

DISTRIBUTION SOLUTIONS

Quaderno di Applicazioni Tecniche No. 25

La compatibilità elettromagnetica:
teoria e accorgimenti applicativi in MT



Indice degli argomenti

004–007	1. La compatibilità elettromagnetica
008–011	2. La normativa EMC
012–021	3. Alcuni tipi di disturbo
022–037	4. Effetti e controllo dell'interferenza
038–038	5. Elenco riassuntivo degli accorgimenti per la mitigazione delle interferenze
039–041	6. Verifica e validazione dei prodotti elettronici
042–042	7. Conclusioni

1. La compatibilità elettromagnetica

1.1 Introduzione e cenni storici

La compatibilità elettromagnetica (EMC) ha assunto negli ultimi anni, con l'introduzione massiccia dell'elettronica, un ruolo fondamentale nel progetto e nella gestione di quasi tutti i settori industriali.

La compatibilità elettromagnetica, infatti, è l'idoneità di un apparecchio a funzionare nel proprio ambiente elettromagnetico in modo soddisfacente e senza produrre, nello stesso ambiente, perturbazioni elettromagnetiche inaccettabili in altre apparecchiature.

I problemi connessi alle interferenze elettromagnetiche nascono praticamente con l'inizio delle trasmissioni radio, con Guglielmo Marconi. Trasmettitori, ricevitori ed antenne non erano all'epoca molto sofisticate.



Figura 1: Prototipo originale del rilevatore di onde radio che Guglielmo Marconi usò nel 1902 a bordo dell'incrociatore Carlo Alberto.

Verso il 1920 cominciarono a comparire sulle riviste specializzate i primi articoli sull'argomento EMC, ma solo a partire dalla seconda guerra mondiale, con l'introduzione diffusa di apparati radio e radar, si cominciò a studiare con attenzione il fenomeno, a causa dei problemi dovuti alle interferenze.

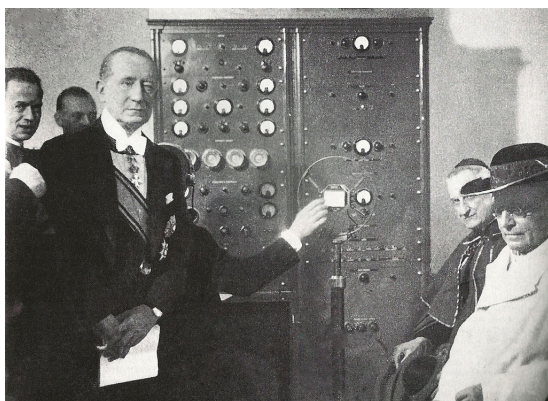


Figura 2: Marconi inaugura la Radio Vaticana alla presenza di Pio XI (1931)

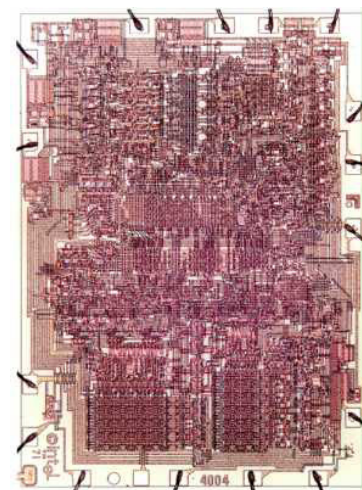
All'epoca, la soluzione fu provvisoriamente trovata con l'allocazione di bande di frequenze diverse ai vari sistemi, ma già dieci anni dopo con l'introduzione dei primi transistor (fig. 3a), negli anni sessanta con i primi circuiti integrati (fig. 3b) ed infine con l'avvento negli anni settanta dei primi microprocessori (fig. 3c), il problema si ripresentò con gravità crescente.



a)



b)



c)

Figura 3: a) Il transistor a contatti puntiformi inventato nel 1947, b) alcuni circuiti integrati, c) il primo microprocessore monolitico Intel 4004 (1971)

Il passaggio dalla tecnologia analogica alla tecnologia digitale ha quindi determinato un cambio di passo nel crescente livello dei disturbi dovuto alla sempre maggiore integrazione dei transistor nei circuiti integrati in accordo alla legge di Moore (secondo la quale le prestazioni dei processori, e il numero di transistor ad essi relativi, raddoppiano ogni 18 mesi). L'aumento delle prestazioni di calcolo se da un lato ha consentito alle aziende di sviluppare prodotti sempre più completi ed evoluti, dall'altro ha aumentato le difficoltà incontrate nel superamento dei test di immunità elettromagnetica.

Tra le suddette difficoltà troviamo:

- componenti elettronici sempre più piccoli e schede elettroniche sempre più ridotte con maggiore sensibilità ai disturbi (soprattutto impulsivi) ma anche maggiori emissioni con problematiche di interferenza reciproca tra circuiti;
- clock dei microprocessori sempre più veloci, con bande oltre i 10 GHz, e quindi disturbi a frequenza elevata con maggiori difficoltà di schermatura;

- diffusione degli apparati elettronici in ogni ambiente con minori distanze reciproche e, quindi, maggiori interferenze;
- tensioni di alimentazione sempre più basse con maggiore incidenza del rumore;
- reti di comunicazione sempre più veloci, presenti anche in ambiente domestico;
- comunicazioni wireless in quasi tutti i dispositivi il che obbliga, da una parte a impedire la schermatura totale del dispositivo ma dall'altra a considerare le interferenze degli altri.

Oggi, tuttavia, l'istruzione in termini di corsi, libri, guide, conferenze e l'appoggio a centri di ricerca e laboratori specializzati consente ai produttori di superare le crescenti difficoltà e ai consumatori una maggior consapevolezza e tutela. Data l'importanza del problema, le EMC sono regolate a livello mondiale da norme, direttive e leggi.

I termini utilizzati per definire la compatibilità sono illustrati nella figura 4:

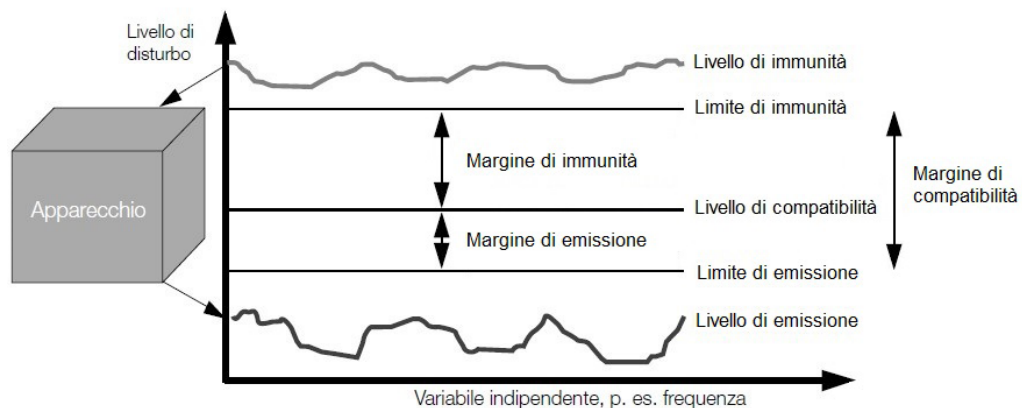


Figura 4: livelli EMC

1. La compatibilità elettromagnetica

- **apparecchio**: ogni dispositivo finito, o combinazione di dispositivi finiti, messo a disposizione sul mercato come unità funzionale indipendente, destinato all'utilizzatore finale;
- **emissione o perturbazione elettromagnetica**: ogni fenomeno elettromagnetico che può alterare il funzionamento di un'apparecchiatura; una perturbazione elettromagnetica può essere costituita da un rumore elettromagnetico, un segnale non desiderato o da un'alterazione del mezzo stesso di propagazione;
- **immunità**: l'idoneità di un'apparecchiatura a funzionare normalmente senza deterioramento in presenza di una perturbazione elettromagnetica.

Dobbiamo quindi considerare un sistema formato da almeno un apparecchio emettitore o sorgente, un apparecchio ricevitore e un percorso di accoppiamento.

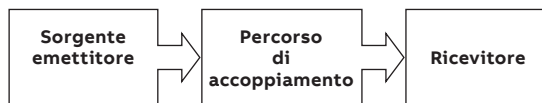


Figura 5: sistema EMC

In pratica, per un corretto funzionamento del sistema, la sorgente dovrà emettere una perturbazione elettromagnetica al di sotto del limite di emissione definito dalla normativa e il ricevitore ne dovrà essere immune presentando un livello di immunità sufficiente rispetto alla perturbazione e comunque superiore al limite di immunità standard previsto dalla normativa. Per quanto riguarda il percorso di accoppiamento, le emissioni ad alta frequenza si possono propagare con diverse modalità (fig. 6).

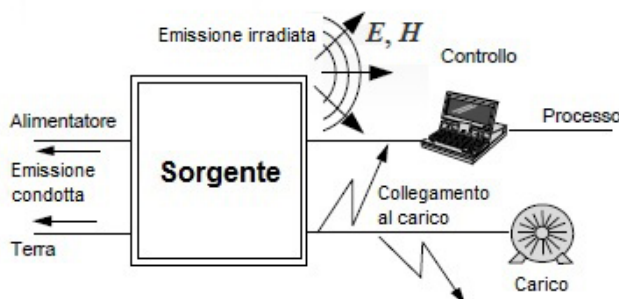


Figura 6: tipi di emissione

- l'accoppiamento condotto avviene quando la sorgente è elettricamente connessa al ricevitore, quindi con un cavo o con un conduttore, e può essere di modo comune se il disturbo interessa sia i fili di alimentazione che il circuito di ritorno o di modo differenziale qualora il disturbo interessi solamente i fili di alimentazione;
- l'accoppiamento irradiato, che avviene attraverso l'aria, a sua volta si suddivide in:
 - accoppiamento induttivo, qualora una sorgente di corrente generi un campo magnetico che si può concatenare con una spira del ricevitore producendo un disturbo indotto;
 - accoppiamento di tipo capacitivo, qualora sia presente una sorgente di tensione nelle vicinanze del circuito ricevente.

Esiste poi un accoppiamento irradiato diretto; in questo caso il campo irradiato dalla sorgente si propaga nell'aria e si accoppia con il ricevitore che funziona come un'antenna. Ciò avviene quando la distanza tra sorgente e ricevitore è confrontabile o maggiore della lunghezza d'onda del campo elettromagnetico.

1.2 Accoppiamento condotto

Questo accoppiamento può essere di due tipi:

- di modo comune: il disturbo interessa sia i fili di alimentazione che il circuito di ritorno tramite le capacità parassite verso massa;

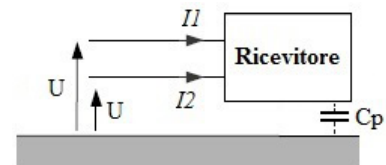


Figura 7: modo comune

- di modo differenziale: il disturbo interessa solamente i fili di alimentazione.

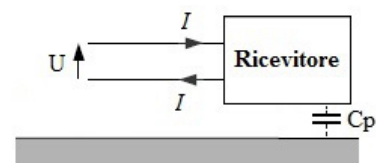


Figura 8: modo differenziale

I disturbi di modo comune sono i più difficili da individuare in quanto il circuito si chiude attraverso la massa. La stessa massa può essere la fonte del disturbo come si può evincere dalla figura 9 dove il disturbo è generato dalla tensione U_t dovuta ad una corrente di guasto che attraversa la massa.

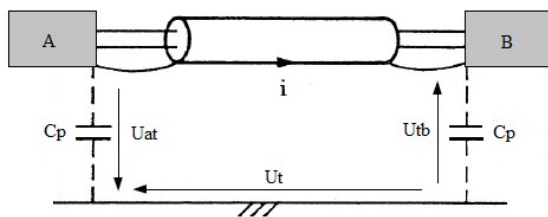


Figura 9: circuito disturbo di modo comune

1.3 Accoppiamento induttivo

L'accoppiamento induttivo si manifesta quando il ricevitore si concatena con il flusso di induzione magnetica associato alla sorgente. In questo caso, qualsiasi spira formata da un conduttore elettrico di superficie S genererà una tensione U ai suoi capi. Questa situazione capita frequentemente nei quadri elettrici per gli apparecchi posti nelle vicinanze dei conduttori di potenza attraversati da elevate correnti. Riprendendo la figura 9 abbiamo il seguente circuito di figura 10:

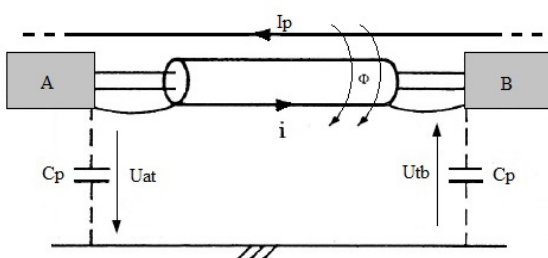


Figura 10: circuito accoppiamento induttivo

1.4 Accoppiamento capacitivo

L'accoppiamento capacitivo si manifesta per effetto dell'interazione tra ricevitore e campo elettrico della sorgente a causa delle capacità parassite (vedi figura 11). Anche questa situazione è frequente nei quadri elettrici data la vicinanza del circuito di potenza in tensione. È importante notare che il valore della capacità parassita è proporzionale alla superficie e inversamente proporzionale alla distanza tra i due circuiti.

Il valore della corrente parassita è tanto maggiore quanto più la tensione U_p della sorgente e/o le capacità parassite C_p sono elevate.

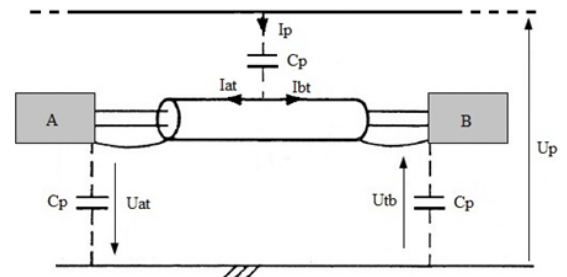


Figura 11: circuito accoppiamento capacitivo

1.5 Accoppiamento irradiato

Per valutare la presenza di questo accoppiamento è necessario calcolare la lunghezza d'onda λ del disturbo con la formula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

dove c è la velocità di propagazione e f la frequenza del disturbo. Di seguito troviamo la lunghezza d'onda di alcune tipologie di segnale.

Tipo di segnale	Frequenza	Lunghezza d'onda λ
Tensione di rete	50 Hz	6000 km
Telefonico	4 kHz	75 km
Musicale HF	20 kHz	15 km
Fulminazioni	1 MHz	300 m
Televisivo	5,5 MHz	54 m
Dati (Ethernet)	100 MHz	3 m
Modulato per GSM	900 MHz	33 cm
Dati (fibra ottica)	2,5 GHz	12 cm
Microprocessori	20 GHz	10,5 mm

Poiché questo tipo di accoppiamento si verifica per lunghezze comparabili alla lunghezza d'onda, si vede come il fenomeno non sia presente alla frequenza di rete, si verifichi sulle linee aeree in caso di caduta di fulmini nelle vicinanze e possa essere un serio problema nelle schede elettroniche.

2. La normativa EMC

2.1 La direttiva compatibilità elettromagnetica

Nell'affrontare questo tema è necessario partire dalla Direttiva 2014/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 26 febbraio 2014 concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla compatibilità elettromagnetica. La direttiva 2004/108/CE è stata abrogata a decorrere dal 20 aprile 2016, fatti salvi gli obblighi degli Stati membri relativi ai termini di recepimento nel diritto interno. La sua validità è riconosciuta in tutto il mercato unico europeo allargato. La direttiva prevede obiettivi comuni assicurando che un'apparecchiatura approvata da un paese membro dell'Unione europea sia conforme per l'uso a cui è destinato in tutti gli altri paesi dell'UE. La direttiva sulla compatibilità elettromagnetica fa riferimento esplicito alle norme tecniche EN, emesse dal CENELEC (Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique) che derivano spesso dalle norme emesse da IEC (International Electrotechnical Committee) e dal CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), alle quali i produttori di prodotti elettrici devono attenersi. La direttiva, infatti, prevede per i fabbricanti l'obbligo di assicurarsi che, all'atto di immissione dei loro apparecchi sul mercato, questi siano stati progettati e fabbricati tenendo conto del progresso tecnologico in modo tale che le perturbazioni elettromagnetiche prodotte non superino il livello al di sopra del quale le apparecchiature radio e di telecomunicazione o altre apparecchiature non possono funzionare normalmente. Inoltre, tali apparecchi devono presentare un livello di immunità alle perturbazioni elettromagnetiche prevedibili in base all'uso al quale sono destinate che ne consenta il normale funzionamento senza deterioramenti inaccettabili. La direttiva stabilisce anche che i prodotti conformi devono obbligatoriamente essere contrassegnati con la marcatura CE per indicarne la conformità, previa emissione di una dichiarazione di conformità CE la cui copia deve essere conservata nel fascicolo tecnico del prodotto.

Le Norme armonizzate si possono fondamentalmente suddividere in:

- norme di base che stabiliscono le caratteristiche della strumentazione e le modalità di esecuzione delle prove con l'obiettivo di garantire la ripetibilità delle prove. In altri termini, fissano le caratteristiche degli strumenti, il sistema di misura, la procedura di misura, l'ambiente di prova (spazio, temperatura, umidità ...), l'organizzazione della documentazione (rapporto di prova) e la scelta del campione da sottoporre al test (prove di tipo);
- norme generiche che fissano limiti delle emissioni ed i livelli di immunità relativi a caratteristiche generali del prodotto come ad esempio l'ambiente di utilizzo EN 50081-1/2/3/4;
- norme di prodotto che definiscono i limiti delle emissioni ed i livelli di immunità di specifici prodotti o famiglie di prodotti.

Nel caso in cui, per un particolare prodotto, esistessero più tipologie di Norme, valgono le seguenti priorità:

- a) Norme di prodotto dedicate;
- b) Norme di famiglie di prodotti;
- c) Norme generiche.

Tra le norme di base citiamo tutte le norme CEI EN 61000 relative alla Parte 4 – Tecniche di prova e misura:

- CEI EN 61000-4-1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-1: Tecniche di prova e di misura - Panorama della serie IEC 61000-4 (Aug 1, 2016)
- CEI EN 61000-4-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-2: Tecniche di prova e di misura - Prove di immunità a scariche di elettricità statica (Apr 1, 2011)
- CEI EN 61000-4-3, /A1 e /A2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-3: Tecniche di prova e di misura - Prova d'immunità ai campi elettromagnetici a radiofrequenza irradiati (Apr 1, 2007, Jan 1, 2009 e Jan 1, 2011)
- CEI EN 61000-4-3/IS1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-3: Tecniche di prova e di misura - Prova d'immunità ai campi elettromagnetici a radiofrequenza irradiati - Foglio di interpretazione 1 May 1, 2010)
- CEI EN 61000-4-4 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-4: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità a transitori/raffiche di impulsi elettrici veloci (Jul 1, 2013)

- CEI EN 61000-4-5 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-5: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità ad impulso (Oct 1, 2016)
- CEI EN 61000-4-6 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-6: Tecniche di prova e di misura - Immunità ai disturbi condotti, indotti da campi a radiofrequenza (Sep 1, 2014)
- CEI EN 61000-4-7 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-7: Tecniche di prova e misura - Guida generale per le misure di armoniche e interarmoniche e relativa strumentazione, applicabile alle reti di alimentazione ed agli apparecchi ad esse connessi (Jul 1, 2003)
- CEI EN 61000-4-7/A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-7: Tecniche di prova e misura - Guida generale per le misure di armoniche e interarmoniche e relativa strumentazione, applicabile alle reti di alimentazione ed agli apparecchi ad esse connessi (Nov 1, 2010)
- CEI EN 61000-4-8 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-8: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità a campi magnetici a frequenza di rete (Jul 1, 2013)
- CEI EN 61000-4-9 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-9: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità a campo magnetico impulsivo (Jul 1, 2017)
- CEI EN 61000-4-10 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-10: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità a campo magnetico oscillatorio smorzato (Aug 1, 2017)
- CEI EN 61000-4-10/A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-10: Tecniche di prova e di misura Prova di immunità a campo magnetico oscillatorio smorzato (Oct 1, 2001)
- CEI EN 61000-4-11 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-11: Tecniche di prova e di misura - Prove di immunità a buchi di tensione, brevi interruzioni e variazioni di tensione (Feb 1, 2006)
- CEI EN 61000-4-12 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-12: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità a onde oscillatorie (Oct 1, 2007)
- CEI EN 61000-4-13, /A1 e /A2 Compatibilità elettromagnetica Parte 4-13: Tecniche di prova e di misura - Prove di immunità a bassa frequenza alle armoniche e alle interarmoniche, inclusi i segnali trasmessi sulle reti, sulle porte di alimentazione a corrente alternata (Oct 1, 2003, Jul 1, 2010 e Nov 1, 2016)
- CEI EN 61000-4-14, /A1 e /A2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-14: Tecniche di prova e di misura - Prova d'immunità a fluttuazioni di tensione (Mar 1, 2000, Oct 1, 2005 e Oct 1, 2010)
- CEI EN 61000-4-15 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-15: Tecniche di prova e di misura - Flickermetro - Specifiche funzionali e di progetto (Apr 1, 2012)
- CEI EN 61000-4-16 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-16: Tecniche di prova e di misura - Sezione 16: Prova di immunità ai disturbi condotti di modo comune nella gamma di frequenze da 0 Hz a 150 kHz (Nov 1, 2016)
- CEI EN 61000-4-17, /A1 e /A2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-17: Tecniche di prova e di misura Prova di immunità all'ondulazione residua sulla porta di alimentazione in c.c. (Feb 1, 2000, Oct 1, 2005 e Feb 1, 2010)
- CEI EN 61000-4-18 e /A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-18: Tecniche di prova e di misura - Prova d'immunità alle onde oscillatorie smorzate (Nov 1, 2007 e Jan 1, 2011)
- CEI EN 61000-4-19 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-19: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità ai disturbi e segnali condotti di modo differenziale nella gamma di frequenze da 2 kHz a 150 kHz sulle porte di alimentazione in c.a (May 1, 2015)
- CEI EN 61000-4-20 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-20: Tecniche di prova e di misura - Prove di emissione e di immunità in guide d'onda TEM (Sep 1, 2013)
- CEI EN 61000-4-21 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-21: Tecniche di misura e di prova - Metodi di prova in camera riverberante (Jun 1, 2014)
- CEI EN 61000-4-22 Compatibilità Elettromagnetica (EMC) Parte 4-22: Tecniche di prova e di misura - Misure di emissione e immunità irradiata in camere completamente anecoiche (FAR) (Mar 1, 2014)
- CEI EN 61000-4-23 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-23: Tecniche di prova e di misura - Metodi di prova dei dispositivi di protezione per l'HEMP e altri disturbi irradiati (Sep 1, 2002)

2. La normativa EMC

- CEI EN 61000-4-24 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4: Tecniche di prova e di misura Sezione 24: Metodi per la prova dei dispositivi di protezione sollecitati da disturbi condotti di tipo HEMP - Pubblicazione base EMC (Aug 1, 2016)
- CEI EN 61000-4-25 e /A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-25: Tecniche di prova e di misura - Metodi di prova di immunità ai disturbi HEMP per apparecchiature e sistemi (Jul 1, 2003 e Feb 1, 2013)
- CEI EN 61000-4-27 e /A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-27: Prove di immunità agli squilibri di tensioni per apparecchiature con una corrente di ingresso non superiore a 16 A per fase (Aug 1, 2001 e Feb 1, 2010)
- CEI EN 61000-4-28, /A1 e /A2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-28: Tecniche di prova e di misura Prova di immunità alle variazioni della frequenza di alimentazione (Aug 1, 2000, Oct 1, 2005 e May 1, 2010)
- CEI EN 61000-4-29 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-29: Tecniche di prova e di misura Prove di immunità ai buchi di tensione, alle brevi interruzioni e alle variazioni di tensione sulle porte di alimentazione a tensione continua (Aug 1, 2001)
- CEI EN 61000-4-30 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-30: Tecniche di prova e misura - Metodi di misura della qualità dell'alimentazione elettrica (Dec 1, 2015)
- CEI EN 61000-4-31 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-31: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità ai disturbi condotti a banda larga ai morsetti di alimentazione in corrente alternata (Aug 1, 2017)
- CEI EN 61000-4-34 e /A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4-34: Tecniche di prova e di misura - Prove di immunità ai buchi di tensione e alle variazioni di tensione per le apparecchiature con corrente di ingresso superiore a 16 A per fase (Nov 1, 2007 e Oct 1, 2010)
- CEI EN 61000-6-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali (Oct 1, 2006)
- CEI EN 61000-6-3 e /A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-3: Norme generiche - Emissione per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera (Nov 1, 2007 e Jun 1, 2013)
- CEI EN 61000-6-4 e /A1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali (Nov 1, 2007 e Jun 1, 2013)
- CEI EN 61000-6-5 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-5: Norme generiche - Immunità per le apparecchiature utilizzate in centrali e stazioni elettriche (May 1, 2017)
- CEI EN 61000-6-7 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-7: Norme generiche - Requisiti di immunità per apparecchiature utilizzate in ambienti industriali per prestazioni funzionali in un sistema per la sicurezza funzionale (Nov 1, 2016)

E, infine, alcuni esempi di norme di prodotto sono:

Tra le norme generiche citiamo:

- CEI EN 61000-6-1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-1: Norme generiche - Immunità per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera (Oct 1, 2007)
- CEI EN 55011/A1 – Apparecchi industriali, scientifici e medicali (ISM) – Caratteristiche di radiodisturbo – Limiti e metodi di misura (Oct 1, 2017)
- CEI EN 55022 Apparecchi per la tecnologia dell'informazione - Caratteristiche di radiodisturbo - Limiti e metodi di misura (Feb 1, 2014)
- CEI EN 55024 e /A1 Apparecchiature per la tecnologia dell'informazione - Caratteristiche di immunità - Limiti e metodi di misura (Dec 1, 2013 e Oct 1, 2016)
- CEI EN 50561-1 Apparecchiature per comunicazione su linee di alimentazione "PLC" utilizzate in installazioni a bassa tensione - Caratteristiche di radiodisturbo - Limiti e metodi di misura Parte 1: Apparecchiature per uso domestico (Aug 1, 2014)
- CEI EN 62041 Sicurezza dei trasformatori, dei reattori, delle unità di alimentazione e loro combinazioni - Prescrizioni EMC (Apr 1, 2012)
- CEI EN 62135-2 Apparecchiatura per la saldatura a resistenza Parte 2: Prescrizioni per la compatibilità elettromagnetica (EMC) (Oct 1, 2015) Apparecchi per la tecnologia dell'informazione - Caratteristiche di radiodisturbo - Limiti e metodi di misura

- IEC 60255-26: 2013, Measuring relays and protection equipment – Part 26: Electromagnetic compatibility requirements
- IEC 62271-1: 2017, High-voltage switchgear and controlgear – part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear
- IEC 60947-2: 2016, Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers

2.2 La conformità CE e la marcatura CE

Le Direttive europee di prodotto stabiliscono i requisiti essenziali di sicurezza cui i prodotti devono rispondere per poter liberamente circolare all'interno dell'Unione Europea e le procedure di attestazione della conformità; definiscono, in sostanza, un quadro comune per la commercializzazione dei prodotti. La direttiva 2014/30/UE sulla compatibilità elettromagnetica prescrive, come obbligo per i fabbricanti, che all'atto dell'immissione dei loro apparecchi sul mercato, venga assicurato che siano stati progettati e fabbricati conformemente ai requisiti essenziali ovvero che le apparecchiature sono progettate e fabbricate tenendo conto del progresso tecnologico. Ciò significa che:

- le perturbazioni elettromagnetiche emesse non superino il livello al di sopra del quale le apparecchiature radio e di telecomunicazione o altre apparecchiature non possono funzionare normalmente;
- presentino un livello di immunità alle perturbazioni elettromagnetiche prevedibili in base all'uso al quale sono destinate che ne consenta il normale funzionamento senza deterioramenti inaccettabili.

L'interpretazione tecnica dei requisiti essenziali di sicurezza è demandata alle Norme Armonizzate; la dimostrazione della conformità di un prodotto ai requisiti essenziali è attuata tramite prove specifiche descritte nelle Norme ed è attestata dalla Dichiarazione CE di conformità nonché visualizzata tramite la Marcatura CE presente sul prodotto (fig. 12). Quindi, la Dichiarazione di Conformità e la conseguente marcatura CE rappresentano un requisito essenziale per l'immissione sul mercato dell'Unione Europea di un prodotto. La marcatura CE, va apposta in modo visibile, leggibile e indelebile

sull'apparecchio o sulla sua targhetta o, qualora non sia possibile, sul suo imballaggio e sui documenti di accompagnamento. La marcatura CE di conformità è costituita dalle iniziali "CE" secondo il simbolo grafico definito nella DIRETTIVA 2006/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 17 maggio 2006 relativa alle macchine:

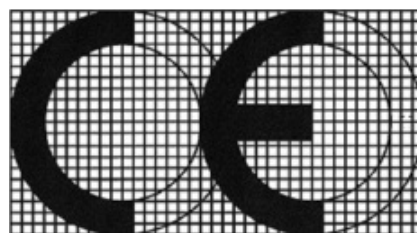


Figura 12: simbolo marcatura CE

La marcatura CE è apposta solitamente in regime di autocertificazione, ovvero il fabbricante individua le norme armonizzate applicabili nel caso specifico, effettua le prove di conformità e a seguito di ciò, se l'apparecchiatura è giudicata conforme, lo dichiara per iscritto e assumendosene la responsabilità. Le prove di conformità possono essere attestate da una qualsiasi relazione tecnica che fornisca i risultati delle prove svolte o dal fabbricante stesso, qualora dotato di strumentazione e competenze specifiche, o da un laboratorio competente. Quest'ultimo punto non è puramente formale ma anche sostanziale: la compatibilità elettromagnetica è un tema estremamente complesso e richiede strumentazione costosa e una notevole esperienza sia nell'effettuazione delle prove sia nell'individuazione dei possibili rimedi in caso di fallimento. Un laboratorio competente può essere quindi una soluzione ideale per i costruttori che non vogliano investire risorse ma abbiano comunque necessità di marcare CE i propri prodotti.

Le macchine costruite in conformità di una norma armonizzata, il cui riferimento è stato pubblicato nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, sono presunte conformi ai requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute coperti da tale norma armonizzata. Quindi, per i quadri di media tensione, così come per i relativi apparecchi in essi contenuti, non è richiesta la marcatura CE, né alcuna dichiarazione di conformità UE, poiché essi devono essere pienamente conformi alle rispettive norme IEC.

3. Alcuni tipi di disturbo

3.1 Classificazione

Sulla base del tipo di sorgente, i disturbi elettromagnetici si possono classificare in:

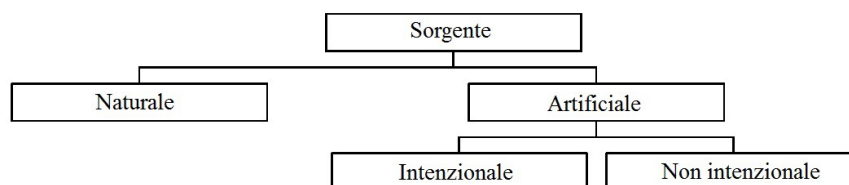


Figura 13: classificazione disturbi

Tra i disturbi di tipo naturale troviamo:

- fulmini;
- campo elettrico e magnetico terrestre;
- radiazione cosmica.

Tra i disturbi artificiali di tipo non intenzionale troviamo, ad esempio:

- scariche elettrostatiche;
- disturbi continuativi di varia natura dovuti al normale funzionamento di alcuni dispositivi quali: lampade fluorescenti, motori a commutazione, convertitori statici in generale;
- disturbi transitori di varia natura dovuti ad esempio a guasti e manovre nella rete elettrica.

Infine, tra i disturbi artificiali di tipo intenzionale troviamo:

- disturbi di varia natura ma fondamentalmente di tipo irradiato dovuti a sorgenti quali radiotrasmissione, televisione, radar,
- disturbi di varia natura di tipo sia condotto che irradiato dovuti a sorgenti quali, ad esempio, forni ad arco e sistemi di saldatura

3.2 Scariche elettrostatiche

Le scariche elettrostatiche sono generate dall'addensamento di cariche elettriche sulla superficie di materiali isolanti che può essere originato per frizione, contatto, ionizzazione o effetto fotoelettrico.

Nei casi più frequenti, è l'operatore che camminando su un pavimento isolante (es. moquette) o strisciando con i vestiti, si carica elettricamente anche a tensioni molto elevate dell'ordine della decina di kV (considerando che la rigidità dielettrica dell'aria è 3 kV/mm).

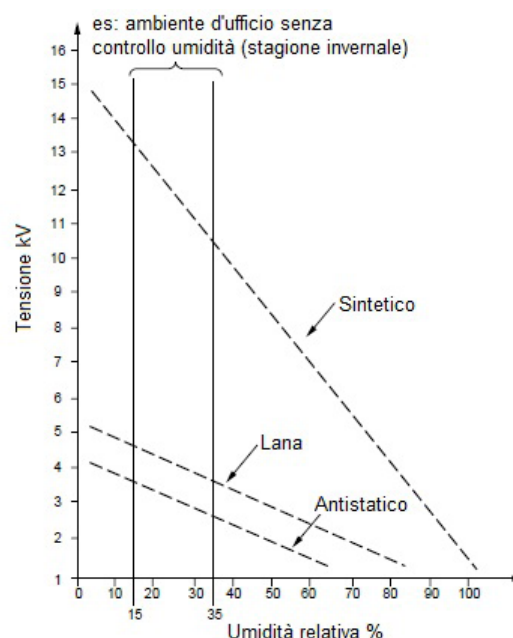


Figura 14: livelli tipici scariche elettrostatiche

Nella figura 14 si vede il livello di carica che un operatore può raggiungere in funzione di diversi tessuti e dell'umidità relativa.

Nel momento in cui l'operatore si avvicina o tocca l'apparecchio, si genera conseguentemente una scarica violenta che può dare malfunzionamenti ma anche danneggiare seriamente gli apparecchi elettronici.

Le scariche di elettricità statiche o ESD (ElectroStatic Discharge) sono trattate dalla CEI EN 61000-4-2. La forma d'onda di corrente normalizzata è quella illustrata nella figura 15:

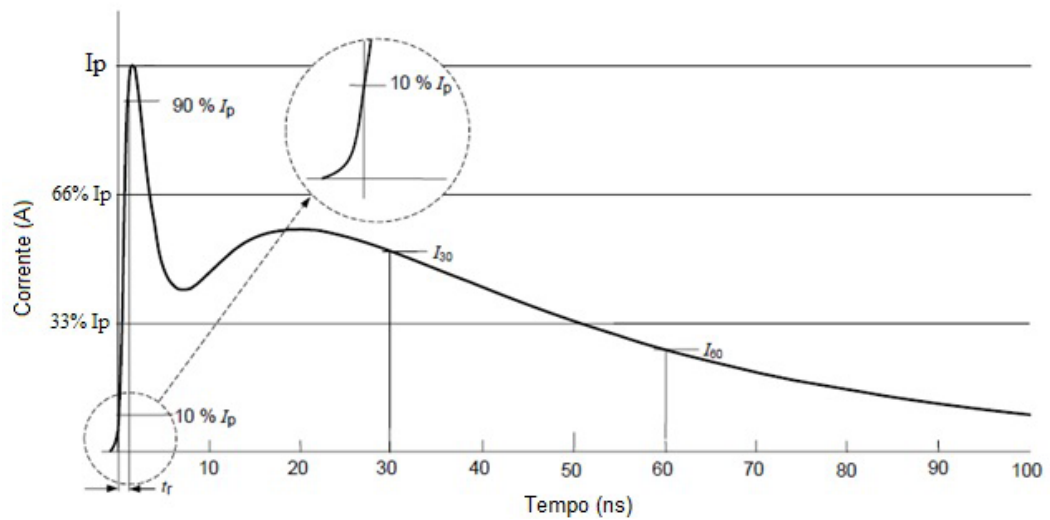


Figura 15: forma d'onda normalizzata per ESD

Le scariche possono avvenire per contatto o in aria in prossimità dell'apparecchio. Sono previsti 4 livelli crescenti di disturbo con i seguenti criteri di applicazione:

Livello	Tensione di riferimento per scarica a contatto kV	Tensione di riferimento per scarica in aria kV	Umidità relativa a partire da %	Materiale antistatico	Materiale sintetico
1	2	2	35	✓	
2	4	4	10	✓	
3	6	8	50		✓
4	8	15	10		✓

Il prova preferibilmente deve verificarsi per contatto. Nel caso in cui ciò non sia possibile, si effettua il test in aria.

3. Alcuni tipi di disturbo

3.3 Campi elettromagnetici a radiofrequenza irradiati

Per avere un'idea di questo disturbo si può prendere il segnale utilizzato dalle Norme CEI EN 61000-4-3 per provare l'immunità dei dispositivi ai campi elettromagnetici irradiati. Nella figura 16 è illustrata la forma d'onda per segnale non modulato a) e modulato b).

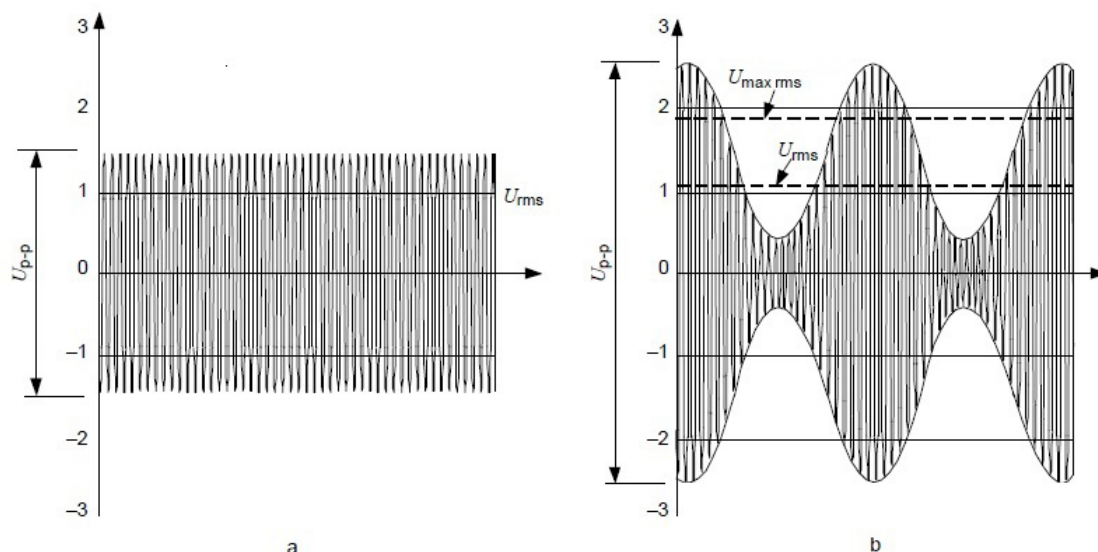


Figura 16: Forma d'onda relativa al livello di severità 1:
a) segnale RF non modulato con $U_{p-p} = 2,8 \text{ V}$ e $U_{rms} = 1,0 \text{ V}$
b) segnale RF modulato con $U_{p-p} = 5,1 \text{ V}$, $U_{rms} = 1,15 \text{ V}$ e $U_{max rms} = 1,8 \text{ V}$

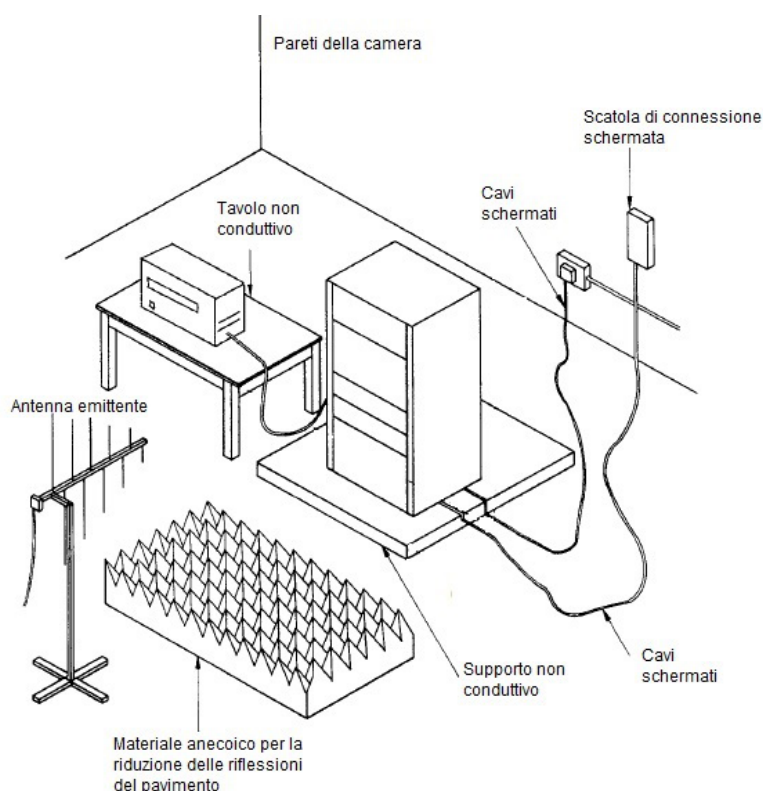


Figura 17: esempio camera semi-anechoica

Vista l'ampiezza del segnale, questi test devono essere eseguiti in ambienti schermati per non interferire con le radiocomunicazioni. Gli stessi strumenti di misura del laboratorio dovranno essere schermati opportunamente. Tipicamente le prove vengono effettuate in camere anecoiche o semi-anecoiche, grandi a sufficienza per contenere l'apparecchio in prova.

Sono previsti 4 livelli di severità crescente:

Livello	Forza del campo elettromagnetico V/m
1	1
2	3
3	10
4	30

Le Norme specifiche di prodotto possono decidere il livello più appropriato per ogni campo di frequenza.

In generale i livelli si possono scegliere sulla base degli ambienti di installazione descritti nelle seguenti classi:

- Classe 1 per un ambiente a basso livello di radiazioni elettromagnetiche, con stazioni di trasmissione radio o televisive a distanza maggiore di 1 km e in presenza di rice-trasmittenti di bassa potenza;
- Classe 2 per un ambiente tipicamente commerciale, a media radiazione, in presenza di rice-trasmittenti di media potenza ma con restrizioni circa l'uso in prossimità degli apparecchi;
- Classe 3 per ambienti tipicamente industriali con forti radiazioni a causa di rice-trasmittenti di potenza > 2 W utilizzate nelle vicinanze dell'apparecchiatura e/o con stazioni radio o televisive nelle vicinanze;
- Classe 4 per ambienti con utilizzo di rice-trasmittenti portatili e altre sorgenti significative di interferenza entro 1 m di distanza.

3.4 Transitori/raffiche di impulsi elettrici veloci

Questi disturbi (in inglese EFT/BURST) sono costituiti da sovratensioni impulsive dovute ad accoppiamento condotto che si propagano all'apparecchio elettrico o elettronico ricevitore tramite i cavi di alimentazione, gli ingressi di comando e gli ingressi ed uscite di segnale. La Norma di riferimento è la CEI EN 61000-4-4. L'impulso di prova ha una forma d'onda con tempo di salita t_r di 5 ns e durata dell'impulso t_w di 50 ns.

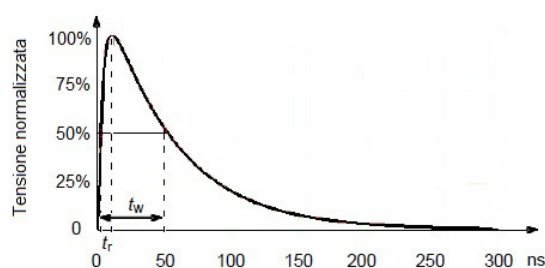


Figura 18: forma d'onda normalizzata per EFT/BURST

La frequenza di ripetizione più utilizzata è 5 kHz ma 100 kHz è più realistica; le norme di prodotto dovrebbero definire la frequenza di prova più idonea ad un particolare prodotto.

Frequenza kHz	Periodo impulso T μs	Durata raffica ms	Periodo raffica ms
5	200	15	300
100	10	0,75	300

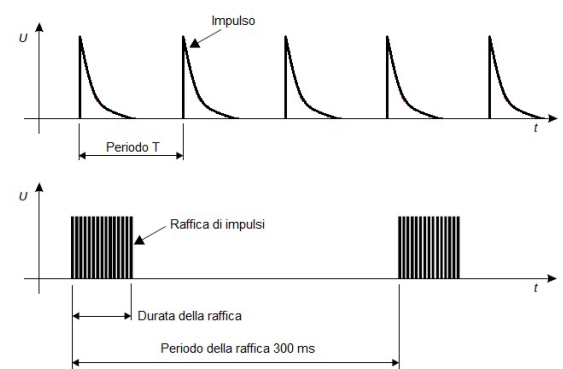


Figura 19: schema per raffica di impulsi

Il valore di picco della tensione dipende dal livello di severità della prova e può assumere i seguenti valori:

Livello	Ingressi di alimentazione e messa a terra (PE) Tensione di picco kV	Ingressi di segnalazione e controllo Tensione di picco kV
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	4	2

Per la scelta dei livelli di severità, consideriamo che:

- il livello 1 è indicato per ambienti ben protetti, ad esempio una computer room;
- il livello 2 si applica ad apparecchiatura posta in ambienti protetti, ad esempio la control room di impianti industriali o di società elettriche;
- il livello 3 è indicato per ambienti industriali, quindi si applica all'apparecchiatura utilizzata nei vari processi industriali;
- il livello 4 è valido per ambienti industriali severi, tipicamente apparecchiature per processi industriali senza specifici accorgimenti installativi, centrali elettriche, relay room di sottostazioni di AT all'aperto o sottostazioni isolate in gas fino a 500 kV di tensione di esercizio.

3. Alcuni tipi di disturbo

3.5 Impulsi

Questi impulsi unidirezionali sono conseguenti a sovratensioni causate da manovre o scariche nell'impianto elettrico.

Per quanto riguarda i transitori causati da manovre nell'impianto elettrico, abbiamo:

- manovre di banchi di condensatori o di altri carichi, in particolare se associati a dispositivi di manovra a tiristori o a transistor;

- guasti vari, quali cortocircuiti e guasti a terra.

Nel caso, invece, di transitori dovuti a scariche possiamo avere fulminazioni dirette o indirette in grado di generare sovratensioni.

Nel primo caso, ovvero per fulminazioni direttamente su apparecchiatura posta all'esterno, queste sono in grado di produrre correnti che, fluendo nella resistenza di terra o nell'impedenza del circuito esterno, provocano sovratensioni o forti campi elettromagnetici e, quindi, ancora sovratensioni o sovracorrenti.

La Norma di riferimento per questo tipo di disturbo è la CEI EN 61000-4-5.

Per avere un'idea del disturbo, nella figura 20 vediamo la forma della sovratensione normalizzata:

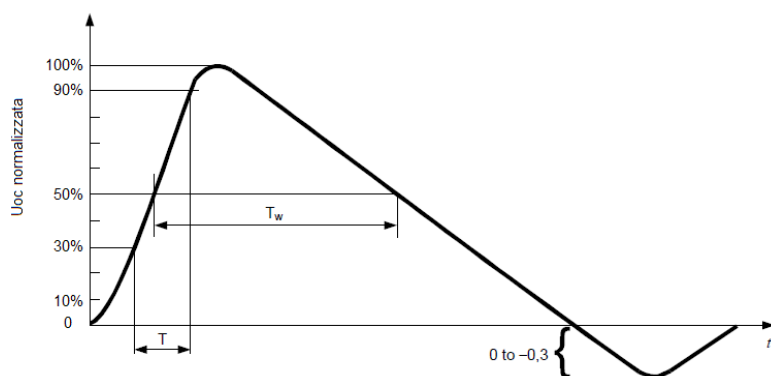


Figura 20: forma d'onda normalizzata di un impulso

con tempo di salita $t_r = 1,67 \times T = 1,2 \mu s$ e

$T_w = 50 \mu s$.

I livelli di tensione per prove a circuito aperto sono:

Livello	Linea a linea kV	Linea a terra kV
1	-	0,5
2	0,5	1
3	1	2
4	2	4

La scelta del livello di prova va fatta con riferimento ai diversi ambienti di installazione, in particolare alle classi da 1 a 4:

- classe 0, per ambienti elettrici molto ben protetti, con apparecchi spesso confinati in stanze speciali. Le apparecchiature elettroniche sono tutte interconnesse ad un sistema di terra ben progettato e dotate di alimentazione dedicata. In questo caso le sovratensioni potrebbero non superare i 25 V.
- classe 1, per ambienti elettrici parzialmente protetti; tutti i cavi di ingresso all'ambiente sono protetti contro le sovratensioni, le apparecchiature elettroniche sono tutte interconnesse ad un sistema di terra ben progettato e dotate di alimentazione dedicata, ma le manovre di apertura e chiusura nella rete possono provocare disturbi di tensione. In questo caso le sovratensioni potrebbero non superare i 500 V e per questa classe si può applicare il livello 1.
- classe 2, per ambienti elettrici dove i cavi sono ben separati ma il sistema di terra è comune con la rete di potenza che può essere influenzata da sovratensioni generate dal sistema elettrico stesso o da fulminazioni. L'alimentazione dell'elettronica ha un circuito separato, solitamente da un trasformatore dedicato ma nell'ambiente esistono circuiti non protetti anche se separati e in numero limitato. In questo caso le sovratensioni potrebbero non superare 1 kV e si può applicare il livello 2.
- classe 3, per ambienti dove i cavi di segnale e di potenza sono affiancati. La connessione a terra è influenzabile come nel caso precedente; in aggiunta si possono avere disturbi di tensione anche di ampiezza elevata dovuti a correnti di guasto, manovre o fulminazioni. I cavi di collegamento possono correre anche all'esterno e sono presenti carichi induttivi. In questo caso le sovratensioni potrebbero non superare 2 kV e si può applicare il livello 3.
- classe 4, per ambienti elettrici dove i cavi corrono all'esterno assieme ai cavi di potenza e sono in comune ad apparecchi elettronici e elettrici. La rete di terra della rete di potenza, scadente, può essere soggetta a disturbi di tensione anche di elevata ampiezza a causa di guasti, manovre e fulminazioni. Vi può essere anche interconnessione con apparecchiature di AT e con una rete di telecomunicazioni. In questo caso le sovratensioni potrebbero non superare 4 kV e si può applicare il livello di prova 4.

- classe 5, per ambienti con apparecchiature elettroniche connesse a cavi di telecomunicazioni e linee aeree di potenza in aree non densamente abitate. Tutti i cavi e le linee primarie sono dotate di dispositivi di protezione contro le sovratensioni ma il sistema di terra non è distribuito e quindi il sistema è esposto alle sovratensioni. I disturbi di tensione per guasti e fulminazioni possono essere molto elevati. In questo caso il livello di prova va concordato nelle specifiche di prodotto.

3.6 Disturbi condotti indotti da campi a radiofrequenza

In questo caso i disturbi a radiofrequenza interessano l'intera lunghezza dei cavi collegati all'apparecchio. Se dimensioni dell'apparecchio ricevente sono piccole rispetto alla lunghezza d'onda del segnale di interferenza (cap. 1.1.4), allora i cavi di ingresso e di uscita dall'apparecchio fungono da antenne riceventi passive e conducono i disturbi all'interno. La Norma di riferimento è la CEI EN 61000-4-6. L'apparecchio può essere, quindi, attraversato da correnti che fluiscono tra il sistema di cavi che si assume essere in modalità risonante.

La forma d'onda utilizzata per la prova di immunità (fig. 21) è identica a quella vista nel par. 3.3 con tre livelli di severità in un range di frequenza tra 150 kHz e 80 MHz:

Livello	Tensione U_0 (V)
1	1
2	3
4	10

dove U_0 è la tensione a circuito aperto del generatore di prova come indicato circuito illustrato nella figura 22
(E= campo elettrico, H= campo magnetico).

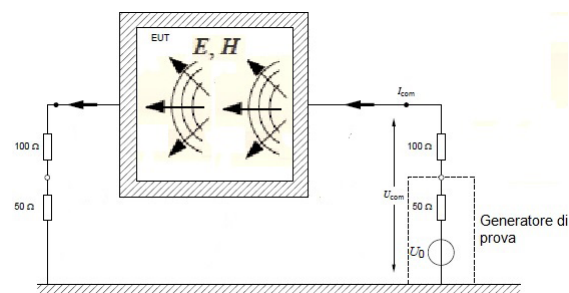


Figura 22

Analogamente a quanto visto nel paragrafo 3.3 per la scelta dei livelli, qualitativamente si può considerare per il livello 1 un ambiente a basso livello di radiazioni elettromagnetiche. Per il livello 2 si considera un ambiente tipicamente commerciale, a media radiazione, in presenza di ricetrasmittenti di media potenza ma con restrizioni circa l'uso in prossimità degli apparecchi. Infine, il livello 3 prevede ambienti tipicamente industriali con forti radiazioni a causa di ricetrasmittenti di potenza > 2 W utilizzate nelle vicinanze dell'apparecchiatura e/o con stazioni radio o televisive nelle vicinanze.

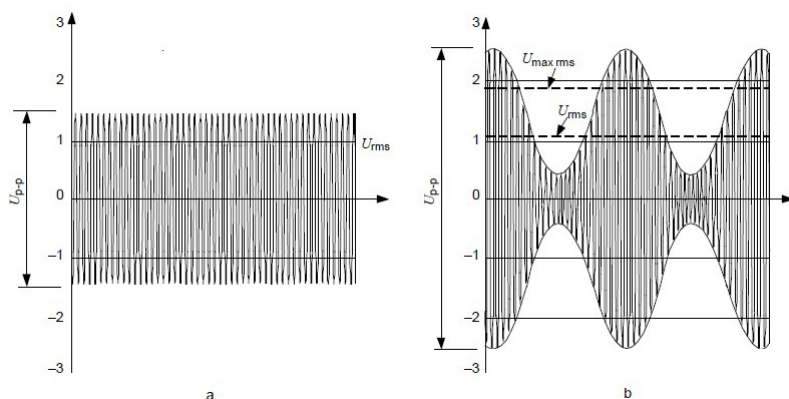


Figura 21: forma d'onda relativa al livello 1 di prova

3. Alcuni tipi di disturbo

3.7 Buchi di tensione, brevi interruzioni e variazioni di tensione in AC

L'argomento è trattato dalla Norma CEI EN 61000-4-11 e, per apparecchiature con corrente di ingresso superiore a 16 A, dalla Norma CEI EN 61000-4-34.

Questi e altri disturbi di tensione sono trattati anche dalla Norma CEI EN 50160, Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica.

I buchi di tensione e le brevi interruzioni sono causate da guasti nella rete elettrica, quali ad esempio i cortocircuiti o da variazioni improvvise di carichi importanti. A volte i buchi di tensione sono più d'uno e consecutivi. Le variazioni di tensione sono, invece, causate da variazioni continue di carichi connessi alla rete.

I tre fenomeni sono illustrati nella figura 23:

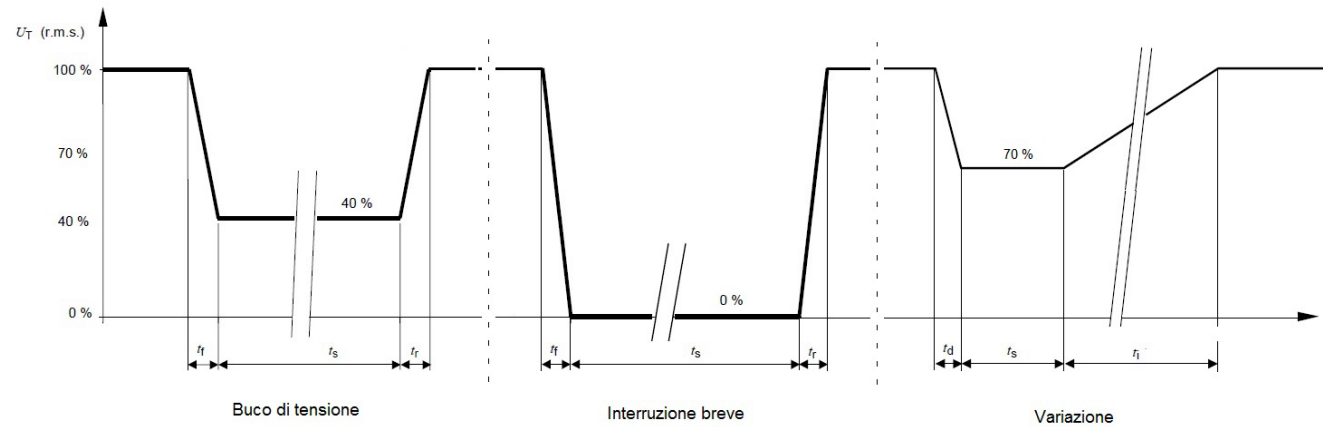


Figura 23: esempi di disturbi di tensione
(t_r = tempo di salita, t_f = tempo di caduta, t_s = durata a tensione ridotta, t_d = tempo per la diminuzione, t_i = tempo per l'aumento)

Per quanto riguarda le prove con questi disturbi, i buchi di tensione sono suddivisi in 3 classi:

Classe	Livello e durata (t_s) della prova per buchi di tensione a 50/60 Hz				
Classe 1	Caso per caso in accordo ai requisiti dell'apparecchiatura				
Classe 2	0% per ½ ciclo	0% per 1 ciclo	70% per 25 (50 Hz) o 30 (60 Hz) cicli		
Classe 3	0% per ½ ciclo	0% per 1 ciclo	40% per 10 (50 Hz) o 12 (60 Hz) cicli	70% per 25 (50 Hz) o 30 (60 Hz) cicli	80% per 250 (50 Hz) o 300 (60 Hz) cicli

Per le interruzioni brevi le classi sono definite come segue:

Classe	Livello e durata (t_s) della prova per interruzioni brevi a 50/60 Hz
Classe 1	Caso per caso in accordo ai requisiti dell'apparecchiatura
Classe 2	0% per 250 (50 Hz) o 300 (60 Hz) cicli
Classe 3	0% per 250 (50 Hz) o 300 (60 Hz) cicli

Infine, per la variazioni di tensione esiste una sola prescrizione per la prova che prevede una diminuzione improvvisa al 70% con durata di 1 ciclo e un tempo di aumento di 25 (50 Hz) o 30 (60 Hz) cicli.

In tutti i casi i comitati di prodotto possono definire altri livelli in relazione alle caratteristiche del prodotto stesso.

Per la scelta delle classi, si fa riferimento alla IEC 61000-2-4:

- classe 1: per alimentazioni protette e con livelli di compatibilità inferiori a quelli della rete pubblica. Si riferisce quindi ad apparecchiature molto sensibili a questi disturbi quali strumentazione per laboratori, o a particolari tipi di computer o sistemi di automazione;
- classe 2: si applica ai punti di connessione del carico alle reti pubbliche o private in ambienti industriali in generale con livelli di compatibilità uguali a quelli della rete pubblica;
- classe 3: si applica ai punti di connessione alle reti in ambiente industriale con livelli di disturbo maggiori rispetto alla classe 2, ad esempio in presenza di convertitori, saldatrici, motori e carichi fortemente variabili.

3.8 Armoniche e interarmoniche

Le armoniche sono tensioni e correnti sinusoidali le cui frequenze sono multipli interi della frequenza fondamentale, ovvero della frequenza nominale a cui funziona la rete elettrica, e che si sommano a quest'ultima provocando come conseguenza una forma d'onda non più sinusoidale ma distorta. Le correnti armoniche, se di entità non trascurabile, possono provocare cadute di tensione e riscaldamento non desiderati nei cavi e nelle apparecchiature.

A volte, per particolari valori delle impedenze della rete (capacità dei cavi e dei condensatori di rifasamento, induttanze delle linee e dei trasformatori, ecc) si possono avere dei fenomeni di risonanza che amplificano una particolare tensione armonica che si presenta, quindi, di entità rilevante anche a distanza dalla sorgente. Questi disturbi sono normalmente causati da carichi non lineari, tipicamente carichi industriali e residenziali, quali:

- raddrizzatori, per esempio utilizzati negli apparecchi elettronici (es. televisione), convertitori di frequenza e lampade con alimentatore incorporato;
- apparecchiature a regolazione di fase;
- alcuni tipi di calcolatori e di gruppi di continuità;
- saldatrici e forni ad arco.

I disturbi possono essere di livello costante o variabile, a seconda funzionamento della sorgente.

A volte si possono trovare anche delle ulteriori frequenze che non costituiscono un multiplo intero della frequenza fondamentale e che vengono chiamate interarmoniche. Normalmente le interarmoniche sono trascurabili tuttavia il loro livello è in aumento a causa dell'utilizzo sempre maggiore di convertitori di frequenza quali i drive dei motori.

La norma di riferimento per questi disturbi è la CEI EN 61000-4-13. La Norma definisce il valore dell'armonica di tensione come percentuale della fondamentale U1. I livelli seguenti sono adatti ad ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera. Per gli ambienti diversi, ad esempio quelli tipici dell'industria pesante, i comitati di prodotto possono specificare classi diverse con gli opportuni livelli.

Armoniche	Classe 1 Livelli di prova % U1	Classe 2 Livelli di prova % U1	Classe 3 Livelli di prova % U1
5	4,5	9	12
7	4,5	7,5	10
11	4,5	5	7
13	4	4,5	7
17	3	3	6
19	2	2	6
23	2	2	6
25	2	2	6
29	1,5	1,5	5
31	1,5	1,5	3
35	1,5	1,5	3
37	1,5	1,5	3
3	4,5	8	9
9	2	2,5	4
15	/	/	3
21	/	/	2
27	/	/	2
33	/	/	2
39	/	/	2
2	3	3	5
4	1,5	1,5	2
6	/	/	1,5
8	/	/	1,5
10	/	/	1,5
12-40	/	/	1,5

3. Alcuni tipi di disturbo

Di seguito (fig. 24) la rappresentazione dello spettro delle frequenze per le tre classi viste.

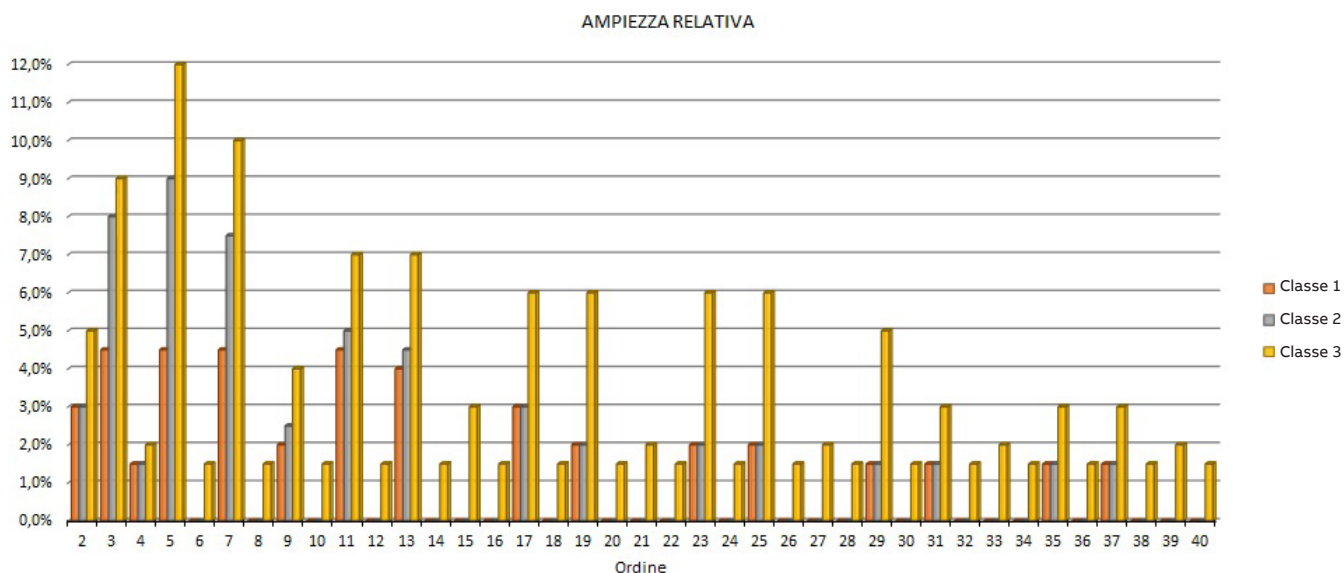


Figura 24: spettro delle frequenze per le tre classi

Nella figura 25 vediamo la forma d'onda risultante relativa alle tre classi per una fondamentale a 50 Hz di 100 A rms, con uno scostamento di fase di 0° per tutte le armoniche.

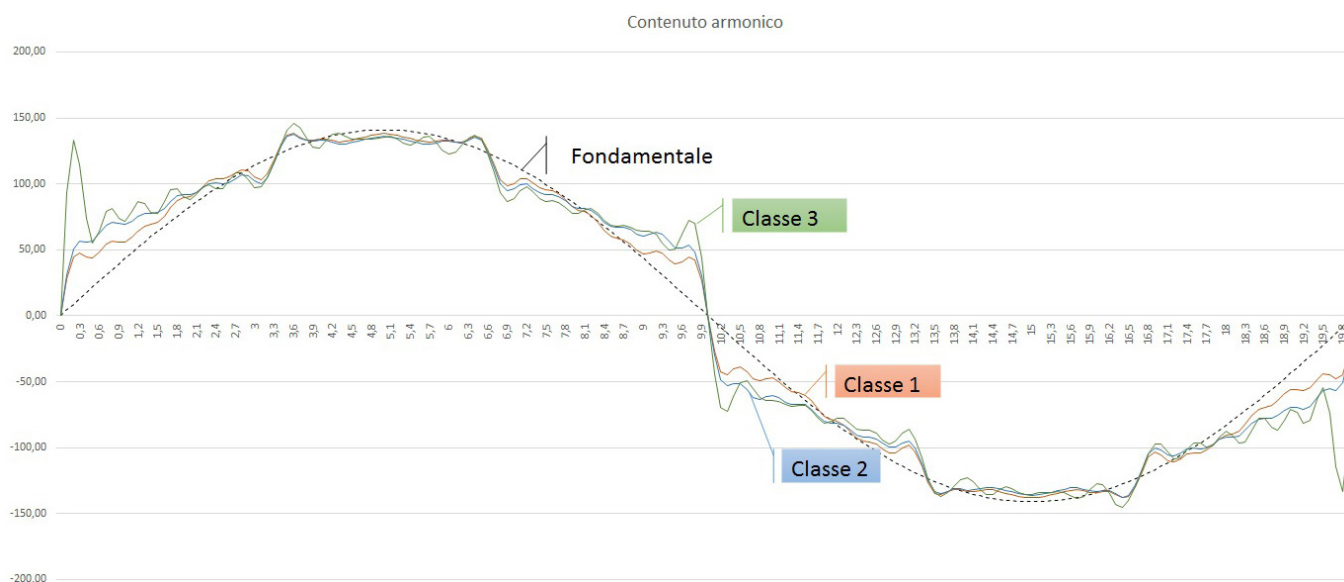


Figura 25: forma d'onda risultante per le tre classi

Analogamente per le interarmoniche la Norma definisce, ad esempio per una fondamentale a 50 Hz, dei livelli da applicarsi ad una certa gamma di frequenza.

Gamme di frequenza	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Hz	Livelli di prova % U1	Livelli di prova % U1	Livelli di prova % U1
16 – 100	-	2,5	4
100 – 500	-	5	9
500 – 750	-	3,5	5
750 – 1 000	-	2	3
1 000 – 2 000	-	1,5	2

La definizione delle classi è identica a quanto visto nel paragrafo 3.7.

I livelli di compatibilità e di immunità devono essere ovviamente superiori; a tal fine il riferimento è la Norma IEC 61000-2-2 per le reti di alimentazione pubbliche in bassa tensione e alla IEC 61000-2-4 per gli ambienti industriali non pubblici.

Un parametro definito nelle due ultime norme citate è il Total Harmonic Distorsion (THD) pari alla somma dei valori efficaci delle componenti armoniche Q_h fino ad un determinato ordine H , generalmente 40, diviso per il valore efficace della fondamentale Q_1 .

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2}$$

Ad esempio, per le tre classi la cui forma d'onda è illustrata in figura 25, il THD è pari rispettivamente al 12% per la classe 1, al 17% per la classe 2 e al 27% per l'ultima.

Per avere un riferimento, la Norma CEI EN 50160, che definisce le caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche, stabilisce che in media tensione il valore di THD non deva essere superiore all'8%.

4. Effetti e controllo dell'interferenza

4.1 Effetti del disturbo elettromagnetico

Gli effetti di un disturbo elettromagnetico su di una apparecchiatura a causa di un accoppiamento, detta interferenza, possono andare dal semplice disturbo funzionale alla distruzione di una sua parte con conseguente perdita totale della funzionalità.

La normativa prevede tre criteri circa le prestazioni di un'apparecchiatura soggetta ad una prova (EUT, Equipment Under Test) di compatibilità elettromagnetica (CEI EN 61000-6-2 Part 6-2: Norme generiche – Immunità per gli ambienti industriali):

- criterio A: L'EUT continua a funzionare come previsto durante e dopo la prova senza nessun degrado di prestazioni o perdita di funzionalità al di sotto del livello di prestazione specificato dal produttore;
- criterio B: L'EUT continua a funzionare come previsto dopo la prova senza nessun degrado di prestazioni o perdita di funzionalità al di sotto del livello di prestazione specificato dal produttore. Tuttavia, durante la prova è consentito il degrado della prestazione, ma non la modifica dello stato operativo effettivo o dei dati memorizzati;
- criterio C: è consentita la perdita temporanea della funzionalità durante la prova; la funzionalità è, tuttavia, auto-ripristinabile o può esserlo tramite un comando manuale da parte dell'utente.

In generale, se, a seguito dell'applicazione delle prove, l'EUT dovesse diventare pericoloso, si ritiene che abbia comunque fallito la prova. Le apparecchiature elettriche devono essere immuni da fenomeni sia ad alta che a bassa

frequenza. Tra i fenomeni ad alta frequenza abbiamo visto le scariche elettrostatiche (ESD), i campi elettromagnetici irradiati, i transitori/raffiche di impulsi elettrici veloci (EFT/BURST), i disturbi da campi elettromagnetici condotti e gli impulsi di tensione (SURGE).

Tra i fenomeni a bassa frequenza più tipici abbiamo visto, invece, le armoniche, i buchi di tensione, le micro-interruzioni e gli squilibri di tensione.

È importante sottolineare tuttavia che le prove non coprono tutte le possibili combinazioni di fattori negativi presenti nell'ambiente reale.

4.2 Il processo per affrontare la compatibilità elettromagnetica

A seconda del momento in cui viene affrontato, il processo per affrontare le problematiche EMC può assumere due approcci diversi.

Il primo, da adottarsi fondamentalmente in fase di progettazione, consiste nell'assegnare all'ambiente, dove verranno installate le apparecchiature, un livello di compatibilità ad ogni determinato disturbo (fig. 26). A questo punto è possibile definire uno schema di soppressione generale per poi specificare i livelli di emissione e immunità di tutte le apparecchiature che verranno installate con relativi metodi di soppressione e di installazione. Questo approccio è sicuramente il migliore avendo la possibilità di applicarlo; caso tipico è un nuovo impianto con un unico progettista in grado di avere una visione generale e poter quindi emettere un documento dei requisiti EMC. Di seguito i passi opportuni da seguire:

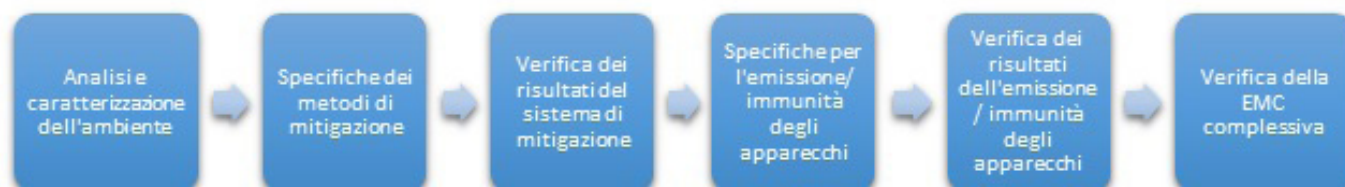


Figura 26: processo da adottare partendo dalla progettazione



Figura 27: processo da adottare per impianti esistenti

Il secondo (fig. 27), che viene adottato in impianti esistenti al momento di installare apparecchiature in commercio per le quali non è possibile modificare le caratteristiche EMC, consiste nel cercare di far corrispondere il livello di compatibilità de facto dell'installazione con i livelli dei componenti da installare. Ciò può essere fatto unicamente adottando opportuni metodi di mitigazione dei disturbi sui nuovi apparecchi. Questo secondo approccio è sicuramente più complicato e necessita di uno specialista EMC con esperienza, in grado di intervenire preferibilmente prima di installare i singoli apparecchi ma, spesso, a causa di problemi insorti dopo l'installazione. Anche in questo caso vediamo, nella fig. 27, i passi da seguire.

4.3 Metodi di controllo dell'interferenza

Come visto nel paragrafo precedente, sia nel progetto di nuovi impianti che nell'ampliamento di impianti esistenti, il punto cruciale è la definizione dei metodi di mitigazione delle interferenze.

Tutti i metodi, in estrema sintesi, si basano sulla riduzione del grado di accoppiamento tramite il quale il disturbo interferisce con l'apparecchiatura elettronica ricevente. Ciò vale in particolare nei segnali ad alta frequenza, in cui i segnali di interferenza e i segnali utili sono nella stessa gamma di frequenze.

Di seguito analizzeremo vari metodi di mitigazione in relazione al tipo di accoppiamento del disturbo.

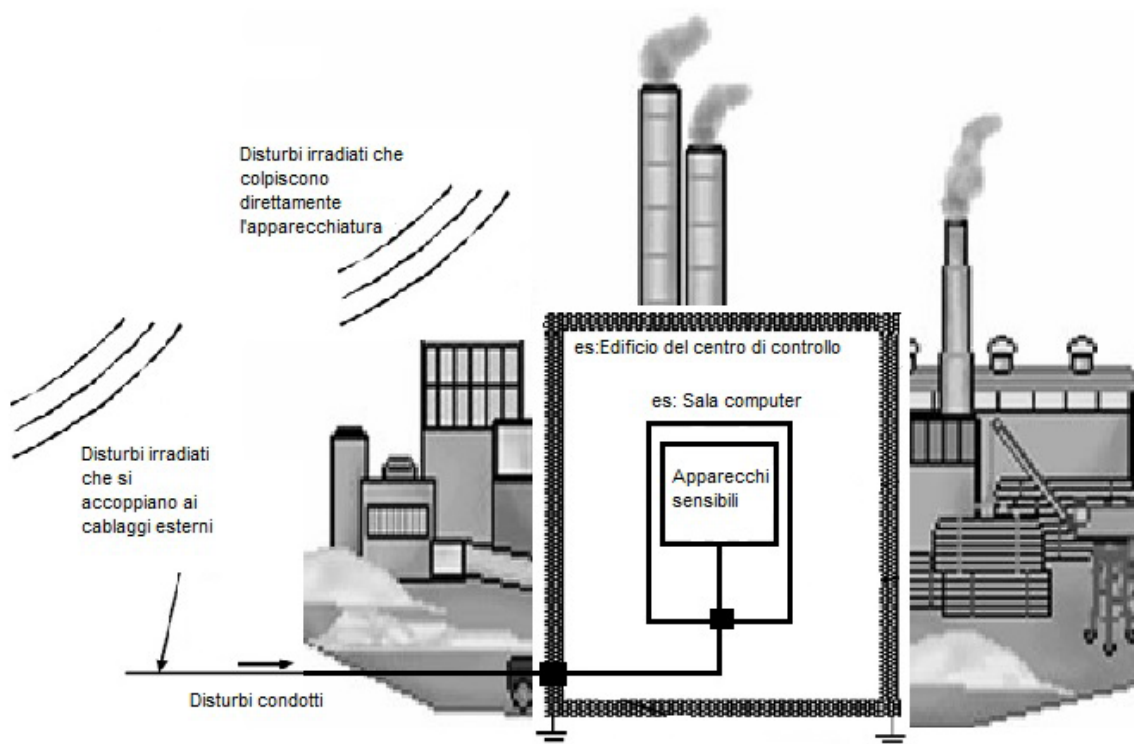


Figura 28: EMC per un centro di controllo industriale

4. Effetti e controllo dell'interferenza

4.3.1 Metodi per la mitigazione dei disturbi condotti

I disturbi condotti possono propagarsi ad altre attrezzature attraverso tutti i componenti conduttivi, tra cui i cavi, la messa a terra e il telaio metallico dei quadri elettrici.

4.3.1.1 Bilanciamento dei circuiti

La prima regola da considerare è il bilanciamento dei circuiti. In un circuito sbilanciato la sommatoria delle correnti nei conduttori principali risulta diversa da zero e quindi esiste una corrente di modo comune diversa da zero. Si può dimostrare che, poiché il segnale si propaga tramite una corrente differenziale, per essere immune ai disturbi condotti è importante che il circuito risulti bilanciato; in questa situazione, infatti, il segnale associato alla corrente differenziale sarà diverso da zero e immune al disturbo che si propaga, invece, in modo comune.

4.3.1.2 Bobine di blocco (choke)

Il secondo modo è quello di avvolgere i conduttori attorno a degli anelli di materiale ferromagnetico, normalmente di ferrite, con le spire in controfase (per consentire alle correnti di alimentazione del dispositivo – che sono di modo differenziale ma a frequenze molto inferiori a quelle di interesse per le EMI - di generare flussi che si annullano) realizzando le così dette bobine di blocco (fig. 29). La bobina introduce una impedenza che è massima per le correnti di modo comune e limita, quindi, il disturbo mentre è minima per le correnti di modo differenziale inerenti al segnale.

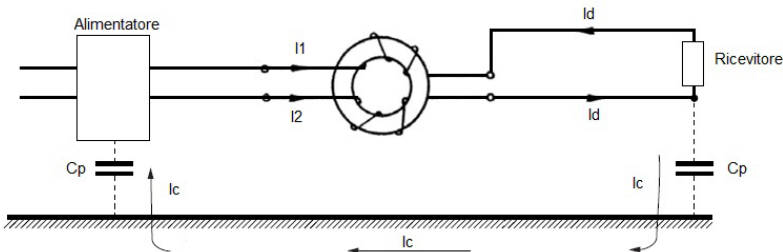


Figura 29: circuito con bobina di blocco

Normalmente viene utilizzata la ferrite per evitare la saturazione ad elevate frequenze.

4.3.1.3 Filtri

Un ulteriore metodo consiste nell'inserzione di opportuni filtri. I filtri possono essere di tipo passa-basso, passa-alto, passa-banda ed elimina-banda.

Dal punto di vista dello sbarramento dei disturbi, i componenti vanno disposti in serie al circuito come nei casi seguenti (fig. 30):

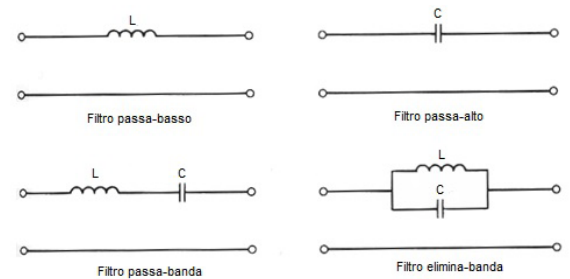


Figura 30: disposizione filtri in serie

Invece per scaricare i disturbi a terra, i componenti, in pratica condensatori, vanno posti in parallelo come nel caso seguente (fig. 31):

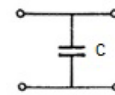


Figura 31: disposizione filtri in parallelo

Per eliminare i disturbi ad alta frequenza, i filtri normalmente sono costituiti da induttanze in serie e capacità in parallelo. Troviamo, quindi, le seguenti tipologie:

- filtro a condensatore passante (fig. 32): si usa quando le impedenze del generatore e del ricevitore sono relativamente alte;

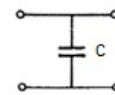


Figura 32: filtro a condensatore passante

- filtro a metà T (fig. 33): l'induttanza va posta dal lato della bassa impedenza, e si usa nel caso l'impedenza del generatore è molto diversa dall'impedenza del ricevitore;

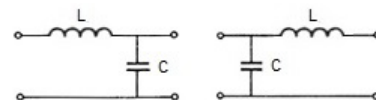


Figura 33: filtri a metà T

- il filtro a π (fig. 34) , che si usa nei circuiti ad alta impedenza;

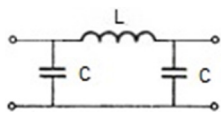


Figura 34: filtro a π

- il filtro a T (fig. 35), usato nei circuiti in cui le impedenze del generatore e del carico sono relativamente piccole.

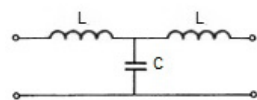


Figura 35: filtro a T

4.3.1.4 Varistori

Alla famiglia dei dispositivi di soppressione appartengono i varistori che vengono utilizzati come protezione contro le sovratensioni. Il varistore è una resistenza non lineare, la cui resistenza dipende dalla tensione applicata. Questa può variare da valori di M Ω a m Ω in alcuni nanosecondi (valori tipici da 10ns ... 25ns) e può tollerare correnti fino a 25kA e energie fino a 600kJ. Questi dispositivi hanno una capacità parassita da 100pF a 10nF che può limitare la banda di segnale protetta ma che, altresì, contribuisce a filtrare disturbi.

Poiché le prestazioni del varistore dipendono dalla sua temperatura, è importante evitare di riscaldarli o, semplicemente, è bene tenerli lontani dai punti caldi.

Nella figura 36, troviamo la tipica curva di un varistore ad ossido di zinco (MOV). È bene verificare che la tensione residua U_{res} alla corrente I_{max} non sia maggiore della tensione di tenuta dell'apparecchio da proteggere.

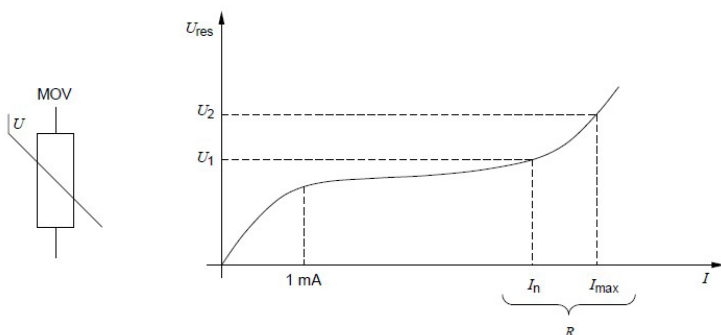


Figura 36: curva tipica di un varistore ad ossido di zinco (MOV)

Inoltre, dalla figura 37, si nota come il picco di corrente associato all'impulso e sopportabile dal varistore aumenta al diminuire della durata dell'impulso e del numero di impulsi stessi. Il disturbo va, quindi, opportunamente definito in numero e durata degli impulsi in modo da poter scegliere il componente sulla base dell'energia e della potenza massima sopportabile.

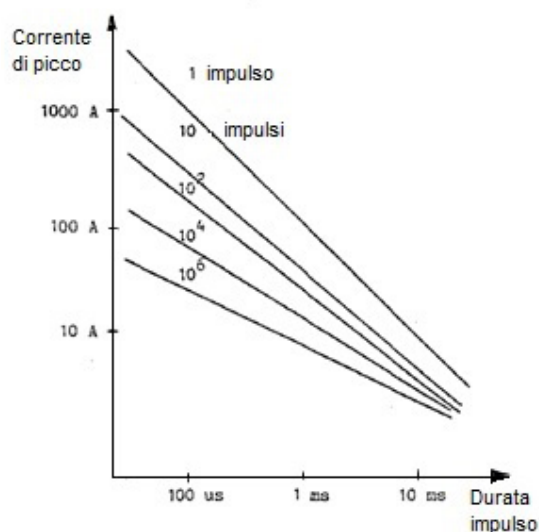


Figura 37: curve del picco di corrente sopportate da un varistore

4.3.1.5 Diodi soppressori

Anche i diodi soppressori (transil) mantengono la tensione costante sul carico in presenza di una sovratensione ma, rispetto ai varistori, non possono condurre elevate correnti e sopportano, quindi, energie molto ridotte; viceversa sono molto veloci con tempi di risposta dell'ordine dei picosecondi.

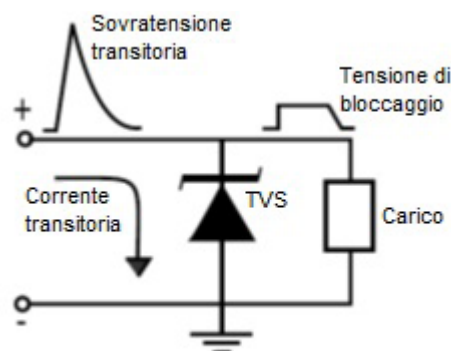


Figura 38: schema di utilizzo di un transil

4. Effetti e controllo dell'interferenza

Per la corretta scelta del transil è importante innanzi tutto definire la tensione nominale del circuito in cui saranno inseriti i componenti. Inoltre:

- verificare che la corrente di picco transitoria del disturbo sia inferiore al valore di picco dell'impulso di corrente nominale corrispondente alla tensione di bloccaggio V_{cl} ;
- controllare la Potenza media dissipabile P_{AV} (o Transil average power dissipation) soprattutto in presenza di disturbi ripetuti. Nota l'energia del singolo disturbo W e la frequenza f dei disturbi il calcolo dell'energia del singolo disturbo si calcola come $P_{AV} = f \cdot W$;
- controllare che la tensione di bloccaggio V_{cl} (o clamping voltage, la tensione presente quando nel Transil scorre la massima corrente sopportabile) possa essere sopportata dal circuito;
- controllare che la tensione nominale sia lontana dalla tensione di bloccaggio per diminuire la corrente di perdita.

4.3.1.6 Dispositivi di soppressione del rumore

I dispositivi di soppressione del rumore o spike killers (fig. 39) sono delle ferriti costituite da materiale amorfo che vengono inseriti direttamente nei morsetti dei dispositivi. Essi funzionano in modo diverso rispetto ai filtri convenzionali, poiché la loro funzione è di ridurre il disturbo all'origine, quando la sorgente dei disturbi è data da rapide variazioni di tensione e corrente (ringing o reverse recovery di diodi, ecc.); i nuclei amorfi si occupano di eliminare questi disturbi indipendentemente dalla frequenza.



Figura 39: spike killers

4.3.1.7 Posizionamento di filtri e protezioni

I filtri e le protezioni viste nei paragrafi precedenti devono essere installate in modo corretto pena il decadimento delle prestazioni. In accordo alla classificazione data dalla Norma IEC 61000-5-1, vi sono due tipi di approccio per la protezione, quello globale e quello distribuito. L'approccio globale si può essere effettuato con una singola barriera, come illustrato nella figura 40, dove la protezione ha il compito di proteggere tutta l'installazione e va quindi posta nel punto di accesso all'ambiente schermato; porre la protezione all'interno dello schermo sarebbe un errore in quanto consentirebbe l'ingresso dei disturbi all'interno dell'ambiente. Chiaramente non vi devono essere altre sorgenti di disturbo interne.

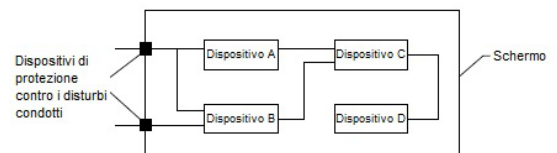


Figura 40: sistema di protezione globale a singola barriera

Nel caso in cui vi siano apparecchiature con diversi livelli di immunità, è possibile suddividere gli ambienti con barriere in cascata (fig. 41).

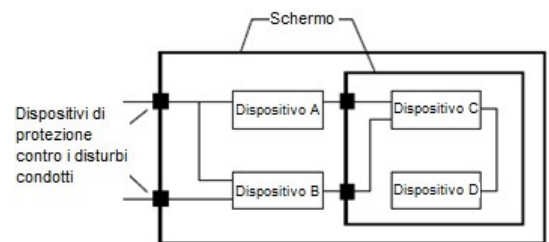


Figura 41: sistema di protezione globale a barriera multipla

Infine, nel caso di protezione distribuita (fig. 42), le protezioni vanno poste su ogni singolo apparecchio non avente livello di immunità adeguato.

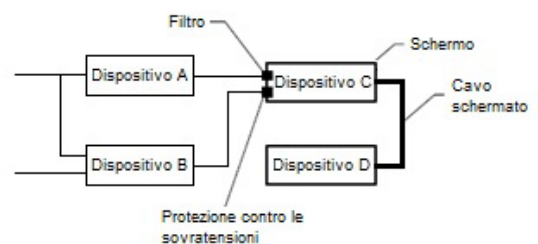


Figura 42: sistema di protezione distribuito

4.3.2 Metodi per la mitigazione dei disturbi irradiati

4.3.2.1 Schermatura

La schermatura di un apparecchio serve sia per aumentarne l'immunità da campi elettromagnetici esterni, sia per ridurre l'emissione verso l'ambiente esterno. La schermatura può essere estesa ad un intero ambiente contenente un insieme di apparecchiature quale ad esempio un laboratorio di prova.

Esaminiamo i fenomeni legati all'attraversamento di uno schermo da parte di un campo elettromagnetico incidente.

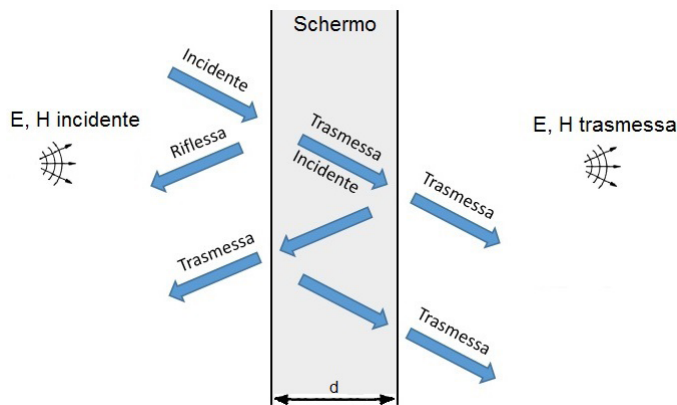


Figura 43: schema trasmissione in uno schermo dei disturbi elettromagnetici

Come si vede dalla figura 43, il campo elettromagnetico trasmesso oltre lo schermo sarà pari al campo incidente detratte le perdite per riflessione R, assorbimento A e riflessioni multiple M. L'efficienza di uno schermo al campo elettrico o al campo magnetico SE (Shielding Effectiveness) si esprime come:

$$SE_E = \frac{E_{inc}}{E_{tra}} \quad \text{o} \quad SE_H = \frac{H_{inc}}{H_{tra}}$$

o in decibel come:

$$SE_E = 20 \log_{10} \frac{E_{inc}}{E_{tra}} \quad \text{o} \quad SE_H = 20 \log_{10} \frac{H_{inc}}{H_{tra}}$$

Per quanto detto sopra, l'efficienza dello schermo sarà data, quindi, da:

$$SE_{dB} = R_{dB} + A_{dB} + M_{dB}$$

dove R_{dB} è il coefficiente di riflessione, A_{dB} è il coefficiente di assorbimento e M_{dB} il coefficiente di riflessioni multiple.

Definito δ come la profondità di penetrazione del campo elettromagnetico, questo dipende dalla frequenza f , dalla permeabilità μ e conducibilità σ del materiale in base alla formula seguente:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

Quindi la profondità di penetrazione diminuisce all'aumentare della frequenza e al migliorare delle caratteristiche schermanti del materiale come, appunto, la permeabilità e la conducibilità. Ad esempio la profondità di penetrazione del rame a 60 Hz è di 8,5 mm ma diventa di soli 0,02 mm a 10 MHz.

Nel caso in cui lo spessore dello schermo d sia superiore alla profondità di penetrazione, il contributo delle perdite per assorbimento diventa significativo in quanto il coefficiente di assorbimento A vale:

$$A \cong e^{\frac{d}{\delta}}$$

Inoltre, nel caso in cui $d \gg \delta$ anche il coefficiente M_{dB} , che ha valore negativo in quanto le riflessioni interne allo schermo contribuiscono ad aumentare il campo trasmesso e quindi a ridurre l'efficienza di schermatura, diventa trascurabile. Il coefficiente di riflessione R vale, per campo lontano e quindi onda piana incidente perpendicolarmente allo schermo, $\frac{\eta_0 - \eta}{\eta_0 + \eta}$ dove η è l'impedenza del materiale dello schermo e $\eta_0 = 376,7 \Omega$ è l'impedenza dell'aria. Questo coefficiente dipende quindi dalla bontà del materiale dello schermo e può andare da 0 in assenza di schermo ($\eta = \eta_0$) a 1 nel caso in cui $\eta \ll \eta_0$ e quindi di un materiale con ottima conducibilità come i materiali metallici. Come esempio, nella tabella seguente abbiamo l'impedenza η di alcuni materiali utilizzabili per gli schermi:

Materiale	η [Ω]
Alluminio	$3,8 \cdot 10^{-6}$
Mumetal	$6,3 \cdot 10^{-3}$
Ferro	$8,5 \cdot 10^{-4}$

4. Effetti e controllo dell'interferenza

Concludendo, possiamo dire che, in presenza di sorgenti lontane, sia per il campo elettrico che per quello magnetico, la perdita per riflessione è il fenomeno predominante alle basse frequenze mentre alle alte frequenze lo è quello dell'assorbimento (sempre che $d \gg \delta$). Per sorgenti vicine, invece, mentre lo schermo si comporta nei confronti del campo elettrico in modo identico a quanto visto precedentemente, il comportamento relativo al campo magnetico è diverso: la perdita per assorbimento è prevalente a tutte le frequenze ma è comunque piccola a basse frequenze. Ne consegue che è necessario trovare metodi alternativi per schermare i campi magnetici a basse frequenze quali l'utilizzo di materiali a bassa riluttanza; i materiali sia conduttori che magnetici danno, quindi, risultati migliori, come si vede nella figura 44.

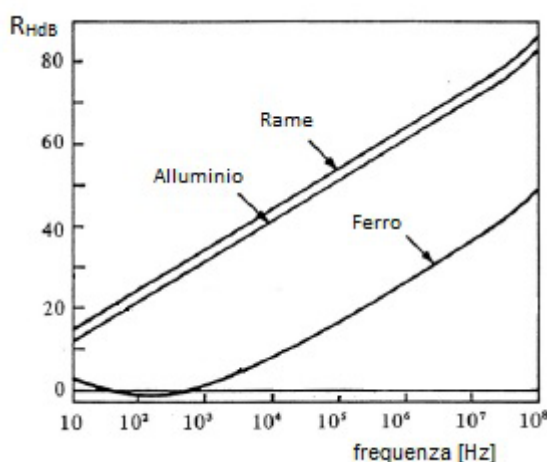


Figura 44: coefficiente R_{HdB} in funzione della frequenza per alcuni materiali

Applicando quanto visto precedentemente, possiamo dire che gli apparecchi dovrebbero essere completamente racchiusi in involucri di materiali opportuni, tipicamente metallici. Poiché gli involucri di apparecchiature elettriche o elettroniche sono realizzati o in metallo o in materiale plastico, nel primo caso l'involucro è in grado di svolgere un'azione schermante, mentre nel secondo caso, se necessario, bisogna prevedere dei metodi che conferiscano caratteristiche idonee ai materiali utilizzati.

Nella realizzazione di questi involucri bisogna prestare attenzione:

- alle aperture, a volte indispensabili per lo scambio termico con l'esterno;
- ai passaggi dei cavi di alimentazione e segnale per l'alimentazione dell'apparato e lo scambio dati con l'esterno;
- alla presenza di eventuali portelli apribili.

Per gli impianti di potenza a tensione superiore a 1kV AC si può far riferimento alla Norma IEC 61936-1, Power installations exceeding 1 kV AC – Part 1: Common rules.

Come regole generali, si possono citare le seguenti:

- ridurre al minimo la presenza di aperture; qualora assolutamente necessarie, per ottenere una schermatura efficiente è buona norma che la lunghezza L delle aperture sull'involucro non superi un decimo della lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica incidente. Ad esempio, alla frequenza di prova di 300 MHz corrisponde una lunghezza d'onda λ di 1,00 m; la lunghezza delle aperture non deve superare quindi $\lambda/10$ ovvero 100 mm. Ciò non è un problema per i singoli apparecchi (vedi figura 45) ma bisogna tenerne conto in un armadio di controllo. In generale è consigliabile non avere mai aperture con diagonale superiore ai 100 mm e in presenza di frequenze più alte, ad esempio 1 GHz, aperture non superiori a $\lambda/10 = 30$ mm.

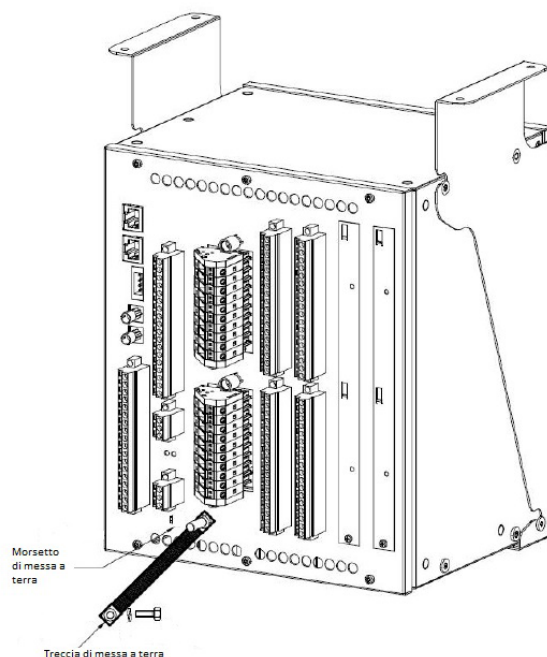


Figura 45: aperture in un dispositivo IED (Intelligent Electronic Device)

- per involucri schermanti di maggiori dimensioni, ad esempio armadi di controllo, nell'assemblaggio i pannelli vanno stretti gli uni sugli altri frapponendo una guarnizione metallica o comunque devono avere una finitura anticorrosione non verniciata in tutti i punti di contatto con altre piastre, ecc.
- per le porte e pannelli apribili adottare guarnizioni metalliche o collegarli alla struttura fissa tramite opportuni conduttori (fig. 46);

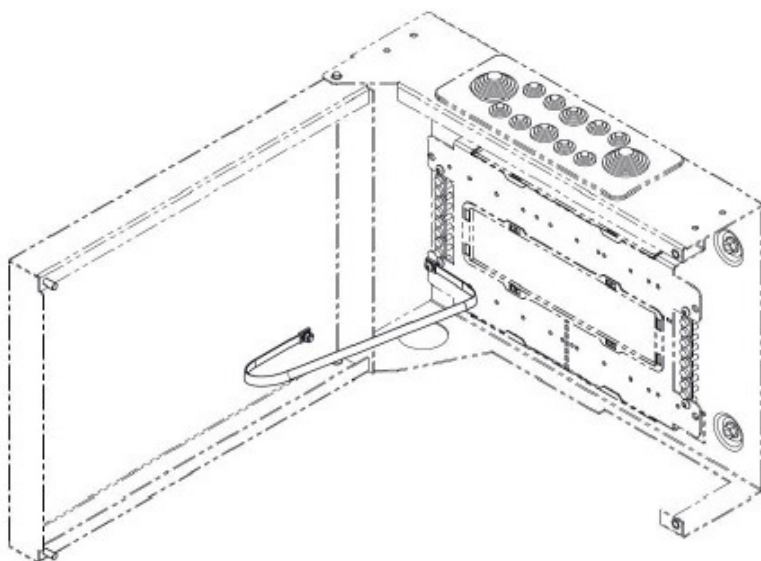


Figura 46: esempio di collegamento tra porta e cella di BT

- gli schermi dei cavi in ingresso o in uscita dall'involucro vanno collegati all'involucro stesso e i cavi vanno opportunamente filtrati. In particolare nei quadri elettrici di potenza, i segnali analogici provenienti dai trasformatori di corrente possono essere un forte sorgente di disturbi. Per questo motivo, tali circuiti vanno fatti passare in condotti metallici o in tubi metallici flessibili o in calze metalliche. Queste protezioni devono arrivare fino alla cella di bassa tensione e devono essere opportunamente collegate a terra. Gli schermi devono essere per quanto possibile continui, devono avere una bassa resistenza (pochi ohm per kilometro) e devono avere una bassa impedenza di accoppiamento nell'ambito della gamma di frequenza dei disturbi. La connessione a terra degli schermi deve essere la più corta possibile e deve interessare entrambe le estremità, inoltre la connessione migliore deve essere a 360°.

Ovviamente, la messa a terra degli schermi dei cavi in arrivo deve avvenire al loro ingresso nel quadro, per evitare accoppiamento all'interno su circuiti non schermati (fig. 47).

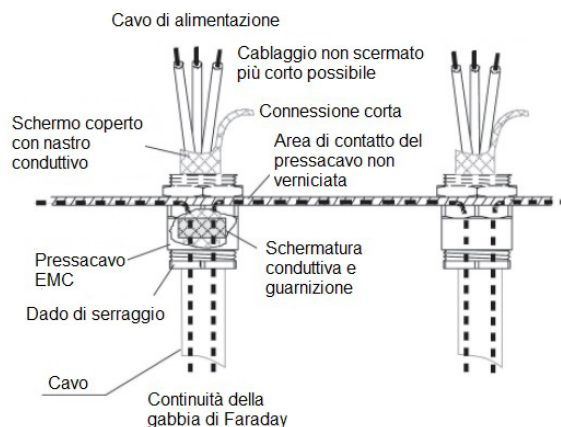


Figura 47: messa a terra con pressacavo

Altra possibilità è quella di utilizzare dei manicotti conduttivi (fig. 48): il manicotto è collegato alla gabbia di Faraday stringendolo allo speciale collare progettato nel piatto del pressacavo.

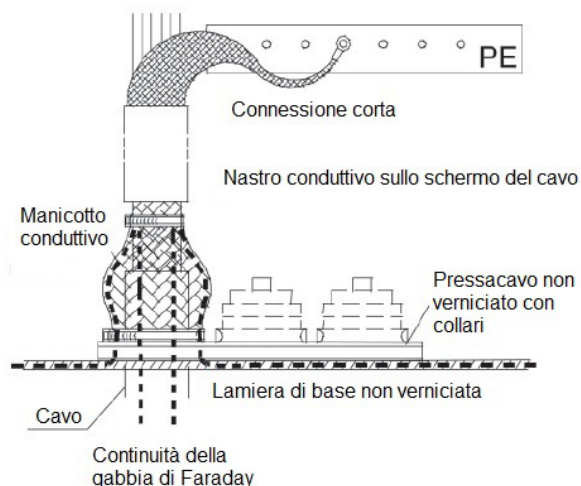


Figura 48: messa a terra con manicotto conduttivo

4. Effetti e controllo dell'interferenza

Si possono anche utilizzare dei serracavi purché collegati a massa (fig. 49). In questo caso i pressacavi non sono più necessari.

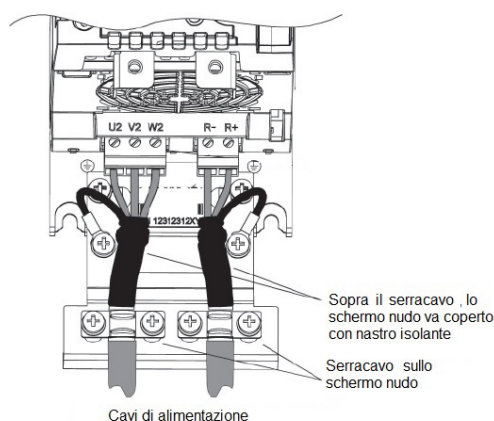


Figura 49: messa a terra con serracavi

Nella figura 50 troviamo un altro esempio concreto di buona pratica per il collegamento di un cavo schermato all'interno di un contenitore rappresentato dalla piastra di tenuta:

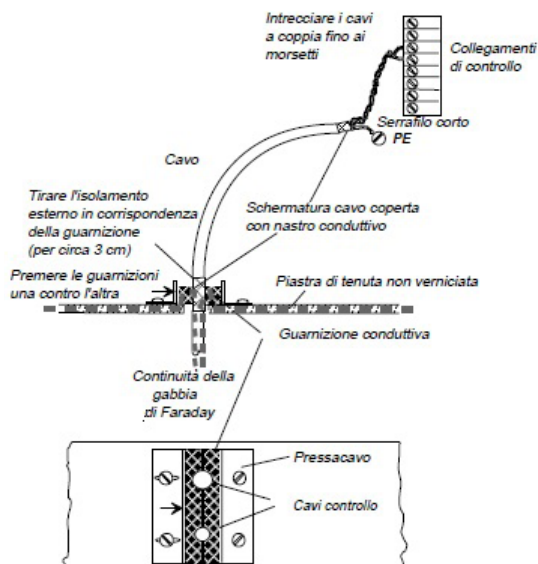


Figura 50: esempio di collegamento corretto

Infine, nella figura 51 troviamo un riassunto degli accorgimenti da applicare per un quadro di controllo.

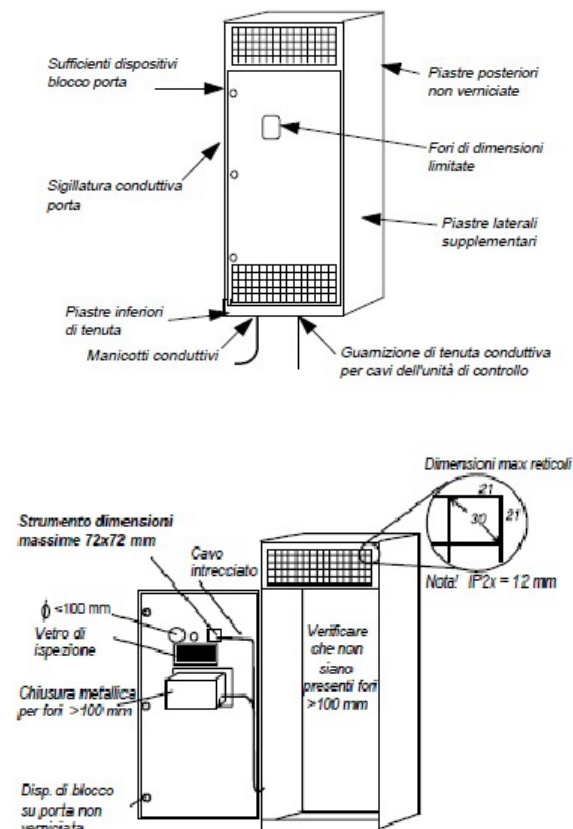


Figura 51: riassunto accorgimenti EMC su un quadro di controllo

4.3.2.2 Accorgimenti sui cavi

Consideriamo un tratto di conduttore di diametro d e di lunghezza finita e rappresentiamolo con costanti concentrate per unità di lunghezza (fig. 52):

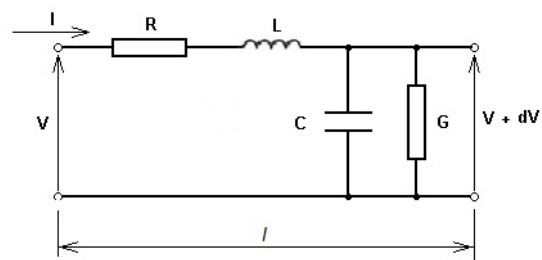


Figura 52: rappresentazione di un conduttore

Dove R e L sono la resistenza e l'induttanza longitudinale e C e G sono la capacità e la conduttanza trasversale per un tratto l unitario di conduttore.

La resistenza R, oltre ad aumentare all'aumentare della temperatura, aumenta anche all'aumentare della frequenza del segnale. Tale fenomeno è causato dalla tendenza della corrente ad concentrarsi sulla superficie del conduttore ed è chiamato effetto pelle. La variazione è proporzionale alla radice quadrata della frequenza del segnale, secondo la formula:

$$R = k \cdot R_0 \cdot d \cdot \sqrt{f}$$

dove k è una costante che dipende dal tipo di conduttore, avente diametro d, e R_0 è la resistenza in corrente continua.

L'induttanza tiene conto dell'effetto dovuto al campo magnetico generato da circolazione della corrente nel conduttore stesso ovvero dell'autoinduttanza, che chiameremo L_i e di quello dovuto alla presenza di due conduttori ovvero alla mutua induttanza L_e . L'induttanza complessiva si può calcolare, quindi, come somma $L = L_i + L_e$.

Poiché L_i è inversamente proporzionale al diametro e alla radice della frequenza secondo la formula:

$$L_i = k' \cdot L_0 \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}}$$

con $L_0 = \mu_0 / 8\pi$ induttanza a bassa frequenza e k' una costante che dipende dal tipo di conduttore, possiamo dire che al crescere della frequenza, L_i decresce mentre L_e resta invariata in quanto dipende dalla distanza tra i conduttori e dal loro diametro. Bisogna, comunque, considerare che L_i è piccola rispetto a L_e per cui complessivamente possiamo affermare che l'induttanza varia poco con la frequenza.

La capacità C rappresenta le capacità parassite dovute alla differenza di potenziale tra i due conduttori ed è proporzionale alla costante dielettrica dell'isolante interposto. Nel caso di un conduttore di diametro d distante D da un piano (con $D > 1,25 \cdot d$) abbiamo che:

$$C = k'' \frac{\varepsilon}{\ln\left(\frac{2D}{d}\right)}$$

dove k'' è una costante e ε è la costante dielettrica relativa dell'isolante. C pertanto, risulta dipendente dalla natura del dielettrico e dalla geometria del circuito.

Infine, la conduttanza G è dovuta alle correnti di dispersione tra i conduttori, dovuta all'imperfezione dell'isolamento, ed è normalmente trascurabile. La conduttanza è condizionata dalla natura dell'isolante interposto, dalla frequenza del segnale e dalla distanza tra conduttori.

Ora, concentrandoci sull'impedenza Z per unità di lunghezza, dato che:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

possiamo dire che il cavo ha un'impedenza per unità di lunghezza variabile in funzione della frequenza, in particolare con una resistenza proporzionale alla radice quadrata della frequenza ed una induttanza quasi costante. Nel grafico di figura 53 vediamo l'andamento dell'impedenza lineare in funzione della frequenza per alcune sezioni di cavi.

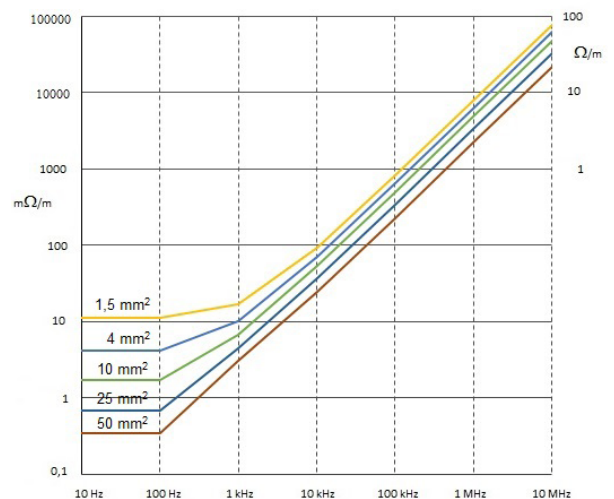


Figura 53: impedenza in funzione della frequenza per alcuni cavi

4. Effetti e controllo dell'interferenza

Si può notare come, salendo con la frequenza, convenga avere più cavi in parallelo di sezione inferiore piuttosto che un cavo solo di sezione maggiore.

Possiamo quindi trarre alcune conclusioni circa il comportamento dei cablaggi rispetto ai disturbi:

- l'impedenza di un cavo aumenta in funzione della lunghezza e della frequenza; per i disturbi ad alta frequenza, quindi, i conduttori di messa a terra devono essere della minor lunghezza possibile, eliminando eventuali eccedenze e collegandosi a terra nel punto più vicino possibile. Ad esempio, per un apparecchio posto nella cella di bassa tensione, è importante collegarsi alla struttura metallica del quadro elettrico nel punto più vicino (fig. 54).

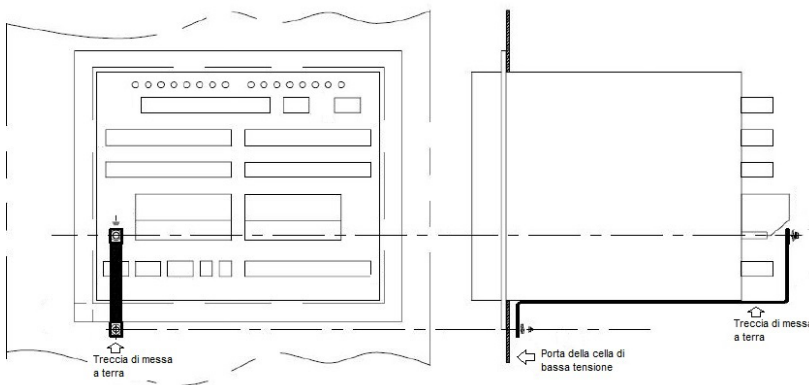


Figura 54: esempio collegamento a terra di un IED

- in quanto possibili punti di ingresso per i disturbi, tutti i cablaggi interni devono essere della minor lunghezza possibile; inoltre, nel caso in cui i conduttori siano collegati ad apparecchi fonte di disturbi interni al quadro, questi conduttori potrebbero comportarsi come antenne emettendo disturbi irradiati. Esistono due tipi di antenne: a dipolo (fig. 55a) e unipolare (fig. 55b); l'effetto antenna si verifica per lunghezze di conduttore pari a $l=\lambda/2$ nel primo caso e a $l=\lambda/4$ nel secondo.

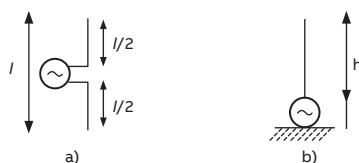


Figura 55: antenna a dipolo a) e antenna unipolare b)

È quindi importante evitare queste due lunghezze in funzione della frequenza del disturbo emesso dall'apparecchio. Poiché il caso più realistico è il secondo e ricordando che $\lambda=c/f$, otteniamo:

$$l = \frac{c}{4 \cdot f} = \frac{75}{f(\text{MHz})}$$

Ad esempio, alla frequenza di 80 MHz (una delle frequenze previste dalla prova) l risulta uguale a circa un metro. In questi casi è bene, quindi, utilizzare cavi di lunghezza inferiore;

- posizionare separatamente i cavi di classi diverse. Circa la suddivisione in classi, si definiscono due classi di segnali per ricevitori:
 - Segnali di classe 1, altamente suscettibili (es. segnali prodotti da sensori, celle di carico, ecc.);
 - Segnali di classe 2, suscettibili (es. circuiti di segnali analogici);e due classi di segnali per sorgenti quali:
 - Segnali di classe 3, perturbatori (es. alimentatori a diodi, elettrovalvole, ecc.)
 - Segnali di classe 4, altamente perturbatori (es. convertitori di potenza come inverter e alimentatori switching, teleruttori, motori a spazzole, ecc.).

Al fine di ridurre gli accoppiamenti, per quanto possibile è buona norma stendere i cavi vicino alle parti metalliche collegate al potenziale di riferimento (piastre di montaggio, armadio elettrico, ecc.). Inoltre, è importante utilizzare per i conduttori di classe 3 e 4, canaline, condotti di cavo o tubi in metallo invece che in plastica (fig. 56).



Figura 56: esempi canaline metalliche

Cavi relativi a classi di segnale diverse è bene siano posizionati con percorsi diversi e opportunamente distanziati. Le distanze minime di riferimento, puramente indicative, possono essere le seguenti:

Distanza minima in mm	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Classe 1		150	300	500
Classe 2			150	300
Classe 3				150

Nel caso in cui cavi di classi 1-2 e 3-4 dovessero eventualmente incrociarsi, tenere un angolo di intersezione di 90°;

Nel caso in cui la distanza tra i cavi di classe 1 e quelli di classe 4 sia inferiore a 1 m, la Norma suggerisce di stendere comunque i primi in condotti metallici chiusi.

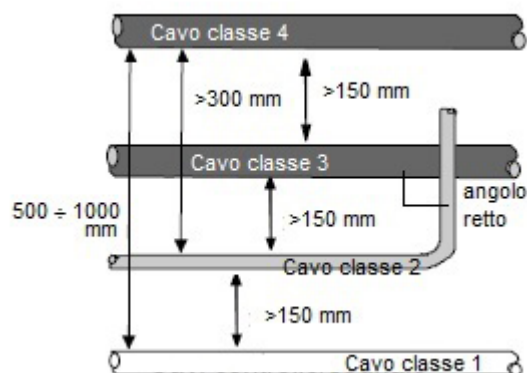


Figura 57: schema distanze minime tra cavi di classi diverse

- Utilizzo dei cavi intrecciati per evitare i disturbi di modo comune (fig. 58). Il doppino intrecciato (o UTP da Unshielded Twisted Pair) è costituito da due fili isolati intrecciati tra loro al fine di ridurre i disturbi dovuti ai campi elettromagnetici esterni. I campi elettromagnetici, infatti, inducono nelle spire correnti di verso opposto che tendono ad annullarsi. Questo sistema presenta indubbi vantaggi in termini di economicità e flessibilità tuttavia non elimina completamente il fenomeno, specialmente per frequenze dell'ordine di 1 GHz.

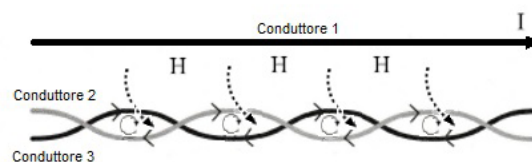


Figura 58: schema accoppiamento per un doppino intrecciato

- Utilizzo dei cavi schermati. I cavi schermati sono efficaci nella trasmissioni ad alta frequenza, nel collegamento tra strumenti di misura e, in generale, nella trasmissione di segnali di debole intensità. La contropartita sono il costo superiore, la rigidità del cavo e la maggior complessità delle connessioni. Il modello del cavo schermato è illustrato in figura 59:

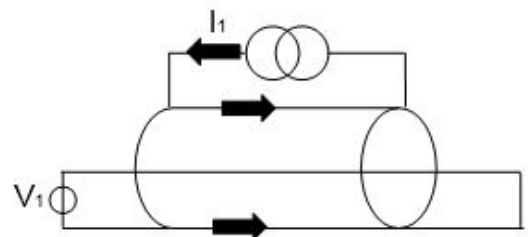


Figura 59: circuito rappresentativo per un cavo schermato

Se un disturbo in corrente I_1 fluisce attraverso lo schermo, come conseguenza si produce un disturbo in tensione V_1 dato da:

$$Z_T = \frac{V_1}{I_1}$$

Poiché uno schermo ideale ha un impedenza tipica $Z_T = 1...10 \text{ m}\Omega$, ne consegue che lo schermo contribuisce a diminuire il disturbo di Z_T volte. Lo schermo (fig. 60) è costituito normalmente da una maglia conduttiva (a) o da un conduttore di rame avvolto (b) o da un film di alluminio avvolto a sigaretta o ad elica (c) che avvolge i conduttori centrali; per ridurre l'effetto della aperture nella maglia e permetterne l'efficacia anche a frequenze più alte, si ricorre a più schermi a tecnica mista.

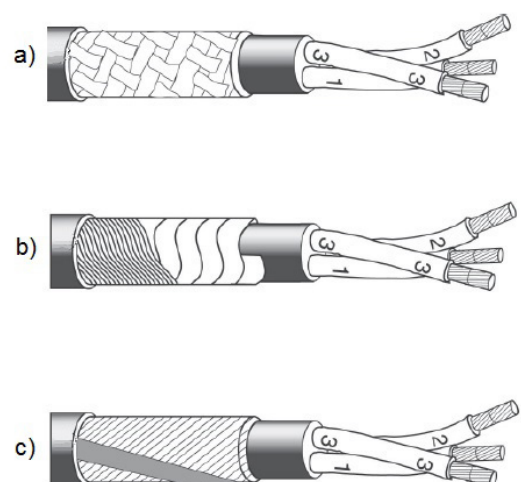


Figura 60: schermo a maglia conduttiva a), a conduttore avvolto b), a elica c)

4. Effetti e controllo dell'interferenza

Queste soluzioni hanno però lo svantaggio di aumentare ulteriormente il costo del cavo e di renderlo sensibile ad eventuali danneggiamenti per piegature; inoltre fenomeni di ossidazione possono pregiudicarne la continuità e, quindi, l'efficacia. Nel caso di uno schermo tubolare continuo, l'impedenza tipica dipende dalle caratteristiche geometriche e del materiale mentre l'ammettenza è nulla in quanto il campo elettrico non penetra attraverso lo schermo continuo, privo di aperture. Con uno schermo a maglia (fig. 61), invece, è necessario tener conto

delle aperture e, quindi, della inevitabile penetrazione delle linee di forza del campo magnetico attraverso le aperture stesse. Si può esprimere l'impedenza tipica di trasferimento come:

$$Z_T = \sqrt{Z_d^2 + (2\pi f M)^2}$$

dove Z_d è l'impedenza dello schermo tubolare mentre il termine M rappresenta la mutua induttanza dovuta alla penetrazione del campo magnetico attraverso le aperture (r_1 è il raggio interno dello schermo, L la sua lunghezza, P il passo della maglia e α l'angolo di inclinazione).

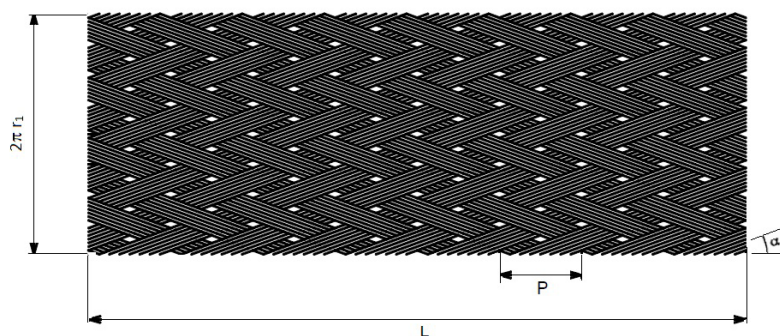


Figura 61: schermo a maglia

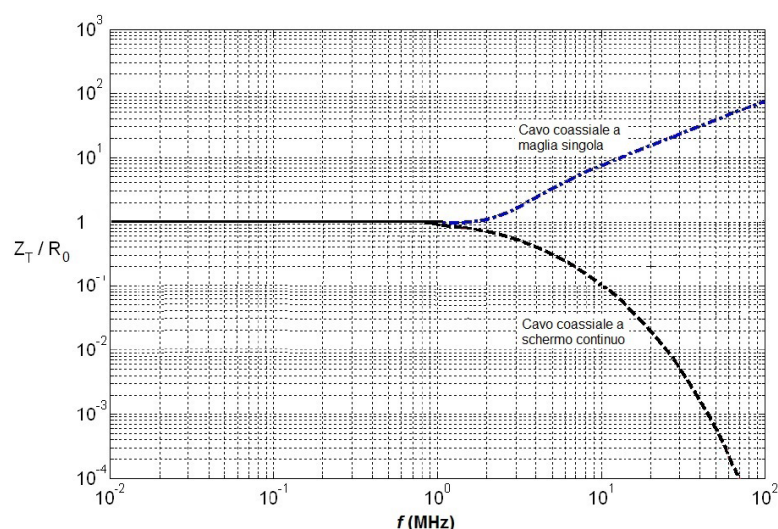


Figura 62: impedenza di trasferimento per un conduttore con schermo a maglia e con schermo continuo

Nel grafico di figura 62 si vede che l'impedenza di un cavo (rispetto alla resistenza in continua R_0) con schermo a maglia coincide con quello a schermo continuo fintanto che l'ampiezza delle aperture diventa confrontabile con le lunghezza d'onda del disturbo, dopo di che le due curve divergono e in particolare lo schermo a maglia comincia a perdere efficacia. Lo schermo deve essere collegato ad entrambe le estremità altrimenti potrebbe funzionare come guida d'onda o come antenna.

Uno dei motivi addotti per connettere a terra una sola delle due estremità è che se si verifica una significativa differenza di tensione tra i punti di connessione ad ogni estremità dello schermo vi è un passaggio di corrente che può anche danneggiare il cavo. Tale differenza di tensione non è insolita nei grandi impianti o nei collegamenti tra edifici. La soluzione migliore, tuttavia, è quella di migliorare la rete di terra, ad esempio utilizzando una rete magliata con un opportuno numero di picchetti in parallelo, e mantenere la protezione dello schermo mettendo a terra entrambe le estremità.

Nel caso di lunghe tratte, laddove sia necessario suddividere il cavo in più parti, è necessario utilizzare guarnizioni di tenuta conduttive per la messa a terra delle schermature dei cavi; la connessione migliore deve essere a 360° ovvero deve circondare completamente lo schermo per mantenere l'efficacia della schermatura (fig. 63).



Figura 63: giunzione conduttiva

Poiché abbiamo visto che la soluzione migliore per la schermatura dei disturbi irradiati è quella di mettere a terra entrambe le estremità dello schermo, laddove non fosse possibile evitare il fluire della corrente nello schermo, è possibile utilizzare cavi a doppia schermatura.

In questo caso è possibile mettere a terra una sola delle estremità di ogni singolo schermo secondo lo schema di figura 64:

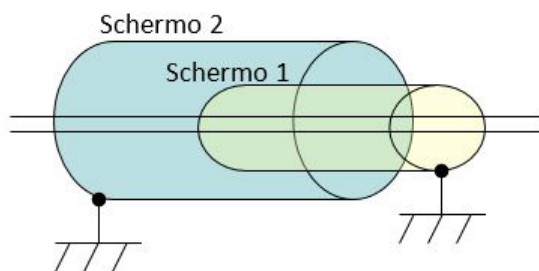


Figura 64: messa a terra cavo a doppio schermo

Il modello di figura 65 illustra come si distribuiscono le capacità parassite all'interno del cavo.

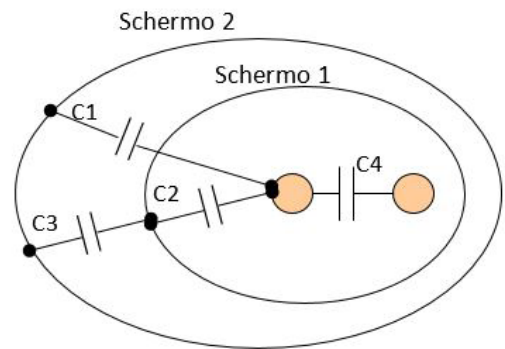


Figura 65: circuito cavo a doppio schermo

La capacità C3 è, di fatto, un ponte per i disturbi tra lo schermo 1 e lo schermo 2 verso terra (fig. 66)

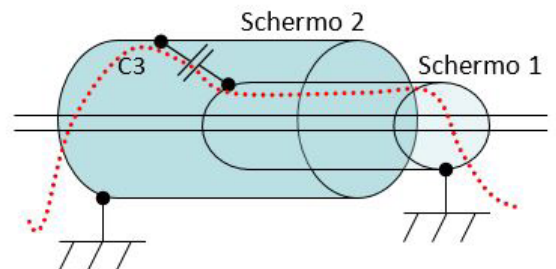


Figura 66: percorso del disturbo in un cavo a doppio schermo

Per cavi lunghi ad alte frequenze, il modello visto è simile a quello del cavo con singolo schermo messo a terra da entrambe le estremità.

Per quanto riguarda la protezione contro i campi magnetici invece, l'unica soluzione è quella di incapsulare le parti da proteggere all'interno di contenitori di materiale ferromagnetico, aventi una permeabilità magnetica superiore a quella dell'aria.

4. Effetti e controllo dell'interferenza

4.3.3 La terra e la massa

E' necessario innanzi tutto definire il significato di terra e massa. Per terra, dal punto di vista elettrico, si intende il terreno avente convenzionalmente il potenziale di riferimento a 0 V. In particolare, si definisce terra di protezione uno o più punti di un sistema o di un'installazione destinati alla sicurezza elettrica e, per esclusione, terra funzionale uno o più punti non destinati a scopi di sicurezza.

Il simboli elettrici sono illustrati in figura 67:



Figura 67: simboli di terra

La messa a terra è quindi quell'insieme di elementi atti a portare un conduttore al potenziale del terreno.

La terra non va confusa con la massa che, diversamente, è un punto o un elemento conduttivo che costituisce il potenziale di riferimento di un'apparecchiatura o di un circuito e che può essere collegato o meno alla terra. Il simbolo di riferimento in questo caso è illustrato in figura 68:



Figura 68: simbolo di massa

Se la massa non viene mantenuta allo stesso potenziale della terra attraverso la messa a terra, allora viene denominata "flottante". L'argomento è ampiamente dibattuto nella Norma 61000-5-2. Va sottolineato che l'obiettivo primario del sistema di terra è quello di garantire la sicurezza delle persone e la protezione degli impianti. Ciò vale in particolare per le fulminazioni e i guasti nel sistema di potenza. Infatti, le forti correnti legate a questi due fenomeni richiudendosi attraverso terra possono provocare sovratensioni pericolose. Il secondo obiettivo del sistema di terra è quello di costituire da tensione di riferimento comune per tutti i sistemi sensibili ai disturbi, contribuendo alla loro mitigazione.

Per quanto riguarda le problematiche EMC, l'aspetto da curare nel progetto di un sistema di terra è quello del layout, mentre sono relativamente importanti, soprattutto alle alte frequenze, il tipo e la dislocazione degli elettrodi e la sezione dei conduttori di terra. Dal punto di vista del layout, la configurazione raccomandata è quella a elettrodi multipli collegati tra loro da collegamenti equipotenziali. Negli edifici più alti di 20 metri, tali collegamenti devono essere ripetuti ogni 20 metri di altezza (fig. 69).

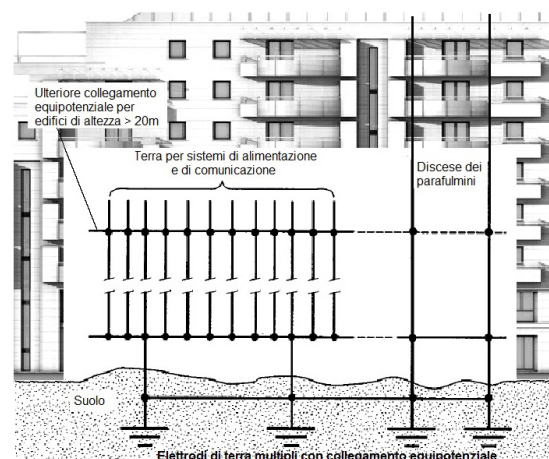


Figura 69: esempio di collegamenti di terra in un edificio

Tipicamente in un edificio commerciale o industriale, ogni piano ha la propria rete di terra generalmente magliata. Queste reti dovrebbero essere collegate tra loro, con un numero di collegamenti equipotenziali ≥ 2 , e con i picchetti di terra; sono quindi possibili molteplici percorsi per i disturbi che dipendono dalla frequenza del disturbo stesso. Complessivamente si può affermare che il sistema di terra magliato copre un ampio spettro di frequenze di disturbi (da 0 fino a decine di MHz) mentre viceversa sono da evitare collegamenti a stella tra le masse. Soprattutto nel caso di edifici industriali, è bene separare in zone gli apparecchi a seconda della loro natura e in modo da aumentare la distanza, per quanto possibile, tra sorgenti di disturbi e carichi sensibili; la distanza, infatti, è uno dei metodi per la mitigazione delle interferenze. Ad esempio, nella figura 70, la sala computer ha una propria massa mentre i motori, tipica fonte di disturbi, sono collegati equipotenzialmente a una certa distanza.

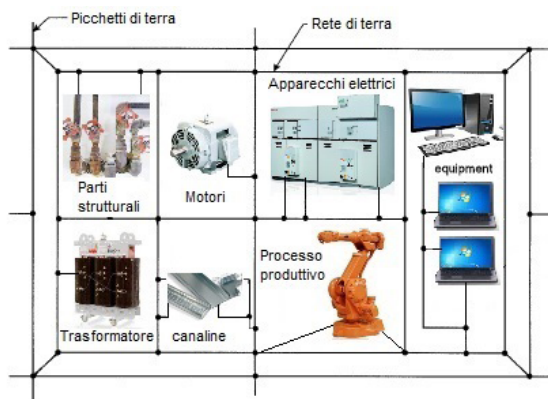


Figura 70: esempio di separazione in zone in un edificio industriale

In generale, dal punto di vista EMC, è necessario eliminare o ridurre gli anelli di massa, ovvero quelle superfici che si vengono a creare tra il conduttore di terra e un cavo funzionale (figura 71 a). Ciò può essere fatto collegando i contenitori metallici delle apparecchiature tramite un collegamento equipotenziale che segua il cavo (figura 71 b) o, viceversa, far seguire al cavo il collegamento equipotenziale esistente (figura 71 c).

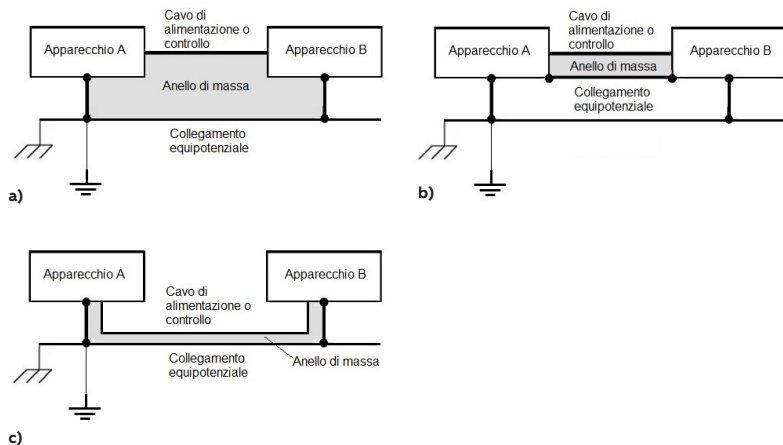


Figura 71: varie configurazioni di anelli di massa

Per quanto riguarda i collegamenti equipotenziali, di cui si è fatto cenno nel paragrafo precedente, si possono rappresentare con il circuito semplificato di figura 72:

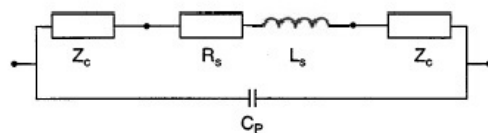


Figura 72: circuito semplificato di collegamento equipotenziale

dove R_s e L_s sono resistenza ed induttanza dell'elemento di collegamento, Z_c è l'impedenza di contatto e C_p sono le capacità parassite. Si vede come la resistenza di contatto giochi un ruolo importante e quindi, ovviamente, siano da evitare connessioni su superfici verniciate se non rimuovendo la vernice stessa. Una volta rimossa la vernice, è bene ricordarsi di proteggere quel punto con vernice o grasso protettivo. I metodi di connessione possono poi essere diversi, tra i quali la saldatura, tramite viti o bulloni, tramite rivetti, ecc. I valori tipici del collegamento dipendono invece sostanzialmente dalla sua lunghezza e dalla sua forma. In generale, se sono presenti fenomeni ad alta frequenza (> 10 MHz) è buona norma evitare i conduttori a sezione circolare privilegiando conduttori piatti o trecce. Il tipico valore del rapporto tra lunghezza e larghezza della treccia deve essere inferiore 5. In ogni caso tali collegamenti dovranno essere i più corti possibile evitando gli anelli di massa visti precedentemente.

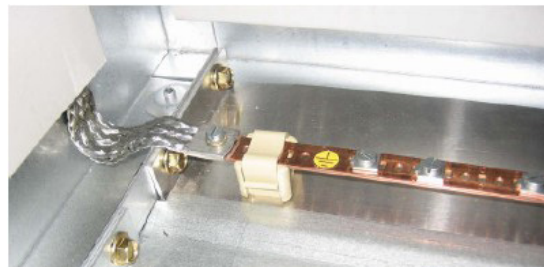


Figura 73: connessione alla sbarra di terra in un pannello di MT

Per le celle dei quadri normalmente è sufficiente una singola connessione (fig. 73).

5. Elenco riassuntivo degli accorgimenti per la mitigazione delle interferenze

Di seguito viene raccolta in una tabella sintetica l'elenco degli accorgimenti visti nei capitoli precedenti; tale elenco non è esaustivo e alcune delle buone pratiche suggerite potrebbero non essere applicabili o risolutive in un determinato contesto.

N°	Descrizione	✓
1	Utilizzare reti di terra magliate.	☐
2	Collegare tutte le strutture metalliche dell'edificio alla rete di terra (elementi di carpenteria metallica, armature del cemento armato, tubature e condotti metallici, canaline, telai metallici, grigliati ...).	☐
3	Nelle aree destinate a contenere materiali suscettibili ai disturbi è consigliabile rinforzare rete di terra ad esempio aumentando il numero delle connessioni equipotenziali o realizzando di un piano di massa speciale a maglie più strette.	☐
4	Ridurre al minimo la lunghezza dei collegamenti di messa a terra utilizzando profilati piatti, conduttori flessibili intrecciati o multi-intrecciati per ottenere un basso livello di impedenza ai disturbi irradiati.	☐
5	I circuiti devono essere bilanciati, possibilmente con andata e ritorno nello stesso cavo, meglio se twistato.	☐
6	Stendere i cavi il più vicino possibile alla rete di terra o ai collegamenti equipotenziali per ridurre gli anelli di massa.	☐
7	Separare i cavi di classe diverse (potenza, bassa potenza, misura e controllo) o comunque installarli con percorsi diversi. Se non fosse possibile, rispettare le distanze minime o utilizzare canaline o condotti metallici per i cavi di controllo. Se necessario, incrociare i cavi a 90°.	☐
8	Utilizzare cavi schermati per tutti i cavi di segnali analogici e digitali (classi 1 e 2).	☐
9	Controllare i connettori ai capi dei cavi; una connessione povera può rendere inefficace la scelta di un ottimo cavo. I connettori devono prevedere la messa a massa dello schermo a 360° su tutti i cavi schermati di ingresso nella cella strumenti.	☐
10	Mettere a terra lo schermo dei cavi schermati ad entrambe le estremità.	☐
11	Evitare di interrompere lo schermo dei cavi. Se necessario utilizzare connettori con messa a massa a 360° e con la più bassa impedenza possibile.	☐
12	Verificare la presenza di antenne di telecomunicazioni nelle vicinanze (es, radar, trasmissioni radio/TV, radio amatori, apparecchi a microonde, ecc). Considerare frequenze e distanze.	☐
13	Verificare che tutti i dispositivi formino una gabbia di faraday contro i disturbi irradiati. Considerare tutte le parti metalliche dei quadri elettrici, canaline, tubature e condotti, celle strumenti, cablaggi, motori, ecc.	☐
14	Ridurre al minimo le eccedenze dei cavi all'interno del quadro.	☐
15	Se si utilizzano canaline metalliche, fissarle direttamente alle piastre d'installazione o al telaio. Non lasciare cavi sospesi che possono fungere da antenna.	☐
16	Mantenere i doppi intrecciati il più vicino possibile ai morsetti e ridurre al minimo possibile la lunghezza del serrafilo.	☐
17	Qualunque conduttore che risulti inutilizzato o di scorta deve essere messo a terra da entrambe le estremità.	☐
18	Garantire la continuità delle canaline e tubi metallici sovrapponendo le estremità ed imbullonandole. Nel caso in cui ciò non sia possibile collegare le estremità tramite una treccia corta.	☐
19	Nell'analizzare i disturbi condotti, considerare sempre il più ampio range di frequenze possibili.	☐
20	Filtrare l'alimentazione e i cavi perturbatori verso i disturbi condotti, a partire dall'ingresso dell'armadio o dei dispositivi, con opportuni filtri o altri mezzi idonei: ferriti nei cavi di alimentazione, AC o DC choke (per armoniche ma anche per disturbi ad alta frequenza).	☐
21	Collegare i filtri elettricamente al telaio o alla sbarra di terra sul fondo dell'armadio.	☐
22	I quadri elettrici devono avere superfici conduttive e non verniciate in tutti i necessari punti di contatto.	☐
23	Utilizzare guarnizioni conduttive su porte e coperture e ovunque necessario.	☐
24	Assicurarsi che tutte le parti metalliche del quadro siano collegate alla rete di terra tramite collegamenti equipotenziali.	☐
25	Minimizzare al massimo le forature negli armadi e nei quadri elettrici.	☐
26	Verificare la marcatura CE su tutti i prodotti ausiliari interni al quadro.	☐
27	Non utilizzare lampade fluorescenti per l'illuminazione degli armadi di comando ma, se possibile, utilizzare lampade ad incandescenza.	☐
28	Se possibile gli armadi contenenti apparecchi emittenti e quelli contenenti apparecchi sensibili dovrebbero essere distinti e separati.	☐

6. Verifica e validazione dei prodotti elettronici

In generale, per lo sviluppo dei prodotti è importante disporre di un sistema di laboratori dotato di apparecchiature all'avanguardia per l'esecuzione di prove materiali, sperimentali, climatiche, durata meccanica, compatibilità elettromagnetica dielettriche e di collaudo. In particolare, per i prodotti elettronici, sono fondamentali i laboratori di elettronica e di compatibilità elettromagnetica.

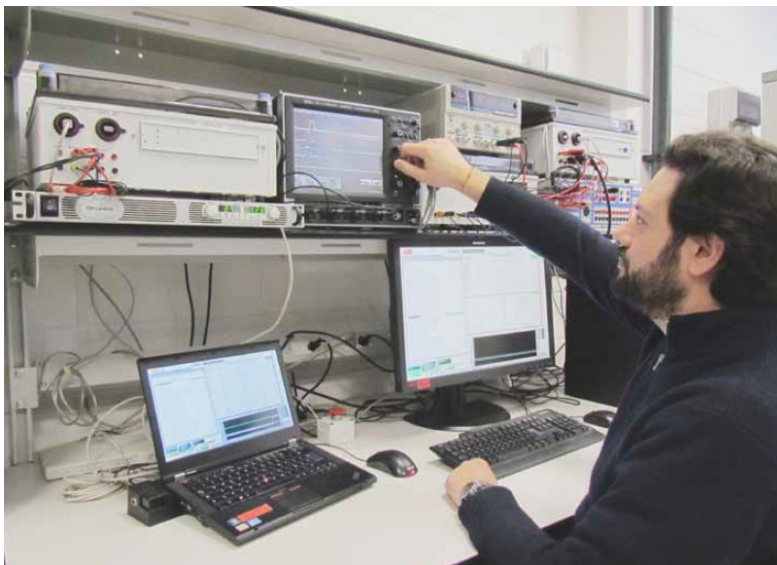


Figura 74: il laboratorio elettronico di ABB a Dalmine

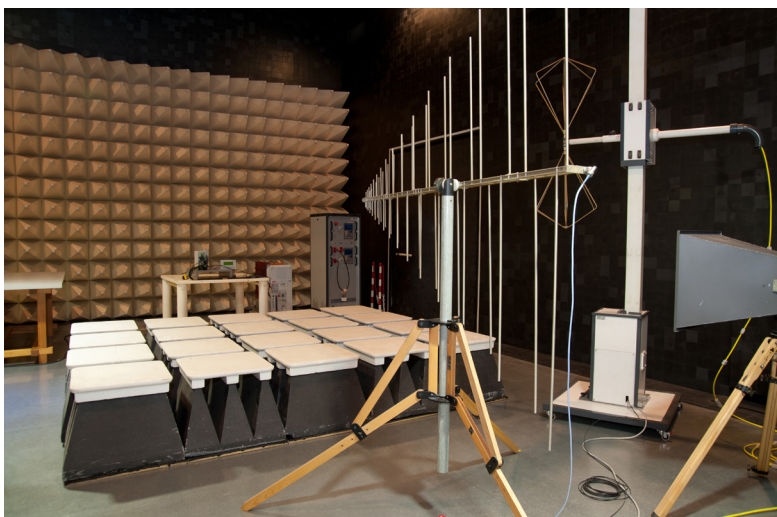


Figura 75: la camera anecoica di ABB a Dalmine

6.1 Il laboratorio di elettronica

Il laboratorio elettronico (fig. 74) è nato come supporto alle attività di ricerca e sviluppo della progettazione elettronica. Mette a disposizione una grande varietà di strumenti che permettono di eseguire molteplici attività di verifica e validazione, quali:

- debugging su prototipi elettronici
- progettazione e realizzazione di banchi automatici test
- analisi termica e prove climatiche

6.2 Il laboratorio EMC

Come già descritto nei capitoli precedenti, la compatibilità elettromagnetica – EMC – consiste in un insieme di competenze, tecnologie e norme che portano l'elettronica a lavorare senza problemi e senza disturbare altri dispositivi in un determinato ambiente. Il tema della compatibilità elettromagnetica, oggi, è molto importante dato il forte incremento dell'elettronica negli apparecchi elettrici sia in campo industriale e civile, che nel campo dell'informatica e delle telecomunicazioni nonché per il vasto utilizzo di sistemi di comunicazione wireless. Altri elementi da considerare sono la progressiva sostituzione di contenitori metallici con involucri plastici, e il cambiamento della tipologia di segnali con tensioni sempre più basse e frequenze sempre più alte.

Data la complessità del tema, la possibilità di attingere a competenze consolidate nella fase di sviluppo e validazione di un prodotto elettronico è di fondamentale importanza. Il laboratorio di compatibilità elettromagnetica di Dalmine offre quest'opportunità, lavorando a fianco della ricerca e sviluppo fin dalle prime fasi del progetto. Il laboratorio è certificato ed è in grado di effettuare più di venti tipi di test EMC diversi in accordo alle più recenti normative e ai più severi requisiti. Il laboratorio, infatti, è in grado di effettuare test quali:

- prove di immunità condotte a bassa ed alta frequenza, Fast Transients/Burst, Surge, Ring wave, onde oscillatorie smorzate da 100 kHz fino a 30 MHz nonché tutte le tipologie di disturbi a bassa frequenza su apparati monofase (fluttuazione di tensione, variazioni di frequenza, ondulazione residua "Ripple", abbassamenti e buchi di tensione e corrente, ecc.);
- prove immunità irradiate di campo elettrico (fino a 3 GHz) e campi magnetici a frequenza industriale e impulsivi;

6. Verifica e validazione dei prodotti elettronici



Figura 76: la camera schermata per le prove condotte

- prove di immunità alle scariche elettrostatiche;
- misure di emissione condotta e irradiata;
- numerose prove in accordo a varie richieste normative (capitolati) per diversi tipi di apparecchiature.

Il laboratorio occupa un'area di 130 m² ed è dotato di un proprio sistema di messa a terra costituito da una maglia di rame di 50 cm con elettrodi di terra indipendenti. Il sistema è, quindi, connesso al sistema di terra dello stabilimento in un unico punto.

L'area è divisa in quattro parti:

- l'area per l'accettazione ed il controllo degli apparecchi da testare, con il deposito della strumentazione e due quadri di trasformazione da 25 kVA e 70 kVA;
- la camera schermata in alluminio per i test di tipo condotti (fig. 76);
- la camera semi-anecoica per i test irradiati (fig. 77);
- la pre-camera di misura con pareti schermate per la strumentazione (compresi i computer) di supporto alle due camere di test.

In particolare, la camera semi-anecoica (fig. 78) consiste in una camera schermata costituita da pannelli di acciaio galvanizzato coperti da mattonelle di ferrite sui quattro lati e sul soffitto. Coni assorbenti, al fine di prevenire riflessioni del campo elettromagnetico, sono inoltre disposti sul pavimento e in altre aree interne sensibili.

Tutta l'energia elettrica fornita nella camera è adeguatamente filtrata all'esterno e inoltre la camera è fornita di un sistema di comunicazione in fibra ottica. All'interno vi è una tavola rotante di 2 m di diametro motorizzata (con carico massimo 1000 kg) e un posizionatore automatico dell'antenna per altezze da 1 a 4 m. Le misure di accettazione della camera sono state effettuate da enti esterni indipendenti. Le misure della schermatura sono state condotte in conformità con MIL-STD 285, ottenendo sempre valori superiori a 100 dB di attenuazione. Le misure di uniformità di campo sono state prese in conformità con la procedura indicata dall'ultima



Figura 77: interruttore di MT in prova nella camera anecoica



Figura 78: la camera semi-anecoica di ABB a Dalmine

edizione della norma IEC 61000-4-3 su 16 punti di misura con una distanza di prova di 3 m (18 V / m) e 1 m (54 V / m), ottenendo valori che non differiscono di -0 dB / +6 dB dal valore del campo di riferimento in più del 75% dei punti su tutta la banda. Le misurazioni NSA (Normalized Site Attenuation) sono state prese usando il metodo cilindrico, da 30 MHz a 1 GHz, misurando l'attenuazione della camera tramite un'antenna polarizzata orizzontalmente e verticalmente verificando che differisca meno di 4 dB dal valore di attenuazione in un sito ideale.

Queste misurazioni confermano che la camera è adatta ad ospitare prove di immunità irradiata e misurazioni delle emissioni in conformità con gli standard CISPR. Sebbene i test pre-conformità delle emissioni irradiate possono essere condotte anche in camere completamente anecoiche con dimensioni compatte, una grande camera come quella utilizzata nella fabbrica ABB di Dalmine è lo strumento idoneo e consigliato dalla normativa.



Figura 79: prova irradiata

Come si è visto nei capitoli precedenti, le prove definite nella normative per dimostrare la conformità sono numerose e variano da prodotto a prodotto. In figura 79 vediamo un esempio di prova irradiata utilizzando una ricetrasmittente nelle immediate vicinanze delle apparecchiature. Un elemento importante nell'organizzazione di laboratorio EMC è la certificazione di qualità; per il laboratorio di ABB di Dalmine la certificazione è stata ottenuta nel 1998 ed ampliata negli anni seguenti per estendere le prove su prodotti specifici di bassa, media ed alta tensione. La certificazione di qualità è un segno delle competenze tecniche e di gestione dei laboratori di prova ed è quindi molto importante. La funzione di Ente di accreditamento viene effettuata in Italia da ACCREDIA (Ente Nazionale Italiano per l'accreditamento dei laboratori). Operando in conformità alla norma UNI CEI EN 45003, l'ente di accreditamento controlla e sorveglia nel tempo la conformità dei laboratori con i propri requisiti e con la norma UNI CEI EN ISO / IEC 17025.

7. Conclusioni

Come si è visto nei capitoli precedenti, la compatibilità elettromagnetica è un tema molto complesso. Tuttavia l'analisi teorica degli specifici fenomeni può fornire indicazioni importanti per la soluzione del problema dell'immunità. A tal fine, questo quaderno di applicazione tecnica, che non ha la pretesa di essere risolutivo nell'affrontare tali problematiche, fornisce utili spunti teorici e applicativi. Una volta applicate tutte le precauzioni e le buone pratiche di installazione è necessario, infine, testare i dispositivi, le apparecchiature o i sistemi in modo da verificare il raggiungimento del grado di immunità richiesto. A tal scopo, è opportuno rivolgersi a

laboratori competenti dotati della necessaria esperienza e di idonei dispositivi di test. Soprattutto per i disturbi irradiati, esperienza e risorse sufficienti sono condizione necessaria per la soluzione del problema EMC. I quadri di media tensione, ad esempio, essendo caratterizzati dalla presenza di numerose apparecchiature ausiliarie, dalla circolazione di correnti primarie anche elevate e da significativi transitori di tensione e corrente dovute alle operazioni degli apparecchi di manovra, in particolare delle interruzioni, devono essere provati in laboratori idonei anche in considerazione delle notevoli dimensioni fisiche.



Figura 80: Pannelli di MT in prova nel laboratorio EMC di ABB a Dalmine



Per maggiori informazioni contattare:



More product information:

abb.com/mediumvoltage

Your contact center:

abb.com/contactcenters

More service information:

abb.com/service