

Giornata di Studio IEEE  
Milano, 20 Febbraio 2009

# Le sorgenti di incertezza in una catena di misura EMC

Relatore: G. Borio

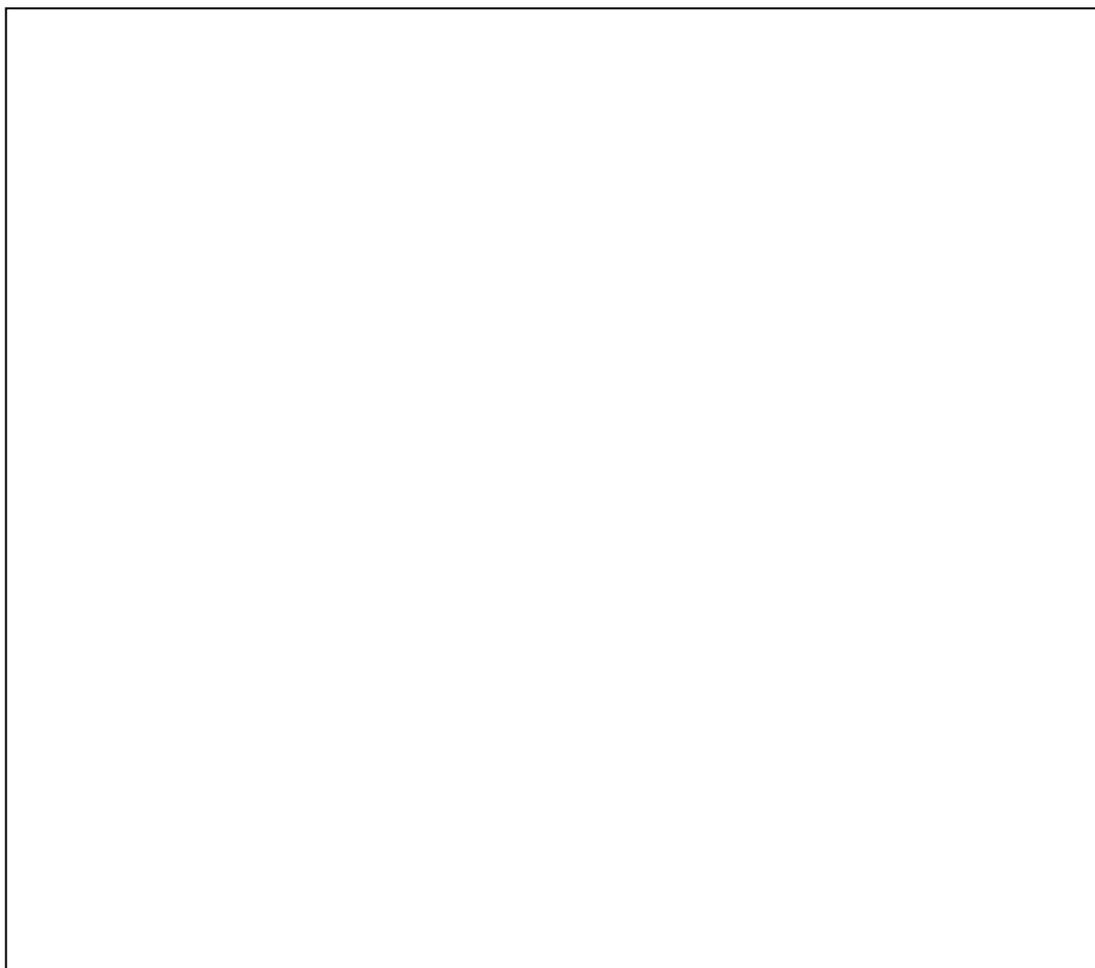
LACE – Corep

[gborio@corep.it](mailto:gborio@corep.it)  
[www.lace.corep.it](http://www.lace.corep.it)





[Usseglio, fraz. Margone – Valli di Lanzo (TO)]



# Bibliografia

- Sito Cenelec [www.cenelec.org](http://www.cenelec.org)
- Sito IEC [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
- Norme tecniche: CEI, Cenelec, IEC, CISPR
- Pubblicazione UKAS - Lab34 (discutibile per Sinal)
- Pubblicazione UKAS - M3003
- Pubblicazione Schaffner - EMC Measurement Uncertainty
- DTI-NMSPU project R2.2b1 - Tim Williams, Stan Baker
- Taratura di un generatore di scariche elettrostatiche: valutazione delle incertezze di misura e riferibilità - Gilberto Basso, Michele Borsero, Giuseppe Vizio
- EN 55016-1-x
- EN 55016-4-2
- EN-DTR 55016-4-1
- Manuale UNICHIM 179\_1 2001
- The R Project for Statistical Computing [www.r-project.org](http://www.r-project.org)
- Club CE [www.clubce.corep.it](http://www.clubce.corep.it)



LACE-090220



Elenco di siti, documenti e software (scaricabili gratuitamente) che vengono incontro a chi deve affrontare questi problemi per la prima volta, o anche a chi questi argomenti li affronta da sempre.

# Sommario

- Introduzione
- Ripetibilità – questa sconosciuta?
- Incertezza nelle misure di emissione
- Incertezza nelle prove di immunità
- Incertezza di misura vs EUT nelle prove di immunità

## I non contributi più critici

■ Nelle prove irradiate:  
DISPOSIZIONE DEI  
CAVI

■ Nelle prove RF condotte:  
USO ERRATO DELLE  
CDN

**È un errore nell'uso della norma**  
Anche 20 dB di contributo

**LACE**  
Laboratorio Analitico e Competenza Elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

Quando i risultati delle prove divergono per valori molto elevati conviene analizzare come le prove sono state eseguite.

Attenzione questa presentazione non prende in esame questi aspetti.

Infatti nessun Laboratorio andrà a creare una serie di prove ripetute “sbagliando” intenzionalmente il set-up di prova, come nessuno eseguirà prove con CDN volutamente sbagliate, questo perché i risultati vanno nel “budget” di incertezza del Laboratorio stesso.

Ma attenzione quando i risultati sono molti diversi tra un laboratorio o meglio tra le prove eseguite in un luogo, ed un altro, bisogna indagare sugli aspetti sopra esposti.

# Sommario

- Introduzione
- Ripetibilità – questa sconosciuta?
- Incertezza nelle misure di emissione
- Incertezza nelle prove di immunità
- Incertezza di misura vs EUT nelle prove di immunità

# Ripetibilità del metodo di prova (1)

*“Caratterizzazione statistica effettuata a partire da un’analisi fondata su misurazioni ripetute”*

**DA CALCOLARE PER OGNI TIPO  
DI MISURA O DI PROVA**

Individuazione  
anomalie nella  
catena di  
prova

Tempo di  
esecuzione e  
elaborazione  
statistica dei  
risultati

**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Competenze Metrologiche

LACE-090220

**COREP**

La ripetibilità delle prove consiste in una ripetizione monotona delle stesse, smontando e rimontando il set-up delle stesse.

È un contributo di incertezza indispensabile da considerare per ogni tipo di misura e di prova.

L’analisi dei risultati porta a delle considerazioni interessanti:

- Molte volte è una delle sorgenti principali di incertezza;
- + Permette di individuare anomalie nella prova;
- + Permette di rilevare malfunzionamenti delle apparecchiature usate.
- Pratica onerosa da eseguire in termini di tempo e elaborazioni statistiche (esecuzione delle  $n > 10$  misure ripetute e verifica dell’attendibilità dei dati ottenuti)

## Ripetibilità del metodo di prova (2)

Mentre non si può ridurre il *time-to-measure* si può ottimizzare l'elaborazione dei risultati

Tempo di esecuzione, elaborazione, statistica dei risultati

➤ **Software gratuito per l'analisi statistica "R"** (*The R Project for Statistical Computing*)

➤ **Manuale UNICHIM 179\_1 2001**

Tempo di esecuzione, elaborazione, statistica dei risultati

**LACE**  
Laboratorio Analisi e Computabilità Chimico

LACE-090220

**OREP**

In generale non è possibile ridurre il tempo di esecuzione delle  $n$  ( $n > 10$ ) ripetizioni oltre un certo limite.

L'analisi statistica delle ripetizioni implica:

1. Verifica della normalità del vettore delle determinazioni
2. Individuazione dei valori "anomali" nel vettore normale
3. Calcolo dello scarto sperimentale e dell'incertezza tipo

Se la distribuzione delle ripetizioni non è normale allora nella catena di misura ci sono dei malfunzionamenti -> ricerca degli errori e nuova esecuzione delle ripetizioni.

Se il vettore delle determinazioni è "normale" allora si ricerca eventuali valori "anomali" -> eliminare il valore anomalo dal vettore -> ripetere il test di anomalia finché non fornisce esito positivo.

Se i passi 1 e 2 sono andati a buon fine si può passare al calcolo dello scarto sperimentale e dell'incertezza tipo!

## Ripetibilità del metodo di prova (3)

L'analisi statistica delle  $n$  misure ripetute implica:

1) **verifica della distribuzione "normale"** dei risultati (Shapiro-Wilk)

R: `shapiro.test(<vettore delle determinazioni>)`

2) **test di anomalia delle determinazioni**  
(secondo: DIXON, GRUBBS, HUBER)

R: `dixon.test (<vettore delle determinazioni>)`

R: `grubbs.test(<vettore delle determinazioni>)`

R: `huber(<vettore delle determinazioni>)`



LACE-090220



L'utilizzo del software R e del manuale UNICHIM permette di ridurre i tempi di analisi statistica:

- **NORMALITA'**: eseguire l'istruzione `shapiro.test` e confrontare il valore restituito con il parametro  $k_p$  tabulato del Manuale UNICHIM nella tabella relativa a Shapiro-Wilk (in funzione delle  $n$  determinazioni).

- **ANOMALI**: eseguire i tre test secondo Dixon, Grubbs e Huber per fare emergere la presenza di dati anomali con diverse caratteristiche (valori estremi ecc.), confrontare i valori restituiti con i dati tabulati dell'UNICHIM e se necessario eliminare i valori suggeriti dalla funzione di test.

# Sommario

- Introduzione
- Ripetibilità – questa sconosciuta?
- **Incertezza nelle misure di emissione**
- Incertezza nelle prove di immunità
- Incertezza di misura vs EUT nelle prove di immunità

# Misure di emissione

- I budget di incertezza nelle misure di emissioni irradiate e condotte sono ben definiti nella CISPR 16-4-2.

## Sorgenti incertezza preponderanti:

- Ricevitore di misura;
- Set-up della prova;
- LISN / AMN;
- Antenna;
- ...

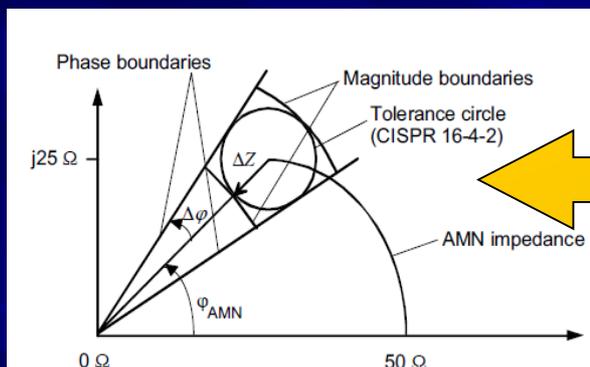
Le sorgenti principali in una catena di misura delle emissioni sono quelle sopra esposte.

Naturalmente alcuni di questi aspetti sono più critici di altri, ad esempio se il ricevitore CISPR non rientra nelle caratteristiche, la prova non può avere valenza di conformità.

Mentre se ad esempio il problema risiede nella fase della AMN questa è recuperabile aumentando l'incertezza della misura.

# Misure di emissioni condotte (1)

- Incertezza dovuta alle non idealità dell'Artificial Mains Network



Requisiti CISPR 16-1-2

Impedenza:

$$\Delta|Z| = \pm 20\%$$

$$\Delta\phi = \pm 11.5^\circ$$

La CISPR 16-1-2 stabilisce i parametri costruttivi e le tolleranze che la apparecchiature ausiliarie devono avere.

Nell'ultima edizione è stata introdotto oltre al modulo dell'impedenza anche la fase.

## Misure di emissioni condotte (2)



La mia AMN non è  
CISPR compliant per  
la fase!!!

- Se i requisiti di fase della CISPR 16-1-2 non sono rispettati allora posso usare lo stesso l'AMN ma occorre valutare l'incertezza introdotta (contributo aggiuntivo)



LACE-090220



Cosa devo fare se la fase non rientra nelle specifiche? Cosa tra l'altro molto probabile se si possiede una AMN non di recente costruzione.

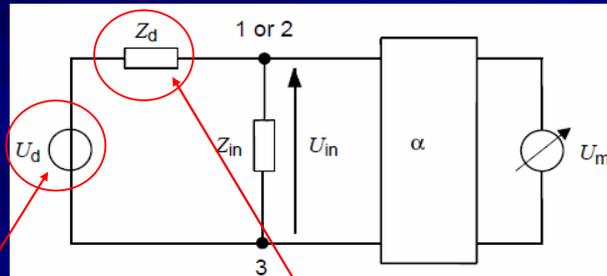
In questo caso non è obbligatorio cambiarla, ma devo analizzare i dati della taratura e inserirli nel budget di incertezza.

Come è specificato nell'allegato ...

## Misure di emissioni condotte (3)

### ■ CISPR 16-4-1A3

Schema di principio di una misura eseguita con V-AMN



Sorgente  
Disturbo (EUT)

effettiva impedenza della  
sorgente di disturbo (EUT)  
 $= Z_{d0}(\text{ideale}) + \Delta Z_d$

LACE  
Laboratorio Nazionale di Competenza elettromagnetica

LACE-090220

OREP

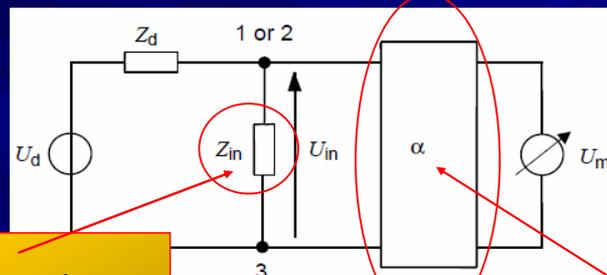
Il disegno rappresenta lo schema della misura delle emissioni condotte utilizzando l'AMN.

- L'EUT è caratterizzato dalla tensione di disturbo  $U_d$ ;
- $Z_d$  rappresenta l'impedenza dell'EUT (in modulo e fase);
- $U_m$  è la lettura del ricevitore CISPR

## Misure di emissioni condotte (4)

### ■ CISPR 16-4-1A3

Schema di principio di una misura eseguita con V-AMN



effettiva impedenza  
della rete AMN  
 $= Z_{AMN \text{ ideale}} + \Delta Z_{in}$

Effettivo fattore di trasduzione  
 $= \alpha_0$  (fattore divisione tensione AMN) +  
 $\Delta\alpha$  (non idealità AMN+connessione ricevitore)

**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Compatibilità elettromagnetica

LACE-090220

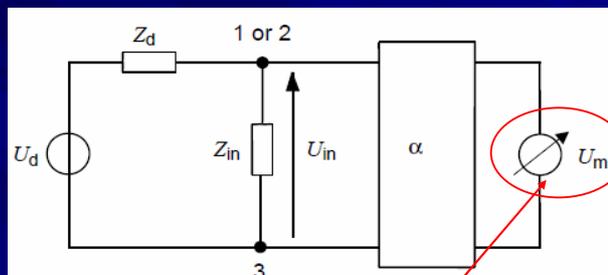
**OREP**

- $Z_{in}$  è l'impedenza della AMN
- $\alpha$  è il fattore della AMN

## Misure di emissioni condotte (5)

### ■ CISPR 16-4-1A3

Schema di principio di una misura eseguita con V-AMN



Effettiva lettura del ricevitore di misura  
 $= U_{mt}(\text{lettura ideale}) + \Delta U_m$

## Misure di emissioni condotte (6)

$$\frac{\Delta U_m}{U_{mt}} = \frac{z_{d0}}{z_d + z_{in}} \left( \frac{\Delta Z_{in}}{Z_{13}} \right)$$

- La lettura è influenzata dal rapporto

$$\frac{z_{d0}}{z_d + z_{in}} = \frac{1}{1 + \rho \cdot e^{j\varphi}}$$

*con*

$$\varphi = \varphi_{in} - \varphi_{d0}$$

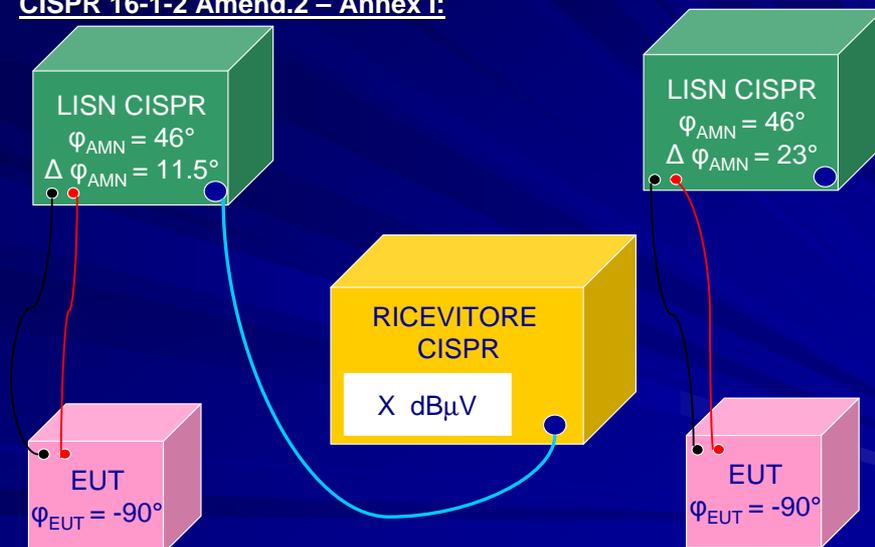
$$\varphi = \varphi_{AMN} - \varphi_{EUT}$$



L'incertezza dipende dalla fase dell'AMN e dalla fase dell'EUT

# Misure con due LISN/AMN (1)

- CISPR 16-1-2 Amend.2 – Annex I:



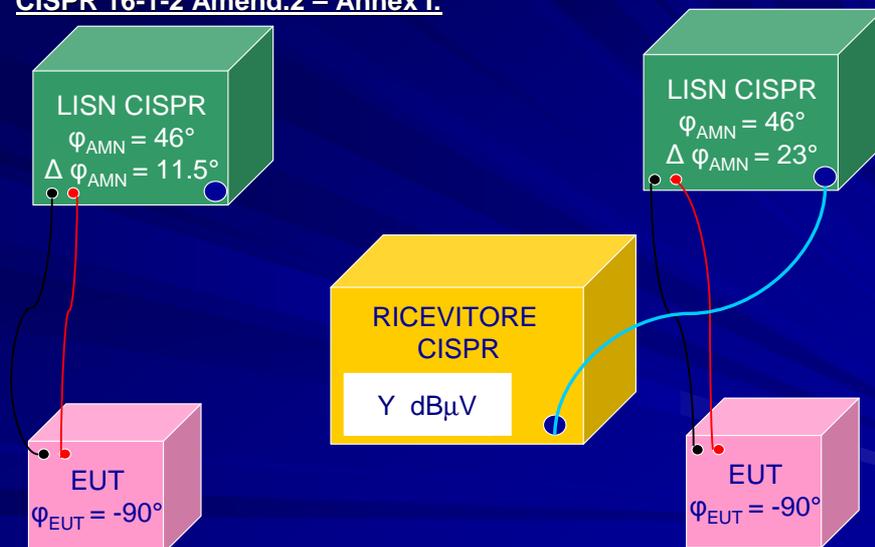
**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Competenza elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

# Misure con due LISN/AMN (2)

■ CISPR 16-1-2 Amend.2 – Annex I:



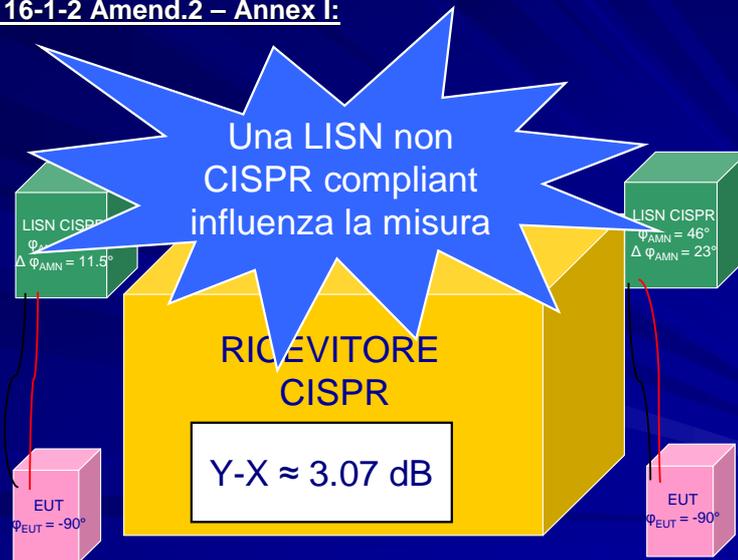
**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Competenza elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

# Misure con due LISN/AMN (3)

- CISPR 16-1-2 Amend.2 – Annex I:



**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Compatibilità elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

# Misure con due LISN/AMN (4)

■ CISPR 16-1-2 Amend.2 – Annex I:

*Ma dipende anche dall'EUT, infatti...*



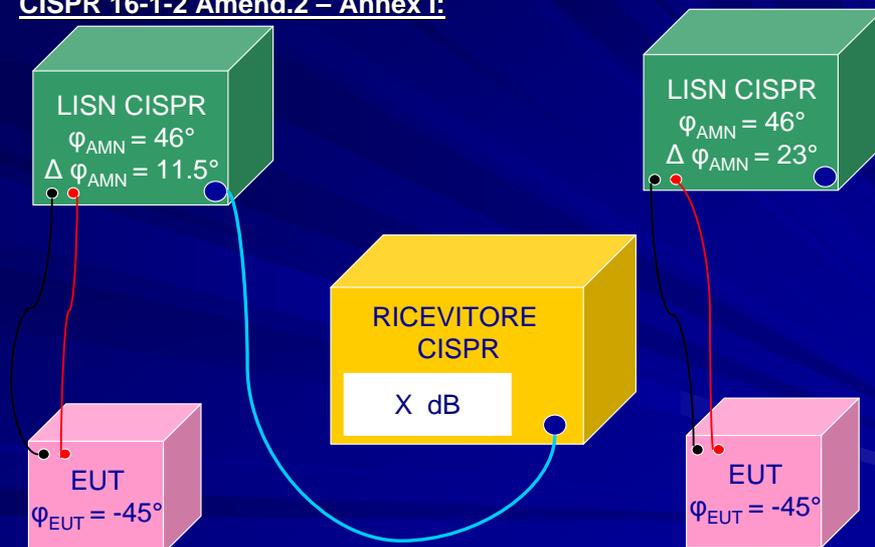
**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Compatibilità elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

# Misure con due LISN/AMN (5)

■ CISPR 16-1-2 Amend.2 – Annex I:



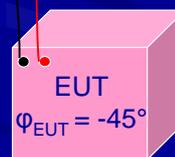
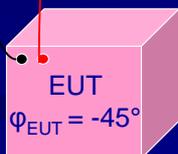
**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Competenza elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

# Misure con due LISN/AMN (6)

■ CISPR 16-1-2 Amend.2 – Annex I:



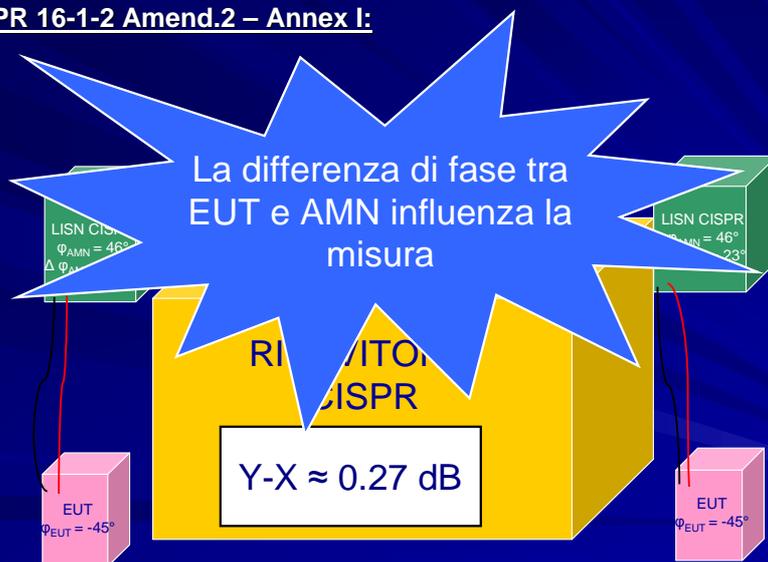
**LACE**  
Laboratorio Nazionale di Competenza elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

# Misure con due LISN/AMN (7)

- CISPR 16-1-2 Amend.2 – Annex I:



# Sommario

- Introduzione
- Ripetibilità – questa sconosciuta?
- Incertezza nelle misure di emissione
- **Incertezza nelle prove di immunità**
- Incertezza di misura vs EUT nelle prove di immunità

# Prove di immunità

- Immunità alle scariche elettrostatiche ESD  
EN 61000-4-2
- Immunità al campo elettromagnetico irradiato  
EN 61000-4-3
- Immunità ai transitori elettrici veloci (burst)  
EN 61000-4-4
- Immunità ai transitori ad alta energia (surge)  
EN 61000-4-5
- Immunità alla radiofrequenza condotta  
EN 61000-4-6
- ...



LACE-090220



Si consideri che le prove di immunità hanno come risultato un risultato che è un “PASSA – NON PASSA”. Questo non è facilmente correlato con la grandezza fisica oggetto della prova. Infatti nel caso di una scarica ESD i parametri di prova sono la tensione del generatore, ma anche il fronte di salita del generatore, la forma d’onda della scarica ecc.

Tutti questi elementi non sono facilmente introducibili nel numero che bisogna associare al risultato della prova.

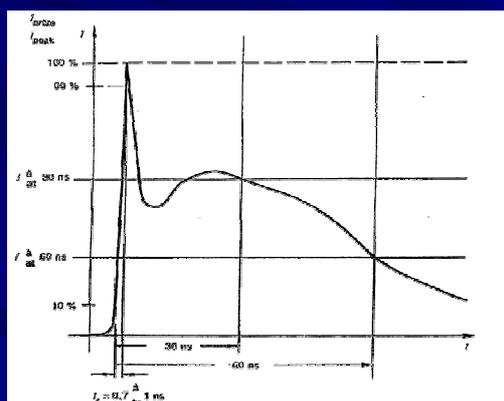
Pertanto quando si parla di incertezza nelle prove di immunità, quasi sempre si associa l’incertezza non alla prova ma alla grandezza od alle grandezze che sono in gioco durante le prove.

Nelle prove di immunità uno dei contributi che devono essere tenuti in conto nel “budget” dell’incertezza è sicuramente la ripetibilità della prova.

# Immunità alle scariche elettrostatiche ESD (1)

Fonti di incertezza nell'immunità alle ESD che influenzano l'esito della prova:

- 1) **Caratteristiche della forma d'onda del generatore di scariche elettrostatiche.**



In accordo con la EN 61000-4-2 è determinante verificare il valore del primo picco della corrente di scarica, il tempo di salita dell'impulso e il valore della corrente a 30 ns ed a 60 ns.

**LACE**  
Laboratorio Analitico e Competenza elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

In questa come in molte delle prove uno dei contributi principali è la ripetibilità.

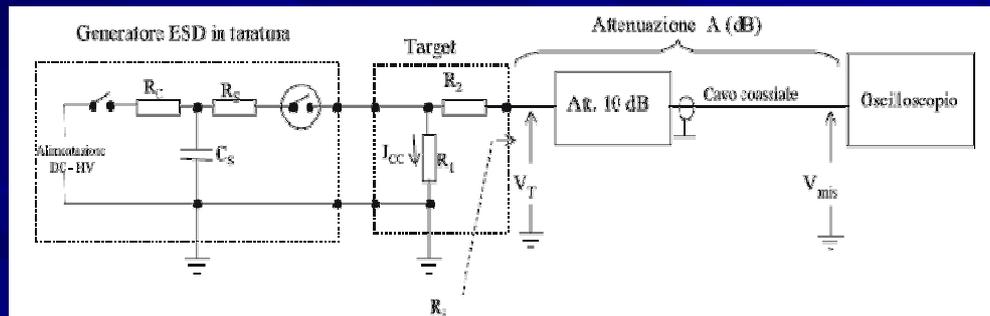
Si consideri che in questa prova un elemento parassita, ma con grande importanza, è la parte irradiata della scarica che si accoppia con l'EUT.

Nell'ultima edizione della norma questo parametro è stato associato maggiormente alla parte finale della forma d'onda della scarica della corrente.

## Immunità alle scariche elettrostatiche ESD (2)

### 2) Contributo dovuto alla ripetibilità delle scariche generate (analisi statistica).

Il sistema di misura utilizzato per la valutazione della ripetibilità di un generatore per le scariche elettrostatiche ha la stessa struttura di quello per la taratura.



## Immunità alle scariche elettrostatiche ESD (3)

I contributi di incertezza fino ad ora citati riguardano esclusivamente la grandezza di stimolo della prova e non tengono conto dell'incertezza introdotta durante la fase di iniezione del disturbo sull'EUT

### 3) Influenza sull'esito della prova del set-up di prova:

- Parametri ambientali limite (temperatura, umidità)
- Diposizione dell'EUT e relativi cavi durante le scariche indirette su piano di accoppiamento (come installazione tipica).
- Distanza dall'EUT del cavo di ritorno della scarica del generatore ESD, collegato al piano di terra di riferimento (ritorno di carica).
- ...



LACE-090220



# Prove di immunità

- Immunità alle scariche elettrostatiche ESD  
EN 61000-4-2
- Immunità al campo elettromagnetico irradiato  
EN 61000-4-3
- Immunità alla radiofrequenza condotta  
EN 61000-4-6
- Immunità ai transitori elettrici veloci (burst)  
EN 61000-4-4
- Immunità ai transitori ad alta energia (surge)  
EN 61000-4-5
- ...



LACE-090220



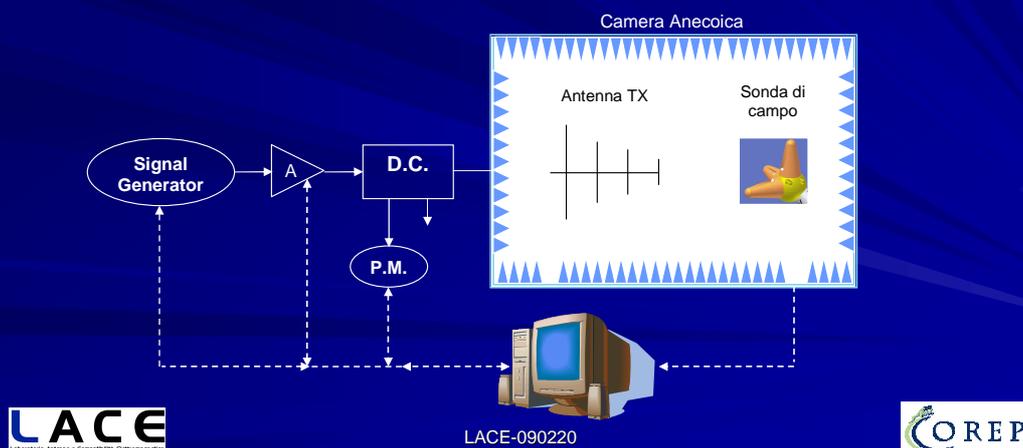
## Immunità al campo elettromagnetico irradiato (1)

- È in fase di voto un documento che definisce i contributi di incertezza per questo tipo di prova.

È stato riconosciuto che l'incertezza dovuta alla fase di calibrazione del campo non è la stessa che interviene durante la fase di iniezione del disturbo.

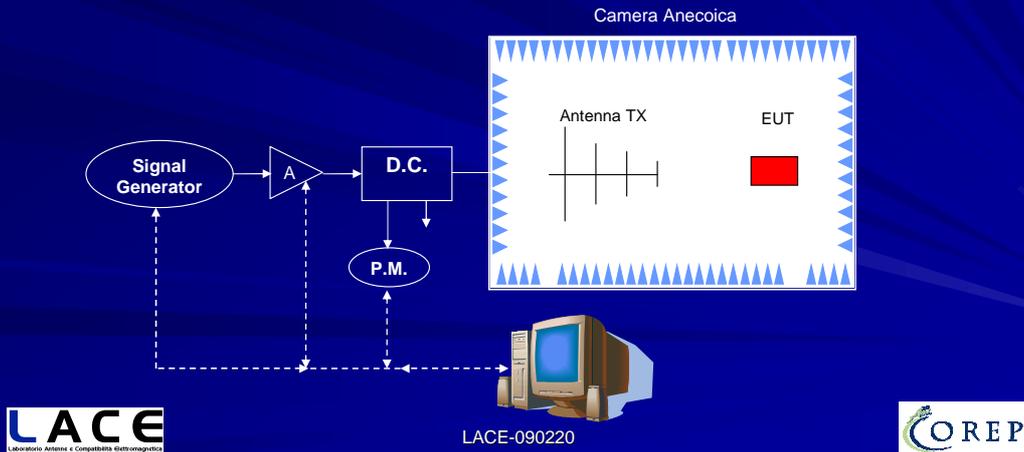
## Immunità al campo elettromagnetico irradiato (2)

- Durante la **fase di calibrazione del campo**, si applica in un punto il valore di campo predefinito e si rileva per ogni altro punto il valore di potenza applicato.



## Immunità al campo elettromagnetico irradiato (3)

- Durante la **fase di riproduzione del campo (prova)**: si varia la potenza di uscita del signal generator finché il power meter non legge il valore di potenza incidente individuato durante la fase di taratura del campo. Si esegue quindi una misura per confronto (si utilizzando gli stessi strumenti)



## Immunità al campo elettromagnetico irradiato (4)

■ Si evidenziano i seguenti contributi di incertezza:

- ➡ –Lettura della sonda di campo (fattore di correzione, linearità, andamento in funzione della temperatura, accuratezza della lettura).
- ➡ –Lettura del power meter (le letture eseguite in fase di calibrazione e di iniezione non si possono dire scorrelate)
- ➡ –Fattore di accoppiamento tra Antenna ed EUT (la potenza riflessa varia e influenza la potenza netta in antenna)

## Immunità al campo elettromagnetico irradiato (5)

– Disposizione dei cavi sul tavolo  
secondo la EN 61000-4-3: “

- a minimum of 1 m of cable is exposed to the electromagnetic field.
- Excess length of cables interconnecting units of the EUT shall be bundled low-inductively in the approximate center of the cable to form a bundle 30 cm to 40 cm in length”

# Prove di immunità

- Immunità alle scariche elettrostatiche ESD  
EN 61000-4-2
- Immunità al campo elettromagnetico irradiato  
EN 61000-4-3
- Immunità alla radiofrequenza condotta  
EN 61000-4-6
- Immunità ai transitori elettrici veloci (burst)  
EN 61000-4-4
- Immunità ai transitori ad alta energia (surge)  
EN 61000-4-5
- ...



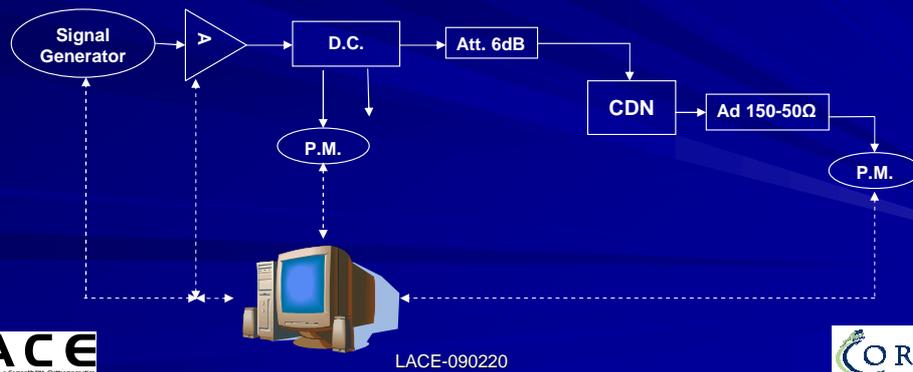
LACE-090220



# Immunità alla radiofrequenza condotta (1)

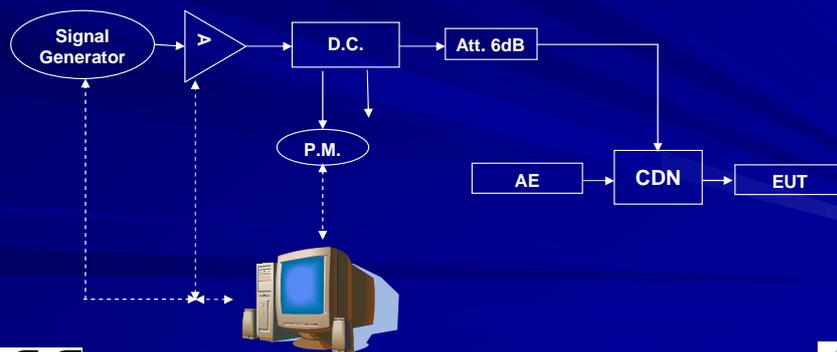
L'incertezza dovuta alla fase di calibrazione del campo non è la stessa che interviene durante la fase di iniezione del disturbo.

- Durante la fase di calibrazione del disturbo, per ogni frequenza, il power meter a valle della CDN misura il valore della tensione iniettata.



## Immunità alla radiofrequenza condotta (2)

- Durante la fase di iniezione del disturbo si varia la potenza di uscita del generatore di segnali a RF finché il power meter non legge il valore di potenza incidente annotato in calibrazione. Si esegue quindi una misura per confronto (si utilizzando gli stessi strumenti).



**LACE**  
Laboratorio Analitico e Competenza elettromagnetica

LACE-090220

**OREP**

## Immunità alla radiofrequenza condotta (3)

■ Si evidenziano i seguenti contributi di incertezza:

- ⇒ – Lettura del power meter. Le letture eseguite in fase di calibrazione e di iniezione sono correlate.
- ⇒ – Adattatori 150-50  $\Omega$  (perdita di inserzione  $9,5 \pm 0,5\text{dB}$ )
- ⇒ – Armoniche dell'amplificatore  
*"[.]Per evitare che armoniche (di ordine più alto o subarmoniche) disturbino l'EUT, dovranno essere usati dei filtri."*
- ⇒ – Fattore di accoppiamento tra CDN e EUT. (Valutazione della potenza netta)

## Immunità alla radiofrequenza condotta (4)

- Influenza dell'impedenza associata agli ancillary equipment nel caso di iniezione del disturbo attraverso EM-Clamp o probe di corrente.

*“Tutti i cavi collegati a ciascun AE, oltre a quelli da collegare all'EUT, dovranno essere forniti di reti di disaccoppiamento [...] Il(i) cavo(i) tra l'AE e la(e) rete(i) di disaccoppiamento oppure tra l'AE e la pinza di iniezione non dovranno mai essere raccolti a matassa o avvolti [...]”*

# Prove di immunità

- Immunità alle scariche elettrostatiche ESD  
EN 61000-4-2
- Immunità al campo elettromagnetico irradiato  
EN 61000-4-3
- Immunità alla radiofrequenza condotta  
EN 61000-4-6
- Immunità ai transitori elettrici veloci (burst)  
EN 61000-4-4
- Immunità ai transitori ad alta energia (surge)  
EN 61000-4-5
- ...



LACE-090220



# Immunità Burst e Surge

- Valutazione dell'incertezza della grandezza i stimolo:
  - Caratteristiche della forma d'onda (con relative tolleranze) specificate nella norma di riferimento.
- Valutazione della ripetibilità della grandezza di stimolo attraverso analisi statistica.



LACE-090220



# Sommario

- Introduzione
- Ripetibilità – questa sconosciuta?
- Incertezza nelle misure di emissione
- Incertezza nelle prove di immunità
- **Incertezza di misura vs EUT nelle prove di immunità**

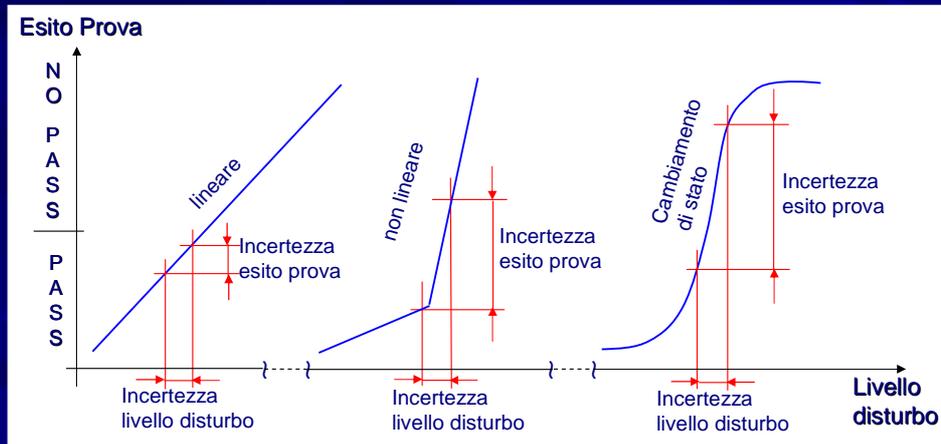
## Incertezza vs EUT (1)

- Conoscere l'incertezza della grandezza di stimolo non implica conoscere l'incertezza dell'esito della prova.

Come legare l'incertezza del livello iniettato alle variazioni di prestazione dell'EUT?

## Incertezza vs EUT (2)

- L'esito della prova dipende dalla funzione di trasferimento dell'EUT (funzione del livello di disturbo applicato)



# Conclusioni

■ Dagli errori si deve cercare di imparare !!!

■ Nella catena di misura ci sono sempre elementi più critici (in termini numerici) di altri.....

**....CONCENTRARSI SU QUESTI**

# Conclusioni

- E' molto importante

**conoscere le caratteristiche dell'EUT**

- Prima di eseguire una misura o prova cercare di

**capire il motivo per cui la si deve eseguire**



LACE-090220



# RINGRAZIAMENTI

a tutti Voi ...  
ai miei collaboratori ...

per la pazienza dimostrata!



LACE-090220

