

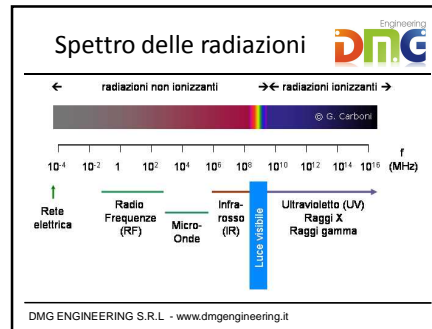



Introduzione alle radiazioni

Radiazioni elettromagnetiche:
fisica e normativa di riferimento

Dott. Ing. Morgan Marino


DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it





Background

Legislazione di riferimento



DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it

La Valutazione dei Rischi

■ In base all'Art. 28 del D.Lgs.81/2008 la valutazione del rischio comprende:

- Una relazione sulla valutazione di tutti i rischi, nella quale siano specificati i criteri adottati per la valutazione stessa;
- L'indicazione delle misure di prevenzione e di protezione attuate e dei dispositivi di protezione individuali adottati, a seguito della suddetta valutazione;
- Il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza;
- L'individuazione delle procedure per l'attuazione delle misure da realizzare, nonché dei ruoli dell'organizzazione aziendale che vi debbono provvedere.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 4

Capo I, Titolo VIII D.Lgs.81/2008

■ Dal 01/01/2009 è entrato in vigore il Capo I del D.Lgs.81/2008 con tutti gli obblighi in esso richiamati

■ Art. 181 D.Lgs.81/2008:

“... con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi ... il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivante da esposizione ad agenti fisici ... con cadenza almeno quadriennale ... (utilizzando) ... personale qualificato ... il datore di lavoro ... precisa quali misure di prevenzione e protezione devono essere adottate ...”

■ Art. 180 D.Lgs.81/2008:

“... per agenti fisici si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, di origine artificiale, il microclima e le atmosfere iperbariche che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori ...”

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 5

Capo I, Titolo VIII D.Lgs.81/2008

■ Art. 183 D.Lgs.81/2008:

“ Il datore di lavoro adatta le misure (di prevenzione e protezione) alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili ai rischi, incluse le donne in stato di gravidanza ed i minori ”

■ Art. 184 D.Lgs.81/2008:

– “... il datore di lavoro provvede affinché i lavoratori esposti a rischi derivanti da agenti fisici sul luogo di lavoro ed i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi ...”

■ Art. 185 D.Lgs.81/2008:

– “... sorveglianza sanitaria ... nei casi previsti ai rispettivi capi ... sulla base dei risultati della valutazione del rischio ...”

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 6

Capo IV, Titolo VIII D.Lgs.81/2008

■ L'unione Europea (con la direttiva 2008/46/CE) ha spostato al 30 aprile 2012 la data ultima per il recepimento della direttiva 2004/40/CE, inizialmente prevista per il 30 aprile 2008.

■ L'Art. 306 del D.Lgs.81/2008 prevede che le norme relative ai limiti di esposizione (Capo IV – Artt. 206÷212) entrino in vigore alla stessa data.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 7

Capo IV, Titolo VIII D.Lgs.81/2008

■ I limiti di esposizione dai CEM inserite al Capo IV derivano dalle linee guida emanate nel 1998 dalla Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti – ICNIRP

■ Il Coordinamento tecnico per la sicurezza sui luoghi di lavoro delle Regioni e delle provincie autonome, in collaborazione con ISPESL raccomandano di anticipare (su base volontaria) l'applicazione del Capo IV “... anche tenuto conto del richiamo alle norme tecniche ed alle buone prassi di cui all'Art.181 ...”.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 8

Limiti per la popolazione (DPCM 8 luglio 2003 -ELF)

■ Limiti di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti:

- Induzione magnetica massima: 100 µT
- Campo elettrico massimo: 5 kV/m

■ A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine sono previsti valori di azione e obiettivi di qualità

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 9

Limiti per la popolazione (DPCM 8 luglio 2003 -RF)

- Limiti di esposizione popolazione a:

Frequenza	Campo elettrico (V/m)	Campo magnetico (A/m)	Densità di potenza (W/m ²)
0,1<f<3 MHz	60	0,2	--
3<f<3000 MHz	20	0,05	1
3<f<300 GHz	40	0,01	4

- Valori mediati in un qualsiasi intervallo di 6 minuti e su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano
- Valori di azione e obiettivi di qualità contro gli effetti a lungo termine

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 10

Campo applicazione per campi elettromagnetici

Legge di riferimento	Protezione dagli effetti acuti	Protezione dagli effetti a lungo termine
D.Lgs. 81/2008 (luoghi di lavoro)	Valori di azione Valori limite di esposizione	(effetti non considerati)
Legge 36/01 e DPCM 08/07/2003 (popolazione)	Limiti di esposizione	Valori di attenzione Obiettivi di qualità

- Lavoratore esposto per la specifica attività di lavoro → D.Lgs.81/2008
- Lavoratore esposto per ragioni non legate al lavoro → limiti della popolazione

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 11

Capo V, Titolo VIII D.Lgs.81/2008

- Alle radiazioni ottiche si associa quella porzione dello spettro elettromagnetico (lunghezze d'onda da 100 nm a 1 mm) che va dall'ultravioletto all'infrarosso, passando per il visibile.
- Il 26 aprile 2010 sono entrate in vigore le disposizioni del capo V → valori limite di esposizione dell'allegato XXXVII.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 12

Radiazioni Ionizzanti

- Le radiazioni ionizzanti sono quelle radiazioni dotate di sufficiente energia da poter ionizzare gli atomi (o le molecole) con i quali vengono a contatto
- Nei casi in cui la radiazione ionizzante incida su tessuti biologici, può causare danni di tipo sanitario
- La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal D.Lgs.230/1995 e s.m.i.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 13

Richiami di Fisica Campi elettrici e magnetici

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 14

Legge di Coulomb

- Legge di Coulomb : I corpi, contraddistinti da cariche uguali si respingono, viceversa i corpi con cariche diverse si attraggono.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 15

Campo elettrico

- Ogni singola carica modifica le proprietà dello spazio che la circonda in modo tale che, se un'altra carica è introdotta in questa zona di spazio, questa è soggetta ad una forza pari alla forza di Coulomb.
- La zona di spazio in esame diviene sede di un campo di forze.
- Si definisce campo elettrico la forza per unità di carica.
- L'unità di misura: [V/m].

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 16

Densità di corrente

- Nel movimento (ordinato) di cariche elettriche all'interno di un conduttore, si definisce intensità di corrente la quantità di carica che attraversa la sezione del conduttore nell'unità di tempo
 - Unità di misura [A].
- La densità di corrente è la quantità di corrente che attraversa l'unità di superficie (per una sezione universale).
 - Unità di misura [A/m²].

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 17

Campo magnetico

- Alcuni elementi naturali (calamite) esercitano forze di attrazione su altri materiali dette forze magnetiche.
- In tutti i punti dello spazio intorno a un magnete si può definire un campo magnetico.
- Una corrente elettrica produce nello spazio circostante un campo magnetico.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 18

Campi variabili

- Cariche elettriche ferme → campo elettrico
- Cariche elettriche in movimento (correnti elettriche) → campo elettrico e campo magnetico
- Campo elettrico variabile → campo magnetico (e viceversa)

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 19

Equazioni di Maxwell

- James Clerk Maxwell (Edimburgo, 13 giugno 1831 – Cambridge, 5 novembre 1879) è stato un matematico e fisico scozzese.
- Elaborò la prima teoria moderna dell'elettromagnetismo
- Le quattro equazioni di Maxwell dimostrano che l'elettricità, il magnetismo e la luce sono tutte manifestazioni del medesimo fenomeno: il campo elettromagnetico.
- Tutte le leggi ed equazioni di queste discipline sono ricondotte a casi descritti dalle quattro equazioni fondamentali.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 20

Equazioni di Maxwell

Nome	Forma differenziale	Forma integrale
Teorema di Gauss per il campo elettrico	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\iint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho dV$
Teorema del flusso per il campo magnetico	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\iint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS = 0$
Legge di Faraday (circolazione del campo elettrico)	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \iint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS$
Legge di Ampère (circolazione del campo magnetico)	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \iint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS$

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 21

Onde Elettromagnetiche

- Le equazioni di Maxwell descrivono la propagazione di onde trasversali:
 - campi, elettrico e magnetico, oscillano perpendicolarmente alla direzione di propagazione
 - si propagano nello spazio indipendentemente dalle sorgenti che le hanno generate.
- L'esistenza di tali onde elettromagnetiche fu dimostrata sperimentalmente per la prima volta da Hertz nel 1887.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 22

Onda Piana

- Se i campi sono sinusoidali si parla di onda piana
- L'intensità di un campo elettromagnetico può essere specificata indifferentemente tramite:
 - campo elettrico
 - campo magnetico
 - densità di potenza

$$\frac{E_{eff}}{H_{eff}} = \eta$$

Dove η è l'impedenza d'onda

- Nel vuoto $\eta_0 = 377 \Omega$
- L'impedenza dell'aria si può assumere uguale a quella del vuoto.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 23

Caratterizzazione onda elettromagnetica

- Lunghezza d'onda: la distanza spaziale occupata da un ciclo di un'onda ad un dato istante, ossia è la distanza fra un punto in un ciclo e il punto corrispondente nel ciclo successivo.

- Il numero di lunghezze d'onda o di cicli che passa per un dato punto nell'unità di tempo è la frequenza.
- La velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto è uguale alla velocità della luce: $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$.
- nel vuoto: $\lambda f = c$

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 24

Classificazione dello spettro NIR

Frequenza	Denominazione	Lunghezza d'onda	
0 Hz – 300 Hz	Onde e.m. a frequenze estremamente basse (ELF)	$\infty - 1000 \text{ km}$	RADIAZIONE NON OTTICA
300 Hz – 300 kHz	Onde e.m. a frequenze basse (VLF-LF)	1000 km – 1 km	
300 kHz – 300 MHz	Radiofrequenze (RF)	1 km – 1 m	
300 MHz – 300 GHz	Microonde (MW)	1 m – 1 mm	RADIAZIONE OTTICA
300 GHz – 300 THz	Infrarosse (IR)	1 mm – 760 nm	
375 THz – 750 THz	Luce visibile (LV)	760 nm – 400 nm	
750 THz – 3×10^{14} THz	Ultravioletto (UV)	400 nm – 100 nm	

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 25

Bassa Frequenza

- 0 Hz – 100 KHz → approssimazione quasi statica
 - Campi elettrico e magnetico disaccoppiati e determinati dalle rispettive sorgenti fisiche
 - ⇒ trattazione in termini di campo elettrico e di campo magnetico

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 26

Alta Frequenza

- 100 kHz – 300 GHz
 - Campo elettrico e campo magnetico intrinsecamente connessi → campo elettromagnetico
 - Trattazione in termini di campo elettrico e di campo magnetico o di campo elettromagnetico in relazione alla distanza dalla sorgente e alla lunghezza d'onda della radiazione (Regione di campo vicino e di campo lontano)

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 27

Campo vicino e campo lontano

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 28

Campo vicino

- **Regione di campo vicino reattivo:**
 - le componenti reattive dei campi predominano su quelle radiative
 - campi elettrici e magnetici indipendenti e determinati dalle rispettive sorgenti fisiche
 - i campi non si propagano e non è associata potenza irradiata alla loro presenza.
 - i campi si comportano come nel caso statico ⇒ trattazione in termini di campo elettrico e di campo magnetico
- **Regione di campo vicino radiativo:**
 - comincia a formarsi il fascio di radiazione pur se il campo presenta ancora un andamento irregolare con rapide variazioni di intensità

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 29

Campo lontano

- **Condizione di onda piana**
 - campi di radiazione (mutua generazione tra campo elettrico e magnetico)
 - energia elettromagnetica che lascia la sorgente, allontanandosi tramite i meccanismi di generazione mutua fra campo elettrico e campo magnetico.
 - campi perpendicolari tra loro e alla direzione di propagazione
 - campi sono in fase
 - Ampiezze legate dalla relazione costante
 - intensità che varia con l'inverso della distanza dalla sorgente

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 30

Procedure di misura

- La distinzione campo vicino e campo lontano assume significato operativo sulle procedure di misura.
 - Campo vicino: le misure devono essere condotte in maniera indipendente per il campo elettrico e magnetico
 - Campo lontano: si può procedere indifferentemente alla misura del campo elettrico, magnetico o della densità di potenza in quanto da una sola di queste grandezze è possibile ricavare le altre due

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 31

Limiti di esposizione

Effetti biologici e linee guida ICNIRP

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 32

ICNIRP

- La normativa internazionale sui campi elettromagnetici non ionizzanti si basa sulle linee guida ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
- Ente non governativo riconosciuto dall'Organizzazione Mondiale della Sanità

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 33

Linee guida ICNIRP Campi 1Hz÷300GHz

- Analisi degli studi scientifici pubblicati
- Protezione dai soli effetti sanitari noti

→ effetti immediati per l'esposizione a breve termine

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 34

Esposizione elettromagnetica Effetti per la salute

- **Effetti diretti**
 - accoppiamento con i campi elettrici a bassa frequenza
 - accoppiamento con i campi magnetici a bassa frequenza
 - assorbimento di energia elettromagnetica
- **Effetti indiretti**
 - correnti di contatto che si manifestano quando il corpo umano viene in contatto con un oggetto a diverso potenziale elettrico
 - accoppiamento del campo elettromagnetico con dispositivi elettromedicali impiantati o portati dal soggetto esposto

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 35

Meccanismi di interazione bassa frequenza

- **Per frequenze < 100 kHz**
 - I campi esterni provocano induzione di campi elettrici e di correnti elettriche variamente distribuite all'interno del corpo
- **Campo magnetico ed elettrico indipendenti ma il risultato finale è sempre l'induzione di densità corrente**

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 36

Meccanismi di interazione bassa frequenza

■ Stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili come nervi e muscoli

- effetti a soglia: perché si verifichi la stimolazione la densità di corrente deve essere maggiore di un determinato valore
- è possibile fissare limiti di esposizione finalizzati alla totale prevenzione di questi effetti

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 37

Meccanismi di interazione bassa frequenza

■ Principali effetti biologici in relazione all'induzione di corrente nell'intervallo di frequenza 1- 300 Hz:

Densità di corrente (mA/m ²)	EFFETTI
> 1000	Extrasistole e fibrillazione ventricolare: rischi per la salute ben determinati
100 – 1000	Stimolazione dei tessuti eccitabili: possibili rischi per la salute
10 – 100	Possibili effetti sul sistema nervoso
1 – 10	Effetti biologici minori


DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 38

Meccanismi di interazione frequenze > 10MHz

■ Assorbimento di energia elettromagnetica e sua conversione in calore → riscaldamento generale o locale del corpo

■ A frequenze superiori a circa 10 MHz questo effetto è l'unico a permanere

■ Al di sopra di 10 GHz l'assorbimento è esclusivamente superficiale



DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 39

SAR Stima degli effetti termici

■ Il SAR (Specific Absorption Rate - tasso di assorbimento specifico) [W/kg], stima gli effetti termici della radiazione sui tessuti

Variazione di temperatura corporea	Effetto
< 1 grado centigrado	non causano particolari problemi (normale termoregolazione del corpo umano)
1-2 gradi centigradi	l'organismo non è più in grado di termoregolarsi → sintomi simili alla febbre (riduzione attività mentale, anomalie alle normali funzioni corporee)
Oltre 2 gradi centigradi	effetti gravi che possono essere anche irreversibili

■ Si assume come soglia di danno un valore di SAR medio di 4 W/kg corrispondente ad un innalzamento della temperatura corporea di 1°C

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 40

Effetti biologici in funzione del SAR

■ SAR mediato sul corpo intero (medio) o circoscritto a specifici distretti (locale) in relazione all'induzione di effetti biologici nocivi nell'animale

Valore di SAR	Effetto Biologico
100 W/kg (medio)	ipertermia generalizzata, insufficienza dei meccanismi termoregolatori
100 W/kg (locale)	induzione di cataratta nell'animale
10 - 100 W/kg (medio)	ipertermia generalizzata o localizzata, risposta termoregolatoria di grado variabile; inibizione temporanea o permanente della spermatogenesi; induzione di aborto e malformazioni fetali; Risposte neuroendocrine ed immunologiche collegate allo stress termico
1 - 4 W/kg (medio)	soglia di induzione di effetti comportamentali e di risposte fisiologiche collegate a stress nell'animale

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 41

Meccanismi di interazione Grandezze dosimetriche

■ Per frequenze < 100 kHz → induzione interna

- È significativa la densità di corrente indotta (mA/m²) o l'intensità di campo elettrico indotto (V/m)

■ Per frequenze > 10 MHz → effetto termico

- Tasso di assorbimento specifico indotto SAR (W/kg)
- Sopra i 10 GHz → densità di potenza (W/m²) (riscaldamento dei tessuti della superficie del corpo)

■ Per frequenze nell'intervallo 100kHz – 10 MHz → i due meccanismi coesistono e si combinano gradualmente al variare delle frequenze

- Corrente indotta, campo elettrico indotto e SAR

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 42

Esposizione elettromagnetica Effetti non considerati

■ L'osservanza delle linee guida ICNIRP non preclude necessariamente interferenze, o effetti di altro tipo, nei confronti di apparati medicali come impianti metallici, pacemaker e defibrillatori cardiaci, apparecchi acustici.

■ Interferenze possono verificarsi a livelli inferiori a quelli di riferimento raccomandati.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 43

Limiti di esposizione Campi Statici

■ L'ICNIRP ritiene che i dati sperimentali a disposizione non forniscano una base sufficiente per la definizione di limiti di esposizione

- Si raccomanda che l'esposizione professionale della testa e del tronco non dovrebbe superare una densità spaziale di flusso magnetico di picco di 2 T
- per le applicazioni di lavori per i quali le esposizioni superiori a 2 T sono ritenute necessarie, l'esposizione fino a 8 T può essere consentita con restrizioni.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 44

Limiti di esposizione Restrizioni sulle correnti indotte

Frequenze	Lavoratori	Popolazione
4 Hz - 1 kHz	$J < 10 \text{ mA/m}^2$	$J < 2 \text{ mA/m}^2$

(valori mediati superficie di 1 cm² perpendicolare alla direzione della corrente)


■ Il limite di base per i lavoratori incorpora un fattore di protezione pari a 10 rispetto agli effetti da prevenire

■ Il limite di base per la popolazione incorpora un fattore di sicurezza aggiuntivo pari a 5

■ Base temporale istantanea

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 45

Limiti di esposizione Restrizioni sul SAR



Esposizione	Lavoratori	Popolazione
Sul corpo intero	<0,4 W/kg	<0,08 W/kg
Locale su testa e tronco	<10 W/kg	< 2 W/kg
Locale negli arti	<20 W/kg	<4 W/kg

- La massa adottata per definire il SAR localizzato è pari a ogni 10 g di tessuto contiguo, con proprietà elettriche omogenee.
- I valori sul corpo intero e locali devono essere sempre rispettati contemporaneamente.
- Tutti i valori di SAR sono definiti in termini di media su un qualsiasi periodo di 6 minuti.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 46


Limiti di esposizione Valori limite



- Per frequenze 100 kHz - 10 MHz
 - limiti di esposizione sia in termini della densità di corrente sia del SAR, che devono essere rispettati allo stesso tempo.
- Per frequenze 10 GHz - 300 GHz
 - limiti di esposizione per la densità di potenza, espressa in W/m² (prevengono l'eccessivo riscaldamento dei tessuti della superficie del corpo)

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 47

Limiti di esposizione Valori limite



Intervallo di Frequenza	Densità di corrente per ogni braccio (A/m)	Valori limite di esposizione			Densità di potenza (W/m ²)
		SAR applicato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (W/kg)	SAR localizzato (W/kg)	
Fase 1 SE	40	/	/	/	/
1 - 4 Hz	40E	/	/	/	/
4 - 1000 Hz	10	/	/	/	/
1000 Hz - 100 MHz	E1000	/	/	/	/
100 kHz - 10 MHz	E1000	0,4	10	20	/
10 MHz - 10 GHz	/	0,4	10	20	/
10 - 300 GHz	/	/	/	/	50

E è la Frequenza in Hz

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 48

Limiti di esposizione Valori di azione



- I valori limite di esposizione (o limiti di base nella terminologia ICNIRP) non sono direttamente misurabili nei soggetti esposti
- Possono essere ottenuti solo mediante misure su fantocci o calcoli numerici estremamente sofisticati e onerosi
- A partire dai limiti di base vengono prodotti i livelli derivati di riferimento per le grandezze misurabili in ambiente
 - garantiscono il rispetto dei pertinenti limiti di base

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 49


Limiti di esposizione Valori di azione



- Valori di azione per:
 - campo elettrico (V/m)
 - campo magnetico (A/m)
 - induzione magnetica (mT)
 - densità di potenza (W/m²)
- hanno una dipendenza dalla frequenza molto complessa
- Per campo elettrico, magnetico, induzione magnetica, devono essere intesi come media sul volume occupato dal soggetto esposto

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 50

Limiti di esposizione Valori di azione



- Per frequenze < 100 kHz
 - Scopo: garantire il rispetto dei valori limite di esposizione per la densità di corrente indotta nella testa e nel tronco
 - base temporale istantanea
- Per frequenze > 10 MHz
 - Scopo: garantire il rispetto del valore limite di esposizione per il SAR mediato sul corpo intero
 - base temporale ogni periodo di 6 minuti.
- Per frequenze tra 100 kHz e 10 MHz
 - Scopo: rispetto dei valori limite di esposizione sia per la densità di corrente indotta che per il SAR.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 51

Limiti di esposizione Valori di azione



- I valori di azione non garantiscono il rispetto dei valori limite per il SAR locale
- Per esposizioni molto disomogenee in stretta prossimità della sorgente
 - misure su fantocci o tecniche di calcolo numerico (ad esempio per la valutazione di conformità dei telefoni cellulari)
 - in alcuni casi mediante la misurazione della corrente che fluisce attraverso gli arti

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 52


Limiti di esposizione Valori di azione



- Per frequenze tra 10 e 110 MHz:
 - Valore d'azione per la corrente negli arti in mA finalizzato al rispetto del valore limite di esposizione per il SAR locale negli arti
- Per tutte le frequenze < 110 MHz:
 - Valori di azione per la corrente di contatto finalizzati a proteggere da scosse o ustioni che potrebbero verificarsi al contatto con oggetti conduttori, non connessi ad impianti di terra, caricati dai campi elettromagnetici presenti nell'ambiente

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 53

Limiti di esposizione Valori di azione



Intervallo di frequenza	Intervallo di campo elettrico E (V/m)	Intervallo di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μT)	Densità di potenza di onda piana S _{av} (W/m ²)	Corrente di contatto I _c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I _a (mA)
0 - 3 Hz	/	1,63 x 10 ³	2 x 10 ³	/	1,0	/
3 - 8 Hz	20000	1,63 x 10 ³	2 x 10 ³	/	1,0	/
8 - 25 Hz	20000	2 x 10 ³	2,5 x 10 ³	/	1,0	/
0,025 - 0,82 kHz	500E	20E	25E	/	1,0	/
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	/	1,0	/
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	/	0,4E	/
65 - 100 kHz	610	1600E	2000E	/	0,4E	/

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 54

Limiti di esposizione Valori di azione

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μT)	Densità di potenza di onda p _{av} (W/m ²)	Corrente di contatto, I _c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I _a (mA)
0,1 - 1 MHz	610	1,6E	2E	/	40	/
1 - 10 MHz	610E	1,6E	2E	/	40	/
10 - 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	/	/
400 - 3000 MHz	3E ²	0,008E ²	0,01E ²	E/40	/	/
3 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	/	/

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 55

MISURE PROTETTIVE

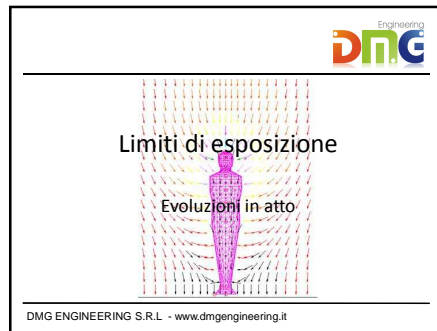
- Il datore di lavoro deve garantire il rispetto di quanto previsto dalle linee guida
- Appropriate misure di protezione devono essere messe in pratica quando le esposizioni sui luoghi di lavoro superano le restrizioni di base

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 56

MISURE PROTETTIVE

- E' anche essenziale stabilire e mettere in pratica regole che impediscano:
 - interferenze con dispositivi medici (es. pacemaker)
 - attivazione di dispositivi elettrici per esplosivi (detonatori)
 - incendi ed esplosioni conseguenti a scintille causate, presso materiali infiammabili, da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 57



Campi ELF "Possibilmente cancerogeni"

- Lo IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) ha classificato i campi ELF come "possibilmente cancerogeni per l'uomo" (categoria 2B)
- "Possibilmente cancerogeno per l'uomo" è una classificazione usata per connotare un agente per il quale vi sia una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza meno che sufficiente negli animali da laboratorio
- L'organizzazione Mondiale della Sanità → Principio Cautelativo

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 59

Note ICNIRP Campi ELF

- Le pubblicazioni scientifiche si sono spesso occupate dell'esposizione a lungo termine a campi magnetici a 50-60 Hz per cercare un'associazione con l'incremento di rischio di leucemia infantile
- Alcune evidenziano un rischio eccessivo per esposizioni superiori a 0,3-0,4 μT
- Comunque tali risultati potrebbero essere spiegati da una combinazione di pregiudizi, da un certo grado di confusione e da opportunità di chi ha eseguito tali studi
- Per di più non sono stati identificati meccanismi biofisici su studi su animali e cellule in laboratorio che supportino le ipotesi formulate

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 60

Note ICNIRP

Alta frequenza ed esposizioni croniche

- Per frequenze > 100 kHz
 - la letteratura scientifica non ha fornito evidenza di alcun effetto nocivo al di sotto delle restrizioni di base
 - Conferma delle restrizioni base del 1998 in tale intervallo di frequenza
- I dati epidemiologici su possibili effetti sanitari di esposizioni croniche del corpo intero a bassi livelli di intensità, prodotti da trasmettitori a radiofrequenza in condizioni di campo lontano, sono scarsi, soprattutto per la mancanza di una soddisfacente valutazione dell'esposizione individuale. I pochi studi con una stima adeguata dell'esposizione non hanno rivelato alcun effetto sanitario.

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 61

Nuova Guida ICNIRP frequenze 1Hz-100 kHz

- Exposure to Time-Varying Electric & Magnetic Fields - ICNIRP guidelines published
- November 2010 - ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz). Health Physics 99(6):818-836; 2010.
- Prossimamente sul sito www.icnirp.de

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 62

Nuova Guida ICNIRP frequenze 1Hz-100 kHz

- Nuove grandezze dosimetriche a bassa frequenza
 - Adozione del campo elettrico in situ come grandezza dosimetrica
 - Valori riferiti alla testa ed al corpo intero
 - Limiti differenziati per disturbi ed effetti sanitari
 - Basati su un modello dettagliato di anatomia umana
 - Definiti nell'intervallo 1 Hz - 10 MHz
 - Non cambiano gli ordini di grandezza dei limiti
- Tale guida costituirà il riferimento per la futura Direttiva Europea

DMG ENGINEERING S.R.L. - www.dmgengineering.it 63

Nuova Guida ICNIRP
frequenze 1Hz-100 kHz



Exposure characteristics	Frequency range	Internal electric field (V m ⁻¹)
Occupational exposure		
D50 tissue of the head	1 - 10 Hz	0,5 / f
	10 Hz - 25 Hz	0,05
	25 Hz - 400 Hz	$2 \times 10^{-4} f$
	400 Hz - 3 kHz	0,4
All tissues of head and body	3 kHz - 10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
	1 Hz - 3 kHz	0,5
	3 kHz - 10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
General public exposure		
D50 tissue of the head	1 - 10 Hz	0,1 / f
	10 Hz - 25 Hz	0,01
	25 Hz - 1000 Hz	$4 \times 10^{-4} f$
	1000 Hz - 3 kHz	0,4
All tissues of head and body	3 kHz - 10 MHz	$3,35 \times 10^{-4} f$
	1 Hz - 3 kHz	0,1
	3 kHz - 10 MHz	$3,35 \times 10^{-4} f$

NOTE:
 - f is the frequency in Hz
 - All values are rms
 - In the frequency range above 100 kHz, specific basic restrictions need to be considered additionally.



www.dmgengineering.it