



Seminario

Conformità EMC e linee guida per la progettazione di sistemi elettronici

a cura di
Matilde Tatini

Power-One Italy S.p.a.

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Università di Firenze



Sommario

- ❖ **Misure per conformità EMC**
- ❖ **Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC**
- ❖ **Test EMC**
- ❖ **Emissioni radiate**
- ❖ **Emissioni condotte**
- ❖ **Immunità radiata**
- ❖ **Immunità condotta**
- ❖ **Immunità a scariche elettrostatiche (ESD)**
- ❖ **Progettazione di sistemi elettronici e EMC**



Misure per conformità EMC



Un **sistema elettrico o elettronico** è detto **elettromagneticamente compatibile** se:

- Non causa interferenza con altri sistemi
- E' *non suscettibile (immune)* alle emissioni di altri sistemi
- Non causa interferenza con se stesso (*crosstalk*).

Si dice **interferenza elettromagnetica** (*Electromagnetic Interference, EMI*) la condizione per cui esistono tensioni o correnti spurie che influenzano negativamente le prestazioni di un sistema o di un dispositivo.



Misure per conformità EMC



Si distinguono due modalità di *trasmissione di un disturbo*:

- **Condizione**: avviene attraverso conduttori e elementi a costanti concentrate (condensatori, trasformatori).
- **Irradiazione**: avviene attraverso la propagazione nello spazio libero.

Le caratteristiche di un *emettitore* possono essere definite in termini di **emissione condotta** (*Conducted Emission*, **CE**) ed **emissione radiata** (*Radiated Emission*, **RE**).

- Le *emissioni condotte* sono le correnti che passano attraverso i cavi di ingresso e si distribuiscono nella rete elettrica che si comporta così come una grande antenna, causando interferenze con altri dispositivi.
- Le *emissioni radiate* comprendono i campi elettrici e magnetici radiati dal dispositivo e che possono essere captate da altri dispositivi, causando ad essi interferenze.

Le caratteristiche di un *suscettore* possono essere definite in termini di **suscettibilità condotta** (*Conducted Susceptibility*, **CS**) e **suscettibilità radiata** (*Radiated Susceptibility*, **RS**) (dualmente si parla di *immunità condotta* e *immunità radiata*).



Misure per conformità EMC

La **compatibilità elettromagnetica** si occupa di rendere possibile la **coesistenza di diversi apparati elettrici, elettronici o elettromeccanici in un ambiente elettromagnetico condiviso**.

Operativamente si devono stabilire delle convenzioni:

- Per *ambiente elettromagnetico condiviso* si intendono i livelli di emissione accettati e i livelli di immunità che un apparato deve garantire.
- E' indispensabile definire delle procedure per le misure di emissione o immunità di un apparato.

In quest'ottica **in Europa** alla fine degli anni '80 sono state studiate delle **norme** al fine di favorire il **libero scambio di dispositivi elettronici**.

Tali norme garantiscono i requisiti indispensabili al corretto funzionamento dei dispositivi.



Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC



Dal 1° Gennaio 1996 vige nella Comunità Europea la **Direttiva 89/336/EEC** relativa alla compatibilità elettromagnetica, che consente di apporre sui dispositivi elettronici il marchio CE.

La Direttiva ha dato vita a una serie di **normative** dove sono descritte le prove che il dispositivo deve superare per poter essere marcato CE.

Le norme prodotte dai vari organismi di standardizzazione possono essere classificate in

- **Norme di base**
- **Norme generiche**
- **Norme di prodotto**

A livello di Direttiva si fa riferimento alle cosiddette **norme armonizzate**, che sono norme generiche o di prodotto pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea e di almeno un Paese membro.



Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC

Di seguito le principali prove di **EMISSIONI** e **IMMUNITA'** e le relative **norme di base europee** di riferimento:

**EMISSIONI RF RADIATE
E CONDOTTE**

EN 55011 - EN 55014 - EN 55022

EMISSIONI ARMONICHE
EN 61000-3-2

EMISSIONI FLICKER
EN 61000-3-3

IMMUNITA' RF RADIATE
EN 61000-4-3

IMMUNITA' RF CONDOTTE
EN 61000-4-6

**IMMUNITA' A SCARICHE
ELETTROSTATICHE (ESD)**
EN 61000-4-2

**IMMUNITA' A ELECTRICAL FAST
TRANSIENT/BURST**
EN 61000-4-4

IMMUNITA' A SURGE
EN 61000-4-5

**IMMUNITA' A VOLTAGE DIPS, SHORT
INTERRUPTION E VOLTAGE VARIATIONS**
IEC/EN 61000-4-11



Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC

EMISSIONI RF RADIATE E CONDOTTE

EN 55011

Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment – Electromagnetic disturbance characteristics – Limits and methods of measurement

EN 55014

Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electric motor-operated and thermal appliances for household and similar purposes, electric tools and similar electric apparatus

EN 55022

Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology (IT) equipment

EMISSIONI ARMONICHE

EN 61000-3-2

Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)

EMISSIONI FLICKER

EN 61000-3-3

Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection



Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC

IMMUNITA' RF RADIATE

EN 61000-4-3

Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

IMMUNITA' RF CONDOTTE

EN 61000-4-6

Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields

IMMUNITA' ALLE SCARICHE ELETTROSTATICHE (ESD)

EN 61000-4-2

Electrostatic discharge (ESD) immunity test

IMMUNITA' A ELECTRICAL FAST TRANSIENT/BURST

EN 61000-4-4

Electrical fast transient/burst immunity test

IMMUNITA' A SURGE

EN 61000-4-5

Surge immunity test

IMMUNITA' A VOLTAGE DIPS, SHORT INTERRUPTION E VOLTAGE VARIATIONS

IEC/EN 61000-4-11

Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests



Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC

Table 1: Generic EMC Emission Standards (only parts relevant to power supplies)

	IEC 61000-6-3/EN 50081-1: Electromagnetic compatibility – Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments		IEC 61000-6-4/EN 50081-2: Electromagnetic compatibility – Generic standards – Emission standard for industrial environments	
Port	Referenced basic standard	Frequency range and required limit	Referenced basic standard	Frequency range and required limit
Case (radiated)	CISPR 22/ EN 55022	30...1000 MHz, class B	CISPR 11/ EN 55011	30...1000 MHz, Group 1, class A
AC mains (conducted)		0.15...30 MHz, class B		0.15...30 MHz, Group 1, class A
	IEC 61000-3-2/ EN 60555-2	0...2 kHz		
	IEC 61000-3-3/ EN 60555-3	0...2 kHz		



Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC

Table 2: Generic EMC Immunity Standards (only parts relevant to power supplies)

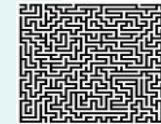
Referenced Basic standard	Port	Requirements of Generic Standard EN 50082-1 (IEC 61000-6-1): Electromagnetic compatibility – Generic standards – Immunity standard for residential, commercial and light-industrial environments	Requirements of Generic Standard IEC 61000-6-2/EN 50082-2: Electromagnetic compatibility – Generic standards – Immunity standard for industrial environments	Performance criterion
IEC/EN 61000-4-2: Electrostatic discharge	Enclosure (case)	±4 kV contact discharge	±4 kV contact discharge	B
		±8 kV air discharge	±8 kV air discharge	
IEC/EN 61000-4-3/ ENV 50204: Electromagnetic field	Enclosure (case)	3 V/m, 80...1000 MHz, AM 80%, 1 kHz, 900 MHz, PM 200 Hz ¹	10 V/m, 80...1000 MHz, AM 80%, 1 kHz, 900 MHz, PM 200 Hz ¹	A
IEC/EN 61000-4-4: Fast transients (burst)	Signal and control	±0.5 kV, 5 kHz, capacitive clamp (only if cables are longer than 3 m)	±1 kV, 5 kHz, capacitive clamp (only if cables are longer than 3 m), ±2 kV, 5 kHz, capacitive clamp (only for process control and according to EN)	B
	DC input and output	±0.5 kV, 5 kHz, direct injection (only if cables are longer than 10 m)	±2 kV, 5 kHz, direct injection	
	AC input and output	±1 kV, 5 kHz		
IEC/EN 61000-4-5: Surges	DC input (and output)	±0.5 kV line to earth, ±0.5 kV line to line	±0.5 kV line to earth, ±0.5 kV line to line	
	AC input	±2 kV line to earth, ±1 kV line to line	±4 kV line to earth, ±2 kV line to line	
IEC/EN 61000-4-6: Common mode conducted disturbances	Signal and control lines	3 V, 0.15...80 MHz, AM 80%, 1 kHz (only if cables are longer than 3 m)	10 V, 0.15...80 MHz, AM 80%, 1 kHz (according to IEC only if cables are longer than 3 m)	A
	DC input and output			
	AC input and output	3 V, 0.15...80 MHz, AM 80%, 1 kHz	10 V, 0.15...80 MHz, AM 80%, 1 kHz	
IEC/EN 61000-4-11: Voltage dips	AC input	30%, 10 ms	30%, 0.5 periods	B
		60%, 100 ms	60%, 5 and 50 periods	C
IEC/EN 61000-4-11: Voltage interruptions		>95%, 5000 ms	>95%, 250 periods	

¹ 900 MHz is referenced in EN standards only.



Test EMC

E' tanto importante specificare quali sono i limiti da rispettare nelle emissioni e nelle immunità quanto lo è specificare le modalità di misura di tali emissioni e immunità.



Ogni normativa esplicita dunque per i test che devono essere eseguiti:

- Procedure
- Apparecchiature
- Bande di frequenza.

Le procedure di misura sono contenute:

- Per FCC: nell' American National Standards Institute (ANSI) standard ANSI C63.4-2003
- Per CISPR 22 (EN 55022): nelle normative stesse, sebbene CISPR 22 faccia riferimento a CISPR 16.



Test EMC

Durante la vita di un prodotto, si hanno differenti **tipologie di test EMC**, che si distinguono quanto a

- Aspetti tecnici
- Tempistiche di esecuzione
- Costo.

Non sono solo gli **strumenti di misura EMC** ad avere un costo elevato (devono infatti essere realizzati in modo da non inquinare elettromagneticamente né l’ambiente né tantomeno il dispositivo in prova), ma anche lo **spazio fisico in cui effettuare la prova** ha un costo altissimo.

Nell’ottica di ridurre i costi assumono quindi molta importanza i **test di tipo pre-compliance** (cioè non strettamente mirati all’ottenimento della conformità alle normative), che offrono il vantaggio che le prove possono essere interrotte in qualsiasi momento, l’**EUT** (*Equipment Under Test*) modificato e quindi i test riavviati.



Test EMC

Test di tipo full-compliance (cioè mirati all’ottenimento della conformità alle normative)

- Non sono utili nelle prime fasi del progetto, quando il prodotto non è ancora ben definito.
- Non sono d’aiuto nel caso in fase avanzata di sviluppo vi siano problemi di EMI, perché tali test consentono spesso solo di rilevare il problema e non di individuarne le cause. In tali fasi è quindi necessario usare altre tecniche di sviluppo e diagnostica, che spesso coinvolgono sonde per il campo vicino, sonde di corrente e strumenti di debug.
- Sono necessari per fare prove sul prodotto nella sua versione definitiva.

Test di tipo full-compliance

- Possono essere limitatamente onerosi per aziende che hanno grossi volumi di produzione
- Possono essere molto onerosi per aziende che producono dispositivi a basso costo o in piccoli volumi.



Test EMC

Rivolgersi a **laboratori EMC specializzati** può essere molto costoso ma anche relativamente conveniente e assai utile, se lo si fa in modo intelligente:

- ✓ Molti laboratori EMC possono offrire i loro servizi anche per periodi di tempo molto ridotti (mezza giornata o ore).
- ✓ Gli esperti possono dare utili consigli.
- ✓ Si consiglia di preparare un piano di test (*test plan*), anche in collaborazione con il laboratorio EMC stesso, prima di recarsi nel laboratorio, così da sfruttare al massimo il tempo e le risorse a disposizione.
- ✓ E' consigliabile assicurarsi di avere a disposizione nel laboratorio tutta l'attrezzatura necessaria per realizzare il set-up del test (cavi, connettori, software, attrezzature ausiliarie etc.).
- ✓ E' utile che il progettista del dispositivo sia presente durante i test, in modo da poter intervenire con competenza e prontezza in caso di necessità.
- ✓ E' consigliabile conoscere le normative applicate durante i test, in modo da poter seguire consapevolmente l'andamento delle prove.



Test EMC

Il fatto che un campione estratto della **produzione di massa** superi i test EMC non assicura che tutta la produzione sia conforme alle norme EMC, se ciò non è garantito dalla **QA** (*Quality Assurance*) dell'azienda produttrice, che deve ad esempio assicurare

- ✓ Progettazione in grado di compensare la grande variabilità in ambito EMC dovuta differenti componenti, assemblaggi e cablaggi.
- ✓ Controllo degli effetti causati in ambito EMC da modifiche e aggiornamenti hardware e software.



Le **emissioni radiate** hanno luogo principalmente a **causa** di

- **Correnti nei cavi** di ingresso, di uscita e di collegamento tra i vari sottosistemi di un dispositivo
- **Correnti parassite sullo chassis** del dispositivo.

In determinate situazioni alcuni componenti e dispositivi di un apparato elettronico possono quindi comportarsi **come antenne radianti** e generare nell'ambiente circostante disturbi elettromagnetici che possono interferire con il corretto funzionamento di altri apparati.



Le norme **EN 55011**, **EN 55014** e **EN 55022** prevedono test nel range di frequenze **30 MHz-1 GHz**.

Per quanto riguarda l'**antenna di misura**

- La sua **altezza rispetto al livello del suolo** deve essere variata da 1 m a 4 m
- Deve essere posta sia in **polarizzazione** verticale che orizzontale.

In tali condizioni devono essere registrati i massimi di radiazione dell'EUT.

L'**interdistanza fra antenna di misura e EUT** deve essere di **10 m** sia per dispositivi in Classe A che in Classe B.

Il **ricevitore** usa un **quasi-peak detector**.

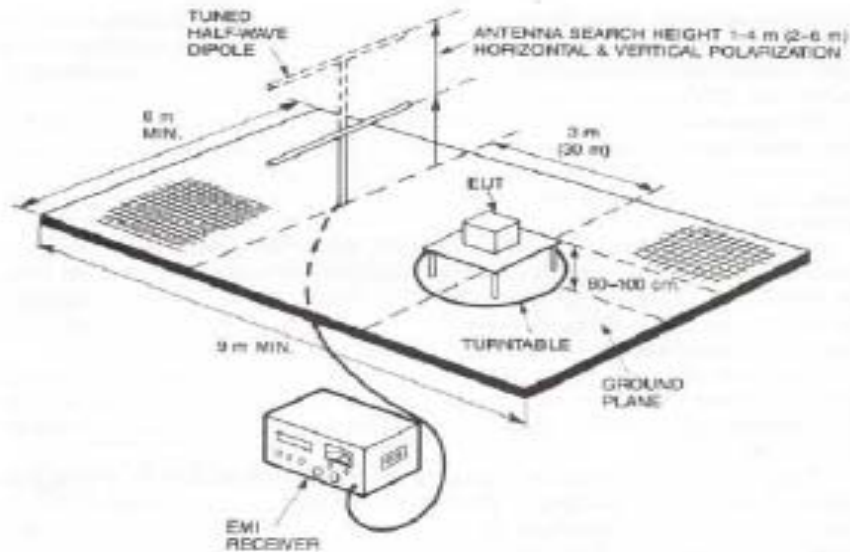
Il **sito di prova** (*test site*) può essere

- **OATS** (*Open-Area Test Site*)
- **SAC** (*Semi-Anechoic Chamber*)

Un OATS test site è preferibile, ma la norma prevede anche di eseguire le prove in un SAC test site.



Emissioni radiate Test set-up



Per svolgere test full-compliance è necessario un **piano di massa** posizionato fra l'EUT e l'antenna di misura e intorno ad essi.

Tale piano di massa è necessario per assicurare la ripetibilità delle misure svincolandosi dalle particolari caratteristiche del piano di massa disponibile “in natura” (umidità, conducibilità etc.)

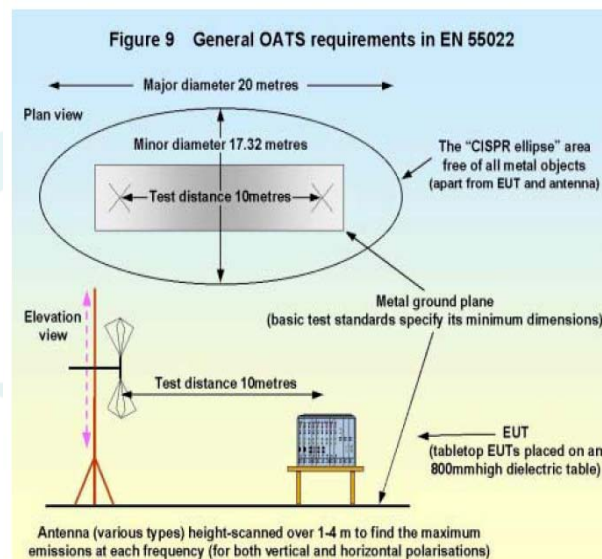
Per svolgere test full compliance inoltre

- Deve essere possibile **ruotare l'EUT** durante le prove.
- Nel caso l'EUT sia un **dispositivo da tavolo** deve essere posizionato **80 cm** al di sopra del piano di massa.
- Per quanto riguarda l'**antenna di misura**
 - ☐ La sua **altezza rispetto al livello del suolo** deve essere variata da 1 m a 4 m
 - ☐ Deve essere posta sia in **polarizzazione** verticale che orizzontale.
- L'**interdistanza fra antenna di misura e EUT** deve essere di **10 m**.



Emissioni radiate

Test set-up in Open-Area Test Site (OATS)



Such OATS are not difficult or expensive to set up (see Figures 10a and 10b), and can even be temporary structures with metal mesh ground planes that can be rolled up and stored away. Car parks are favourite settings for temporary OATS which are used at night or weekends.

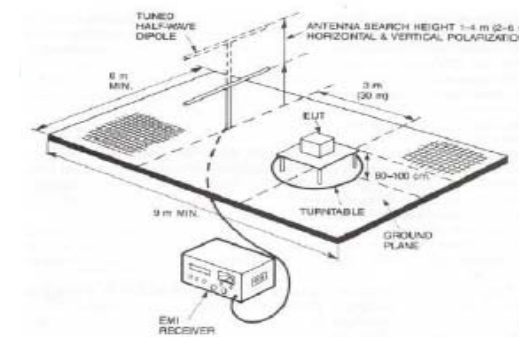
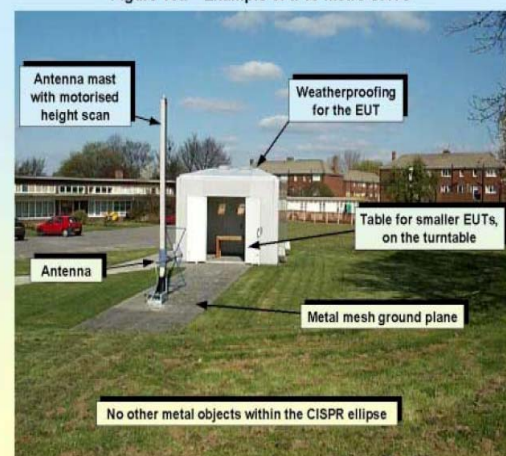


Figure 10a Example of a 10 metre OATS





Emissioni radiate

Test set-up in Semi-Anechoic Chamber (SAC)

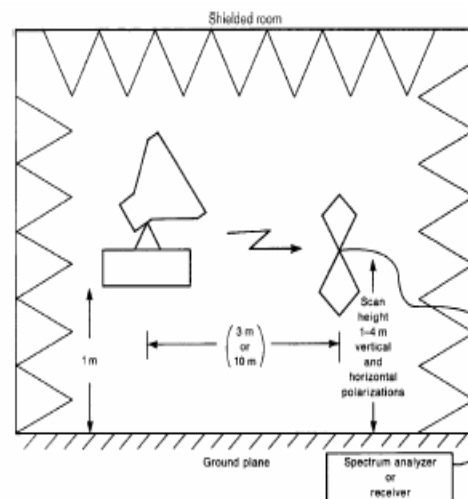


FIGURE 2.7 Illustration of the use of a semi-anechoic chamber for the measurement of radiated emissions.

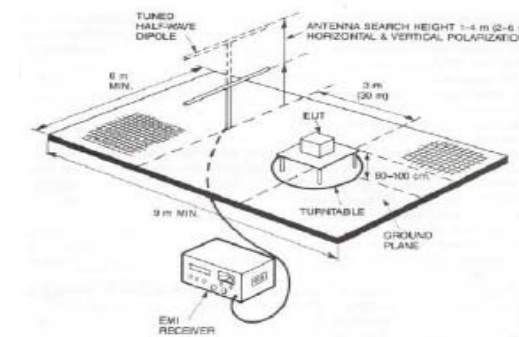
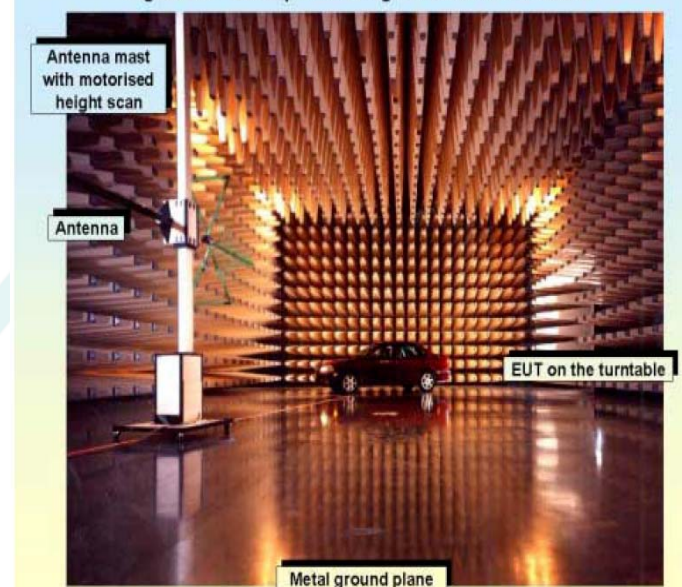


Figure 12 Example of a large semi-anechoic room



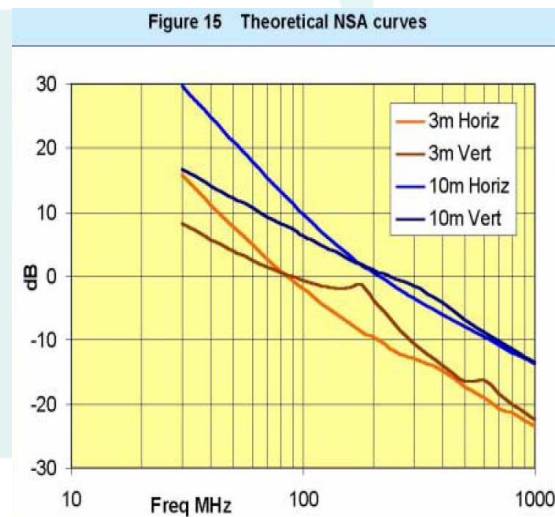


Emissioni radiate

Test site: Normalised Site Attenuation (NSA)

Il parametro che individua un sito di prova e che consente di valutare la sua conformità alle norme è detto **Normalised Site Attenuation (NSA)** ed è una misura dell'attenuazione presente nel test site fra l'EUT e l'antenna di misura.

Le norme tabulano il valore teorico dell'NSA in funzione della frequenza per diversi valori della distanza fra EUT e antenna e per diverse polarizzazioni dell'antenna. La differenza fra i valori associati a differenti polarizzazioni dell'antenna sono dovuti agli effetti di riflessione causati dal piano di massa del test site.



Per stabilire se un sito di prova è conforme alle normative si deve misurare l'NSA per il sito di prova da valutare e confrontarlo con le tabelle dell'NSA teorico presenti nella normativa e nel caso la differenza fra questi due valori sia minore di $\pm 4\text{dB}$ il test site è ritenuto conforme alle norme. Si nota che la misura dell'NSA è teoricamente semplice ma in pratica complessa.

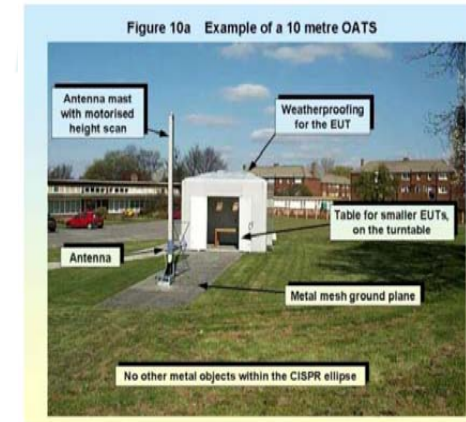


CISPR descrive un *Open-Area Test Site (OATS)* come un sito all’aperto dove non siano presenti ostacoli entro una data area di misura, così che le riflessioni introdotte siano controllabili.

Per la realizzazione di un OATS test site si possono riscontrare diversi problemi e ad esempio fattori quali le condizioni atmosferiche possono essere assai influenti. Tuttavia la difficoltà più rilevante è costituita dalla presenza nell’ambiente di segnali RF, quali quelli provenienti da

- ✓ Trasmissioni a larga banda
- ✓ Telefoni cellulari
- ✓ Cercapersone
- ✓ Apparat di telecomunicazione
- ✓ Inquinamento elettromagnetico proveniente da insediamenti industriali
- ✓ Reti di computer etc.

Si nota che tali fonti di EMI provengono proprio dagli apparati che si vogliono proteggere dalle emissioni radiate dell’EUT.





A causa dei problemi legati alla realizzazione di un OATS test site, attualmente le misure di emissioni radiate vengono svolte all'interno di una camera semi-anecoica (**Semi-Anechoic Chamber, SAC**), in modo da eliminare i disturbi generati dall'ambiente.

Nell'uso di una **camera semi-anecoica** vi è un duplice **scopo**:

- *Evitare che i disturbi elettromagnetici provenienti dall'esterno della camera influenzino le misure.*
Tale scopo è raggiunto attraverso la schermatura della camera.
- *Evitare le riflessioni che proverrebbero dalle pareti e dal tetto nel caso dell'utilizzo di una semplice camera schermata, in modo da simulare lo spazio libero.*
Ciò si ottiene ricoprendo di materiale RF assorbente le pareti e il tetto della camera.

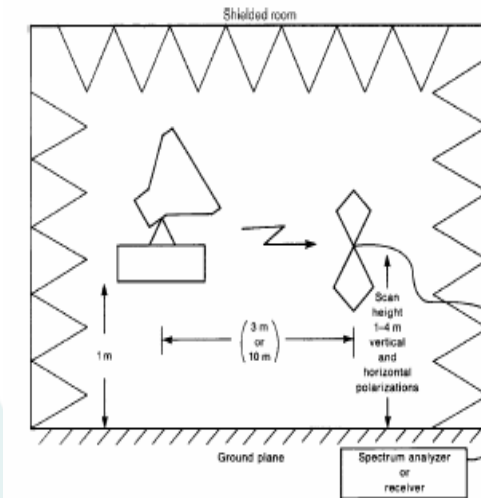


FIGURE 2.7 Illustration of the use of a semi-anechoic chamber for the measurement of radiated emissions.



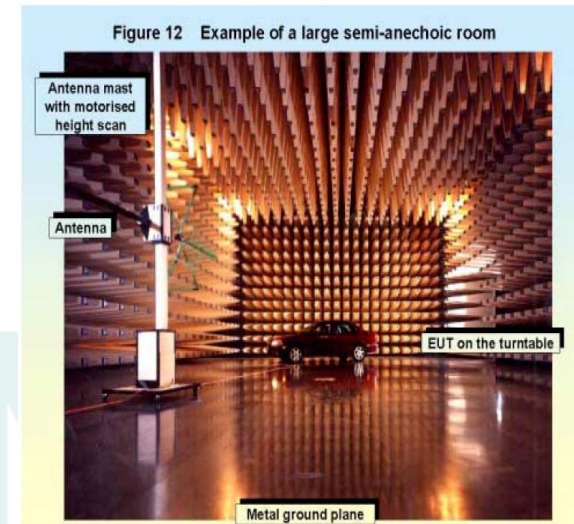
Il **materiale RF assorbente** sul tetto e sulle pareti di una camera semi-anecoica è generalmente delle due seguenti tipologie

- *Grandi cunei o lastre in schiuma di carbonio.*
Gli elementi così realizzati sono leggeri ma ingombranti.
- *Piastrelle di ferrite.*

Le piastrelle di ferrite sono poco ingombranti, ma molto pesanti e ciò può essere un notevole problema per la stabilità della loro installazione.

Entrambe le soluzioni sono comunque costose.

A causa delle imperfezioni sempre presenti nei materiali RF assorbenti, le prestazioni di un SAC test site sono generalmente peggiori di quelle in un OATS test site e proprio per questo *le norme richiedono un'accurata caratterizzazione volumetrica dei SAC test site.*





Emissioni radiate Antenne



I test full-compliance prevedono l'uso di antenne progettate per lavorare **in campo lontano** e i limiti delle normative sono dati in termini di campo lontano.

Per i test di emissione radiata si possono usare i seguenti tipi di **antenna**, che consentono di eseguire velocemente le misure nel range di frequenze 30 MHz-1 GHz

- Antenna **biconica** (20-200 MHz)
- Antenna **logperiodica** (200 MHz-1 GHz)
- Antenna **BiLog** (20 MHz-2 GHz).



**Antenna
BICONICA**



**Antenna
LOGPERIODICA**



**Antenna
BILOG**



E' importante notare che *un'antenna di misura deve essere calibrata* e il suo fattore di calibrazione deve essere tenuto presente nelle misure di emissione radiata.

Si può quindi creare una tabella che consenta di valutare le reali emissioni radiate dall'EUT valutando i fattori di calibrazione non solo dell'antenna ma anche di tutti gli altri strumenti di misura.

Figure 8 Example of a spreadsheet
used to calculate actual radiated emissions in dB μ V/m

Frequency in MHz	Measured signal at 10m in dB μ V	Antenna factor in dB/m	Cable factor in dB	Receiver factor in dB	Final value of radiated field	EN55022 Class B QP limit	Margin and pass/fail
48.336	18.3	17.8	0.3	0.2	36.6	30	6.6 fail
80.560	27.5	14.1	0.4	0.7	43.0	30	13.0 fail
112.78	22.0	11.2	0.5	-0.6	33.1	30	3.1 fail
145.01	34.7	7.9	0.6	0.8	44.0	30	14.0 fail
177.23	29.1	5.6	0.8	1.1	36.6	30	6.6 fail
209.46	31.3	4.2	1.0	-0.2	36.3	30	6.3 fail
241.68	31.0	2.4	1.1	-0.9	33.5	37	-3.5 pass
273.90	29.0	1.8	1.3	-0.7	31.4	37	-5.6 pass

More sophisticated spectrum analysers or receivers, or their control software, can apply these correction factors automatically. Pass / fail can then be seen immediately from their displays, saving a great deal of time and makes diagnostic testing much more intuitive.

Some can also display an alarm when a user-specified limit is exceeded, making QA test work easier.



Emissioni radiate Analizzatore di spettro e EMI receiver

Una delle peculiarità della misura delle emissioni radiate eseguita secondo CISPR 16 è l'impiego di **Quasi-Peak (QP)** e **Average (AV) detectors**. Tale tipo di misure sono adeguatamente svolte dai costosi strumenti dedicati alle misure EMC full-compliance.



Per effettuare tali misure può essere impiegato un **analizzatore di spettro** che ha il notevole vantaggio di offrire misure direttamente comparabili con i limiti delle normative.

L'analizzatore di spettro può essere usato con antenne, sonde per il campo vicino e sonde di corrente. Può anche essere usato con sonde di tensione, anche se bisogna tenere conto che l'impedenza di ingresso dell'analizzatore di spettro è **50Ω**.

Bisogna inoltre tener conto che l'analizzatore di spettro presenta fenomeni di saturazione se sottoposto a segnali di forte intensità, anche se sono esterni alla banda di misura, e quindi può essere necessario impiegare un **preselettore**.

Gli analizzatori di spettro più economici possono essere molto rumorosi. In tal caso il rapporto segnale/rumore può essere incrementato utilizzando un **preamplificatore RF**.



Emissioni radiate Analizzatore di spettro e EMI receiver



In alternativa all'analizzatore di spettro può anche essere usato un **ricevitore EMI**, anche se generalmente l'analizzatore di spettro è di più facile impiego.

Un ricevitore per misure EMC deve essere conforme alla CISPR 16 quando è usato per test full-compliance, in quanto il segnale interferente da misurare non è conosciuto a priori ed è variabile in un range di frequenze molto ampio. E' per questo motivo che gli strumenti per effettuare prove full-compliance sono molto costosi.



Le norme impongono di effettuare le misure in modo da **massimizzare le emissioni radiate dell'EUT**, quindi si devono valutare molte variabili

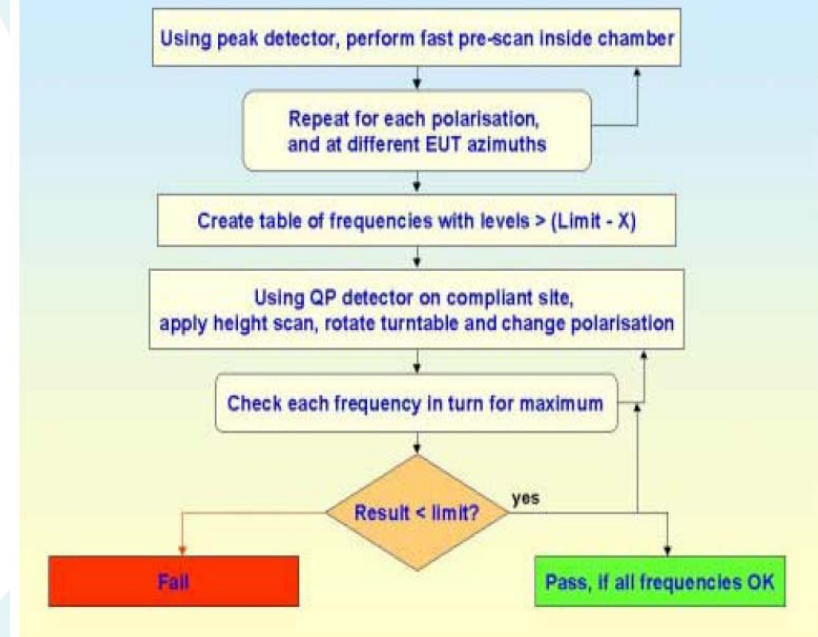
➤ *Variabili legate all'EUT*

- ✓ Pattern di radiazione
- ✓ Configurazione operativa
- ✓ Grandezze periodiche
- ✓ Layout
- ✓ Cablaggi

➤ *Variabili legate all'esecuzione delle misure*

- ✓ Range di frequenza
- ✓ Polarizzazione dell'antenna
- ✓ Altezza dell'antenna
- ✓ Temporizzazione delle misure.

Figure 16 Compliance measurement procedure





Emissioni radiate Esempio di misura



Nelle figure sottostanti sono mostrate le emissioni radiate, verticali e orizzontali, relative a un tipico dispositivo digitale sottoposto a test all'interno di una camera semi-anecoica.

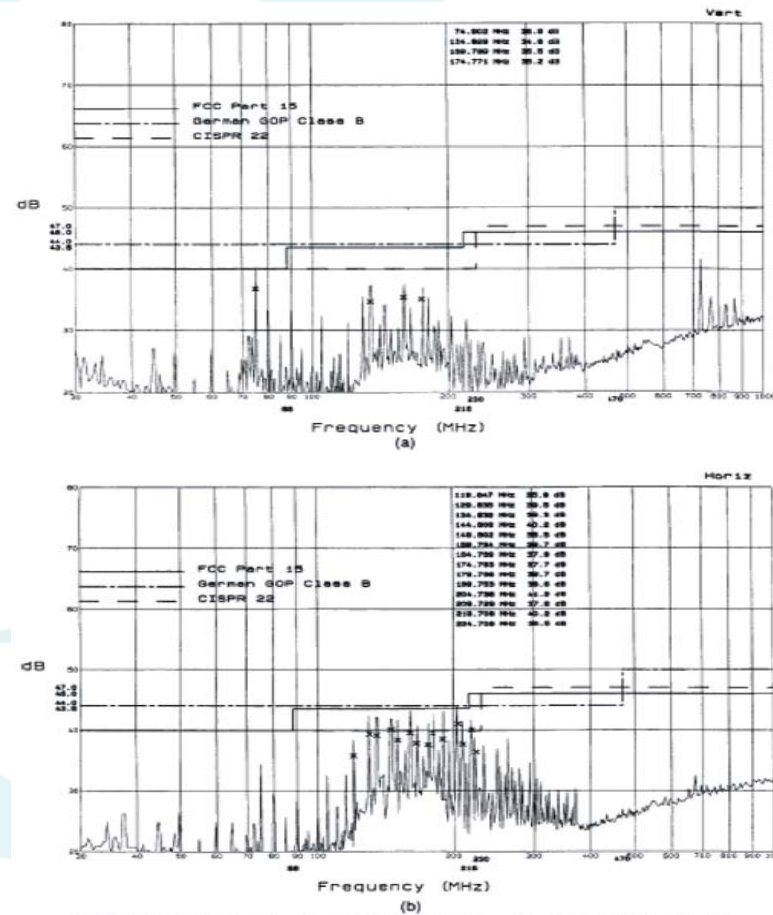


FIGURE 2.13 Radiated emissions of a typical digital product: (a) vertical emissions; (b) horizontal emissions.



Lo scopo di fissare dei limiti per le **emissioni condotte** scaturisce dalla necessità di minimizzare le correnti spurie che passano dai cavi di alimentazione del dispositivo alla **rete di distribuzione** che, costituita da un reticolo molto ampio di cavi, **si comporta come un antenna in grado di irradiare efficacemente**. E' questo ad esempio il motivo per cui l'immagine televisiva può apparire disturbata quando accendiamo un elettrodomestico vicino alla TV.

Le norme **EN 55011**, **EN 55014** e **EN 55022** prevedono che vengano effettuate le prove in una **camera schermata** con un ricevitore operante nella banda **150 kHz - 30 MHz** con indicatore di picco, quasi-picco e media.

Per un dispositivo alimentato in corrente alternata viene eseguita la misura delle emissioni condotte mediante il ricevitore tra un conduttore di fase e la terra e quindi viene ripetuta la misura sugli altri conduttori di fase.

Viene inoltre utilizzata una **LISN** (**Line Impedance Stabilisation Network**) che consente di effettuare misure ripetibili.

EN 55013 per ricevitori a larga banda e EN 55015 per dispositivi di illuminazione richiedono test simili a quelli descritti in EN 55011, EN 55014 e EN 55022. Tuttavia EN 55015 estende le misure fino a 9 kHz per alcuni apparati.

La normativa esprime i *limiti delle emissioni condotte in Volt*, in quanto il test viene effettuato inserendo una **LISN** (**Line Impedance Stabilization Network**) in serie con i cavi di alimentazione del dispositivo e la LISN restituisce in Volt la misura indicativa delle correnti di rumore su ciascun cavo di alimentazione.

L'**uso della LISN** ha il seguente duplice scopo

- *Protezione contro il rumore esterno presente nella rete di alimentazione*, per non degradare le misure.
- *Impedenza costante in frequenza e al variare del sito di misura tra ogni fase e massa*, per garantire la ripetibilità delle misure.

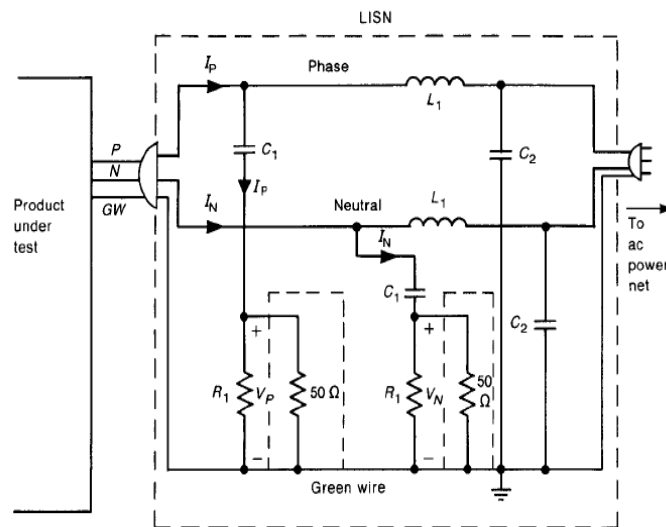


FIGURE 2.10 The line impedance stabilization network (LISN) for the measurement of conducted emissions.





La protezione dai disturbi esterni è garantita dalla presenza di L_1 e C_2 .

L'induttore L_1 (50 μ H) blocca il rumore mentre il condensatore C_2 (μ F) lo cortocircuita a massa.

Questo filtro LC tuttavia è progettato per far passare inalterata la componente a frequenza di alimentazione.

L'uniformità dell'impedenza di ingresso presentata dalla LISN è garantita dalla presenza di C_1 (0.1 μ F) e R_1 (1k Ω).

C_1 blocca le componenti continue della corrente, mentre presenta un'impedenza bassa per le componenti a frequenza tra 150kHz e 30MHz.

Il resistore da 50 Ω rappresenta l'impedenza di ingresso dell'analizzatore di spettro.

R_1 costituisce la possibilità di scarica di C_1 nel caso il resistore da 50 Ω sia disconnesso.

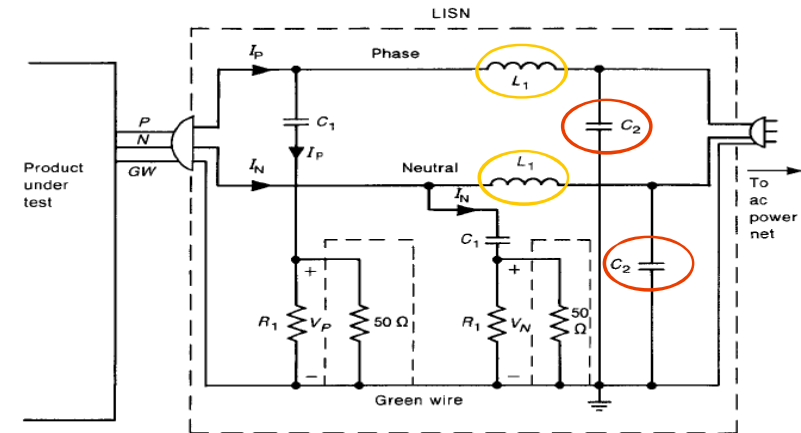


FIGURE 2.10 The line impedance stabilization network (LISN) for the measurement of conducted emissions.

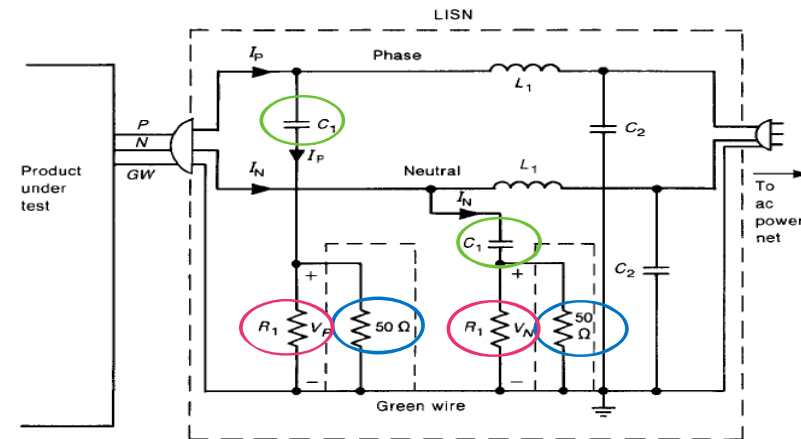


FIGURE 2.10 The line impedance stabilization network (LISN) for the measurement of conducted emissions.



In conclusione *l'impedenza di ingresso della LISN è reale e pari a 50Ω* nell'intervallo di frequenze di misura, indipendentemente dalle caratteristiche della rete di alimentazione a valle del LISN.

L'analizzatore di spettro (o ricevitore EMI) misura la tensione ai capi del resistore da 50Ω . Tale tensione deve soddisfare i limiti della normativa ed è legata alla corrente di rumore dalla relazione seguente:

$$I_P = \frac{1}{50} V_P$$

$$I_N = \frac{1}{50} V_N$$

Ciascuna tensione deve essere misurata nel range di frequenze stabilito dalla normativa e non deve superare i limiti imposti dalla stessa.

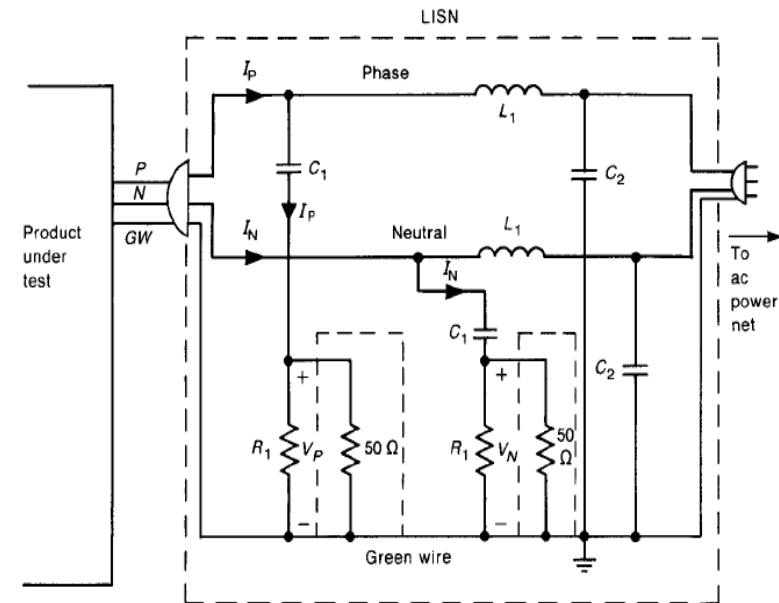


FIGURE 2.10 The line impedance stabilization network (LISN) for the measurement of conducted emissions.



Per attenuare le interferenze elettromagnetiche provenienti dall'ambiente, una soluzione piuttosto economica è costituita dall'uso di una **camera schermata** con l'alimentazione filtrata.

Figure 14

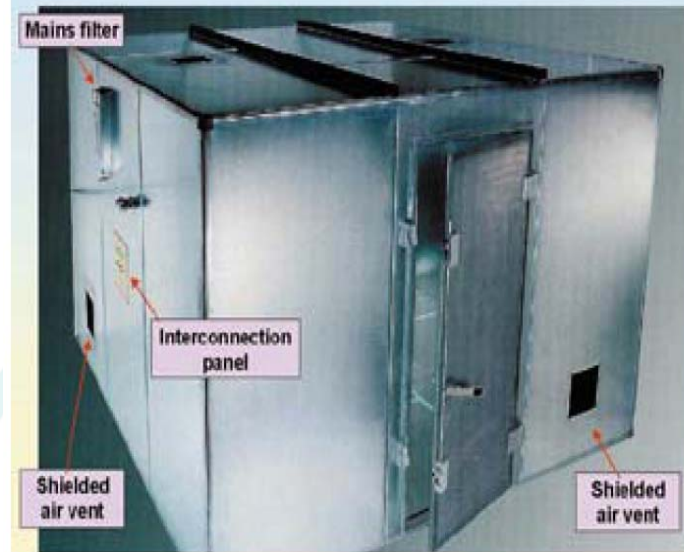
Example of a low-cost shielded room

This room was constructed by Expamet Ltd, using their expanded metal products

Similar rooms are easy to construct yourself, the largest problem usually being leakage around the door's gaskets



Figure 15 Example of a plain shielded room, from Lindgren-Rayproof





Emissioni condotte Esempio di misura



Nelle figure sottostanti sono mostrate le emissioni condotte, relative a fase e neutro, di un tipico dispositivo digitale.

Tale dispositivo impiega un alimentatore con frequenza di switching pari a 45 KHZ. Sono visibili i picchi relativi alla prima (90 kHz), alla seconda (90 kHz) e alla terza armonica (135 kHz). La scelta di una frequenza di switching pari a 45 kHz consente di mantenere la terza armonica sotto il limite inferiore della normativa (150 kHz).

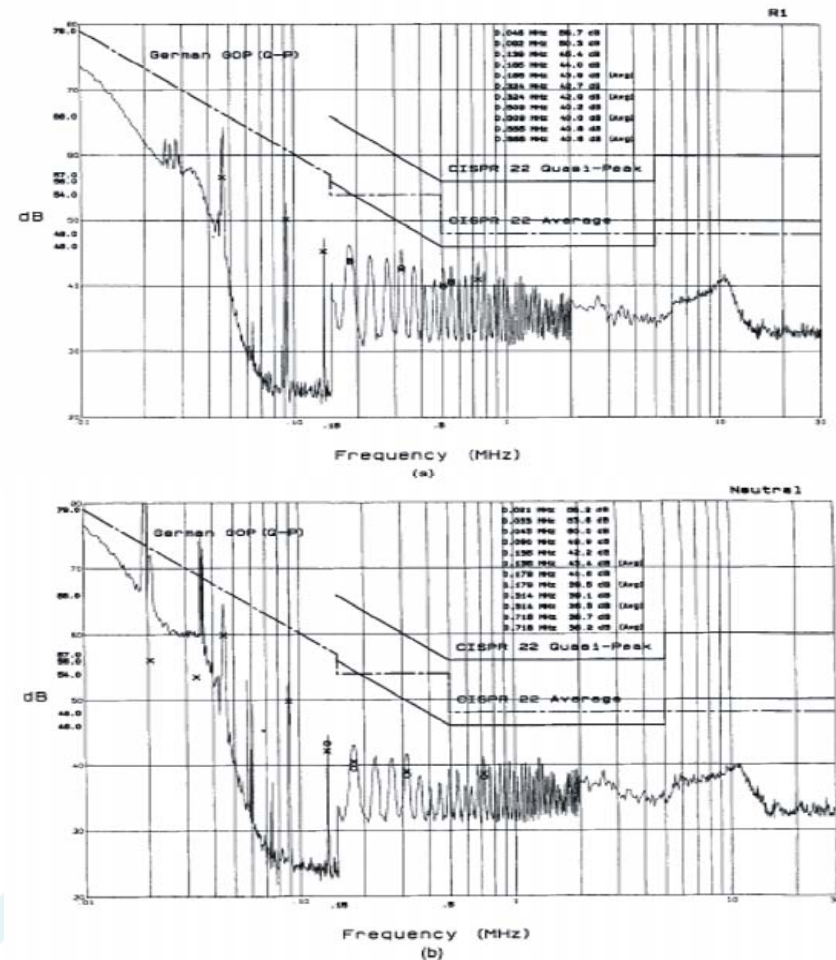


FIGURE 2.14 Conducted emissions of a typical digital product containing a switching power supply: (a) phase; (b) neutral.



Lo scopo dei test di immunità radiata è di assicurare che il dispositivo funzioni correttamente quando installato in prossimità di trasmettitori con notevole potenza, come

- Trasmettitori AM e FM
- Trasmettitori televisivi
- Radar aeroportuali
- Sorgenti elettromagnetiche dall'ambiente industriale.

A tal fine il produttore espone il dispositivo a sorgenti elettromagnetiche che simulano per tipologia e intensità il caso peggiore delle sue condizioni di installazione.

Da un punto di vista delle normative

- ✓ la Direttiva europea include prove di immunità radiata
- ✓ la normativa FCC non include prove di immunità radiata.



La norma di base per l'immunità radiata **EN 61000-4-3** stabilisce che l'EUT debba essere sottoposto ad un campo elettromagnetico uniforme, nella **banda 80 MHz - 1 GHz**, proveniente da una sorgente posta a distanza fissata, tipicamente **1, 3 e 10 m** (campo lontano).

L'EUT può essere posto all'interno di una **camera anecoica** e la prova viene effettuata per mezzo di una **catena di strumentazione** comprendente essenzialmente un generatore RF, un amplificatore e un'antenna operanti nella banda stabilita.

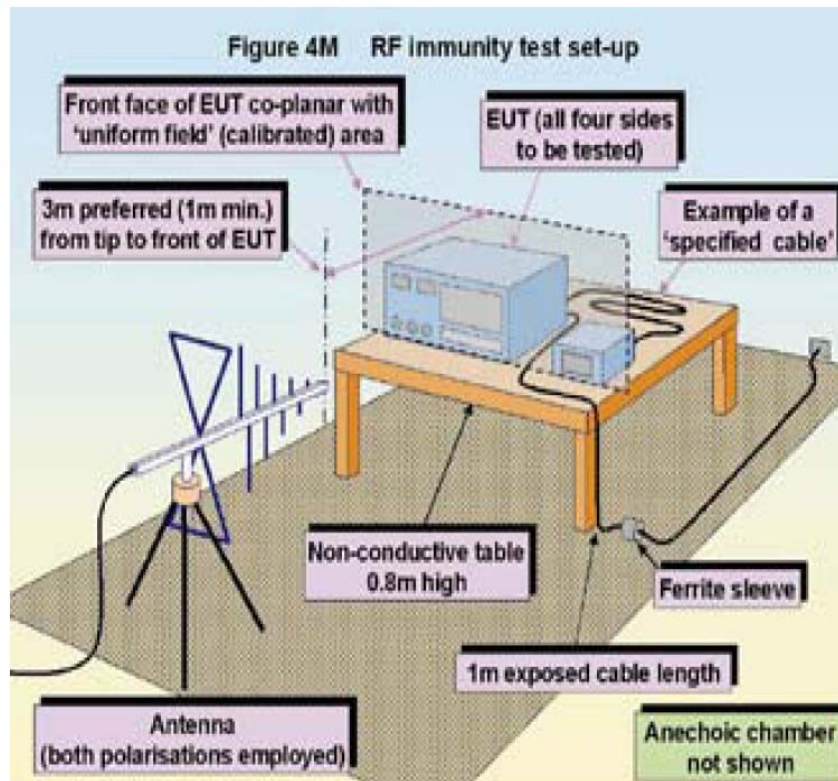
Deve essere assicurato un **campo elettrico uniforme** nell'area occupata dall'EUT, inoltre **il segnale deve essere modulato in ampiezza** dell'80% con un'onda sinusoidale a 1 kHz, questo perché l'EUT potrebbe essere suscettibile a segnali modulati e non avere particolari problemi se sottoposto a segnali non modulati.

Il **tempo di applicazione del campo**, variabile a seconda del tipo e della complessità dell'EUT, deve essere abbastanza elevato da dar modo all'EUT di rispondere al disturbo.

La procedura prevede inoltre la **valutazione del funzionamento dell'apparato** sia durante che dopo l'irradiazione.



Immunità radiata Test set-up



Test set-up:

- **Generatore di segnali RF**
- **Amplificatore di potenza RF**
- **Antenna**
- **Camera anecoica**

Nota: I test di immunità radiata, così come quelli di emissione radiata, possono fornire risultati variabili in corrispondenza di differenti test set-up! E' quindi necessario porre particolare attenzione al layout dell'EUT e alla disposizione dei cablaggi.

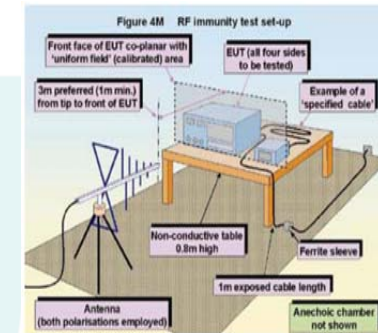


Immunità radiata

Generatore di segnali e amplificatore di potenza RF



E' necessario un **generatore di segnali RF** che copra il range di frequenze previsto dalla norma (80 MHz – 1 GHz).
Il livello della sua uscita deve essere adeguato rispetto alle caratteristiche di ingresso dell'amplificatore di potenza RF.
Il segnale deve essere modulato in ampiezza dell'80% con un'onda sinusoidale a 1 kHz.



Il generatore di segnali non ha la sufficiente potenza d'uscita, che deve essere ottenuta mediante un **amplificatore di potenza RF**.
La potenza d'uscita necessaria dipende dall'intensità del campo elettrico che deve essere generato e dalle caratteristiche dell'antenna utilizzata.
I principali parametri che caratterizzano un amplificatore di potenza RF sono:

✓ *Guadagno di potenza in frequenza*

E' il parametro più importante, infatti il guadagno di un'antenna a larga banda varia con la frequenza e quindi anche la potenza richiesta per generare un dato campo elettrico.

✓ *Linearità*

✓ *Caratteristiche costruttive*

✓ *Affidabilità e manutenzione.*



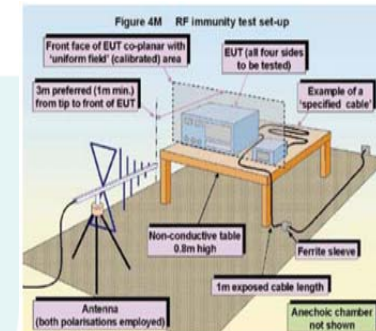
Immunità radiata Antenna



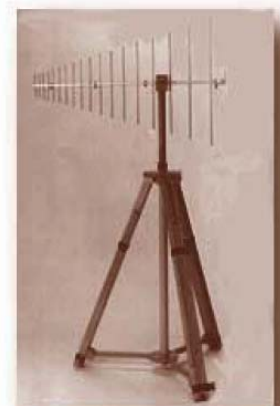
Per i test di immunità radiata si possono usare gli stessi tipi di **antenna** usati per i test di emissioni radiate, cioè

- Antenna **biconica** (20-200 MHz)
- Antenna **logperiodica** (200 MHz-1 GHz)
- Antenna **BiLog** (20 MHz-2 GHz).

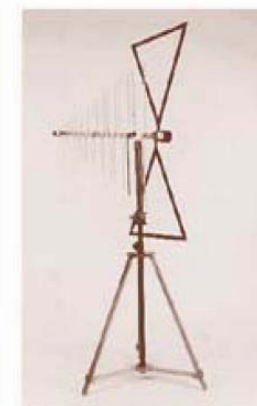
Nota: E' necessario fare attenzione a non danneggiare accidentalmente l'antenna durante i test di immunità radiata!



**Antenna
BICONICA**



**Antenna
LOGPERIODICA**



**Antenna
BILOG**



E' fondamentale assicurare che il campo elettrico che investe l'EUT durante i test di immunità radiata abbia la corretta intensità nel range di frequenze specificato dalla norma, quindi è importante tenere sotto controllo i fenomeni di riflessione e distorsione dovuti all'EUT e alla camera di prova.

Per questo si effettuano le misure in una **camera anecoica**, in cui le pareti, il soffitto e il pavimento sono schermate e internamente coperte da materiale RF assorbente.

I cavi di interconnessione che entrano e escono dalla camera devono essere opportunamente schermati e filtrati.

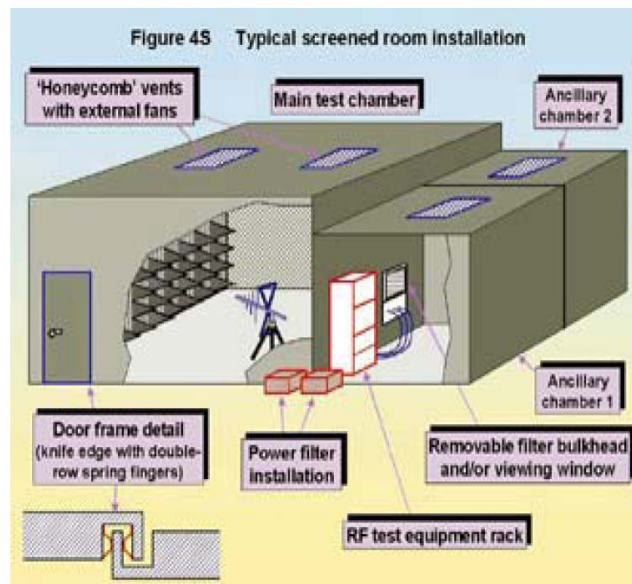
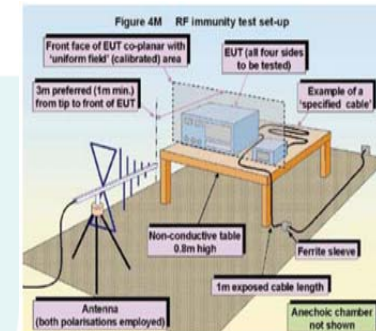
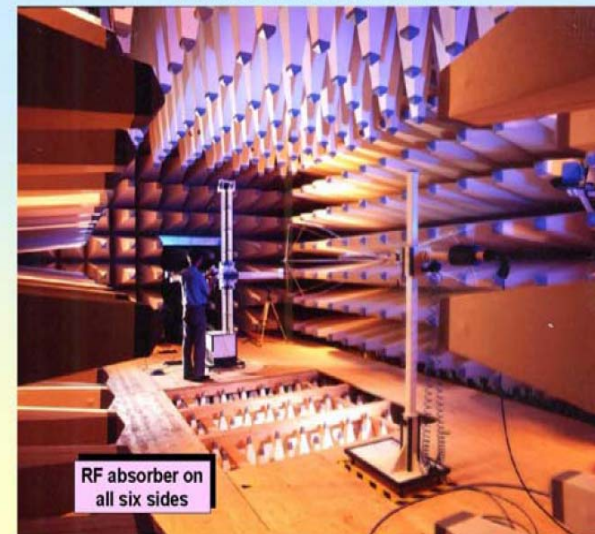


Figure 4C Example of an anechoic chamber for EN 61000-4-3 testing
(this example is at SEQAL, Yately, UK)





- L'EUT deve essere sottoposto a prove ricreando condizioni quanto più possibile simili a quelle della sua reale installazione.
- L'EUT deve essere configurato fisicamente e operativamente in modo da massimizzarne la suscettibilità.
- I parametri che individuano la funzionalità dell'EUT devono essere costantemente monitorati durante i test.
- L'EUT deve essere esposto da ogni lato al campo elettrico generato dall'antenna.
- La velocità con cui si eseguono gli sweep in frequenza è un parametro critico ai fini del tempo (e quindi del costo) della prova, tuttavia è altrettanto critico nell'impatto con la funzionalità dell'EUT. Tali tempistiche sono stabilite dalla norma.
- Se il prodotto è destinato ad essere installato al suolo (ad es. rack o cabinet), durante i test deve essere posizionato su un pavimento isolante. Normalmente l'antenna deve essere posizionata ad un minimo di 1 m dall'EUT e alla distanza più grande possibile che consenta un'adeguata intensità di campo; la distanza preferita è 3 m. Posizionare l'EUT troppo vicino all'antenna inficia l'uniformità del campo elettrico.



Un dispositivo può essere suscettibile a diversi tipi di EMI che impattano con i **cavi di ingresso e di uscita** del dispositivo stesso, che si comportano come antenne se sufficientemente lunghi. Sostanzialmente le sorgenti di disturbi di tipo condotto sono campi elettromagnetici generati da trasmettitori RF.

Nello svolgimento dei test di immunità condotta vengono intenzionalmente iniettati disturbi nei cavi dell'EUT.

La norma di base per l'immunità condotta **EN 61000-4-6** stabilisce che si deve applicare a **ciascuna porta dell'EUT** una **tensione** di valore definito dalla norma e variando la frequenza nel range **150 KHz-80 MHz**.

Il segnale deve essere modulato in ampiezza dell'80% con un'onda sinusoidale a 1 kHz.

L'impedenza del **generatore** è 50 Ω .

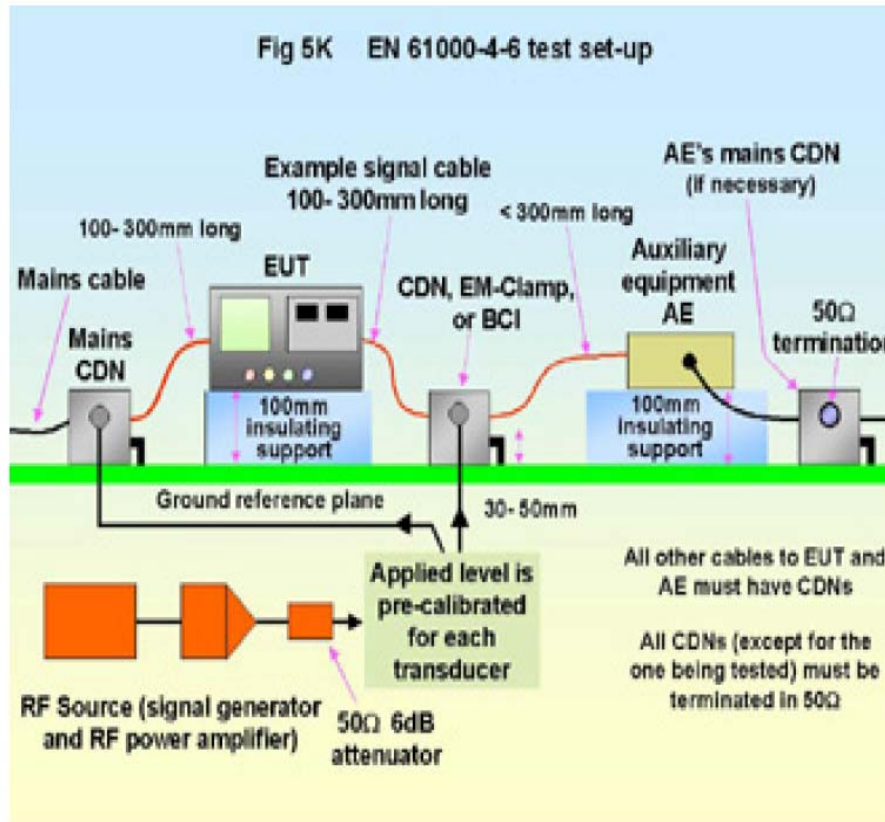
La forma d'onda è accoppiata a ciascuna delle linee di ciascuna delle porte che devono essere sottoposte a test mediante una **CDN** o un **injection clamp**.

Da un punto di vista delle normative

- ✓ la Direttiva europea include prove di immunità condotta
- ✓ la normativa FCC non include prove di immunità condotta.

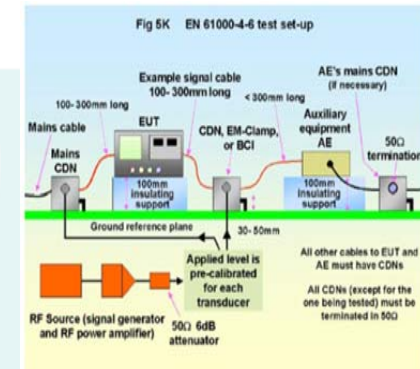


Immunità condotta Test set-up



Test set-up:

- **Generatore di segnali**
- **Amplificatore di potenza**
- **Attenuatore**
- **Trasduttore**



Sostanzialmente la norma richiede di generare un segnale RF modulato caratterizzato da una certa ampiezza facendo uno sweep nel range di frequenze 150 kHz-80 MHz.

Generalmente viene usato un **generatore di segnali** che alimenta un **amplificatore di potenza** lineare a larga banda.

L'uscita dell'amplificatore è accoppiato al trasduttore mediante un **attenuatore**.



La norma prevede tre tipi di **trasduttori**:

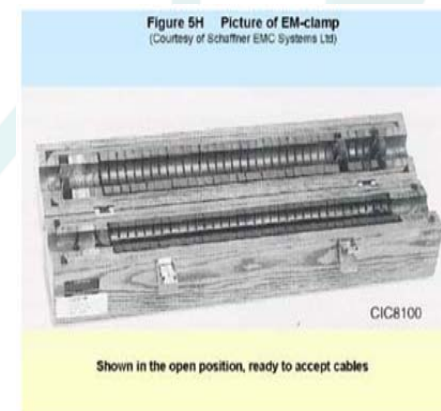
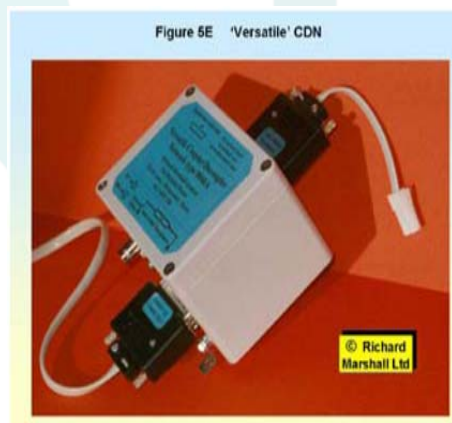
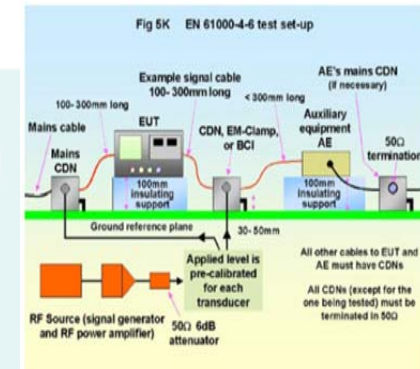
- Coupling/Decoupling Network (CDN)
- EM-clamp
- Current injection probe

Generalmente si usa la **CDN** perché

- richiede minor potenza
- consente di controllare automaticamente e accuratamente l'impedenza della sorgente e l'attenuazione verso i suoi dispositivi ausiliari (ad es. cavi).

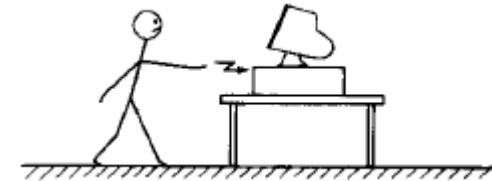
Purtroppo è necessario uno specifico tipo di rete per ogni tipologia di cavo.

Per cablaggi per i quali la CDN non è adatta, si usano gli altri tipi di trasduttori, che consentono di effettuare una misura non invasiva: **EM-clamp** e **current injection probe**.





- Un aspetto molto importante nel test set-up di immunità condotta è tenere sotto controllo l'impedenza dei trasduttori, dell'EUT e dei suoi dispositivi ausiliari e evitare risonanze generate dai cavi.
- Deve essere presente nell'area di test un piano di massa:
 - L'EUT deve essere posizionato 10 cm sopra il piano di massa
 - Il piano di massa costituisce il riferimento per le tensioni applicate
 - I trasduttori devono essere collegati al piano di massa
- Se l'EUT ha molte porte, solo alcune di esse devono essere sottoposte a test.
- Deve essere individuata la configurazione che massimizza la suscettibilità dell'EUT.



Il fenomeno delle scariche elettrostatiche (*Electrostatic Discharge*, **ESD**) sta divenendo sempre più importante con l'avanzare della tecnologia dei circuiti integrati.

Il fenomeno si basa sul fatto che è possibile che si accumulino cariche elettrostatiche sul nostro corpo e se poi tocchiamo un dispositivo elettronico si può formare un arco elettrico tra la punta delle dita e il dispositivo stesso.

Questo arco elettrico trasferisce le cariche al dispositivo, fatto che potrebbe causare la distruzione di alcuni componenti elettronici quali circuiti integrati.

L'arco elettrico genera inoltre un'onda elettromagnetica che può essere captata dal dispositivo e causarne il malfunzionamento.

Una scarica elettrostatica può avere un'ampiezza di circa 25 kV. Quando si ha tale scarica si ha un momentaneo passaggio di una forte corrente attraverso il dispositivo.

Una scarica elettrostatica può causare il reset di memorie, di interi apparati etc.

Le scariche elettrostatiche si possono avere in ambienti caratterizzati da bassa umidità, bassa conducibilità (fibre artificiali) etc.



Il produttore effettua su un prodotto test di immunità a scariche elettrostatiche sottoponendolo a ESD di tipo controllato (che rappresentano un tipico scenario operativo del prodotto) e determinando se il prodotto preserva la propria funzionalità.

Da un punto di vista delle normative

- ✓ la Direttiva europea include prove di immunità a ESD
- ✓ la normativa FCC non include prove di immunità a ESD



Simbolo che indica la suscettibilità a ESD.



Fotografia al microscopio elettronico dei risultati di una scarica elettrostatica su un dispositivo a semiconduttore.



La norma di riferimento **EN 61000-4-2** prevede di effettuare la prova su un **tavolo** di materiale isolante alto almeno 80 cm e di almeno 1 metro quadrato di superficie.

Devono essere presenti uno o due **piani di massa**

- uno sul pavimento sottostante (*Ground Plane*, **GRP**)
- uno sul piano del tavolo, detto *Horizontal Coupling Plane* **HCP**, per dispositivi da tavolo collegati tra loro mediante un cavo a bassa induttanza e un piano di accoppiamento verticale.

La prova deve essere effettuata mediante una **pistola elettrostatica** (*ESD gun*) con due **puntali**

- uno tondeggiante, per le scariche in aria
- uno appuntito, per le scariche a contatto.

La pistola elettrostatica ha un'impedenza di scarica pari a 330 Ω e 150 pF (**modellizzazione del corpo umano**).

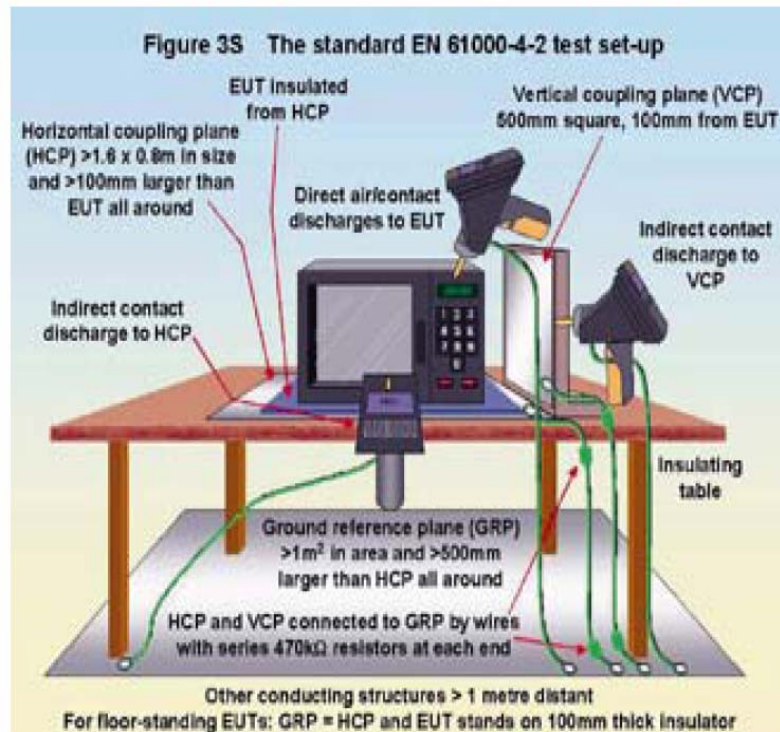
Le scariche devono essere applicate a tutti i **punti accessibili** (cioè che possono essere toccate da una persona) dell'apparato.

Inoltre devono essere utilizzati due **tipi di scarica**

- Scarica applicata direttamente sull'EUT, in aria e/o a contatto
- Scarica sul piano di accoppiamento verticale (detto *Vertical Coupling Plane*, **VCP**) o sul piano di accoppiamento orizzontale HCP per dispositivi da tavolo.

Per le scariche devono essere utilizzate entrambe le polarità.

Le scariche devono essere applicate con un intervallo di almeno 1 s tra due scariche successive.



L'EUT è posizionato su un **piano di massa GRP** distante dall'EUT

- 10 cm per dispositivi installati al suolo
- 80 cm per i dispositivi da tavolo.

La ESD gun è collegato al piano di massa GRP.

Ci deve essere almeno 1 m di **spazio libero** intorno all'EUT.

Per dispositivi da tavolo, direttamente sotto l'EUT ma isolato da esso, vi è un altro piano di massa, detto *Horizontal Coupling Plane* **HCP**, connesso con il piano di massa GRP.

I cavi dell'EUT sono tenuti lontani dall'HCP e anche dall'area di test, se necessario. La norma è infatti blanda a tal proposito, differentemente alle norme relative ad altri test.

Le scariche elettrostatiche devono essere applicate mediante l'ESD gun

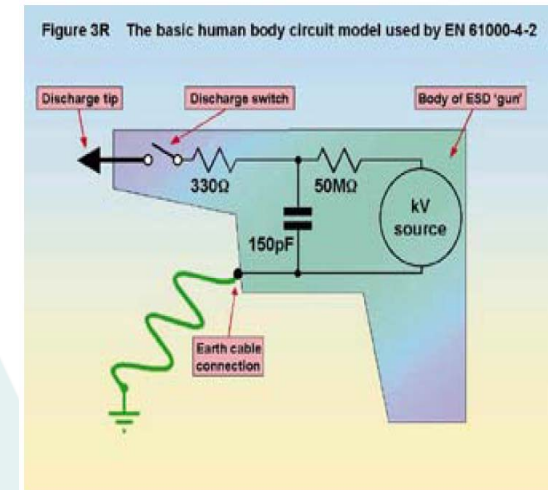
- **in aria** (puntale tondeggiante) e/o **a diretto contatto con l'EUT** (puntale appuntito)
- sul piano di massa **VCP** o sul piano di massa **HCP** per dispositivi da tavolo.

Tale test deve essere fatto per ogni tipologia di prodotto e simula l'effetto di scariche elettrostatiche indotte su un oggetto conduttivo in prossimità dell'EUT.

Riguardo all'**uso dell'ESD gun**:

- L'ESD gun deve essere tenuta perpendicolare alla superficie che è sottoposta a test
- La norma dice che “the tip shall be approached as fast as possible (without causing mechanical damage) to touch the EUT”. La velocità con la quale si applicano le scariche può infatti avere un notevole impatto nell'esito del test.

L'EUT deve essere esposto a ESD in tutti i punti accessibili, quindi può essere necessario ruotarlo o capovolgerlo.





La norma sulle scariche ESD non dà indicazioni molto precise sullo svolgimento del test, molto è demandato alla competenza e all'esperienza di chi esegue la prova, soprattutto per quanto riguarda i punti in cui vengono applicate le scariche e la modalità con cui ciò viene fatto.

E' necessario scegliere una serie di punti dell'EUT ai quali applicare le ESD e tenerne traccia facendo riferimento a un'immagine dell'EUT.

Punti critici per l'applicazione di ESD possono essere:

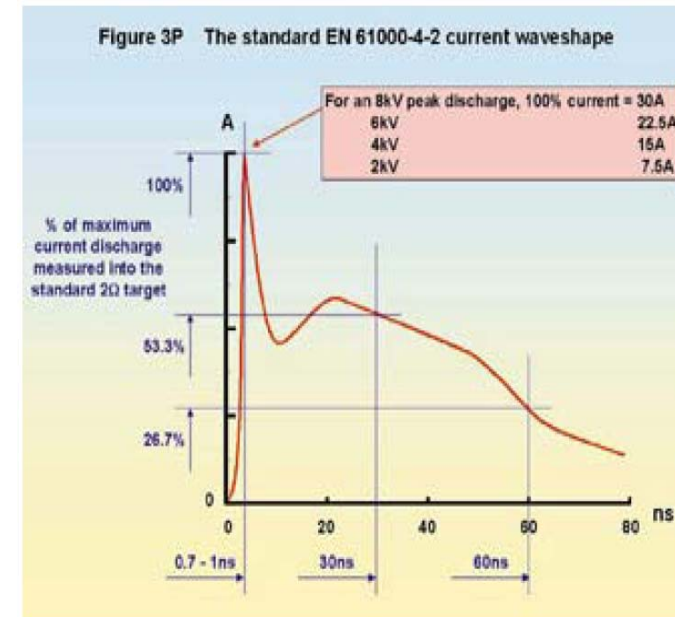
- ✓ Bordi di aperture (ad es. aperture per la ventilazione)
- ✓ Raccordi
- ✓ Giunti
- ✓ Pannelli di controllo etc.



Per ogni punto individuato per le ESD e per ogni valore della tensione applicata, devono essere emessi almeno 10 impulsi a intervalli di circa 1 s l'uno dall'altro.

Devono essere applicate ESD di entrambe le polarità, a meno che non si conosca già qual è la polarità più critica (in tal caso di applicano solo ESD di tale polarità).

Per ogni punto individuato per le ESD, si svolge il test partendo dal valore di tensione applicata più basso e poi si incrementa progressivamente tale valore secondo la norma fino al valore massimo che tipicamente è di 4 kV per ESD a contatto e 8 kV per ESD in aria.





Vi sono alcuni importanti fattori di cui è necessario tener conto negli aspetti della **progettazione elettronica** legati alla **compatibilità elettromagnetica**

- **Realizzabilità** del prodotto
- **Commerciabilità** del prodotto
- **Costo** del prodotto
- **Tempistiche** nello sviluppo del progetto





- **Realizzabilità** del prodotto
- Commercialità del prodotto
- Costo del prodotto
- Tempistiche nello sviluppo del progetto

La progettazione elettronica deve tener conto della **realizzabilità del prodotto**.

Infatti per l'assemblaggio dei prodotti molte aziende di tipo elettronico usano *sistemi automatici*, che implicano notevoli risparmi in termini di tempi di produzione e quindi di costi.

Tuttavia non tutte le parti di un prodotto possono essere assemblate automaticamente, come ad esempio i cablaggi.

Quindi nelle scelte che concernono le *problematiche di compatibilità elettromagnetica*, la progettazione elettronica deve orientarsi per quanto possibile verso componenti e soluzioni che siano facilmente implementabili nel processo produttivo e che implicino tempi ragionevoli nella fase di assemblaggio.



- Realizzabilità del prodotto
- **Commerciabilità** del prodotto
- Costo del prodotto
- Tempistiche nello sviluppo del progetto



Un altro importante vincolo di cui la progettazione elettronica deve tener conto è la **commerciabilità del prodotto**.

Gli studi di *marketing* determinano le tendenze nelle *necessità* e nei *gusti dei consumatori*. La facilità d'uso e anche l'aspetto estetico di un prodotto possono determinarne il successo o l'insuccesso commerciale.

Questa problematica deve ad esempio essere considerata nel caso il prodotto preveda uno *chassis metallico*. Infatti per quanto riguarda ad esempio la conformità alle normative di emissione radiata le problematiche di compatibilità elettromagnetica vorrebbero il dispositivo contenuto quanto più integralmente possibile nello chassis, ma una simile soluzione può essere incompatibile con le esigenze funzionali e anche estetiche del prodotto (si pensi ad esempio a una stampante).



- Realizzabilità del prodotto
- Commercialità del prodotto
- **Costo** del prodotto
- Tempistiche nello sviluppo del progetto



Un importante fattore di cui la progettazione elettronica deve tener conto è il **costo del prodotto**.

Ad esempio uno dei migliori metodi per ridurre le emissioni condotte e radiate di un sistema elettronico è quello di aggiungere *dispositivi soppressori di EMI*, che tuttavia implicano *costi aggiuntivi* oltre quelli previsti per garantire al dispositivo le sue funzionalità di base. Ma il mercato odierno è molto competitivo e spesso tali extra costi sono difficilmente sostenibili in quanto aumentano il prezzo di vendita del prodotto e quindi presumibilmente diminuiscono le sue potenzialità commerciali.



- Realizzabilità del prodotto
- Commercialità del prodotto
- Costo del prodotto
- **Tempistiche nello sviluppo del progetto**

Importanti considerazioni riguardano infine le **tempistiche nello sviluppo del progetto**.

Un'azienda conduce *indagini di marketing* per individuare gli interessi dei consumatori e affinché un prodotto sia commercialmente competitivo deve essere introdotto sul mercato in una certa *finestra temporale*, in modo da poter essere avvantaggiato nei confronti della concorrenza.

Capita frequentemente che l'insorgere di *problemi di EMI* causi ritardi nello scheduling di un progetto, spesso perché i test EMC vengono svolti solo in una fase avanzata dello sviluppo del progetto, quando le cause di EMI sono più difficilmente individuabili perché molti sono i fattori da tenere in considerazione.



Fra i vantaggi di un' **adeguata progettazione elettronica EMC**

✓ **Minimizzare il costo del prodotto**

Grazie ad un'accurata progettazione si possono minimizzare i costi aggiuntivi dovuti alla necessità di introdurre dispositivi di soppressione di EMI o ad una profonda revisione del progetto causati dalla non conformità del prodotto alle normative EMC.

✓ **Minimizzare i ritardi nello scheduling del progetto**

La minimizzazione dei ritardi nello scheduling del progetto produce notevoli vantaggi in termini di marketing del prodotto e di soddisfazione della clientela.

✓ **Minimizzare le lamentele dei clienti**

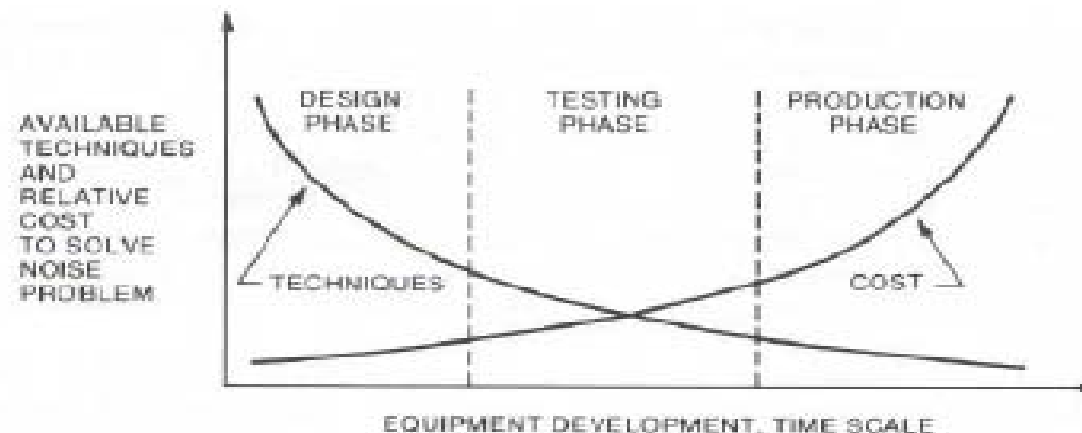
Un prodotto in grado di funzionare correttamente nell'ambiente elettromagnetico in cui è destinato ad essere installato è un notevole apporto al raggiungimento della soddisfazione della clientela.

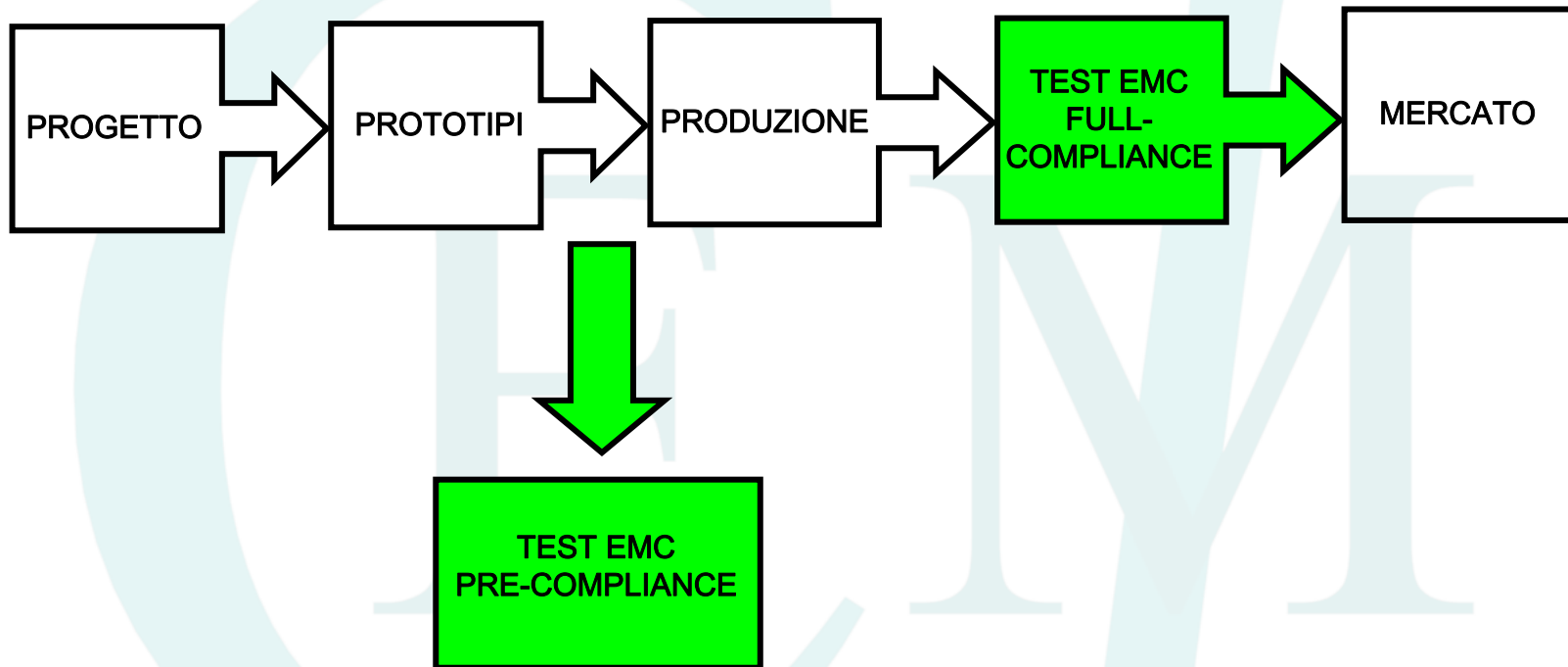


Una attenzione continua e operativa riguardo le problematiche di EMC da parte della progettazione elettronica può minimizzare i costi del prodotto e i ritardi nello scheduling del progetto.

Più si procede nello sviluppo di un progetto, più difficile diviene introdurre cambiamenti senza avere costi aggiuntivi o ritardi nello scheduling del progetto.

Per esempio nelle prime fasi di un progetto è presumibilmente possibile cambiare la disposizione dei cablaggi o dei connettori, orientare in modo differente le schede elettroniche perché il progetto esiste solo “sulla carta”.





Dopo la prima fase di progettazione, una volta realizzati i prototipi, è possibile effettuare **test EMC pre-compliance** mediante i quali con strumenti relativamente economici si ottengono misure che danno indicazioni qualitative su emissioni e suscettibilità del dispositivo. Sarà così possibile apportare eventuali modifiche nell’ottica di superare i **test EMC full-compliance** che consentono di certificare il prodotto secondo le normative vigenti.



Può risultare molto utile prevedere in fase di progettazione i dispositivi di soppressione di EMI che potranno essere necessari e predisporre il dispositivo ad un loro facile inserimento.

Ad esempio si possono prevedere su un *circuito stampato hole e pad* per l’inserimento di *componenti soppressori di EMI* in punti critici del circuito, lasciando in un primo momento vuote le postazioni destinate a elementi in parallelo e montando resistori da 0 Ω laddove si prevede la necessità di inserire componenti in serie. Se tale accortezza non viene usata, l’inserimento in una fase di progetto avanzata di dispositivi di soppressione EMI può comportare la necessità di una profonda revisione del circuito stampato con i conseguenti ritardi nello scheduling del progetto.



Conclusioni

- ❖ **Misure per conformità EMC**
- ❖ **Conformità EMC e Direttiva 89/336/EEC**
 - ◆ Emissioni
 - ◆ Immunità
- ❖ **Test EMC e vita del prodotto**
- ❖ **Emissioni radiate**
- ❖ **Emissioni condotte**
- ❖ **Immunità radiata**
- ❖ **Immunità condotta**
- ❖ **Immunità a scariche elettrostatiche (ESD)**
- ❖ **Progettazione di sistemi elettronici e EMC**
 - ◆ Vincoli
 - ◆ Soluzioni

