

# Esposizione ai campi elettromagnetici e comportamenti corretti

5G e l'elettrosmog nell'ambiente

Gino Sorbello

Dip. di Ingegneria Elettrica, Elettronica e Informatica – Università di Catania  
gino.sorbello@unict.it

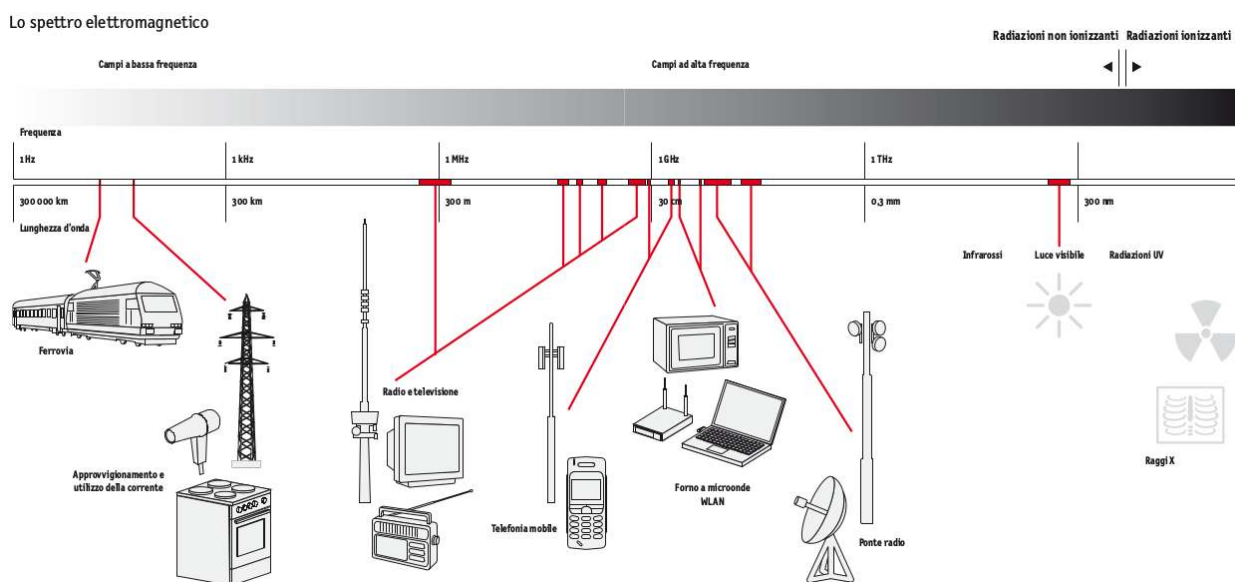
11 dicembre 2020

## Outline

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

## Lo spettro elettromagnetico



[www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/elettrosmog/publicazioni-studi/publicazioni/l-elettrosmog-nell-ambiente.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/elettrosmog/publicazioni-studi/publicazioni/l-elettrosmog-nell-ambiente.html) UFAFP ]

- Radiazioni non ionizzanti
  - termici
  - non termici
- Radiazioni ionizzanti
  - energia sufficiente a rompere i legami molecolari

[1] "L'elettrosmog nell'ambiente," 2005,

[www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/elettrosmog/publicazioni-studi/publicazioni/l-elettrosmog-nell-ambiente.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/elettrosmog/publicazioni-studi/publicazioni/l-elettrosmog-nell-ambiente.html) UFAFP

banda	frequenza	velocità
bassa	694 - 790 MHz	30 - 250 Mbit/s
media	2,5 - 3,7 GHz 3,3 - 4,2 GHz	100-900 Mbit/s
alta	25 - 39 GHz	Gbit/s

Dal punto di vista della propagazione e delle tecnologie possiamo distinguere in due bande di frequenza (frequency ranges):

- FR1 sotto ai 6 GHz
- e FR2 sopra i 24 GHz, nota anche come mmWave (12,5 mm)

## Outline

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

Le applicazioni supportate dal 5G:

- file sharing,
- online gaming,
- cloud computing,
- realtà virtuale ...

→ richiedono alti *bit rate* (bit/s)

La rete deve supportare:

- Molti utenti connessi contemporaneamente
- Nello stesso luogo
- → Throughput (bit/s/km<sup>2</sup>)
- Throughput → €

## Miglioriamo la rete cellulare

Cosa serve per aumentare il throughput?

Dal punto di vista della rete cellulare è richiesto un alto *throughput* (bit/s/km<sup>2</sup>):

$$\underbrace{\text{throughput}}_{\text{bit s}^{-1}\text{km}^{-2}} = \underbrace{\text{densità delle celle}}_{\text{celle km}^{-2}} \cdot \underbrace{\text{banda}}_{\text{Hz}} \cdot \underbrace{\text{efficienza spettrale}}_{\text{bit s}^{-1}\text{Hz}^{-1}\text{celle}^{-1}} \quad (1)$$

Possiamo pensare la rete 5G su due livelli:

- 1 mm-wave
  - alta densità di celle, celle con copertura limitata
  - ampie bande disponibili
  - efficienza spettrale meno importante
- 2 < 6 GHz (3.4-3.8 GHz primary band for 5G in Europe)
  - copertura outdoor
  - banda limitata
  - è richiesta un'alta efficienza spettrale

# mm-wave band

Frequenze più alte e celle più piccole

- Dimensioni più piccole delle celle → antenne più vicine → potenze di emissione più basse in prossimità delle antenne TX rispetto a quanto avviene attualmente

$$S_{\text{inc}} = \frac{|\check{\mathbf{E}}_{\text{inc}}|^2}{2\eta} = \frac{P_{\text{TX}}}{4\pi r^2} G_{\text{TX}} \quad (2)$$

$$P_{\text{RX}} = \underbrace{\frac{\lambda^2}{4\pi}}_{\text{area efficace}} G_{\text{RX}} \frac{|\check{\mathbf{E}}_{\text{inc}}|^2}{2\eta} \quad (3)$$

$$\frac{P_{\text{RX}}}{P_{\text{TX}}} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_{\text{TX}} G_{\text{RX}} \quad (4)$$

- Le “onde millimetriche” vengono assorbite o riflesse sulla superficie della pelle e quindi non possono penetrare all’interno del corpo

## < 6 GHz band

Celle grandi e banda limitata

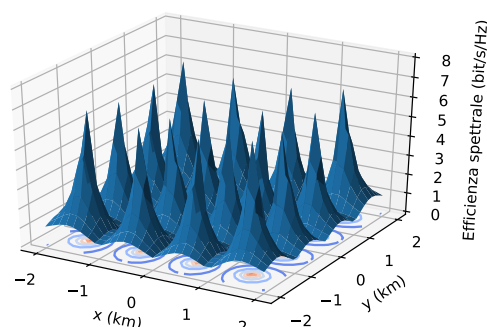
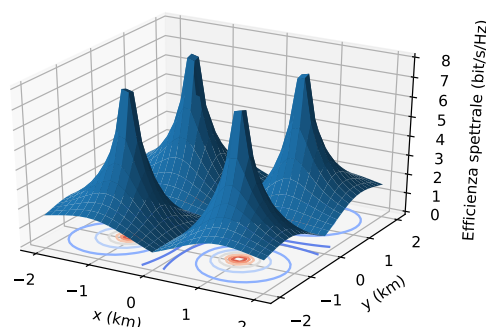
È importante l’efficienza spettrale

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (\text{Shannon}) \quad (5)$$

$$\rightarrow \frac{C}{B} = \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{bit s}^{-1}\text{Hz}^{-1} \quad (6)$$

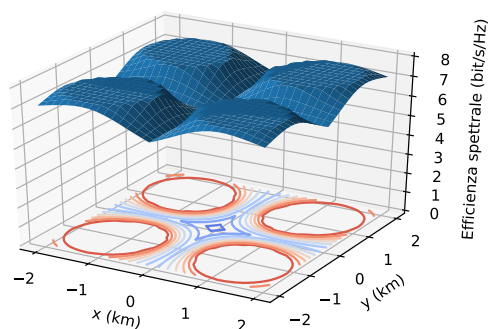
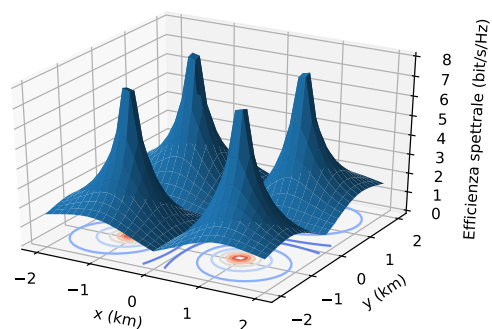
Aumentare il numero delle celle non migliora l’efficienza spettrale.

*L’interferenza limita l’efficienza spettrale*



# Deriserata

Copertura uniforme



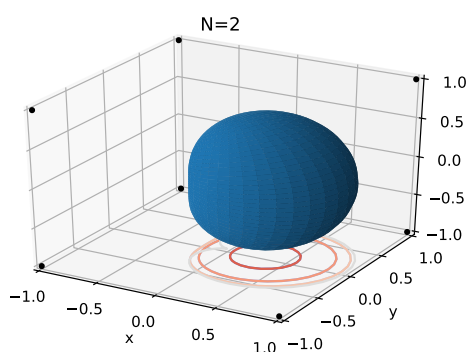
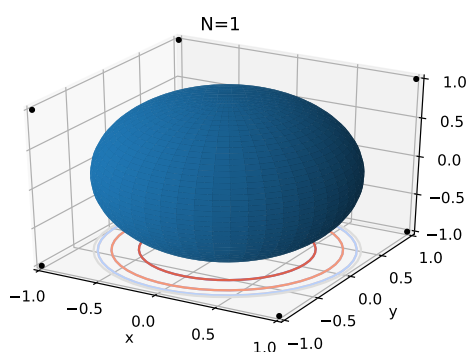
$\frac{S}{N}$  maggiore ai confini della cella.

$S >$

$N <$

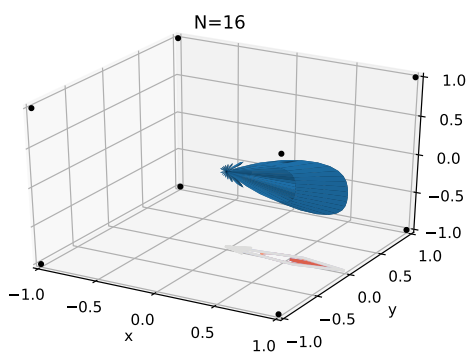
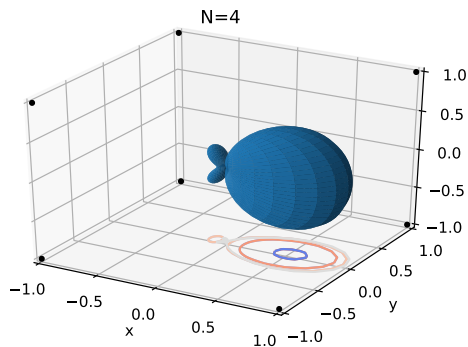
## La soluzione è il beamforming

Più antenne



# La soluzione è il beamforming

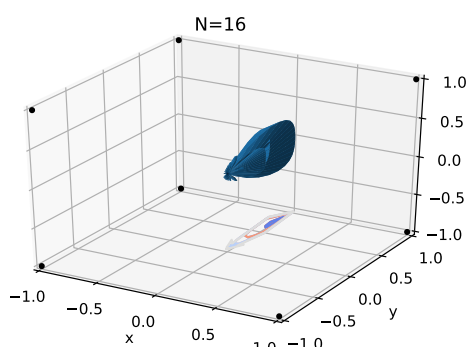
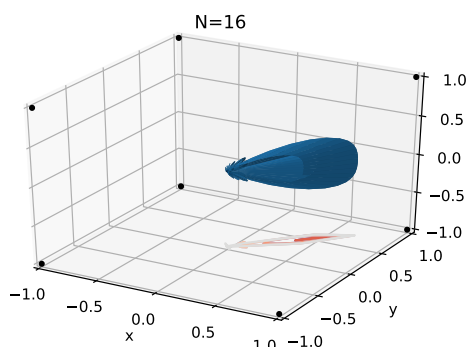
Più antenne



- Stessa potenza ma focalizzata sull'utente
- Fascio sottile (come un fascio laser)
- Guadagno dell'array:  
 $G_{dB} = 10 \log_{10}(N)$  dB
- Meno potenza dispersa in direzioni indesiderate.

# La soluzione è il beamforming

Più antenne

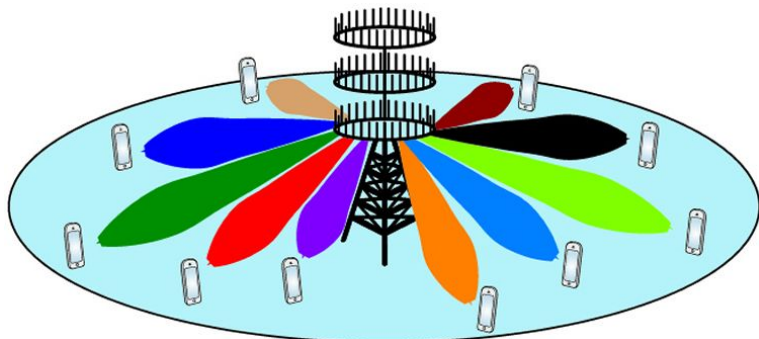


- Stessa potenza ma focalizzata sull'utente
- Fascio sottile (come un fascio laser)
- Guadagno dell'array:  
 $G_{dB} = 10 \log_{10}(N)$  dB
- Meno potenza dispersa in direzioni indesiderate.

# MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Separare gli utenti!

- Molte antenne TX.
- $M = 200$  antenne
- $U = 40$  antenne singole (degli utenti)
- Molte più antenne che utenti  $M \gg U$
- Alta efficienza spettrale:
  - molti utenti simultanei
  - segnale direttivo
  - bassa interferenza



## Principio base dei sistemi MIMO

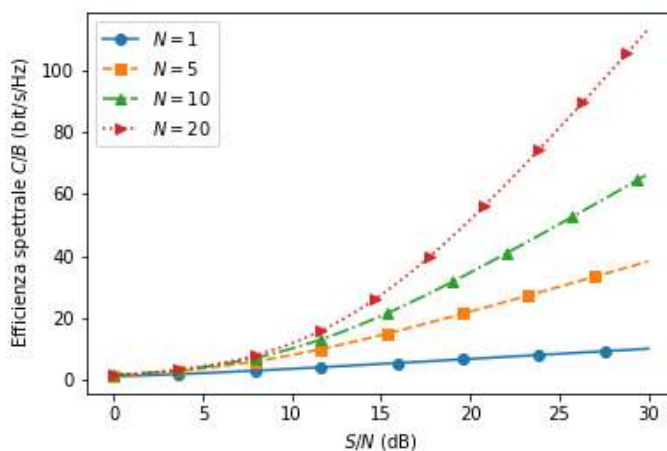
Un flusso parallelo di dati è meglio di uno seriale

Teorema di Shannon

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad (7)$$

Approccio intuitivo al MIMO

$$C = N_{TX} B \log_2 \left( 1 + \frac{S/N}{N_{TX}} \right) \quad (8)$$

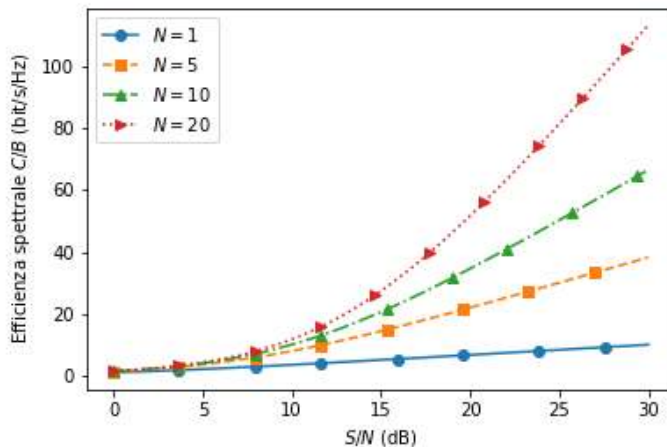
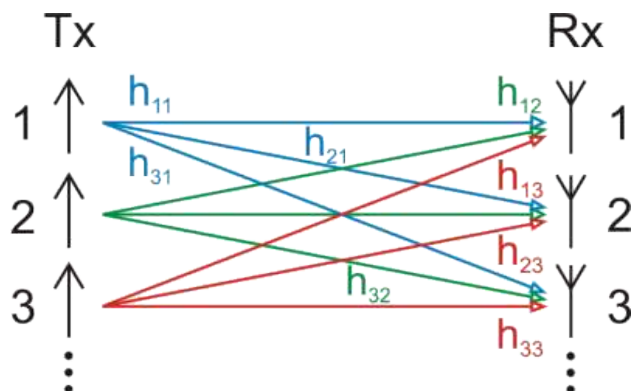


Lo spettro è riutilizzato nello "spazio" (*in the spatial domain*).



# Principio base dei sistemi MIMO

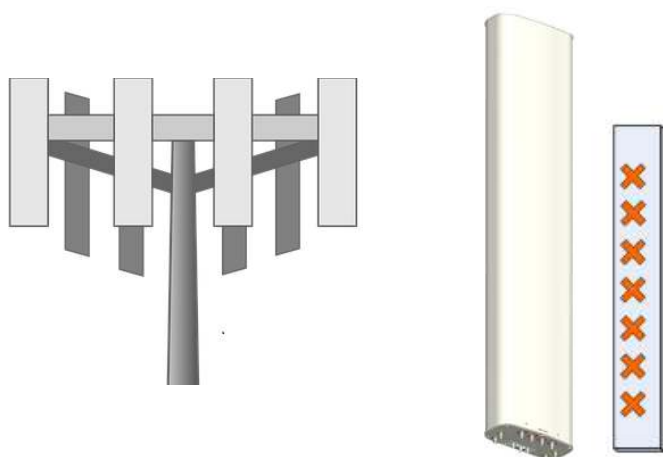
Un flusso parallelo di dati è meglio di uno seriale



Lo spettro è riutilizzato nello "spazio" (*in the spatial domain*).

## Istallazione

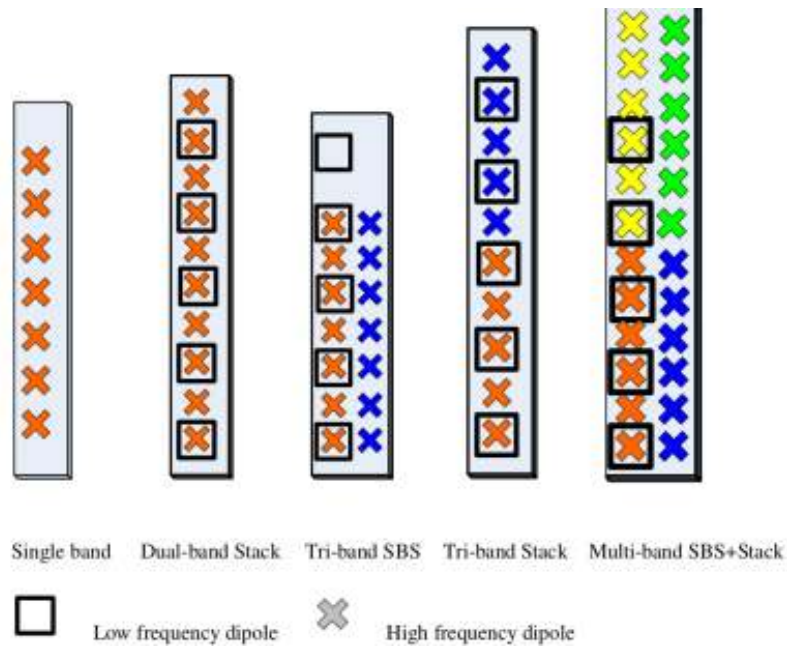
sotto i 6 GHz



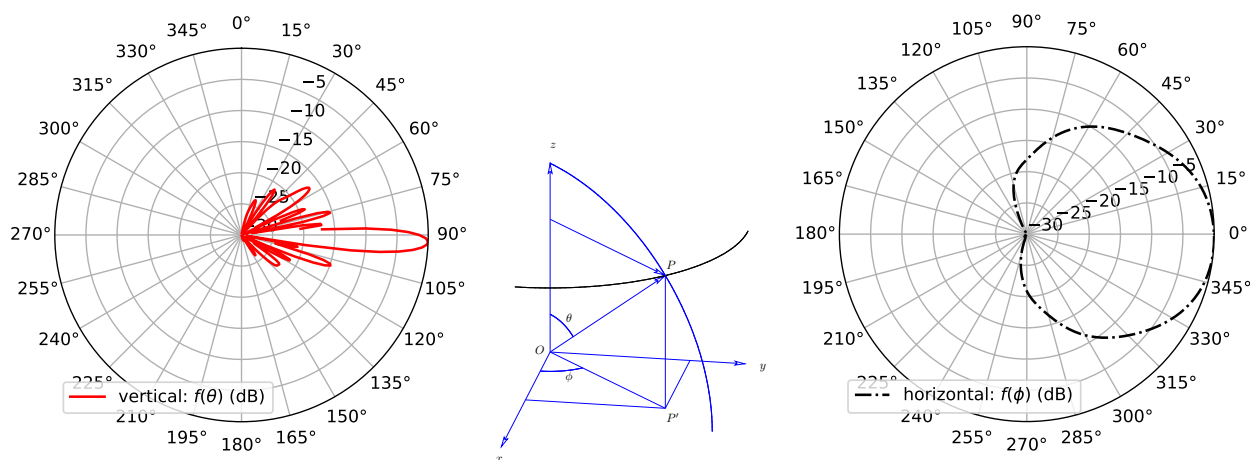
- $8 \cdot 8 = 64$
- $64 \cdot 3 = 192$

upgrade delle stazioni radio base attuali  
non servono i settori

L'antenna AQU4518R24V06 ha una struttura interna:

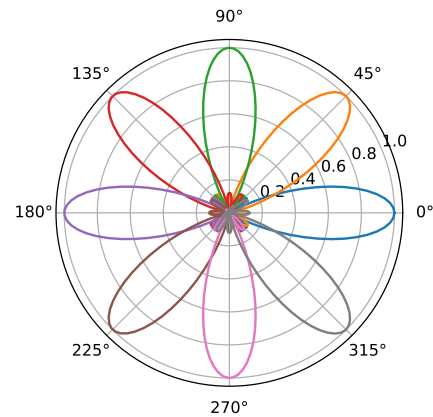


In realtà le cose non sono così semplici...



### Channel state information.

- Approccio convenzionale:
  - 8 test pattern; l'utente comunica il migliore
  - ☺ semplice, ok con TDD and FDD (time division and frequency division duplex)
  - ☹ mai un perfetto match, interferenza
- Massive MIMO: stima del canale in up-link
  - l'utente manda un segnale pilota; la BS stima il canale
  - ☺ stima ottimale, scala con il numero delle antenne
  - ☹ funziona solo con TDD



Assunzione:

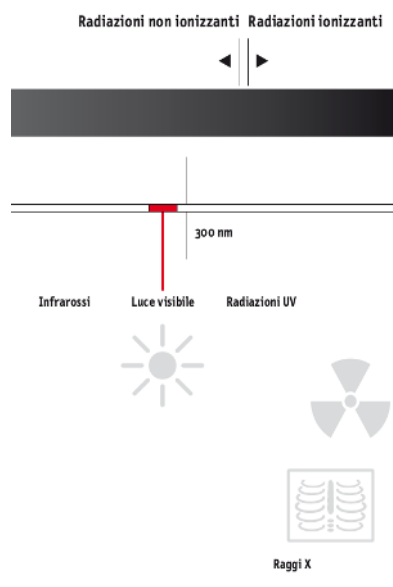
VARIAZIONI NEL TEMPO del canale **lente** rispetto al PERIODO DELLA MODULAZIONE

## Outline

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

# Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti sono radiazioni dotate di sufficiente energia da ionizzare gli atomi o le molecole con i quali vengono a interagire.



Le energie di soglia dei processi di ionizzazione sono dell'ordine di alcuni eV

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js } 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{450 \cdot 10^{-9}} = 4.4 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2.75 \text{ eV} \quad (9)$$

Solo le porzioni di radiazione ultravioletta di alta frequenza sono considerate radiazioni ionizzanti.

Nel 1949 l'ICRP<sup>1</sup> conclude che non esiste una soglia di dose per il cancro indotto dalle radiazioni e l'ottimizzazione da tutte le esposizioni è cruciale.

<sup>1</sup>International Commission on Radiological Protection

## Radioprotezione

La protezione dalle radiazioni ionizzanti è adesso saldamente stabilita nella legislazione e nella consapevolezza del pubblico. [2]

Ma non è stato sempre così!!!



(Rontgen, 1895)

Nel 1958 Alice Stewart riferisce che nelle donne incinte le radiografie "a basse dosi" possono causare la leucemia nei loro bambini. Fatto non ampiamente riconosciuto fino agli anni '70

[2] P. Harremoës, D. Gee, M. MacGarvin, et al., *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000*. Office for Official Publications of the European Communities Luxembourg, 2001

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

## Effetti delle onde elettromagnetiche

### Forte Intensità

Le radiazioni **non ionizzanti** di forte Intensità hanno ripercussioni sulla salute. (Nel nostro ambiente, a parte gli incidenti sul lavoro, non si è mai esposti a campi elettromagnetici così elevati).

### Intensità inferiori al limite di pericolosità

Sono stati comunque rilevati effetti **biologici** anche ad Intensità molto inferiori. Poiché la scienza non dispone ancora di dati certi sulla nocività di questi effetti, la precauzione è la ricetta migliore.

[1, p. 6, ]

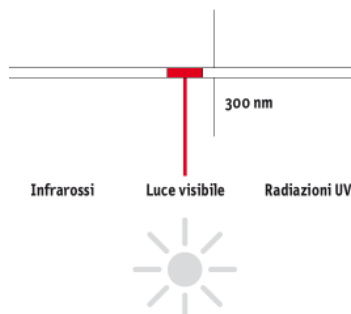
- Effetti termici
  - \* Le onde elettromagnetiche trasportano energia che viene assorbita dai mezzi con perdite e convertita in calore.
- Effetti biologici (non termici).
  - \* Risposta a segnali deboli
  - \* Effetti della modulazione.
  - \* Effetti finestra.

[1]“L'elettrosmog nell'ambiente,”, 2005, p. 6,

# Effetti dei Campi Elettromagnetici non ionizzanti

Percezione indiretta

Non siamo dotati di un senso che ci permette di percepire **direttamente** la presenza di campi elettromagnetici (ad eccezione dell'intervallo di frequenze del visibile).



Un controesempio ben noto e documentato è il cosiddetto “effetto Frey” (o “effetto uditivo delle microonde”). [3] [4] [5]

[3] A. H. Frey *et al.*, “Auditory system response to radiofrequency energy,” *Aerospace med*, vol. 32, no. 1, pp. 1140–1142, 1961

[4] A. H. Frey and R. Messenger, “Human perception of illumination with pulsed ultrahigh-frequency electromagnetic energy,” *Science*, vol. 181, no. 4097, pp. 356–358, 1973

[5] J. C. Lin *et al.*, *Microwave auditory effects and applications*. Citeseer, 1978

Gino Sorbello

Esposizione ai campi elettromagnetici e comportament

11 dicembre 2020

25 / 49

## Le ripercussioni delle radiazioni (non ionizz.) sulla salute

- Bassa frequenza [1, p. 7]
  - Forti effetti di stimolazione (nocivi per la salute)
    - Disfunzioni a livello di cellule nervose e muscolari ( $B > 10 \cdot 10^3 [\mu\text{T}]$ )
    - Irrigidimento del miocardio ( $B > 100 \cdot 10^3 [\mu\text{T}]$ )
  - Effetti subliminali (reazioni biologiche)
    - Comportamento
    - Capacità di apprendimento
    - Alterazione del ritmo giorno-notte
    - Effetti sul sistema ormonale
  - Maggior rischio di leucemia infantile? Confermato da studi epidemiologici: raddoppio del rischio per  $B > 0.4 [\mu\text{T}]$
- Alta frequenza [1, p. 10]
  - Effetti termici pericolosi (in genere legati ad incidenti sul lavoro)
  - Numerosi effetti non termici

[1] “L’elettrosmog nell’ambiente,” 2005, p. 7

[1] “L’elettrosmog nell’ambiente,” 2005, p. 10

Si possono valutare con precisione (equazione di bilancio energetico):

$$c \frac{dT}{dt} = \text{SAR} + P_m - P_{\text{cond}} - P_s \quad (10)$$

dove  $c$  è il calore specifico,  $P_m$  è il tasso di produzione di calore metabolico per unità di massa,  $P_{\text{cond}}$  e  $P_s$  sono i tassi di perdita del calore per unità di massa dovuti rispettivamente alla conduzione termica e al flusso sanguigno.

## Prevenzione degli effetti termici

Il calore generato per assorbimento di energia elettromagnetica deve essere tale che il sistema termoregolatore riesca a smaltirlo efficientemente.

# Effetti biologici (non termici)

Studi epidemiologici sull'incidenza di tumori.

Gli studi si possono suddividere per frequenza operativa

ELF: Campi elettrici e magnetici [6] [7]

RF: Campi elettromagnetici [8] [9] [10] [11]

[6] N. Wertheimer and E. Leeper, "Electrical wiring configurations and childhood cancer," *American journal of epidemiology*, vol. 109, no. 3, pp. 273–284, 1979

[7] A Ahlbom, N Day, M Feychting, *et al.*, "A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia," *British journal of cancer*, vol. 83, no. 5, p. 692, 2000

[8] INTERPHONE Study Group, "Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: Results of the interphone international case-control study," *International journal of epidemiology*, dyq079, 2010

[9] R. Saracci and J. Samet, "Commentary: Call me on my mobile phone. . . or better not?—a look at the interphone study results," *International journal of epidemiology*, vol. 39, no. 3, pp. 695–698, 2010

[10] A. G. Levis, N. Minicuci, P. Ricci, *et al.*, "Mobile phones and head tumours. the discrepancies in cause-effect relationships in the epidemiological studies-how do they arise?" *Environmental Health*, vol. 10, no. 1, p. 59, 2011

[11] L. Hardell, M. Carlberg, and K. Hansson Mild, "Re-analysis of risk for glioma in relation to mobile telephone use: Comparison with the results of the interphone international case-control study," *International Journal of Epidemiology*, vol. 40, no. 4, p. 1126, 2011. DOI: 10.1093/ije/dyq246

INTERPHONE è un grosso studio internazionale sull'uso dei telefonini e i tumori. Include 2409 casi di meningioma, 2708 casi di glioma e due serie, rispettivamente di 2662 e 2972, di controlli "matched" per età, sesso e regione di residenza.

→

$$RR = \frac{\text{Rischio medio esposti}}{\text{Rischio medio meno esposti}} \quad (11)$$

Da questo studio scaturisce la valutazione IARC<sup>2</sup> di "evidenza limitata nell'uomo" che si basa essenzialmente sui risultati dello studio stesso e su di un'analisi "pooled" di Hardell

---

<sup>2</sup>International Agency for Research on Cancer

## Classificazione della IARC

Le valutazioni delle evidenze di cancerogenicità della IARC e la relativa classificazione [12, tuttora in corso]:

- 1 L'agente è cancerogeno per l'uomo.
- 2A L'agente è probabilmente cancerogeno per l'uomo.
- 2B L'agente è possibilmente cancerogeno per l'uomo.
- 3 L'agente non è classificabile in relazione alla sua cancerogenicità nell'uomo.
- 4 L'agente è probabilmente non cancerogeno per l'uomo



Valutazioni IARC relative ai campi elettromagnetici.

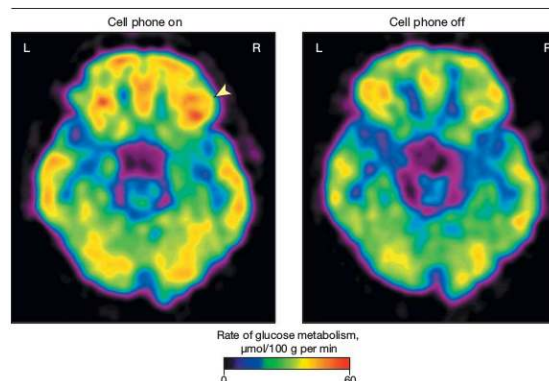
- 2001** Campi magnetici statici e in bassa frequenza (ELF): categoria 2B considerando un raddoppio del fattore di rischio (leucemia infantile) per esposizioni a valori di campo magnetico superiori a  $0,4 \mu\text{T}$  [vol. 80, 2002].
- 2011** Campi elettromagnetici in alta frequenza in categoria 2B (senza definire una dose) [vol. 102, 2013]

---

[12]IARC, "Iarc monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man.", 1972-... tuttora in corso

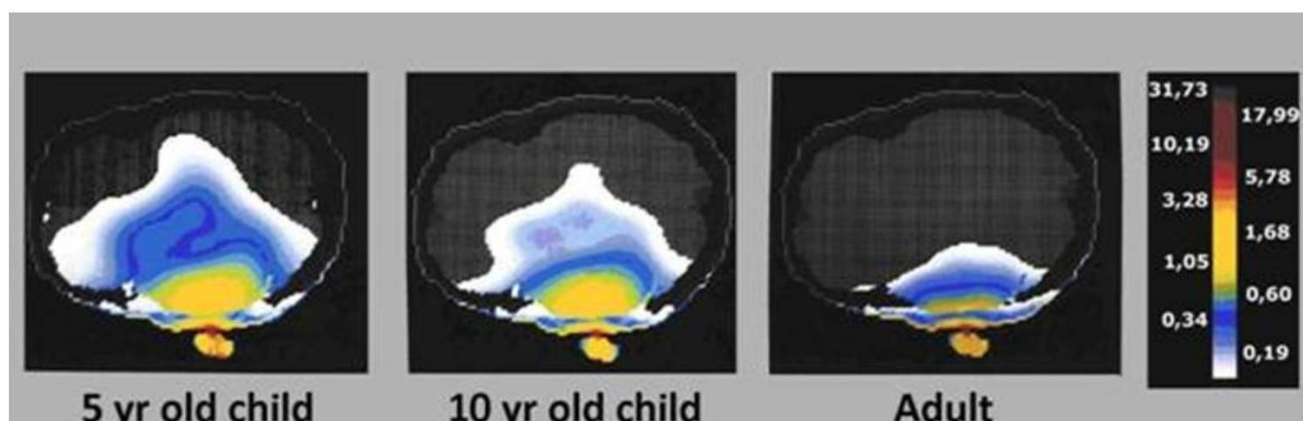


- Studi sugli effetti delle microonde (di per se non necessariamente nocivi)
  - Alterazioni del metabolismo del cervello. [13]
  - Alterazioni dell'attività celebrale.
- Studi su meccanismi di danneggiamento del DNA.



[13] N. D. Volkow, D. Tomasi, G.-J. Wang, *et al.*, "Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism," *Jama*, vol. 305, no. 8, pp. 808–813, 2011

## Bambini



Distribuzione del tasso d'assorbimento specifico (SAR) per un bimbo di 5 e 10 anni e per un adulto, rispettivamente. (Potenza irradiata di 600 mW a 835 MHz). [14]

Preoccupazione per

- maggiore distribuzione cumulativa (rispetto agli adulti di oggi)
- maggiore assorbimento di energia
- possibile maggiore vulnerabilità del sistema nervoso in via di sviluppo

[14] O. P. Gandhi, G. Lazzi, and C. M. Furse, "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 mhz," *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, vol. 44, no. 10, pp. 1884–1897, 1996

Studi ancora più articolati sono stati fatti sull'effetto della modulazione.

Molti parametri fisici caratterizzanti i campi elettromagnetici possono fare una differenza rispetto agli effetti di natura non termica. [15]

Nei sistemi wireless digitali GSM, WCDMA, HSPA, DECT and WiFi ci sono variazioni di potenza trasmessa (lente e veloci). Un'analisi spettrale del segnale è un metodo per valutare queste variazioni di potenza. [16]

Uso di rilevatori di picco. Correggere i valori medi: considerando il valore massimo (ovvero il cosiddetto fattore di cresta).

---

[15] J. Juutilainen, A. Höytö, T. Kumlin, *et al.*, "Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields," *Bioelectromagnetics*, vol. 32, no. 7, pp. 511–534, 2011

[16] J. B. Andersen, P. Mogensen, and G. F. Pedersen, "Power variations of wireless communication systems," *Bioelectromagnetics*, vol. 31, no. 4, pp. 302–310, 2010

## Outline

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

# Limiti di esposizione

## Impianti fissi

Servizio	Frequenza [MHz]	Limite ITA esposizioni brevi	Limite ITA esposizioni lunghe	Limite europeo popolazione
GSM	dl: 925 – 960 ul: 880 – 915	20 $Vm^{-1}$	6 $Vm^{-1}$	41 $Vm^{-1}$
DCS	dl: 1805 – 1880 ul: 1710 – 1785	20 $Vm^{-1}$	6 $Vm^{-1}$	58 $Vm^{-1}$
UMTS	dl: 2110 – 2170 ul: 1920 – 1980	20 $Vm^{-1}$	6 $Vm^{-1}$	61 $Vm^{-1}$

Svizzera: 4  $Vm^{-1}$ ; 6  $Vm^{-1}$ ; 6  $Vm^{-1}$  @ 900; 1800 e 2100 MHz. [17]

[17] [www.elettra2000.it/it/raccolta-normative/99-limiti.html](http://www.elettra2000.it/it/raccolta-normative/99-limiti.html),

# Limiti sul tasso d'assorbimento specifico (SAR)

## Terminali mobili

Poiché l'utilizzo è in stretta prossimità dell'utente, l'esposizione non è caratterizzata in termini di campo o di densità di potenza, bensì in termini di SAR. Il soggetto interagisce con l'antenna. Non esistono metodi semplici per predire l'esposizione

Limite (Stati Uniti): SAR 1.6  $W/Kg^{-1}$

Esposizione RF su iPhone 6. Distanza di 10 mm.

Modello	A1549 (GSM)	A1586 (CDMA)	A1589 (China Mobile)
Testa	1.08; 0.93;	1.18; 0.97;	– ; 0.38;
Corpo	1.14; 0.97;	1.18; 0.98;	–

“I telefoni cellulari, a causa della loro vicinanza alla testa, costituiscono una fonte d'esposizione molto più intensa di ogni stazione di base” [1]

Al fine di ridurre l'esposizione all'energia a radiofrequenza (RF), utilizza una delle opzioni vivavoce, come l'altoparlante integrato, gli auricolari in dotazione o altri accessori simili.

[1] “L'elettrosmog nell'ambiente,”, 2005

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

## Potenza e diagramma di radiazione

$$S = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{P_r}{4\pi R^2} G \quad (12)$$

$$E = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{Z_0 P_r G}{\pi}} \quad (13)$$

Un guadagno,  $G$ , tipico per antenne di piccole dimensioni tipiche dei terminali mobili/access point WiFi è:  $G = 1.6$  ovvero  $G_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(1.6) \approx 2.0$  [dB]

Fissato un valore limite per il campo elettrico,  $E_{\text{lim}}$ , possiamo ricavare la corrispondente distanza  $R_{\text{lim}}$ .

$$R_{\text{lim}} = \frac{1}{2E} \sqrt{\frac{Z_0 P_r G}{\pi}} \approx \frac{1}{E} \sqrt{30.0 P_r G} \quad (14)$$

Potenza telefonini GSM: picco 2W - media (1:8) 250 mW

Potenza telefonini DCS: picco 1 W - media (1:8) 125 mW

Potenza telefonini UMTS: 125 - 250 mW

Considerando  $P = 0.250$  [W] e  $G=1.6$  applicando la (14) si ha:

$$R_{\text{lim}} = \frac{1}{E} \sqrt{30.0 P_r G} = \frac{1}{6} \sqrt{30.0 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 1.6} = 0.57 \text{ m} \quad (15)$$

I telefonini regolano la potenza trasmessa in accordo con la qualità del segnale implementando un controllo adattativo della potenza trasmessa [adaptive power control (APC)].

## Cordless

- I telefoni cordless utilizzano una base all'interno delle case degli utenti e sono spesso la causa dell'esposizione RF più importante nella casa.
- Per la maggior parte dei modelli di telefoni cordless, il livello di potenza emessa non varia con la distanza dalla base.

Potenza media trasmessa: 10 mW (250 mW picco) in Europa & Giappone, 4 mW (100 mW picco) negli USA

Potenza incidente "tipica" dovuta a una stazione radio base: 0.1 - 1 V/m

Dalla (14)  $E_{R=1\text{m}} \approx \frac{1}{R} \sqrt{30.0 P_r G} = \frac{1}{1} \sqrt{30.0 \cdot 0.01 \cdot 1.6} = 0.69 \text{ V/m}$

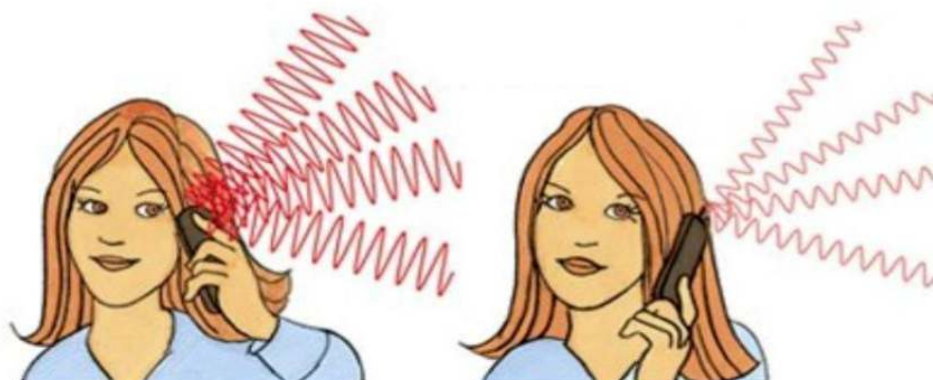
# Outline

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione**
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

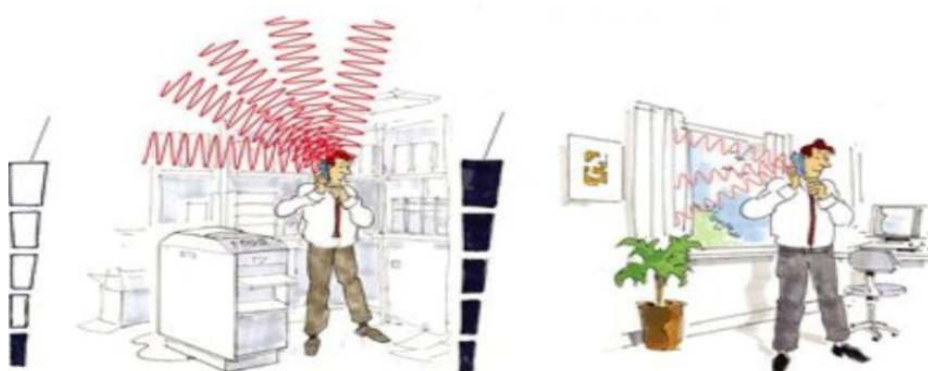
# Outline

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione**
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

## Impugna il telefono in basso



## Chiama da un luogo con un buon segnale



Utilizza il vivavoce o l'auricolare a filo.



## Inoltro delle chiamate

I minuti allungano la vita

Arrivato a casa inoltra le chiamate dal cellulare al fisso e spegni il cellulare.

### TIM

16:08 76%

DEVIARE LE CHIAMATE# utilizzando i minuti della mia offerta TIM SMART MOBILE?

08:48

Posso deviare le chiamate con il codice \*\*21\*+39NUMERO SU CUI DEVIARE LE CHIAMATE# utilizzando i minuti della mia offerta flat

12:34

Ciao Gino, ti informiamo che con il trasferimento di chiamata attivo non utilizzerai i minuti a disposizione ma pagherai secondo il tuo piano tariffario. Restiamo a tua disposizione. Buona giornata da TIM! #TIMmobile.

### VODAFONE

11:11 22%

Ciao, puoi indicarci il tuo numero di cellulare su cui vuoi attivare la deviazione? Grazie. luca

09:17

11:08

Dipende dal piano telefonico?

La domanda è generica: Con Vodafone posso deviare le chiamate con il codice \*\*21\*+39NUMERO SU CUI DEVIARE LE CHIAMATE# utilizzando i minuti della mia offerta flat? Ovvero con il trasferimento di chiamata attivo utilizzerò i minuti a disposizione nella mia offerta?

### WIND

16:10 33%

Assistenza clienti

MyWind | Chiedi Saldo

questo link [appwindtalk](#). Grazie

20:36

Posso deviare le chiamate con il codice \*\*21\*+39NUMERO SU CUI DEVIARE LE CHIAMATE# utilizzando i minuti della mia offerta?

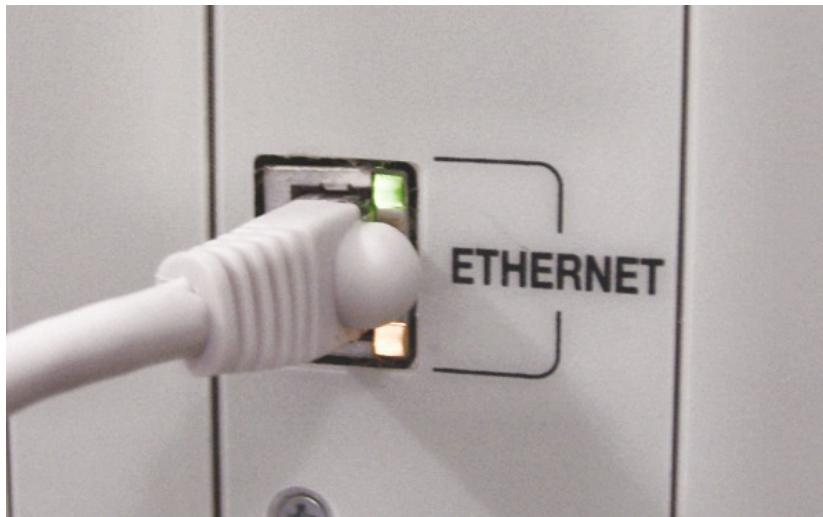
11:14

Ciao Gino ti informiamo che attivando il trasferimento di chiamata utilizzerai i minuti della tua offerta. Grazie

13:05



Utilizza reti cablate e avrai una connessione più veloce:  
up to 1000 Mb/s (Gigabit Ethernet).



## Outline

- 1 Lo spettro elettromagnetico
- 2 Cosa c'è di nuovo nel 5G
- 3 Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
- 4 Esposizione ai campi elettromagnetici: effetti termici e non termici
- 5 Approccio ingegneristico, normativa e considerazioni
- 6 L'elettrosmog nell'ambiente
- 7 Limitazione dell'esposizione di lungo periodo ed il principio di precauzione
  - Consigli per ridurre l'esposizione
- 8 Conclusioni

- Il 5G fornisce una connettività ad elevato bit rate e bassa latenza anche in presenza di molti utenti.
- Entrambe le bande (frequency range) FR1 sotto i 6 GHz e FR2 sopra i 24 GHz di fatto riducono l'esposizione a parità di utilizzo.
- La tecnologia nel tempo ha introdotto features "eco".
- La disponibilità di banda non ci deve invogliare a fare un uso eccessivo delle connessioni wireless.
- Non dobbiamo abbandonare il principio di precauzione e fare un uso intelligente di questa opportunità.