# IEC 61000-4-21

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-21
Testing and measurement techniques
Reverberation chamber test methods

SINCE 1952

VOLTA® S.p.A.

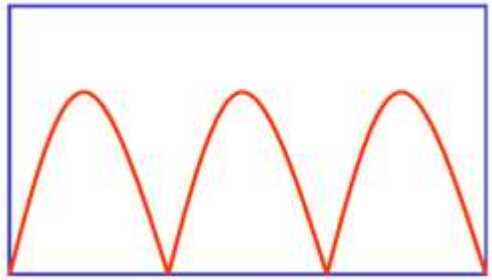
Competenza
ed entusiasmo per
soluzioni tecniche

# Timeline

- La norma ora in esame è la Ed.2 (2011) della EN61000-4-21.
- Essa annulla e sostituisce la Ed.1 (2003).
- Prima del 2003 sono stati condotti studi e ricerche per ben oltre 50 anni:
  - 1977 Naval Surface Warfare Center (USA)
  - 1983 National Bureau of Standard (USA), ora NIST
  - dal 1990 basi teoriche (Kostas, Boverie, Hill, Lehman, Freyer, ecc) e interesse da parte dell'industria

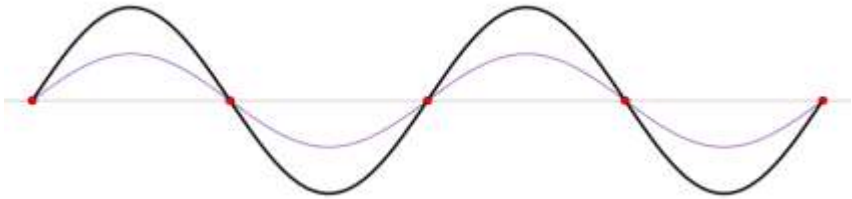
# Il fenomeno

- Teoria della cavità



All'interno di una cavità metallica le risonanze generano:
- zone di campo molto debole
- zone di campo molto intenso

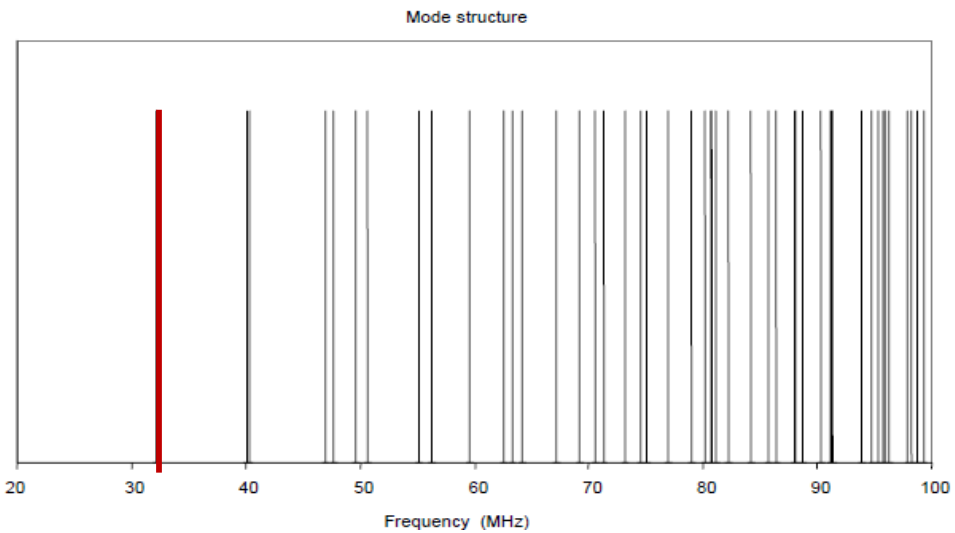
Le frequenze di oscillazione al suo interno dipendono dalle dimensioni della camera e sono dette MODI



# Il fenomeno

- Teoria della cavità (ideale)

F110 è la 1° freq. di risonanza.




| | | |
|---|---|---|
| Length (L) | 10.8 | m |
| Width (W) | 5.2 | m |
| Height (H) | 3.9 | m |
| Relative permittivity: $\varepsilon_r$ = | 1 | |

Resonances (Hz)

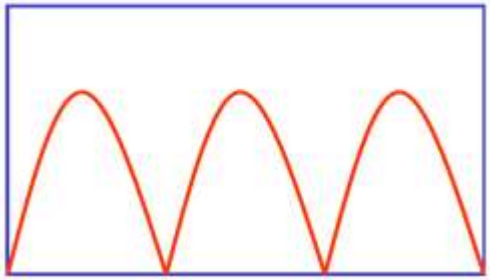
| | | |
|---|---|---|
| $f_{110}$ = 3.202e+7 | $f_{101}$ = 4.089e+7 | $f_{011}$ = 4.808e+7 |
| $f_{111}$ = 5.004e+7 | $f_{201}$ = 4.744e+7 | $f_{120}$ = 5.934e+7 |
| $f_{211}$ = 5.552e+7 | $f_{210}$ = 4.005e+7 | $f_{021}$ = 6.934e+7 |
| $f_{220}$ = 6.403e+7 | $f_{221}$ = 7.469e+7 | $f_{121}$ = 7.071e+7 |

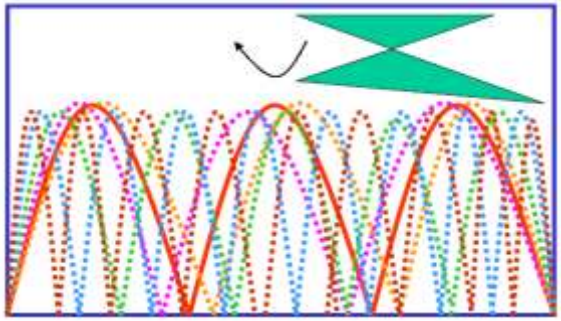
*Nota: la densità dei modi cresce con la frequenza*

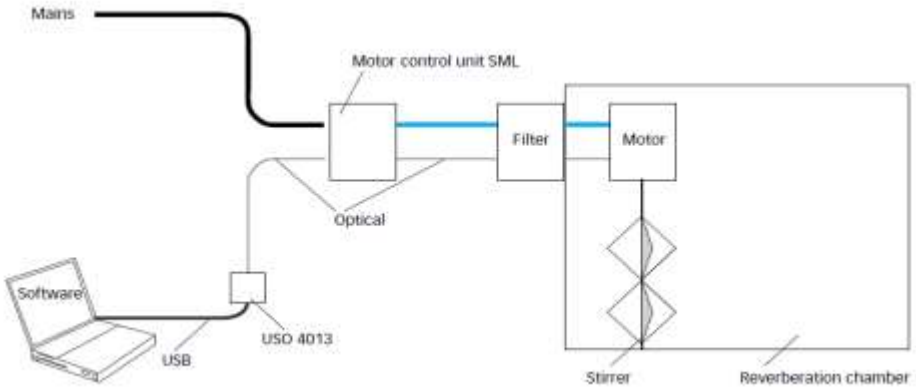
$$f_{mnp} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{\left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2 + \left(\frac{p}{H}\right)^2}$$

# Il fenomeno

- Teoria della cavità








L'introduzione di un agitatore metallico serve per:

- modificare la geometria (condizioni al contorno) della cavità
- distribuire le risonanze in tutto lo spazio

# La camera riverberante

- Definizioni e scopo

**3.1.6**
**reverberation chamber**
(reverberation room) room having a long reverberation time, especially designed to make the field therein as diffuse as possible. The room consists of a shielded enclosure that is

**A.1.2 Chamber size, shape, construction and operation**

A reverberation chamber is an electrically large, highly conductive cavity or chamber, furnished with a mechanism for altering (stirring) its modes, to perform electromagnetic (EM) measurements (both emissions and immunity) on electronic equipment. Any facility that fits this description can be considered a reverberation chamber (also called a mode-stirred chamber or mode-tuned/mode-stirred reverberation chamber or stirred-mode cavity). However, other conditions may need to be fulfilled before such a facility can be used with acceptable low uncertainty.

Realistic environments for propagation of electromagnetic waves are often characterized by multiple reflections and multipath effects. Reverberation chambers go some way to simulate such complex environments in an extreme manner (worst-case effect) and may be more representative than other EMC test methods in this respect. An advantage of reverberation chambers is the ability to generate a statistically isotropic, homogeneous, unpolarized and uncorrelated interior field, through action of the tuner/stirrer.

**A.5.3 Field uniformity**

The goal of a reverberation chamber is to generate a statistically uniform environment for all locations within the defined working volume. The procedure just described is designed to

# La camera riverberante

- Richiamata come metodo di test nelle Norme:
  - IEC 61000-4-21,
  - MIL-STD-461 E/F/G
  - RTCA DO-160 E/F/G (sez. 20.6 e 21.6)
  - CISPR 32:2015 (annex I)
  - come anche in:

ISO 11451-5 Road vehicles - Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy - Part 5: Reverberation chamber

ISO 11452-11 Road Vehicles - Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy - Part 11: Reverberation chamber

# La camera riverberante

- Quanto grande?

  La EN61000-4-21 :

  – *Reverberation chamber:* having a size that is adequate to maintain a multi-mode electromagnetic environment with respect to the lowest test frequency. This implies that the chamber dimensions in all directions shall be large compared to the wavelength;

In general, a reverberation chamber is a shielding enclosure whose smallest dimension is large with respect to the wavelength at the lowest useable frequency (LUF, see A.1.2). It must also be sufficiently large to accommodate the equipment under test, the stirrers and the measurement antennas.

It is not practical to define a minimum size test chamber and it is outside the scope of this standard to provide detailed design guidance. The critical factor is that if a chamber fulfils the validation procedure (see B.1.1) then this demonstrates that it provides the required electromagnetic environment at the desired level of statistical confidence.

**A.1.3 Lowest Usable Frequency (LUF)**

The chamber size, shape, quality factor, and the effectiveness of the mechanical tuner/stirrer determine the LUF. The LUF is generally defined as the frequency at which the chamber meets operational requirements. In practice, for the criteria set out in this standard, this typically occurs at a frequency slightly above three times the first chamber resonance. For the procedure described in this standard, the LUF is the lowest frequency at which the specified field uniformity can be achieved over a volume enclosed by 8 corner locations.

In general, a reverberation chamber is a shielding enclosure whose smallest dimension is large with respect to the wavelength at the lowest useable frequency (LUF, see A.1.2). It must

# La camera riverberante

- Quanto grande?

La Mil-Std461 fornisce una formula per il range 200MHz-40Ghz (in stirred mode)

The lower frequency limit is dependent on chamber size. To determine the lower frequency limit for a given chamber, use the following formula to determine the number of possible modes (N) which can exist at a given frequency. If, for a given frequency, N is less than 100 then the chamber should not be used at or below that frequency.

$$N = \frac{8\pi}{3} abd \frac{f^3}{c^3}$$

where: a, b, and d are the chamber internal dimensions in meters

f is the operation frequency in Hz

c is the speed of propagation ($3 \times 10^8$ m/s)

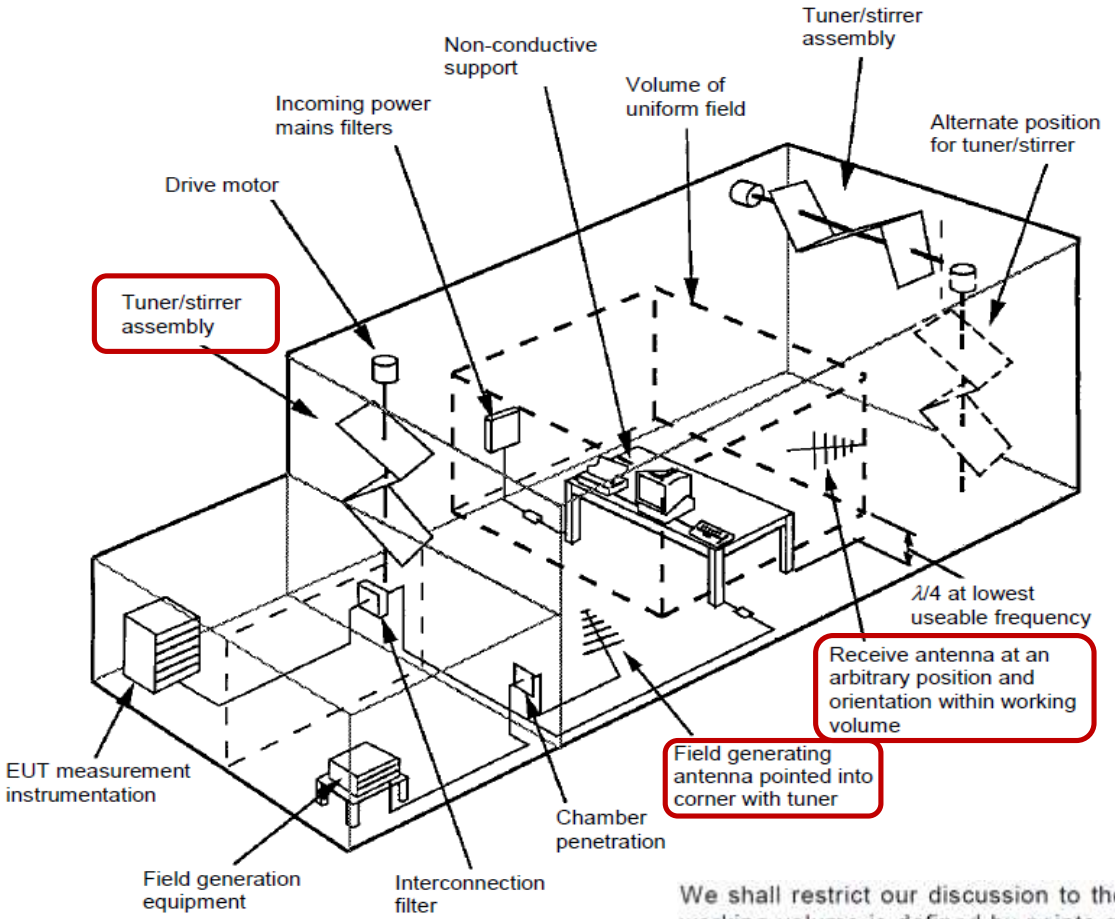
# La camera riverberante

- Quanto grande? Esempi

| Chamber | Volume / m³ | f110 / MHz | LUF / MHz (empirical value) |
|---|---|---|---|
| A | 17 | 71 | 300 |
| B | 29 | 69 | 300 |
| D | 38 | 58 | 300 |
| C | 80 | 43 | 150 |
| E | 107 | 38 | 150 |
| F | 170 | 31 | 150 |
| G | 290 | 24 | 100 |
| H | 594 | 24 | 80 |
| J | 1360 | 15 | 30...50 |

**Table 1: Volumes of different chambers and the associated LUFs**

# La camera riverberante




Principali componenti:

- *Mechanical tuner(s)/stirrer(s)*
- *Field generating antennas*
- *Isotropic field strength monitoring probe*
- *Field strength monitoring antenna*

We shall restrict our discussion to the fields within the working volume of the chamber. The working volume is defined by points or imaginary surfaces at a distance of λ/4 away from the chamber walls and from any antenna, tuner, or other conducting object, at the lowest frequency of operation. For a chamber operating above 100 MHz, the distance is 0,75 m. A

**Figure A.5 – Typical reverberation chamber facility**

# La camera riverberante

- Tre parametri:

**3.1.7**
**quality factor (*Q*) of a reverberation chamber**

(quality factor) frequency-dependent measure of sharpness of the resonance, equal to $2\pi$ times the ratio of the maximum stored energy to the energy dissipated during one period

measure of how well the chamber stores energy (see A.6[2][2)]). For a given chamber, $Q$ varies as a function of frequency and can be calculated using the following formula:

$$Q = \frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx}\eta_{Rx}\lambda^3}\left\langle \frac{P_{AveRec}}{P_{input}} \right\rangle \qquad (4)$$

where

| | |
|---|---|
| $V$ | is the chamber volume (in units $m^3$), |
| $\lambda$ | is the wavelength (in units m), |
| $(\langle P_{AveRec}/P_{inpu}\rangle_t)$ | is the ratio of the received power to the input power averaged over one complete tuner/stirrer sequence (and, where applicable, averaged over all antenna locations and orientations), |
| $\eta_{Tx}$ and $\eta_{Rx}$ | are the antenna efficiency factors (dimensionless) for the Transmit (Tx) and Receive (Rx) antennas, respectively. If manufacturer's data is not available then the efficiency can be assumed to be 0,75 for log periodic antennas and 0,9 for horn antennas. |

# La camera riverberante

**3.1.8**
**Q-bandwidth ($BW_Q$) of a reverberation chamber**

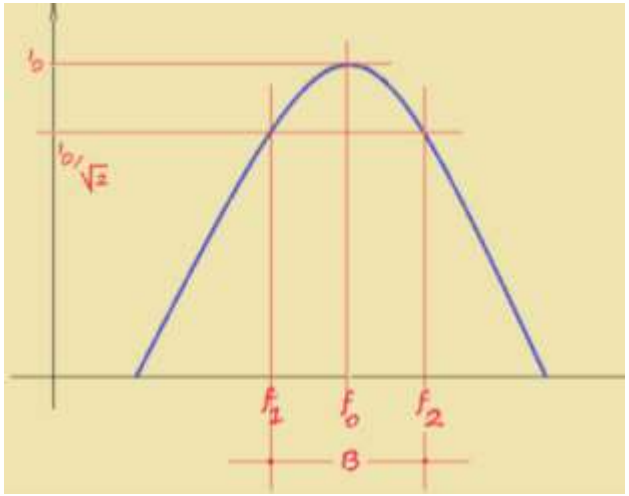
a measure of the frequency range over which the modes in a reverberation chamber are correlated (see Clause A.2). The $BW_Q$ of a reverberation chamber can be calculated using the following formula:

$$BW_Q = f/Q \tag{5}$$

where

$f$ is the frequency (in units Hz),

$Q$ is the quality factor defined in 3.1.7.




**The quality factor bandwidth, BWQ, of the cavity is defined as Fl,m,n/Q at the 3 dB points of a second order resonance characteristic.**

# La camera riverberante

**3.1.16**
**working volume**

region defined by 8 points inside the chamber at sufficient distance away from the walls to avoid boundary effects, for rectangular chambers typically defined by the corners of a cubic or parallelepiped region at quarter-wavelength distance from the nearest walls

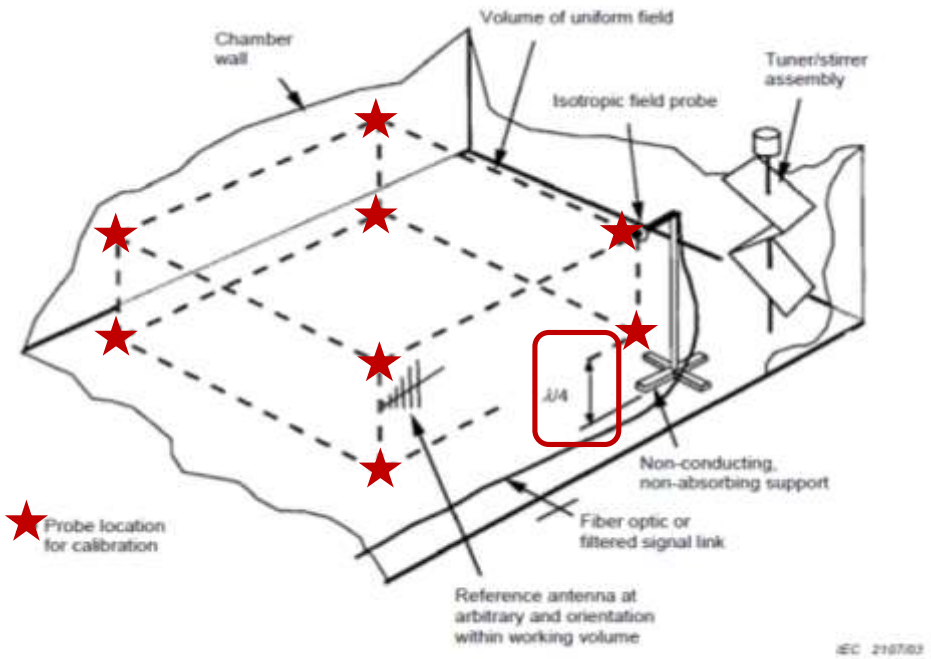



**Figure A.10 – Chamber working volume**

*Nota: la distanza λ/4 va tenuta anche dalle antenne, dallo stirrer e da altre parti metalliche.*
*Per f>100 MHz la distanza è 0,75m.*

*Nota: la RTCA DO160 richiede un punto addizionale al centro del parallelepipedo.*

# Novità

- Cambiamenti nella Ed.2 di EN61000-4-21:
  - Allegato A: Generalità sull'uso della camera
  - Allegato B: Convalida (mod. sintonizzata)
  - Allegato C: Convalida (mod. variabile)
  - allegato D: Test di Imm. Irradiata
  - Allegato E: Emissioni Irradiate
  - Allegato I: Efficienza delle antenne
  - Allegato K: Incertezza misura

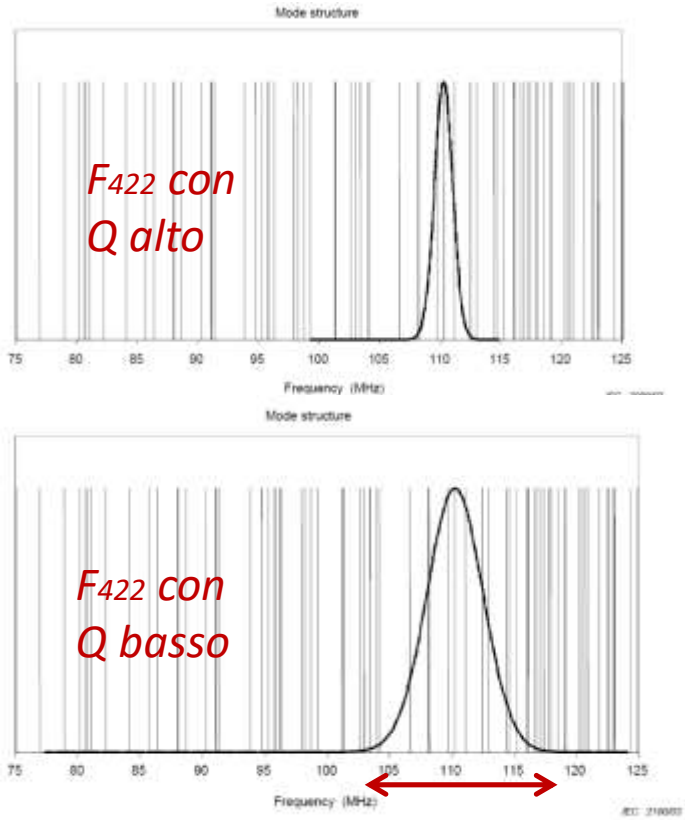
Gli allegati F, G, H non rappresentano una novità e riguardano la misura di efficienza schermante su cavi, guarnizioni ed involucri.

# Allegato A (informativo)

- Teoria della cavità

Quando la camera viene eccitata con energia RF e l'ambiente elettromagnetico viene "agitato" dal sintonizzatore/agitatore meccanico con numero sufficiente di posizioni, il campo risultante è:

- **statisticamente uniforme**
  (il campo è in media lo stesso in diverse posizioni spaziali)
- **statisticamente isotropico**
  (l'energia arriva da tutti gli angoli di aspetto)
- **statisticamente polarizzato**
  (tutte le possibili direzioni di polarizzazione)




$$BW_Q = F_{l,m,n}/Q$$

Lo spettro modale dipende dall'indice modale «m»:

$$M = m \times BW_Q = \frac{8\pi V f^3}{c^3 Q}$$

$$m = 8\pi V f^2/c^3$$

# Allegato A (informativo)
## Panoramica della camera riverberante

- Il LUF (frequenza oltre la quale si pensa di trovare il maggior numero di Modi) dipende dalle dimensioni della camera, la forma, fattore qualità, efficacia dello stirrer.
  Indicativamente **LUF > 3 $F_{110}$**
- Il fattore di qualità Q dipende da volume, frequenza ma anche dalle perdite (conduttività dei materiali, aperture non intenzionali, carichi intenzionali).
  Q si riduce con le perdite.
- E' possibile usare uno o più stirrer (non nei test di emissione) al fine di ottenere l'uniformità di campo desiderata.
- In passato si usava un numero fisso di campioni o di passi (tipicamente 200), ora la procedura permette di ottimizzarli al fine di ridurre le incertezza (deviazione standard dell'uniformità di campo)
- In generale, i risultati dei test sono insensibili alla posizione dei cavi collegati all'EUT
- La EN61000-4-21 menziona altri metodi di agitazione (pareti flessibili, spostamento antenne, spostamento EUT, variazioni di frequenza, ecc) tuttavia si sofferma solo sulla metodologia dello stirrer.

# Allegato A (informativo)
## Panoramica della camera riverberante

- **Efficienza dello stirrer**
  La rotazione modifica la struttura del campo ma occorre anche che, alla frequenza desiderata, i campioni del campi risultanti a qualsiasi posizione dello stirrer siano "statisticamente indipendenti" da quelli della posizione precedente.

Viene introdotto il coefficiente di correlazione "r" tra:
- potenze ricevute nelle varie posizioni
- potenza media ricevuta

La norma chiede che "r" rimanga < 0,37 (cioè, debole correlazione)
"n" è il numero di campioni presi durante una rotazione dello stirrer.

$$r \approx 0.37 \cdot \left(1 - \frac{7.22}{n^{0.64}}\right)$$

Esempio:
Se decidiamo n =450 allora r = 0,32
Se a 80MHz lo stirrer fa 25 step , 18 sono i campioni statisticamente indipendenti (=450/25) a quella frequenza.

L'efficienza dello stirrer è la sua capacità di generare campioni stat. indip.

# Allegato A (informativo)

## Panoramica della camera riverberante

### Statistica

Quando lo stirrer genera campi E statisticamente indipendenti, essi hanno:
- molte direzioni di propagazione e diverse polarizzazioni
- fluttuazioni di ampiezza varie ed irregolari (interferenze costruttive e distruttive tra le onde)
- densità di energia non simultaneamente uguale in tutti i punti

quindi va introdotto l'aggettivo «statistico».

I passaggi N dello stirrer (tuner steps) hanno effetti sia sul campo E medio sia sul campo E max:

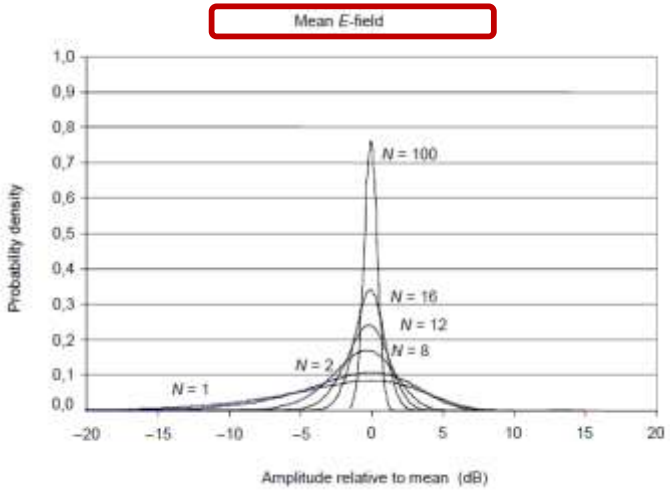
La larghezza di ciascuna curva è una misura della diffusione dei valori di campo (intervallo di incertezza) che potrebbero essere previsti in una posizione arbitraria nel volume di lavoro per N campioni.

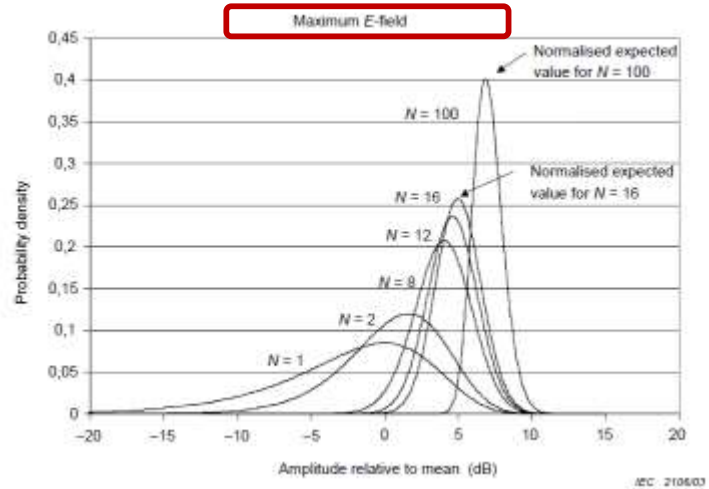
Se N=12, incertezza di E medio = 5 dB
Se N=100, incertezza di E medio = 2,4 dB
L'incertezza del campo medio diminuisce con 1/√N

Se N=12, incertezza di E max = 7,2 dB
Se N=100, incertezza di E max = 4,2 dB
L'ampiezza dell'intervallo di incertezza del campo massimo diminuisce più lentamente di 1/√N

Il 2° grafico di PDF (probability density field) mostra che all'aumentare di N (passaggi dello stirrer «tuner steps»), la distribuzione si stringe , aumenta e si sposta a destra.

Quindi una misurazione dell'intensità di E medio (valori di PDF alti con intervalli incertezza migliori) in una posizione consente di stimare l'intensità di campo massima in qualsiasi altra posizione all'interno del volume di lavoro. Tuttavia, non consente di prevedere in quale particolare posizione dello stirrer verrà raggiunto questo valore massimo. Questa posizione dello stirrer è diversa per ogni posizione spaziale.



# Allegato A (informativo)
## Panoramica della camera riverberante

- **Validazione della camera**
  Ha lo scopo di verificare che i campi E generati abbiano la stessa ampiezza, entro un intervallo definito di incertezza definito, per:
  - tutte le polarizzazioni
  - tutte le direzioni di arrivo
  - un dato numero di passaggi dello stirrer

Servono la sonda di campo e un'antenna di riferimento (in ricezione).

La validazione va eseguita all'interno del volume di lavoro:
Sono necessarie almeno 8 posizioni sia per la sonda sia per l'antenna. Ad ogni misura l'antenna di riferimento va spostata in nuova posizione, cambiandone l'orientamento di 20° rispetto gli assi della camera.

In totale servono 24 misurazioni (8 punti x 3 componenti di campo E).

Nota: riducibili a 3 se la camera funziona bene nel range 300-400MHz con un minimo di 12 passi di stirrer.

# Allegato A (informativo)

## Panoramica della camera riverberante

**Validazione della camera**

I dati misurati dalla sonda (Ex,Ey, Ez, Etot) servono per determinare l'uniformità di campo.

The total data set is NOT the commonly used root sum of the squares (RSS) of $E_x$, $E_y$, and $E_z$

Misurazioni effettuate su una camera campione (grafico a sx) mostrano che l'uniformità è +/-10 dB a 100 MHz e diminuisce con l'aumentare della frequenza.
E' quindi stata definita l'uniformità da considerarsi accettabile (grafico a dx).
Essa è espressa come «deviazione standard», perchè tutti i dati di misura sono considerati e viene dato il peso appropriato. In bassa frequenza il limite è maggiore perché altrimenti il soffitto basso della camera non consentirebbe l'accesso né il test di EUT molto grandi.

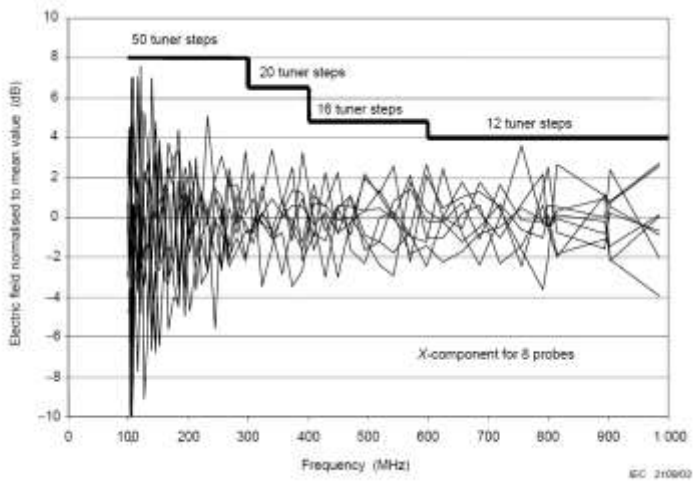
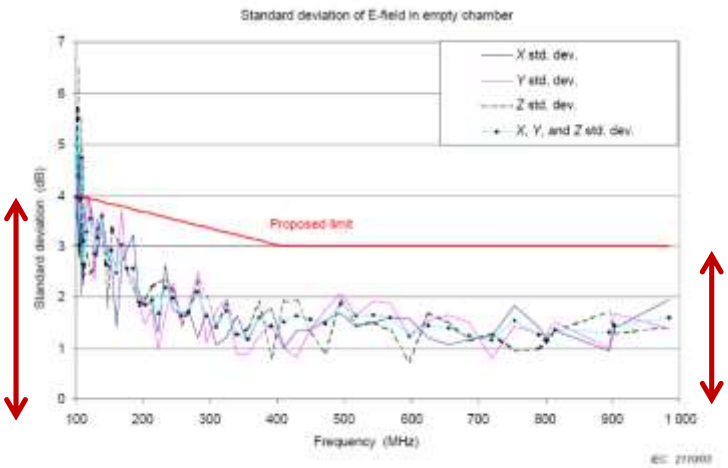



Figure A.12 – Mean-normalized data for *x*-component of 8 probes

4 dB




3 dB

Figure A.13 – Standard deviation of data for E-field components of 8 probes

# Allegato A (informativo)

## Panoramica della camera riverberante

**Validazione della camera**

I dati misurati dalla antenna di riferimento servono per calcolare i 2 fattori CVF e AVF.
Serve anche la potenza di ingresso in camera (imposta con lo stesso valore in tutte le 8 misure)

$$CVF = \left\langle \frac{P_{\text{AveRec}}}{P_{\text{Input}}} \right\rangle_{n}$$

Chamber Validation Factor

$$AVF = \left\langle \frac{P_{\text{AveRec}}}{P_{\text{Input}}} \right\rangle_{8\,@\leq 10 f_0 \quad \text{or} \quad 3\,@>10 f_0}$$

Antenna Validation Factor

# Allegato A (informativo)

## Panoramica della camera riverberante

**Validazione della camera**

Bisogna tenere conto anche degli effetti dell'EUT.
Esso può assorbire la Potenza di ingresso, percui questa va aumentata.
Quindi prima di qualsiasi prova in camera, va verificato l'effetto del carico.

L'EUT va messo in posizione e i dati misurati con questa configurazione vanno confrontati con le 8 misurazioni della convalida a vuoto.

Se il confronto delle potenze misurate risultasse significatamente maggiore o minore, allora la camera è detta «caricata dall'EUT» e serve un fattore di correzione CLF:

Il CLF si ottiene calcolando il rapporto tra una misurazione effettuata con l'EUT in posizione e la media o "valore atteso" delle otto misurazioni (cioè le 24 letture max della sonda) effettuate durante la convalida.

Concludendo:

I criteri che stabiliscono la validazione della camera (numero di passi dello stirrer e tolleranza della deviazione standard) sono espressi nelle tabelle B.1 e B.2 che vedremo nell'allegato B.

# Allegato A (informativo)

## Panoramica della camera riverberante

**Validazione della camera**

Grazie alla potenza misurata dall'antenna di riferimento è possibile anche «stimare» il campo E della camera, usando la formula:

$$E_{\mathrm{Est}} = \left\langle \frac{8\pi}{\lambda} \sqrt{5 \frac{P_{\mathrm{MaxRec}}}{\eta_{\mathrm{rx}}}} \right\rangle_n$$

| | |
|---|---|
| $P_{\mathrm{MaxRec}}$ | is the maximum received power (in units W) over the given number of tuner steps at an antenna location, |
| $\eta_{\mathrm{rx}}$ | is the antenna efficiency factor for the receive antenna which can be assumed (if not known) to be 0,75 for a log periodic antenna and 0,9 for a horn antenna. This parameter can be determined from the information contained in Annex I, |
| $n$ | is the number of antenna locations |

E' consigliato fare un confronto (controllo incrociato) tra il campo E misurato dalla sonda e quello stimato EEst.
In caso di discrepanze > ± 3 dB (più probabili a basse frequenze), vanno risolte.
Il confronto non è valido a frequenze dove Ping - Pmaxrec ≤ 10 dB

# Allegato B (normativo)

## Convalida della camera (mod. sintonizzata)

**Impostazione (EUT non in camera):**

- Sonda di campo posta a turno su tutti gli 8 punti.
- Antenna TX, fuori dal volume operativo e puntata verso un angolo della camera (non diretta verso EUT, né verso il volume operativo, né verso l'antenna RX).
- Antenna RX posizionata come da figura
- Accertare che le armoniche della potenza entrante siano -15dBc.
- Stirrer in movimento con passi discreti, uguali e distribuiti nei 360° (tuning mode) tali che la sonda abbia tempo per catturare i campioni richiesti da Table B.1
- fs è la frequenza minima di test da cui cominciare

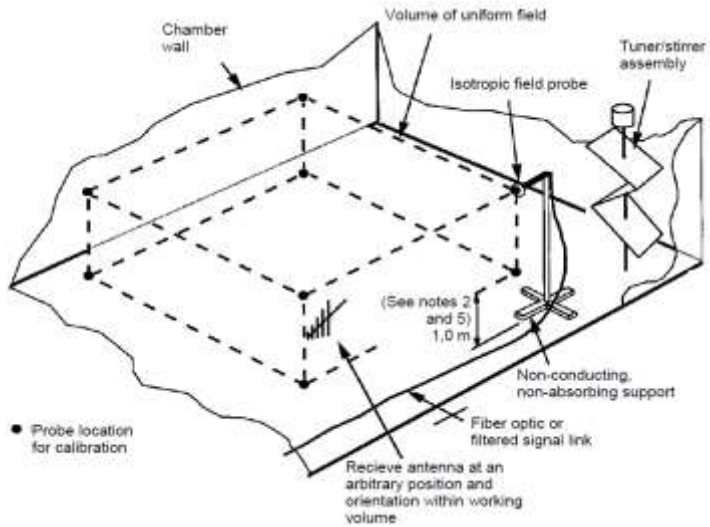



**Table B.1 – Sampling requirements**

| Frequency range | Minimum number of samples[a] required for validation and test[d] | Number of frequencies[b] required for validation |
|---|---|---|
| $f_S$ to 3 $f_s$ [c] | 12 | 20 |
| 3 $f_s$ to 6 $f_s$ | 12 | 15 |
| 6 $f_s$ to 10 $f_s$ | 12 | 10 |
| Above 10 $f_s$ | 12 | 20/decade |

# Allegato B (normativo)

## Convalida della camera (mod. sintonizzata)

**Misurazione (EUT non in camera):**

- Registrare :
  Potenza media ricevuta
  Potenza Max ricevuta
  Potenza ingresso
  Valori max di campo E nei 3 assi
- la procedura è da farsi per tutte le frequenze richieste da Table B.1

**Elaborazione e valutazione:**

La norma specifica come elaborare i dati sopra ottenuti fino ad arrivare alla «deviazione standard».
Essa va confrontata e deve conforme con quella di Table B.2.

**Table B.2 – Field uniformity tolerance requirements**

| Frequency range | Tolerance requirements for standard deviation |
|---|---|
| 80 MHz to 100 MHz | 4 dB [a] |
| 100 MHz to 400 MHz | 4 dB at 100 MHz decreasing linearly to 3 dB at 400 MHz [a] |
| Above 400 MHz | 3 dB [a] |

[a] A maximum of three frequencies per octave may exceed the allowed standard deviation by an amount not to exceed 1 dB of the required tolerance

# Allegato B (normativo)
## Convalida della camera (mod. sintonizzata)

**Ulteriori elaborazioni**

Usando ancora i dati ottenuti con EUT fuori camera, la norma chiede:

- Valutazione della antenna Rx, calcolando il suo valore di AVF.

$$AVF = \left\langle \frac{P_{\text{AveRec}}}{P_{\text{Input}}} \right\rangle_{8@\leq 10 f_0 \quad \text{or} \quad 3@>10 f_0}$$

- Calcolare l'insertion loss della camera (utile quando si faranno le prove di Emissione).

$$IL = \left\langle \frac{P_{\text{MaxRec}}}{P_{\text{Input}}} \right\rangle_{8@\leq 10 f_0 \quad or \quad 3@>10 f_0}$$

# Allegato B (normativo)
## Convalida della camera (mod. sintonizzata)

**Impostazione (EUT dentro la camera):**

- Antenna RX dentro il volume operativo, mantenendo distanza 1 m da pareti e da tutto il resto.
- Impostazione di sonda, di antenna TX e di stirrer da farsi come fatto in assenza di EUT.
- Armoniche della potenza entrante siano -15dBc.
- fs è la frequenza minima di test da cui cominciare

**Misurazione (EUT dentro la camera):**

Si ripete la stessa procedura applicata in assenza EUT.

**Elaborazione dati (EUT dentro la camera):**

Calcolare il CVF per le «n» posizioni dell'antenna.

Calcolare il fattore di carico della camera CLF

$$CVF = \left\langle \frac{P_{AveRec}}{P_{Input}} \right\rangle_n$$

$$CLF = \frac{CVF}{AVF}$$

CVF e CLF serviranno per i test di Emissione Irradiata ed anche per Immunità Irradiata.

# Allegato B (normativo)
## Convalida della camera (mod. sintonizzata)

**Verifica con EUT in camera**
Operazione per capire se la presenza di EUT penalizza le prestazioni della camera.
A tal scopo si simula la sua presenza inserendo dei radio assorbitori:

- in posizione random dentro il volume operativo
- in quantità adeguata tale che AVF della camera aumenti di 12dB (servono tentativi per questo scopo).

Poi si ripete la procedura dell'Allegato B, vista prima, per arrivare a calcolare il fattore di carico per ogni frequenza cioè il rapporto:

$$CVF = \left\langle \frac{P_{\text{AveRec}}}{P_{\text{Input}}} \right\rangle_n$$

Scopo finale è non superare la deviazione standard di Table B.2

# Allegato C (normativo)
## Convalida (Stirred mode)

E’ metodo alternativo a quello dell’Allegato B.
La procedura rimane simile a quella tuned.

- Ora lo stirrer compie rotazioni continue uniformi
- Ora il campo E è in continuo cambiamento.

Quale può essere la reazione dell’EUT e del sensore di campo?

- Difficile «a priori» conoscere la risposta dell’EUT rispetto a variazioni veloci di E.
- Le sonde a 3 assi in generale eseguono azioni di:
  - Smoothing
  - Campionamento di picco

  Queste due situazioni possono sfalsare in più ed in meno i valori di campo cioè alla fine l’uniformità di campo sarà percepita diversamente.

Indicazione proposta da EN 61000-4-3:

- Usare sensori con tempo di risposta rapida
- Gestire la velocità dello stirrer affinché EUT e sonda possano rispondere adeguatamente.

# Allegato C (normativo)

## Convalida (Stirred mode)

Ragionando sul controllo della velocità la norma stabilisce due formule:

$$\Omega_m(f) < \frac{c^3}{8 f^2 Q N^{0,5} V} \qquad (2)$$

where

$\Omega_m(f)$ is the mechanical stirring rate (in units revolutions per second (rps)) at the operating frequency $f$ (in units Hz),
c is the velocity of light ($3\times10^8$m/s),
$Q$ is the chamber quality factor at frequency $f$,
$N$ is the maximum number of independent samples at frequency $f$ [A.3],
$V$ is the working volume of the chamber (in units $m^3$).

La velocità $\Omega$ del rotore:

- E' espressa come un limite superiore: non sappiamo quello inferiore.
- Dipende dal working volume, dal fattore Q, dai campioni indipendenti N
- Dipende dalla frequenza

For example, for a chamber with $V$=100m$^3$, $f$=1GHz, $Q$=$10^4$ and $N$=1000 requires $\Omega_m(f) < 0.1$ rps.

# Allegato C (normativo)
## Convalida (Stirred mode)

La seconda formula vuol tener conto dell'EUT:

$$\Omega_m(f) < \frac{c^3}{16\pi f^3 \tau_{EUT} N^{0,5} V} \qquad (3)$$

where

$\tau_{EUT}$ is the maximum time constant (response time) (in units seconds) for any critical component within the EUT.

La velocità Ω del rotore:

- E' espressa ancora come un limite superiore: non sappiamo quello inferiore.
- E' espressa in funzione dell' EUT ( sua costante di tempo)
- Dipende dalla frequenza

For example, for a chamber with $V$=100m$^3$, $f$=1GHz, $N$=1000, and $\tau_{EUT}$ = 1μs requires $\Omega_m(f)$ < 0.16 rps.

# Allegato C (normativo)
## Convalida (Stirred mode)

Quindi :

- La tecnica (mode-stirred o mode-tuned) deve essere evidenziata e concordata all'interno del piano di prova.

- Le giustificazioni per l'uso di una delle tecniche della camera riverberante (mode-stirred o mode-tuned) devono essere registrate all'interno del rapporto di prova per l'attrezzatura sottoposta a prova.

- I Comitati di Prodotto devono fornire informazioni dettagliate per una velocità dello stirrer adeguata per l'esecuzione di test di conformità di un prodotto specifico.

- Se i Comitati di prodotto non possono fornire questa conformità informativa, i test devono essere eseguiti utilizzando la tecnica mode-tuned.

# Allegato C (normativo)
## Convalida (Stirred mode)

Ulteriori considerazioni

- La velocità di rotazione dello stirrer :
  - va definita prima di fare il test.
  - dipende dalla «velocità di variazione del campo E» (la quale cambia in funzione della frequenza da testare)
  - Dipende dal tempo di risposta dell'EUT (nelle prove IR)
  - Dipende dal tempo di ciclo dell'EUT e dal tempo risposta del sistema monitoraggio (nelle prove ER)

- La velocità di rotazione dello stirrer:
  - va impostata al valore più basso che determina la massima variazione di E
  - va valutata sulla gamma di frequenze di interesse:
    a intervalli < 100 MHz (sino a 1GHz)
    a intervalli < 1000 MHz (oltre 1 GHz)

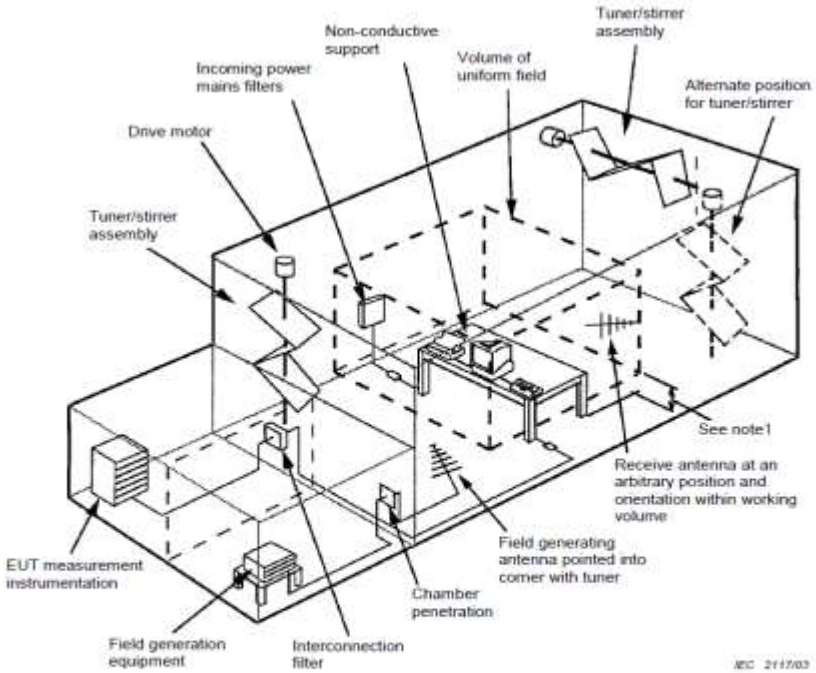
# Allegato D (normativo)

## Test di Imm. Irradiata

- La configurazione del test è quella della figura D.1.
- Prima del test, fare convalida camera con EUT (come da Allegato B).
- Determinazione della potenza RF in ingresso mediante la formula

$$P_{\text{input}} = \left[ \frac{E_{\text{test}}}{\left\langle \vec{E} \right\rangle_{24\text{ or }9} \times \sqrt{CLF(f)}} \right]^2$$

- Selezione delle frequenze di test:
  - discrete frequency
  - swept frequency
- Usare stirring mode o mode tuning




NOTE 1 Test volume should be at least λ/4 at the LUF from any chamber surface, field generating antenna or tuner assembly. (See Note 5 of Figure B.1.)

NOTE 2 A non-conductive/non-absorbing support may be utilised if the EUT does not require a ground plane for proper operation.

NOTE 3 Polystyrene foam is a suitable support in most cases.

**CAUTION**: Foam materials may present a fire hazard if the EUT generates sufficient heat and/or when testing to field strengths that can induce arcing.

# Allegato D (normativo)

## Test di Imm. Irradiata

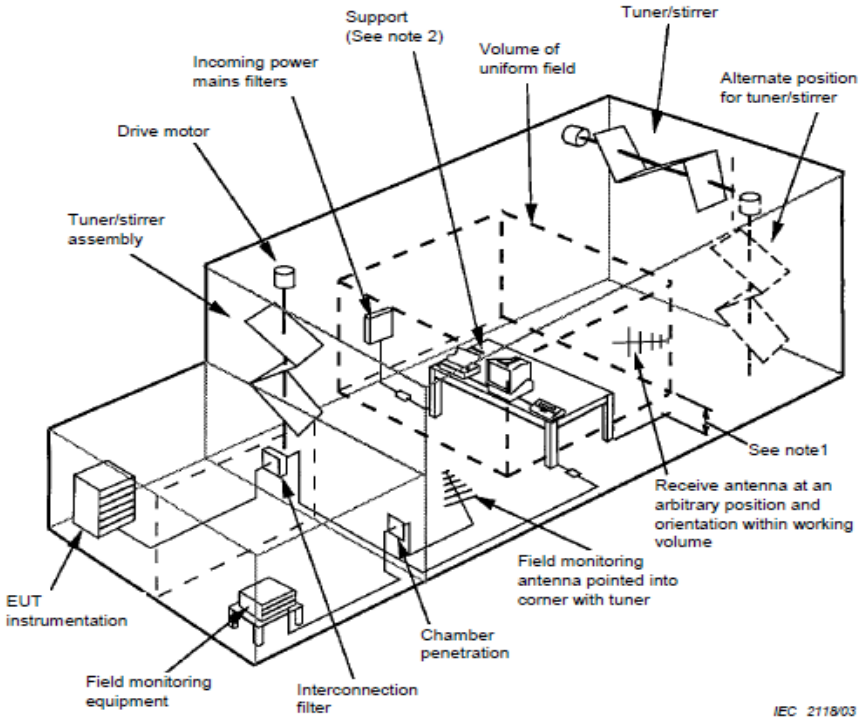
- Nella camera riverberante le condizioni di propagazione e di eccitazione dell'EUT sono diverse da quelle in un ambiente a spazio libero (non ci sono onde piane come in altri ambienti di test)... quindi i livelli di test sono differenti.
- Invece di densità di campo, qui ci sono la densità di potenza massima o media.
- Sono usabili entrambe le metodologie:
  - tuned mode
  - stirred mode

  L'importante è che per entrambe le procedure, ci assicuriamo che l'EUT sia esposto al livello di campo per il tempo di permanenza appropriato
- Procedura:
  - Monitorare e registrare PMaxRec e PAveRec con l'antenna ricevente per garantire che venga generata l'intensità di campo richiesta.
  - Con PAveRec assicurarsi che il carico della camera non sia cambiato rispetto alla convalida
  - Modulare la portante come specificato dal piano di prova
- Rapporto di prova (deve riportare i valori PMaxRec e PAveRec, oltre al posizionamento EUT, disposizione dei cavi, frequenze usate, ecc).

# Allegato E (normativo)

## Misure delle Emissioni Irradiate

- Scopo è la misura la potenza irradiata emessa dall'EUT. Il campo E sarà dedotto come una stima.
- La configurazione del test è quella della figura E.1. (similare alla D.1)
- Si usano gli strumenti di misura come indicato nella CISPR 16-1-1, salvo due considerazioni su segnali impulsivi <10us e su variazioni di ampiezza del segnale causa movimento dello stirrer
- Prima del test, fare convalida camera con EUT (come fatto in Allegato B) ed in particolare:
  - L'antenna Tx deve rimanere nella stessa posizione usata nella convalida e non deve illuminare l'EUT né l'antenna RX.
  - L'antenna Rx non deve essere illuminata direttamente dall'EUT
- Sono usabili entrambe le metodologie:
  - tuned mode (usare il numero minimo di campioni usato in convalida)
  - stirred mode (usare il numero di campioni tale che le emissioni dell' EUT siano campionabili)




NOTE 1 Test volume should be at least $\lambda/4$ at the LUF from any chamber surface, field generating antenna or tuner assembly. (See Note 5 of Figure B.1)

NOTE 2 A non-conductive/non-absorbing support should be utilised if the EUT does not require a ground plane for proper operation.

NOTE 3 Polystyrene foam is a suitable support in most cases. Foam materials may present a fire hazard if the EUT generates sufficient heat.

NOTE 4 The chamber should remain free of any unnecessary absorbing materials. Items such as wooden tables, carpeting, floor and wall coverings, and ceiling tiles should not be used. Also exposed light fixtures are a source of potential loading. For new chambers, it is recommended that an evaluation of the chamber be performed prior to installation of any support equipment other than doors, vents and access panels. Support equipment such as tables, etc., should be non-metallic and non-absorbing.

# Allegato E (normativo)

## Misure delle Emissioni Irradiate

- Procedura:
  - Per il ricevitore usare i tempi di scansione della CISPR16-2-3
  - usare rivelatore di picchi
  - causa movimento dello stirrer aumentare il tempo di prova del necessario.
  - In caso di segnali modulati usare rivelatore RMS.
  - Monitorare e registrare PMaxRec e/o PAveRec come specificato nel piano di prova con l'antenna Rx utilizzata nella convalida di ciascuna banda di frequenza.
  - Usare le formule a lato.
  - Rapporto di prova (deve riportare i valori PMaxRec e PAveRec, Pradiated, Eradiated, oltre al posizionamento EUT, disposizione dei cavi, frequenze usate, ecc).

$P_{Radiated}$ is the radiated power from the device (within the measurement bandwidth),

$$P_{Radiated} = \frac{P_{AveRec} \times \eta_{Tx}}{CVF}$$

$$P_{Radiated} = \frac{P_{MaxRec} \times \eta_{Tx}}{CLF \times IL}$$

| | |
|---|---|
| $CVF$ | is the chamber validation factor (B.2.(6)), |
| $CLF$ | is the chamber loading factor (B.2.(7)), |
| $IL$ | is the chamber insertion loss (B.1.3), |
| $P_{AveRec}$ | is the received power (within the measurement bandwidth) as measured by the reference antenna averaged over the number of tuner steps (E.4), |
| $P_{MaxRec}$ | is the maximum power received (within the measurement bandwidth) over the number of tuner steps (E.4), and |
| $\eta_{Tx}$ | is the antenna efficiency factor for the Tx antenna used in calibrating the chamber and can be assumed (if not known) to be 0,75 for a log periodic antenna and 0,9 for a horn antenna. |

$$E_{Radiated} = g_{max}\sqrt{\frac{D \times P_{Radiated} \times \eta_0}{4\pi R^2}}$$

| | |
|---|---|
| $E_{Radiated}$ | is the estimated field strength generated by the EUT in V/m, |
| $P_{Radiated}$ | is the radiated power from E.5 in W, |
| $R$ | is the distance from the EUT in meters and shall be a sufficient distance to ensure far field conditions exist, |
| $\eta_0$ | is the intrinsic impedance of free space, equal to 377 Ω, and |
| $D$ | is the maximum directivity of the EUT. |

«gmax» è un fattore geometrico adimensionale che tiene conto delle riflessioni dal piano di massa e dipende: dalla polarizzazione, dall'altezza dal piano di massa; ha valore 1 se il campo E è considerato in Far field.

# Allegato I (informativo)

## Misure di Efficienza dell'antenna

- Definizione:

$$\eta_{\text{Antenna}} = \frac{P_{\text{radiated by the antenna}}}{P_{\text{Input to the antenna terminals}}} \qquad (I.2)$$

By reciprocity, the receiving efficiency is the same as the radiation efficiency. The antenna efficiency can be expressed in terms of radiation resistance and loss resistance [2].

- L'efficienza:
  - non è mai 100% causa perdite ohmiche e perdite del connettore.
  - non è un valore dato dai costruttori
  - sperimentalmente il NIST ha ottenuto 95% su antenna horn e 75% su logperiodica (75%)
- Conoscere l'efficienza antenna aiuta a fare stime accurate di:
  - fattore Q della camera
  - costante di tempo della camera
- La EN 61000-4-3 non dettaglia la procedura misurazione efficienza d'antenna ma suggerisce il metodo delle 3 antenne di cui due sono ben note le caratteristiche , mentre la terza è quella incognita. Tale metodo va eseguito in camera riverberante.

# Allegato K (informativo)

## Incertezza di misura

- Nei metodi di test con propagazione ad onda piana le imperfezioni della camera, gli aspetti ambientali , gli effetti dell'antenna, la strumentazione sono fattori il cui contributo va a formare il budget del MU.
- Nel caso delle camere riverberanti :
  I seguenti fattori hanno un contributo minimo o nullo:
  - disposizione dei cavi,
  - orientamento e distanza tra EUT e antenna,
  - tolleranza di posizione
- L'incertezza (IFU) dovuta alla natura intrinsecamente casuale del campo E ha invece molto peso. Questo perchè il campo E la power density sono quantità casuali.
  IFU dipende da:
  numero di campioni usati in convalida
  e può esser ridotto aumentando il numero degli stirrer.
- La EN 61000-4-21 fa una distinzione tra Emissione e Immunità

For emissions measurements, the typical primary quantity of interest is the average transmitted radiated power density, integrated over all spatial directions and propagation and polarisation. Occasionally, the maximum power density, or the field strength (average or maximum) is the quantity of interest that can be derived from the measured transmitted power.

Immunity testing in reverberation chambers is usually performed against the maximum field strength or the maximum energy or power density across one rotation of the mode tuner, rather than the average field or power. These maximum values are themselves random (statistical) quantities with respect to spatial position. Therefore, the associated uncertainties are considerably larger than in the case of emissions.

# La camera riverberante

## Ambienti di test a confronto

CAMERA EMC ANECOICA

- ambiente free space
- Le onde si propagano e sono assorbite dai radio assorbitori
- La descrizione dei campi è di tipo deterministico
- i test sono anisotropi (polarizzazione H e V)

CAMERA RIVERBERANTE

- Sfrutta l'effetto riverberante
- Le onde si propagano ovunque e sono riflesse da tutte le pareti
- La descrizione dei campi è di tipo casuale (random)
- i test sono isotropi (omnidirezionale)

# La camera riverberante

## Vantaggi e svantaggi

**PRO:**

- Riflessioni multiple e multi path riproducono le condizioni degli ambienti reali.
- Nei test di immunità l'EUT e i suoi cablaggi sono bersagliati da tutte le direzioni.
- I risultati di misura non dipendono dalla configurazione di antenne, cablaggi.
- Raggiungimento di alti livello di campo (Q elevato) usando amplificatori RF a bassa potenza
- Non c'è necessità di rivestimento anecoico interno (costo inferiore rispetto le camere anecoiche e no rischio incendio assorbitori con campi elevati)

**CONTRO:**

- Presenza di un o più stirrer e relativo sistema di controllo.
- Prima di fare il test sono richieste 3 calibrazioni: EMPTY, LOADED, on EUT.
- Nessuna informazione su direzionalità e polarizzazione.
- Complessità di elaborazione (ricorso alla statistica e necessità di un potente software)

Grazie dell’attenzione.
Ing. Giancarlo Cenni

SINCE 1952 VOLTA® S.p.A.

Competenza
ed entusiasmo per
soluzioni tecniche

Bolzano · Bozen
www.volta.it