

web 10 Compatibilità elettromagnetica

La direttiva europea sulla compatibilità elettromagnetica (direttiva EMC), in vigore dal 1996 e aggiornata nel 2014, definisce il complesso di regole che permettono alle apparecchiature di funzionare correttamente le une vicine alle altre, specificando i limiti delle interferenze elettromagnetiche che un'apparecchiatura può emettere, e indicando il livello di immunità elettromagnetica che l'apparecchio stesso deve possedere (fig. 1).

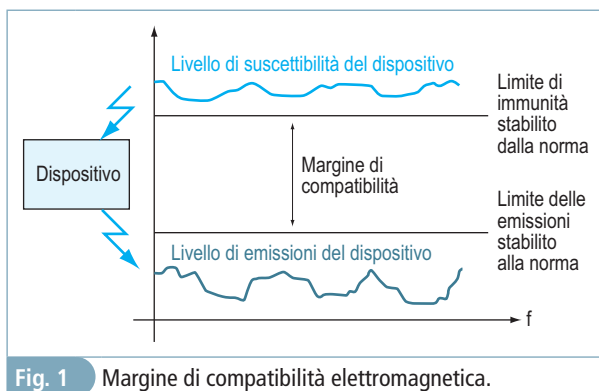


Fig. 1 Margine di compatibilità elettromagnetica.

Un apparecchio elettrico o elettronico, per poter essere immesso sul mercato europeo, deve soddisfare entrambi i requisiti di emissione e di immunità elettromagnetica (o suscettibilità), superando determinate prove stabilite per ottenere la certificazione EMC.

Le prove sono solitamente svolte in due fasi distinte: prove *pre-compliance* (di pre-qualificazione), effettuate in modo libero presso il laboratorio del costruttore per intervenire in tempo sui punti critici del prodotto, e prove *full-compliance*, le vere prove di qualificazione, più costose, da effettuare obbligatoriamente presso un ente certificatore riconosciuto, previa prenotazione, nel rispetto rigoroso delle norme. Per le produzioni di serie, spesso le norme prevedono **prove di tipo**, ovvero la possibilità di sottoporre a prove solo un campione della serie.

La conformità di un prodotto al primo requisito della direttiva EMC, cioè al requisito di compatibilità, è verificata mediante prove di emissione condotte e radiate (tab. 1).

I risultati delle prove sono confrontati con i limiti prescritti dalla norma di riferimento specifica per il tipo di apparato in esame e il dispositivo è considerato conforme solo se i livelli di emissione non superano i limiti indicati.

Norma EN	Ambiente	Emissione
61000-3-2	residenziale	armoniche 50 Hz ÷ 2 kHz
61000-3-3	residenziale	fluttuazioni di tensione
55014	–	potenza irradiata 30÷300 MHz
55011	industriale	disturbi condotti 150 kHz ÷ 30 MHz
		disturbi irradiati 30 MHz ÷ 1 GHz
55022	commerciale	disturbi condotti 150 kHz ÷ 30 MHz
		disturbi irradiati 30 MHz ÷ 1 GHz

Tab. 1 Alcune norme relative alle prove di emissione.

Emissioni condotte

Per le apparecchiature destinate all'ambiente industriale (classe A) e per quelle destinate all'ambiente domestico/commerciale (classe B), i disturbi continui (non intermittenti) emessi nella banda 150 kHz ÷ 30 MHz attraverso i cavi di collegamento (emissioni condotte) devono risultare inferiori ai limiti fissati rispettivamente dalle norme EN 55011 e 55022 (fig. 2).

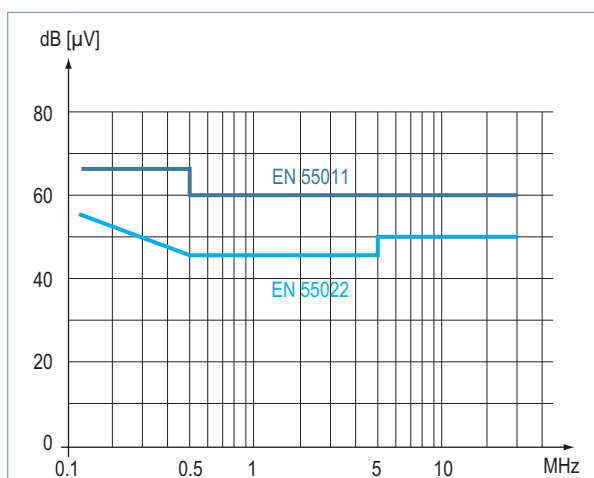


Fig. 2 Limiti delle emissioni condotte per ambienti industriali (EN 55011) e commerciali (EN 55022).

I limiti riguardano sia i disturbi presenti tra la fase e il conduttore PE (*Protection Earth*), di colore gialloverde, sia i disturbi tra il neutro e il PE. Inoltre, il dispositivo sotto test (EUT, *Equipment Under Test*) deve essere fatto funzionare nelle condizioni più gravose dal punto di vista delle emissioni, ricercando le situazioni peggiori su tutto l'intervallo di frequenze da analizzare (150 kHz ÷ 30 MHz), compresa la scelta della lunghezza dei cavi, se variabile.

Il banco di prova prevede un trasformatore di isolamento che eviti l'intervento eventuale durante la prova stessa del dispositivo di protezione differenziale presente nel quadro elettrico del laboratorio, la linea artificiale (LISN, *Line Impedance Stabilization Network*, fig. 3) con caratteristiche di stabilità e distorsione armonica conformi alla norma di riferimento, che protegge il dispositivo da eventuali rumori provenienti dalla rete pubblica, e un analizzatore di spettro verso il quale la LISN devia i disturbi condotti emessi dal dispositivo in esame.

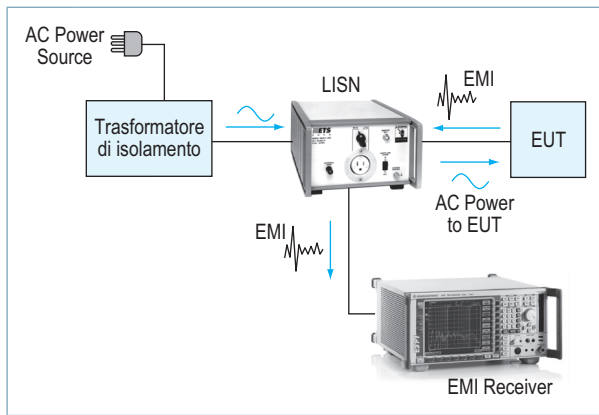


Fig. 3 Banco di prova per le emissioni condotte.

La norma specifica la disposizione e le distanze reciproche di tutti i dispositivi coinvolti e dei cavi di collegamento (fig. 4). Inoltre, riporta la distanza tra i dispositivi e il piano di massa.

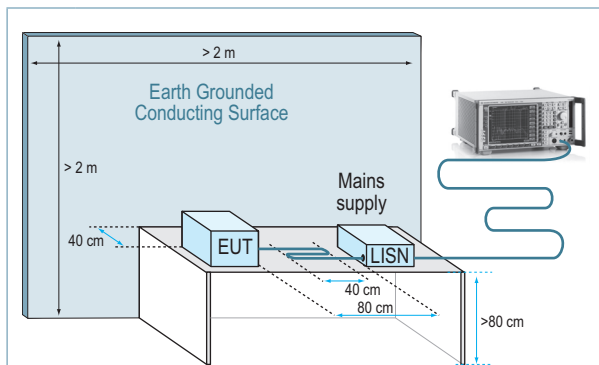


Fig. 4 Esempio di posizionamento dei dispositivi sul banco di prova.

Emissioni irradiate

Le emissioni irradiate sono disturbi continui (non intermittenti) che l'apparecchio emette sotto forma di campo elettromagnetico nella banda di frequenze 30 MHz ÷ 1 GHz (se la frequenza massima interna è minore di 108 MHz) o fino a 2 GHz (per frequenze interne fino a 500 MHz). Il test

deve verificare che i disturbi radio emessi dall'EUT siano inferiori ai limiti imposti dalle norme, rispettivamente, EN 55011 per le apparecchiature destinate all'ambiente industriale (classe A) ed EN 55022 per le apparecchiature destinate all'ambiente domestico o commerciale (classe B), salvo norme specifiche di famiglia o di prodotto.

Il dispositivo sotto test deve essere fatto funzionare nelle condizioni più gravose dal punto di vista delle emissioni.

L'ambiente di prova è una camera semi-anechoica (fig. 5), ovvero un locale chiuso, protetto dalle interferenze elettromagnetiche esterne mediante piastrelle di ferrite e rivestita all'interno con piramidi assorbenti, per la riduzione dell'eco. All'interno della camera è posizionato un tavolo di legno girevole, su cui posizionare l'EUT, e un'antenna ricevente posta a 3 m, in grado di ruotare attorno al suo asse nelle due posizioni orizzontale e verticale, e di traslare in verticale da 1 a 4 m.

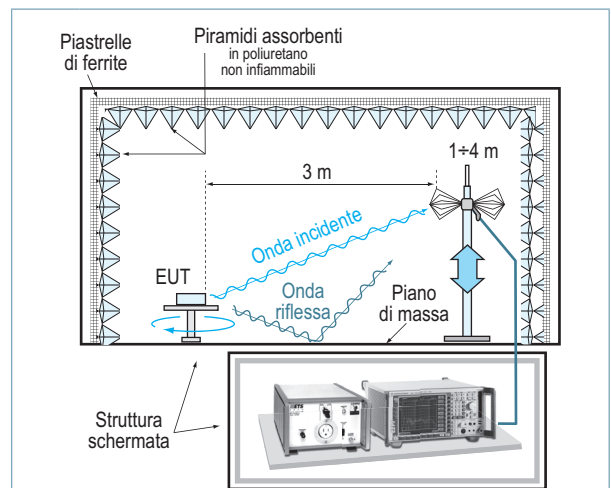


Fig. 5 Camera semi-anechoica.

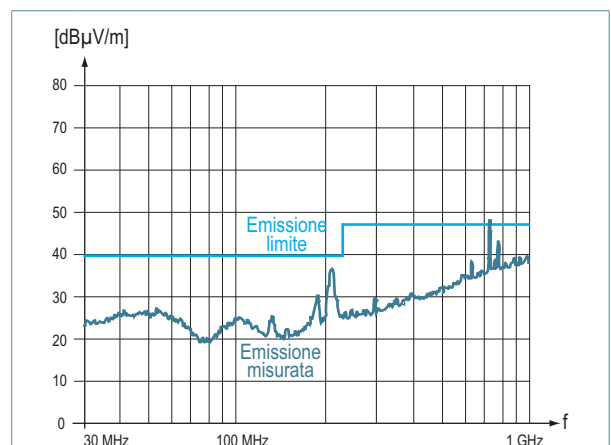


Fig. 6 Esempio di prova di emissione non conforme.

Esternamente alla camera, un analizzatore di spettro visualizza le radiazioni captate dall'antenna e un elaboratore grafico confronta i valori con i limiti di riferimento (fig. 6).

Emissioni dai cavi

Per tutti gli apparecchi che possono essere collegati alla rete, l'energia di disturbo irradiata dal cavo di alimentazione e dagli altri cavi dell'apparecchio, misurata da 30 a 300 MHz, deve risultare inferiore ai limiti imposti dalla norma EN 55014.

La misura è effettuata utilizzando una pinza assorbente (fig. 7), costituita da una scatola foderata con anelli ferromagnetici, attraverso la quale viene fatto passare il cavo sotto test, collegata ad un analizzatore di spettro.

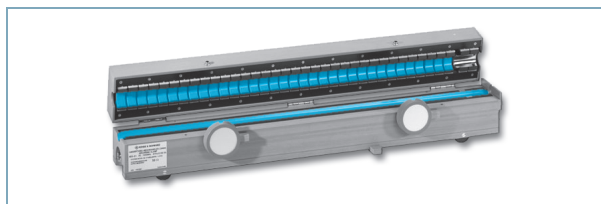


Fig. 7 Pinza assorbente (MDS-21 Rhode & Schwarz).

Prove di immunità

Il secondo requisito della direttiva EMC riguarda le prove di immunità alle interferenze elettromagnetiche (EMI), necessarie a verificare il livello di suscettibilità di un prodotto ai disturbi provenienti dalla rete di alimentazione, alle scariche elettrostatiche ricevute per contatto con il corpo di una persona e agli impulsi indotti dalle scariche atmosferiche e dagli archi elettrici in genere (tab. 2).

Norma EN	EMI
61000-4-2	Scariche elettrostatiche (ESD)
61000-4-3	Campi EM irradiati
61000-4-4	Impulsi provocati da archi elettrici (burst)
61000-4-5	Impulsi provocati dalle scariche atmosferiche (surge)
61000-4-6	Correnti indotte sui cavi di collegamento
61000-4-11	Disturbi dalla rete di alimentazione

Tab. 2 Norme principali relative alle prove di immunità.

Le prove vanno effettuate nelle condizioni di funzionamento più critiche. Il risultato che si vuole ottenere non consiste in una misura o un grafico, ma semplicemente in un'osservazione del com-

portamento corretto oppure degradato dell'EUT sia durante sia al termine dell'applicazione del disturbo, per la corretta determinazione della categoria di classificazione del dispositivo nei confronti dell'immunità (tab. 3).

Cat.	Comportamento				
	prima	durante	dopo	danno	ripristino
A	ok	ok	ok	-	
B	ok	con degrado	ok	-	
C	ok	con degrado	no	limitato	reset
D	ok	con degrado	no	permanente	impossibile

Tab. 3 Classificazione degli apparati per gradi di immunità.

Il degrado nel comportamento può risultare limitato alla durata della prova (categoria B), per esempio una visualizzazione scorretta senza perdita dei dati di memoria, oppure con danno limitato e con necessità di un intervento di reset dall'esterno per il corretto riavvio (categoria C, per esempio un PC commerciale), o piuttosto con un danno permanente che richiede un intervento di manutenzione per il ripristino dell'apparato (categoria D, per esempio un dispositivo usa e getta).

In ogni caso, il degrado nell'alterazione della funzionalità dell'apparecchiatura non deve essere causa di funzionamenti pericolosi per l'operatore o per le cose.

Immunità ai disturbi di rete

La fornitura di energia elettrica in Europa (230/400 V, 50 Hz) è garantita con una tolleranza del $\pm 10\%$.

Alterazioni nell'ampiezza della tensione fornita, con escursioni superiori al $\pm 10\%$ garantito, rappresentano quindi dei disturbi, classificati, rispettivamente, come **variazioni** se si tratta di fluttuazioni lente, con durata superiore ad un singolo periodo (> 20 ms), e **impulsi** se si configurano come alterazioni veloci, con durata minore di 20 ms.

Tali disturbi sono dovuti a sovraccarichi, cortocircuiti e scariche atmosferiche su linee di altri utenti, anche distanti, e che si propagano sui conduttori di rete.

I disturbi impulsivi si configurano come transienti veloci di tensione e corrente, di elevata intensità e di breve durata, e possono essere a loro volta distinti in *surge* (ingrossamenti) e *burst* (scoppi). I **surge** sono caratterizzati da un elevato contenuto energetico e sono dovuti principalmente

alla commutazione di grossi carichi, a guasti nella rete e alle scariche atmosferiche, sia dirette sia indirette.

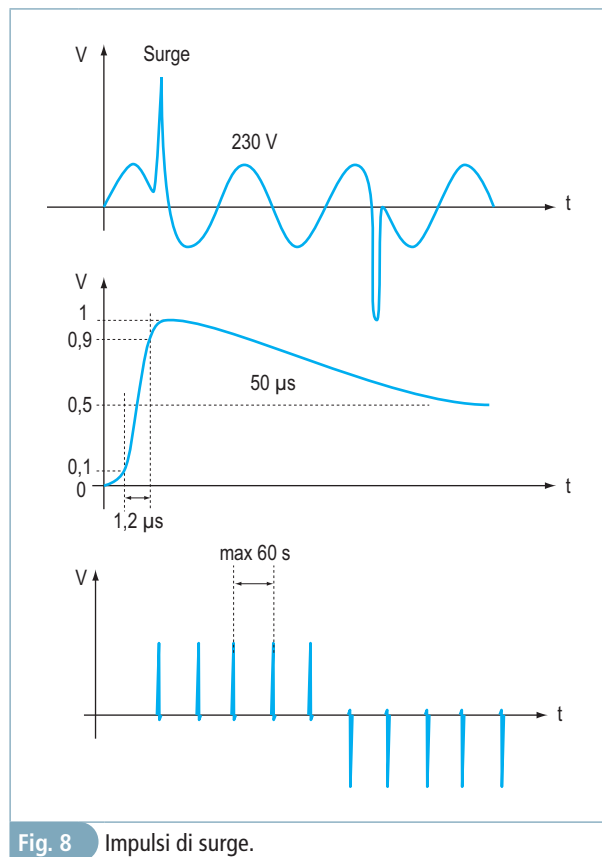


Fig. 8 Impulsi di surge.

La relativa prova di immunità (EN 61000-4-5) prevede di sovrapporre alla tensione di alimentazione dell'EUT una raffica di 5 impulsi positivi e 5 negativi, normalizzati 1,2/50 μs (fig. 8), con ampiezza legata al grado di severità specificato dalle norme di prodotto (tab. 4).

Livello	Ampiezza impulso [kV]
1	0,5
2	1
3	2
4	4

Tab. 4 Ampiezza degli impulsi di surge.

Lo sfasamento di applicazione degli impulsi rispetto alla tensione di rete deve essere il più sfavorevole e va ricercato. La prova va ripetuta tre volte e tra ogni coppia di conduttori (fase-neutro, fase-PE, neutro-PE).

Per la prova è necessario disporre di un apposito generatore di impulsi di rete disaccoppiato rispetto alla linea di alimentazione a monte (fig. 9).



Fig. 9 Generatore di surge e burst.

I **burst** sono raffiche ravvicinate di disturbi impulsivi a limitato contenuto energetico, dovuti per esempio alla commutazione di carichi induttivi e agli archi di apertura degli interruttori elettromeccanici.

La prova (EN 61000-4-4), prevista per tutte le apparecchiature contenenti parti elettroniche, interessa sia le linee di alimentazione AC e DC, sia le linee di controllo o segnale, se di lunghezza superiore a 3 m.

La prova consiste nel sollecitare i cavi di alimentazione o i cavi dati dell'EUT con raffiche di impulsi positivi e negativi distanti tra loro 0,2 ms ($f = 5 \text{ kHz}$), in gruppi di 15 ms (75 imp/gruppo), emessi ogni 300 ms (fig. 10) e per almeno un minuto (almeno 200 gruppi).

Gli impulsi sono molto brevi, del tipo 5/50 ns, con ampiezza (e frequenza) legata al livello di severità della prova indicato dalle norme di prodotto (tab. 5) e vanno emessi in sincronismo con la tensione di rete, ricercando le condizioni di sfasamento più sfavorevoli.

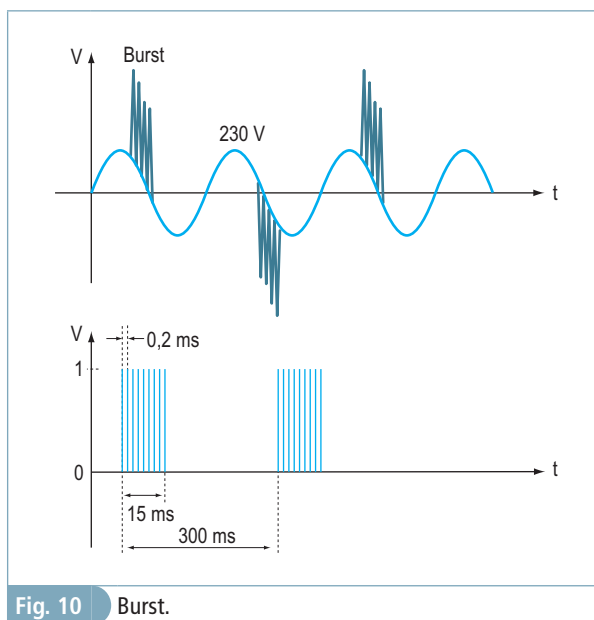


Fig. 10 Burst.

Come per i surge, la prova va ripetuta tre volte e tra ogni coppia di conduttori (fase-neutro, fase-PE, neutro-PE).

Livello	Ampiezza impulso [kV]	f [kHz]
1	0,5	5
2	1	5
3	2	5
4	4	2,5

Tab. 5 Ampiezza degli impulsi di burst.

Pinza capacitiva

Per quanto riguarda i conduttori di comando e di segnale, i disturbi a burst vanno iniettati mediante accoppiamento capacitivo, utilizzando un apposito dispositivo con coperchio (*Capacitive Coupling Clamp*, fig. 11), dotato di superfici metalliche interne e lungo 1 m, all'interno del quale va alloggiato il cavo di comunicazione dell'EUT.

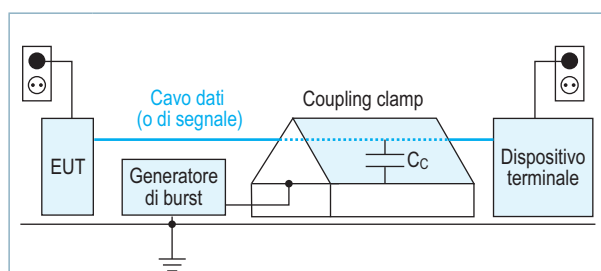


Fig. 11 Pinza capacitiva per prove di burst sui cavi dati e di segnale.

Una volta chiuso, le superfici metalliche del clamp formano un condensatore di $50 \div 200$ pF con il cavo stesso. Inserendo il generatore di surge tra il clamp e la terra, il disturbo di surge attraversa il condensatore parassita, percorre il cavo di comunicazione e raggiunge l'EUT.

Variazioni di tensione

Sono da considerare variazioni di tensione le interruzioni, gli abbassamenti (*sag*) e gli incrementi (*swell*) della tensione di alimentazione oltre i valori contrattuali, causati in genere, rispettivamente, da guasti nella rete e da improvvisi allacciamenti o distacchi di grossi carichi, con durate superiori a 10 ms. Una mancanza di alimentazione, con durata superiore ad alcuni periodi, è detta invece buco di tensione o interruzione (*outage*); in modo simile, le variazioni di durata superiore a qualche secondo prendono il nome di *undervoltage* o *overvoltage*.

La prova di immunità alle variazioni di tensione (EN 61000-4-11) si applica in generale a tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche

e richiede l'impiego di un apposito dispositivo alimentatore in grado di generare una tensione rivolta all'EUT che contenga sia buchi di tensione, sia variazioni brusche e lente coerenti con le norme (tab. 6 e fig. 12).

Tipo di variazione	Modalità	Durata [periodi della tensione di rete]
brusca	interruzione	$0,5 \div 1$
	riduzione del 60%	$5 \div 10$
	riduzione del 30%	$25 \div 50$
lenta	riduzione del 60%	variazione lineare = 2 s
	riduzione del 100%	

Tab. 6 Variazioni della tensione di rete.

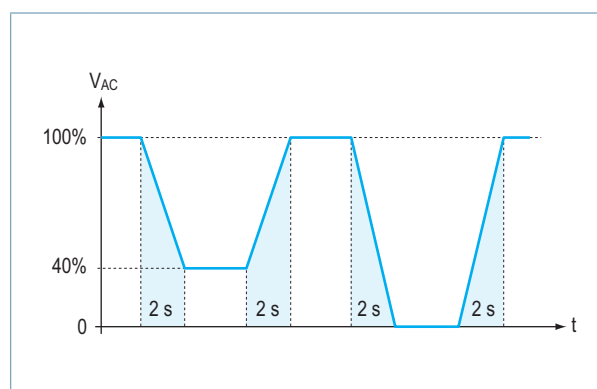


Fig. 12 Variazioni lente della tensione di alimentazione.

Le variazioni brusche devono essere almeno tre, distanti 10 s tra loro e con fase di innesco variabile, così da ricercare la condizione più sfavorevole.

Immunità ai disturbi irradiati

La prova di immunità ai disturbi irradiati (EN 61000-4-3) tende a verificare il grado di suscettibilità di un dispositivo ai campi elettromagnetici di frequenza compresa tra 80 MHz e 1 GHz.

Per la prova bisogna disporre nella camera semi-anechoica alcune piramidi assorbenti anche sul pavimento, in modo da eliminare ogni onda riflessa e permettere la formazione di un campo omogeneo in prossimità dell'EUT (fig. 13).

Il campo elettromagnetico di disturbo, modulato in ampiezza da un segnale a 80 kHz, con profondità 80%, è emesso da una antenna trasmittente (di tipo BiLog) posta a 3 m dal dispositivo in prova.

Vanno eseguite due prove, nelle due direzioni di polarizzazione dell'antenna (orizzontale e verticale) e con l'EUT in condizioni di funzionamento le più gravose dal punto di vista EMC.

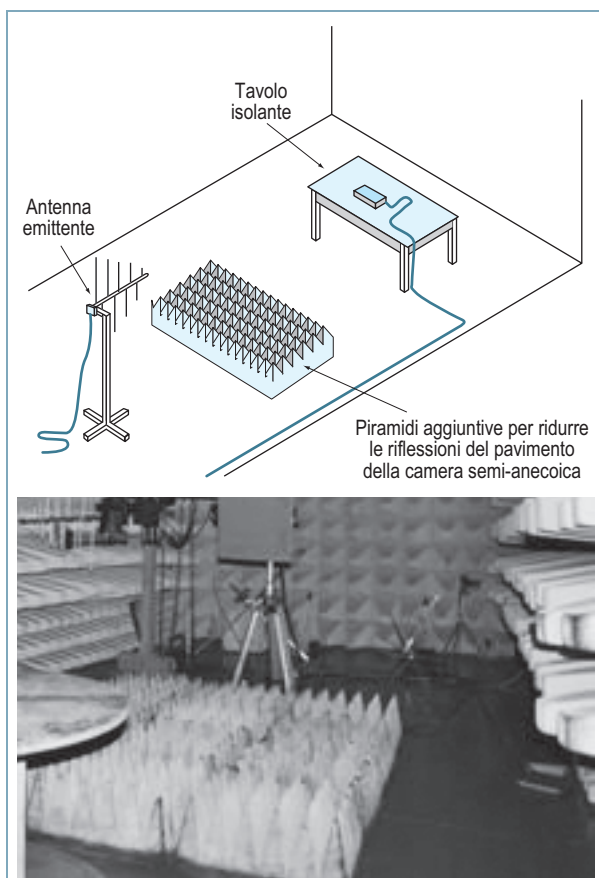


Fig. 13 Prova di immunità ai disturbi radiati.

Immunità alle scariche elettrostatiche

Il corpo umano, essendo conduttore, può accumulare cariche superficiali con potenziali di alcuni kV, che può scaricare mediante contatto o mediante scarica in aria, quando si trova, rispettivamente, a contatto o in prossimità di un altro corpo conduttore, eventualmente connesso a terra. Nel primo caso, si tratta di tensioni meno elevate che sostengono comunque correnti di alcuni ampere con fronti di salita di pochi nanosecondi; nel secondo caso, la tensione in gioco è più alta, sufficiente a produrre un campo elettrico (3 kV/mm in aria secca, minore in ambiente umido) capace di generare un arco elettrico tra i due corpi, la cui durata dipende dalla velocità di avvicinamento reciproco.

Se il corpo che subisce la scarica è un dispositivo elettronico, questo può risulterne danneggiato. La norma EN 61000-4-2 indica le modalità di verifica del grado di immunità di un dispositivo alle scariche elettrostatiche (ESD) prodotte dal corpo umano, indicando un modello elettrico equivalente costituito da una capacità di 150 pF caricata a tensione elevata, con una resistenza in serie di 330 Ω.

Il dispositivo sottoposto a test (EUT) va posto su un tavolo di legno dotato di piano conduttore, poggiato a sua volta sopra un piano conduttore di riferimento, collegato al primo tramite due resistenze in serie da 470 kΩ ciascuna (fig. 14).

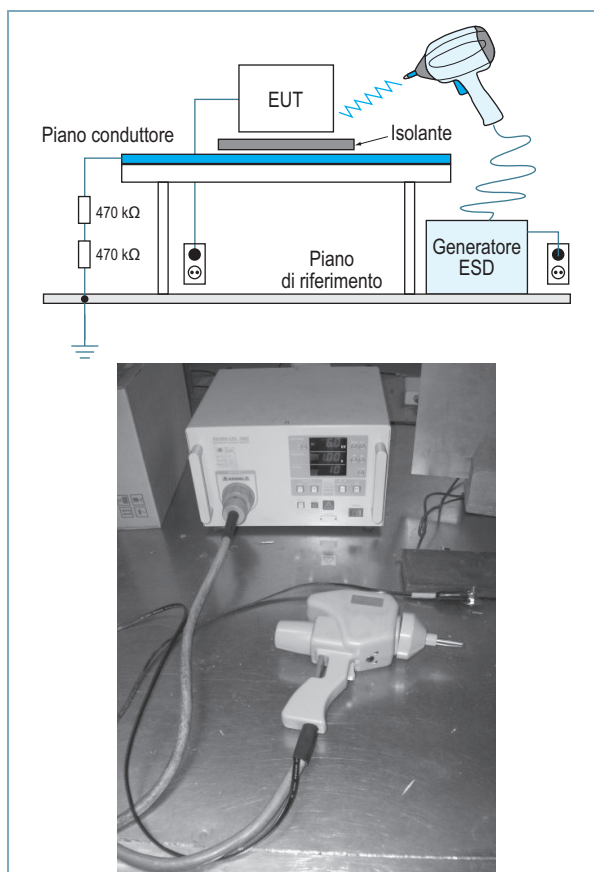


Fig. 14 Prove ESD.

Con il dispositivo in funzione si applicano scariche elettrostatiche a contatto diretto e in aria, su tutti i punti accessibili dell'EUT e sul piano metallico di appoggio mediante una apposita pistola collegata al generatore ESD, che simula le scariche ottenibili da un corpo umano.

I puntali a disposizione sono due (fig. 15): uno arrotondato per le prove con scarica in aria e l'altro a punta per le prove a contatto, con possibilità di bucare la vernice protettiva del contenitore.

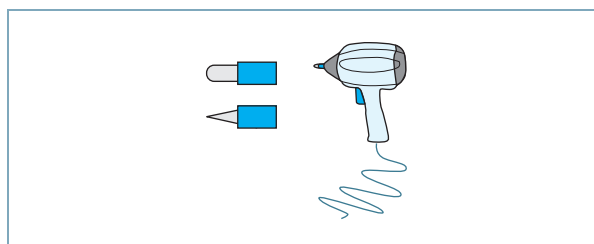


Fig. 15 Puntali per la prova ESD.

Il valore della tensione di scarica da adottare è legato al livello di severità previsto dalla prova (tab. 7).

Livello	Tensione di scarica [kV]	
	a contatto	in aria
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15

Tab. 7 Tensioni di scarica per prova ESD.



ESERCIZI SVOLTI

ESERCIZIO 1

Durante la prova EMC di un dispositivo, relativa alle emissioni irradiate, si è ottenuto il diagramma di fig. 6, dal quale risulta che l'emissione eccede

i limiti prescritti dalla norma in corrispondenza di 750 MHz. Poiché l'apparecchio in prova è da ritenersi non conforme, indicare una possibile origine del disturbo.

Soluzione

L'energia elettromagnetica passa, senza alcuna attenuazione, attraverso una fessura, in un piano metallico. Se possiede una frequenza

$$f = \frac{c}{2h}$$

dove h è una delle dimensioni della finestra, si tratta di ricercare se esiste una fessura nel telaio dell'apparecchio di dimensioni

$$h = \frac{c}{2 \cdot f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m}}{2 \cdot 750 \text{ MHz}} = 0,2 \text{ m}$$

In tal caso si può ricorrere a vernici conduttive sulle guarnizioni, se si tratta di una portella o a schermature interne di secondo livello se si tratta di uno scasso.