Università degli Studi di Pavia
Facoltà di Ingegneria

Laboratorio di Elettrotecnica Industriale

Legislazione

Dipartimento di Ingegneria Elettrica

www.unipv.it/electric/cad

LEGISLAZIONE

Legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001

Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

Finalità:

1) assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione
2) promuovere la ricerca scientifica e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione
3) assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

LEGISLAZIONE

Legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001

Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

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. Sono esplicitamente citati gli elettrodotti e gli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti per radiodiffusione.
2) Non si applica nei casi di esposizione intenzionale (scopi diagnostici ecc…)
3) Nei riguardi delle Forze armate e delle Forze di polizia le norme della presente legge sono applicate tenendo conto delle particolari esigenze al servizio espletato

LEGISLAZIONE

Legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001

Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

Definizioni:

1) Il **limite di esposizione** è il valore del campo elettrico, magnetico o elettromagnetico da non superare in alcuna condizione di esposizione della popolazione, ai fini della tutela della salute da effetti acuti.

2) Il **valore di attenzione**, è il valore del campo elettrico, magnetico o elettromagnetico, indicato a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine eventualmente connessi con l'esposizione ai campi elettromagnetici.

LEGISLAZIONE

Legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001

Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

Definizioni:

3) Gli **obiettivi di qualità** sono invece i criteri da rispettare ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici, magnetici o elettromagnetici.

LEGISLAZIONE

Limiti, valori di attenzione ed obiettivi di qualità

- **D.P.C.M. 8 luglio 2003** *"Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai* ***campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz)*** *generati dagli elettrodotti"*

- **D.P.C.M. 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***"

LEGISLAZIONE

D.P.C.M. 8 luglio 2003 – GU 200/03

Limite di esposizione: valore del campo elettrico o magnetico da non superare in alcuna condizione di esposizione della popolazione, ai fini della tutela della salute da effetti acuti.

B<100 μT **E<5 kV/m**

Valore di attenzione: valore del campo elettrico o magnetico, considerato come valore di immissione, da non superare nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

B<10 μT da intendersi come mediana nell'arco delle 24 ore, nelle normali condizioni di esercizio dell'elettrodotto

LEGISLAZIONE

D.P.C.M. 8 luglio 2003 – GU 200/03

Obiettivi di qualità: criteri da rispettare per quanto riguarda la progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e la progettazione di nuovi insediamenti, e di nuove aree di cui sopra, in prossimità di installazioni elettriche già presenti nel territorio.

B<3 μT da intendersi come mediana nell'arco delle 24 ore, nelle normali condizioni di esercizio dell'elettrodotto

LEGISLAZIONE

D.P.C.M. 8 luglio 2003 – GU 200/03

Tecniche di misurazione e di determinazione dei livelli d'esposizione : norma CEI 211-6, data pubblicazione 2001-01, "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz-10 kHz, con riferimento all'esposizione umana" e successivi aggiornamenti.

Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti : l'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici), sentite le ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell' Ambiente), definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio

LEGISLAZIONE

D.M. 29 maggio 2008

Fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

Il Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio approva la metodologia di calcolo per le fasce di rispetto.
Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, dichiarata dal gestore.

All'interno della fascia di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

LEGISLAZIONE

D.M. 29 maggio 2008

La metodologia di calcolo si riferisce a linee esistenti o in progetto, aeree o interrate, con esclusione di

- linee a frequenza diversa da 50 Hz
- linee definite di classe zero (come le linee di telecomunicazione) e linee di prima classe (quali le linee di bassa tensione) secondo il decreto interministeriale n. 449 del 21 marzo 1988
- linee in media tensione in cavo cordato ad elica (aeree o interrate)

In tutti questi casi citati, infatti, le fasce di rispetto hanno ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal decreto interministeriale n. 449 del 21 marzo 1988 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991.

LEGISLAZIONE

D.P.C.M. 8 luglio 2003 – GU 199/03

I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità devono essere mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti.

Limite di esposizione: valore del campo elettrico, magnetico o elettromagnetico da non superare in alcuna condizione di esposizione della popolazione, ai fini della tutela della salute da effetti acuti.

Frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m^2)
$0,1 < f \leq 3$ MHz	60	0,2	-
$3 < f \leq 3000$ MHz	20	0,05	1
$3 < f \leq 300$ GHz	40	0,1	4

LEGISLAZIONE

D.P.C.M. 8 luglio 2003 – GU 199/03

Valore di attenzione: valore del campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico da non superare a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine eventualmente connessi con le esposizioni ai campi generati alle suddette frequenze all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e loro pertinenze esterne, che siano fruibili come ambienti abitativi quali balconi, terrazzi e cortili esclusi i lastrici solari

Frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m^2)
0,1 MHz < f $\leq$ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz - 300 GHz)

LEGISLAZIONE

D.P.C.M. 8 luglio 2003 – GU 199/03

Obiettivi di qualità : criteri da rispettare ai fini della progressiva minimizzazione della esposizione ai campi elettromagnetici, calcolati o misurati all'aperto nelle aree intensamente frequentate. Per aree intensamente frequentate si intendono anche superfici edificate ovvero attrezzate permanentemente per il soddisfacimento di bisogni sociali, sanitari e ricreativi.

Frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m^2)
0,1 MHz < f $\leq$ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz - 300 GHz)

Tecniche di misurazione e di determinazione dei livelli d'esposizione : norma CEI 211-7, data pubblicazione 2001-01, “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell´intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all´esposizione umana” e successivi aggiornamenti.

LEGISLAZIONE

Norma CEI 211-7 e successivi aggiornamenti

Poiché i limiti di esposizione si intendono mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano bisogna effettuare 3 misure distinte a 1.1 m, 1.5 m e 1.9 m dal suolo, componendoli poi nel seguente modo:

$$E_m = \sqrt{\frac{\sum_{h=1,3} E_h^2}{3}}$$

Il valore medio così calcolato va confrontato con i limiti di legge

LEGISLAZIONE

Decreto legislativo 9 aprile 2008 n.81

In materiale di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

Titolo VIII, capo IV: protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione ai capi elettromagnetici

-Obbligatorietà della valutazione dei rischi (sorgenti EM e posizione dei lavoratori in relazione ad esse ad eccezione dei dispositivi conformi)
-Eventuali misurazioni o simulazioni dei campi EM a cui sono esposti i lavoratori
-Eventualmente adozione di misure di prevenzione e protezione.

LEGISLAZIONE

Decreto legislativo 9 aprile 2008 n.81

Valori di azione:

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E(V/m)	Intensità di campo, magnetico H(A/m)	Induzione magnetica B(μT)
0 - 1 Hz	/	$1{,}63 \times 10^5$	2×10^5
1- 8 Hz	20000	$1{,}63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2{,}5 \times 10^4/f$
0,025 -0,82 kHz	500/f	20/f	25/f
0,82 - 2,5kHz	610	24,4	30,7
2,5 - 65kHz	610	24,4	30,7
65 - 100kHz	610	1600/f	2000/f
0,1- 1MHz	610	1,6/f	2/f
1 - 10MHz	610/f	1,6/f	2/f
10 - 110MHz	61	0,16	0,2
110 - 400MHz	61	0,16	0,2
400 -2000MHz	$3f^{1/2}$	$0{,}008f^{1/2}$	$0{,}01f^{1/2}$
2 - 300GHz	137	0,36	0,45

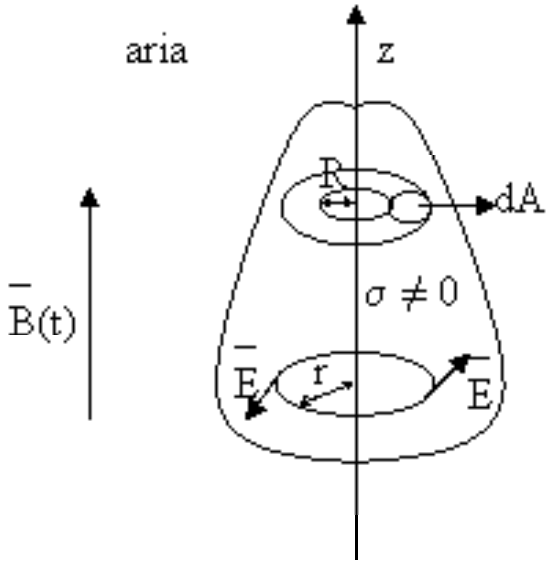
@ 50 Hz:

$E<10 kVm^{-1}$

$B<500 \mu T$

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo magnetico a bassa frequenza



Corpo umano modellato come solido di rotazione

$$\bar{\nabla} \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \qquad \bar{B} = (0,0,B_z)$$

$$\oint \bar{E} \cdot \bar{ds} = -\frac{d\Phi_{\bar{B}}}{dt} \qquad E 2\pi r = -\frac{d}{dt}(B_z \pi r^2)$$

$$E = -\frac{1}{2} r \frac{dB_z}{dt}$$

$$E_{eff} = \frac{1}{2} r \omega B_{eff}$$

$$J_{eff} = \sigma \frac{1}{2} r \omega B_{eff}$$

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo magnetico a bassa frequenza

Limite di sicurezza per densità di corrente indotta:

per densità > 100 mAm^{-2} effetti biologici certi,
considerando un fattore di sicurezza pari a 10 per i lavoratori ⇒ 10 mAm^{-2}
considerando un fattore di sicurezza pari a 50 per la popolazione ⇒ 2 mAm^{-2}

$$J_{eff} = \sigma \frac{1}{2} r \omega B_{eff}$$

Considerando
- frequenza di rete a 50 Hz,
- conducibilità elettrica pari a 0.2
(a 50 Hz per il tessuto nervoso σ = 0.03 Sm^{-1} e muscolo σ = 0.2 Sm^{-1})
- raggio di 0.6 m (considerando il raggio medio di una parte del corpo cioè il tronco, misura cautelativa)

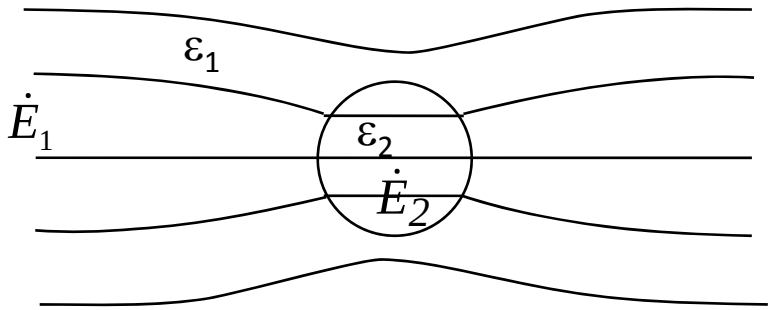
10^{-2}=0.2 0.5 0.6 314 B_{eff} da cui $B_{eff} \approx 5\ 10^{-4}$ T

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo elettrico a bassa frequenza

A frequenza nulla il campo elettrico esterno, per quanto elevato possa essere, si annulla all'interno del corpo, essendo esso conduttore. Gli strati esterni del corpo, infatti, fanno, per così dire, da gabbia di Faraday per quelli più interni.

A frequenza non nulla



Sfera:

$\varepsilon_2 = 10^{6}\,\varepsilon_0$

$\sigma = 1\ \mathrm{Sm}^{-1}$

Corpo umano modellato come una sfera

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Conducibilità complessa e dielettrici con perdite

Per un campo armonico

•si può definire una conducibilità complessa

Potenza attiva specifica: effetto Joule

Potenza reattiva specifica

$$\nabla \times \dot{H} = \dot{J} + j\omega\dot{D} = \left(\sigma + j\omega\varepsilon\right)\dot{E}$$

Helmholtz per vettore complesso H

Formalmente: $\dot{\varepsilon} = \varepsilon - \frac{j\sigma}{\omega}$

•per dielettrico polare ci sono perdite di allineamento

$$\dot{D} = \left(\varepsilon' - j\varepsilon''\right)\dot{E}$$

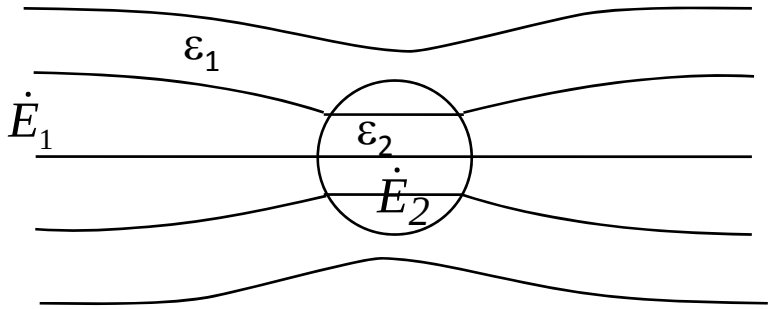
Potenza reattiva specifica

$$\nabla \times \dot{H} = \left(\sigma + \omega\varepsilon'' + j\omega\varepsilon'\right)\dot{E}$$

Potenza attiva specifica: effetto Joule + perdite dielettriche

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo elettrico a bassa frequenza



Sfera:

$\varepsilon_2 = 10^6 \varepsilon_0$

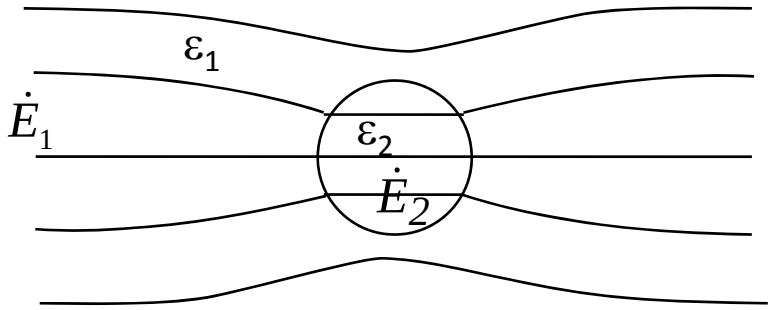
$\sigma = 1\ \mathrm{Sm}^{-1}$

$$\dot{E}_2 = \frac{3\dot{\varepsilon}_1}{2\dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2}\dot{E}_1 = \frac{3(\varepsilon_0 - j\frac{0}{\omega})}{2(\varepsilon_0 - j\frac{0}{\omega}) + (\varepsilon_2 - j\frac{\sigma}{\omega})}\dot{E}_1$$

$$\dot{E}_2 = \frac{3\varepsilon_0}{2\varepsilon_0 + \varepsilon_2 - j\frac{\sigma}{\omega}}\dot{E}_1 \cong \frac{3\varepsilon_0}{2\varepsilon_0 + 10^6\varepsilon_0 - j\frac{1}{314}}\dot{E}_1 \cong j314\ \ 3\ \varepsilon_0\dot{E}_1$$

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo elettrico a bassa frequenza



Sfera:

$\varepsilon_2 = 10^{6}\,\varepsilon_0$

$\sigma = 1\ \mathrm{Sm}^{-1}$

$$\frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_1} \cong j1000\varepsilon_0 \cong j10^{-8} \Rightarrow \frac{E\ \text{int efficace}}{E\ \text{est efficace}} \cong 10^{-8}$$

se il campo elettrico esterno è 5 kVm^{-1}, campo elettrico interno al corpo umano circa 50 $\mu\mathrm{Vm}^{-1}$

Limite di sicurezza

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo elettromagnetico a alta frequenza

Il limite di rischio per la salute è fissato a partire dalla quantità di calore che fa aumentare la temperatura del corpo umano di 1 K (f>100 kHz).

La potenza dissipata per effetto Joule è pari a σE_{eff}^2

Se il materiale è sia conduttore sia dielettrico con perdite si ha $(\sigma+\omega\varepsilon_0\varepsilon_r'')E_{eff}^2$

Potenza dissipata per unità di massa (chilogrammo), Specific Absorption Rate:

$$S.A.R. = \frac{(\sigma + \omega\varepsilon_0\varepsilon_r'')E_{eff}^2}{\delta}$$

δ densità di massa

Perché si superi il limite di rischio deve essere S.A.R = 4 Wkg^{-1}

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo elettromagnetico a alta frequenza

In realtà il limite di rischio non dovrebbe essere mai raggiunto, così si ammettono in genere nelle norme di sicurezza internazionali, valori di S.A.R. pari a
4/50 Wkg^{-1} per la popolazione
4/10 Wkg^{-1} per le persone sottoposte per lavoro a campi elettromagnetici

Non si possono quindi superare gli 0.08 Wkg^{-1} per la popolazione generale, quindi la variazione di temperatura non dovrebbe superare 1/50 K.

$$S.A.R. = 0.08 = \frac{(\sigma + \omega\varepsilon_0\varepsilon_r'')E_{eff}^2}{\delta} = \frac{(1 + 10^9 \;\; 8.85\,10^{-12} 15)E_{eff}^2}{1000}$$

$$E_{eff} \cong 8.4\,Vm^{-1}$$

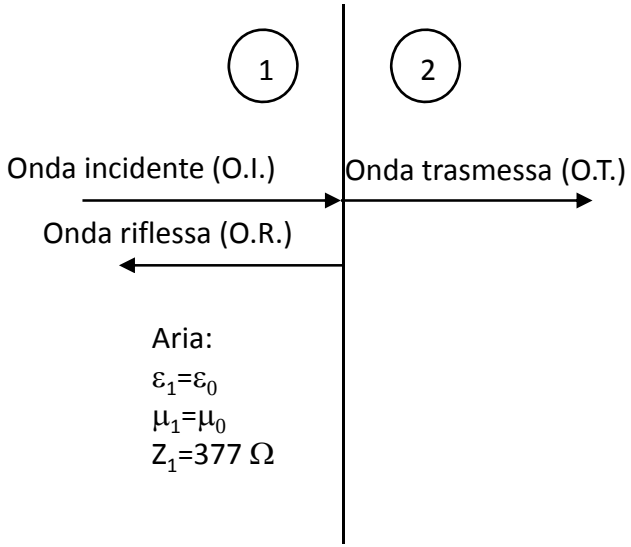
all'interno del corpo

$$\varepsilon_r'' = \varepsilon_r tg(\delta) = 50 \;\; 0.3 = 15$$

FONDAMENTI SCIENTIFICI

Campo elettromagnetico a alta frequenza

$E_{eff} \cong 8.4\ Vm^{-1}$ all'interno del corpo, ma il campo viene misurato all'esterno



$$\frac{E_{eff\ O.T.}}{E_{eff\ O.I.}} = \left| \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \right|$$

$$Z_1 = \sqrt{\frac{\mu_1}{\varepsilon_1}}$$

$$Z_2 = \sqrt{\frac{\mu_2}{\varepsilon_2}}$$

$\varepsilon_2=\varepsilon_0\varepsilon_r=50\varepsilon_0$, $\mu_2=\mu_0$, $\sigma=1\ Sm^{-1}$

$$\frac{E_{eff\ O.T.}}{E_{eff\ O.I.}} = \left| \frac{2\sqrt{\dfrac{\mu_0}{\varepsilon_0\varepsilon_r - j\dfrac{\sigma}{\omega}}}}{\sqrt{\dfrac{\mu_0}{\varepsilon_0\varepsilon_r - j\dfrac{\sigma}{\omega}}} + 377} \right| \cong 0.17$$

0.2~0.25

$E_{eff} \cong 30\ Vm^{-1}$

all'esterno del corpo