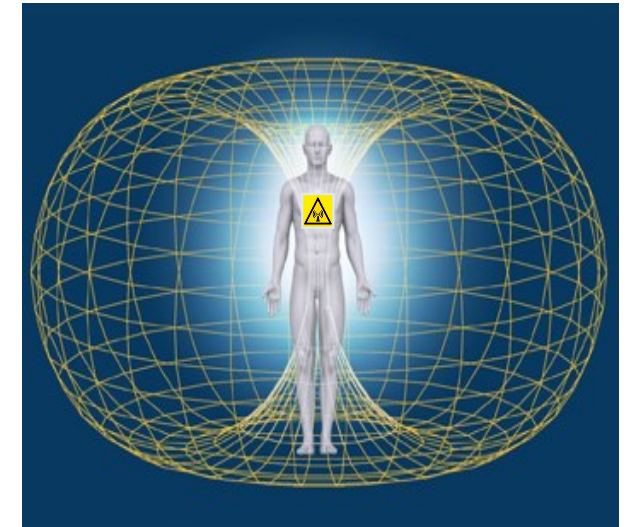


Programma I Sessione (9:30 – 11:30)

Campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz): Valutazione, gestione del rischio e aspetti giurisprudenziali

Effetti biofisici dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici (V. Lopresto, ENEA)

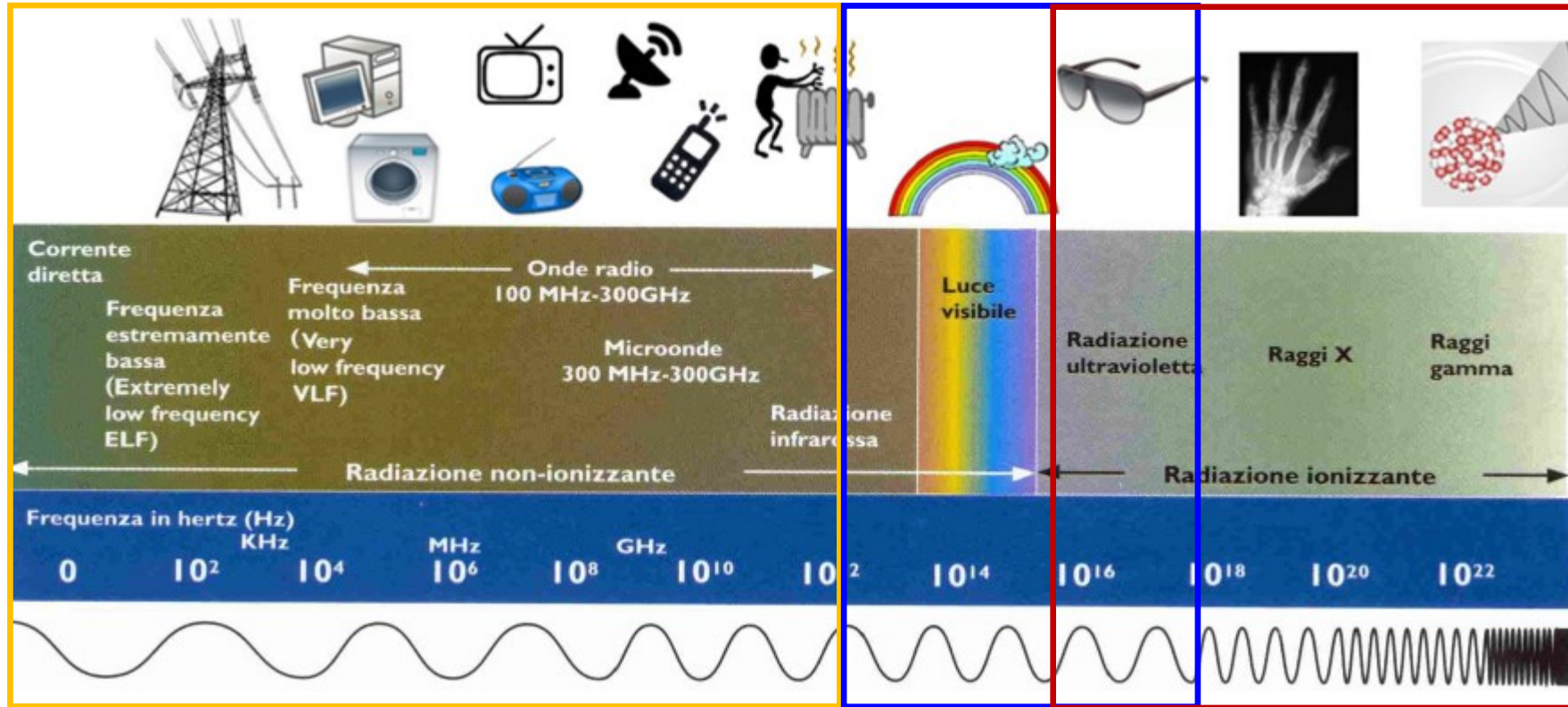
- Effetti diretti e indiretti dell'esposizione ai campi elettromagnetici
- Basi scientifiche dei limiti di esposizione
- Quadro legislativo di riferimento



Lo spettro elettromagnetico

Campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz)

Radiazioni ottiche



Radiazioni non ionizzanti



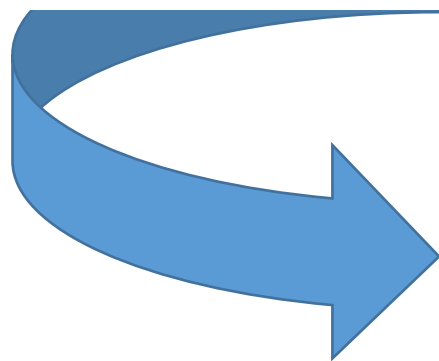
Radiazioni ionizzanti

Legge di Planck $\rightarrow E = h \cdot f \quad (\lambda = c/f)$

Potenziale di ionizzazione di un elettrone orbitale esterno: $E \geq 10 \text{ eV} \rightarrow \lambda \leq 124 \text{ nm (UVC)}$

Effetti biofisici dell'esposizione a campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz)

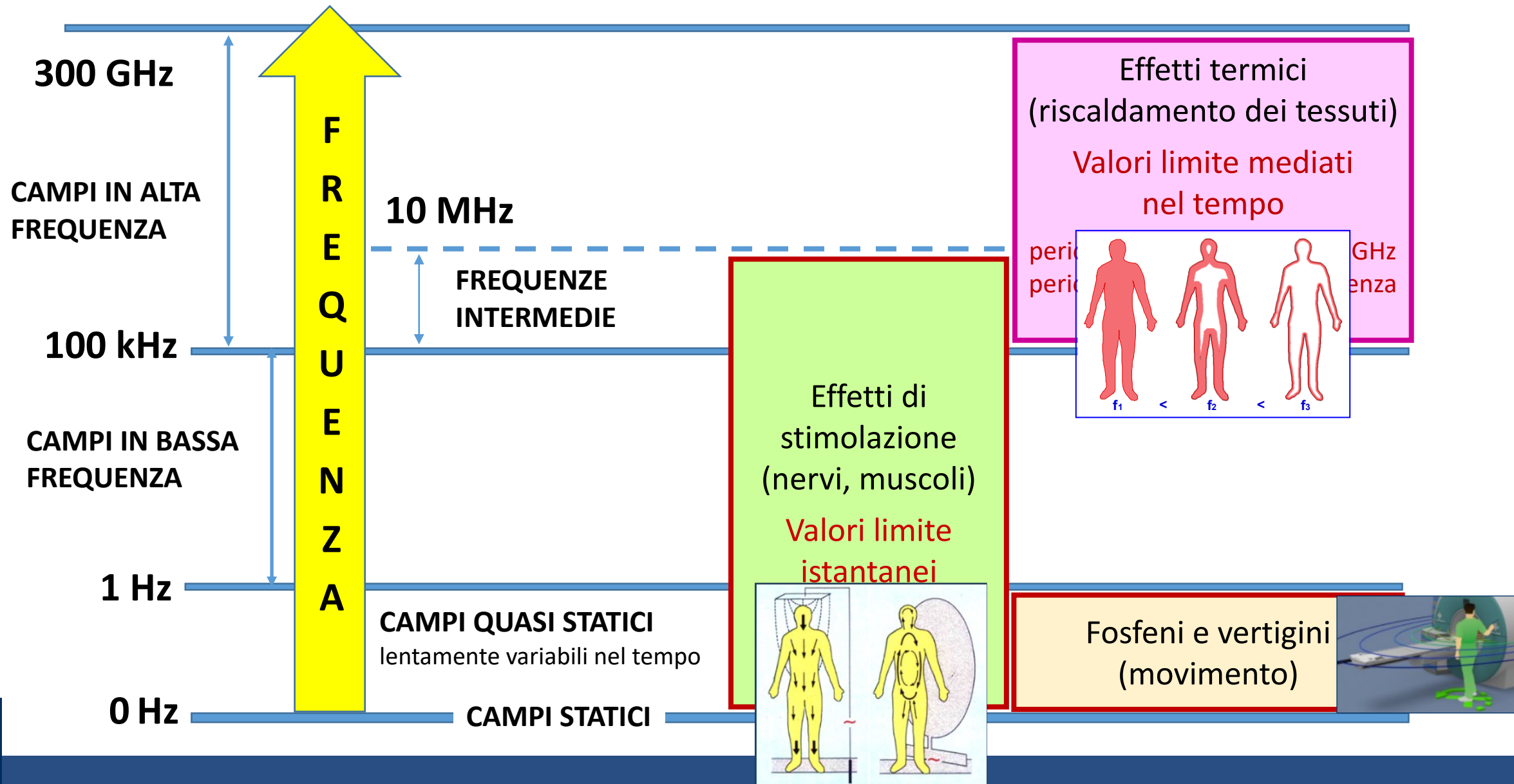
- ❑ **L'esposizione a CEM non provoca necessariamente effetti pericolosi** purché le variazioni indotte siano contenute entro l'intervallo che l'organismo può naturalmente compensare attraverso i meccanismi di riparazione o adattamento
- ❑ **Gli effetti avversi dei CEM accertati scientificamente sono effetti acuti** – di cui esiste ed è stata determinata una soglia di insorgenza e la cui gravità aumenta proporzionalmente al livello di esposizione al campo una volta superata la soglia (ICNIRP)



**Effetti biofisici diretti
e indiretti**



Effetti biofisici diretti dei CEM



Effetti biofisici diretti dei CEM

Effetti sanitari



- ❑ Si verificano quando le variazioni fisiologiche indotte dall'esposizione al campo sono **al di fuori dell'intervallo che l'organismo può normalmente compensare**
- ❑ **Persistono** per tempi lunghi o permanentemente dopo la cessazione dell'esposizione e comportano una condizione di **danno per la salute** → **rischio per la salute**

Effetti sensoriali



- ❑ Si verificano quando le variazioni fisiologiche indotte dall'esposizione al campo **determinano disturbi transitori** (cessano in breve tempo una volta terminata l'esposizione) che influenzano le **capacità cognitive** o le **funzioni muscolari**
- ❑ Pur non comportando danni alla salute **possono influire negativamente** sulla capacità di agire e operare in modo sicuro → **rischio per la sicurezza**

Effetti biofisici indiretti dei CEM

- ❑ **Interferenza del campo con *dispositivi medici attivi*** (stimolatori cardiaci e defibrillatori, pompe per l'infusione di farmaci, ecc.)
- ❑ **Interferenza del campo con *dispositivi medici passivi*** (protesi metalliche, clip chirurgiche, ecc.) **ed *elementi metallici inclusi nel corpo*** (schegge, piercing, tatuaggi con pigmenti metallici, ecc.)
- ❑ **Rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici** all'interno di campi magnetici statici di elevata intensità (> 100 mT)
- ❑ **Scariche elettriche e correnti di contatto attraverso gli arti** determinate dal contatto con un oggetto conduttore a un potenziale diverso dal corpo all'interno di un campo elettromagnetico
- ❑ **Innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori), incendi ed esplosioni** dovuti all'accensione di materiali infiammabili a causa di scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche



- ❖ **Le soglie degli effetti indiretti sono solitamente inferiori rispetto a quelle degli effetti diretti!**
- ❖ **Gli effetti indiretti possono comportare rischi anche gravi per la salute e la sicurezza!!**

Effetti indiretti dei CEM

Interferenza con dispositivi medici



- ❑ Valori di **campo magnetico statico** di intensità superiore a **0,5 mT** possono causare **interferenze con dispositivi medici attivi** impiantati o portati sul corpo (stimolatori cardiaci, defibrillatori, pompe per infusione di farmaci, ecc.)
- ❑ I **dispositivi medici passivi** (protesi o impianti) e gli **inclusi metallici** ferromagnetici (schegge, piercing, ecc.) possono subire azioni di **torsione o dislocazione** per esposizioni a **campi magnetici statici** di intensità superiore a **3 mT** nel campo periferico di sorgenti > 100 mT
- ❑ Considerazioni analoghe valgono per gli **oggetti ferromagnetici** portati sul corpo (ad es. orologi, chiavi, occhiali) o presenti nell'ambiente (ad es. sedie, tavoli, cacciaviti, ecc.)



- ❑ **Campi elettromagnetici** di elevato valore istantaneo possono causare **interferenze sul funzionamento dei dispositivi medici attivi** impiantati e portati sul corpo
- ❑ Gli **impianti e inclusi metallici** possono perturbare il campo elettrico indotto nel corpo, creando regioni localizzate di campi elevati (**riscaldamento induttivo**) che possono provocare **infiammazioni locali** o, in caso di esposizioni di intensità molto elevata, **ustioni e lesioni termiche** dei tessuti circostanti



Effetti a lungo termine dei CEM



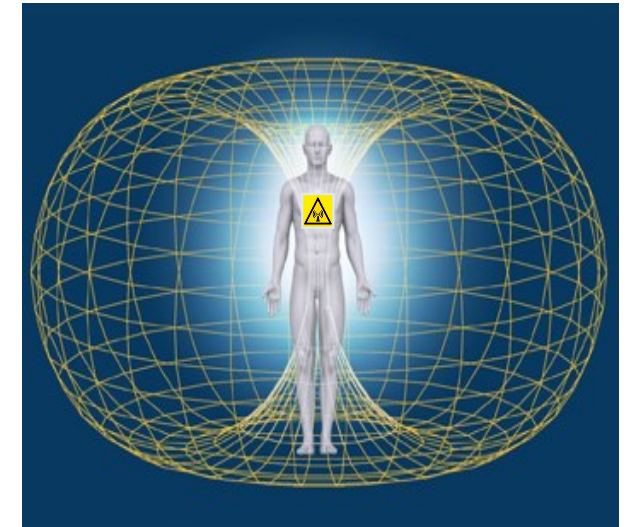
- ❑ Allo stato attuale **non vi sono evidenze sufficienti** di effetti dei CEM indotti dalle esposizioni *croniche*, cioè dalle esposizioni prolungate nel tempo anche a bassi livelli
- ❑ Più aumenta il tempo di latenza di un effetto più diventa **difficile stabilire un nesso causale** tra l'esposizione e un possibile effetto – che potrebbe avere un'**origine multifattoriale** o un'incidenza caratterizzata da **fluttuazioni statistiche**
- ❑ In base a **evidenze limitate** riscontrate da alcuni studi epidemiologici, la IARC ha classificato nel **gruppo 2B** (*possibili* cancerogeni umani) i **campi magnetici a bassa frequenza** (2001) con riferimento a un aumento del rischio di sviluppo di leucemie infantili, e i **campi elettromagnetici a radiofrequenza** (2011) con riferimento a un aumento del rischio di sviluppo di alcuni tumori cerebrali e del nervo acustico in utilizzatori intensivi di telefoni cellulari
- ❑ La IARC ha altresì evidenziato che i risultati di tali studi **non sono conclusivi né sufficienti a dimostrare un nesso causale** circa una possibile associazione tra esposizione cronica a CEM e rischio di sviluppo di tumori
- ❑ Le principali autorità scientifiche ritengono quindi che, attualmente, **non sussistono evidenze sufficienti** circa relazioni tra dose ed effetto **per definire valori di soglia e restrizioni per le esposizioni subacute o croniche a CEM**
- ❑ Ciononostante, ispirandosi al **principio di precauzione**, a livello nazionale il legislatore ha stabilito **limiti cautelativi** per l'esposizione della popolazione ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine con riferimento ad alcune sorgenti ampiamente diffuse (elettrodotti e impianti fissi di telecomunicazione e radiotelevisivi)

Programma I Sessione (9:30 – 11:30)

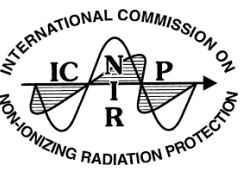
Campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz): Valutazione, gestione del rischio e aspetti giurisprudenziali

Effetti biofisici dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici *(V. Lopresto, ENEA)*

- Effetti diretti e indiretti dell'esposizione ai campi elettromagnetici
- Basi scientifiche dei limiti di esposizione**
- Quadro legislativo di riferimento

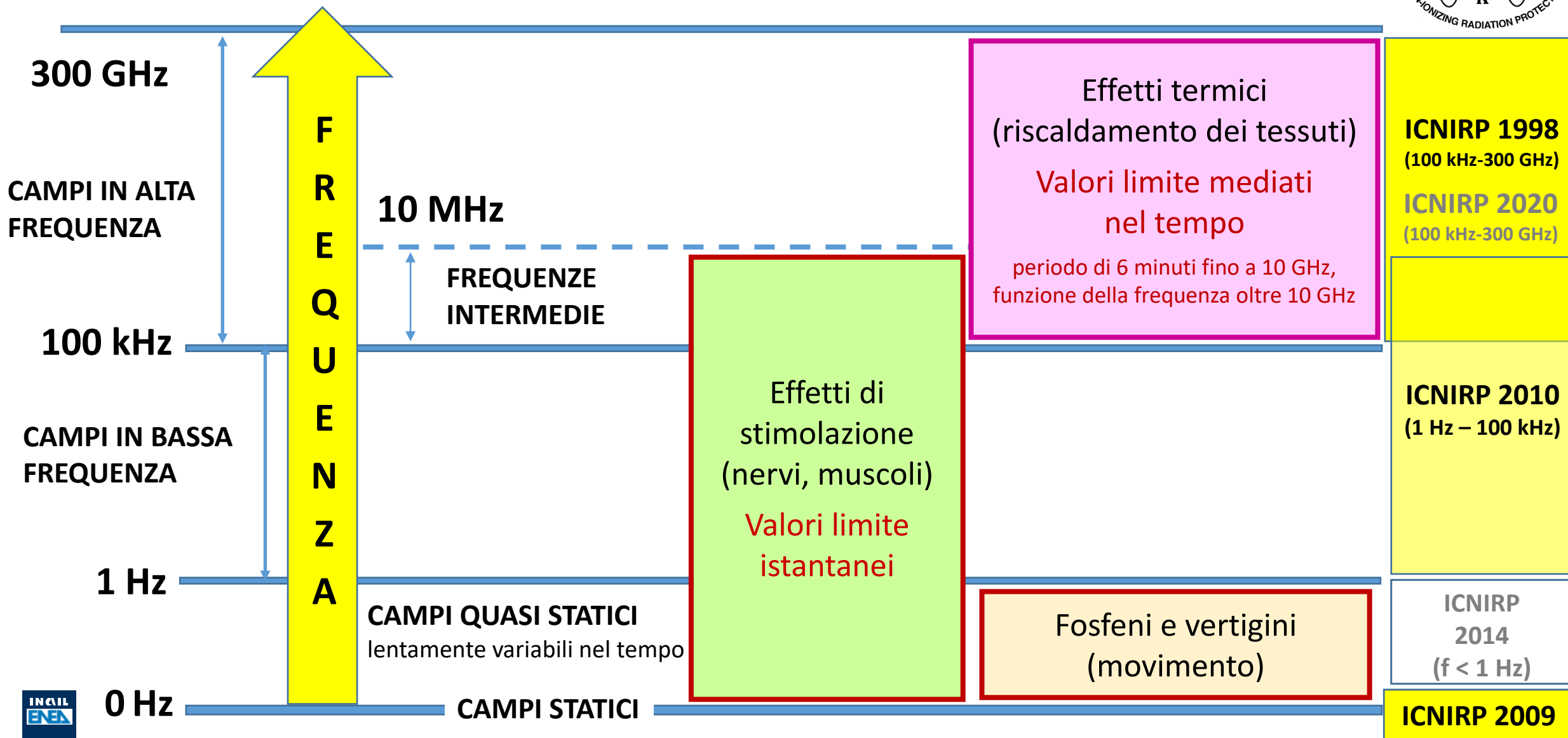


Basi scientifiche dei limiti CEM



- ❑ Le **linee guida CEM dell'ICNIRP** (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) propongono un insieme di restrizioni per l'esposizione a CEM che copre con continuità l'intervallo di frequenze 0 Hz – 300 GHz
- ❑ Le linee guida sono state sviluppate sulla base degli **effetti confermati**, per cui la letteratura scientifica fornisce **basi razionali** per la definizione di un sistema di protezione attraverso **restrizioni all'esposizione**
- ❑ **L'effetto biologico rilevante al più basso livello di esposizione (valore di soglia) rappresenta il criterio per la definizione del limite di esposizione secondo basi scientifiche**
- ❑ Il **razionale** delle linee guida ICNIRP identifica di fatto cinque regioni di frequenza in relazione al meccanismo d'interazione del campo e alla risposta biologica indotta (gli effetti):
 - ❖ Campi statici e quasi-statici (da 0 a 1 Hz)
 - ❖ Basse frequenze (da 1 Hz a 100 kHz)
 - ❖ Frequenze intermedie (da 100 kHz a 10 MHz)
 - ❖ Alte frequenze (da 10 MHz a 6 GHz)
 - ❖ Altissime frequenze (da 6 GHz a 300 GHz)

Linee guida ICNIRP



Criteri per la definizione dei limiti di esposizione

Soglie per gli effetti acuti

- Valori di soglia per gli effetti biologici scientificamente accertati (sensoriali & sanitari)
- Le soglie per gli *effetti indiretti* possono essere inferiori



Primo margine di riduzione (5÷10)

Limiti per i lavoratori

- Esposizioni professionali dei lavoratori (possibili effetti sensoriali e/o indiretti per esposizioni acute)
- Informazione/formazione
- Sorveglianza sanitaria



Secondo margine di riduzione (2÷5)

Limiti per la popolazione

- Esposizione della popolazione generale
- Esposizioni non professionali dei lavoratori
- Soggetti particolarmente sensibili al rischio (restrizioni specifiche per DMIA)



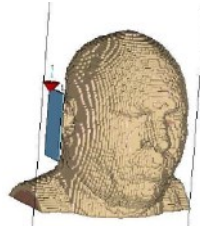
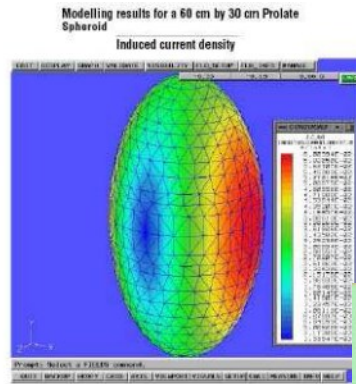
Limiti in termini di:

- Grandezze di *base* (dosimetriche)
- Grandezze di *referimento* (ambientali)

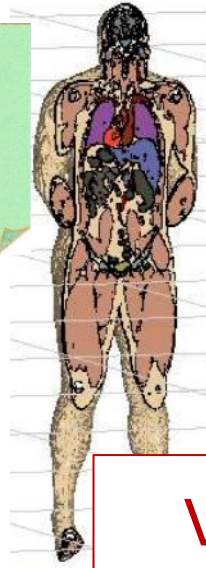
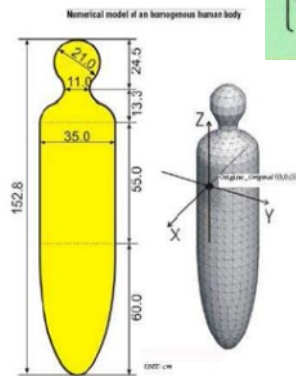
- Ai fini precauzionali (per tenere conto di fattori d'incertezza quali variabilità interindividuale, ecc.) per i limiti di esposizione si applicano dei **fattori di riduzione** rispetto ai **valori di soglia** accertati per l'insorgenza degli effetti acuti
- Sia le soglie degli effetti sia i **limiti di base** sono espressi in termini di **grandezze di base** che **correlano l'effetto osservato con il livello di esposizione** presente all'interno del corpo umano (grandezze dosimetriche)
- I **fattori di riduzione** sono differenziati per le esposizioni dei **lavoratori** e della **popolazione**
- I **lavoratori esposti a CEM** sono informati/formati e sottoposti a sorveglianza sanitaria
- Per la **popolazione generale**, che include anche **persone con rischi particolari**, si applica un ulteriore fattore di riduzione (per gli effetti d'interferenza con i **dispositivi medici** si applicano restrizioni specifiche)

Valutazione dei limiti di base

Dosimetria numerica



$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \end{cases}$$

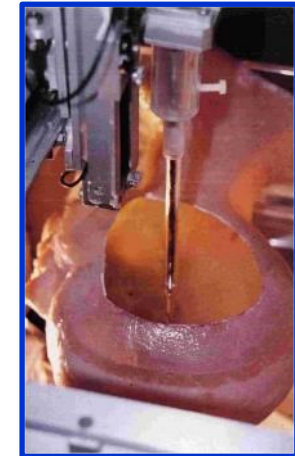


Valutazioni complesse!

Dosimetria sperimentale



$$SAR = \frac{\sigma \cdot |E_{int}|^2}{\rho}$$
$$SAR = c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$



Dai limiti di base ai livelli di riferimento

LIVELLI DI RIFERIMENTO (LR)

Grandezze ambientali
(radiometriche)

- Campo elettrico ambientale E [V/m]
- Campo magnetico ambientale H [A/m]
- Induzione magnetica B [T]
- Densità di potenza ambientale S [W/m²]

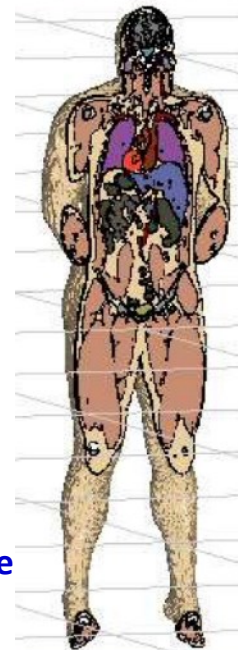
Ulteriori LR per gli
effetti indiretti:

- Correnti di contatto
- Scariche elettriche
- Interferenza con
dispositivi medici

**MISURE
AMBIENTALI**



DOSIMETRIA



LIMITI DI BASE (LB)

Grandezze dosimetriche

- Induzione magnetica esterna B_0 [T]
- Densità di corrente J [A/m²]
- Campo elettrico interno E_{int} [V/m]
- Tasso di assorbimento specifico SAR [W/kg]
- Assorbimento specifico SA [J/kg] (effetti uditivi)
- Densità di potenza incidente S [W/m²]

Le Linee Guida ICNIRP 2020 hanno in parte rivisto le
definizioni dei LB e LR tra 100 kHz e 300 GHz

LR ricavati dai LB mediante modelli dosimetrici *semplificati e cautelativi*
→ Il rispetto dei LR assicura il non superamento dei LB in condizioni di
esposizione standardizzate

Valutazione dei livelli di riferimento



MISURE AMBIENTALI

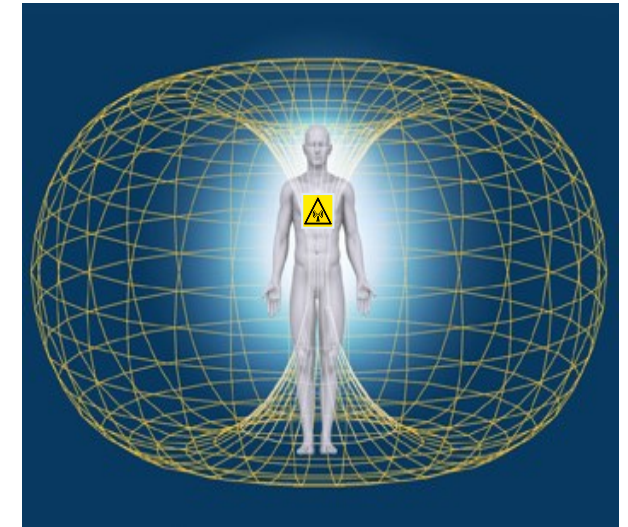


Programma I Sessione (9:30 – 11:30)

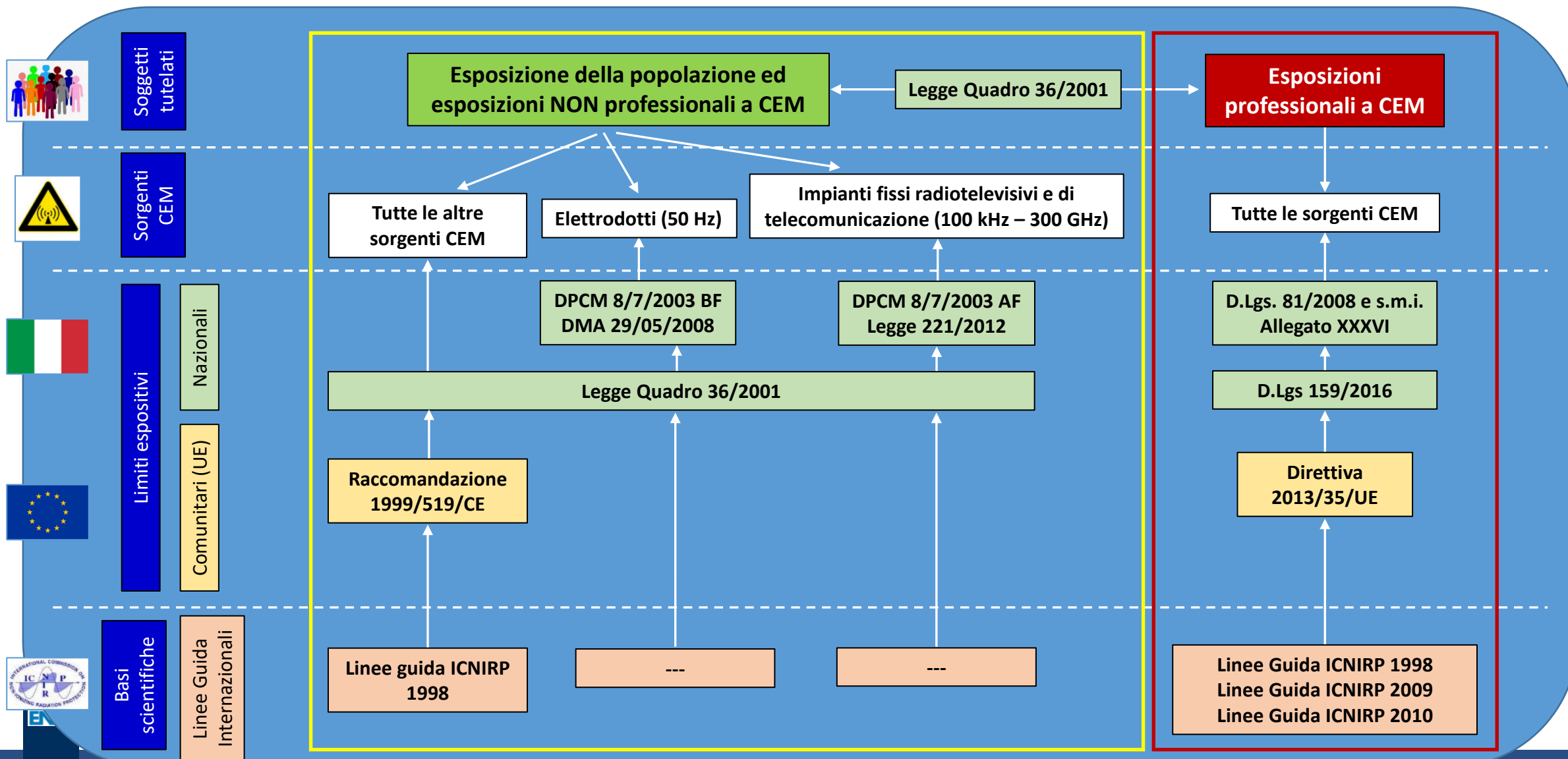
Campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz): Valutazione, gestione del rischio e aspetti giurisprudenziali

Effetti biofisici dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici (V. Lopresto, ENEA)

- Effetti diretti e indiretti dell'esposizione ai campi elettromagnetici
- Basi scientifiche dei limiti di esposizione
- Quadro legislativo di riferimento**

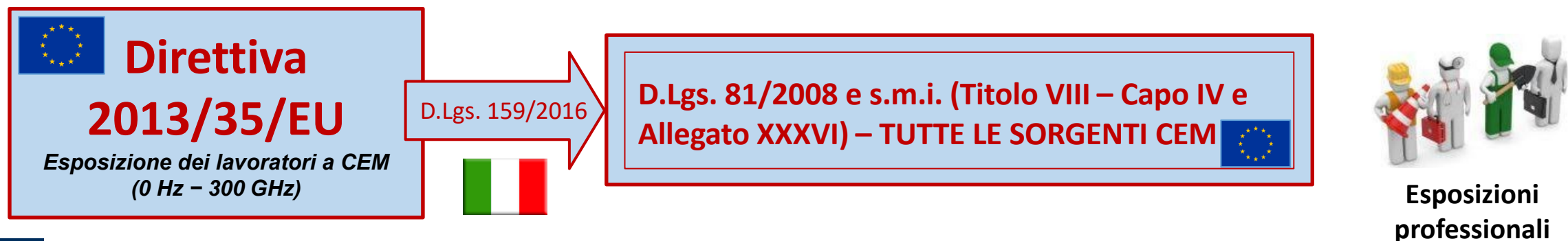
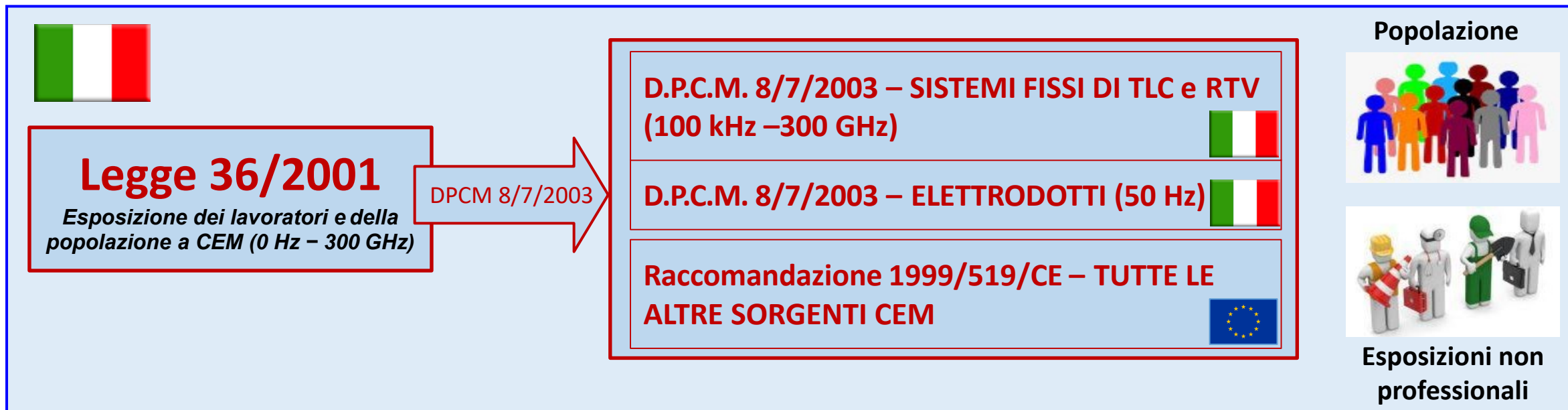


Quadro legislativo di riferimento



Peculiarità della legislazione nazionale

Legge 36/2001 (art. 3, lett. g)



Legge 36/2001 (art. 3, lett. f)



Esposizione dei lavoratori a CEM

Professionali – Non professionali

(art. 3 legge 36/2001)



Confronto tra limiti normativi Italia – UE

Riferimenti normativi nazionali ed europei	Valori Limite	Frequenza							
		50 Hz Elettrodotti		400 MHz DVBT	900 MHz 2G-GSM	1800 MHz 2G-GSM	2100 MHz 3G-UMTS	2600 MHz 4G-LTE	3700 MHz 5G
 Popolazione ed Esposizioni non professionali Legge 36/2001 DPCM 8/7/2003	Limiti di esposizione	5 kV/m	100 μ T	20 V/m	20 V/m	20 V/m	20 V/m	20 V/m	40 V/m
	Valori di attenzione	–	10 μ T	6 V/m	6 V/m	6 V/m	6 V/m	6 V/m	6 V/m
	Obiettivi di qualità	–	3 μ T	6 V/m	6 V/m	6 V/m	6 V/m	6 V/m	6 V/m
 Popolazione Raccomandazione 1999/519/CE	Livelli di riferimento	5 kV/m	100 μ T	28 V/m	41 V/m	58 V/m	61 V/m	61 V/m	61 V/m
Esposizioni professionali (lavoratori) D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. (Direttiva 2013/35/UE)	Valori (livelli) di azione	10 kV/m	1 mT	60 V/m	90 V/m	127 V/m	140 V/m	140 V/m	140 V/m
		20 kV/m	6 mT						

Grazie
dell'attenzione!
vanni.lopresto@enea.it