



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

I EDIZIONE - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Modulo A.1: Organizzazione sanitaria
(Formazione di base)

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione

Ing. Settimio Pavoncello

Ente – Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

E-mail: settimio.pavoncello@pec.ording.roma.it - Tel. 333/3978240

In collaborazione con

INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

LUISS BUSINESS SCHOOL

Organizzato da

ROMA TRE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI


Bambino Gesù
OSPEDALE PEDIATRICO

20/11/2015

 Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma

Quali grandezze misurare?

Tabella 2: Valori di azione (art. 208 comma 2)
valori efficaci rms impertubati

<i>Intervallo di frequenza</i>	<i>Intensità di campo elettrico E (V/m)</i>	<i>Intensità di campo magnetico H (A/m)</i>	<i>Induzione magnetica B (μT)</i>	<i>Densità di potenza di onda piana equivalente S_{eq} (W/m²)</i>	<i>Corrente di contatto I_c (mA)</i>	<i>Corrente indotta attraverso gli arti I_L (mA)</i>
0 - 1 Hz	-	1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	-	1,0	-
1 - 8 Hz	20000	1,63 x 10 ⁵ /f ²	2 x 10 ⁵ /f ²	-	1,0	-
8 - 25 Hz	20000	2 x 10 ⁴ /f	2,5 x 10 ⁴ /f	-	1,0	-
0,025 - 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1,0	-
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-	0,4 f	-
65 - 100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0,4 f	-
0,1 - 1 MHz	610	1,6/f	2/f	-	40	-
1 - 10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	-	40	-
10 - 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400 - 2000 MHz	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	0,01 f ^{1/2}	f/40	-	-
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-



Quali tempi di esposizione considerare?

Note alla Tab.1: I valori limite di esposizione nell'intervallo di frequenza compreso fra 1 Hz e 10 MHz sono basati sugli **effetti nocivi accertati sul sistema nervoso centrale. Tali effetti acuti sono essenzialmente istantanei**

Note:

1. f è la frequenza espressa nelle unità indicate nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
2. Per le frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz, Seq, E2, H2, B2 e IL devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 6 minuti.
3. Per le frequenze che superano 10 GHz, Seq, E2, H2 e B2 devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di $68/f_{1,05}$ minuti (f in GHz).
4. Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace rms per $(2)^{1/2}$. Per gli impulsi di durata t_p la frequenza equivalente da applicare per i valori di azione va calcolata come $f = 1/(2t_p)$.
Per le frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo sono calcolati moltiplicando i pertinenti valori efficaci (rms) per 10^a , dove $a = (0,665 \log (f/10) + 0,176)$, f in Hz.
Per le frequenze comprese tra 10 MHz e 300 GHz, i valori di azione di picco sono calcolati moltiplicando i valori efficaci (rms) corrispondenti per 32 nel caso delle intensità di campo e per 1000 nel caso della densità di potenza di onda piana equivalente.
5. Per quanto riguarda i campi elettromagnetici pulsati o transitori o in generale l'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa, è necessario adottare metodi appropriati di valutazione, misurazione e/o calcolo in grado di analizzare le caratteristiche delle forme d'onda e la natura delle interazioni biologiche, tenendo conto delle norme armonizzate europee elaborate dal CENELEC.
6. Per i valori di picco di campi elettromagnetici pulsati modulati si propone inoltre che, per le frequenze portanti che superano 10 MHz, Seq valutato come media sulla durata dell'impulso non superi di 1000 volte i valori di azione per Seq, o che l'intensità di campo non superi di 32 volte i valori di azione dell'intensità di campo alla frequenza portante.



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 EDIZIONE - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Cosa cambierà con il recepimento della direttiva 2013/35?

raffronto tra i Valori di Azione (VA) della direttiva 2004/40 e i diversi Livelli di Azione (LA) della direttiva 2013/35

	E (V/m)				B (μT)				
	2004/40/UE VA tutti gli effetti	2013/35/UE LA(E) inf effetti di stim. elett.	2013/35/UE LA(E) sup effetti di stim. elett.	2013/35/UE LA(E) eff. termici	2004/40/UE VA tutti gli effetti	2013/35/UE LA(B) inf effetti di stim. elett.	2013/35/UE LA(B) sup effetti di stim. elett.	2013/35/UE LA(B) arti	2013/35/UE LA(B) eff. termici
1 Hz ≤ f < 8 Hz	2x10 ⁴				2x10 ⁵ /f ²				
8 Hz ≤ f < 25 Hz	2x10 ⁴				2.5x10 ⁴ /f				
25 Hz ≤ f < 50 Hz	5x10 ⁵ /f		2x10 ⁴	--	2.5x10 ⁴ /f	1000	3x10 ⁵ /f	9x10 ⁵ /f	--
50 Hz ≤ f < 300 Hz	5x10 ⁵ /f		1x10 ⁶ /f	--					--
300 Hz ≤ f < 820 Hz	5x10 ⁵ /f		1x10 ⁶ /f	--	3x10 ⁵ /f		9x10 ⁵ /f	--	
820 Hz ≤ f < 1.64 kHz	5x10 ⁵ /f		610	--	3x10 ⁵ /f			--	
1.64 kHz ≤ f < 3 kHz	610	170	610	--	30.7	100	300	--	
3 kHz ≤ f < 65 kHz				--				--	
65 kHz ≤ f < 100 kHz	610	170	610	--	2x10 ⁶ /f	100	300	--	
100 kHz ≤ f < 1 MHz				610				--	
1 MHz ≤ f < 10 MHz	610		6.1x10 ⁸ /f	--	2x10 ⁶ /f		2x10 ⁶ /f	--	
10 MHz ≤ f < 400 MHz	61	--	--	61	0.2	--	--	--	0.2
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3x10 ⁻³ f ^{1/2}	--	--	3x10 ⁻³ f ^{1/2}	1x10 ⁻⁵ f ^{1/2}	--	--	--	1x10 ⁻⁵ f ^{1/2}
2 GHz ≤ f < 300 GHz	137	--	--	140	0.45	--	--	--	0.45
	ICNIRP 1998	ICNIRP 2010			ICNIRP 1998	ICNIRP 2010			

www.agentifisici.it

f = 50 Hz	10 000	10 000	20 000	500	1 000	6 000	18 000
f = 1 kHz	610	500	1000	30.7	300	900	
f = 10 kHz	610	170	610	30.7	100	300	
f = 1 MHz	610	170	610	2	100	300	

Come verificare la conformità ai valori di azione?

La regola delle somme normalizzate – ICNIRP 1998

Per la densità di corrente indotta e per gli effetti di stimolazione elettrica, che sono significativi fino a 10 MHz, si applicano ai livelli di campo le due equazioni seguenti:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

a = 610 V/m per l'esposizione lavorativa e 87 V/m per quella del pubblico;
 b = 24,4 A/m (30,7 μ T) per l'esposizione lavorativa e 5 A/m (30,7 μ T) per quella del pubblico.



Come verificare la conformità ai valori di azione?

La regola delle somme normalizzate – ICNIRP 1998

Per le considerazioni termiche, che sono rilevanti al di sopra di 100 kHz, si devono applicare alle intensità di campo le due equazioni seguenti:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1$$

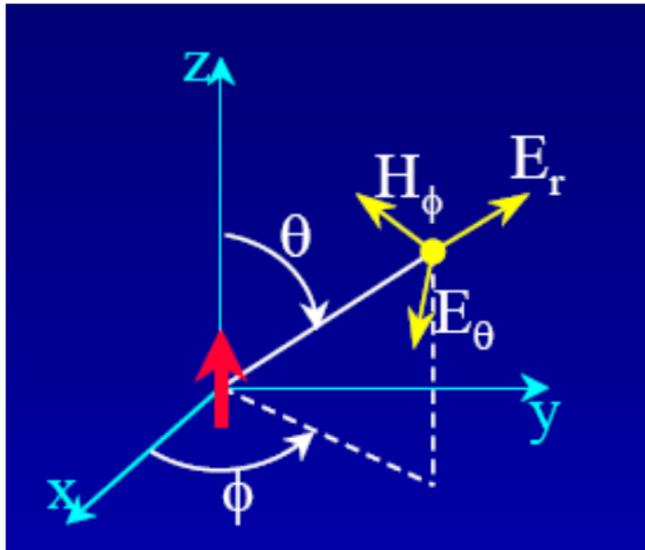
$$\sum_{j=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}}\right)^2 \leq 1$$

- c = 610/f V/m (f in MHz) per l'esposizione lavorativa e 87/f^{1/2} V/m per quella del pubblico;
- d = 16/f A/m (f in MHz) per l'esposizione lavorativa e 0,73/f A/m per quella del pubblico.



Nozioni utili alla comprensione delle catene di misura - Dipendenza del campo elettromagnetico dalla distanza

Radiatore Hertziano



$$H_r = 0$$

$$H_\theta = 0$$

$$H_\phi = j k \frac{I \ell e^{-j k r}}{4 \pi r} \sin \theta \left(1 + \frac{1}{j k r} \right)$$

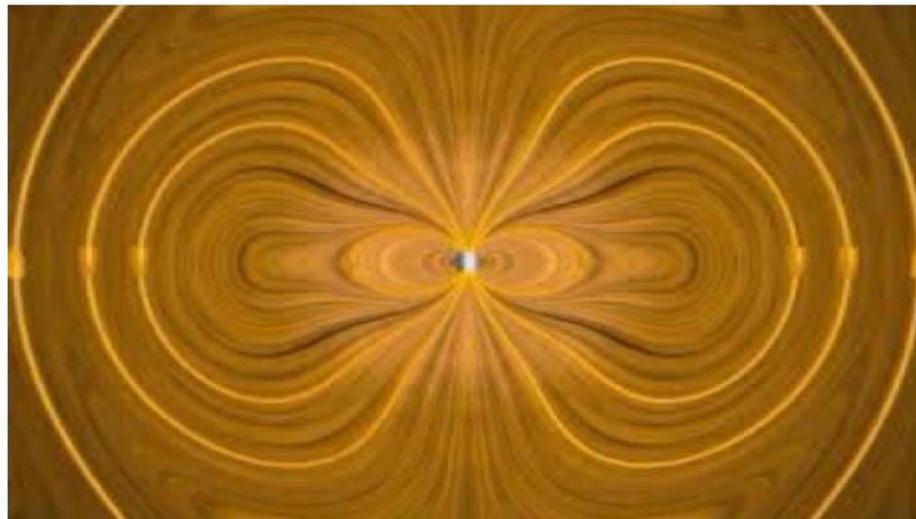
$$E_r = j k \zeta \frac{I \ell e^{-j k r}}{4 \pi r} \cos \theta \left(\frac{2}{j k r} - \frac{2}{k^2 r^2} \right)$$

$$E_\theta = j k \zeta \frac{I \ell e^{-j k r}}{4 \pi r} \sin \theta \left(1 + \frac{1}{j k r} - \frac{1}{k^2 r^2} \right)$$

$$E_\phi = 0$$

Nozioni utili alla comprensione delle catene di misura - **Dipendenza del campo elettromagnetico dalla distanza**

- Per “piccole” distanze dal dipolo il campo è **dominato dai contributi quasi-statici** (dovuti alle cariche e correnti elettriche che caratterizzano la sorgente): siamo nella zona di **campo vicino reattivo**.
- Per distanze $r \gg \lambda$ i contributi quasi-statici diventano trascurabili e il campo elettromagnetico è dominato dal **contributo radiativo**: siamo nella zona di **campo lontano radiativo**.



Nozioni utili alla comprensione delle catene di misura - **Dipendenza del campo elettromagnetico dalla distanza**

Radiatore Hertziano

Nella regione di campo lontano radiativo:

$$E_r \cong 0 \quad E_\varphi = 0$$
$$E_\theta \cong j k \zeta \frac{I \ell e^{-jk r}}{4 \pi r} \sin \theta$$

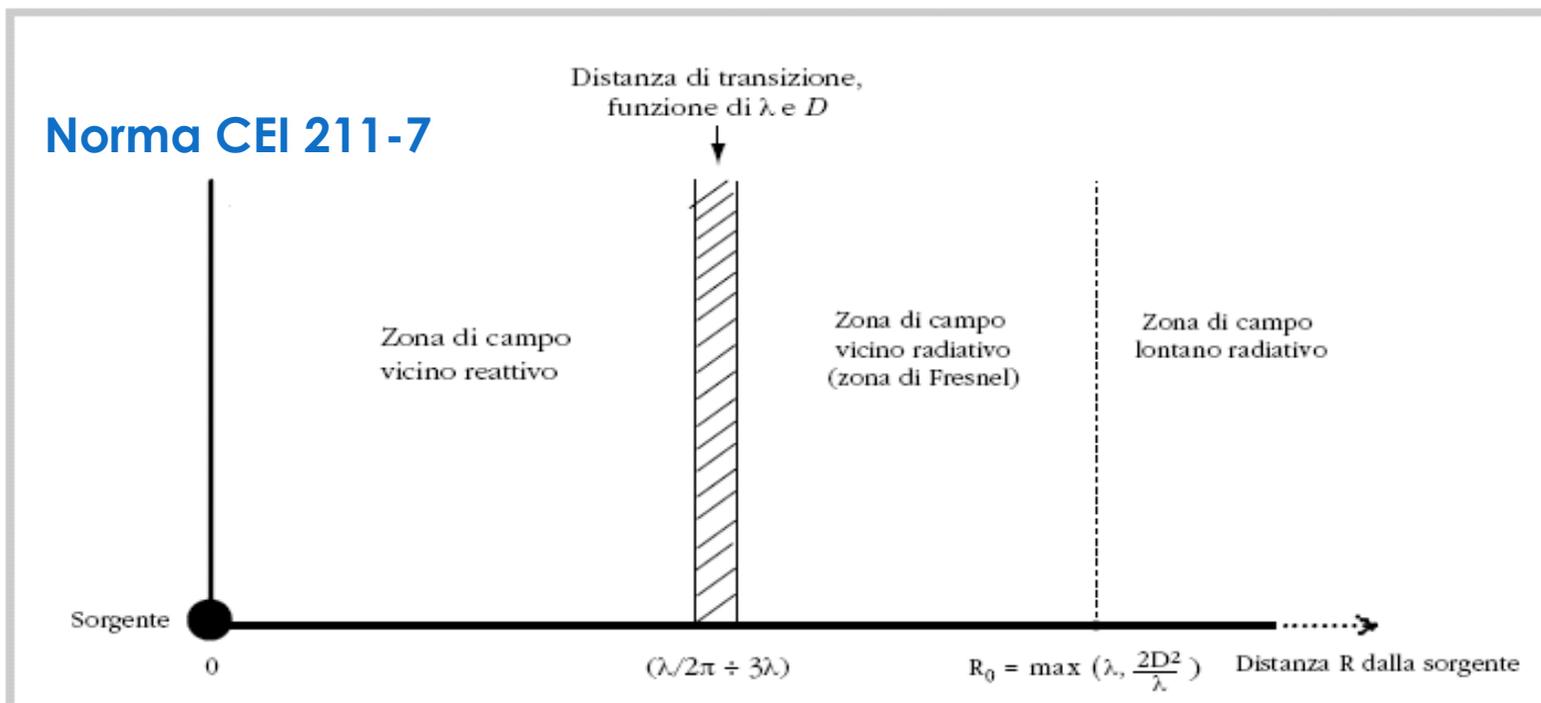
$$H_r = 0 \quad H_\theta = 0$$
$$H_\varphi \cong j k \frac{I \ell e^{-jk r}}{4 \pi r} \sin \theta$$

- Il campo elettrico e il campo magnetico sono correlati tra di loro a mezzo dell'impedenza caratteristica ζ (377 Ω)
- Il campo **decresce con** la distanza dall'antenna proporzionalmente a **1/r**.
- La densità di potenza **decresce con** la distanza dall'antenna in maniera proporzionale a **1/r²** ed è data da:

$$S(r, \theta, \varphi) = \frac{|\underline{E}(r, \theta, \varphi)|^2}{2 \zeta}$$



Nozioni utili alla comprensione delle catene di misura - **Dipendenza del campo elettromagnetico dalla distanza**



	Campo vicino reattivo	Campo vicino radiativo	Campo lontano
Valutazione della densità di potenza	$S \leq E \cdot H$	$S = \frac{E^2}{Z_0} = Z_0 H^2$	$S = \frac{E^2}{Z_0} = Z_0 H^2$
E ed H ortogonali	no	si	si
$\frac{E}{H} = 377 \Omega$	no	si	si

Nozioni utili alla comprensione delle catene di misura - **Dipendenza del campo elettromagnetico dalla distanza**

Nel caso della frequenza di **50 Hz**, cioè la frequenza delle correnti del trasporto di energia, la lunghezza d'onda associata è di **6000 Km**. Questo significa che in tal caso le misurazioni che si effettuano sono sempre in zona di campo vicino reattivo. *Conseguentemente, si dovranno effettuare misurazioni di E ed H separatamente, dato che non si può passare da un campo all'altro con semplici relazioni.*

Il rapporto E/H è molto **dipendente** dalle caratteristiche della sorgente del campo, come la disposizione dei cavi, la corrente che vi passa, la presenza o meno di schermi metallici. Per il caso degli elettrodotti, il rapporto E/H **cresce all'aumentare della tensione** dell'elettrodotto ed **al diminuire della corrente** da esso trasportata, ma il suo valore è sempre più grande dell'impedenza del vuoto ($120\pi\Omega$).



La strumentazione di misura di campo elettromagnetico



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Classificazione degli strumenti di misura



Gli strumenti per misure di campo si possono classificare in due categorie:

A **banda larga**: forniscono il valore globale del campo elettromagnetico su una banda sufficientemente ampia da comprendere tutte le sorgenti presenti



A **banda stretta** o selettivi: forniscono il valore del campo per una singola frequenza



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione

Ing. Settimio Pavoncello

20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Vantaggi e svantaggi legati all'utilizzo di strumenti in banda larga

Principali **vantaggi** degli strumenti per misure a banda larga:

- trasportabilità;
- relativa semplicità ed immediatezza d'uso;
- training per l'utilizzo breve e non complesso;
- costo contenuto;
- ampia banda di funzionamento.

Principali **svantaggi** degli strumenti per misure a banda larga:

- risposta fuori banda di difficile quantificazione (nessun costruttore generalmente la fornisce);
- impossibilità di determinare i singoli contributi delle sorgenti;
- errori relativamente elevati.



Gli strumenti di misura in banda larga: alta frequenza (10KHz -300GHz)



MSSLS

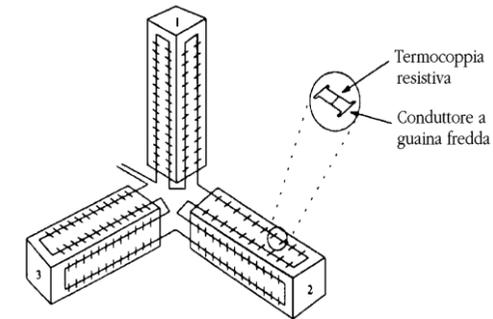
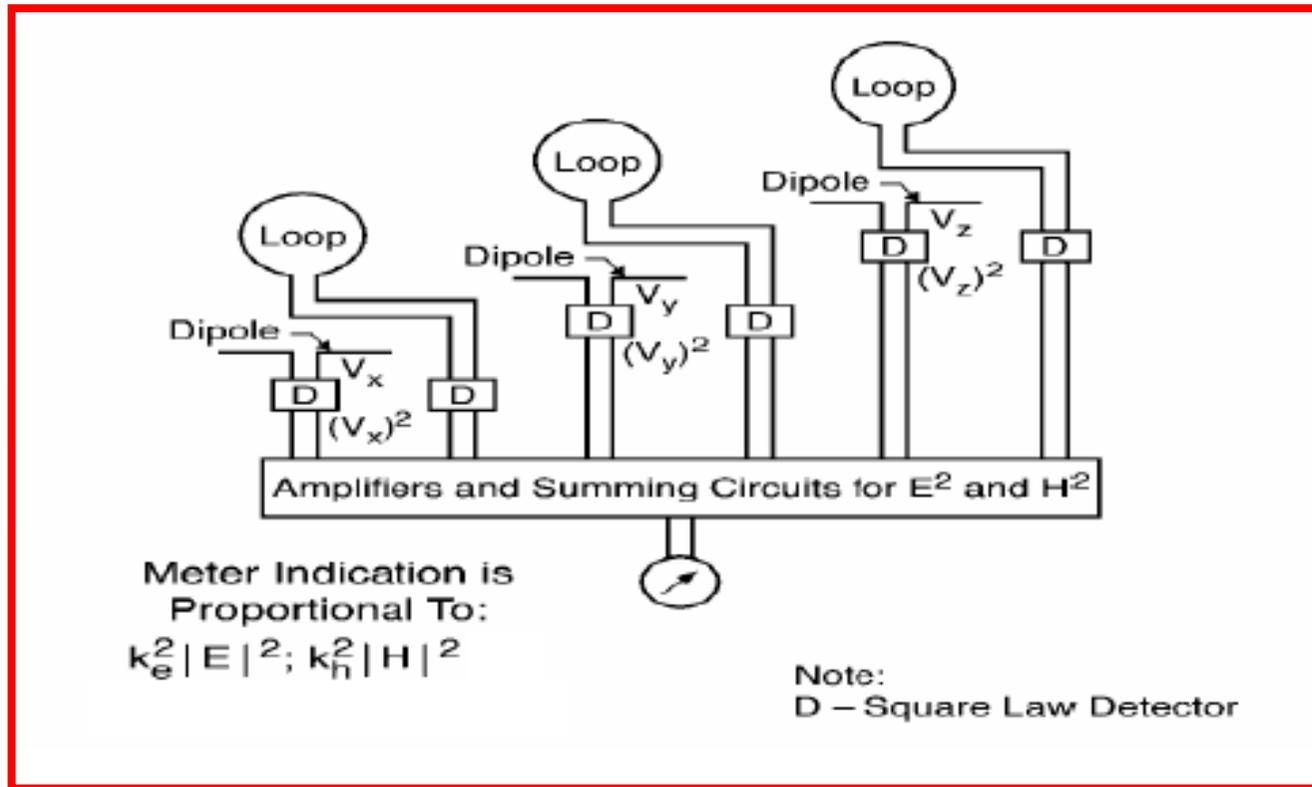
SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Misuratori in banda larga **in alta frequenza**: lo schema circuitale qualitativo



I sensori a diodo sono i più diffusi vista l'alta sensibilità, l'ampia dinamica, e l'elevata capacità di sovraccarico.

Gli strumenti isotropici hanno tre sensori disposti nelle tre direzioni ortogonali dello spazio, così da poter essere usati in una qualsiasi orientazione.

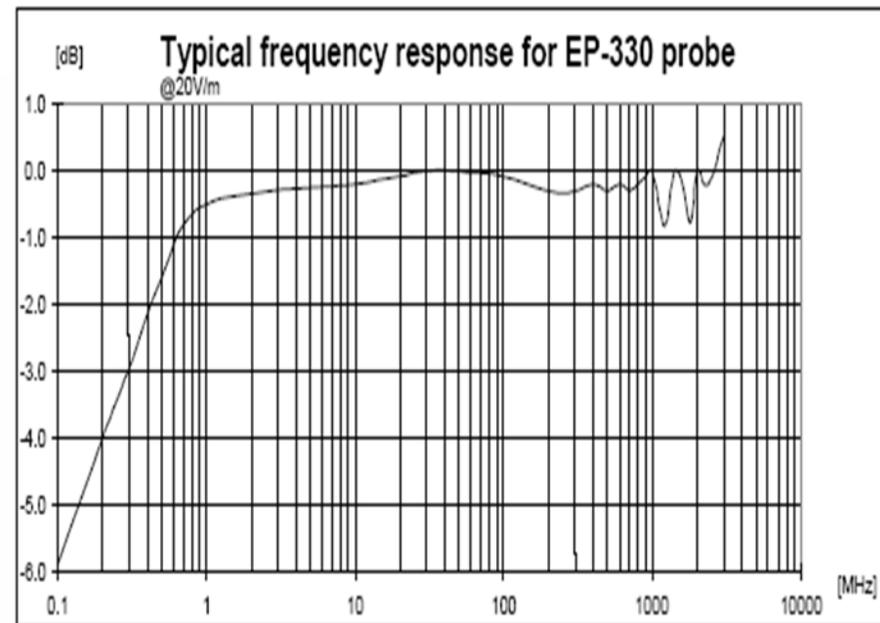
$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \qquad H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Misuratori in banda larga in alta frequenza: le caratteristiche di una sonda di campo E



ELECTRIC FIELD PROBE EP-330

Campo di frequenza	100 kHz - 3 GHz
Portata	0,3 - 300 V/m
Sovraccarico	> 600 V/m
Dinamica	> 60 dB
Risoluzione	0,01 V/m
Sensibilità	0,3 V/m
Errore assoluto @ 50 MHz e 20 V/m	± 0,8 dB
Piattezza (10 - 300 MHz)	± 0,5 dB
Piattezza (3 MHz - 3 GHz)	± 1,5 dB
Isotropicità	± 0,8 dB (Tipico ± 0,5dB @ 930 e 1800 MHz)
Reiezione campo magnetico	> 20 dB
Errore in temperatura	20°C÷60°C = ±0,1 dB 0°C÷20°C = -0,05 dB/°C -20°C÷0°C = -0,15 dB/°C

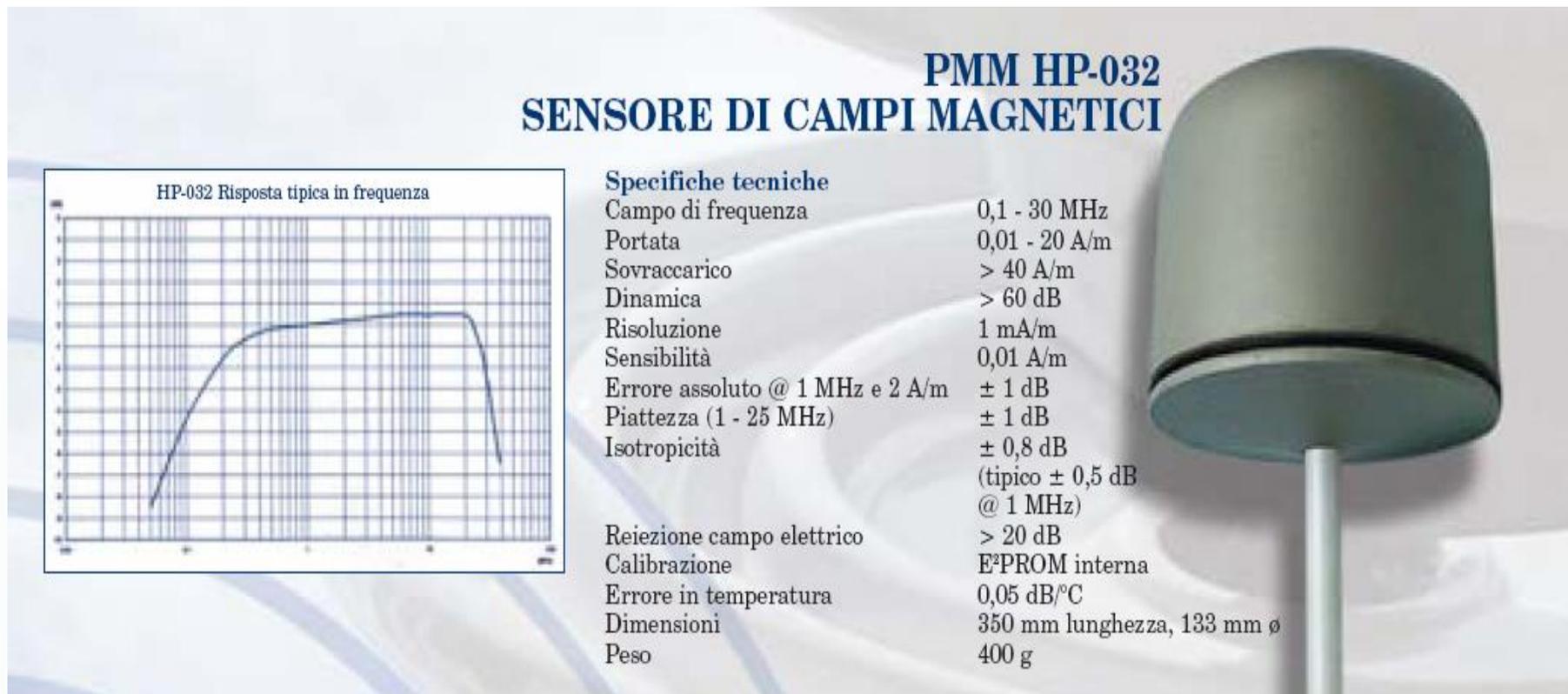


$$reiezione_{dB} = -20 \log_{10} \frac{Campo_{letto}}{Campo_{equivalente}}$$

$$H = 0,16 \text{ A/m} \text{ ----} \rightarrow E_{equivalente} = 60 \text{ V/m}$$

$$E_{letto} = 6 \text{ V/m} \quad Reiezione = 20 \text{ dB}$$

Misuratori in banda larga in alta frequenza: caratteristiche di una sonda di campo H



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Gli strumenti di misura in banda larga: bassa frequenza (0 Hz -10 KHz)



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Misuratori in banda larga in bassa frequenza: caratteristiche delle sonde di campo E e induzione magnetica B

ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD ANALYZER EHP-50C		
	Campo elettrico	Campo magnetico
Campo di frequenza	5 Hz – 100 kHz	
Portata	0,01 V/m – 100 kV/m	1 nT – 10 mT
Sovraccarico	200 kV/m @ 50 Hz	20 mT @ 50 Hz
Dinamica	> 140 dB	
Risoluzione	0,001 V/m sul display dell'8053A; 0,1V/m con il Data Logger	1 nT sul display dell'8053A e data logger interno; 10nT con il Data Logger 8053A
Sensibilità	0,01 V/m	1 nT
Errore assoluto	± 0,5 dB @ 50 Hz e 1 kV/m	± 0,5 dB @ 50 Hz e 0,1 mT
Piattezza (40 Hz – 10 kHz)	± 0,5 dB	± 0,5 dB
Isotropicità	± 1 dB	
Linearità a 50 Hz	± 0,2 dB (1 V/m – 100 kV/m)	± 0,2 dB (200 nT – 10mT)
Memoria interna	1440 valori con un campionamento di 1 min; 2880 valori con un campionamento ogni 30 sec. I dati possono essere trasferiti solo su PC. Una misura ogni 30 sec o 1 minuto	
Data logger interno	Analisi spettrale in Tempo reale	
FFT	100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz	
SPAN	1,2 % dello SPAN	
Frequenza di Start	Uguale allo SPAN	
Frequenza di Stop	---	
Reiezione ai campi elettrici	> 20 dB	> 20 dB
Reiezione ai campi magnetici	---	
Calibrazione	E ² PROM interna	
Scarto in temperatura (rispetto a 23°C)	+/- 0,05 dB/°C da -10 a +23°C, al 40% di umidità relativa + 0,01 dB/°C da +23 a +50°C, al 40% di umidità relativa	
Scarto in umidità relativa (rispetto al 40%)	+/- 0,05 dB/% dal 20% al 50%, alla temperatura di +23°C + 0,05 dB/% dal 50% al 80%, alla temperatura di +23°C	
Dimensioni	92 x 92 x 109 mm	
Peso	525 g	
Attacco treppiede	Inserito filettato ¼"	
Batterie interne	Batterie NiMH rettangolari (5 x 1,2 V)	
Tempi di funzionamento	>10 h in modo normale >150 h in modalità basso consumo 24 h in modalità autonoma con il data logger interno (Span superiore a 200 Hz)	
Tempi di ricarica	< 4 h	
Alimentazione esterna DC	DC, 10-15 V, I = circa 200 mA	
Connessine fibra ottica	Fino a 80m	
Aggiornamento firmware	Aggiornamento attraverso porta seriale	
Autoverifica	Automatica dall'accensione	
Temperatura di lavoro	-10 a +50°C	
Temperatura di immagazzinamento	-20 a +70°C	



Misuratori in banda larga in bassa frequenza: possibilità di analisi dello spettro FFT

Span di frequenza	Range di frequenza
100 Hz	5 Hz ÷ 100 Hz
200 Hz	5 Hz ÷ 200 Hz
500 Hz	6 Hz ÷ 500 Hz
1 kHz	12 Hz ÷ 1 kHz
2 kHz	25 Hz ÷ 2 kHz
10 kHz	120 Hz ÷ 10 kHz
100 kHz	1.2kHz ÷ 100 kHz

$$f_c$$

SPAN

- 100 Hz
- 200 Hz
- 500 Hz
- 1 kHz
- 2 kHz
- 10 kHz
- 100 kHz

$$N \approx 409$$

$$NT_c$$

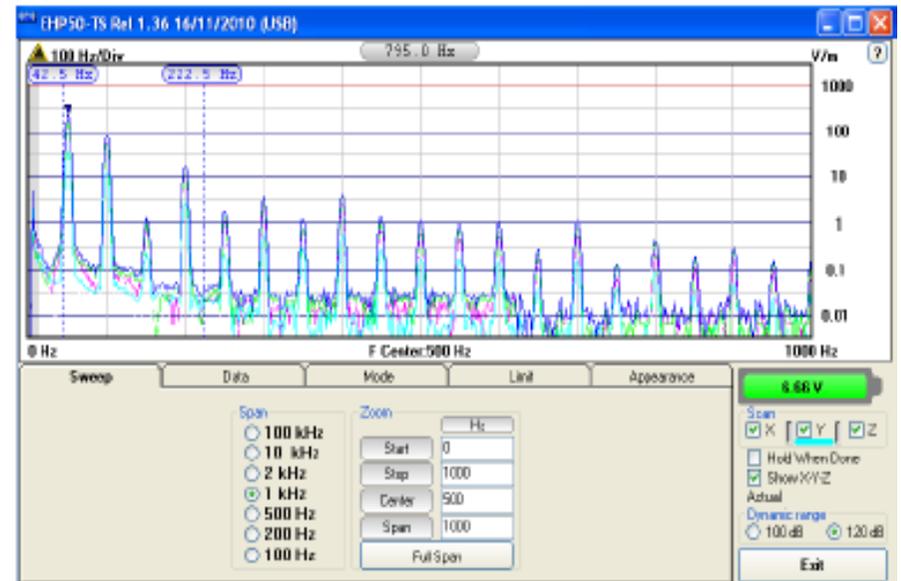
Tempo di acquisizione

- 4.1 s
- 2.0 s
- 0.8 s
- 0.4 s
- 0.2 s
- 40,96 ms
- 4,096 ms

$$1/NT_c$$

Risoluzione Hz

- 0.24
- 0.49
- 1,22
- 2,44
- 4,88
- 24,41
- 244,14



Sensori di campo magnetico statico



MSSLS

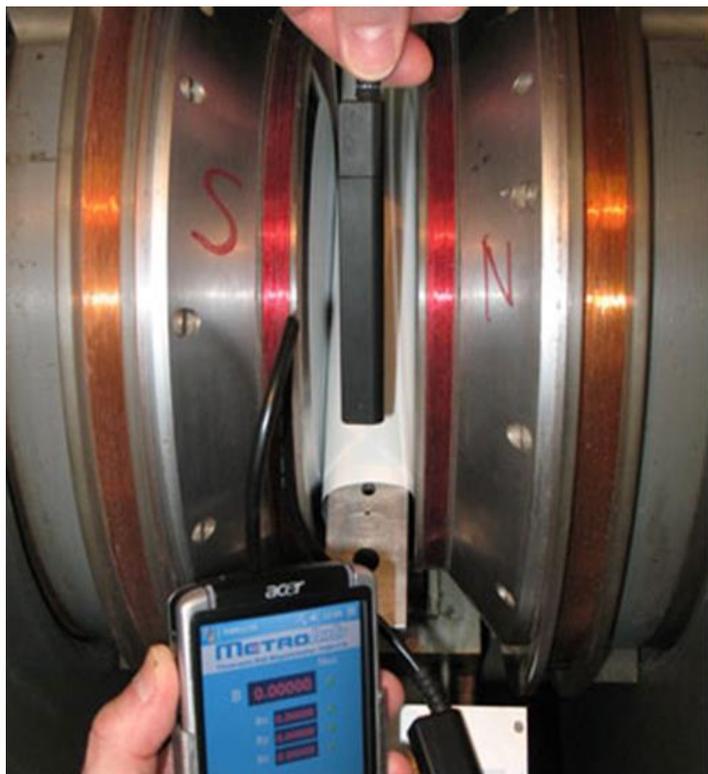
SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - Anno Accademico 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Misuratori di campo magnetico statico: sensori ad effetto Hall



Ranges:	100 mT, 500 mT, 3T, 20T (automatic or manual ranging)			
Data output:	<ul style="list-style-type: none"> - B_x, B_y, B_z (ASCII or binary, single point or array, calibrated or not) - Temperature (uncalibrated) - Time stamp (10ms resolution) 			
Units:	T, mT, G, kG, MHz p (NMR frequency of proton)			
Sample rate:	<ul style="list-style-type: none"> - Immediate trigger (default) Approx. 12 kHz (free-running, until internal buffer is full) - Timed trigger 0.36 Hz to 2.048 kHz (timer resolution of at least 0.24 %; continuous read-out in blocks of 2048 samples) - Bus trigger (via USB) Up to approx. 400 Hz (until internal buffer is full) <p><i>Notes: 1 sample = (B_x, B_y, B_z); Internal buffer size = 2048 samples</i></p>			
Bandwidth:	DC to 1 kHz			
Resolution:	100 mT range	500 mT range	3 T range	20 T range
- No averaging	300 μ T	500 μ T	3 mT	15 mT
- Averaging 100 samples	30 μ T	50 μ T	300 μ T	1.5 mT
Accuracy:	The greater of 1% of reading or specified resolution			Specified 0-3 T
User offset correction:	To be performed before each series of measurements, in Zero Gauss Chamber supplied			

Strumenti per la misura della corrente indotta attraverso gli arti



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Corrente indotta attraverso gli arti

Tabella 2: Valori di azione (art. 208 comma 2)
valori efficaci rms impertubati

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 piana equivalente S_{eq} (W/m^2)	Corrente di contatto I_c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I_L (mA)
0 - 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-	1,0	-
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-	1,0	-
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-	1,0	-
0,025 - 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-	1,0	-
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-	$0,4 f$	-
65 - 100 kHz	610	$1600/f$	$2000/f$	-	$0,4 f$	-
0,1 - 1 MHz	610	$1,6/f$	$2/f$	-	40	-
1 - 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2/f$	-	40	-
10 - 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400 - 2000 MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f/40$	-	-
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-



Strumenti di misura della corrente indotta nel corpo umano da campi elettromagnetici a radiofrequenza



Due differenti metodi di rilevazione della corrente che fluisce attraverso le caviglie: lo **stand-on** misura la corrente che si scarica, attraverso i piedi, sul sensore, mentre il **clamp-on** misura la corrente indotta nella spira dalla corrente che fluisce attraverso la caviglia.

Strumenti di misura della corrente indotta nel corpo umano da campi elettromagnetici a radiofrequenza

Specifications

Frequency Response:	9 kHz-110 MHz, ± 2.0 dB
Dynamic Range:	2-1000 mA
Weight:	Sensor: 2.25 kg (5 lbs.) Readout: 0.45 kg (1 lb.)
Power Supply:	Rechargeable NiCad battery in Sensor and Readout
Battery Life (typical):	10 Hours
Charger:	1 Hour Fast Charger (120/240 VAC, 50/60 Hz)

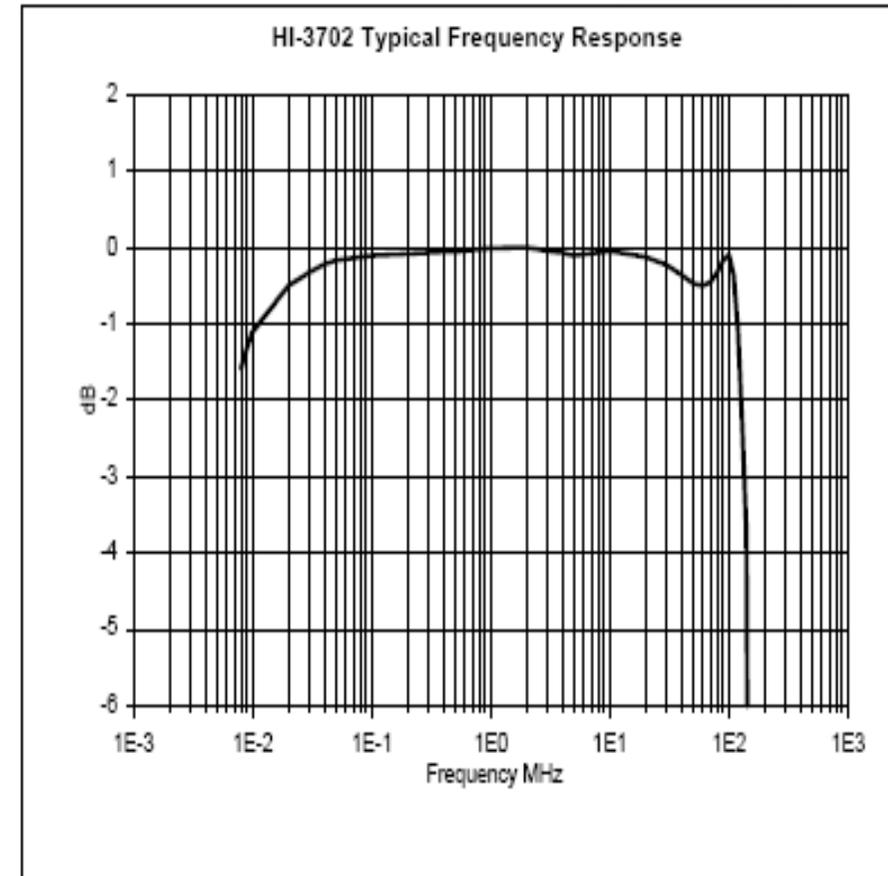


Figure 5: HI-3702 Typical Frequency Response



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 EDIZIONE - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Strumenti per la misura della corrente di contatto

Strumenti di misura della corrente di contatto



Principio di funzionamento:

Consiste nell'inserire una impedenza nota nel percorso della corrente;
Attraverso la legge di Ohm la corrente viene ricavata di conseguenza.

Range in frequenza	40 Hz ... 110 MHz
Range di livello Risoluzione Dinamica	0.05mA ... 100mA 10 μ A >60 dB
Errore di misura Errore di linearità Errore assoluto	< 1.5 dB < 3.0 dB
Display	LCD 2 linee x 16 caratteri retroilluminato
Indicatore di funzione	Led rosso e verde
Allarme sonoro	Livello programmabile
Standards	D.Lgs 81/08 del 9/11/2008 Direttiva 2004/40/EC
Temperatura operativa	da 0°C a 40°C

Strumenti di misura della corrente di contatto



CEI EN 50499 - 106-23:

“Il valore di azione del campo elettrico è stato indicato per proteggere sia dagli effetti diretti che dagli effetti indiretti del campo. Questo significa che con campi elettrici inferiori ai valori di azione è improbabile il superamento del valore di azione della corrente di contatto .”

“Le correnti di contatto possono essere indotte anche da campi magnetici dove vi sono grandi anelli conduttori (casi meno frequenti)”

Oggetti conduttori da considerare:

utensili, apparecchiature, scale, recinzioni, cisterne di immagazzinamento e veicoli.



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione

Ing. Settimio Pavoncello

20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Gli strumenti di misura in banda stretta

Vantaggi e svantaggi legati all'utilizzo di strumenti in banda stretta

Principali **vantaggi** degli strumenti per misure a banda stretta:

- buona precisione dello strumento di misura;
- possibilità di attribuire il livello di campo a ciascuna sorgente misurata;
- non presenta risposte spurie apprezzabili fuori dalla banda di funzionamento.

Principali **svantaggi** degli strumenti per misure a banda stretta:

- tempo di misura elevato;
- training per l'utilizzo relativamente complesso;
- costo elevato del sistema di misura;
- ingombro e peso considerevoli;
- le misure vanno ripetute su tutti gli assi (x, y, z) o in due polarizzazioni (tempi lunghi di misura).



MSSLS

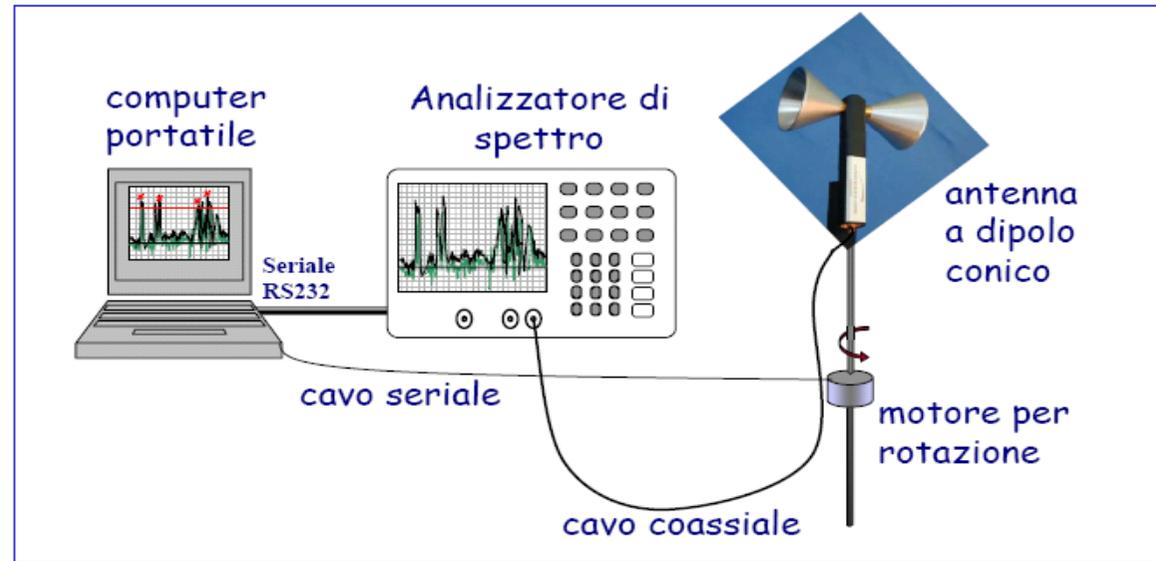
SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - Anno Accademico 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM

Catena di misura in banda stretta

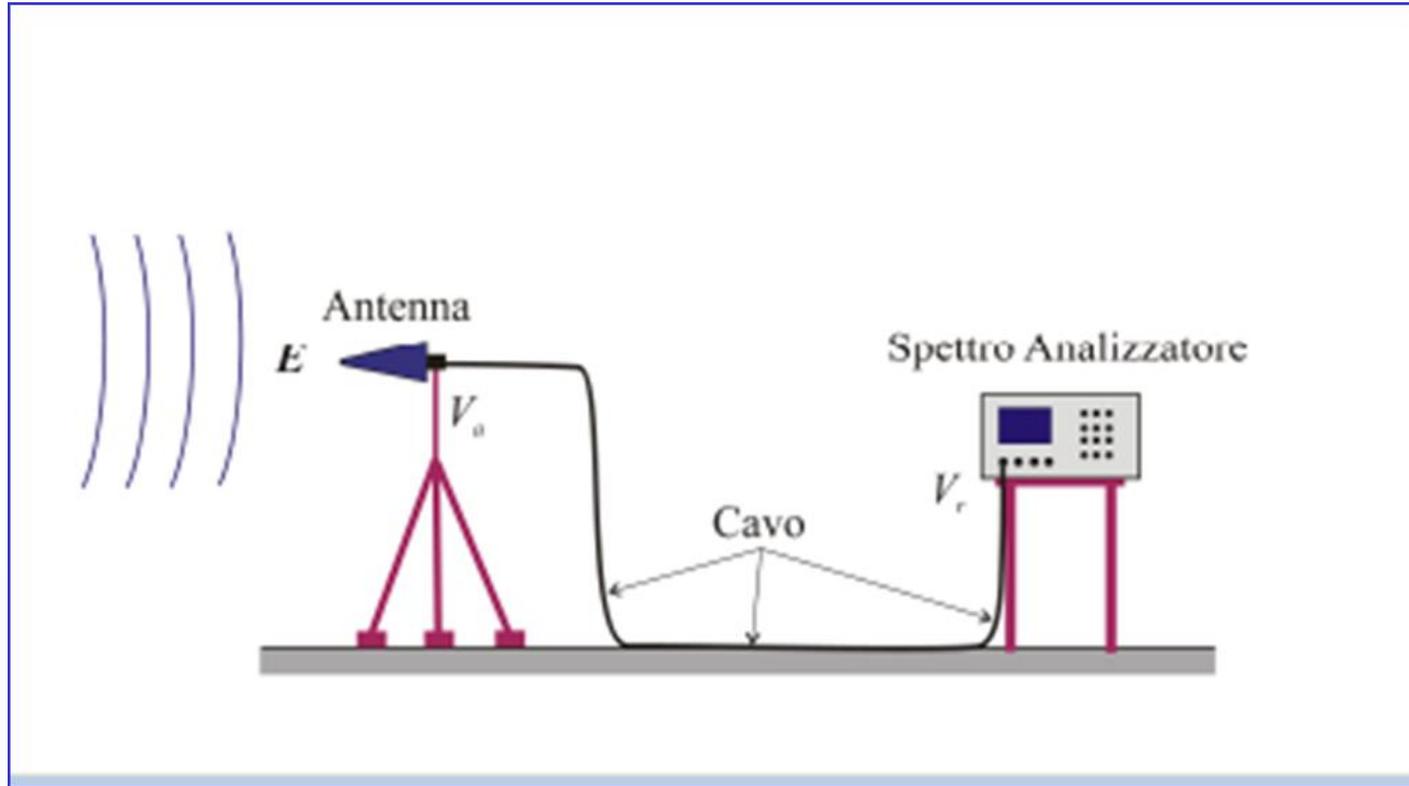


ANTENNA: Converte la grandezza elettromagnetica (E , H , densità di potenza) a cui è sensibile, in una grandezza elettrica (in pratica, V) a **radio frequenza**.

CAVO COASSIALE: trasporta il segnale RF dall'antenna al ricevitore.

RICEVITORE: (comunemente, Analizzatore di Spettro); estrae dal segnale ricevuto dall'antenna l'informazione desiderata e la elabora in maniera opportuna per presentarla all'operatore.

Quale relazione lega la potenza al campo elettrico?



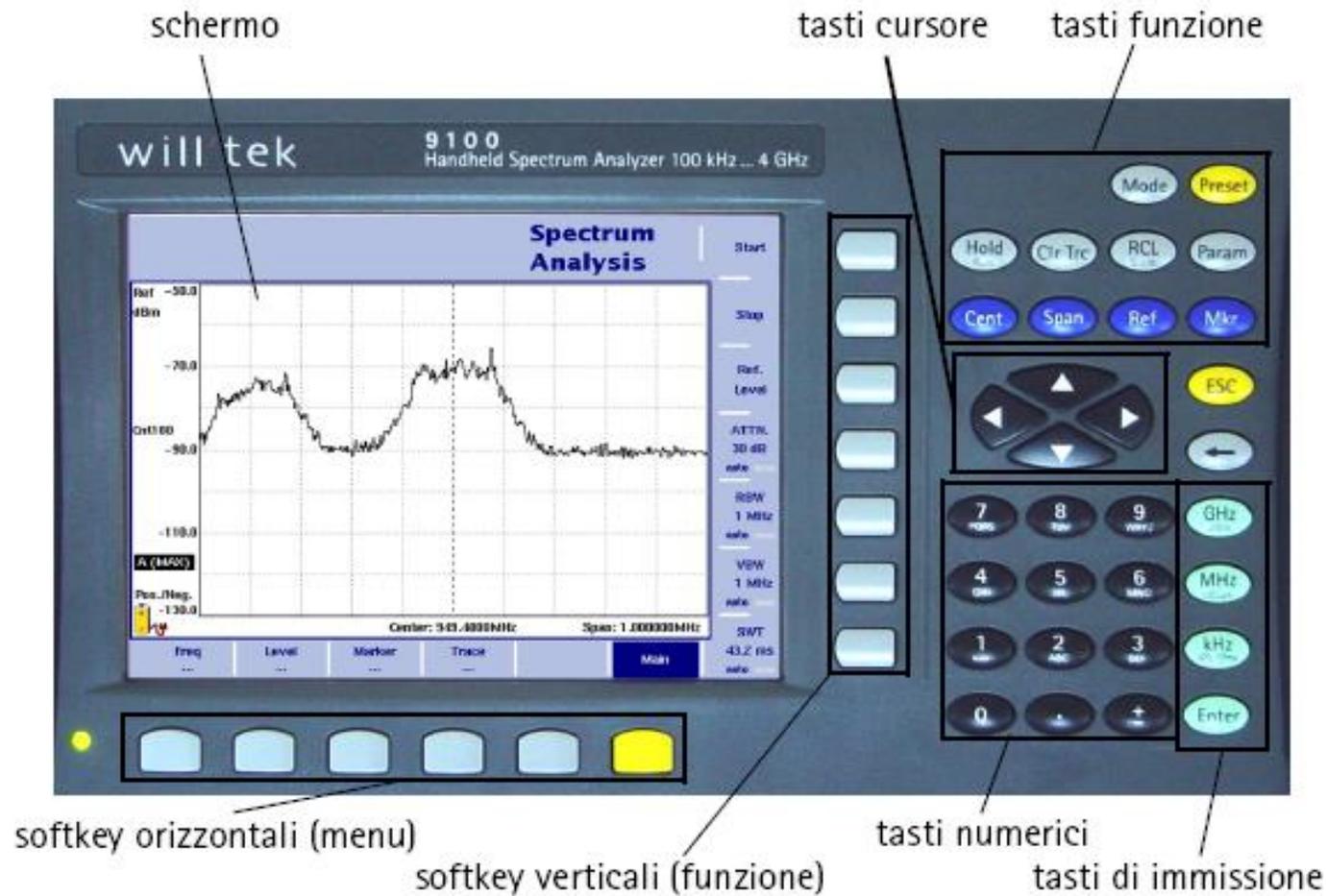
$$AFC = \frac{E}{V_a} \quad (\text{m}^{-1})$$

$$P_r = \frac{V_r^2}{50\Omega} \quad (\text{W})$$

$$E(\text{dBV/m}) = P_r(\text{dBm}) - 13 + \text{AttCAVO}(\text{dB}) + \text{AFC}(\text{dB}) \quad \rightarrow \quad E(\text{V/m}) = 10^{\frac{E(\text{dBV/m})}{20}}$$

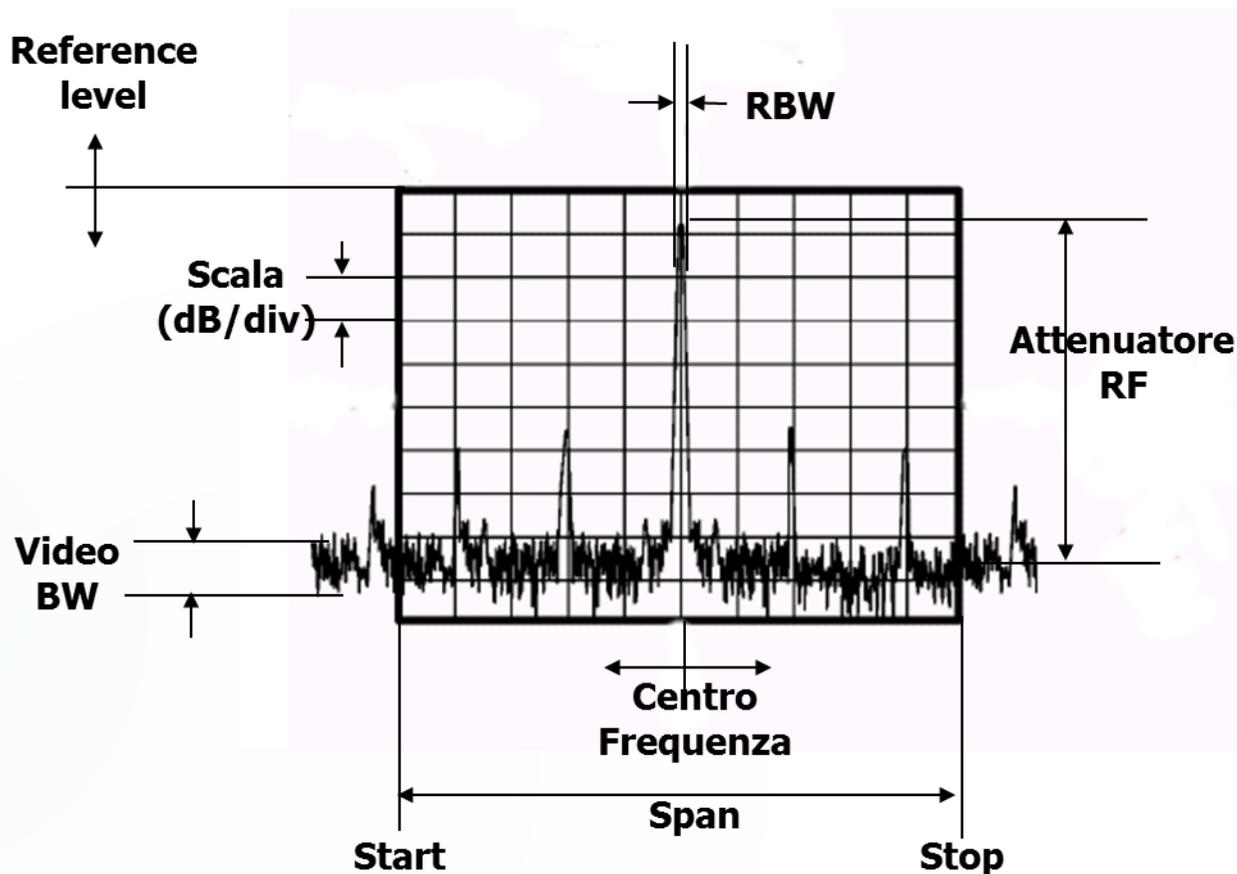
Gli analizzatori di spettro Supereterodina

Pannello di controllo



Gli analizzatori di spettro Supereterodina

I comandi principali



Comandi correlati:

Span
Resolution BW
Video BW
Sweep time

Reference level
Attenuatore RF

Analisi spettrale e segnali intenzionali

Analisi spettrale e segnali intenzionali

CEI 211 - 7

Guida per la misura e valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana

Tabella riassuntiva dei parametri consigliati

SORGENTE	RBW	VBW	SPAN	SWEEP(*)
Radio FM	30 kHz	30 kHz	5 MHz	50 ms
Radio AM	10 kHz	10 Hz	200 kHz	5 s
TV video	1 MHz	300 kHz	9 MHz	50 ms
TV audio	30 kHz	30 kHz	9 MHz	50 ms
TACS	30 kHz	30 kHz	5 MHz	50 – 100 ms
GSM	≥100 kHz	≥100 kHz	5 – 10 MHz	50 – 100 ms

(*) Tempo minimo di SWEEP consigliato per non effettuare misure al di fuori della calibrazione dell'analizzatore. Tempi di SWEEP non molto maggiori consentono misure più accurate. È consigliato, quando possibile, impostare il tempo di SWEEP in modalità automatica. In questo modo l'analizzatore seleziona il valore in modo da ottimizzarlo in relazione alla RBW, SPAN e VBW utilizzati. Tale combinazione conferisce alla misura la massima accuratezza compatibilmente alle caratteristiche tecniche dell'analizzatore.



Analisi spettrale e segnali intenzionali

Guida

CEI 211-7/E

Data Pubblicazione

2013-09

Titolo

Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana

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



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

1 Edizione - Anno Accademico 2014/2015

Strumentazione di misura dei livelli di esposizione
Ing. Settimio Pavoncello
20/11/2015 - Modulo A.3.b.3: ECEM



MSSLS

SALUTE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO IN SANITÀ

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO

I EDIZIONE - ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Modulo A.1: Organizzazione sanitaria
(Formazione di base)

GRAZIE

Ing. Settimio Pavoncello

Ente – Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

E-mail: settimio.pavoncello@pec.ording.roma.it - Tel. 333/3978240

Docente, nome cognome

Organizzato da



19/11/2015

In collaborazione con

INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

 **LUISS BUSINESS SCHOOL**

 Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma