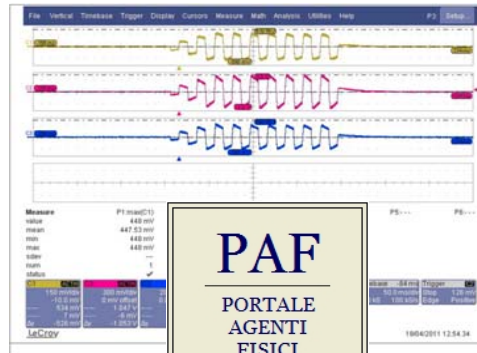
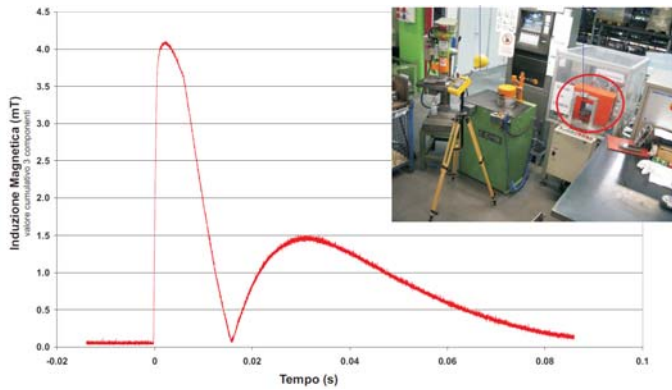


Irene Taddei - Paolo Zanichelli

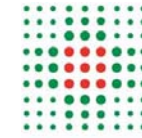
Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente Energia
 Emilia Romagna - Sezione di Reggio Emilia



PAF
 PORTALE
 AGENTI
 FISICI
 PREVENZIONE
 E SICUREZZA



LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DA CAMPI ELETTROMAGNETICI AI SENSI DEL DLgs 81/08



Irene Taddei - Paolo Zanichelli

Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente Energia
Emilia Romagna - Sezione di Reggio Emilia



Agenda

- Grandezze fisiche e basi razionali del sistema di limitazione delle esposizioni
- Il DLgs 81/08 Titolo VIII, capo IV, le norme tecniche e le linee guida
- Approcci metodologici nella valutazione dei rischi: le sorgenti giustificabili e non, le banche dati, le informazioni fornite dal fabbricante (i rilevamenti strumentali, il calcolo previsionale)
- Azioni per la prevenzione e il contenimento del rischio

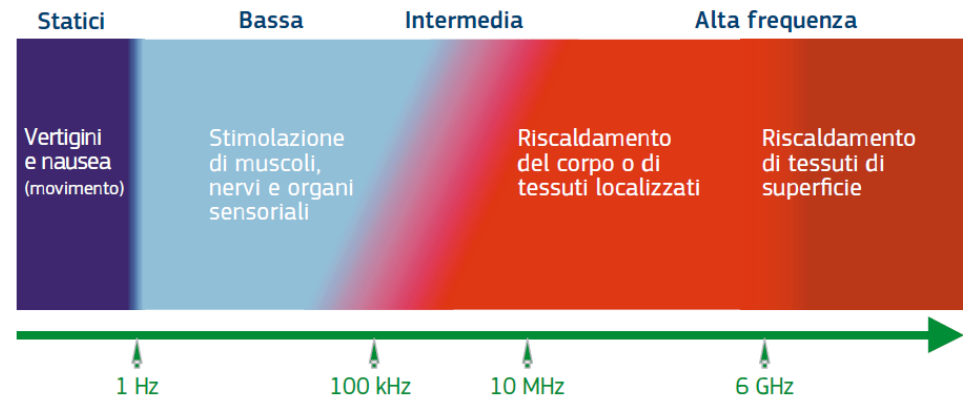
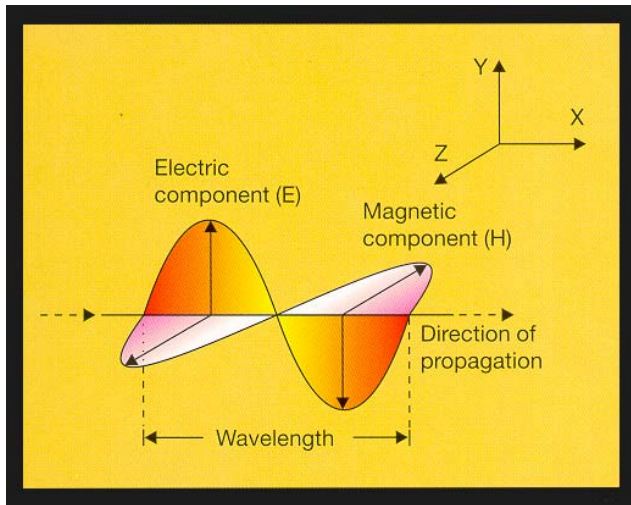
Reggio Emilia – 21 Settembre 2017

Grandezze fisiche e basi razionali del sistema di limitazione delle esposizioni

Irene Taddei - Paolo Zanichelli

Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente Energia

Emilia Romagna - Sezione di Reggio Emilia



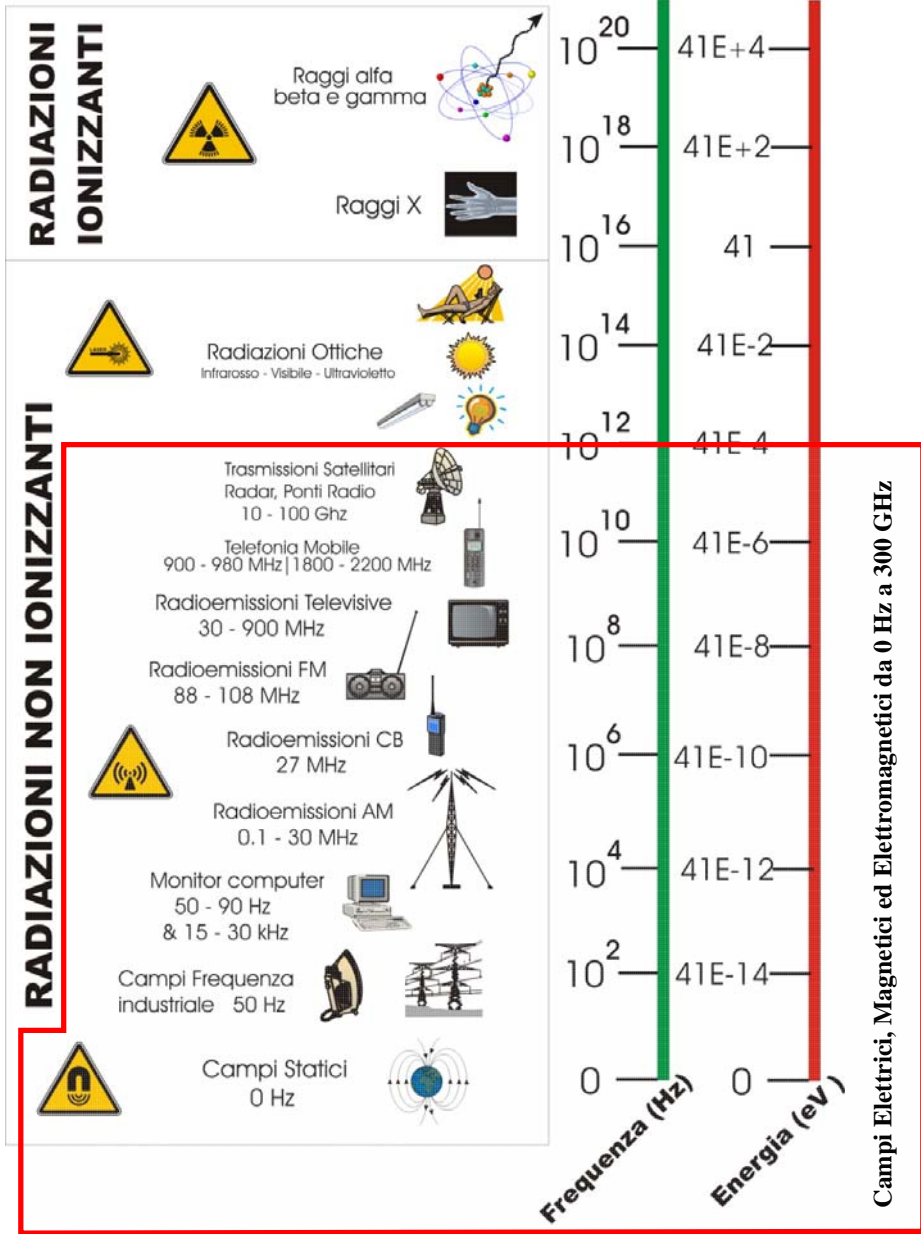
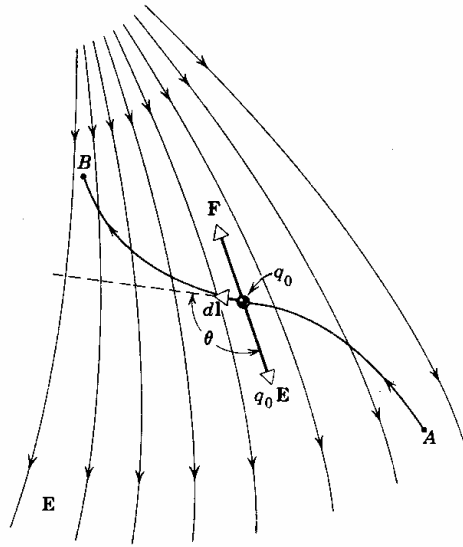


TABELLA 2.3 - Valori tipici di energie di attivazione molecolari. IR = infrarosso; UV = ultravioletto

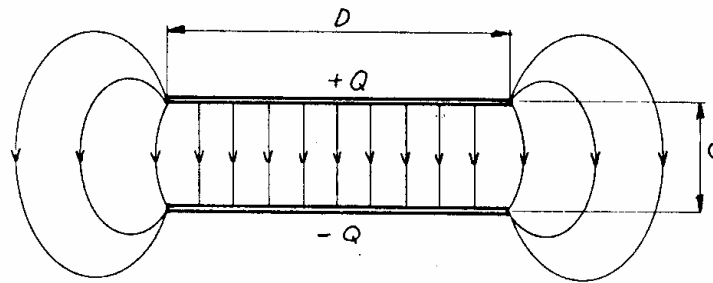
Fenomeno	Energia di attivazione (eV)	Frequenza corrispondente (Hz)	
Rottura del legame idrogeno	0.08 ÷ 0.2	$23 \times 10^{13} \div 4.8 \times 10^{13}$	(IR)
Cambio reversibile di conformazione nelle proteine	0.4	10^{14}	(IR)
Rottura legame covalente	5	1.2×10^{15}	(UV)
Ionizzazione	10	2.4×10^{15}	(UV)

$$E_{300GHz} = h \cdot \nu = 6.623 \cdot 10^{-34} \cdot 300 \cdot 10^9 = 0.0012 eV$$

IL CAMPO ELETTRICO



$$V_{AB} = \frac{L_{AB}}{q} = \int_A^B \vec{E} \times d\vec{l}$$



$$V = \frac{L}{q} = \frac{F \cdot d}{q} = E \cdot d$$

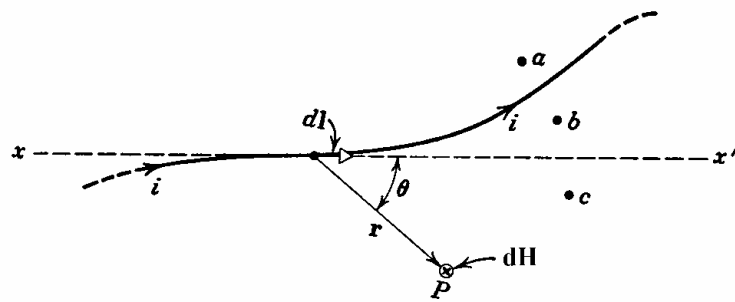


$$E = \frac{V}{d}$$



V/m

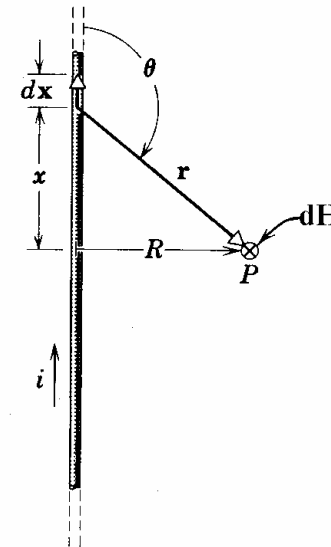
IL CAMPO MAGNETICO



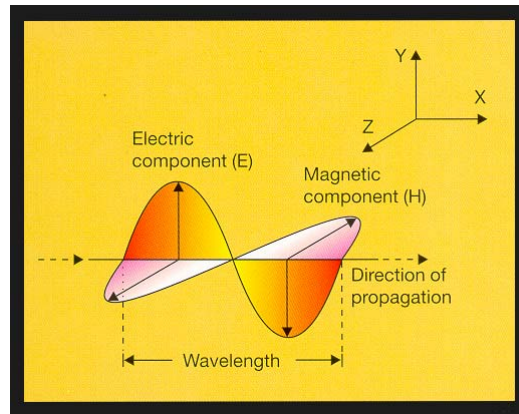
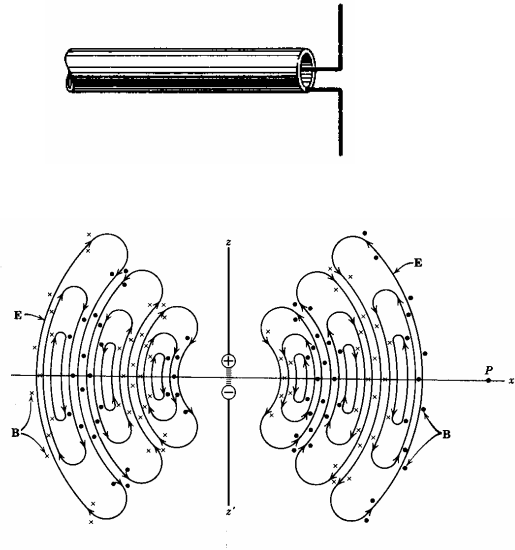
$$d\vec{H} = \frac{i}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

$$|\vec{H}| = \frac{i}{4\pi} \int_{x=-\infty}^{x=+\infty} \frac{\sin \vartheta \cdot dx}{r^2} = \frac{i}{2\pi R} \quad (\text{A/m})$$

$$|\vec{B}| = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot |\vec{H}| \quad (\text{Tesla})$$



IL CAMPO ELETTROMAGNETICO



$$\eta = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

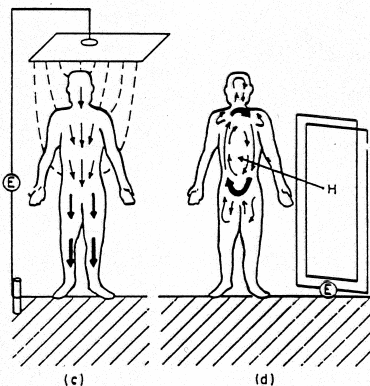
Impedenza d'onda

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cong 377\Omega$$

Densità di Potenza

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \Rightarrow |\vec{S}| = E \cdot H \quad S = \eta H^2 = \frac{E^2}{\eta} \text{ (W / m}^2\text{)}$$

ESPOSIZIONE



ESPOSIZIONE

INTERAZIONE



EFFETTO BIOLOGICO



DANNO

Interazione: i fenomeni fisici indotti dal campo esterno provocano una deviazione dalle condizioni di equilibrio elettrico almeno a livello molecolare.

Effetto: variazione morfologica o funzionale in tessuti, organi, o sistemi.

Si parla di danno quando un effetto supera la capacità di compensazione dell'organismo

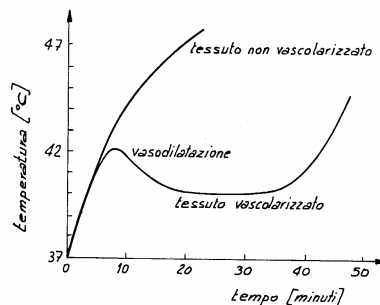
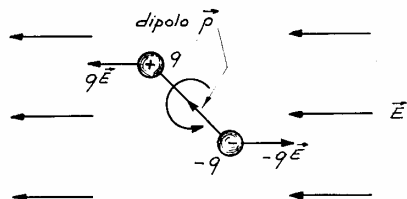


Fig. 2.9 - Andamento della variazione di temperatura in vari tipi di tessuto biologico esposto a campi e.m.



OCCHIO CON CATARATTA E OCCHIO NORMALE

Le disposizioni contenute nel DLgs 81/08 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.

Non riguarda la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.

Effetti diretti

Gli effetti diretti sono i cambiamenti provocati in una persona dall'esposizione a un campo elettromagnetico. Vengono presi in considerazione solo gli effetti noti che si basano su meccanismi conosciuti, declinando una distinzione fra effetti sensoriali ed effetti sulla salute, considerati più gravi.

Gli effetti diretti sono i seguenti:

- vertigini e nausea provocati da campi magnetici statici (associati di norma al movimento, ma possibili anche in assenza di movimento);
- effetti su organi sensoriali, nervi e muscoli provocati da campi a bassa frequenza (fino a 100 kHz);
- riscaldamento di tutto il corpo o di parti del corpo causato da campi ad alta frequenza (pari o superiore a 10 MHz); in presenza di valori superiori a qualche GHz il riscaldamento si limita in misura sempre maggiore alla superficie del corpo;
- effetti su nervi e muscoli e riscaldamento causato da frequenze intermedie (100 kHz-10 MHz).

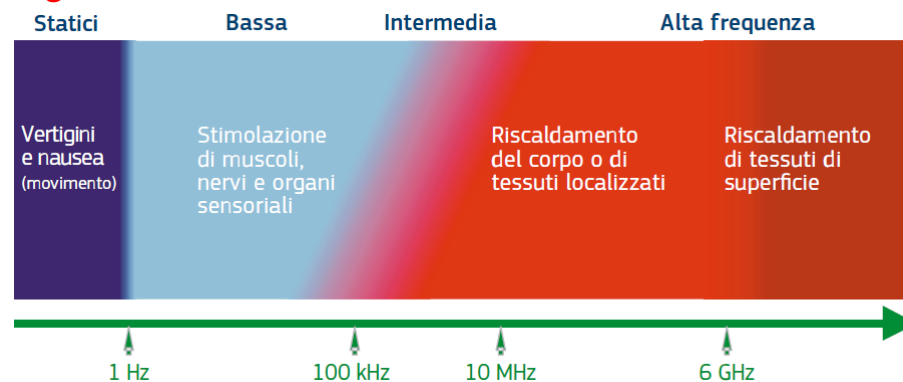


Tabella B1 — Sintesi degli effetti sensoriali e per la salute utilizzati per limitare le esposizioni in diverse regioni di frequenze

Campo e frequenza	Effetti sensoriali	Effetti per la salute
Campo magnetico statico 0-1 Hz	Vertigini, nausea, gusto metallico	Alterazioni del flusso ematico negli arti e delle funzioni cerebrali; Alterazioni della funzione cardiaca
Campi a bassa frequenza 1 Hz-10 MHz	Fosfeni (percezioni di lampi di luce) (Lievi alterazioni delle funzioni cerebrali 1-400 Hz)	Formicolio o dolore (stimolazione nervosa) Spasmi muscolari Disturbi del ritmo cardiaco
Campi ad alta frequenza 100 kHz-6 GHz	Disturbi uditivi da microonde (200MHz- 6,5 GHz)	Riscaldamento eccessivo o ustioni estesi a tutto il corpo o localizzati
Campi ad alta frequenza 6-300 GHz		Danno da calore localizzato agli occhi o alla pelle

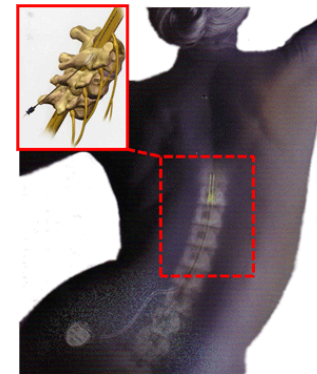
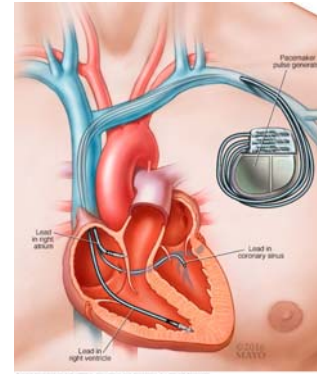
NB: Gli effetti dei campi a frequenza intermedia (100 kHz-10 MHz) sono una combinazione degli effetti dei campi ad alta e di quelli a bassa frequenza.

Effetti indiretti

Effetti indesiderati possono essere provocati dalla presenza nel campo elettromagnetico di oggetti che possono determinare pericoli per la sicurezza o la salute.

Gli effetti indiretti sono i seguenti:

- interferenze con apparecchiature e altri dispositivi medici elettronici;
- interferenze con apparecchiature o dispositivi medici impiantabili attivi, per esempio stimolatori cardiaci o defibrillatori;
- interferenze con dispositivi medici portati sul corpo, per esempio pompe insuliniche;
- interferenze con dispositivi impiantabili passivi (per esempio protesi articolari, chiodi, fili o piastre di metallo);
- effetti su schegge di metallo, tatuaggi, body piercing e body art;
- rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici non fissi in un campo magnetico statico;
- innesco involontario di detonatori;
- innesco di incendi o esplosioni a causa di materiali infiammabili o esplosivi;
- scosse elettriche o ustioni dovute a correnti di contatto quando una persona tocca un oggetto conduttore in un campo elettromagnetico e uno dei due non è collegato a terra.



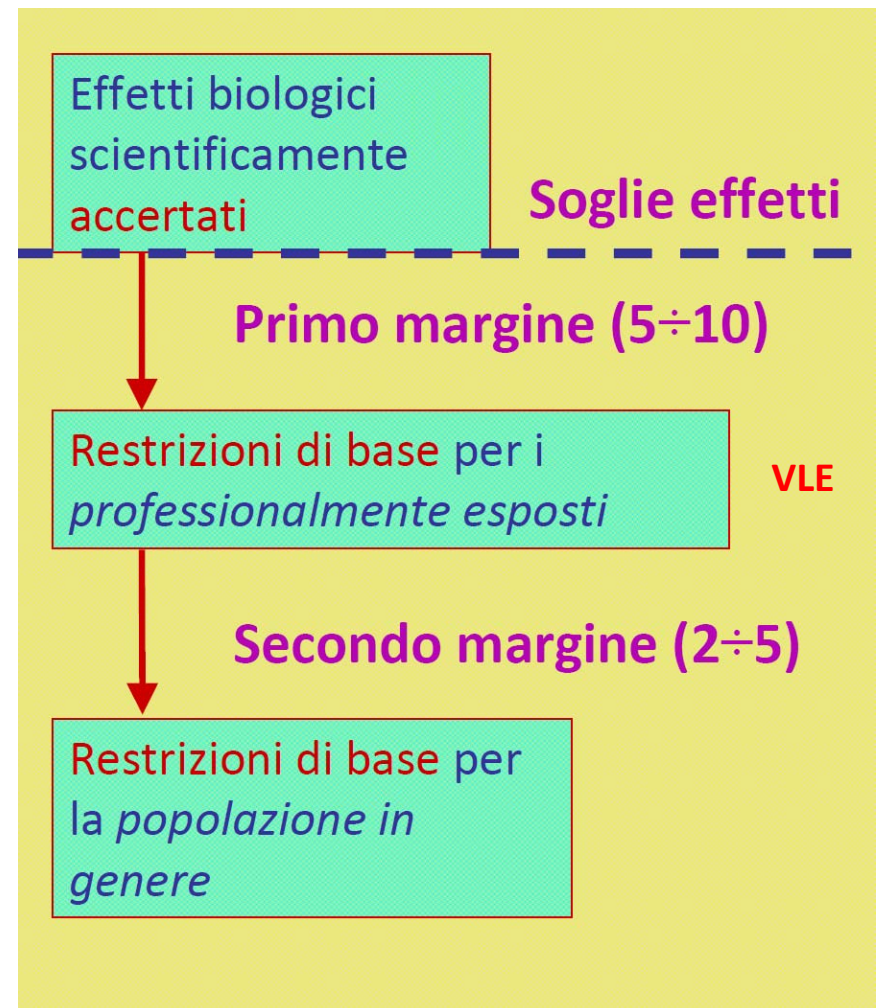
Le grandezze di base secondo l'ICNIRP per la limitazione degli effetti diretti

Effetto	Banda di frequenza	Grandezza di base	
Induzione di nausea o vertigini	0 - 1 Hz	Induzione magnetica B esterna e sua variazione ΔB su 3 secondi	(1)
Stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili	0 - 10 MHz	Campo elettrico interno E_{in}	(2)
Riscaldamento	100 kHz - 10 GHz	Rateo interno di assorbimento specifico (SAR)	(2)

1. Grandezza esterna
2. Grandezze interne

$$SAR = \frac{\sigma E_{in}^2}{\rho}$$

Tanto le **soglie degli effetti** quanto le **restrizioni di base** sono espresse in termini di **grandezze di base** (per lo più interne all'organismo esposto): sono le grandezze **direttamente responsabili degli effetti biologici** o almeno quelle più **adatte a correlare l'effetto osservato con l'intensità del campo**.



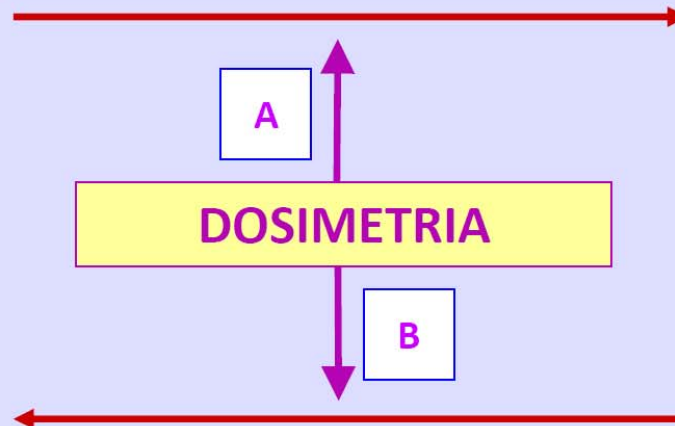
VLE

Restrizioni di base (E_{in} , SAR) per i *professionalmente esposti* e per la *popolazione in genere*

A) Le normative utilizzano modelli dosimetrici cautelativi, in modo che si possa ritenere che il rispetto dei **livelli di riferimento** garantisca il rispetto delle **restrizioni di base** in condizioni di esposizione standardizzate.

A: Costruzione della normativa

Individuazione dei livelli di riferimento a partire dalle **restrizioni di base** (modelli dosimetrici **semplificati e cautelativi**)



B: Verifica del rispetto delle normative

Eventuale verifica del rispetto delle **restrizioni di base** quando i **livelli di riferimento** sono superati (modelli specifici il più possibile **realistici**)

VA

Livelli di riferimento (E, H, B, S) per i *professionalmente esposti* e per la *popolazione in genere*

B) In linea di principio, è necessario applicare “*in proprio*” i modelli dosimetrici, se si vuole verificare il rispetto delle **restrizioni di base** laddove risultino superati i **livelli di riferimento**!

Figura 6.2 — Gamma di frequenze cui sono applicabili diversi LA

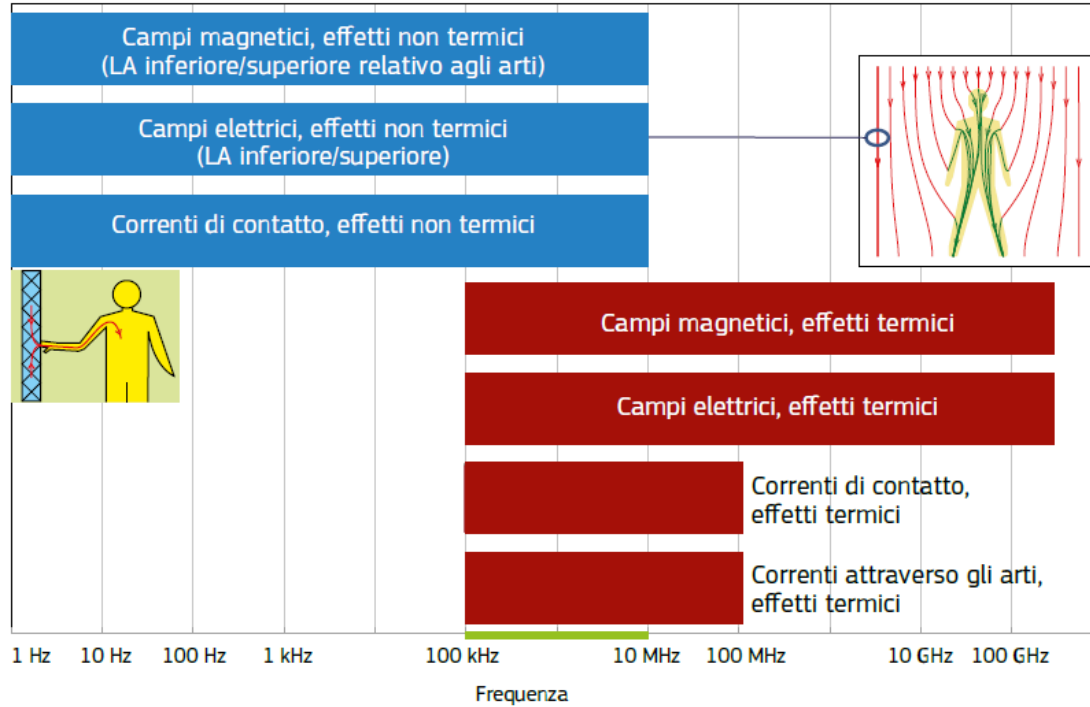


Figura 6.7 — Gamma di frequenze nell'ambito della quale vengono utilizzati diversi VLE

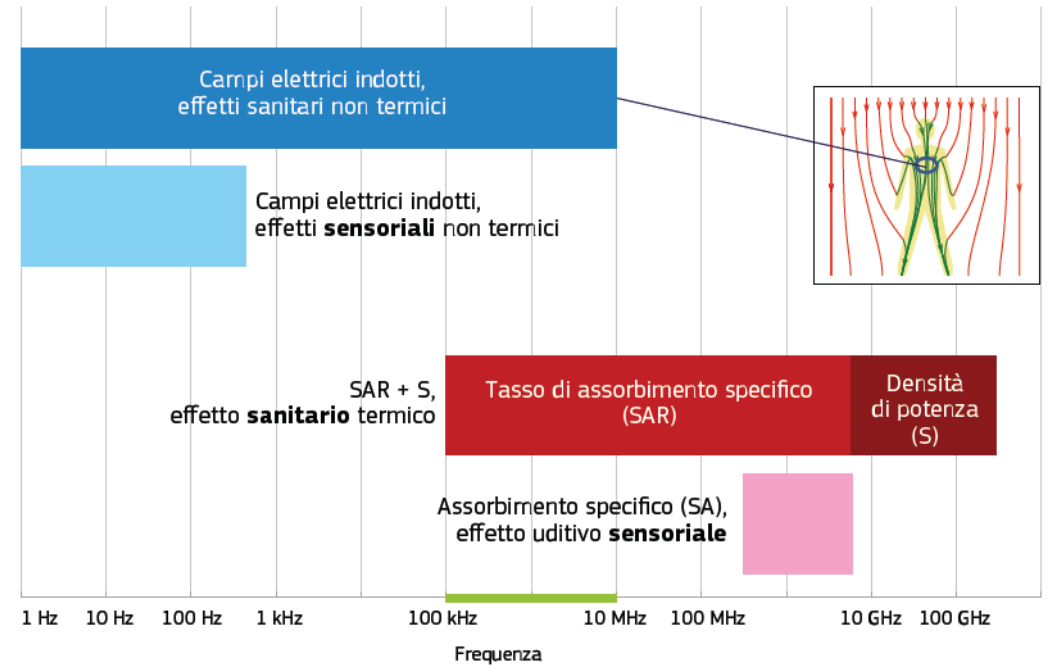
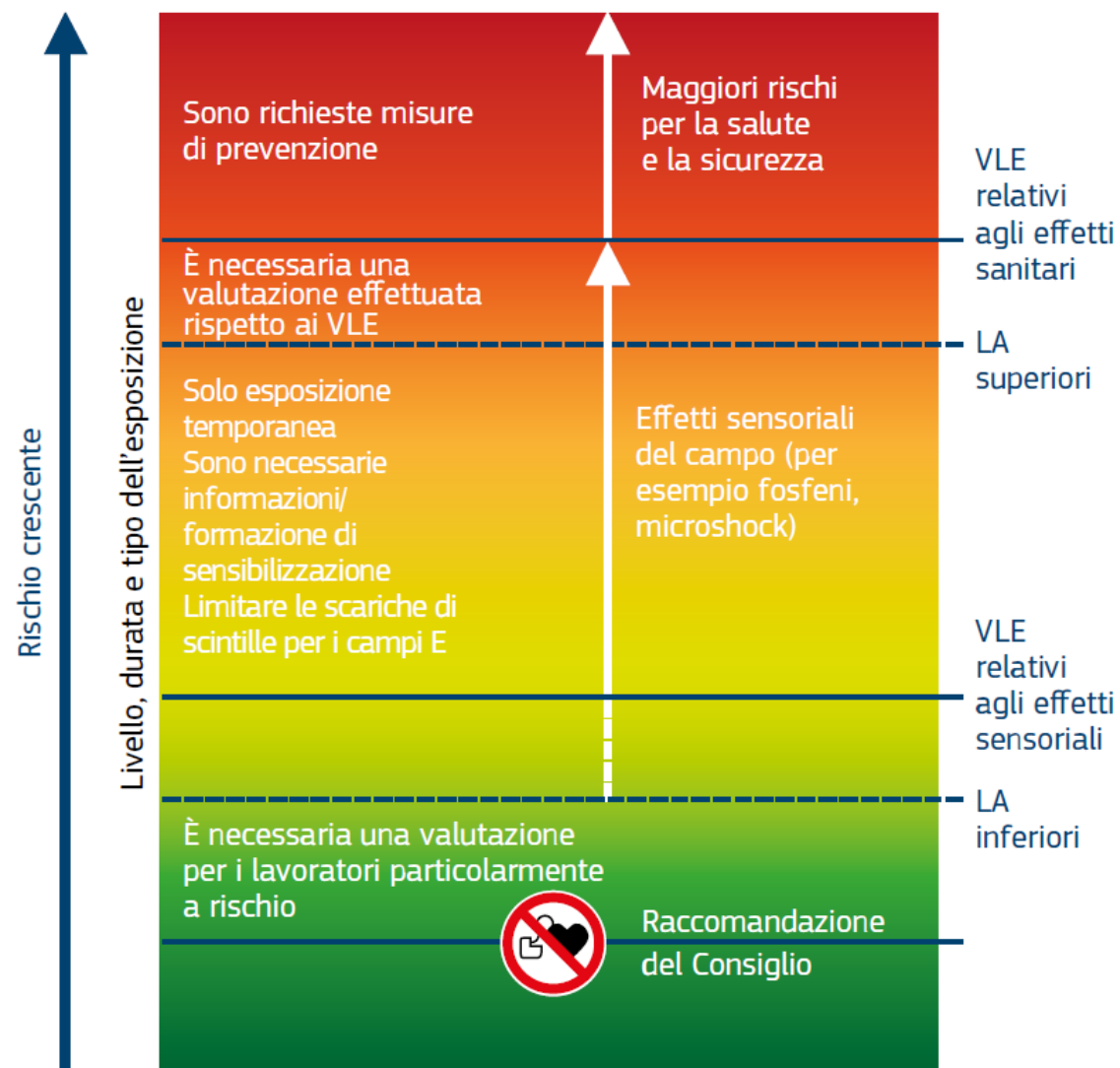


Figura 6.3 — Rappresentazione schematica che illustra la relazione tra i valori limite di esposizione e i livelli di azione



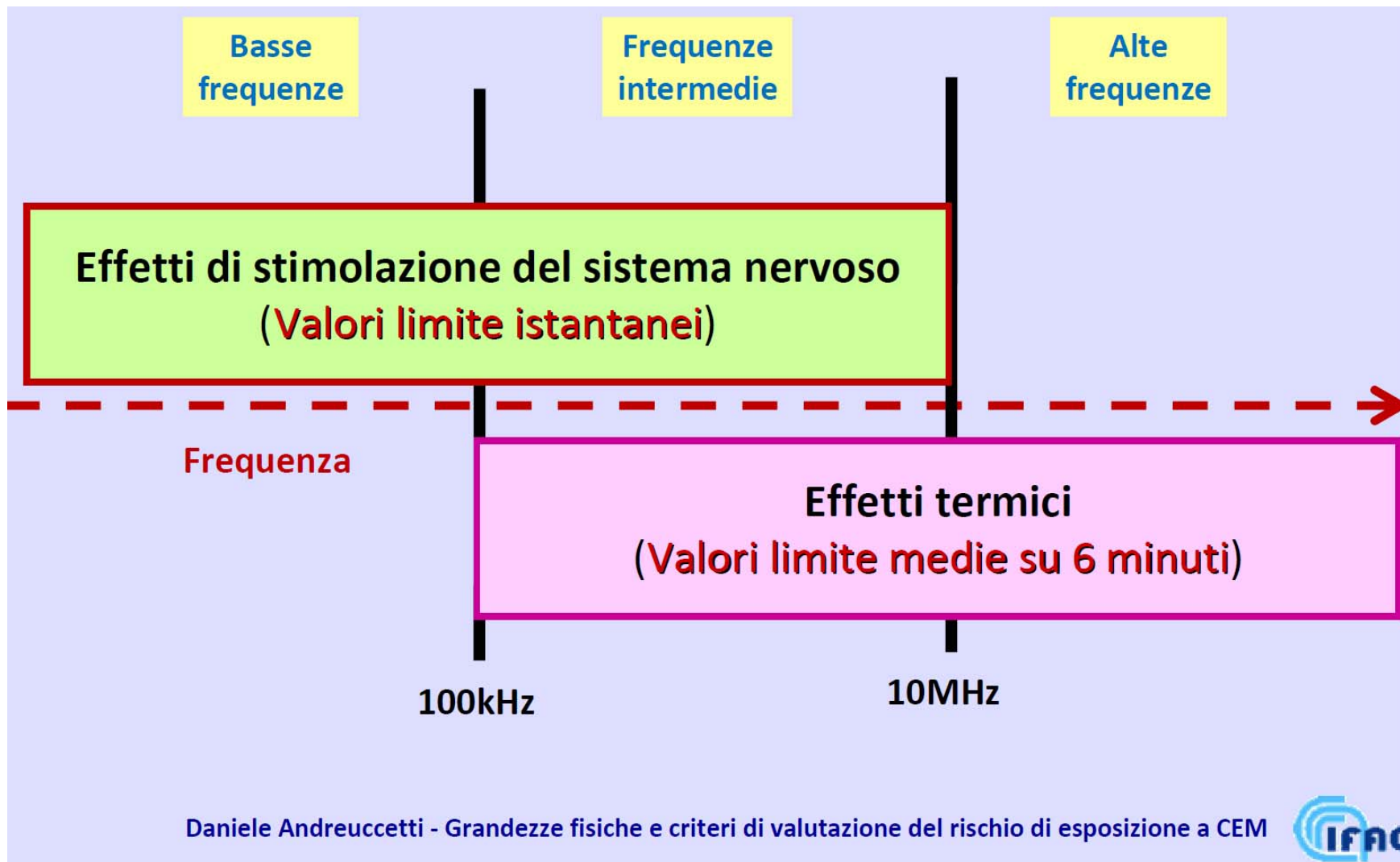


TABELLA A1

VLE per l'induzione magnetica esterna (B_0) per frequenze comprese tra 0 e 1 Hz

	VLE relativi agli effetti sensoriali [T]
Condizioni di lavoro normali	2
Esposizione localizzata degli arti	8
	VLE relativi agli effetti sanitari [T]
Condizioni di lavoro controllate	8

TABELLA A2

VLE relativi agli effetti sanitari per l'intensità di campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari [Vm^{-1}] (valore di picco)
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	1,1
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f$

TABELLA A3

VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali [Vm^{-1}] (valore di picco)
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f$
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	0,07
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f$

TABELLA B1

VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [Vm^{-1}] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [Vm^{-1}] (valori RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$1,0 \times 10^6 / f$
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Il VLE relativo agli effetti sensoriali è il VLE applicabile in condizioni di lavoro normali (tabella A1) ed è correlato alla prevenzione di nausea e vertigini dovute a disturbi sull'organo dell'equilibrio, e di altri effetti fisiologici, conseguenti principalmente al movimento del soggetto esposto all'interno di un campo magnetico statico.

Il VLE relativo agli effetti sanitari in condizioni di lavoro controllate (tabella A1) è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, purché siano state adottate le misure di prevenzione di cui all'articolo 208, comma 4.

I VLE relativi agli effetti sanitari (tabella A2) sono correlati alla stimolazione elettrica di tutti i tessuti del sistema nervoso centrale e periferico nel corpo, compresa la testa.

Nota A2-2: i VLE relativi agli effetti sanitari per il campo elettrico interno sono riferiti al valore spaziale di picco sull'intero corpo del soggetto esposto.

I VLE relativi agli effetti sensoriali (tabella A3) sono correlati agli effetti del campo elettrico interno sul sistema nervoso centrale nella testa, tra cui fosfeni e modifiche minori e transitorie di talune funzioni cerebrali.

Nota A3-2: i VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno sono riferiti al valore di picco spaziale nella testa del soggetto esposto

VA inferiori (tabella B1, seconda colonna) per il campo elettrico ambientale sono stabiliti al fine di prevenire scariche elettriche nell'ambiente di lavoro, e garantiscono il rispetto dei VLE (tabelle A2 e A3).

I VA superiori (tabella B1, terza colonna) garantiscono anch'essi il rispetto dei VLE (tabelle A2 e A3), ma non assicurano l'assenza di scariche elettriche a meno che non siano intraprese le misure di protezione di cui all'articolo 210, comma 5.

Nota B1-3: i VA 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.

TABELLA B2

VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

I VA superiori (tabella B2, terza colonna) garantiscono il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari correlati alla stimolazione elettrica dei tessuti nervosi periferici e centrali (tabella A2). L'osservanza dei VA superiori assicura che non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari ma, se l'esposizione della testa supera i VA inferiori per esposizioni a frequenze fino a 400 Hz, sono possibili effetti sensoriali, come fosfeni o modifiche minori e transitorie dell'attività cerebrale. In tal caso, ove giustificato dalla pratica o dal processo produttivo, è possibile applicare l'articolo 208, comma 3, lettera b).

Nota B2-3: i VA 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.

TABELLA B3

VA per la corrente di contatto IC

Frequenza	VA (I_c) corrente di contatto stabile nel tempo [mA] (RMS)
Fino a 2,5 kHz	1,0
$2,5 \leq f < 100 \text{ kHz}$	$0,4 f$
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10000 \text{ kHz}$	40

TABELLA B4

VA per l'induzione magnetica di campi magnetici statici

Rischi	VA (B_0) [mT]
Interferenza con dispositivi impiantabili attivi, ad esempio stimolatori cardiaci	0,5
Rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti ad alta intensità ($> 100 \text{ mT}$)	3

TABELLA A1

VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 100 kHz e 6 GHz

VLE relativi agli effetti sanitari	Valori di SAR mediati per ogni periodo di sei minuti [Wkg^{-1}]
VLE relativo allo stress termico sistemico, espresso come SAR medio a corpo intero	0,4
VLE relativo allo stress termico localizzato nella testa e nel tronco, espresso come SAR locale (nella testa e nel tronco)	10
VLE relativo allo stress termico localizzato, negli arti, espresso come SAR locale (negli arti)	20

Nota A1-1: il rispetto dei VLE sul SAR locale deve essere assicurato in termini di valore medio su ogni elemento di massa pari a 10 g di tessuto contiguo della parte del corpo interessata; il massimo valore del SAR locale così ottenuto deve essere impiegato per la verifica di conformità con il pertinente VLE. Tali elementi di massa dovrebbero essere caratterizzati da proprietà elettriche approssimativamente omogenee. Il concetto di massa di tessuto contiguo può essere utilizzato nella dosimetria numerica, nel cui ambito può anche essere utilizzata una geometria semplificata, quale una massa cubica o sferica di tessuto, date le difficoltà pratiche di identificazione degli elementi contigui mediante misurazioni fisiche dirette.

TABELLA A2

VLE relativo agli effetti sensoriali per esposizione a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 0,3 e 6 GHz

Intervallo di frequenza	Assorbimento specifico locale di energia nella testa (SA) [mJkg ⁻¹]
0,3 ≤ f ≤ 6 GHz	10

TABELLA A3

VLE relativo agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici di frequenze comprese tra 6 GHz e 300 GHz

Intervallo di frequenza	Densità di potenza [Wm ⁻²]
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	50

TABELLA B1

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 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 × 10 ²	2,0 × 10 ⁶ / f	—
1 ≤ f < 10 MHz	6,1 × 10 ⁸ / f	2,0 × 10 ⁶ / f	—
10 ≤ f < 400 MHz	61	0,2	—
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 × 10 ⁻³ f ²	1,0 × 10 ⁻⁵ f ²	—
2 ≤ f < 6 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	—
6 ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	50

TABELLA B2

VA per le correnti di contatto stazionarie e le correnti indotte attraverso gli arti

Intervallo di frequenza	VA (I _c) per la corrente di contatto stabile nel tempo [mA] (RMS)	VA (I _l) per la corrente indotta in qualsiasi arto [mA] (RMS)
100 kHz ≤ f < 10 MHz	40	—
10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz	40	100

Il VLE relativo agli effetti sensoriali per le frequenze comprese tra 0,3 e 6 GHz (tabella A2) è riferito all'energia assorbita per ogni piccola massa (10 g) di tessuto all'interno della testa, derivante da esposizione a campi elettromagnetici, ed è finalizzato alla prevenzione degli effetti uditivi provocati da esposizioni della testa a microonde pulsate.

Nota A2-1: la massa adottata per mediare l'SA locale è pari a 10 g di tessuto

Nota A3-1: il rispetto del VLE sulla densità di potenza deve essere garantito in termini di valore medio per ogni superficie corporea esposta di 20 cm², con la condizione aggiuntiva che la densità di potenza mediata su ogni superficie di 1 cm² non superi il valore di 1000 W/m². 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.

I VA per E e B corrispondono ai valori del campo elettrico e magnetico imperturbati, e sono intesi come valori massimi calcolati o misurati sul posto di lavoro nello spazio occupato dal corpo del lavoratore o parti specifiche di questo.

I VA (E) e VA (B) derivano dai VLE relativi al SAR e alla densità di potenza (tabelle A1 e A3). Il VA (S) viene a coincidere con il corrispondente VLE, essendo espresso nella medesima unità di misura.

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.

Nota B2-1: il [VA (I_l)]² deve essere mediato per ogni periodo di sei minuti.».

