

Ordine degli Ingegneri di Macerata
Commissione Ingegneria dell'Informazione

Ing. Mauro Beni

Tecnologia 5G e impatto elettromagnetico

Programma

Introduzione alla tecnologia 5G: principali prestazioni attese, caratteristiche e tecnologie utilizzate

Aspetti principali relativi all'interazione dei campi elettromagnetici con la materia e agli effetti biologici e sanitari, con particolare riferimento ai sistemi di radiocomunicazione ad alta frequenza

Normativa di riferimento

Aspetti della tecnologia 5G che sembrano spaventare di più l'opinione pubblica in relazione all'impatto elettromagnetico

Spazio per domande/risposte ed eventuali approfondimenti

TECNOLOGIA 5G

**Introduzione agli aspetti
ed ai principi generali della tecnologia 5G**

5G - Sistemi radio mobili di quinta generazione

Sviluppo ed evoluzione delle precedenti tecnologie di reti di comunicazione mobile con nuove concezioni di architetture e funzionalità tali da permettere una connessione continua per tutti: umani e non ...

1G (analogica) (in Italia - TACS)

Sistema analogico che utilizza la tecnica di accesso radio FDMA; la banda assegnata è suddivisa in canali, ciascuno con una frequenza portante.

Permetteva servizi di comunicazione audio (telefonia) in mobilità, non era standardizzato a livello internazionale (roaming internazionale non possibile).

2G (GSM, DCS)

Sistema digitale, evoluzione del sistema analogico, con modalità di accesso radio FDMA e TDMA.

Standard internazionale (almeno a livello europeo), permette il roaming internazionale.

Introduzione di particolari funzionalità di rete per riduzione interferenze e miglioramento delle prestazioni sul canale radio (trasmissione discontinua, frequency hopping, controllo automatico di potenza).

Possibili servizi di messaggistica e trasmissione dati 9.6 kbit/s poi fino a 14,4 kbit/s poi a «pacchetto» con il GPRS (2.5G) fino a 171,2 kbit/s.

sistemi 3G (UMTS, HSPA)

Introduzione modalità di accesso CDMA (ad accesso di codice), possibilità di utilizzo di maggior larghezza di banda con conseguente aumento della velocità di trasmissione

Nel CDMA non esiste un limite preciso al numero di connessioni simultanee in ciascuna cella: al crescere del numero di comunicazioni attive aumenta l'interferenza nella cella e quindi il BER (Bit Error Rate).

Fissato il tasso di errore accettabile, per il servizio erogato, si può stimare il massimo numero di connessioni simultanee attivabili.

Il 3GPP ha successivamente sviluppato HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), per aumentare la velocità trasmissiva sulla tratta downlink, e HSUPA per migliorare quella di uplink

4G (LTE) LTE (*Long Term Evolution*)

Nuova tecnica di accesso radio ottimizzata per la trasmissione a pacchetto

L'intera rete diventa a commutazione di pacchetto, con ottimizzazione della trasmissione dati, maggiore velocità di trasmissione e minore latenza

Flessibilità nell'uso dello spettro: utilizzo sia di duplexing FDD (*Frequency Division Duplexing*, con bande per downlink e uplink differenti) che TDD (*Time Division Duplexing*: la stessa porzione di banda è utilizzata per downlink e uplink).

Possibilità di utilizzo di più bande di frequenza

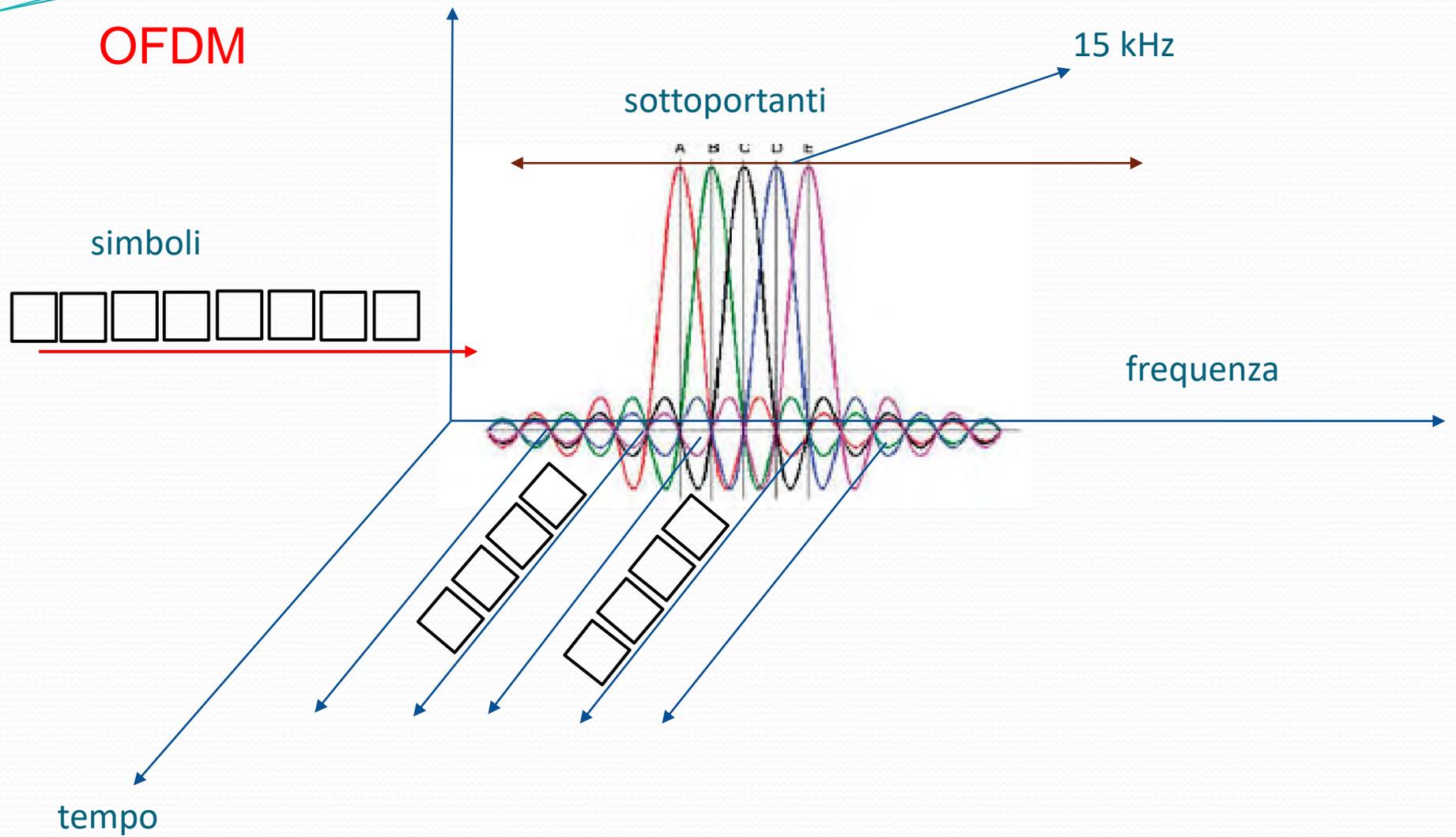
In Italia 800 MHz, 1400 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz e 3500 MHz; in quest'ultimo caso una porzione della banda è allocata per un utilizzo con modalità FDD e un'altra per utilizzo in modalità TDD .

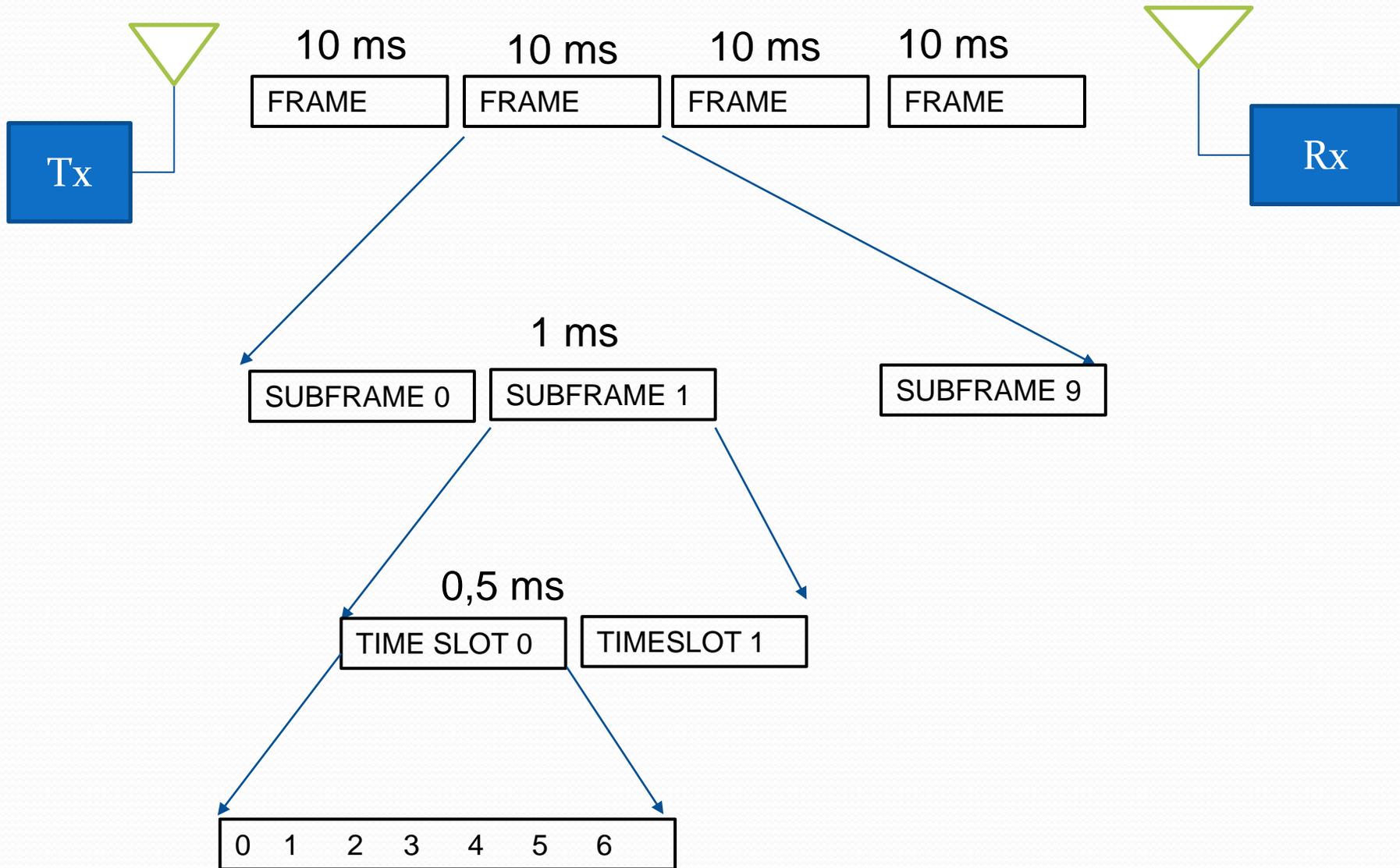
Utilizzo differenti canalizzazioni: 1,4 MHz, 3 MHz, 5MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz.

La tecnica di modulazione e multiplazione downlink «multi portante» S-OFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*).

In un sistema OFDMA lo spettro disponibile è diviso in portanti multiple, chiamate sottoportanti; al fine di realizzare una trasmissione ad elevato bit rate, ogni sottoportante può essere modulata indipendentemente da un flusso dati a basso rate.

OFDM





Evoluzione dei sistemi di telefonia radio mobili

	WCDMA (UMTS)	HSPA	HSPA+	LTE	LTE Advanced
Velocità massima in scaricamento	384 kbit/s	14 Mbit/s	42 Mbit/s	326,4 Mbit/s	3,3 Gbit/s
Velocità massima in caricamento	128 kbit/s	5,7 Mbit/s	11 Mbit/s	86,4 Mbit/s	500 Mbit/s
Latenza (espressa in ms)	150	100	50	~ 10	Sconosciuto
Versione 3GPP	Rel 99/4	Rel 5/6	Rel 7	Rel 8	Rel 10
Metodologia	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA	OFDMA Ibrido / SC-FDMA

fonte: wikipedia

5G – obiettivi principali

1) *enhanced Mobile Broadband (eMBB)*

connessioni a banda ultralarga con velocità di trasmissione simile a quella della fibra ottica

2) *massive Machine Type Communications (mMTC)*

comunicazioni massive tra dispositivi

3) *Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC)*

comunicazioni ultra affidabili a bassa latenza

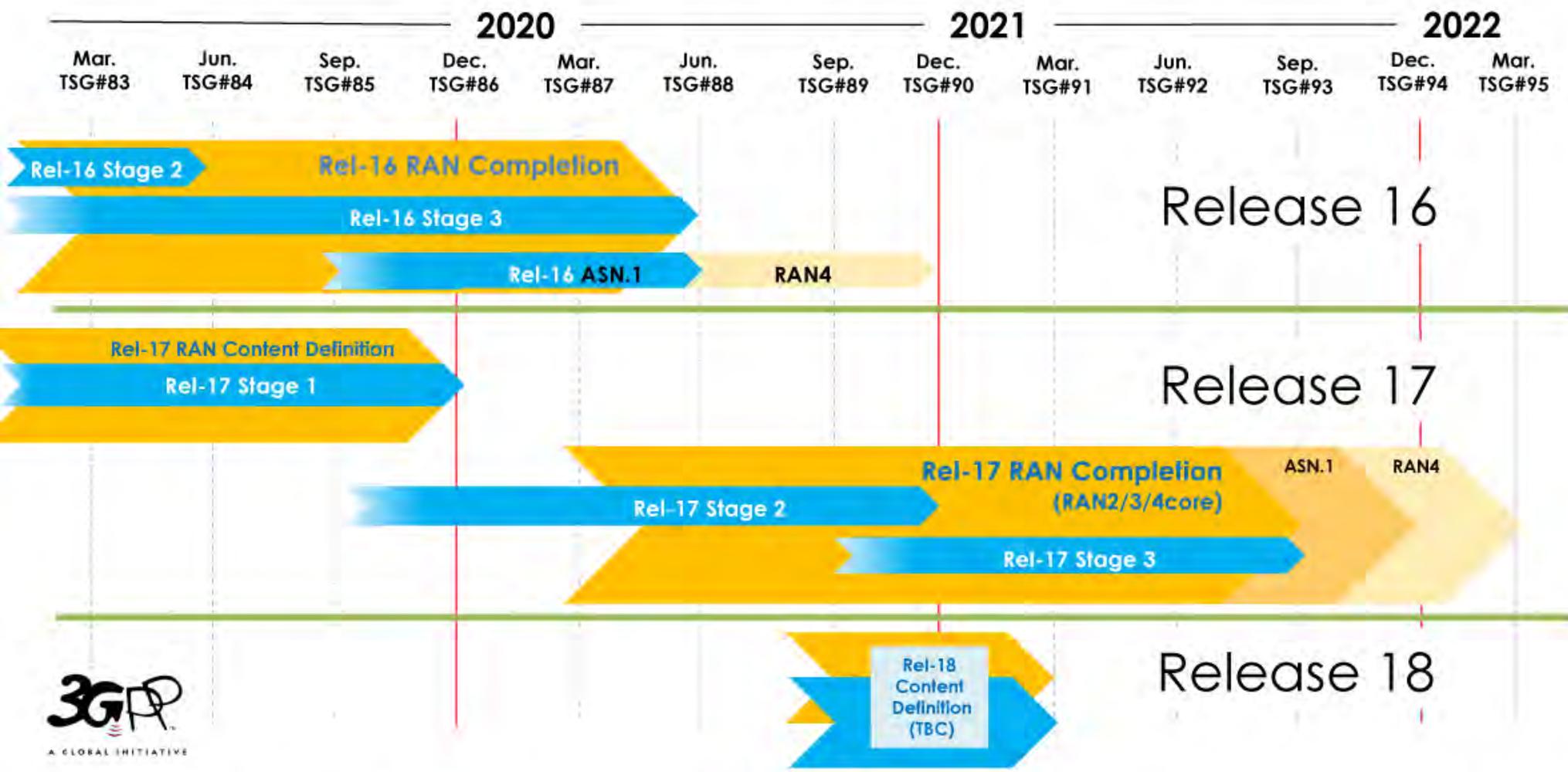
5G - processo di standardizzazione

3GPP (maggiori operatori mondiali, principali fornitori, enti di ricerca e governativi) definisce il sistema complessivo, producendo le specifiche di accesso radio e della architettura di rete.

ITU definisce i requisiti tecnici e identifica lo spettro da utilizzare per il nuovo sistema.

Altri enti sviluppano soluzioni per la virtualizzazione della rete, i protocolli IP, l'evoluzione verso una convergenza delle reti fisse e mobili, ecc..

5GPPP, per lo sviluppo specifico della nuova generazione di rete mobile, con partenariato pubblico privato <https://5g-ppp.eu/> <http://5gobservatory.eu/>



Source: 3GPP TSG SA#87e, 17-20 March 2020, e-meeting document SP-200222

© 3GPP 2020

Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)

Attributes	Target
Minimum Downlink requirement	20Gbit/s
Minimum Up link requirement	10Gbit/s
Target ¹⁵ downlink "user experience data rate"	100Mbit/s
Target uplink "user experience data rate"	50Mbit/s
Minimum requirement for user plane ¹⁶ latency for eMBB (enhanced mobile broadband) URLLC (Ultra reliable low latency communications) up-down	4-1ms
Minimum requirement for control plane ¹⁷ latency	10-20ms
Minimum requirement for connection density	10 ⁶ Km ²
Minimum requirement for bandwidth	100Mhz
Target bandwidth	up to 1GHz

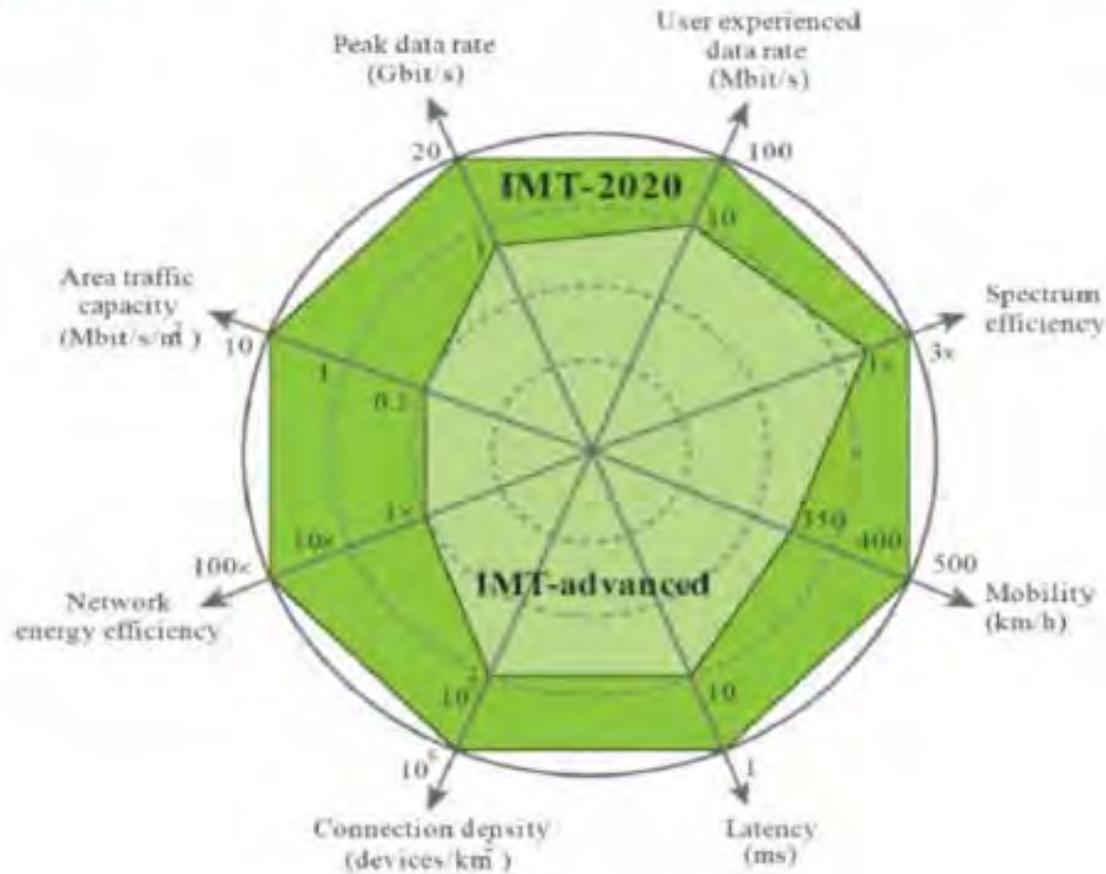


Figura 10 (ITU 2015)

IMT-2020: International Mobile Telecommunication system con una data obiettivo fissata per il 2020.

Lo standard 5G è tuttora in evoluzione

3GPP Release 15 : 5G NR Non Stand Alone (NSA)

definisce l'interfaccia radio con la rete «core» supportata dall'architettura dell'esistente 4G, in particolare per le funzioni di controllo

3GPP Release 16

fase Stand Alone con una rete 5G vera e propria, che permetterà di abilitare effettivamente servizi del tipo URLL (Ultra-Reliable, Low Latency Communications) e mMTC (massive Machine Type Communications)



Release 15

- NR
- The 5G System – Phase 1
- Massive MTC and Internet of Things (IoT)
- Vehicle-to-Everything Communications (V2x) Phase 2
- Mission Critical (MC) interworking with legacy systems
- WLAN and unlicensed spectrum use
- Slicing – logical end-2-end networks
- API Exposure – 3rd party access to 5G services
- Service Based Architecture (SBA)
- Further LTE improvements
- Mobile Communication System for Railways (FRMCS)

Release 16

- **The 5G System – Phase 2**
- **V2x Phase 3:** Platooning, extended sensors, automated driving, remote driving
- **Industrial IoT**
- **Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC) enh.**
- **NR-based access to unlicensed spectrum (NR-U)**

- **5G Efficiency:** Interference Mitigation, SON, eMIMO, Location and positioning, Power Consumption, eDual Connectivity, Device capabilities exchange, Mobility enhancements
- **Integrated Access and Backhaul (IAB)**
- **Enh. Common API Framework for 3GPP Northbound APIs (eCAPIF)**
- **Satellite Access in 5G**
- **Mobile Communication System for Railways (FRMCS Phase 2)**

Release 17

- NR MIMO
- NR Sidelink enh.
- 52.6 - 71 GHz with existing waveform
- Dynamic Spectrum Sharing (DSS) enh.
- Industrial IoT / URLLC enh.
- **Study** - IoT over Non Terrestrial Networks (NTN)
- NR over Non Terrestrial Networks (NTN)
- NR Positioning enh.
- Low complexity NR devices
- Power saving
- NR Coverage enh.
- **Study** - NR eXtended Reality (XR)
- NB-IoT and LTE-MTC enh.
- 5G Multicast broadcast
- Multi-Radio DCCA enh.
- Multi SIM
- Integrated Access and Backhaul (IAB) enh.
- NR Sidelink relay
- RAN Slicing
- Enh. for small data
- SON / Minimization of drive tests (MDT) enh.
- NR Quality of Experience
- eNB architecture evolution, LTE C-plane / U-plane split
- Satellite components in the 5G architecture
- Non-Public Networks enh.
- Network Automation for 5G - phase 2
- Edge Computing In 5GC
- Proximity based Services in 5GS
- Network Slicing Phase 2
- Enh. V2x Services
- Advanced Interactive Services
- Access Traffic Steering, Switch and Splitting support in the 5G system architecture
- Unmanned Aerial Systems
- 5GC LoCation Services
- Multimedia Priority Service (MPS)
- 5G Wireless and Wireline Convergence
- 5G LAN-type services
- User Plane Function (UPF) enh. for control and 5G Service Based Architecture (SBA)

These are some of the Rel-17 headline features, prioritized during the December 2019 Plenaries (TSG#86)

Start of work: January 2020

Full details of the content of Rel-17 are in the Work Plan: www.3gpp.org/specifications/work-plan

© 3GPP - February 2020

Come si ottengono queste prestazioni ?

Velocità di connessione

- aumento banda di canale

 - necessità di utilizzare frequenze più alte dello spettro

- massimizzazione del rapporto segnale/rumore

 - tecniche di copertura radioelettrica e gestione interferenze

Efficienza spettrale

- evoluzione tecnologie di trasmissione / modulazione

Densità connettività

- aumento numero stazioni radiobase e parcellizzazione della copertura con micro e pico celle

Latenza

- differente strategia modalità gestione della rete spostando nella periferia una parte dell' «intelligenza»

Teorema di Shannon - Hartley

Massima capacità teorica di trasmissione:

$$C = B * \log_2 (1 + \text{SNR})$$

Efficienza di un sistema reale

$$C_{\text{effettivo}} / C_{\text{shannon}}$$

FREQUENZE

Bande di frequenza

FR1 - sub-6 GHz (con blocchi nelle bande 700 e 3700 MHz)

estese per coprire nuove porzioni di spettro tra 410 MHz e 7125 MHz

FR2 – mmWave (24.25 GHz e 52.6 GHz) (con blocchi nella banda 26 GHz).

Possibilità di utilizzo di bande senza licenza per integrazione di servizi non tipicamente di operatori radiomobili.

Per migliorare la copertura nella tratta di uplink sarà possibile utilizzare delle bande supplementari (utile in particolare per le frequenze elevate quanto la tratta di uplink risulti sbilanciata rispetto a quella di downlink).

Larghezza di banda

La tecnologia 5G estende la larghezza massima consentita fino a 100 MHz per il segnale sub-6 GHz e 400 MHz per il segnale mmWave;

(le larghezze di banda ammesse dallo standard LTE sono 1.4, 3, 5, 10, 15 e 20 MHz.)

Table 5.2-1: NR operating bands in FR1

NR operating band	Uplink (UL) operating band BS receive / UE transmit F _{UL_low} – F _{UL_high}	Downlink (DL) operating band BS transmit / UE receive F _{DL_low} – F _{DL_high}	Duplex Mode
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
n18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n29	N/A	717 MHz – 728 MHz	SDL
n30 ³	2305 MHz – 2315 MHz	2350 MHz – 2360 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38 ¹⁰	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n47 ¹¹	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz – 5925 MHz	TDD ¹⁰
n48	3550 MHz – 3700 MHz	3550 MHz – 3700 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD ¹
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD

n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n53	2483.5 MHz – 2495 MHz	2483.5 MHz – 2495 MHz	TDD
n65	1920 MHz – 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD ⁴
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77 ¹²	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n86	1710 MHz – 1780 MHz	N/A	SUL
n89	824 MHz – 849 MHz	N/A	SUL
n90	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD ⁵
n91	832 MHz – 862 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD ⁹
n92	832 MHz – 862 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD ⁹
n93	880 MHz – 915 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD ⁹
n94	880 MHz – 915 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD ⁹
n95 ⁸	2010 MHz – 2025 MHz	N/A	SUL

Table 5.2-2: NR *operating bands* in FR2

NR <i>operating band</i>	Uplink (UL) and Downlink (DL) <i>operating band</i> BS transmit/receive UE transmit/receive $F_{UL,low} - F_{UL,high}$ $F_{DL,low} - F_{DL,high}$	Duplex mode
n257	26500 MHz – 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz – 27500 MHz	TDD
n259	39500 MHz – 43500 MHz	TDD
n260	37000 MHz – 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz – 28350 MHz	TDD

Bande di frequenza pioniere

Gli Stati membri e la Commissione, lavorando congiuntamente nel gruppo "Politica dello spettro radio" (RSPG), hanno riconosciuto l'importanza di una rapida individuazione di bande di frequenza "pioniere", comuni in tutta l'UE, per consentire la diffusione del 5G fin dal 2018.

- spettro inferiore a 1 GHz, concentrandosi sulla banda 700 MHz: la sua disponibilità prima del 2020, come proposto dalla Commissione, ritenuta indispensabile per la buona riuscita del 5G²¹
- spettro compreso tra 1 GHz e 6 GHz, per il quale le bande armonizzate a livello dell'UE sono già disponibili e autorizzate in modo tecnologicamente neutro in tutta Europa. In particolare, la banda 3,5 GHz che sembra offrire un alto potenziale per diventare strategica per il lancio del 5G in Europa
- spettro al di sopra dei 6 GHz, in vista della futura definizione di bande nuove e più ampie nel corso del WRC-19.

Bande di frequenza supplementari

La serie di bande di frequenza pioniere andrebbe integrata in una fase successiva per tenere conto delle esigenze di spettro 5G a lungo termine.

Questa fase dovrebbe concentrarsi sull'individuazione di bande di frequenze superiori a 6 GHz, considerando nel contempo ulteriori possibilità di economie di scala a livello internazionale.

Il potenziale di condivisione dello spettro, compreso l'uso non soggetto a licenza, dovrebbe essere massimizzato, giacché in genere rappresenta un sostegno all'innovazione e all'ingresso sul mercato, in linea con gli obiettivi delle proposte legislative delineate nella proposta di codice europeo delle comunicazioni elettroniche.

Situazione frequenze in Italia

Alla fine del 2017 il Governo italiano ha adottato, in seno alla Legge di bilancio per il 2018, misure specifiche per promuovere la transizione alla tecnologia 5G, in linea con il quadro europeo, tra cui il *5G Action plan*.

Nel maggio 2018 l'Autorità ha approvato la delibera n. 231 del 2018, fissando le regole per l'assegnazione dei diritti d'uso delle frequenze disponibili in tutte e tre le bande di frequenza c.d. "pioniere" per lo sviluppo del 5G, ossia le bande 694-790 MHz, 3600-3800 MHz e 26.5-27.5 GHz

Il Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze (PNRF) è stato pubblicato sul supplemento ordinario n. 49 alla Gazzetta Ufficiale del 19 ottobre 2018, n. 244

Le frequenze della banda 700 MHz, occupate dalle trasmissioni del digitale terrestre, saranno gradualmente «liberate» a partire dal 2020 e fino al 2022.

Situazione frequenze in Italia

Sono stati messi in asta 1275 MHz di spettro nelle bande pioniere per il 5G attuando il 5G Action Plan europeo:

1000 MHz nella banda a 26 GHz: 5 blocchi da 200 MHz in modalità TDD (denominati D1-D5);

200 MHz nella banda a 3.7 GHz: due lotti da 80 MHz nominali e due lotti da 20 MHz nominali (uno specifico e tre generici, denominati C1-C4);

75 MHz in quella a 700 MHz articolati in 6 blocchi di frequenze da 2x5 MHz FDD (Frequency division duplex, A1-A6) e 4 blocchi da 5 MHz SDL (Supplemental downlink B1-B4).

**PROCEDURA PER L'ASSEGNAZIONE DI DIRITTI D'USO DELLE FREQUENZE NELLE
BANDE 694-790 MHz, 3600-3800 MHz e 26.5-27.5 GHz
OFFERTE DEL 02/10/2018**

FREQUENZA	PARTECIPANTE	IMPORTO	STATO
700 MHz blocco riservato	ILIAD ITALIA S.P.A.	€ 676.472.792,00	AGGIUDICATO
700 MHz blocco generico	VODAFONE ITALIA S.P.A.	€ 345.000.000,00	AGGIUDICATO
700 MHz blocco generico	TELECOM ITALIA S.P.A.	€ 340.100.000,00	AGGIUDICATO
700 MHz blocco generico	TELECOM ITALIA S.P.A.	€ 340.100.000,00	AGGIUDICATO
700 MHz blocco generico	VODAFONE ITALIA S.P.A.	€ 338.236.396,00	AGGIUDICATO
3700 MHz blocco specifico (80 MHz)	TELECOM ITALIA S.P.A.	€ 1.694.000.000,00	AGGIUDICATO
3700 MHz blocco generico (80 MHz)	VODAFONE ITALIA S.P.A.	€ 1.685.000.000,00	AGGIUDICATO
3700 MHz blocco generico (20 MHz)	WIND TRE S.P.A.	€ 483.920.000,00	AGGIUDICATO
3700 MHz blocco generico (20 MHz)	ILIAD ITALIA S.P.A.	€ 483.900.000,00	AGGIUDICATO
26 GHz blocco generico	TELECOM ITALIA S.P.A.	€ 33.020.000,00	AGGIUDICATO
26 GHz blocco generico	ILIAD ITALIA S.P.A.	€ 32.900.000,00	AGGIUDICATO
26 GHz blocco generico	FASTWEB S.P.A.	€ 32.600.000,00	AGGIUDICATO
26 GHz blocco generico	WIND TRE S.P.A.	€ 32.586.535,00	AGGIUDICATO
26 GHz blocco generico	VODAFONE ITALIA S.P.A.	€ 32.586.535,00	AGGIUDICATO
TOTALE GENERALE		€ 6.550.422.258,00	

Tec	Banda	UL [MHz]	DL [MHz]	3GPP Band #	Duplex
2G	900	880 - 915	925 - 960	8	FDD
	1800	1710 -1785	1805 -1880	3	FDD
3G	900	880 - 915	925 - 960	8	FDD
	2000	1920 -1980	2110 -2170	1	FDD
	2000	1900 -1920	1900 -1920	33	TDD
	2000	2010 - 2025	2010 - 2025	34	TDD
4G	800	832 - 862	791 - 821	20	FDD
	1400	---	1452-1492	32	FDD/CA
	1800	1710 -1785	1805 -1880	3	FDD
	2000	1920 -1980	2110 -2170	1	FDD
	2600	2500 -2570	2620 -2690	7	FDD
	2600	2570 -2620	2570 -2620	38	TDD
	3500	3400 - 3600	3400 - 3600	42	TDD
	3700	3600 - 3800	3600 - 3800	43	TDD
5G	700	703 - 748	758 - 803	n28	FDD
	3700	3300 - 3800	3300 - 3800	n78	TDD
	26GHz	26500 - 27500	26500 - 29500	n257	TDD

Potenziali vantaggi derivanti dall'uso delle onde centimetriche/millimetriche

Disponibilità di ampie porzioni di spettro, dell'ordine di centinaia di MHz

Data rate estremamente elevati (fino a 20 Gbit/s teorici di picco in ambiente *indoor* in *downlink*)

Ultra-densificazione della rete e riuso spaziale molto elevato grazie alle tecniche di «*beamforming*»;

Sviluppo flessibile con la possibilità di integrare rete di trasporto e accesso sulla stessa banda.

L'uso di onde centimetriche/millimetriche comporta costi potenzialmente elevati della tecnologia, alte attenuazioni e difficoltà legate alla penetrazione *indoor*, attenuabili dai guadagni di «*beamforming*», necessità di algoritmi robusti ed efficienti per il *track/search* dei fasci e complessa gestione del sistema che prevede numerose connessioni “direzionali”

Evoluzione tecnologie di trasmissione/modulazione

Interfaccia aerea scalabile basata su OFDM

- Gestione più efficiente dello spettro in presenza di differenti servizi
- Numerologia scalabile della portante OFDM

numerologia

Riferito alla formula per la spaziatura delle sottoportanti

$$NR: \Delta f = 15 \text{ kHz} * 2^n,$$

n : *numero* effettivo a cui si fa riferimento nelle numerologie delle parole

Evoluzione tecniche di codifica

Codifica avanzata dei canali per supportare in modo efficiente blocchi di dati di grandi dimensioni

Evoluzione tecnologie di trasmissione / modulazione

Numerologia: a differenza del LTE, dove l'unico valore consentito per la spaziatura di una sottoportante è 15 kHz, la tecnologia 5G supporta diverse numerologie, indicate dal parametro n .

Tale parametro può variare da 0 a 4 ed è strettamente legato alla spaziatura delle sottoportanti dalla formula $\Delta f = 15 \text{ kHz} * 2^n$

Di conseguenza, anche la durata del simbolo è collegata ad n , in quanto inversamente proporzionale a Δf .

$n=3$ e 4 sono riservati al segnale 5G nella banda mmWave.

La trama del segnale 5G può essere frazionata in part (*bandwidth parts*) che possono far riferimento a numerologie diverse (ad esempio per i canali di controllo e per i dati o per differenti tipologie di servizio)

Numerologia più elevata -> spaziatura portanti più ampia -> maggior numero di bit inviata nello stesso intervallo di tempo -> maggiore velocità di trasmissione

Struttura del frame: il frame 5G ha la medesima durata del frame LTE (10 ms) ed è sempre costituito da 10 subframes, ciascuno di durata 1 ms; mentre per il segnale LTE ogni subframe è sempre costituito da un numero fissato di simboli, per il segnale 5G tale numero dipende dalla numerologia. In generale, nella tecnologia 5G, uno slot è costituito da 14 simboli e il numero di slot contenuti in un subframe è 2^n .

Quindi si va da un minimo di 140 simboli per frame per $n=0$ (condizione analoga al segnale LTE) fino a un massimo di 2240 simboli per frame per $n=4$;

Duplexing FDD/TDD: analogamente alla tecnologia LTE, anche il 5G prevede due possibili modalità di accesso alla risorsa radio: Frequency Division Duplex (FDD) e Time Division Duplex (TDD).

La modalità TDD implementata nel 5G è analoga quella del segnale LTE con la possibilità di maggiori configurazioni e flessibilità.

Canali di controllo: la tecnologia 5G prevede un utilizzo più intelligente delle risorse radio, limitando l'emissione dei canali di segnalazione e controllo esclusivamente ad alcune finestre temporali.

Nel segnale LTE invece il Reference Signal è costantemente presente all'interno della trama.

I canali di segnalazione e controllo per il 5G sono del tutto analoghi a quelli del LTE ma sono compressi in una struttura chiamata SS-Block che viene trasmessa solo in specifiche locazioni di trama previste dallo standard.

La caratteristica peculiare del 5G di trasmettere la segnalazione in blocchi separati sta alla base del concetto di «beam sweeping», infatti i diversi SS-Blocks sono veicolati nello spazio mediante fasci che variano direzione nel tempo

Tecnologia MiMo e Massive MiMo

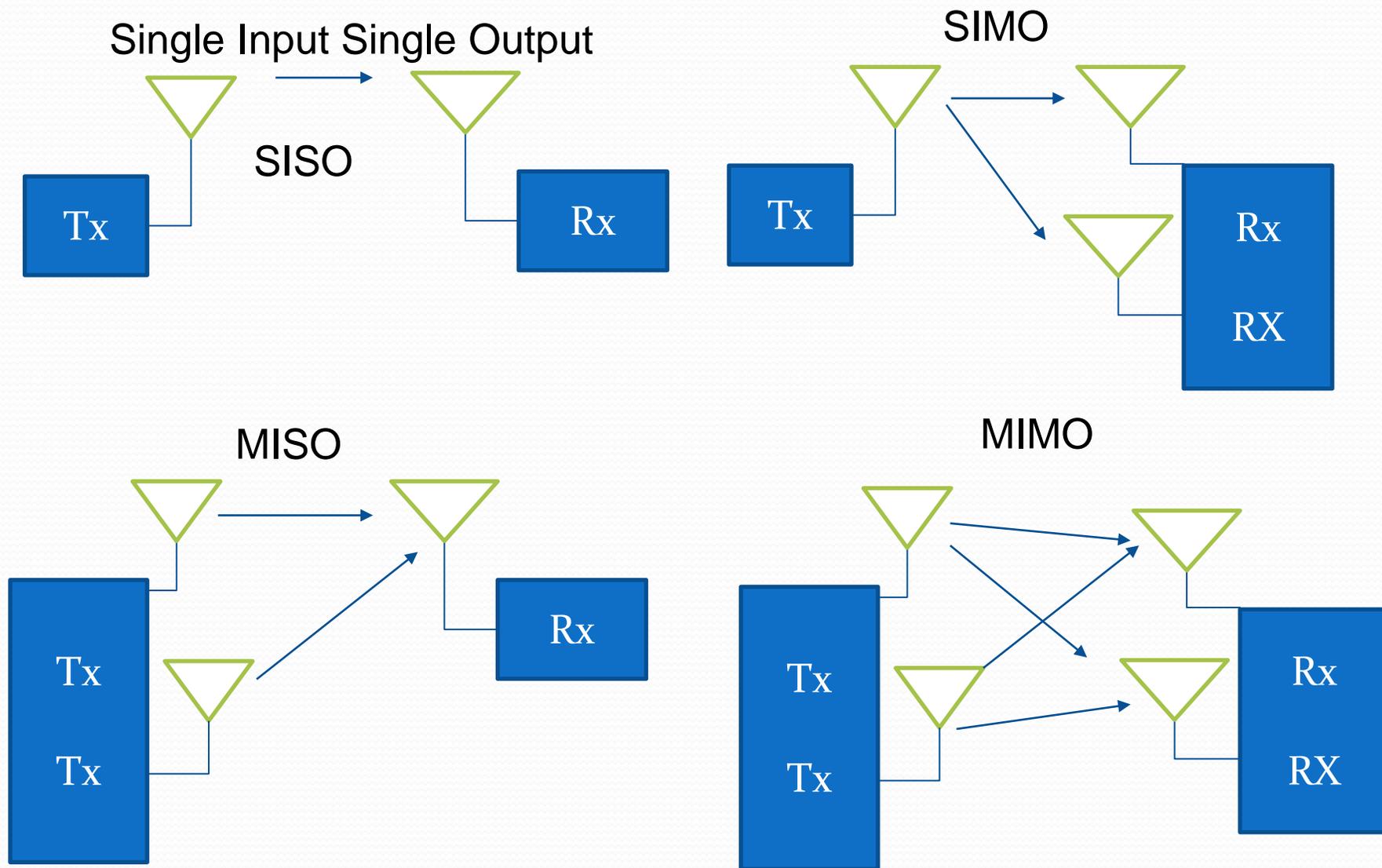
Sfrutta il «*multipath*», allo scopo di migliorare le prestazioni del canale di comunicazione e quindi aumentare la velocità del flusso dati della connessione wireless, l'efficienza spettrale (più bit al secondo per hertz di banda) e ottenere una più alta affidabilità del collegamento.

Beamforming

Tecnologia basata su schiere di antenne che, nella stazione radio base, possono arrivare ad avere da decine a centinaia di elementi, in modo da realizzare «fasci» di irradiazione stretti, tali da concentrare la potenza irradiata solo verso lo specifico terminale da raggiungere. In questo modo è anche possibile parallelizzare le trasmissioni aumentando sensibilmente la velocità del collegamento radio quando le condizioni del canale lo consentono.

Sarà possibile sfruttare al meglio questa funzione con le frequenze elevate, che permettono di ridurre le dimensioni delle antenne e dei fasci da queste irradiate.

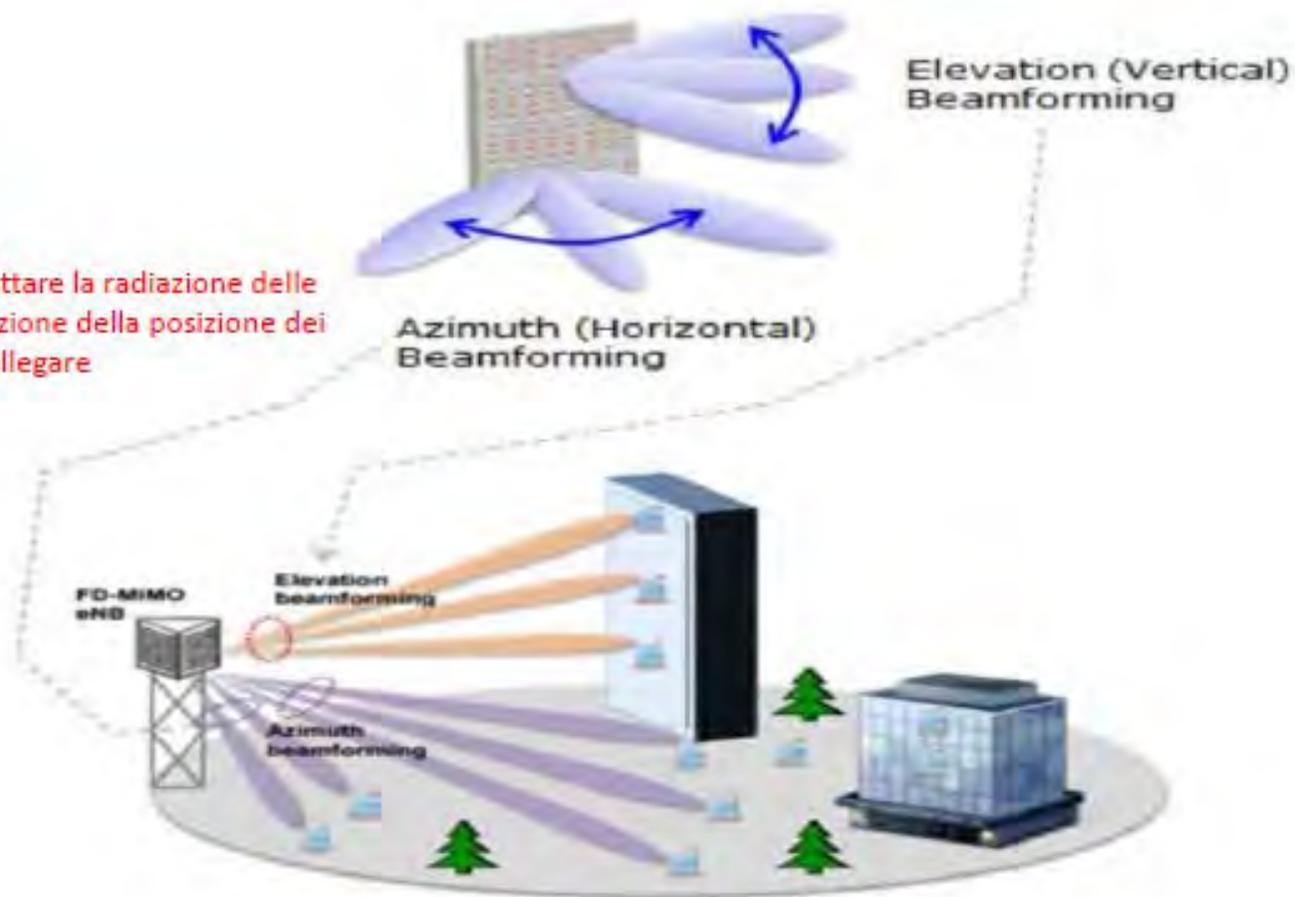
MIMO - Multiple Input Multiple Output



5G

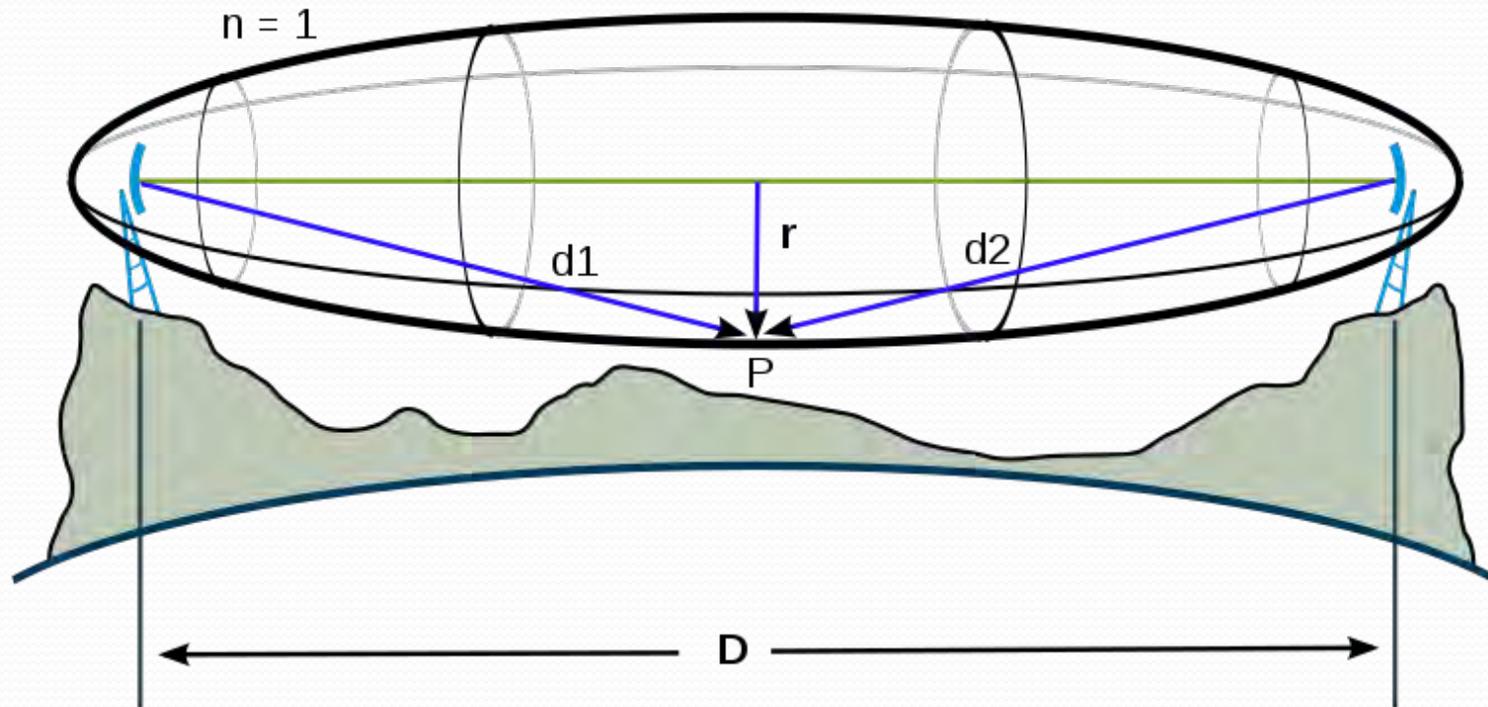
"multiple-input multiple-output": più antenne per collegarsi a più dispositivi wireless contemporaneamente

Beamforming
capacità di adattare la radiazione delle antenne in funzione della posizione dei terminali da collegare



ANNESSO TECNICO ALLA DELIBERA AGCOM N. 292/18/CONS

Ellissoide di Fresnel



frequenza (GHz)	distanza (km)	raggio F1 (m)
0.1	1	27.39
1	1	8.66
10	1	2.739
100	1	0.866

COME RIDURRE LA LATENZA: I FATTORI FONDAMENTALI

Lo standard 5G consente una forte riduzione della latenza sul collegamento di accesso radio in modo da supportare diversi servizi e requisiti in funzione della qualità del servizio (QoS).

In base al servizio è possibile configurare uno schema di trasmissione differente, grazie a: durata «scalabile» degli slot di trasmissione, aggregazione di slot e mini-slot, struttura di slot "self-contained" (ossia slot di trasmissione che contengono sia dati in downlink che in uplink), controllo del traffico e molto altro.

Sono necessari comunque collegamenti a grande capacità tra le stazioni radio base e tra queste e il «core network» in fibra ottica o FWA (Fixed Wireless Access), riducendo le distanze dei collegamenti

Ricordiamo che 1ms => **circa 300 km nel vuoto**
 => **circa 220 km in fibra ottica**

Questo implica che parte delle funzionalità della rete «core» devono necessariamente essere spostate ai margini della rete, vicino all'utente finale --> **EDGE COMPUTING**

EDGE COMPUTING

L'edge computing consiste nell'avvicinare la maggior parte delle risorse di calcolo ai margini della rete, invertendo il processo di centralizzazione attuale e utilizzando una rete più distribuita.

Si prevede lo spostamento di server e risorse di calcolo nella «periferia» della rete, sia per le aree altamente trafficate che per quelle rurali più lontane (con accesso limitato alla banda larga), in modo tale che le decisioni possano essere in tempo reale.

L'elaborazione viene effettuata presso la fonte dei dati o nelle sue vicinanze, senza dover fare affidamento sul «cloud» in uno dei tanti data center da remoto e quindi limitando lo scambio di informazioni con il «core» della rete.

Il «cloud» non scompare ma viene spostato verso l'utente finale, almeno per le funzioni che necessitano di bassa latenza.

NETWORK SLICING

"partizionamento verticale della rete»

Tipologia di architettura di rete che permette di definire, sulla medesima infrastruttura fisica, più reti logiche e/o virtuali indipendenti, in grado di funzionare contemporaneamente, come se avessero ognuna una rete fisica dedicata.

Ogni "fetta" di rete è a tutti gli effetti completa e «ritagliata» per soddisfare tutti i requisiti di una particolare applicazione.

Questa tecnologia è fondamentale per la rete 5G, concepita per supportare in modo efficiente un'ampia quantità di servizi con differenti requisiti di livello di servizio (*Service Level Requirement, SLR*).

NETWORK SLICING

"partizionamento verticale della rete»

La realizzazione si basa sui concetti di software-defined networking (SDN) e virtualizzazione delle funzioni di rete (Network Functions Virtualization, NFV) che consentono, con un elevato livello di automazione di implementare e gestire, come indipendenti, partizioni di rete flessibili e scalabili che si appoggiano sulla stessa infrastruttura fisica comune.

Gli apparati di rete non avranno più funzioni dedicate ma saranno costituiti da apparati «programmabili», in modo da svolgere differenti funzioni che potranno essere modificate in funzione dell'evoluzione della rete.

Sarà possibile acquisire licenze 5G limitate geograficamente e, ad esempio, creare reti virtuali separate all'interno di medesime infrastrutture/aree.

L'EVOLUZIONE DELLA SICUREZZA DI RETE

Tra gli obiettivi futuri, per la rete 5G, anche il miglioramento delle prestazioni in termini di sicurezza: crittografia con maggior robustezza, roaming sicuro e ottimizzato, miglioramento della sicurezza delle interconnessioni tra le diverse reti di telefonia mobile.

L'identificativo dei terminali verrà trasmesso solo in modo cifrato per eliminare, ad esempio, le minacce legate agli attacchi di "man in the middle".

Sistema di gestione dell'identità sicura che convalida l'autenticazione degli utenti sulla base della posizione geografica.

La maggior modularità del sistema dovrebbe consentire di implementare simultaneamente servizi e strutture dalle caratteristiche più differenti.

Per approfondire l'argomento consiglio di consultare, oltre al sito 3GPP per le specifiche, i vari siti internet dei produttori di apparati e quello del 5GPPP (<http://www.5g-ppp.eu/>) che riporta interessanti documenti su casi di studio, trial, ed approfondimenti su vari aspetti delle reti 5G.

Ad esempio, nel **“5G PPP use cases and performance evaluation models”** vengono illustrati casi d'uso e modelli sviluppati per una prima valutazione dei vari aspetti della rete di accesso radio 5G.

Comprende alcuni scenari 5G definiti dal punto di vista del servizio, requisiti, definizioni di indicatori chiave di prestazione (KPI) e modelli (ad esempio, di canale, traffico o mobilità degli utenti). Inoltre, gli approcci di valutazione delle prestazioni vengono confrontati con l'ultima versione del framework di valutazione delle prestazioni proposto nel progetto di partenariato di terza generazione (3GPP).

ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTRROMAGNETICI

Introduzione **Aspetti e principi generali**

La materia è costituita da particelle elementari, alcune dotate di carica elettrica

L'interazione elettromagnetica è una delle interazioni fondamentali nel modello standard della fisica basato sulla teoria quantistica dei campi che descrive tre delle quattro forze fondamentali note:

- interazione nucleare forte
- Interazione nucleare debole
- Interazione elettromagnetica

oltre alla forza di gravità.

L'elettromagnetismo studia le interazioni tra oggetti dotati di carica elettrica

La carica elettrica è quantizzata

La carica elettrica elementare è pari a quella dell'elettrone e vale $-1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

campo elettrico: perturbazione dello spazio causata da cariche elettriche
unità di misura Volt/metro (V/m)

campo magnetico: perturbazione dello spazio prodotto dal movimento di cariche elettriche unità di misura Ampere/metro (A/m)

campo elettromagnetico: combinazione di campo elettrico e campo magnetico variabile nel tempo che si propaga nello spazio caratterizzato in particolare da una frequenza (Hz) , il suo inverso è la lunghezza d'onda (m) ed una densità di potenza (Watt/m²)

EQUAZIONI DI MAXWELL

Teorema di Gauss

$$\Phi_S(\bar{E}) = \frac{Q_T}{\varepsilon_0}$$

Legge di Faraday-Neumann-Lenz

$$\Gamma_\gamma(\bar{E}) = 0$$

Teorema di Gauss

$$\Phi_S(\bar{B}) = 0$$

Teorema di Ampere generalizzato

$$\Gamma_\gamma(\bar{B}) = \mu_0 \sum_j I_j$$

E (campo elettrico) H (campo magnetico)

D (induzione elettrica) B (induzione) magnetica

J (densità corrente elettrica) sigma (densità carica elettrica)

completano la descrizione dei campi elettromagnetici

le leggi costitutive che legano campi ed induzioni

$$\bar{D} = \varepsilon \bar{E}$$

$$\bar{B} = \mu \bar{H}$$

Forza di Lorentz

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

La forza complessiva che un campo elettrico ed un campo magnetico esercitano su di una sorgente (carica o corrente) è descritta dalla formula di Lorentz

Le equazioni di Maxwell dimostrano un profondo legame tra campo elettrico e campo magnetico che non sono indipendenti ma due differenti modi di “manifestare” un’unica interazione: elettromagnetica

Se esiste una variazione di carica elettrica nel tempo esiste un campo magnetico (variabile) ma se esiste una variazione di flusso magnetico esiste una carica elettrica variabile come il campo magnetico

Una variazione nel tempo della carica elettrica genera un onda che si propaga “portando” nello spazio la variazione che l’ha generata con una velocità che dipende dal mezzo di propagazione

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

I campi elettromagnetici, descritti dalle equazioni di Maxwell, dipendono da:

Posizione nello spazio

Velocità di spostamento

Tempo di osservazione

In particolari condizioni/situazioni si manifestano proprietà più o meno preponderanti che ne evidenziano il comportamento come campo elettrico o come campo magnetico o come vera e propria radiazione di un'onda elettromagnetica.

È utile considerare casi particolari che permettono l'uso di tecniche approssimate di risoluzione.

In generale le caratteristiche di un campo/onda elettromagnetica dipendono da:

- Tipo di sorgente , dimensioni forma geometrica
- Mezzo di propagazione
- Distanza della sorgente
- Sistema “ricevente” cioè l'oggetto sul quale agisce il campo elettrico (dimensione e geometria)

Regione di campo vicino reattivo: immediate vicinanze della sorgente.

Le componenti reattive del campo elettromagnetico predominano su quelle radiative.

I fenomeni di propagazione di potenza sono molto ridotti (non è praticamente presente potenza irradiata) e le componenti reattive decadono molto rapidamente allontanandosi dalla sorgente.

Le componenti di campo elettrico e magnetico, dovute all'induzione magnetica ed elettrica, hanno configurazioni molto complesse, determinate dalle particolari strutture geometriche ed elettriche della sorgente.

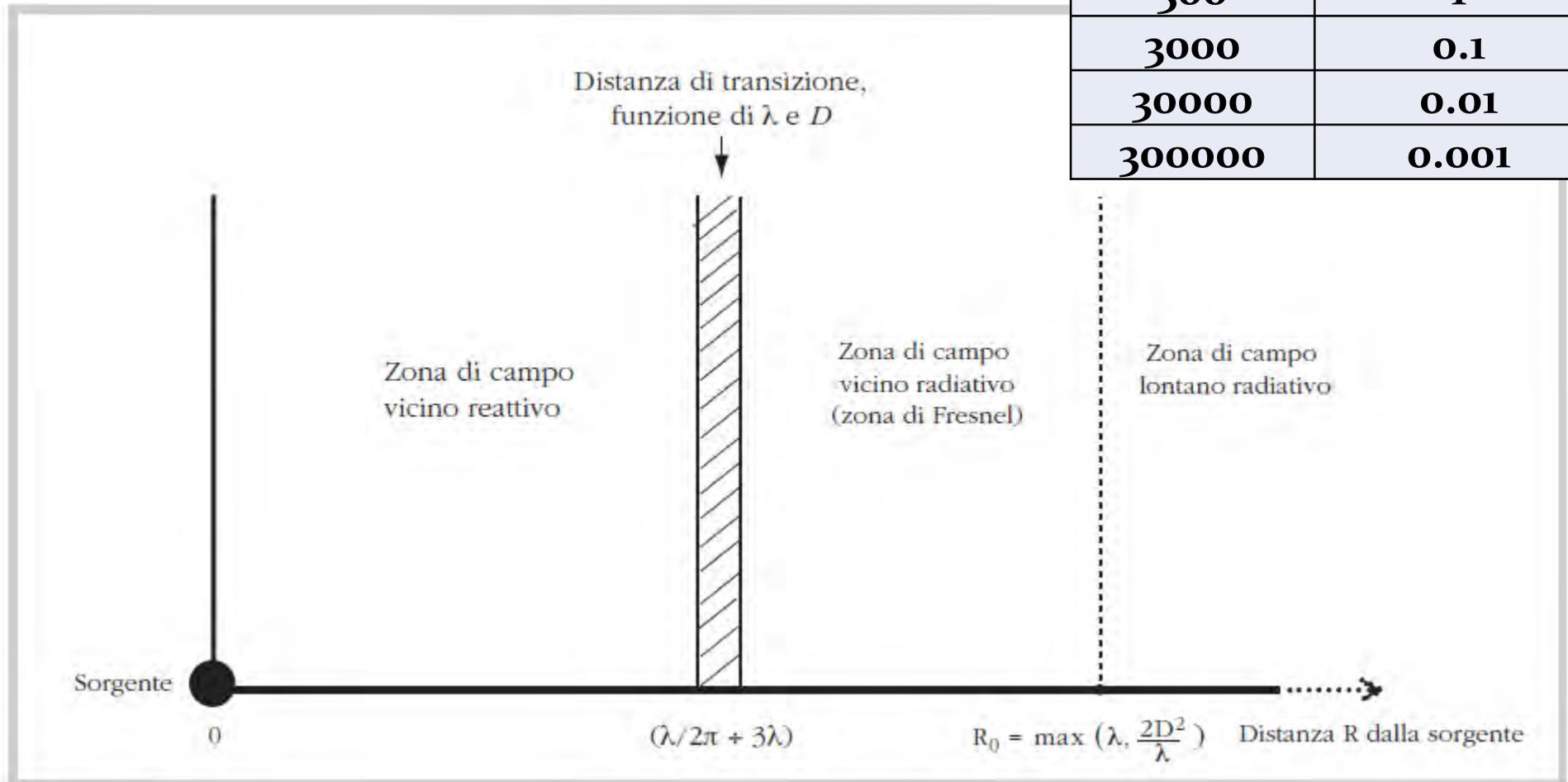
Regione di campo vicino radiativo: regione in cui comincia a formarsi il fascio di radiazione e a prendere consistenza il trasporto di potenza elettromagnetica ma ancora non si ha propagazione per onda piana.

In quest'area è presente un campo irradiato ma con una distribuzione ad andamento molto irregolare, con rapide variazioni di intensità.

Regione di campo lontano: il campo elettromagnetico si propaga per onde sferiche. Localmente è sempre possibile approssimare un'onda sferica mediante onda piana.

Il campo elettromagnetico è composto da distribuzioni uniformi delle intensità di campo elettrico e magnetico nello spazio, su piani perpendicolari tra loro ed ortogonali rispetto alla direzione di propagazione. Campo elettrico e magnetico sono in fase e le ampiezze sono legate da una relazione costante.

frequenza (MHz)	lunghezza d'onda (m)
3	100
30	10
300	1
3000	0.1
30000	0.01
300000	0.001



Onda piana

Ad ogni istante campo elettrico e magnetico assumono lo stesso valore in tutti i punti di ogni piano ortogonale alla direzione di propagazione. Ciascuno di questi piani rappresenta quindi il fronte d'onda ed è per questo motivo che l'onda viene chiamata piana

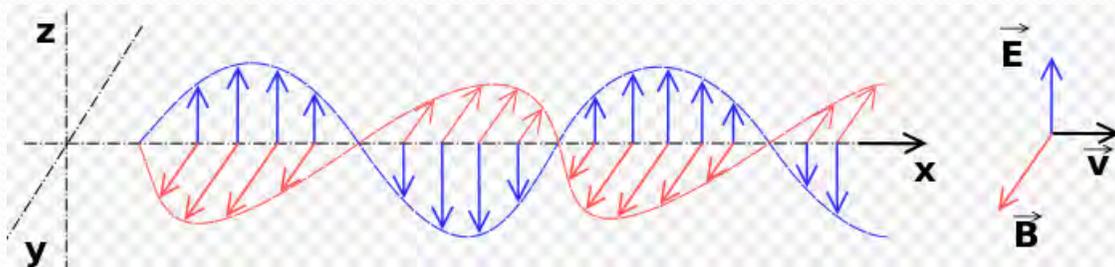
Campo elettrico e campo magnetico oscillano nello spazio e nel tempo in modo sinusoidale mantenendosi perpendicolari tra loro e con la direzione di propagazione; le loro intensità (moduli) sono legate da un rapporto costante, che nel vuoto vale circa 377 ohm

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cong 377 \ \Omega$$

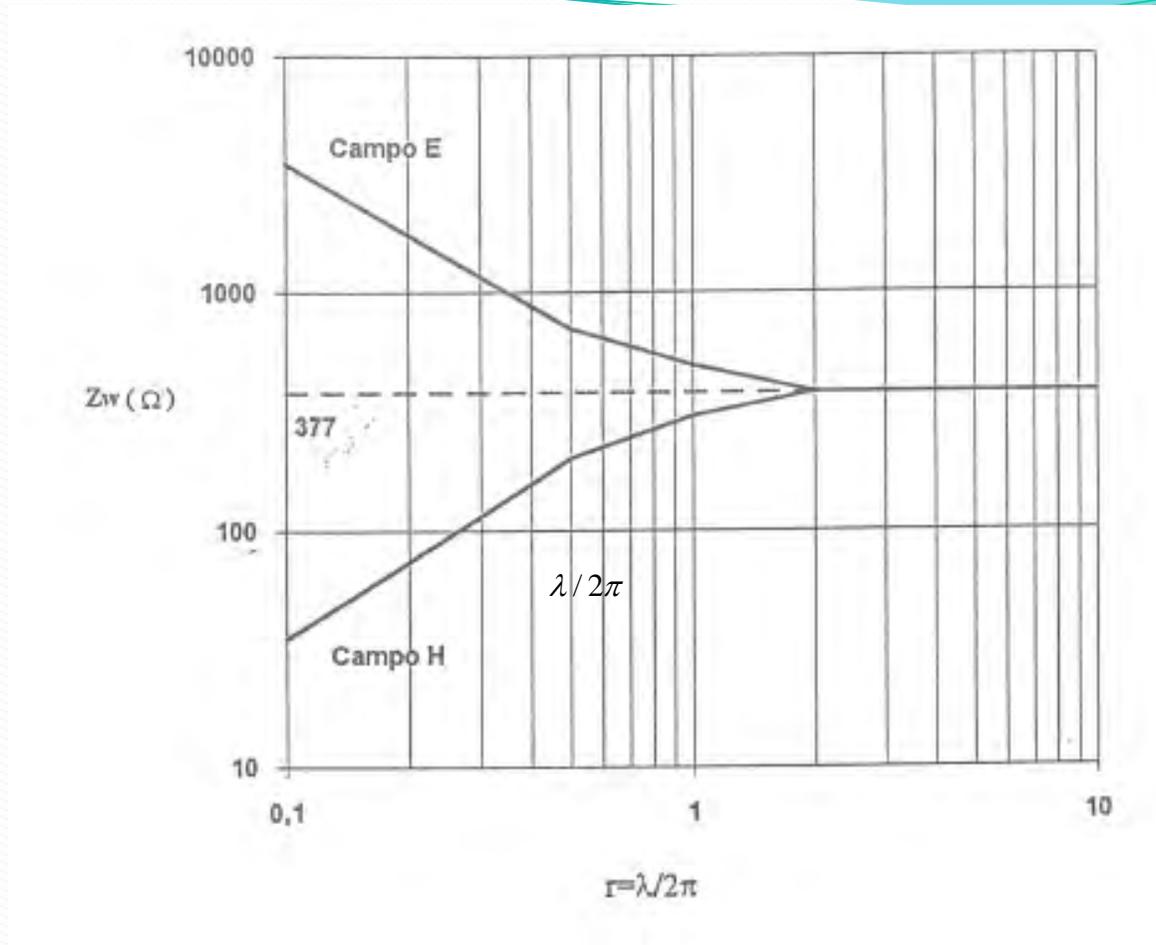
La velocità di propagazione nel vuoto coincide con quella della luce

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \simeq 2,99 \cdot 10^8 \ [m/s]$$

Tutte le frequenze sono possibili ma deve sempre aversi la relazione $\lambda f = c$ (λ = lunghezza d'onda)
La potenza trasportata da un onda piana vale $S = E \times H$



andamento generico di impedenza d'onda in funzione di frequenza e distanza dalla sorgente



Nella zona intermedia (r paragonabile al rapporto $\lambda/2\pi$) non è possibile utilizzare le semplificazioni viste ma è necessario risolvere in maniera corretta e completa le equazioni di Maxwell

Vettore di Poynting

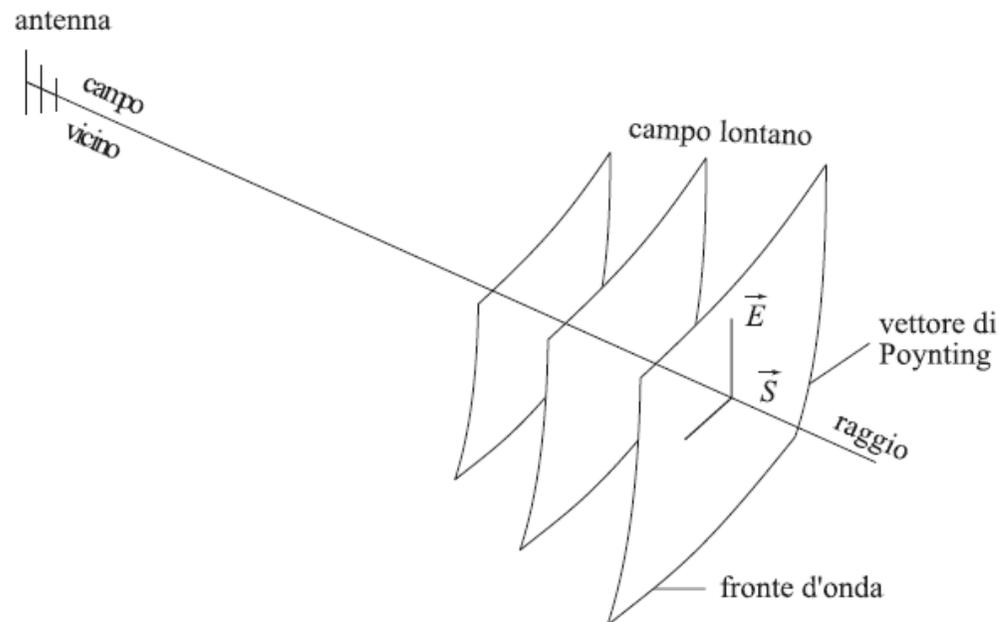
Alla propagazione del campo elettromagnetico corrisponde un trasporto di energia che avviene alla stessa direzione e con la velocità dei fronti d'onda

Fronte d'onda: luogo dei punti per i quali la grandezza considerata assume il medesimo valore

Il vettore di Poynting descrive il flusso di energia (energia per unità di superficie per unità di tempo) associato alla propagazione del campo elettromagnetico

Si misura in W/m^2

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$



L'onda elettromagnetica è un fenomeno sia ondulatorio che corpuscolare

Il fenomeno ondulatorio è descritto dalle equazioni di Maxwell

La natura corpuscolare (quantizzata) è descritta come un flusso di particelle (fotoni) che si propagano nel vuoto alla velocità della luce.

**Energia del fotone = frequenza moltiplicata per la costante di Planck (h)
(quanto d'azione)**

**costante di Planck (h) rappresenta la minima azione possibile (o elementare)
 $h=6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$**

L'energia per fotone corrisponde a circa $1,25 \times 10^{-3} \text{ eV}$ a 300 GHz e $4,1 \times 10^{10} \text{ eV}$ a 100 kHz (WHO, Environmental Health Criteria, 16, 1981).

SPETTRO ELETTROMAGNETICO

Lo spettro elettromagnetico viene tradizionalmente suddiviso in una sezione *ionizzante* (Ionizing Radiation o IR), comprendente raggi X e gamma, dotati di energia sufficiente per ionizzare direttamente atomi e molecole, e in una *non ionizzante* (Non Ionizing Radiation o NIR).

Le energie di soglia dei processi di ionizzazione sono dell'ordine degli elettronVolt ; la soglia tipica considerata per la suddivisione delle frequenze ionizzanti e non ionizzanti è definita pari a circa 12 eV, capace di ionizzare i fondamentali costituenti biologici e corrisponde ad una lunghezza d'onda di circa 100nm.

Atomo	Energia di ionizzazione	Lunghezza d'onda equivalente
Cesio	3,9 eV	318 nm
Carbonio	11,3 eV	110 nm
Idrogeno	13,6 eV	91 nm
Ossigeno	13,6 eV	91 nm
Azoto	14,5 eV	86 nm
Elio	24,6 eV	50 nm

RADIAZIONI IONIZZANTI

La caratteristica di una radiazione di poter ionizzare un atomo o di penetrare più o meno in profondità all'interno della materia non dipende solo dalla sua energia ma anche dal tipo di radiazione e dal materiale con il quale viene ad interagire.

Alcune possibili cause di generazione di radiazioni ionizzanti:

reazioni nucleari, altissime temperature, produzione di particelle ad alta energia negli acceleratori di particelle, accelerazione di particelle cariche da parte di campi elettromagnetici prodotti da processi naturali, dai fulmini alle esplosioni di supernove

.

Le radiazioni ionizzanti si possono dividere in due categorie principali:

direttamente ionizzanti: producono ioni in modo diretto

(particelle cariche, quali particelle α , β^- , β^+),

indirettamente ionizzanti: producono ioni in modo indiretto

(neutroni, raggi Gamma e raggi X , in generale le particelle elettricamente neutre) a queste vanno aggiunte le porzioni di radiazione ultravioletta di alta frequenza capaci di interagire con le molecole organiche essendo anche causa di tumore delle pelle

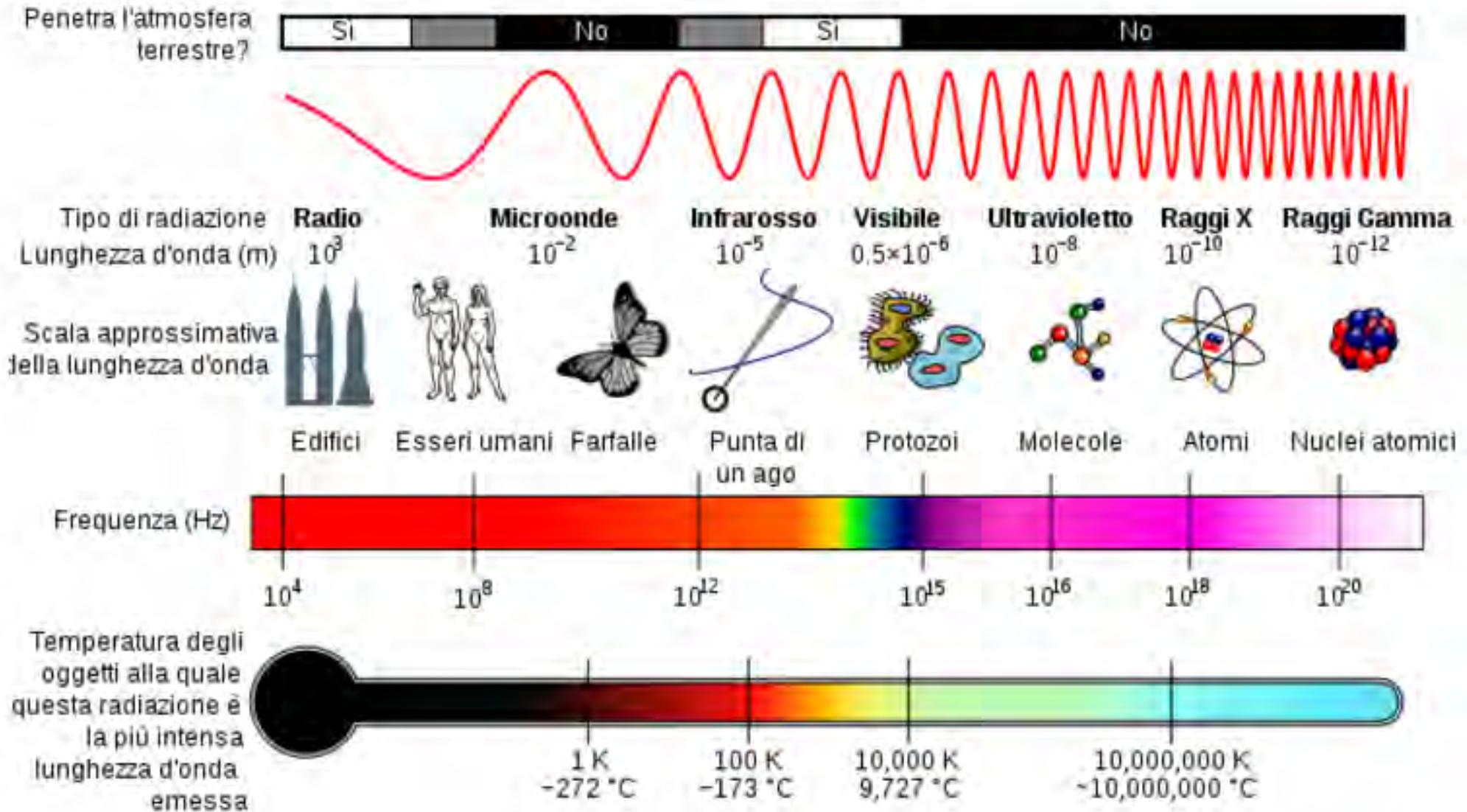
RADIAZIONI NON IONIZZANTI NIR (*Non-Ionizing Radiations*)

Qualunque tipo di radiazione elettromagnetica che non trasporta sufficiente energia per ionizzare atomi o molecole ovvero, per rimuovere completamente un elettrone da un atomo o molecola.

attraversando la materia, la radiazione elettromagnetica ha comunque sufficiente energia per eccitare il movimento di un elettrone ad uno stato energetico superiore.

Diversi effetti biologici vengono comunque osservati per differenti tipi di radiazioni non-ionizzanti.

Le radiazioni non ionizzanti sono, a loro volta suddivise in **sezione ottica** (300 GHz - 3×10^4 THz): luce visibile radiazione infrarossa, **radiazioni ultraviolette**, **sezione non ottica** (0 Hz – 300 GHz): microonde (MW), radiofrequenze (RF), campi elettrici e magnetici a frequenza estremamente bassa (ELF: Extremely Low Frequency), fino ai campi elettrici e magnetici statici



INTERAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI CORPO UMANO

Correnti elettriche molto piccole esistono naturalmente nel corpo umano e sono parte essenziale delle normali funzioni fisiologiche

I segnali nervosi si basano sulla trasmissione di impulsi elettrici

La maggior parte delle reazioni biochimiche (dalla digestione all'attività cerebrale) comporta processi elettrici è pertanto inevitabile che un aumento del livello di esposizione ai campi elettromagnetici possa produrre effetti anche sull'uomo.

Ma quali effetti? Al di sopra di quali livelli e dopo quanto tempo questi possono produrre effetti sanitari?

INTERAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI CORPO UMANO

Campi elettrici a bassa frequenza influenzano la distribuzione delle cariche elettriche in corpi conduttori (in particolare in superficie) e provocano flussi di corrente nel corpo

Campi magnetici a bassa frequenza inducono la circolazione di correnti all'interno del corpo umano, se sufficientemente elevate queste possono causare la stimolazione di nervi e muscoli

Alle radiofrequenze i campi penetrano per minor profondità nel corpo, l'energia è trasformata in movimento dando luogo, in particolare, ad aumento della temperatura

Il corpo umano si comporta come una antenna ricevente e l'energia assorbita è massima quando la sua altezza è intorno a $\frac{1}{4}$ della lunghezza d'onda

Analogamente anche per singoli organi deve essere fatta attenzione alle singole frequenze di risonanza e/o maggior assorbimento

INTERAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI CORPO UMANO

meccanismi accertati di interazione campi elettromagnetici con la materia biologica

effetti diretti in quanto risultato di un'interazione diretta dei campi con il corpo umano possono essere di natura termica o non termica si manifestano al di sopra di specifiche soglie di induzione

- induzione di correnti nei tessuti elettricamente stimolabili
- cessione di energia con rialzo termico

Alle frequenze più basse e fino a circa 1 MHz, prevale l'induzione di correnti elettriche nei tessuti elettricamente stimolabili, come nervi e muscoli.

Aumentando la frequenza diventa sempre più significativa la cessione di energia nei tessuti attraverso il rapido movimento oscillatorio di ioni e molecole di acqua, con lo sviluppo di calore e riscaldamento.

A frequenze superiori a circa 10 MHz, quest'ultimo effetto è l'unico a permanere, e al di sopra di 10 GHz, l'assorbimento è esclusivamente a carico della cute.

effetti indiretti: interferenze con attrezzature e altri dispositivi medici elettronici

INTERAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI CORPO UMANO

Gli effetti biologici come risposta degli organismi ad uno stimolo ambientale fanno parte della normale attività umana e non sono necessariamente dannosi per la salute

In taluni casi però il corpo umano ed i suoi organi potrebbero non possedere meccanismi di compensazione sufficienti a mitigare le variazioni o le sollecitazioni ambientali

L'esposizione ad un certo fattore se prolungata nel tempo, anche se di modesta entità, potrebbe alla lunga tradursi in un effetto sanitario

Effetto sanitario: risultato di un effetto biologico che provochi un danno osservabile alla salute o al benessere degli individui esposti

Il rispetto dei limiti raccomandati dalle linee guida nazionali ed internazionali dovrebbe garantire di tenere sotto controllo i rischi di esposizione che potrebbero essere dannosi per la salute

INTERAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI CORPO UMANO

La maggior parte degli eventuali effetti avversi considerati compaiono immediatamente (es. aritmie, contrazioni muscolari, ustioni, malfunzionamento pacemaker e dispositivi elettronici impiantati etc.), ma alcuni, come la cataratta o la sterilità maschile, essendo conseguenza di un meccanismo cumulativo, possono manifestarsi a distanza di tempo.

Per eventuali effetti a lungo termine, quali ad esempio quelli cancerogeni, i dati scientifici disponibili non sono stati finora ritenuti sufficienti a comprovare un nesso di causalità, solo per le basse frequenze è stata in qualche modo riconosciuta un'alta probabilità di leucemie infantili.

Classificazione IARC per i campi elettromagnetici

<https://www.iarc.who.int/>

Campo magnetico a bassa frequenza e Campo elettromagnetico ad alta frequenza:
Gruppo 2B possibilmente cancerogeno per l'uomo

Campo elettrico a bassa frequenza e campo elettrico e magnetico statico
Gruppo 3 non classificabile come cancerogeno per l'uomo

Anche se non sono stati finora ritenuti sufficienti i dati scientifici disponibili a comprovare un nesso di causalità per gli effetti a lungo termini, in particolare per gli effetti cancerogeni, esistono molti studi che prendono in considerazione in vario modo l'argomento

Tra i più recenti e significativi la ricerca dell'Istituto Ramazzini di Bologna, relativa alla valutazione dell'esposizione umana ai livelli di radiazioni a radiofrequenza (RFR) prodotti da ripetitori e trasmettitori per la telefonia mobile e lo studio del National Toxicologic Program (USA) incentrato in particolare sull'eventuale effetto dell'uso dei terminali mobili.

Entrambi gli studi avrebbero rilevato un aumento statisticamente significativo nello sviluppo dello stesso tipo di tumori maligni molto rari del cuore nei ratti maschi trattati e del cervello nelle femmine

<https://www.ramazzini.org/>

<https://ntp.niehs.nih.gov/>

GRANDEZZE DOSIMETRICHE

Densità di corrente (A/m^2) 1 Hz - 10 MHz

Corrente che fluisce attraverso una sezione unitaria di superficie perpendicolare alla sua direzione, in volume di un conduttore

Corrente (A) 1 Hz – 100 MHz

SAR tasso di assorbimento specifico 100 kHz – 10 GHz (W/kg)

Energia assorbita dall'unità di massa di tessuto nell'unità di tempo

SA Assorbimento Specifico 100 MHz – 10 GHz (J/kg)

Energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico

Densità di potenza (W/m^2) 10 GHz – 300 GHz

SAR Specific Absorption Rate **Tasso di assorbimento specifico**

Grandezza fondamentale definita allo scopo di valutare l'eventuale rischio biologico e quindi sanitario

Dipende da tutti i fattori che possono influenzare l'assorbimento

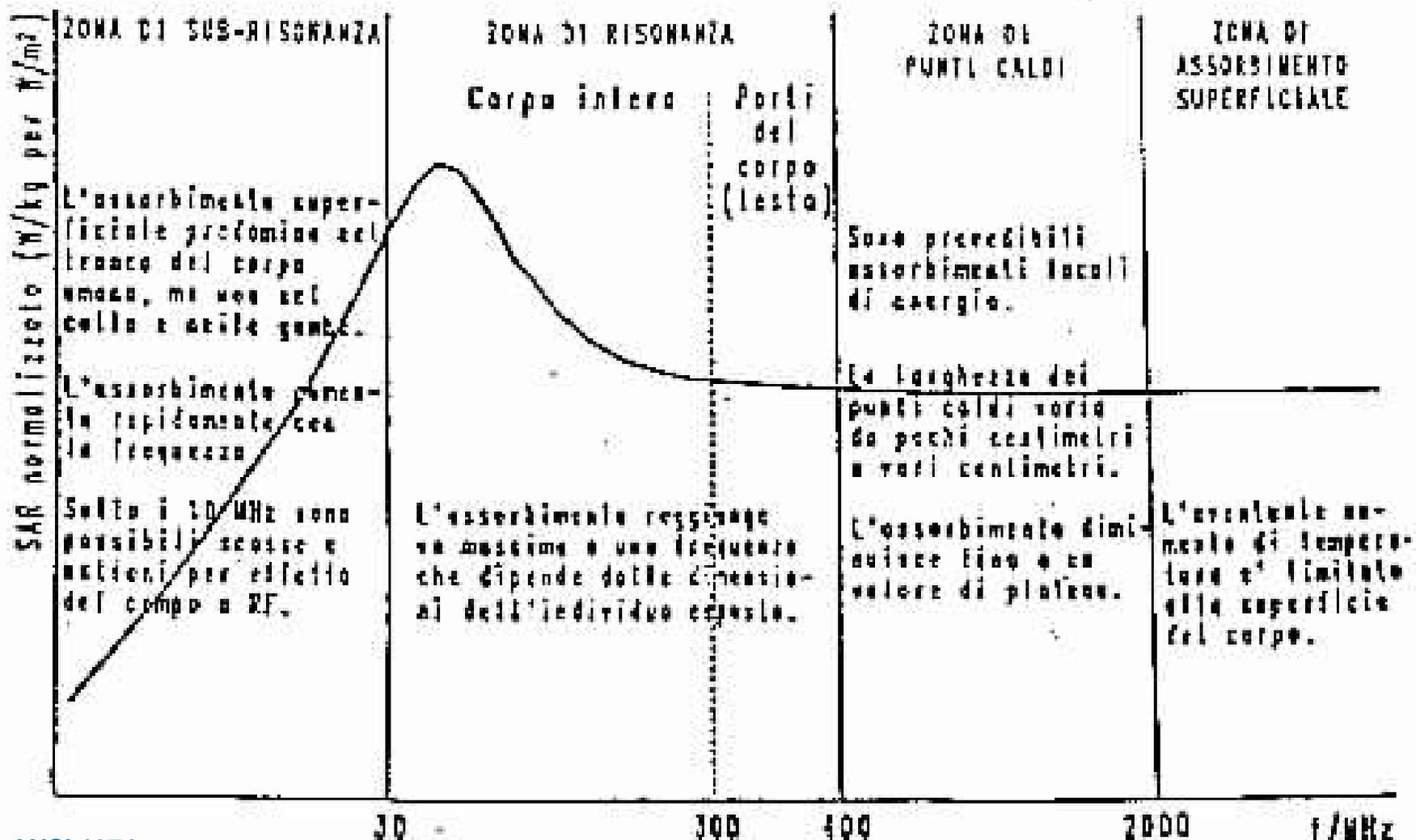
Parametri campo incidente: frequenza, intensità, modulazione, distribuzione di campo, potenza delle sorgenti, polarizzazione, configurazione sorgente-organismo irradiato (in caso di campo vicino)

Caratteristiche del corpo esposto: dimensioni, geometria, proprietà dielettriche dei vari tessuti

Effetto suolo e riflettente di altri oggetti esposti

SAR riferita al corpo umano

ASSORBIMENTO DI ENERGIA NEGLI ORGANISMI VIVENTI



Rif. ANSI 1974

SAR riferita al corpo umano

- a) ZONA DI SUB-RISONANZA (frequenze inferiori a 30 MHz): predomina l'assorbimento per il tronco umano, ma non per il collo e le gambe; l'energia assorbita aumenta rapidamente all'aumentare della frequenza. Sotto i 10 MHz sono possibili scosse e ustioni per effetto del campo a RF.
- b) ZONA DI RISONANZA (da 30 a 400 MHz): l'assorbimento raggiunge un massimo ad una frequenza che dipende dalle dimensioni dell' individuo esposto , da 30 a 300 MHz risuona l' intero corpo , da 300 a 400 MHz risuonano solo alcune parti del corpo quali la testa.
- c) ZONA DI PUNTI CALDI (da 400 MHz a 2-3 GHz): l'assorbimento significativo di energia localizzata è prevedibile ad una densità di potenza incidente di circa 100 W/m².L'assorbimento di energia diminuisce quando la frequenza aumenta , fino ad arrivare ad un valore fisso e la larghezza della zona degli hot spot va da diversi centimetri (a 915 MHz) a circa 1 cm (a 3 Ghz).
- d) ZONA DI ASSORBIMENTO SUPERFICIALE (frequenze superiori a 2 GHz): l'eventuale aumento di temperatura è limitato alla superficie del corpo.

Rif. ANSI 1974

Utilizzato in particolare per i terminali mobili il limite SAR raccomandato dal Consiglio dell'Unione Europea è 2,0 W/kg su 10 grammi di tessuto corporeo (4,0 W/kg su 10 grammi di tessuto per gli arti - mani, polsi, caviglie e piedi).

I test per i rilevamenti SAR sono condotti usando posizioni operative standard specificate dal consiglio dell'UE con il dispositivo in trasmissione al suo più alto livello di potenza certificato su tutte le bande di frequenza collaudate.

CEI EN 62209 Esposizione ai campi a radiofrequenza provenienti da dispositivi di comunicazione senza fili tenuti in mano o montati sul corpo – Modelli umani, strumentazione e procedure

Parte 1: Procedura per determinare il tasso di assorbimento specifico (SAR) per i dispositivi tenuti vicini all'orecchio (gamma di frequenza: 300 MHz - 6 GHz)

Parte 2: Procedura per determinare il tasso di assorbimento specifico (SAR) per dispositivi portatili di comunicazione senza fili usati molto vicini al corpo umano (gamma di frequenza: 30 MHz - 6 GHz)

Parte 3: Sistemi basati su misure vettoriali (Intervallo di frequenza da 600 MHz a 6 GHz)

RIFERIMENTI INTERNAZIONALI

I singoli paesi stabiliscono le proprie normative di riferimento per le esposizioni ai campi elettromagnetici; la maggior parte di basa sulle linee guida prodotte da organismi internazionali quali ad esempio

ICNIRP Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti Organizzazione non governativa riconosciuta dall'OMS che valuta risultati e studi scientifici da tutto il mondo

<https://www.icnirp.org/>

<https://www.icnirp.org/en/publications/article/rf-guidelines-2020.html>

ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS (100 KHZ TO 300 GHz)

WHO World Health Organization

Home/Health topics/Electromagnetic fields

https://www.who.int/health-topics/electromagnetic-fields#tab=tab_1

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones>

**IEEE International Committee on Electromagnetic Safety
Technical Committee 95***

IEEE Std C95.1TM-2019 “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz”

ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS (100 KHZ TO 300 GHZ) - 2020

Prime linee guida ICNIRP 1998, integrate/aggiornate nel 2010 per quanto riguarda la parte da 100 kHz a 10 MHz e quindi aggiornate nel 2020 per tenere conto delle più recenti informazioni innovazioni

Fanno riferimento agli effetti acuti a breve termine definendo un livello di soglia che potrebbe potenzialmente corrispondere ad effetti biologici nocivi
Considerando le incertezze dei dati scientifici per stabilire i valori limite di riferimento vengono introdotti dei fattori di riduzione per il principio di precauzione

10 per lavoratori professionalmente esposti

50 per la popolazione in generale

Non rientra tra gli obiettivi di questi studi l'eventuale interferenza e/o effetto con apparati elettromedicali impiantati ecc.

Principio di precauzione

Generalmente applicato quando esiste un alto grado di incertezza scientifica e si devono intraprendere azioni di fronte ad un rischio potenzialmente grave

Definito nel trattato di Maastricht come «l'adozione di azioni prudenti quando vi è sufficiente evidenza (ma non necessariamente la prova assoluta) che l'inazione potrebbe portare ad un danno e quando le azioni possono essere giustificate in base a ragionevoli valutazioni di costo-efficacia»

Nel 2000 la Commissione Europea ha definito delle regole per la sua applicazione
Le misure basate sul principio di precauzione dovrebbero essere

- Proporzionate al livello di protezione scelto
- Non discriminatorie nella loro applicazione
- Coerenti con misure simili già adottate
- Basate su un esame dei potenziali benefici e costi dell'azione o della mancanza di azione (compresa, se appropriata e fattibile una analisi costi/benefici)
- Soggette a revisione, alla luce dei nuovi dati scientifici
- In grado di assegnare precise responsabilità per la produzione dei dati scientifici necessari per una più completa valutazione del rischio

DIFFERENZE TRA L'ICNIRP (2020) E LE LINEE GUIDA PRECEDENTI

<https://www.icnirp.org/en/differences.html>

«Le linee guida precedenti erano basate sugli effetti nocivi sulla salute che avevano dimostrato di essere causati dall'esposizione a campi elettromagnetici RF. L'ICNIRP (2020) ha utilizzato lo stesso approccio, e in effetti esiste ora una notevole quantità di letteratura che ha confermato che l'esposizione a campi elettromagnetici RF entro le restrizioni dell'ICNIRP (1998) non causa effetti negativi sulla salute.»

«Sono state introdotte ulteriori restrizioni per tenere conto di situazioni in cui le restrizioni dell'ICNIRP (1998) non avrebbero adeguatamente tenuto conto dei nuovi sviluppi tecnologici, come gli aspetti delle tecnologie 5G; sono state apportate modifiche alle restrizioni esistenti per migliorare la precisione sulla base dei progressi scientifici dal 1998, come una conoscenza più accurata della relazione tra la media spaziale dell'esposizione e l'aumento della temperatura»

<https://www.icnirp.org/en/rf-faq/index.html>

Cosa consigliare ai Paesi che hanno adottato le linee guida ICNIRP del 1998 per i CEM RF?

Le linee guida ICNIRP del 1998 offrono protezione nei confronti delle attuali applicazioni commerciali dei campi elettromagnetici a RF. Tuttavia, le nuove linee guida hanno incorporato una serie di rilevanti integrazioni e modifiche, in particolare per le frequenze superiori a 6 GHz in cui opereranno le future tecnologie 5G; queste integrazioni e modifiche comportano una riduzione dell'intensità massima dell'esposizione localizzata che una persona può ricevere. Ciò è particolarmente importante poiché, non sapendo come si svilupperanno le tecnologie 5G in futuro, è necessario adottare un sistema di protezione più stringente per garantire che non si verificheranno danni.

Le nuove linee guida ICNIRP del 2020 forniscono protezione per le esposizioni a corpo intero al di sopra dei 6 GHz, garantiscono che le esposizioni di breve durata non siano sufficienti a causare danni e, diminuendo l'area su cui si devono mediare le esposizioni locali al di sopra dei 6 GHz, riducono l'esposizione locale massima; pertanto, esse forniscono un sistema di protezione molto più completo e preciso. Di conseguenza, e in particolare in relazione agli sviluppi tecnologici attuali e futuri come il 5G, si raccomanda vivamente che i Paesi si aggiornino alle nuove linee guida ICNIRP del 2020.

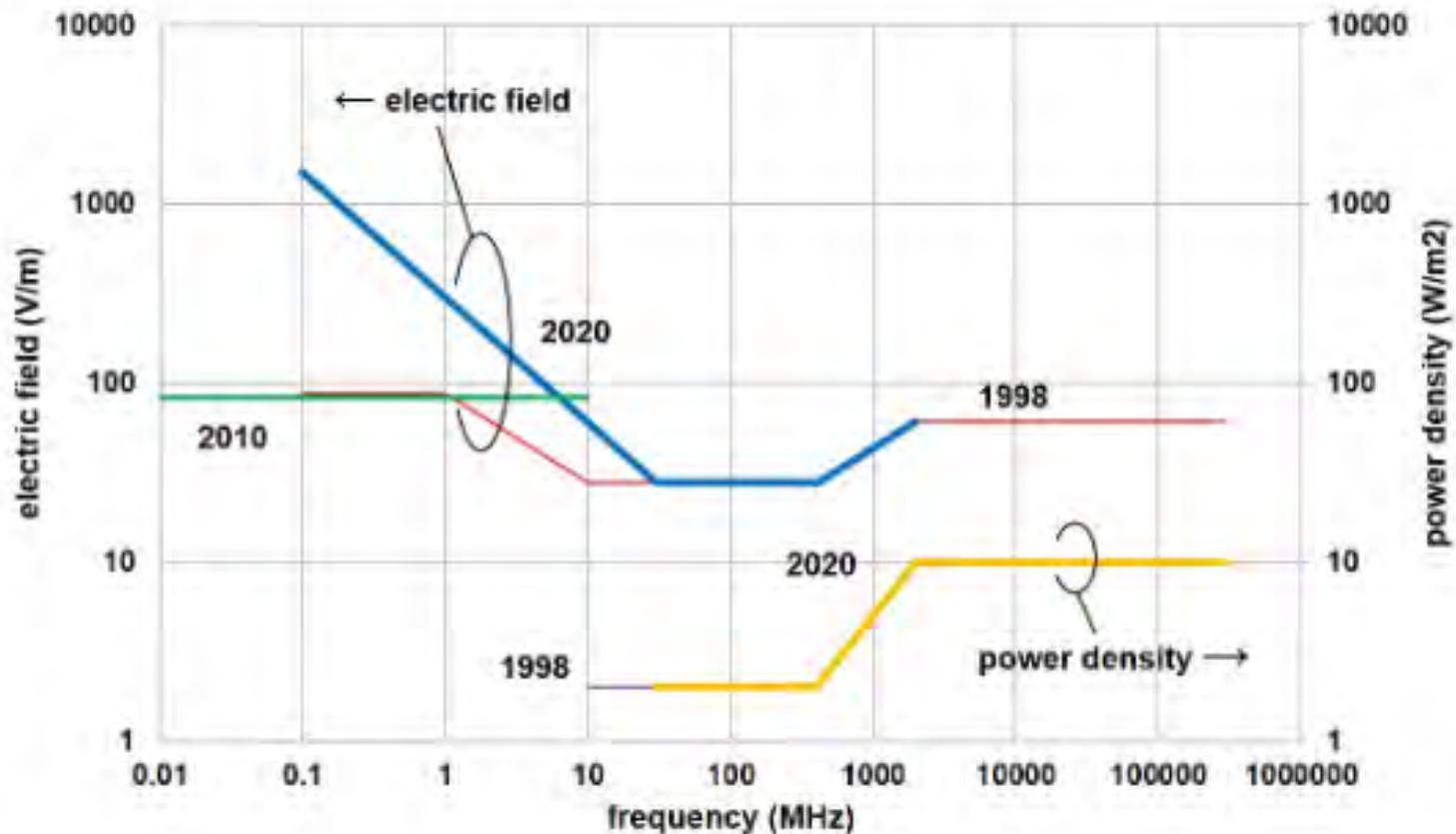


Figura 1. Livelli di riferimento medi dell'intero corpo per il pubblico in generale per le linee guida ICNIRP (1998), ICNIRP (2010) e ICNIRP (2020), per la gamma di frequenza da 100 kHz a 300 GHz. Si noti che le unità dei due assi y (cioè campo elettrico e densità di potenza) sono indipendenti l'una dall'altra.

<https://www.icnirp.org/en/differences.html>

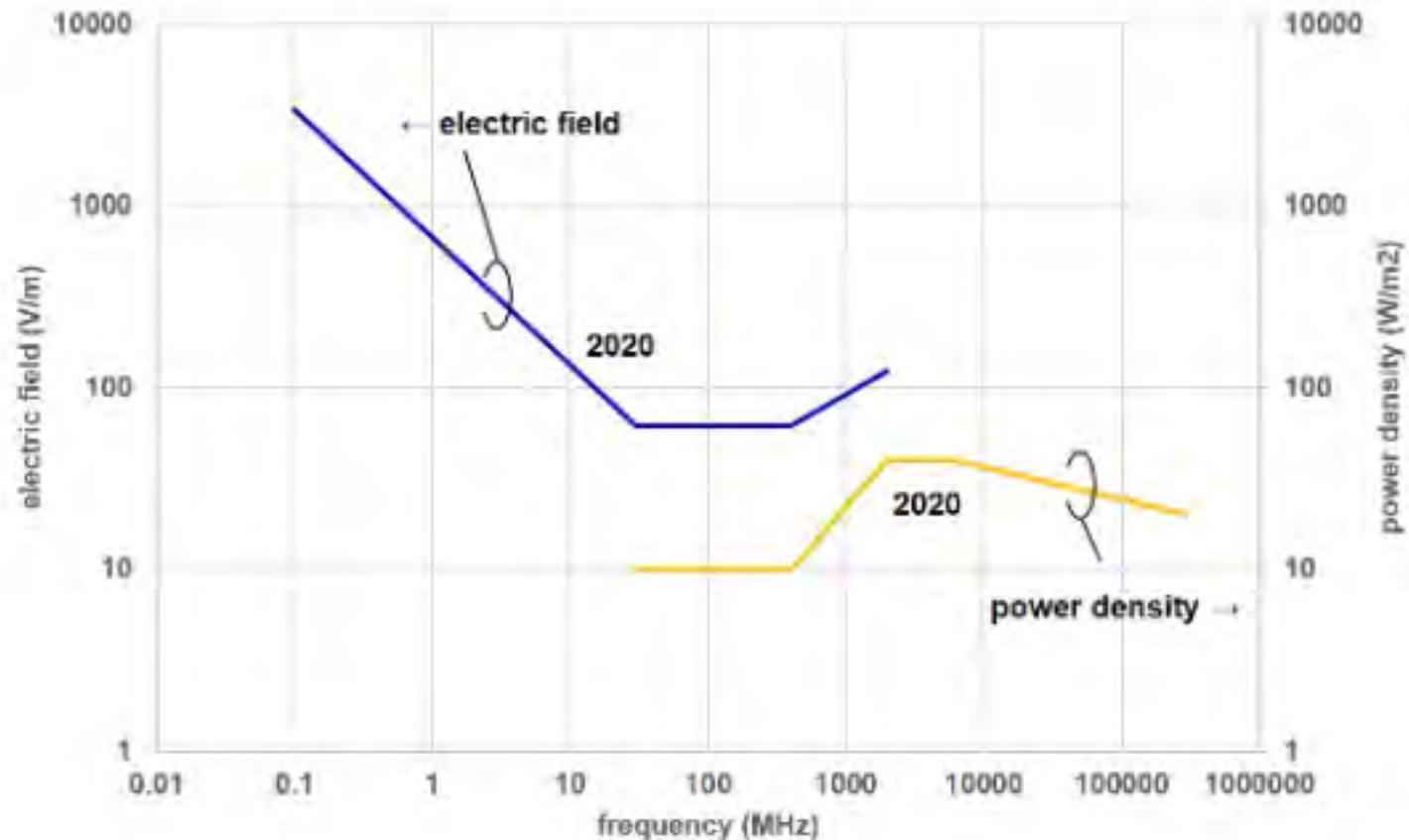


Figura 2. Livelli di riferimento per il pubblico in generale che si applicano a esposizioni locali ≥ 6 min per le linee guida ICNIRP (2020), per la gamma di frequenza da 100 kHz a 300 GHz. I livelli di riferimento dell'esposizione locale non sono stati forniti nelle linee guida ICNIRP (1998) e ICNIRP (2010). Si noti che le unità dei due assi y (cioè campo elettrico e densità di potenza) sono indipendenti l'una dall'altra. <https://www.icnirp.org/en/differences.html>

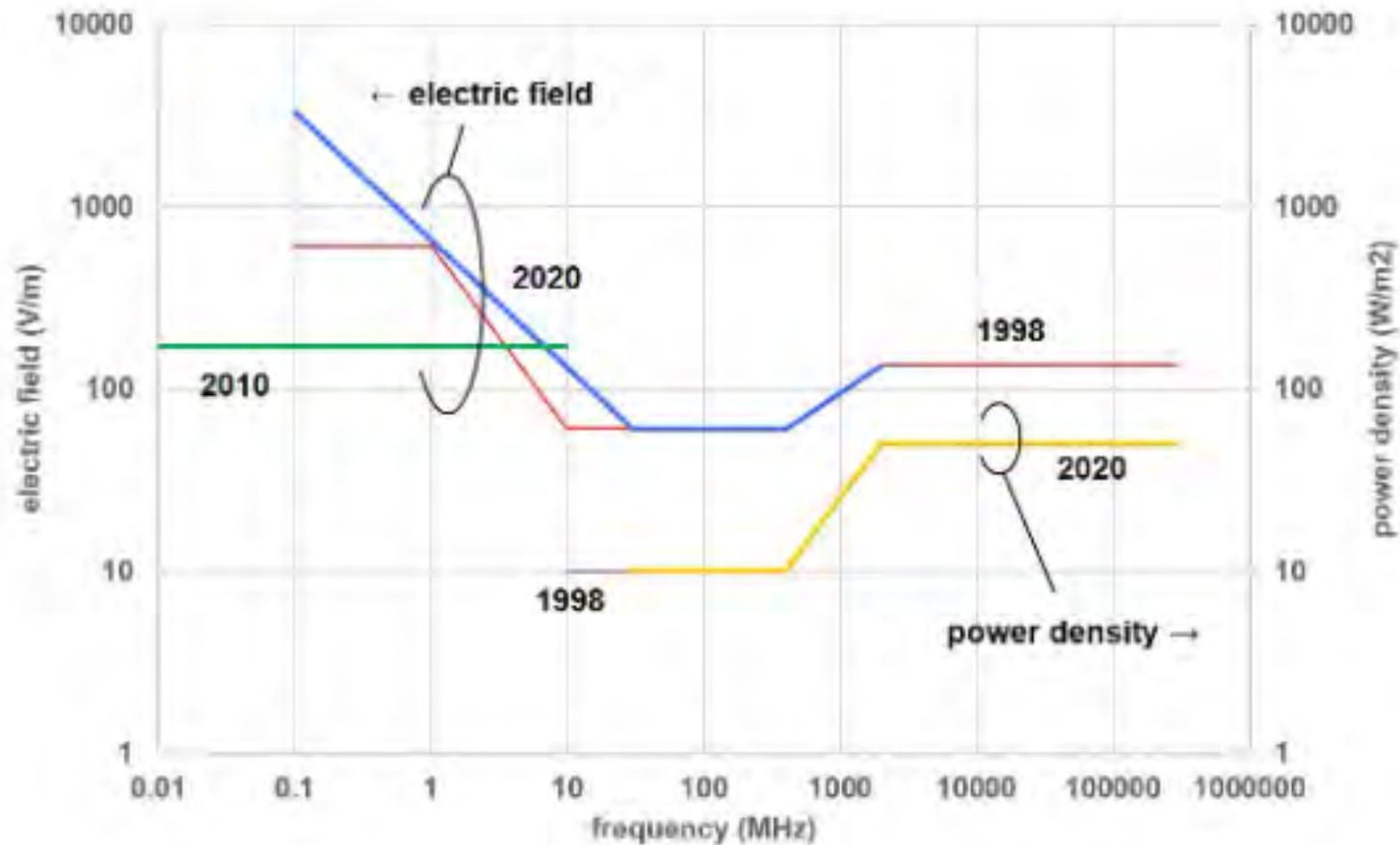


Figura 3. Livelli di riferimento medi dell'intero corpo per i lavoratori per le linee guida ICNIRP (1998), ICNIRP (2010) e ICNIRP (2020), per la gamma di frequenza da 100 kHz a 300 GHz. Notare che le unità dei due assi y (cioè campo elettrico e densità di potenza) sono indipendenti l'una dall'altra.

<https://www.icnirp.org/en/differences.html>

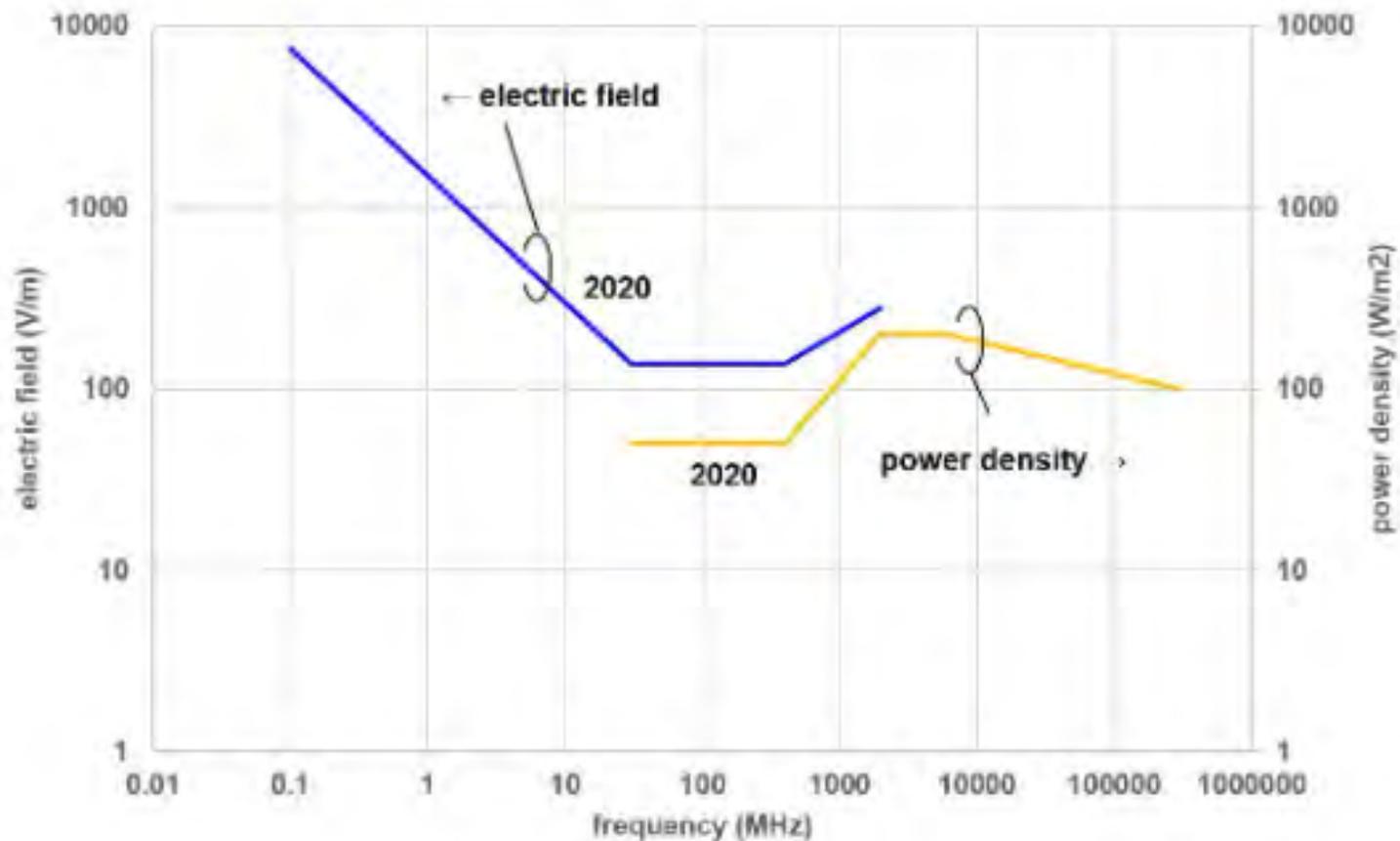


Figura 4. Livelli di riferimento per i lavoratori che si applicano a esposizioni locali ≥ 6 min per le linee guida ICNIRP (2020), per la gamma di frequenza da 100 kHz a 300 GHz. I livelli di riferimento dell'esposizione locale non sono stati forniti nelle linee guida ICNIRP (1998) e ICNIRP (2010). Si noti che le unità dei due assi y (cioè campo elettrico e densità di potenza) sono indipendenti l'una dall'altra.

<https://www.icnirp.org/en/differences.html>

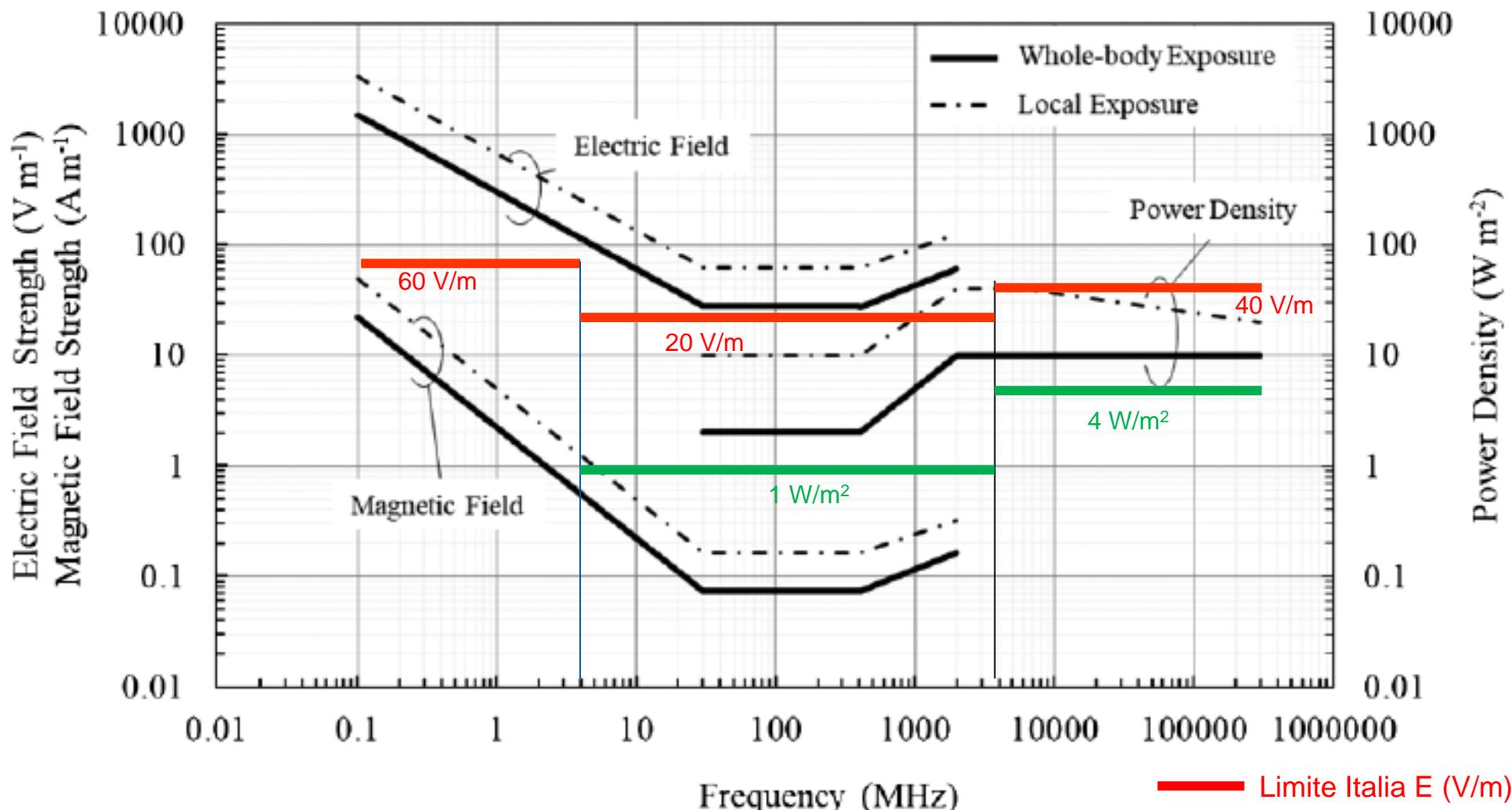


FIGURE 2. Reference levels for time averaged general public exposures of ≥ 6 min, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values; see Tables 5 and 6 for full specifications).

— Limite Italia E (V/m)
 — Limite Italia Densità di potenza W/m²

Table 5. Reference levels for exposure, averaged over 30 min and the whole body, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values).^a

Exposure scenario	Frequency range	Incident E-field strength; E_{inc} ($V\ m^{-1}$)	Incident H-field strength; H_{inc} ($A\ m^{-1}$)	Incident power density; S_{inc} ($W\ m^{-2}$)
Occupational	0.1 – 30 MHz	$660/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	61	0.16	10
	>400 – 2000 MHz	$3f_M^{0.5}$	$0.008f_M^{0.5}$	$f_M/40$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	50
General public	0.1 – 30 MHz	$300/f_M^{0.7}$	$2.2/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	27.7	0.073	2
	>400 – 2000 MHz	$1.375f_M^{0.5}$	$0.0037f_M^{0.5}$	$f_M/200$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	10

Table 6. Reference levels for local exposure, averaged over 6 min, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values).^a

Exposure scenario	Frequency range	Incident E-field strength; E_{inc} ($V\ m^{-1}$)	Incident H-field strength; H_{inc} ($A\ m^{-1}$)	Incident power density; S_{inc} ($W\ m^{-2}$)
Occupational	0.1 – 30 MHz	$1504/f_M^{0.7}$	$10.8/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	139	0.36	50
	>400 – 2000 MHz	$10.58f_M^{0.43}$	$0.0274f_M^{0.43}$	$0.29f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	200
	>6 – <300 GHz	NA	NA	$275/f_G^{0.177}$
	300 GHz	NA	NA	100
General public	0.1 – 30 MHz	$671/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	62	0.163	10
	>400 – 2000 MHz	$4.72f_M^{0.43}$	$0.0123f_M^{0.43}$	$0.058f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	40
	>6 – 300 GHz	NA	NA	$55/f_G^{0.177}$
	300 GHz	NA	NA	20

^a Notes:

RACCOMANDAZIONE DEL CONSIGLIO del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE)

LIMITI DI BASE

Per specificare i limiti di base relativi ai campi elettromagnetici, a seconda della frequenza, sono utilizzate le seguenti grandezze fisiche (quantità dosimetriche/esposimetriche):

- fra 0 e 1 Hz sono stati definiti limiti di base per l'induzione magnetica relativamente ai campi magnetici statici (0 Hz) e per l'intensità di corrente relativamente ai campi variabili nel tempo fino a 1 Hz, al fine di evitarne effetti sul sistema cardiovascolare e sul sistema nervoso centrale,
- fra 1 Hz e 10 MHz sono stati definiti limiti di base per l'intensità di corrente, in modo da evitare effetti sulle funzioni del sistema nervoso,
- fra 100 kHz e 10 GHz sono stati definiti limiti di base per il SAR, in modo da evitare lo stress da calore su tutto il corpo e l'eccessivo riscaldamento localizzato dei tessuti. Nell'intervallo di frequenza compreso fra 100 kHz e 10 MHz, i limiti di base previsti si riferiscono sia all'intensità di corrente che al SAR,
- fra 10 GHz e 300 GHz sono stati definiti limiti di base per la densità di potenza al fine di evitare il riscaldamento dei tessuti della superficie del corpo o in prossimità della stessa. I limiti di base indicati nella tabella 1 sono stabiliti in modo da tener conto delle incertezze connesse con la sensibilità individuale delle condizioni ambientali e delle differenti età e condizioni di salute fra i membri della popolazione.

RACCOMANDAZIONE DEL CONSIGLIO del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE)

**Limiti di base per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
(0 Hz-300 GHz)**

Gamma di frequenza	Densità di flusso magnetico (mT)	Densità di corrente (mA/m ²) (rms)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (capo e tronco) (W/kg)	SAR localizzato (arti) (W/kg)	Densità di potenza S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1-4 Hz	—	8/f	—	—	—	—
4-1 000 Hz	—	2	—	—	—	—
1 000 Hz-100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10-300 GHz	—	—	—	—	—	10

DM 381/1998 "Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana", G.U. 3 novembre 1998, n. 257

Linee Guida Applicative del DM 381/98

Legge quadro 22 febbraio 2001 – n. 36

"Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n.55

Art. 2. (Ambito di applicazione)

1. La presente legge ha per oggetto gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possano comportare l'esposizione dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz. In particolare, la presente legge si applica agli elettrodotti ed agli impianti radioelettrici compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti per radiodiffusione.
2. Le disposizioni della presente legge non si applicano nei casi di esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici. Agli apparecchi ed ai dispositivi di uso domestico, individuale e lavorativo si applicano esclusivamente le disposizioni di cui agli articoli 10 e 12 della presente legge.

DPCM 8 luglio 2003 - "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz", G.U. 28 agosto 2003, n. 199

ALLEGATO B

Tabella 1	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Limiti di esposizione			
0,1 < f ≤ 3 MHz	60	0,2	-
3 < f ≤ 3000 MHz	20	0,05	1
3 < f ≤ 300 GHz	40	0,01	4

Tabella 2	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Valori di attenzione			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

Tabella 3	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Obiettivi di qualità			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

D. Lgs 259 2003 – Codice delle comunicazioni elettroniche e succ. modificazioni

Art. 87 - Procedimenti autorizzatori relativi alle infrastrutture di comunicazione elettronica per impianti radioelettrici

Art. 87-bis Procedure semplificate per determinate tipologie di impianti

Art. 87-ter - Variazioni non sostanziali degli impianti

Art. 87 quater – Impianti temporanei di telefonia mobile

Modulistica - Allegato n. 13 (artt. 87 e 88)

DL179/2012 testo coordinato con legge 221/2012

introduzione indicazioni misurazioni e valutazioni, in particolare sulle 24 ore per obiettivo di qualità e valore di attenzione, introduzione fattori di riduzione della potenza e assorbimento edifici

DM 2/12/2014 – linee guida fattore di riduzione della potenza

DM 5/10/2016 – valori assorbimento delle strutture degli edifici

DM 7/12/2016 – linee guida sulle pertinenze esterne delle abitazioni

DM 31/3/2017 – catasto sorgenti radioelettriche

DECRETO-LEGGE 6 luglio 2011, n. 98 Disposizioni urgenti per la stabilizzazione finanziaria art. 35 - commi 4 e 4bis.

4. Al fine di agevolare la diffusione della banda ultralarga in qualsiasi tecnologia e di ridurre i relativi adempimenti amministrativi, sono soggette ad autocertificazione di attivazione, da inviare contestualmente all'attuazione dell'intervento all'ente locale e agli organismi competenti ad effettuare i controlli di cui all'articolo 14 della legge 22 febbraio 2001, n. 36, le installazioni e le modifiche, ivi comprese le modifiche delle caratteristiche trasmissive degli impianti di cui all'articolo 87-bis del codice di cui al decreto legislativo 1° agosto 2003, n.259, degli impianti radioelettrici per trasmissione punto-punto e punto-multipunto e degli impianti radioelettrici per l'accesso a reti di comunicazione ad uso pubblico con potenza massima in singola antenna inferiore o uguale a 10 watt e con dimensione della superficie radiante non superiore a 0,5 metri quadrati.

((4-bis. Ai medesimi fini indicati al comma 4, l'installazione e l'attivazione di apparati di rete caratterizzati da una potenza massima trasmessa in uplink inferiore o uguale a 100 mW, e da una potenza massima al connettore di antenna, in downlink, inferiore o uguale a 5 W, e aventi un ingombro fisico non superiore a 20 litri, possono essere effettuate senza alcuna comunicazione all'ente locale e agli organismi competenti ad effettuare i controlli di cui all'articolo 14 della legge 22 febbraio 2001, n. 36)).

Regione MARCHE - Legge regionale 30 marzo 2017, n. 12

Disciplina regionale in materia di impianti radioelettrici ai fini della tutela ambientale e sanitaria della popolazione.

Art. 10 - (Criteri localizzativi)

1. Nella localizzazione degli impianti radioelettrici disciplinati da questa legge si osservano i seguenti criteri:

- a) gli impianti per l'emittenza radiofonica e televisiva sono posti in via prioritaria in zone non edificate;
- b) gli altri tipi di impianti sono posti in via prioritaria su edifici o in aree di proprietà pubblica;
- c) l'installazione degli impianti disciplinati da questa legge su ospedali, case di cura e di riposo, scuole di ogni ordine e grado, asili nido, parchi gioco, aree verdi attrezzate ed impianti sportivi, e loro relative pertinenze è vietata;**
- d) la localizzazione di impianti per emittenza radiofonica e televisiva sugli edifici destinati a permanenze di persone non inferiore a quattro ore è vietata;
- e) ..(abrogato))
- f) l'accorpamento degli impianti su strutture di supporto comuni o quantomeno all'interno di siti comuni, ottimizzando l'utilizzo delle aree che ospitano gli impianti stessi, è favorito, qualora comporti una razionalizzazione della distribuzione degli impianti ed una migliore tutela ambientale e sanitaria della popolazione.

2. In deroga a quanto previsto dalla lettera c) del comma 1, è consentito installare impianti diversi da quelli per emittenza radiofonica e televisiva negli impianti sportivi e nei parcheggi degli ospedali qualora il centro elettrico sia almeno 15 metri più alto del piano di calpestio più elevato entro un raggio di 100 metri in pianta.

3. I criteri di cui al comma 1 non trovano altresì applicazione per gli impianti radioelettrici per trasmissione punto-punto e per gli impianti dedicati ad emergenze sanitarie e di protezione civile.

LEGGE 11 settembre 2020, n. 120 Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76, recante misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale. (20G00139)

Art. 38

Comma 6.

All'articolo 8, della legge 22 febbraio 2001, n. 36, il comma 6 e' sostituito dal seguente: "6. I comuni possono adottare un regolamento per assicurare il corretto insediamento urbanistico e territoriale degli impianti e minimizzare l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici con riferimento a siti sensibili individuati in modo specifico, con esclusione della possibilità di introdurre limitazioni alla localizzazione in aree generalizzate del territorio di stazioni radio base per reti di comunicazioni elettroniche di qualsiasi tipologia e, in ogni caso, di incidere, anche in via indiretta o mediante provvedimenti contingibili e urgenti, sui limiti di esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, sui valori di attenzione e sugli obiettivi di qualità, riservati allo Stato ai sensi dell'articolo 4."

Alcune norme/guide di riferimento per l'alta frequenza

ANPA RTI CTN_AGF 1/2000 "Guida tecnica per la misura dei campi elettromagnetici compresi nell'intervallo di frequenza 100 kHz - 3 GHz in riferimento all'esposizione della popolazione"

CEI 111-1 Esposizione umana ai campi elettromagnetici ad alta frequenza
Rapporto informativo

CEI 211-7 (A-B-C-D-E) -"Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 Ghz, con riferimento all'esposizione umana"

in particolare *Appendice E: Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G, 5G)*

CEI 211-10 e Cei 211 -10 V1"Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza - con le varie appendici.

CEI EN 62232

Determinazione della intensità di campo elettromagnetico a radiofrequenza (RF), della densità di potenza e del tasso di assorbimento specifico (SAR) per valutare l'esposizione umana in prossimità di stazioni radio base

CEI IEC TR 62669 luglio 2020

Casi di studio a supporto della Norma IEC 62232 – Determinazione dell'intensità di campo RF, della densità di potenza e del SAR in prossimità delle stazioni radio di base per la valutazione dell'esposizione umana

... Le metodologie e gli approcci descritti in questo documento sono utili per la valutazione dei primi prodotti 5G introdotti per la sperimentazione o la distribuzione ai consumatori. ...

Delibera-SNPA-69_20

Le richieste di nuovi impianti o riconfigurazione di impianti esistenti in cui vengano utilizzate antenne con tecnologia mMIMO, devono contenere:

- potenza massima in antenna P_{max}

- diagramma di irradiazione nella specifica configurazione hardware e software di esercizio, costituito dall'involuppo risultante a partire dai possibili diagrammi di irradiazione sintetizzabili dall'antenna attiva mMIMO

Per i lavoratori professionalmente esposti

DIRETTIVA 2013/35/UE recepita con Decreto Legislativo 1 AGOSTO 2016 N.159 (GU N. 192 del 18-8-2016) che ha opportunamente modificato ed integrato il Titolo VIII Capo IV del D.lgvo 81/08.

1. Al decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, sono apportate le seguenti modificazioni:

a) l'articolo 206 è sostituito dal seguente: «Art. 206 (*Campo di applicazione*).

1. Il presente capo determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz) , come definiti dall'articolo 207, durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti biofisici diretti e agli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici.

2. I Valori limite di esposizione (VLE) stabiliti nel presente capo riguardano soltanto le relazioni scientificamente accertate tra effetti biofisici diretti a breve termine ed esposizione ai campi elettromagnetici.

3. Il presente capo non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.

NB: per questi aspetti segnalo, tra gli altri, il sito web: www.portaleagentifisici.it contenente molta documentazione sull'argomento

Art. 207 (Definizioni).

...

- d) **"Valori limite di esposizione (VLE)"**, valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare sulla base degli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti;
- e) **"VLE relativi agli effetti sanitari"**, VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute, quali il riscaldamento termico o la stimolazione del tessuto nervoso o muscolare;
- f) **"VLE relativi agli effetti sensoriali"**, VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi transitori delle percezioni sensoriali e a modifiche minori nelle funzioni cerebrali;
- g) **"valori di azione (VA)"**, livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate nel presente capo. Nell'allegato XXXVI, parte II:
 - 1) per i campi elettrici, per "VA inferiori" e "VA superiori" s'intendono i livelli connessi alle specifiche misure di protezione o prevenzione stabilite nel presente capo;
 - 2) per i campi magnetici, per "VA inferiori" s'intendono i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali e per "VA superiori" i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sanitari.)

*VA per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ambientali
a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz*

Intervallo di frequenza	VA (E) per l'intensità del campo elettrico [V/m] (RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica [μT] (RMS)	VA (S) per la densità di potenza [W/m ²]
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^2$	$2,0 \times 10^6 / f$	—
$1 \leq f < 10 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^8 / f$	$2,0 \times 10^6 / f$	—
$10 \leq f < 400 \text{ MHz}$	61	0,2	—
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	$3 \times 10^{-3} f^{1/2}$	$1,0 \times 10^{-5} f^{1/2}$	—
$2 \leq f < 6 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	—
$6 \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	50

Nota B1-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota B1-2: i $[VA (E)]^2$ e $[VA (B)]^2$ devono essere mediati per ogni periodo di sei minuti. Nel caso di segnali impulsivi a radiofrequenza, la densità di potenza di picco (vale a dire mediata sulla durata dell'impulso) non deve superare di 1000 volte il valore di $VA (S)$ tabellato. Per campi a frequenze multiple l'analisi è basata sulla sommatoria dei contributi, descritta nelle norme tecniche di riferimento e negli strumenti tecnici e specialistici per la riduzione dei livelli di rischio di cui all'articolo 28, comma 3 -ter .

Nota B1-3: i $VA (E)$ e $VA (B)$ sono intesi come valori massimi calcolati o misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. Ciò comporta una valutazione dell'esposizione conservativa e, alla conformità rispetto a detti valori massimi, consegue la conformità automatica ai VLE in tutte le condizioni di esposizione non uniformi. Al fine di semplificare la valutazione della conformità ai VLE, negli strumenti tecnici e specialistici per la riduzione dei livelli di rischio di cui all'articolo 28, comma 3 -ter , del presente decreto potranno essere indicati, sulla base di una dosimetria consolidata, criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati in specifiche condizioni non uniformi, da utilizzare al posto del criterio del valore massimo spaziale. Qualora si tratti di una sorgente molto localizzata, distante pochi centimetri dal corpo, il campo elettrico interno (in situ), e la conformità ai VLE, possono essere determinati caso per caso mediante dosimetria.

Nota B1-4: il rispetto del $VA (S)$ per la densità di potenza deve essere garantito in termini di valore medio per ogni superficie corporea esposta di 20 cm^2 , con la condizione aggiuntiva che la densità di potenza mediata su ogni superficie di 1 cm^2 non superi il valore di 1000 W/m^2 . Le densità di potenza a frequenze comprese tra 6 e 10 GHz devono inoltre essere mediate per ogni periodo di sei minuti. Al di sopra di 10 GHz la densità di potenza deve essere mediata su periodi di $68/f^{1,05}$ minuti (dove f è la frequenza in GHz) per tenere conto della graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza.



**Aspetti della tecnologia 5G che sembrano spaventare di più
l'opinione pubblica in relazione all'impatto elettromagnetico**

Spazio per domande/risposte ed eventuali approfondimenti

Alcuni aspetti da approfondire e possibili fonti di preoccupazione

Frequenze millimetriche per copertura del territorio ed applicazioni indoor ed utilizzo di queste frequenze anche da parte dei terminali mobili: queste frequenze sono solitamente utilizzate per collegamenti in ponti radio punto-punto che per definizione non devono «intercettare» ostacoli, non esiste una «storia» per quanto riguarda l'eventuale impatto sull'uomo

Modalità di valutazione dei livelli di campo elettromagnetico in relazione a Massive-MIMO e beamforming che rendono maggiormente variabile nello spazio e nel tempo i livelli di campo elettromagnetico

Impatto del notevole incremento previsto del numero di terminali mobili e delle applicazioni utilizzate sul livello di campo elettromagnetico nell'ambiente: attualmente la valutazione preliminare prevista ai sensi della L 36/2001, con il conseguente rispetto dei limiti, prende in considerazione solo le stazioni fisse di trasmissione e non i terminali mobili che sono valutati solo singolarmente tramite il SAR

Valutazione differente modalità e tempi di utilizzo dei terminali: utilizzo di servizi «sempre connessi», con conseguente tratta di up -link sempre attiva, (esempio trasmissioni video, sistemi di video sorveglianza, controllo remoto autovetture, ecc..)

etc...

etc..



**GRAZIE
PER L'ATTENZIONE**