - \alpha_{24h}$

— 20 V/m — 6 V/m — 4 V/m — 3 V/m

z [metri]

r [metri]

< >

3D Simulation

3DSimulation - (C) 2012-2017, Copyright by Daniele Franci - Tutti i diritti sono riservati

Carica trasmettitori Coordinate dei punti di misura (rho; phi; h; E)

Azimuth vista verticale [0;359]

Alpha24
 FTDC

Awia simulazione SRB

Carica trasmettitori

Azimuth vista verticale [0;359]

Alpha24
 No Alpha24
 FPR

Awia simulazione SRB

Esportazione...

versione beta

Impronta -

4 V/m 3 V/m

y (Nord) [metri]

x [metri]

r [metri]

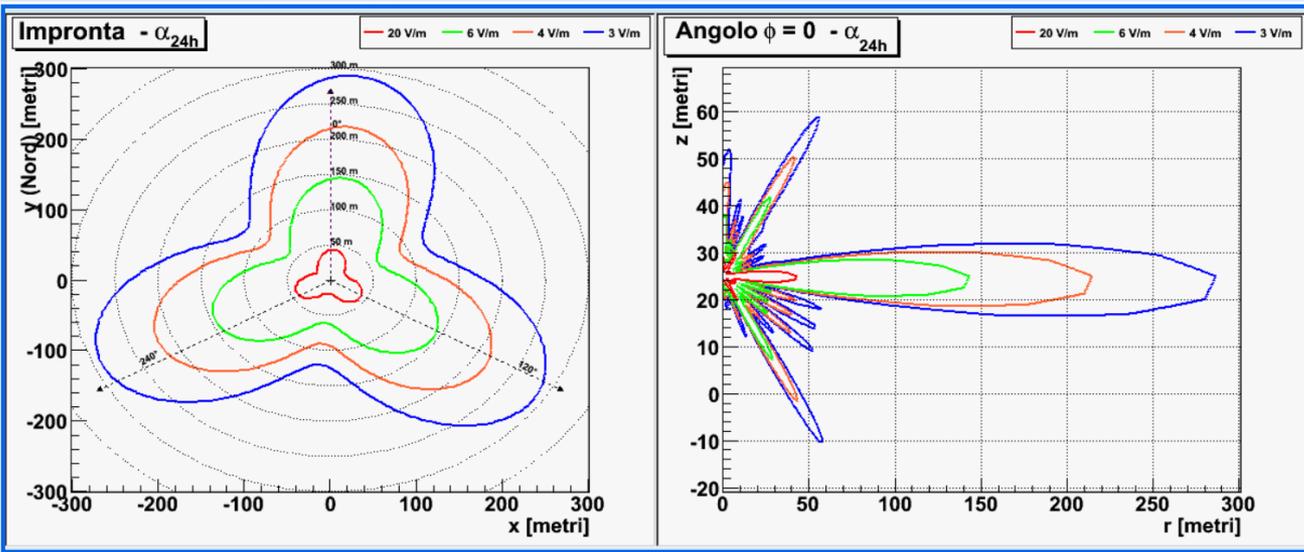
< >

Profilo edifici

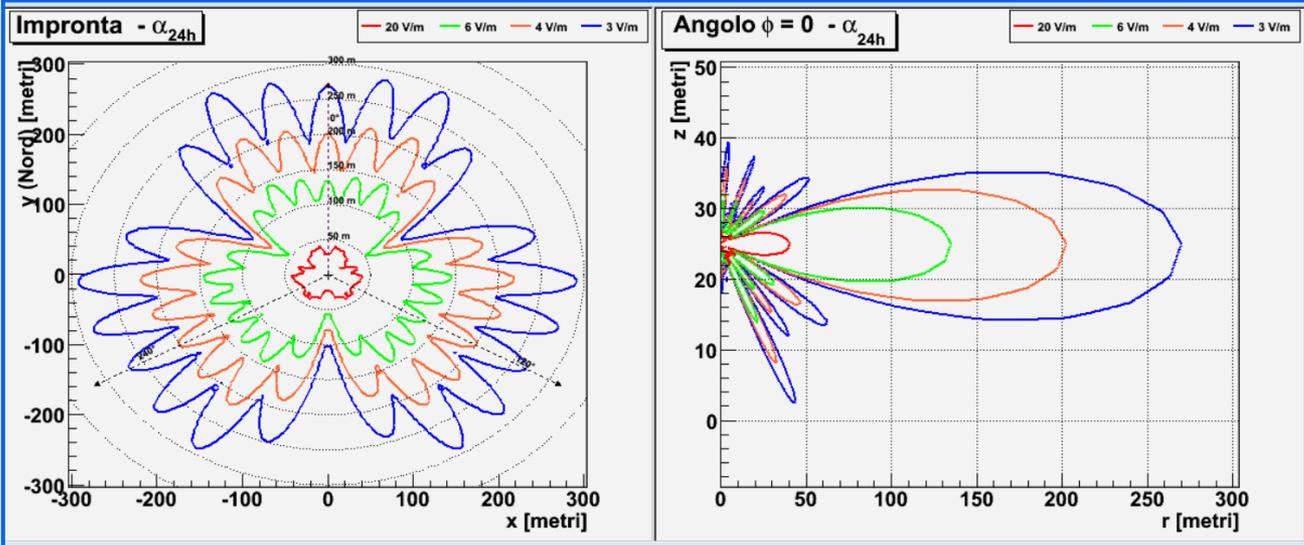
Calcola lunghezza

Crea il 3D

SIMULAZIONE 4G vs 5G

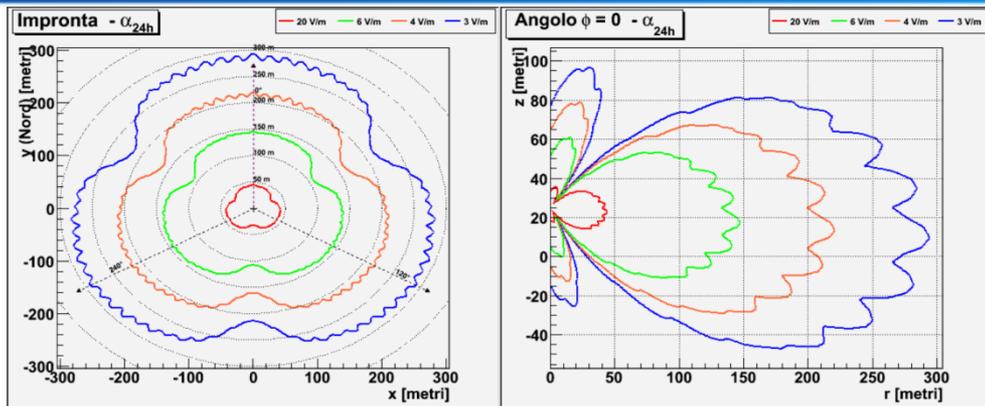


**Antenna 4G
HUAWEI
ADU4518R**

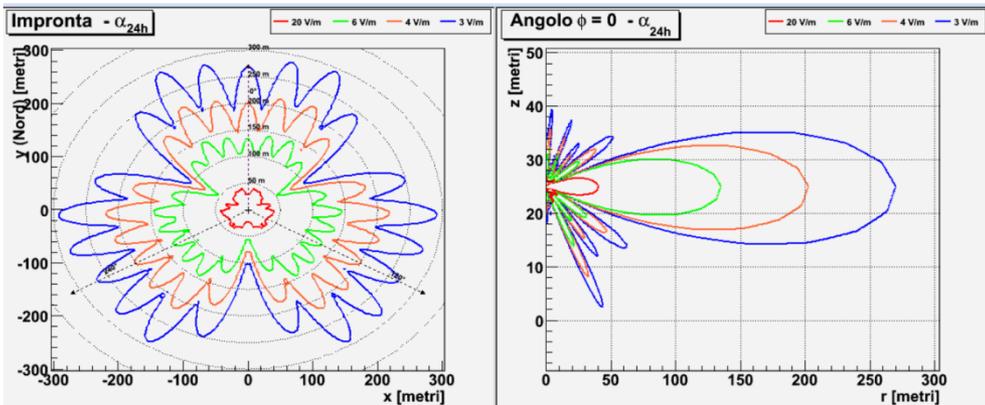


**Antenna 5G
HUAWEI
AAU5613**

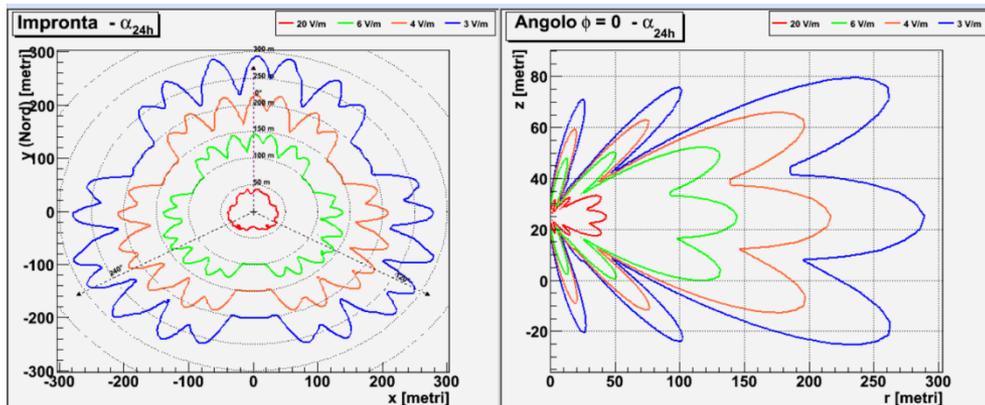
SIMULAZIONE 5G - FDD



**Antenna 5G
ERICSSON
AIR6488**



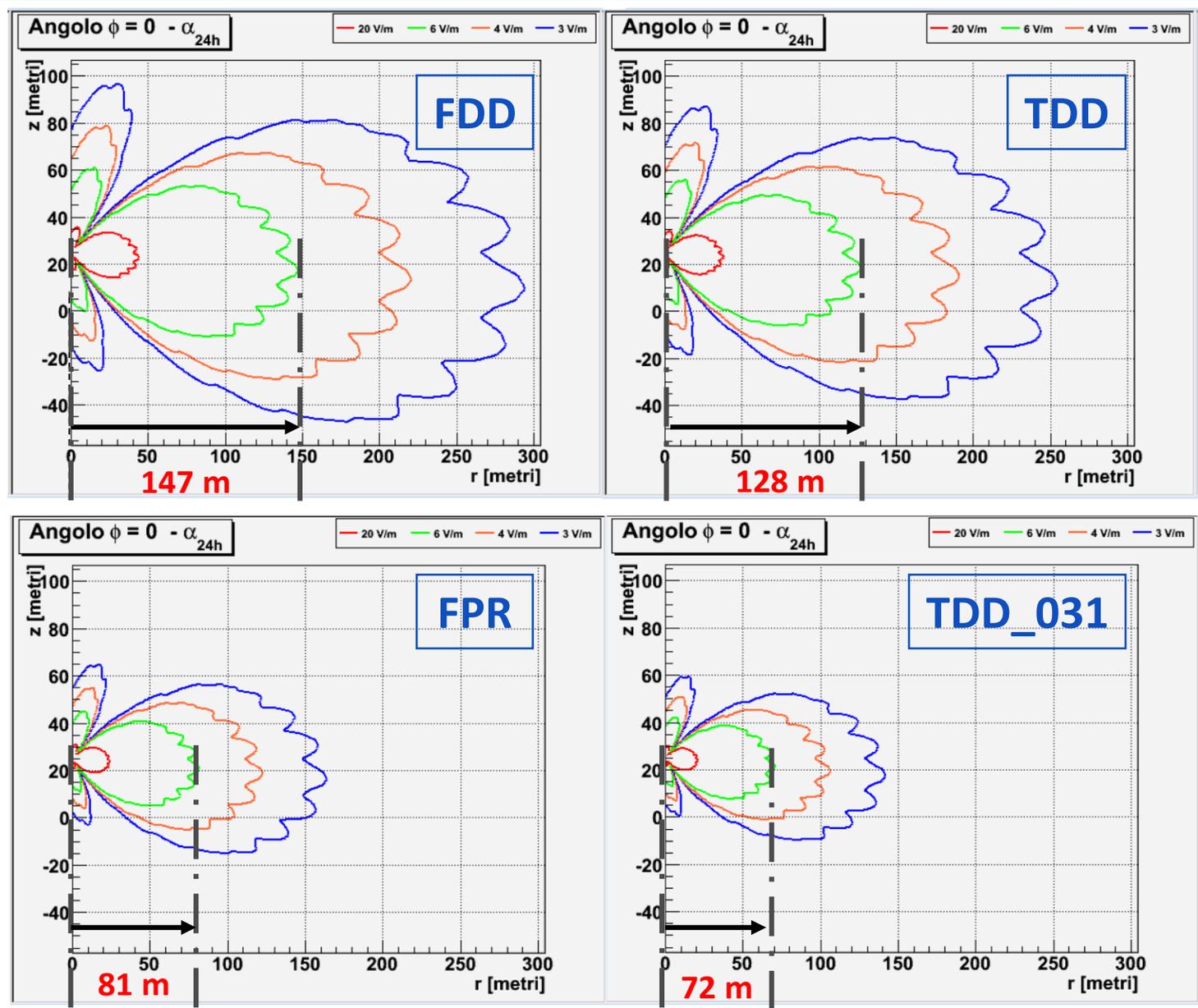
**Antenna 5G
HUAWEI
AAU5613**



**Antenna 5G
NOKIA
AEQD**

Lobo a 6 V/m e fattori di attenuazione

Antenna 5G
ERICSSON
AIR6488



SIMULAZIONE 5G

Estensione dei lobi nella direzione di puntamento	40 V/m	20 V/m	6 V/m	3 V/m
Ericsson_FDD	22	45	147	295
Ericsson_TDD	19	39	128	255
Ericsson_FPR	12	24	81	163
Ericsson_TDD_031	11	22	72	143
Huawei_FDD	20	41	136	277
Huawei_TDD	18	36	118	234
Huawei_FPR	11	23	75	150
Huawei_TDD_031	10	20	65	131
Nokia_FDD	22	44	144	289
Nokia_TDD	19	38	126	250
Nokia_FPR	12	24	80	161
Nokia_TDD_031	10	22	70	140

ESTENSIONE DEI LOBI - Gmax

Ipotesi	40 V/m	20 V/m	6 V/m	rid %
FDD	21.95	43.91	146.36	---
FTDC = 0.75	19.01	38.02	126.75	13%
FTDC*FPR = 0.31	12.22	24.45	81.49	44%
FTDC=0.75; FPR= 0.31	10.59	21.17	70.57	52%
FTDC*FPR = 0.26	11.19	22.39	74.63	49%
FTDC=0.75; FPR= 0.26	9.69	19.39	64.63	56%

SIMULAZIONE 5G (+ 4G + 3G + 2G)

ISOVOLUME A 6 V/m IMPIANTO REALE MULTISORGENTE



Limite di esposizione e sorgenti multiple

L'emissione è al di sotto del limite più conservativo (20 V/m)?

SI

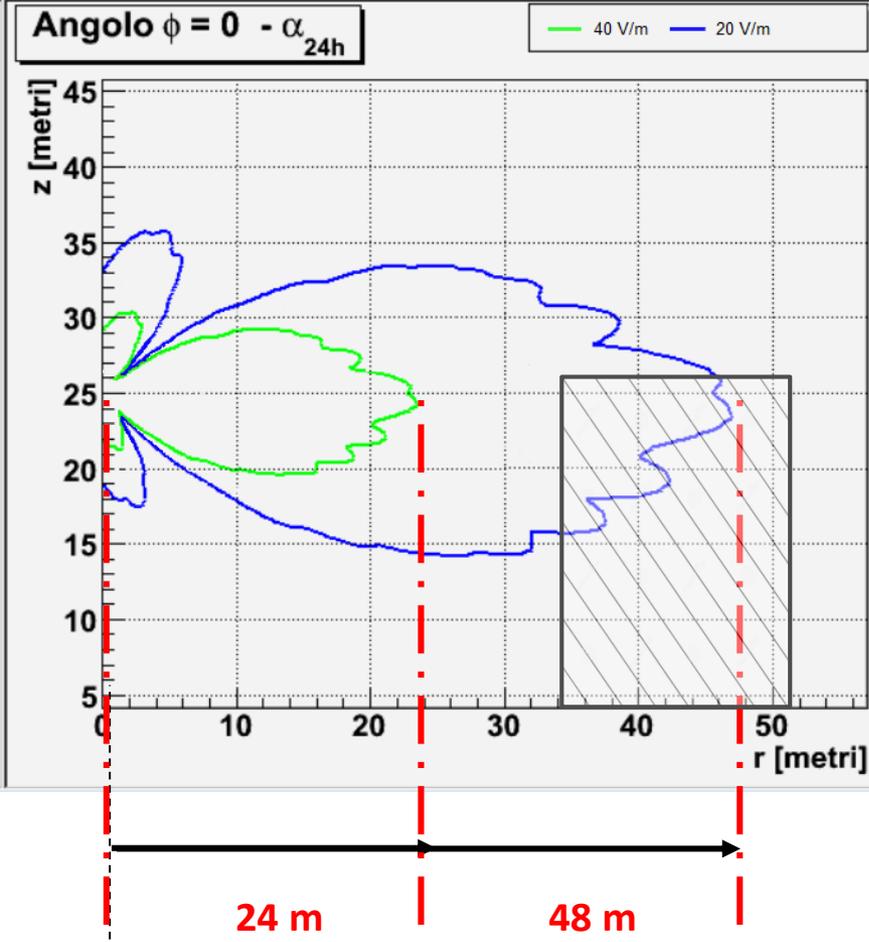
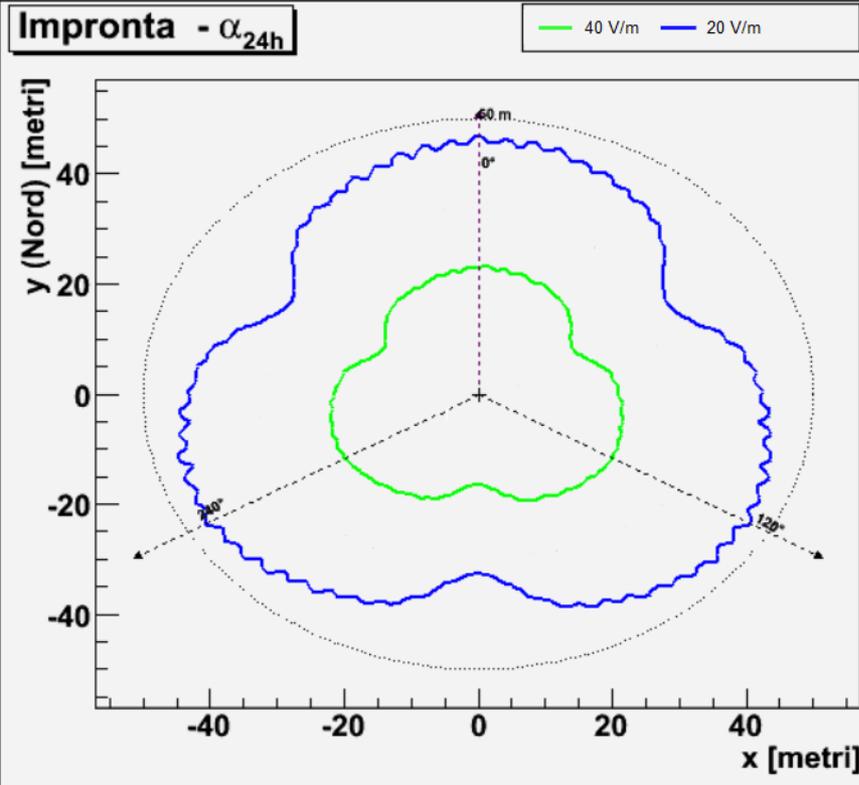
Limite rispettato

NO

$$I = \sum_i \left(\frac{E_i}{L_i} \right)^2 \leq 1$$

- IMPIANTO TRISETTORIALE (0°, 120°, 240°)
- CENTRO ELETTRICO = 25 m
- POTENZA PER TRASMETTITORE = 100 W
- TECNOLOGIE: LTE 2600 – 5G 3700
- ANTENNA CONVENZIONALE 4G: HUAWEI ADU4518R5
- ANTENNA mMIMO 5G: ERICSSON AIR6488
- SOFTWARE DI SIMULAZIONE: 3DSIMULATION
- NESSUN FATTORE DI ATTENUAZIONE

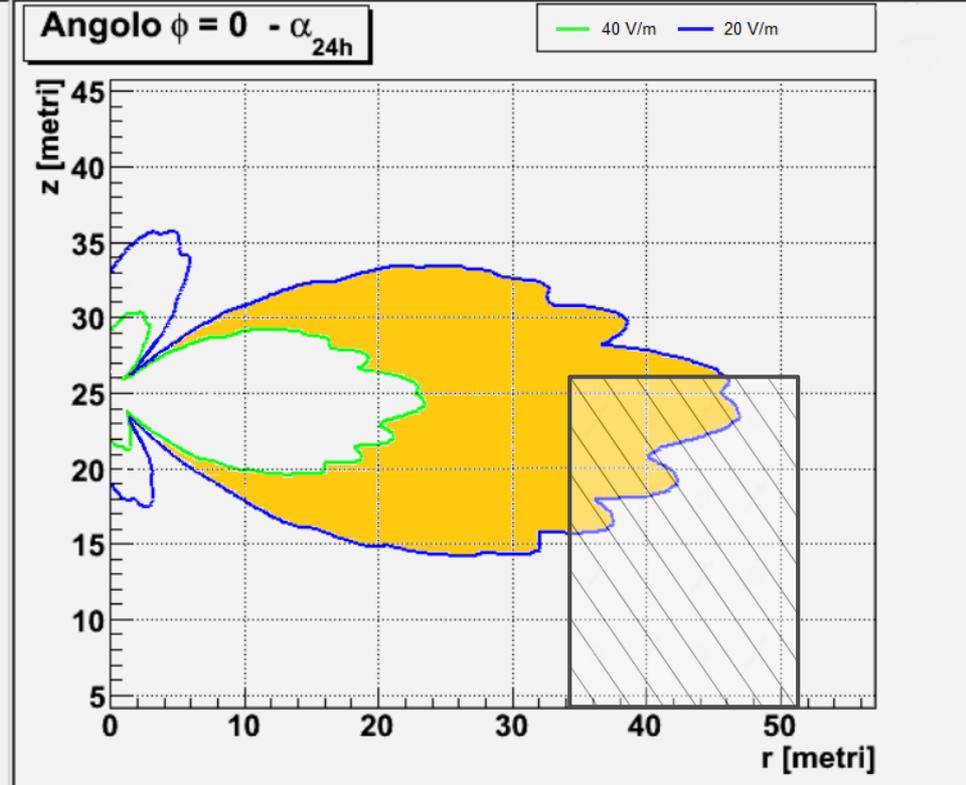
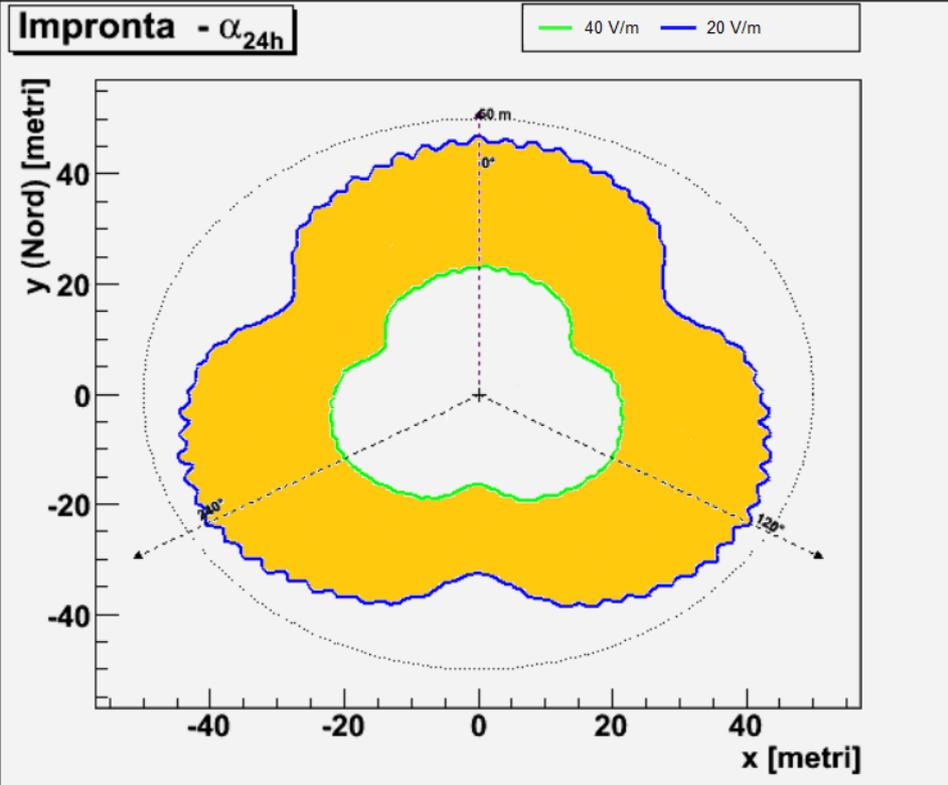
Limite di esposizione e sorgenti multiple



— 40 V/m

— 20 V/m

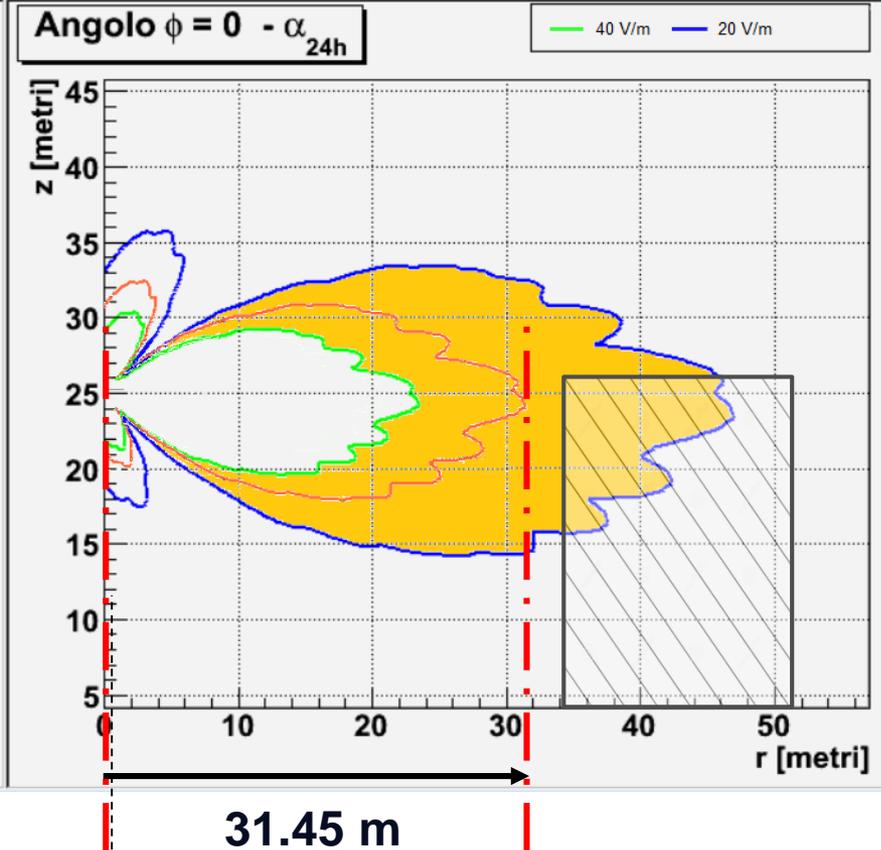
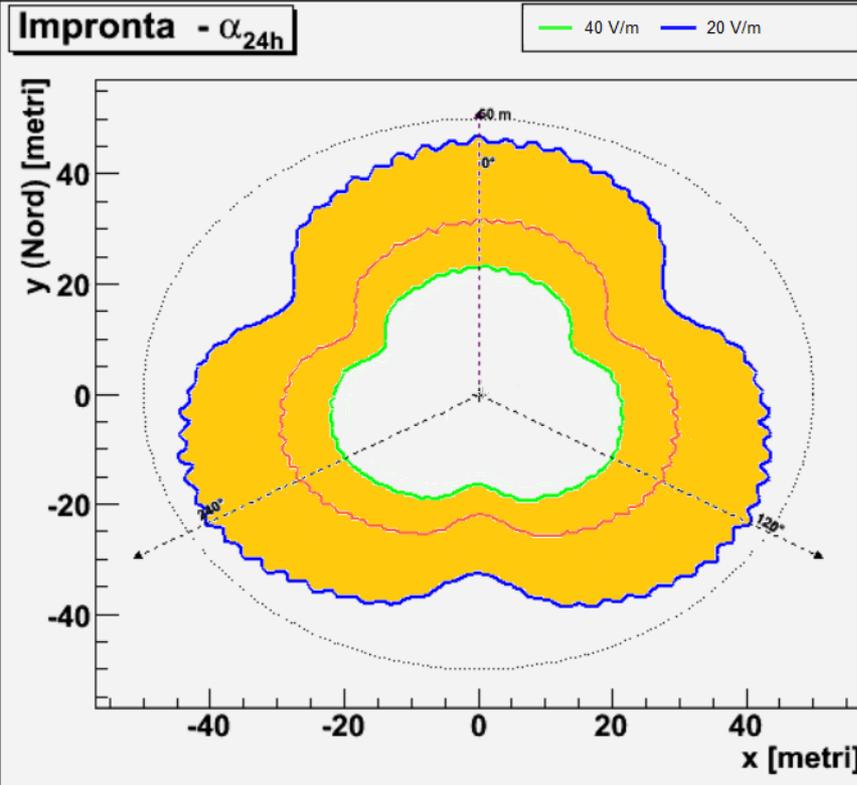
Limite di esposizione e sorgenti multiple



$$\left(\frac{E_{4G}}{L_1} \right)^2 + \left(\frac{E_{5G}}{L_2} \right)^2 \leq 1$$

$$E_{4G} = \sqrt{\frac{377 \cdot P_{4G} G_1 A_{H1} A_{V1}}{4\pi \cdot r^2}}$$
$$E_{5G} = \sqrt{\frac{377 \cdot P_{5G} G_2 A_{H2} A_{V2}}{4\pi \cdot r^2}}$$

Limite di esposizione e sorgenti multiple



$$d \geq \sqrt{\frac{377}{4\pi} \left(\frac{P_{4G} \cdot G_1 \cdot A_{V1} \cdot A_{H1}}{L_1^2} + \frac{P_{5G} \cdot G_2 \cdot A_{V2} \cdot A_{H2}}{L_2^2} \right)}$$

Utilizzo di F_{PR} e rispetto del limite di esposizione

- E' corretto utilizzare un fattore statistico di riduzione del campo elettrico quando si vuole valutare il rispetto di un limite che non deve essere superato in alcuna possibile condizione di esposizione?

Utilizzo di F_{PR} e rispetto del limite di esposizione

- E' corretto utilizzare un fattore statistico di riduzione del campo elettrico quando si vuole valutare il rispetto di un limite che non deve essere superato in alcuna possibile condizione di esposizione?
- Gli studi teorici sul FPR del TR 62669 scartano a priori l'ipotesi che ci sia unico utente (immobile) connesso alla rete, che occupa l'intera banda.

Time-averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations using Massive MIMO

Björn Thors, Anders Furuskär, Davide Colombi and Christer Törnevik

IV. DISCUSSION

As mentioned in Section I, an RF EMF exposure assessment of a 5G RBS based on the traditional approach where the theoretical maximum transmit power is allocated to one single user for a time-period of several minutes is very unrealistic. By assuming a total 5G system data rate of 1 Gb/s

Utilizzo di F_{PR} e rispetto del limite di esposizione

- E' corretto utilizzare un fattore statistico di riduzione del campo elettrico quando si vuole valutare il rispetto di un limite che non deve essere superato in alcuna possibile condizione di esposizione?
- Gli studi teorici sul FPR del TR 62669 scartano a priori l'ipotesi che ci sia unico utente (immobile) connesso alla rete, che occupa l'intera banda.

Time-averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations using Massive MIMO

Björn Thors, Anders Furuskär, Davide Colombi and Christer Törnevik

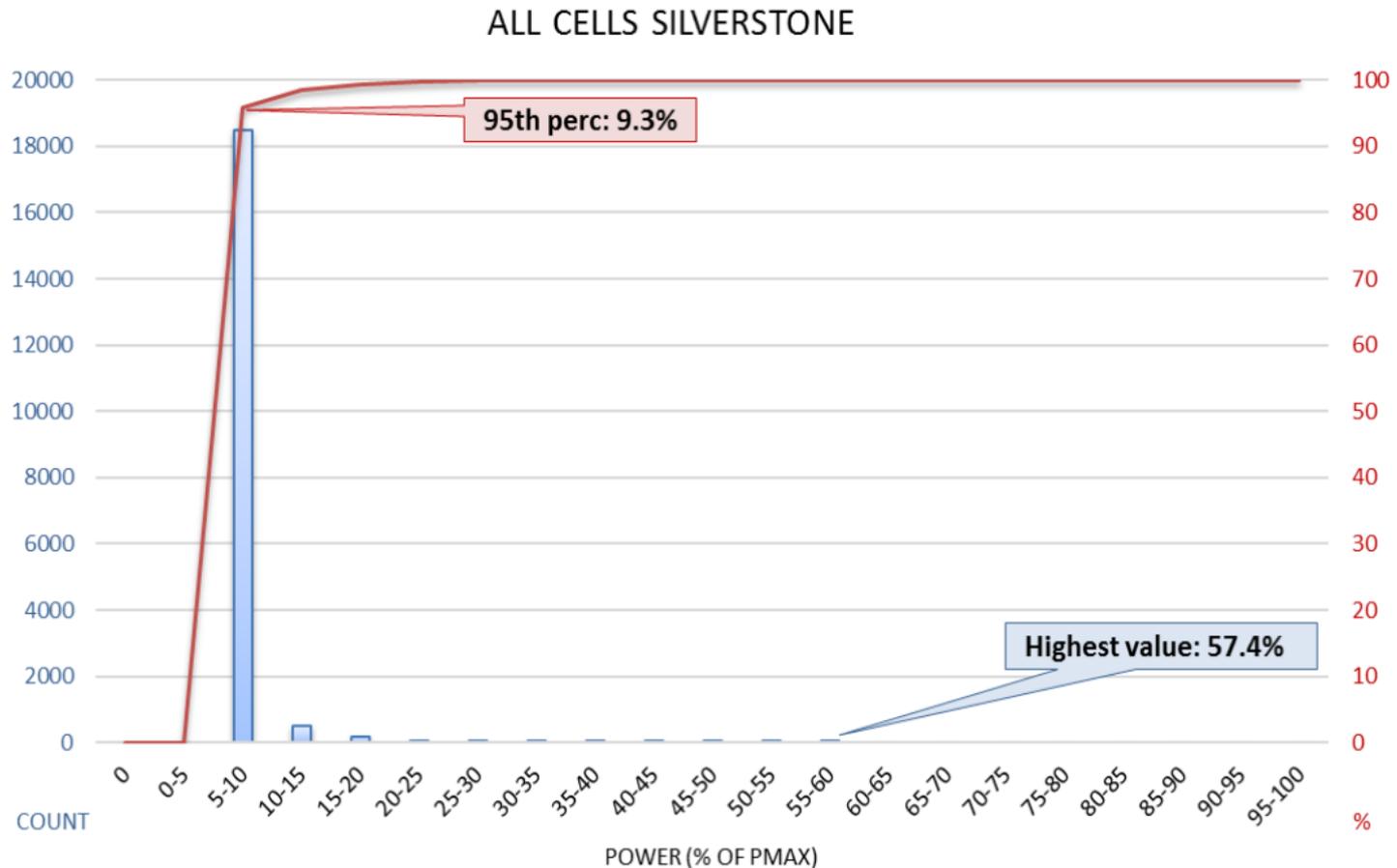
IV. DISCUSSION

As mentioned in Section I, an RF EMF exposure assessment of a 5G RBS based on the traditional approach where the theoretical maximum transmit power is allocated to one single user for a time-period of several minutes is very unrealistic. By assuming a total 5G system data rate of 1 Gb/s

- Per quanto estremamente improbabile, una configurazione con un unico utente (immobile) connesso alla rete, che occupa l'intera banda è teoricamente possibile
- Per definizione il rispetto del limite di esposizione deve essere assicurato per ogni condizione possibile della rete

Utilizzo di F_{PR} e rispetto del limite di esposizione

- 7 celle (3 SRB) monitorate per 30 giorni
- Potenza complessiva di tutti i beams registrata ogni 15 minuti
- Actual transmitted power come % Pmax



Grazie per
l'attenzione



Ing. Enrico Grillo

ARPA Lazio

Sezione Provinciale di Roma

DPA - Unità Controlli

Tel: 06/72961508

e-mail: enrico.grillo@arpalazio.gov.it

