



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA MECCATRONICA

TESI DI LAUREA

VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA NEI QUADRI ELETTRICI

Relatore: Ing. Diego Dainese

Laureando: Ferdinando Pompanin

*Matricola:*1218774

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

Lo scopo principale di questa tesi è di fornire una linea guida per la progettazione di quadri elettrici e pannelli di controllo che soddisfino i requisiti EMC. La norma IEC 63216 *“Apparecchiature a bassa tensione - Valutazione della compatibilità elettromagnetica per apparecchi a bassa tensione e per apparecchiature assiemate (quadri BT)”* ha come scopo il riassumere la normativa EMC vigente in modo da fornire regole chiare per il rispetto di questi requisiti.

In questa tesi verranno analizzate e riportate le tematiche della norma IEC 63216 e di altre relative alla compatibilità elettromagnetica nei quadri elettrici. Si discuterà di come valutare l'EMC dei quadri elettrici e di come intraprenderne una corretta progettazione, nonché dei livelli di emissione/immunità richiesti e come misurarli, dei vari tipi di disturbo e di come ridurre il loro impatto sulle apparecchiature, delle categorizzazioni ambientali per i dispositivi.

INDICE

SOMMARIO	i
INDICE.....	ii
INDICE FIGURE.....	iii
INDICE TABELLE	iii
INTRODUZIONE	1
La compatibilità elettromagnetica	2
1.Fenomeni relativi all' EMC.....	2
2.Cos'è la compatibilità elettromagnetica	3
3.Il concetto di "porte"	5
GLI AMBIENTI	7
1.Categorie di ambienti	7
2.Valori limiti negli ambienti	8
EMISSIONI.....	11
1.Livelli limite di emissione	11
2.Informazioni generali per il testing	14
3.Radiocomunicazioni	15
IMMUNITÀ.....	16
1.Misure per migliorare l'immunità	16
2.Criteri di performance.....	21
3.Livelli di immunità	22
4.Testing per l'immunità	25
VALUTAZIONE EMC, ASSEMBLAGGIO E INFORMAZIONI DA FORNIRE.....	27
1.Valutazione EMC	27
2.Progettazione	30
3.Assemblaggio.....	31
4.Informazioni da fornire	33
CONCLUSIONE	35
BIBLIOGRAFIA	37

INDICE FIGURE

Figura 1.1: schema sul principio da adottare nel definire i livelli per la compatibilità elettromagnetica.....	4
Figura 1.2: schema delle varie interfacce di un generico equipaggiamento	5
Figura 2.1: esempio di ambienti in una locazione industriale	8
Figura 3.1: esempio di misurazione in SAC	14
Figura 4.1: esempio di corretta installazione di un filtro	17
Figura 4.2: esempi di collegamento a massa delle schermature tramite flangia metallica.....	18
Figura 4.3: esempio di canaline portacavi perforate in metallo	19
Figura 4.4: esempio di sezione di canaline schermate con cavi disposti in maniera opportuna	20
Figura 4.5: disposizione raccomandata dei cavi all'interno delle canaline.....	20
Figura 4.6: esempio di collegamenti tra canali	21
Figura 4.7: esempio di interruzione della canalina a causa di un muro.....	21
Figura 5.1: diagramma che riporta i possibili iter da seguire per una corretta progettazione...	31
Figura 5.2: diagramma per valutare la conformità di un sistema	33
Figura 5.3: esempio di dicitura da riportare sul quadro elettrico progettato per ambienti industriali e non residenziali	34

INDICE TABELLE

Tabella 2.1: valori limiti dei vari ambienti.....	9
Tabella 3.1: Limiti di emissione condotti in test site a.c.	11
Tabella 3.2: Limiti di emissione condotti in test site d.c.	12
Tabella 3.3: Limiti di emissione irradiati in test site.....	13
Tabella 3.4: Limiti di emissione irradiate sul posto.....	13
Tabella 4.1: distanza minima da rispettare nella separazione dei cavi.....	19
Tabella 4.2: limiti immunità enclosure port.....	23
Tabella 4.3: limiti immunità signal port	23
Tabella 4.4: limiti immunità AC power port.....	25

INTRODUZIONE

La norma “CEI CLC IEC-TR 63216” è una norma di buona tecnica, non armonizzata, pensata per fornire indicazioni per una corretta valutazione della compatibilità elettromagnetica (EMC) nei quadri elettrici e nei pannelli di controllo che lavorano in bassa tensione, ovvero sino a 1000 V AC o 1500 V DC

Lo scopo principale di questa tesi è, quindi, fornire una linea guida basata sulla norma IEC-TR 63216 per poter valutare la compatibilità elettromagnetica dei quadri elettrici.

I requisiti EMC si considerano soddisfatti se il dispositivo presenta livelli di emissione elettromagnetica e di immunità alle interferenze considerati accettabili per l’ambiente in cui dovrà operare. I valori limiti sono scelti in modo che ci sia una bassa probabilità che vengano superati e quindi che il corretto funzionamento dei dispositivi venga meno.

La norma adotta un approccio detto “modulare” per la valutazione EMC: se i singoli componenti soddisfano i requisiti, allora anche il prodotto finito (in questo caso il quadro elettrico) che li include si può ritenere che soddisfi i requisiti (salvo il caso in cui i componenti vengano assemblati in modo da modificarne l’immunità o l’intensità delle emissioni; in questo caso il prodotto finito andrà sottoposto anche esso alla valutazione EMC).

Nel caso in cui l’equipaggiamento non dovesse raggiungere i requisiti minimi di compatibilità, la IEC-TR 63216 fornisce alcune indicazioni su come aumentare l’immunità del dispositivo, prevalentemente tramite tecniche di schermatura (*shielding*) oppure di segregazione dei cavi. Caso simile anche per i limiti di emissione che, nel caso in cui non siano soddisfacenti, si può intervenire con soluzioni progettuali o l’installazione di apparecchiatura apposita (ad es. filtri).

La struttura di questo lavoro si basa essenzialmente sul flusso logico seguito dalla norma di riferimento, cioè l’individuazione dell’ambiente di lavoro e dei limiti elettromagnetici di immunità ed emissione ad esso associati, per poi quindi procedere alla valutazione di tutte le possibili fonti di emissione e il testing per misurare il livello di immunità.

I valori limite e le metodologie di test presi in considerazione dalla norma provengono da altre norme appartenenti alla serie EN 61000-6 ed EN 55011.

CAPITOLO 1

La compatibilità elettromagnetica

1.Fenomeni relativi all' EMC

I fenomeni che possono compromettere il normale e corretto funzionamento di un equipaggiamento sono molti ed eterogenei, possono avere varia origine, come atmosferica per i fulmini, emissione di onde radio per i dispositivi di comunicazione wireless, un cortocircuito verso terra, etc.

Per via della grande varietà di questi fenomeni, la norma IEC 63216 suggerisce una suddivisione in 3 categorie, sulla base della loro natura:

- Scarica elettrostatica
- Fenomeni a bassa frequenza
- Fenomeni ad alta frequenza

Inoltre, si possono discriminare anche per come interferiscono con il funzionamento dei quadri elettrici, cioè per conduzione o irradiazione.

Nella irradiazione il disturbo si propaga attraverso i mezzi attorno all'equipaggiamento (ad es. l'aria), mentre nella conduzione il disturbo si propaga prevalentemente attraverso i cavi di alimentazione/comunicazione o altri mezzi metallici.

I principali fenomeni correlati alla compatibilità elettromagnetica sono elencati nell'allegato B della norma CEI CLC IEC/TR 63216 e sono:

- Cali di tensione e brevi interruzioni, dovuti a molteplici fenomeni casuali quali variazioni brusche dei carichi o cortocircuiti. Se l'interruzione dura per più di 180 s non viene considerata come una problematica EMC, ma un blackout.
- Sovratensioni transitorie, dovute prevalentemente a fulmini, interruttori e fusibili o commutazione di banchi di condensatori.
- Disturbi sulla sinusoide di rete, dovuti alla generazione di armoniche da dispositivi quali inverter, ma anche dovuti a carichi industriali (che possono indurre fluttuazioni a basse frequenze causanti anche sfarfallio delle luci e quindi disturbo agli operatori). La rete di alimentazione inoltre potrebbe essere utilizzata anche per l'invio di segnali di informazione con picchi fino al 5% della tensione nominale.
- Disturbi del sistema trifase, come per esempio tensioni sbilanciate che possono dare problemi ai motori AC oppure componenti ad alta frequenza sul neutro di un sistema polifase.

- Disturbi elettromagnetici, come nel caso di conduttori nei pressi di correnti alternate che possono essere soggetti ad una forza elettromotrice indotta. A questo tipo di disturbi sono particolarmente sensibili i circuiti elettronici visto che processano segnali a bassa tensione e presentano una grande impedenza. La maggior parte di questi disturbi entrano nei dispositivi attraverso i cavi.
- Campi elettromagnetici (EMF).
- Vari fenomeni transitori, come lo *switching* di interruttori.
- Disturbi da radiazione modulata, è il caso delle telecomunicazioni digitali come cellulari o LAN wireless.
- Sistemi RFID (*radio frequency identification*).
- Scariche elettrostatiche, il ricettore delle cariche viene prima sottoposto al campo elettrico di esse e, successivamente alla rottura del dielettrico, si ha una scarica di corrente con conseguente campo elettromagnetico transitorio. Questo fenomeno dipende fortemente dalle condizioni ambientali.

Un dispositivo può anche essere soggetto a disturbi generati al suo interno (ad es. diafonia). Questo tipo di fenomeni riguarda la funzionalità interna dell'apparecchiatura e l'autocompatibilità; pertanto, non sono presi in considerazione dalla IEC 63216 o da altre norme riguardanti la EMC.

2.Cos'è la compatibilità elettromagnetica

La direttiva EMC definisce la compatibilità elettromagnetica come "l'idoneità di una apparecchiatura di funzionare nel proprio ambiente elettromagnetico in modo soddisfacente e senza produrre perturbazioni elettromagnetiche inaccettabili in altre apparecchiature in tale ambiente".

In ogni ambiente di lavoro sono presenti delle interferenze elettromagnetiche, di diversa natura e intensità variabile, che possono andare a compromettere il normale e corretto funzionamento dei dispositivi elettronici operanti in esso.

Con "ambiente elettromagnetico" si intende la totalità dei fenomeni di tipo elettromagnetici in un certo luogo.

Ogni dispositivo elettronico oltre a subire i disturbi dell'ambiente di lavoro, può esserne anche lui fonte, emettendo interferenze che potrebbero danneggiare altri dispositivi.

Pertanto è necessario utilizzare delle misure di protezione per ridurre i fenomeni di interferenza, rendendoli incapaci di interferire, oppure misure atte ad aumentare

l'immunità degli equipaggiamenti, in modo da non subire un deterioramento delle *performance* a causa dei disturbi.

I livelli di compatibilità sono quindi definiti dalla coordinazione dei limiti di emissione e dai livelli di immunità. L'approccio corretto è di mantenere al di sotto del livello di immunità i limiti massimi di emissione, considerando un certo margine di tolleranza. In questo modo si avranno basse probabilità di superare i livelli di immunità garantendo quindi il corretto funzionamento dei dispositivi.

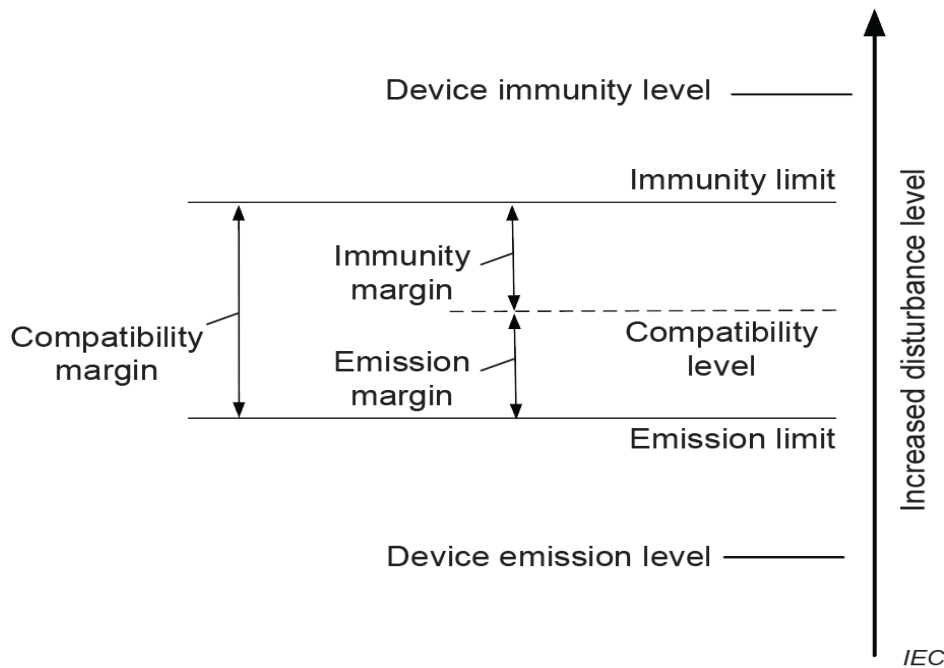


Figura 1.1: schema sul principio da adottare nel definire i livelli per la compatibilità elettromagnetica

In altre parole, si può riassumere che ogni dispositivo non deve "disturbare" e non deve "essere disturbato".

Queste condizioni sono i requisiti essenziali per la compatibilità elettromagnetica.

Valutare correttamente l'EMC e adoperarsi per ottenerla diventa quindi necessario per garantire il corretto funzionamento dei dispositivi che altrimenti, in normali condizioni di lavoro, potrebbero avere comportamenti inattesi oppure danneggiamenti, anche irreversibili.

3. Il concetto di “porte”

La norma IEC 63216, come altre norme aventi per oggetto l'EMC (ad es. serie EN IEC 61000), utilizzano il concetto di porte attraverso cui i disturbi elettromagnetici entrano o escono dagli equipaggiamenti. Come già detto in 1.1, i disturbi possono impattare per irradiazione o conduzione e possono essere di diversa natura; pertanto, considerare come essi entrino ed escano dai dispositivi risulta utile per la valutazione EMC perché la natura e il grado di questi fenomeni dipende dalla tipologia di porta considerata.

Le “porte” sono quindi le interfacce fisiche tra l'equipaggiamento preso in considerazione e l'ambiente elettromagnetico esterno.

La norma IEC/TR 63216 prende in considerazione le seguenti porte (Figura 1.2):

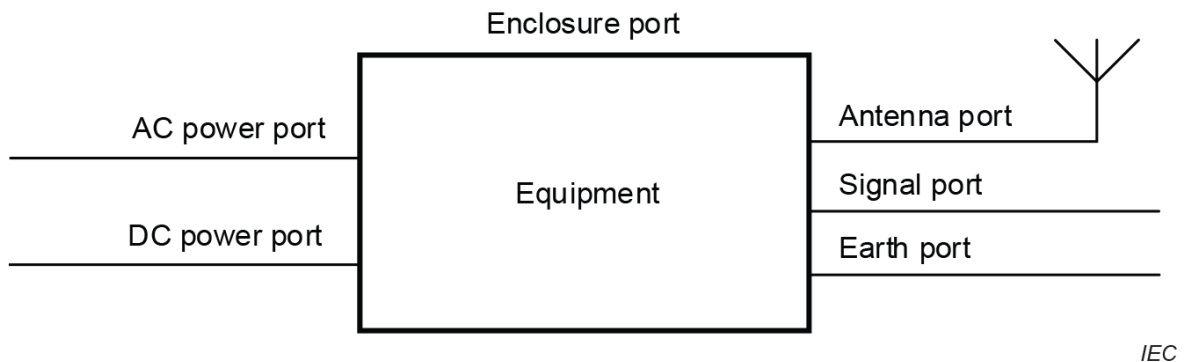


Figura 1.2: schema delle varie interfacce di un generico equipaggiamento

Porta di involucro (*enclosure port*), riguarda esclusivamente i fenomeni irradiati che entrano nell'equipaggiamento tramite il suo alloggiamento (ad es. l'armadio di quadro elettrico).

Porta di segnale (*signal port*), il punto in cui viene connesso un cavo su cui vengono trasmessi, sia in input che in output, segnali di elettrici di informazione (ad es. segnali di controllo).

Porta di terra (*earth port*), il punto in cui viene connesso il cavo di protezione verso terra.

Porta di potenza (*power port*), il punto in cui viene connesso il cavo per l'alimentazione elettrica dei dispositivi. Può essere sia di input che di output.

Porta di antenna (*antenna port*), il punto di connessione di una antenna, può essere sia interna che esterna all'edificio e anche connessa direttamente oppure per mezzo di un cavo.

CAPITOLO 2

GLI AMBIENTI

1. Categorie di ambienti

Uno degli scopi della norma IEC 63216 è quello di definire categorie omogenee di ambienti elettromagnetici; pertanto, la stessa fornisce la definizione di 4 categorie di ambiente elettromagnetico con le rispettive definizioni e valori limiti. In base al tipo di ambiente in cui il dispositivo dovrà operare si avranno, quindi, diversi valori limiti in termini di immunità.

Le tipologie di ambiente discriminate sono:

- E-IV: Distribuzione di potenza
- E-III: Industriale
- E-II: Industria leggera (*Light-industrial*)
- E-I: Zona protetta

L' E-IV è definito dalla rete di distribuzione a bassa tensione dove si hanno cavi esterni o vicini a una stazione ad alta tensione. La protezione contro fenomeni elettromagnetici è di particolare importanza per la continuità e sicurezza del sistema di distribuzione di potenza.

L'E-III è definito dal sistema di distribuzione principale dello stabilimento, deve essere isolato dalla rete pubblica attraverso l'uso di trasformatori oppure con generiche misure di disaccoppiamento con l'obiettivo di mitigare interferenze importanti. L'ambiente elettromagnetico nelle aree industriali è causato prevalentemente dai dispositivi in esso; pertanto, in diverse aree industriali, si avranno diversi tipi di fenomeni elettromagnetici prevalenti. Generalmente le aree industriali sono caratterizzate dalla presenza di una o più delle seguenti installazioni:

- Equipaggiamenti connessi tra loro e lavoranti simultaneamente
- Quantità significativa di energia trasmessa/consumata
- *Switching* significativo di grossi carichi induttivi
- Alti valori di corrente e campi magnetici associati
- Presenza di equipaggiamento industriale, scientifico ad alta potenza o medico

Questo è l'ambiente tipico dei quadri elettrici, infatti coincide con l'ambiente A definito dalla norma IEC 60947-1 "*Apparecchiature a bassa tensione – Parte 1: regole generali*".

L'E-II è definito da un proprio sistema di distribuzione di potenza separato da quello principale dello stabilimento tramite misure di disaccoppiamento (ad es. trasformatori e scaricatori), con l'obiettivo di mitigare interferenze moderate. Un esempio di questo ambiente può essere il sistema di controllo di un macchinario. Le zone A e B definite dalla norma IEC 61131-2 "Controllori programmabili – Parte 2: specifiche e prove delle apparecchiature" ricadono dentro questa categoria ambientale.

L'E-I è definito quando le pratiche di installazione riducono i livelli dell'ambiente industriale al di sotto di quelli dell'E-II. Questo tipo di pratiche possono essere, per esempio, l'installazione di reti di protezioni, convertitori AC/DC, soppressori, etc. La creazione di un ambiente E-I richiede molta cura nel selezionare le misure più appropriate di schermatura e filtraggio. Questa tipologia di ambiente non è ancora presa in considerazione dagli standard EMC e dagli standard di prodotto.

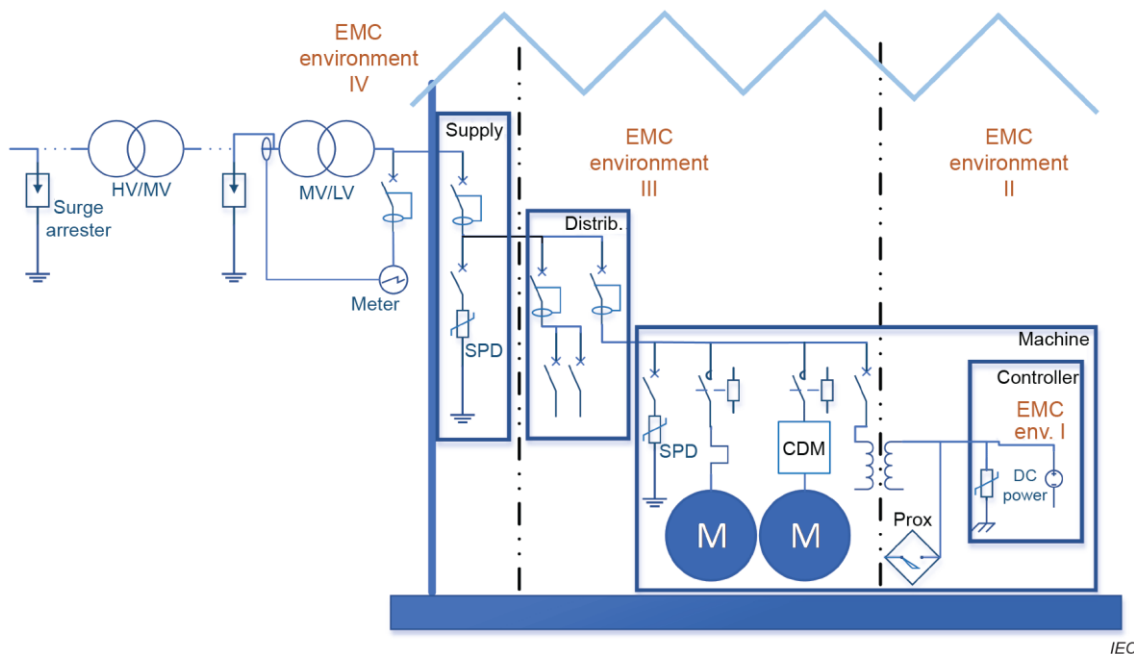


Figura 2.1: esempio di ambienti in una locazione industriale

2.Valori limiti negli ambienti

La norma IEC 63216 fornisce una tabella (Tabella 2.1) contenente i valori di riferimento per la compatibilità elettromagnetica (immunità ed emissione).

Environment	Maximum rated operational voltage (V RMS)	Transient coupling ^a (kV peak) ^b	Power frequency field ^a (A/m)	Immunity levels	Emission limits
E-I Protected	120 ^e	1	-	-	-
E-II Light-industrial	400	2	3	IEC 61000-6-1 ^f IEC 61000-6-7 ^c	CISPR 11 Class A group 1
E-III Industrial	690	4	30	IEC 61000-6-2 IEC 61000-6-7 ^c	CISPR 11 Class A group 1
E-IV Power distribution ^d	1 000	6	100 continuous 1 kA/m 1 s	IEC 61000-6-5 IEC 61000-6-7 ^c	CISPR 11 Class A group 1

^a Typical levels of transient and power frequency field which are generally found in the different environments where switchgear and controlgear are operating at the maximum rated voltage (see also A.2 and Table A.1). For testing levels see Table 2.

^b Power line to earth coupling limited by surge suppressors. Line to line coupling is generally half the value of the line to earth value. Higher transient overvoltages may occur, especially those from atmospheric origin.

^c For safety function of safety-related systems according to IEC 61508 (all parts).

^d Performance criterion A of IEC 61000-6-5 is recommended for protection function.

^e Based on Zone A of IEC 61131-2.

^f Based on Zone B of IEC 61131-2.

Tabella 2.1: valori limiti dei vari ambienti

I valori riguardanti l'immunità sono contenuti in altre norme (serie IEC 61000-6), le quali riportano delle tabelle contenenti i valori di immunità a seconda della porta presa in considerazione e del tipo di disturbo.

Per quanto riguarda i valori di emissione essi sono quelli elencati dalla CISPR 11 (EN 55011 "Apparecchi industriali scientifici e medicali (ISM) – Caratteristiche di radiodisturbo – Limiti e metodi di misura") per i dispositivi di classe A appartenenti al gruppo 1. Alla classe A appartengono gli equipaggiamenti adatti a tutti i luoghi tranne per ambienti residenziali o ambienti dove gli equipaggiamenti verrebbero connessi direttamente a una rete a bassa tensione che alimenta edifici domestici. Le emissioni del gruppo A possono essere misurate in loco oppure in un sito di test. Al gruppo 1 fanno riferimento tutti gli equipaggiamenti con scopi industriali, scientifici e medici operanti nel range di frequenze tra 0 Hz e 400 GHz dove l'energia in radio frequenza non è intenzionalmente generata e usata o usata solo localmente.

La norma EN 55011 fornisce quindi le tabelle relative ai limiti di emissione per range di frequenze di ciascuna porta, divise per categorie e gruppi; le tabelle contengono il valore medio e il valore di quasi picco per il limite massimo di emissione.

Per quanto riguarda i limiti di immunità, la tabella 2.1 fa riferimento a diverse norme a seconda della categoria di ambiente. Anche qui ogni norma riporta le relative tabelle con

i valori limiti a seconda della porta considerata e del tipo di interferenza, riportando anche il livello di *performance* richiesto da un dispositivo sottoposto a quel disturbo.

La prima colonna contiene i valori di tensione nominale massima per ciascuna categoria ambientale, espressi in valore efficace.

La seconda colonna contiene i valori di picco dei fenomeni transitori di sovratensione dovuti a fenomeni EM che tipicamente si hanno nei rispettivi ambienti.

La terza colonna invece contiene i valori tipici di campo magnetico alla frequenza di rete (50 Hz) che si possono riscontrare.

CAPITOLO 3

EMISSIONI

1. Livelli limite di emissione

Come detto sopra i valori limiti di emissione per i quadri elettrici sono quelli definiti dalla CISPR 11 per i dispositivi di classe A del gruppo 1.

Nella norma i valori limiti sono riferiti per ogni range di frequenze, fornendo tabelle specifiche per ogni tipo di porta presa in considerazione. Importante da notare che per questo tipo di dispositivi il *testing* può essere fatto sia “sul posto” che in un apposito *test site* (ad es. una camera anecoica); pertanto vengono forniti anche qui valori diversi a seconda del luogo di *testing*.

1.1. Limiti per emissioni in test site

Per i disturbi condotti si applicano i seguenti limiti:

- Per frequenze nel range tra 9 kHz e 150 kHz, non viene specificato alcun limite.
- Per frequenze nel range tra 0.15 MHz e 30 MHz, si applica la Tabella 3.1 per le porte AC e la Tabella 3.2 per le porte DC:

Range di frequenza MHz	Potenza nominale <20 kVA		Potenza nominale >20 kVA e <75 kVA		Potenza nominale >75 kVA	
	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)
0,15 – 0,50	79	66	100	90	130	120
0,50 – 5	73	60	86	76	125	115
5 - 30	73	60	90 – 73	80 - 60	115	105

Tabella 3.1: Limiti di emissione condotti in test site a.c.

NOTA 1: Agli equipaggiamenti che andranno collegati a un neutro isolato o a un sistema IT, si applicano i limiti per potenza >75 kVA, indipendentemente dalla potenza nominale effettiva.

NOTA 2: I valori separati da – indicano che il limite decresce linearmente con il logaritmo della frequenza.

NOTA 3: I valori per >75 kVA si applicano ai soli equipaggiamenti con potenza nominale maggiore di 75 kVA e connessi a un trasformatore dedicato o un generatore (non a linea bassa tensione) e che siano fisicamente separati da ambienti residenziali con una distanza di 30 m o da strutture che fanno da barriera ai disturbi irradiati. I limiti della seconda colonna si applicano solo se l'equipaggiamento è

connesso a un trasformatore o a un generatore (non alla linea bassa tensione) altrimenti si applicano i valori per < 20 kVA. Il produttore deve fornire queste informazioni per la corretta installazione.

Range di frequenza MHz	Potenza nominale < 20 kVA		Potenza nominale >20 kVA e <75 kVA				Potenza nominale >75 kVA			
	Limite di tensione		Limite di tensione		Limite di corrente		Limite di tensione		Limite di corrente	
	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Media dB (μ V)
0,15 - 5	Da 97 a 89	Da 84 a 76	Da 116 a 106	Da 106 a 96	Da 72 a 62	Da 62 a 52	Da 132 a 122	Da 122 a 112	Da 88 a 78	Da 78 a 68
5 - 30	89	76	Da 106 a 89	Da 96 a 76	Da 62 a 45	Da 52 a 32	Da 122 a 105	Da 112 a 92	Da 78 a 61	Da 68 a 48

Tabella 3.2: Limiti di emissione condotti in test site d.c.

NOTA 1: Valori di quasi picco in intervallo decrescono linearmente con logaritmo della frequenza.

- Per frequenze superiori ai 30 MHz, non viene specificato alcun limite

Per i disturbi irradiati si applicano i seguenti limiti:

- Per frequenze nel range tra 9 kHz e 30 MHz, non viene specificato alcun limite.
- Per frequenze nel range tra 30MHz e 1GHz, si applica la Tabella 3.3, dove i valori limiti sono riferiti alla componente di campo elettrico della radiazione. La tabella discrimina se le misurazioni sono state effettuate in OATS (*open area test site*) e in camera semi-anecoica (SAC) oppure in camera anecoica (FAR).

Range di frequenza MHz	OATS / SAC				FAR	
	Misure a 10 m di distanza		Misure a 3 m di distanza		Misure 3 m di distanza	
	<20 kVA	>20 kVA	<20 kVA	>20 kVA	<20 kVA	>20 kVA
	Quasi picco dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)	Quasi picco dB (μ V)

30 - 230	40	50	50	60	52 - 45	62 - 55
230-1000	47	50	57	60	52	55

Tabella 3.3: Limiti di emissione irradiati in test site.

NOTA 1: I valori separati da – indicano che il limite decresce linearmente con il logaritmo della frequenza.

NOTA 2: I limiti per potenza superiori di 20 kVA valgono se è previsto che l'equipaggiamento lavori ad almeno una distanza di 30 m da equipaggiamenti o radiocomunicazioni di terze parti. Altrimenti, si applicano i limiti per potenze inferiori a 20 kVA. Il fornitore è tenuto ad informare l'utente di ciò per una corretta installazione.

- Per frequenze superiori a 1 GHz, non viene specificato alcun limite.

1.2.Limiti per emissioni sul posto

Per i disturbi condotti, la norma non ne richiede alcuna valutazione nelle condizioni *in situ*.

Per i disturbi irradiati si applicano i seguenti limiti:

- Per frequenze nel range tra 150 kHz e 1 GHz, si applicano i limiti della Tabella 3.4, specificati sia per il campo magnetico che per quello elettrico.
- Per frequenze superiori a 1 GHz, non viene specificato alcun limite.

Range di frequenza MHz	Limiti a una distanza di misura di 30m dalla facciata esterna dell'edificio in cui si trova l'equipaggiamento	
	Campo elettrico Quasi picco dB (μ V/m)	Campo magnetico Quasi picco dB (μ A/m)
0,15 - 0,49	-	13,5
0,49 – 3,95	-	3,5
3,95 - 20	-	-11,5
20 - 30	-	-21,5
30 - 230	30	-
230 - 1000	37	-

Tabella 3.4: Limiti di emissione irradiate sul posto

NOTA 1. Nel caso in cui non fosse possibile misurare a una distanza di 30 m, si può utilizzare una distanza maggiore introducendo un fattore di 20 dB per decade per normalizzare il risultato della misura ai limiti nella tabella.

2. Informazioni generali per il testing

Per quadri elettrici che non incorporano alcun circuito elettronico, non è necessario eseguire la valutazione delle emissioni in quanto i disturbi possono essere generati solo da *switching* occasionali. Visto che questi sono fenomeni di bassa entità ed impatto limitato, vengono considerati parte del normale ambiente elettromagnetico. Anche per dispositivi contenenti esclusivamente componenti passivi (ad es. diodi, resistori) non è richiesta la verifica delle emissioni (norma EN IEC 61439-1:2021, allegato J).

Le modalità per effettuare le misurazioni in modo corretto sono contenute nella norma CISPR 11.

Come già detto, la norma permette ai dispositivi di classe A gruppo 1 il testing sia sul posto che in *test site*; in quest' ultimo caso è necessario l'utilizzo di ambienti particolari in modo da ridurre al minimo le interferenze esterne e far risultare la prova il più ripetibile possibile. Esempi di questi ambienti particolari sono:

- OATS (*open area test site*), zone all'aperto, elicoidali, di ampie dimensioni, piatte e distanti da possibili fonti di disturbo che potrebbero emettere o riflettere onde elettromagnetiche (ad es. le linee elettriche). Devono essere convalidate eseguendo "misure di attenuazione di sito".
- SAC (*semi-anechoic chamber*), stanza con muri e tetto ricoperti di materiale in grado di assorbire le onde elettromagnetiche ed impedirne la riflessione, servono a simulare una OATS.
- FAR (*full anechoic room*), stanze internamente ricoperte di materiale in grado di assorbire l'energia delle onde nelle radiofrequenze e quindi evitare la loro riflessione.



Figura 3.1: esempio di misurazione in SAC, da notare l'antenna bilog e l'EUT a distanza

Oltre ad ambienti adatti, sono necessari anche specifici strumenti di misura sia per le emissioni condotte che per quelle irradiate.

Nel primo caso si necessita di un analizzatore di spettro, in modo da verificare l'emissione di armoniche da parte dell'EUT. È necessaria anche una AMN (*artificial mains network*), dispositivo che permette di alimentare l'EUT, ma disaccoppiandolo dalla rete di alimentazione in modo da evitare che vengano immessi nel circuito di misura dei disturbi proveniente dall'alimentazione e non dall'EUT.

Nel caso delle emissioni irradiate, i tipici strumenti di misura sono le antenne biconiche e log periodiche. Nell'effettuare la misura è importante attenersi alle indicazioni delle apposite normative in modo da garantire una corretta e ripetibile rilevazione.

3.Radiocomunicazioni

Alcuni quadri elettrici potrebbero prevedere l'integrazione di apparecchi per la radiocomunicazione. In questo caso per quanto concerne l'emissione di disturbi la norma IEC 63216 suggerisce che lo spettro di banda delle radiocomunicazioni venga escluso dalla valutazione delle emissioni e nel caso in cui sia presente una porta per il collegamento ad un'antenna, si applicano i requisiti di emissioni condotti dettati dalla CISPR 32 per i dispositivi di classe A.

La IEC 63216 sottolinea che gli apparecchi per la radiocomunicazione dovrebbero essere già stati testati secondo i loro standard di prodotto e andrebbero integrati secondo le istruzioni del produttore.

CAPITOLO 4

IMMUNITÀ

1. Misure per migliorare l'immunità

La norma IEC 63216 fornisce alcuni suggerimenti e regole di buona pratica per migliorare l'immunità elettromagnetica dei quadri elettrici, vertendo su due concetti principali, il filtraggio e la separazione.

Per il filtraggio la norma prevede:

- Che l'utilizzo di filtri di rete avvenga all'ingresso di un dispositivo.
- Cavi schermati con schermatura a bassa induttanza e doppi intrecciati dovrebbero essere utilizzati per segnali di basso livello. La schermatura deve essere connessa a terra.
- Il cablaggio di circuiti che comandano carichi induttivi deve essere progettato con particolare attenzione per limitare le sovratensioni.
- La lunghezza dei cavi deve essere minimizzata.

Per la separazione la norma prevede:

- I conduttori di rete vengano separati dai cavi di segnale di almeno 10 cm e che gli incroci inevitabili siano ad angolo retto.
- I cavi di input e di output devono essere separati
- Il cablaggio in loco deve essere separato dal cablaggio interno di I/O e dal bus di comunicazione. Va posta attenzione nel non compromettere i circuiti isolati.

I filtri EMI sono componenti e reti di componenti con la capacità di separare dal segnale utile il segnale di disturbo, ostacolandone il passaggio. Le applicazioni tipiche di questi filtri riguardano le linee di alimentazione e sono composti prevalentemente da dispositivi come condensatori ed induttori. La realizzazione di un filtro che opera su una linea di alimentazione risulta complessa in quanto devono operare su range di frequenza ampi, spesso sono necessarie dimensioni ridotte, il passaggio dell'alimentazione può dare problemi quali surriscaldamento, polarizzazione e saturazione e non operano in condizioni ottimali di adattamento di impedenza in quanto l'impedenza della rete non è ben definita e dipende dai carichi collegati. La progettazione di un filtro per cavi di segnali è più semplice in quanto l'impedenza è ben definita e il passaggio del segnale utile non dà problemi di polarizzazione.

Le due principali strategie di filtraggio sono:

- L'innalzamento dell'impedenza serie, consiste nel fare in modo che l'impedenza vista dal disturbo sia molto maggiore di quella del segnale utile. Viene usato un induttore, dimensionato in modo da coprire tutta la banda del segnale che si vuole filtrare.
- La deviazione del disturbo (*shunt*), consiste nel deviare la corrente di disturbo verso la sua sorgente mentre la corrente del segnale utile passa inalterata verso il carico. Vengono usati dispositivi in grado di agire solo ed interamente sulla banda di frequenza del disturbo. In linee di alimentazione, la deviazione può avvenire tra conduttori di fase e neutro, oppure tra fase e PE. In linee di segnale, la deviazione può avvenire tra una linea dati e la massa oppure tra due linee di segnale in una coppia di conduttori bilanciati.

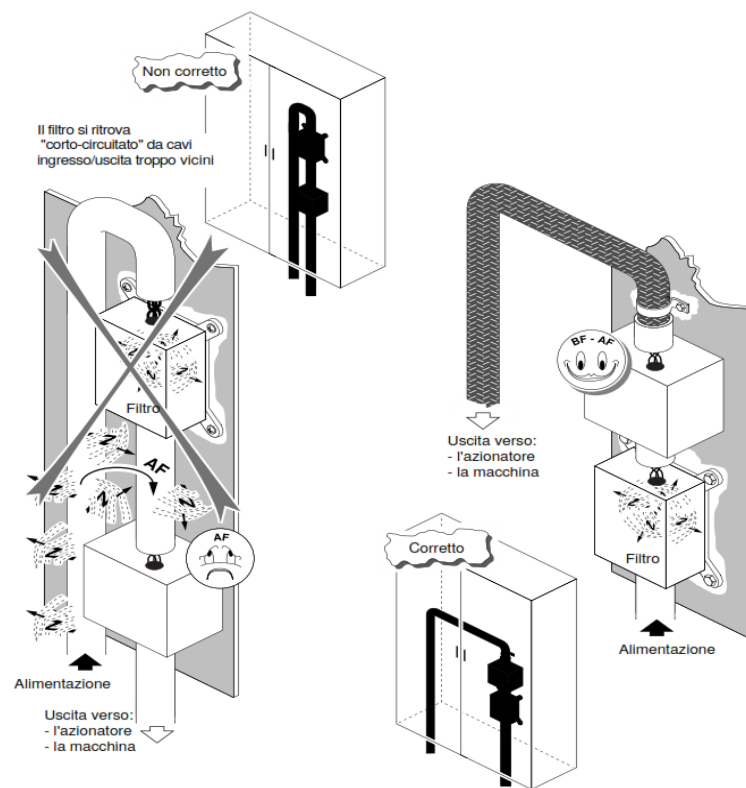


Figura 4.1: esempio di corretta installazione di un filtro

La norma EN 60204-1 "Sicurezza del macchinario – Equipaggiamento elettrico delle macchine – Parte 1: Regole generali" nell'allegato H suggerisce ulteriori misure, per mitigare l'impatto e l'emissione delle interferenze elettromagnetiche.

Viene consigliata l'installazione di filtri e di scaricatori SPD per migliorare la protezione dei dispositivi rispetto ai fenomeni elettromagnetici condotti.

Se l'equipaggiamento elettronico richiedesse, per funzionare, un riferimento a terra, in questo caso il riferimento deve essere dato dal conduttore di terra. Il conduttore va mantenuto il più corto possibile specialmente nel caso in cui l'equipaggiamento dovesse lavorare ad alte frequenze.

Per quanto concerne l'utilizzo dei cavi di alimentazione e segnale, oltre alle misure già esposte sopra, si devono utilizzare le tipologie di cavi suggerite dal costruttore. Viene inoltre consigliato l'utilizzo di cavi con conduttori concentrici con lo scopo di ridurre le correnti indotte all'interno del conduttore di protezione; è anche consigliato l'uso di cavi multipolari simmetrici nel caso della connessione tra motori e inverter. Nel caso di utilizzo di cavi schermati per i segnali, è importante premurarsi di ridurre la corrente che attraversa la schermatura attraverso un conduttore di bypass; nel caso di un buon circuito equipotenziale, i conduttori di bypass risultano essere non indispensabili. I conduttori dei circuiti equipotenziali devono avere impedenza il più bassa possibile (così come richiesto anche dai requisiti di sicurezza elettrica) rendendoli il più corti possibile e, se applicabile, intrecciandoli.

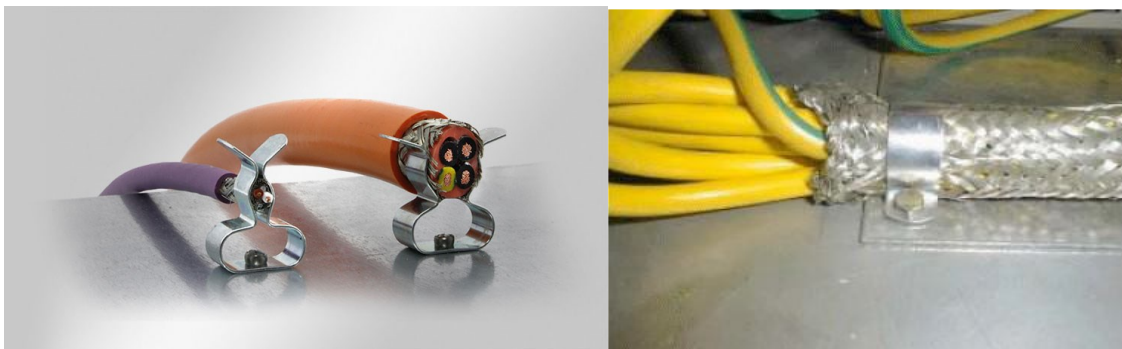


Figura 4.2: esempi di collegamento a massa delle schermature tramite flangia metallica

Anelli induttivi vanno evitati scegliendo percorsi comuni per i cavi di potenza e di segnale/controllo, ovviamente mantenendo valida la separazione tra essi di modo che non interferiscano tra loro.

La norma EN 60204-1 fornisce anche ulteriori istruzioni su come eseguire una corretta ed efficace segregazione dei cavi.

In assenza di ulteriori istruzioni riguardanti la distanza tra i cavi, vengono applicate le distanze minime tra canaline fornite dalla seguente tabella (Tabella 4.1), valide sia in orizzontale che in verticale:

		A	B	C
Tipologia di canalina	Separazione senza contenimento metallico	Contenimento con rete metallica a maglia	Contenimento metallico perforato	Contenimento metallico solido
Distanza minima	> 200 mm	> 150 mm	> 100 mm	0 mm

Tabella 4.1: distanza minima da rispettare nella separazione dei cavi.

Le tipologie di canalina elencate in Tabella 4.1 corrispondono a delle precise *performance* di schermatura (*screening performance*) e sono:

- A: maglia saldata in acciaio con dimensione della maglia di 50 mm x 100 mm. Le caratteristiche in termini di schermatura sono lo stesso raggiunte anche se lo spessore è inferiore a 1 mm e/o l'area "perforata" è maggiore del 20%.
- B: canalina in acciaio con almeno 1 mm di spessore e non più del 20% dell'area "perforata". Le stesse *performance* possono essere raggiunte con cavi di alimentazione schermati. Nessuna parte dei cavi deve essere a meno di 10 mm di distanza dalla parte superiore del contenitore.
- C: condotto in acciaio con almeno 1 mm di spessore.

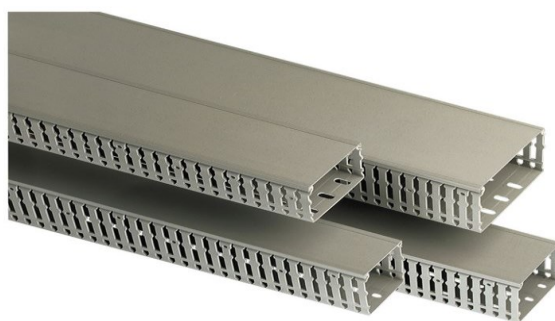


Figura 4.3: esempio di canaline portacavi perforate in metallo

Tutti i canali portacavi che vengono utilizzati con l'intento di migliorare la compatibilità elettromagnetica devono essere connessi, su entrambi i capi, al circuito equipotenziale, facendo sempre attenzione che i collegamenti abbiano bassa impedenza.

L'utilizzo di coperchi per le canaline incrementa le performance legate al EMC. Per le coperture metalliche è preferibile che coprano la canalina per l'intera lunghezza; nel caso in cui ciò non fosse possibile, le coperture devono essere connesse al canale, almeno ai capi, tramite cortocircuiti di lunghezza minore ai 10 cm.

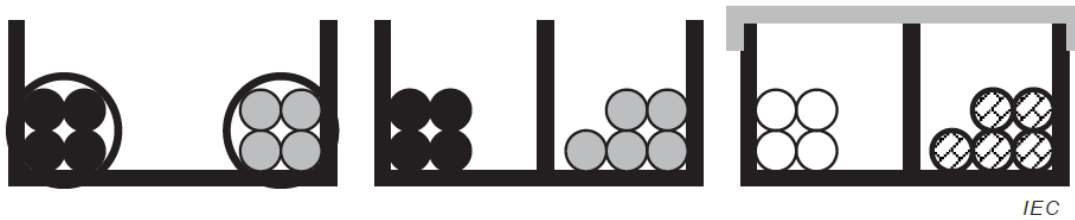


Figura 4.4: esempio di sezione di canaline schermate con cavi disposti in maniera opportuna

All'interno dei canali, siccome il potere schermante segue un andamento ad U come quello mostrato in figura 4.5, il fascio di cavi deve essere di altezza minore di quella dei bordi del canale. Per lo stesso motivo sono da preferire canaline più profonde che larghe.

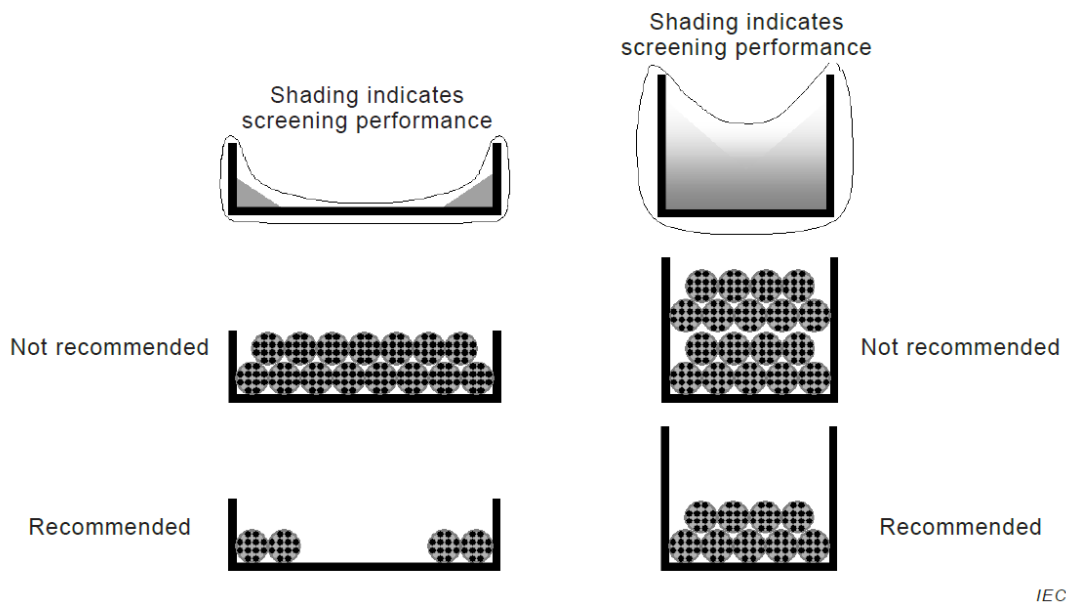


Figura 4.5: disposizione raccomandata dei cavi all'interno delle canaline

Nel caso in cui il sistema di canali fosse costituito da diversi elementi, va posta attenzione nell'assicurare l'effettiva continuità tra gli elementi.

Le interconnessioni tra canali devono avere una bassa impedenza e deve essere garantita la continuità della forma del canale lungo tutta la lunghezza. Un esempio di corretta interconnessione viene fornito in figura 4.6.


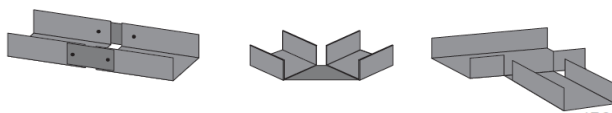
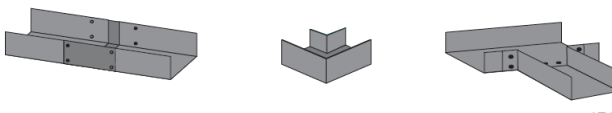
a	Non-conformant	
b	Conformant	
c	Recommended	

Figura 4.6: esempio di collegamenti tra canali

Nel caso in cui la continuità del canale dovesse interrompersi per attraversare un muro, e facendo venir meno la continuità metallica, i capi della canalina devono essere collegati per mezzo di una interconnessione a bassa impedenza.

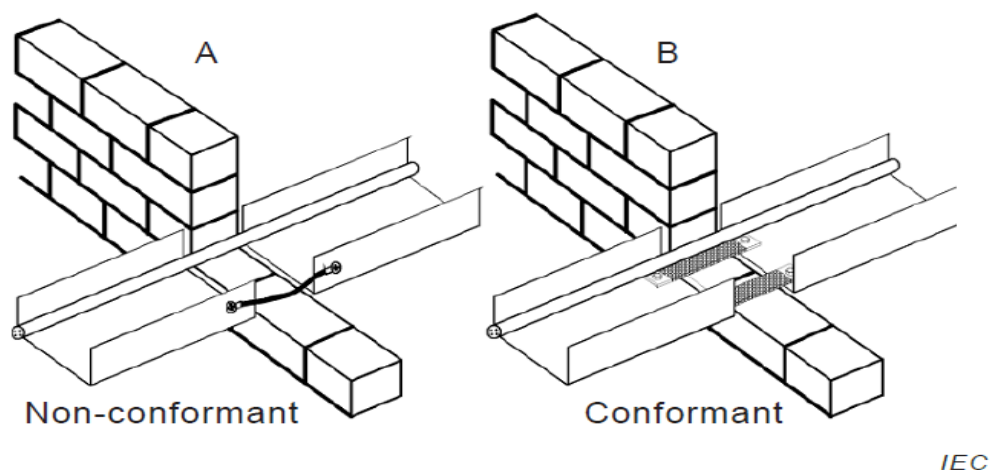


Figura 4.7: esempio di interruzione della canalina a causa di un muro

2.Criteri di performance

Le norme della serie IEC 61000-6 definiscono dei criteri di performance (*performance criteria*) per classificare gli equipaggiamenti sotto test (EUT, *equipment under test*) in base a come essi si comportano durante e successivamente al testing di immunità.

Criterio di performance A: L'EUT deve funzionare correttamente sia durante che dopo il test, senza risentire di alcuna degradazione delle prestazioni o perdita di funzionalità.

Criterio di performance B: L'EUT deve funzionare correttamente dopo il test. È permessa una perdita di prestazioni durante il test, ma non la perdita dello stato della macchina o dei dati memorizzati. Il ripristino delle funzionalità dopo il test deve essere automatico.

Criterio di performance C: L'EUT può avere una perdita di funzionalità durante il testing, ma deve essere in grado di recuperare la piena funzionalità tramite operazioni di ripristino esterne.

Criterio di performance D: L'EUT subisce nel testing una perdita di funzionalità permanente che non può essere ripristinata se non tramite un intervento di sostituzione.

3. Livelli di immunità

Come definito dalla Tabella 2.1, per ogni categoria di ambiente elettromagnetico corrispondono diversi valori per i limiti di immunità, indicati dalle norme della serie IEC 61000-6.

La norma IEC 63216 riporta una tabella riassuntiva contenente i valori minimi delle immunità nei diversi ambienti, dividendo i disturbi sulla base delle interfacce cui vengono applicati. Per ogni disturbo viene indicata la corrispondente norma IEC 61000-4 da applicare per il testing. Informazioni aggiuntive per la conduzione del test sono comunque riportate nelle tabelle e nelle note.

Alcuni dei valori indicati nelle seguenti tabelle potrebbero entrare in contrasto con quelli delle norme di riferimento (serie IEC 61000-6); il suggerimento è quello di scegliere come valore limite quello più restrittivo in modo da garantire il rispetto anche degli altri eventuali valori più permissivi.

Per l'ambiente E-I non sono ancora stati definiti dei livelli di immunità, pertanto non viene riportato alcun valore.

Per la *enclosure port* si applicano i seguenti valori:

Fenomeno	E-II	Crit. di perf.	E-III	Crit. di perf.	E-IV	Crit. di perf.
Scarica elettrostatica IEC 61000-4-2	8 kV /aria 4 kV /contatto	B	8 kV /aria 4 kV /contatto	B	8 kV /aria 4 kV /contatto	B

Campo magnetico alla frequenza di alimentazione IEC 61000-4-8	3 A/m	A	30 A/m	A	100 A/m	A
Irradiazione nelle radiofrequenze (da 80 MHz a 1 GHz) IEC 61000-4-3	3 V/m	A	10 V/m	A	10 V/m	A
Irradiazione nelle radiofrequenze (da 1,4 a 6 GHz) IEC 61000-4-3	1 V/m	A	3 V/m	A	3 V/m	A

Tabella 4.2: limiti immunità enclosure port

NOTA 1: I limiti per il campo magnetico alla frequenza di alimentazione si applicano solo a equipaggiamenti con dispositivi di rilevamento magnetico (ad es. interruttori differenziali)

Per le *signal/control/DC ports* si applicano i seguenti valori:

Fenomeno	E-II	Crit. di perf.	E-III	Crit. di perf.	E-IV	Crit. di perf.
Radiofrequenze di modo comune (da 150 kHz a 80 MHz) IEC 61000-4-6	3 V	A	10 V	A	10 V	A
Surge 1,2/50 μ s – 8/20 μ s IEC 61000-4-5	+ - 1kV line-to-earth + - 0,5 kV line-to-line per porte DC	B	+ - 1kV line-to-earth + - 0,5 kV line-to-line per porte DC	B	+ - 2kV line-to-earth + - 1 kV line-to-line per porte DC	B
Transitori veloci/burst 5/50 ns, 100kHz IEC 61000-4-4	+ - 0,5 kV	B	+ - 1 kV	B	+ - 2kV	A

Tabella 4.3: limiti immunità signal port

NOTA 1: I limiti per radiofrequenza di CM e transitori/burst si applicano solo alle porte che interfacciano cavi dalla lunghezza maggiore di 3 m secondo le specifiche del produttore.

NOTA 2: I limiti per surge si applicano solo a porte che interfacciano cavi di lunghezza superiore a 30 m o in ambiente esterno (non tipico nei quadri elettrici e pannelli di controllo).

Per le AC power port si applicano i seguenti valori:

Fenomeno	E-II	Crit. di perf.	E-III	Crit. di perf.	E-IV	Crit. di perf.
Radiofrequenze di modo comune (da 150 kHz a 80 MHz) IEC 61000-4-6	3 V	A	10 V	A	10 V	A
Onda oscillatoria smorzata IEC 61000-4-18	Nessun requisito		Nessun requisito		1 kV 1MHz CM 0,5 1 MHz DM 0,5 kV 10 MHz DM	A
Cali di tensione Tensione residua IEC 61000-4-11	0% tensione residua 0,5 cicli	B	0% tensione residua 1 cicli	B	40% tensione residua 50 cicli	B
	0% tensione residua 1 cicli	B	40% tensione residua 10/12 cicli	C	70% tensione residua 1 cicli	B
	70% tensione residua 25/30 cicli	C	70% tensione residua 25/30 cicli	C	-	-
Brevi interruzioni Tensione residua IEC 61000-4-11	0% tensione residua 250/300 cicli	C	0% tensione residua 250/300 cicli	C	0% tensione residua 5 cicli 0% tensione residua 50 cicli	B
Cali di tensione e interruzioni dovute alla protezione funzionale di sovracorrente	Nessun requisito		0% tensione residua 0,5;1;5;25;50 cicli	B	0% tensione residua 0,5;1;5;25;50 cicli	B
			0,4 I _r tensione residua 10;25;50 cicli	B	0,4 I _r tensione residua 10;25;50 cicli	B
			0,7 I _r tensione residua 10;25;50 cicli	B	0,7 I _r tensione residua 10;25;50 cicli	B
Surge 1,2/50 μs – 8/20 μs IEC 61000-4-5	+ - 2kV line-to-earth + -1kV line-to-line	B	+ - 2kV line-to-earth + -1kV line-to-line	B	+ - 4kV line-to-earth + -2kV line-to-line	B

Transitori veloci/burst 5/50 ns, 100kHz IEC 61000-4-4	+ - 1kV	B	+ - 2kV	B	+ - 4 kV	A
Immunità alle armoniche nell'alimentazione IEC 61000-4-13	Definito dallo standard di prodotto se necessario		Definito dallo standard di prodotto se necessario		Nessun requisito	
Immunità ai disturbi di modo differenziale IEC 61000-4-19	Livello 3	A	Livello 4	A	Livello 4	A
Immunità ai disturbi di modo comune IEC 61000-4-16	Livello 3	A	Livello 4	A	Livello 4	A
Armoniche di corrente per la sovracorrente	Nessun requisito		72%<h3<88% Fattore di picco 2	A	72%<h3<88% Fattore di picco 2	A
Funzioni di protezione			45%<h5<55% Fattore di picco 1,9		45%<h5<55% Fattore di picco 1,9	

Tabella 4.4: limiti immunità AC power port

NOTA 1: I limiti per disturbi CM e DM si applicano solo agli equipaggiamenti con possibilità di comunicare sulla linea di alimentazione.

4. Testing per l'immunità

Le norme IEC 61000-6 forniscono alcune informazioni generali su come condurre i test, fermo restando che le norme che disciplinano i singoli test per i vari fenomeni sono quelle della serie IEC 61000-4 indicate nelle tabelle sopra.

I test devono essere svolti in modo riproducibile così come definiti dalle norme base (*basic standards*).

Il testing va condotto nella configurazione dell'EUT in cui risulta più suscettibile ai disturbi in modo coerente con l'utilizzo atteso e le pratiche di installazione. La configurazione dell'EUT scelta va specificata nel *test report*. Il test va inoltre condotto nelle condizioni ambientali (temperatura, umidità, etc.) specifiche del prodotto a meno che non venga specificato diversamente nelle norme *basic standards*.

Se vengono specificate, nel manuale dell'utente o nelle specifiche del costruttore, misure esterne di protezione, il testing va effettuato con tutte le protezioni montate.

Se l'equipaggiamento presenta un grande numero di porte simili, con molte connessioni simili, può essere scelto per il testing solo un numero sufficiente di porte a simulare le condizioni di lavoro e ad assicurare che tutti i tipi differenti di terminazione vengano coperti dal test. La scelta delle porte testate va giustificata nel *test report*.

I test necessari dipendono dal tipo di EUT, pertanto alcuni test potrebbero essere non indispensabili oppure inapplicabili (ad es. la mancanza di un particolare porta, in tal caso non si possono, ovviamente, condurre i test su quella porta). Tutte le considerazioni fatte per escludere eventuali test e il fatto stesso di aver escluso dei test va necessariamente riportato nel *test report*.

I requisiti in termini di immunità, oltre ad essere obbligatori secondo la direttiva EMC, potrebbero essere anche necessari al produttore per poter rimanere con profitto sul mercato; pertanto, è tipico che il produttore imponga al proprio prodotto limiti di immunità più restrittivi di quelli stabiliti dalle norme.

Quindi nel caso in cui un produttore dovesse usare dei limiti o criteri di performance più restrittivi per il testing, questi vanno specificati nella documentazione fornita all'utente.

CAPITOLO 5

VALUTAZIONE EMC, ASSEMBLAGGIO E INFORMAZIONI DA FORNIRE

1.Valutazione EMC

Come già detto nel capitolo 2, la direttiva EMC disciplina la compatibilità elettromagnetica nelle apparecchiature.

Nell'allegato I della direttiva, viene imposto che anche negli impianti fissi ci sia l'obbligo di rispettare i requisiti essenziali della stessa. Gli impianti fissi vengono definiti come combinazioni di apparati assemblati ed installati per essere utilizzati permanentemente in una locazione predefinita (linea guida direttiva EMC, Art. 1.6.1).

In particolare, i quadri elettrici (oggetto della norma IEC/TR 63216) ricadono nella definizione di impianti fissi e quindi soggetti anche loro ai requisiti essenziali della direttiva, che consistono in:

a) 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;

b) 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.

Al contrario di altri apparati soggetti alla direttiva EMC, agli impianti fissi non viene richiesta alcuna dichiarazione di conformità UE e non sono nemmeno soggetti alla marcatura CE o ad altre formali valutazioni della EMC. Ciò nonostante, si ricorda nuovamente, hanno comunque l'obbligo di soddisfare i requisiti essenziali in termini di emissione ed immunità e di venire installati secondo le buone prassi dell'ingegneria industriale. Le buone prassi e la soddisfazione dei requisiti va documentata e la documentazione va tenuta a disposizione delle autorità competenti fintanto che l'impianto è in funzione.

Nell'applicare le buone prassi è fondamentale prendere provvedimenti al fine di ridurre le emissioni di disturbi e proteggere l'impianto dai possibili disturbi che può ricevere.

Gli apparati di cui è composto l'impianto fisso, nel momento di immissione sul mercato, sono soggetti a tutte le disposizioni della direttiva EMC, in particolare all'obbligo di dichiararne la conformità e la marcatura CE.

L'Art.19 della direttiva EMC dispensa da questi due obblighi gli apparati destinati ad essere integrati solo in un particolare impianto fisso e non immessi sul mercato per altri scopi. Il fornitore deve comunque identificare l'impianto fisso e le relative caratteristiche di compatibilità elettromagnetica nella documentazione fornita ed indicare in essa tutte le pratiche di installazione e precauzione da adottare per una corretta installazione dell'apparecchio senza pregiudicare la conformità. La documentazione deve inoltre contenere le informazioni relative al fabbricante e l'identificazione dell'apparato (come previsto da art.7 paragrafi 5 e 6 della direttiva) e i dati dell'importatore (come previsto da art. 9 paragrafo 3).

Per accertarsi che il quadro elettrico sia conforme ai requisiti della direttiva è necessario condurre un'attenta valutazione della compatibilità elettromagnetica. La valutazione deve tener conto di tutte le normali condizioni di funzionamento delle apparecchiature, nonché di tutte le possibili configurazioni che esse possono assumere durante l'uso, identificate dal fabbricante.

La valutazione consiste in due passaggi fondamentali:

- Identificare la classe ambientale che descrive meglio il luogo in cui dovrà operare il quadro elettrico e considerando la possibile evoluzione dei fenomeni EMC.
- Condurre un'analisi di impatto EMC delle disposizioni degli standard di prodotto.

L'analisi di impatto EMC deve:

- Valutare tutte le possibili fonti di emissione e valutare che vengano soddisfatti i vincoli in termine di emissione
- Identificare tutte le funzionalità dell'equipaggiamento e valutare che siano soddisfatti i criteri di performance in caso di disturbi, prendendo in considerazione l'uso ragionevolmente prevedibile da parte dell'utente in termini di sicurezza, affidabilità, includendo anche le performance di radiocomunicazione.
- Identificare tutte le possibili configurazioni previste nell'utilizzo e nelle modalità di funzionamento, adottando un approccio *worst case* valutando le configurazioni a maggior emissione e le configurazioni più suscettibili ai disturbi. Queste configurazioni *worst case* vanno definite nelle norme di prodotto (*product standard*).
- Identificare le condizioni dell'installazione elettrica prendendo in considerazione la norma IEC 60364-4-44 "*Low-voltage electrical installations - Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*".

I requisiti EMC, cui i quadri elettrici devono sottostare per superare la valutazione di conformità, vanno individuati nei *product standard* e consistono in:

- La categoria ambientale EMC e i loro limiti secondo la Tabella 2.1 (si veda Capitolo 2). Un prodotto potrebbe anche venire classificato per differenti ambienti EMC.
- I corrispondenti limiti di emissione per quella categoria ambientale definiti dalla CISPR 11 (IEC 55011) e dalla CISPR 32 (IEC 55032), si veda Capitolo 3.
- I corrispondenti requisiti in termini di immunità, inclusi i criteri di performance contenuti nelle tabelle del Capitolo 3.
- Le buone pratiche di installazione, montaggio e manutenzione fornite nella documentazione del produttore.

La IEC 63216 suggerisce che la compatibilità elettromagnetica venga verificata attraverso una prova del tipo. La prova del tipo va quindi eseguita su un campione rappresentativo della serie di produzione e il produttore assicura la compatibilità tramite rigidi controlli interni per garantire che tutti i prodotti vengano fabbricati nella stessa maniera.

La prova del tipo va documentata nel *test report* così come eventuali misure adottate per raggiungere la conformità ai requisiti essenziali che vanno indicate anche nel manuale di istruzione fornito all'utente. Anche eventuale equipaggiamento ausiliario utilizzato con lo scopo di soddisfare i limiti di emissione e immunità va incluso nel *test report* e nel manuale di istruzioni.

Siccome il testing nell'ambito EM risulta essere costoso e richiede l'utilizzo di strumentazione particolare e luoghi adatti (OATS o FAR), conviene condurre delle misure di prequalifica (*pre-compliance*) sui prototipi con lo scopo di valutare le caratteristiche in termini EMC del prodotto prima di accedere a un laboratorio accreditato per le misurazioni di qualifica vere e proprie, condotte nel pieno rispetto della normativa (*full-compliance*).

Le prove di *pre-compliance* risultano molto utili anche in fase di progettazione, in quanto permettono di individuare tempestivamente le mancanze EMC che potrebbe avere il prodotto. Identificare subito queste problematiche è fondamentale, poiché permette di adottare soluzioni migliorative a costo inferiore (ad es. soluzioni progettuali) rispetto ad intervenire a fine progetto o a prodotto realizzato con soluzioni più onerose di tipo repressivo.

La *pre-compliance* viene condotta "in proprio" con strumenti di misura ed ambienti simili a quelli della *full-compliance*, ma dai costi e prestazioni inferiori. Serve per avere un'idea

se il prodotto rispetta i limiti EMC e quindi avere la quasi certezza di superare le prove *full-compliance*, le quali hanno un costo di gran lunga maggiore ed è bene ridurle al minimo indispensabile.

2.Progettazione

Una progettazione attenta, già nelle prime fasi, ai requisiti EMC è essenziale per poter abbattere i costi. Essa è un'attività complessa, che richiede la conoscenza e l'applicazione di un insieme molto ampio di accorgimenti, criteri e regole di progettazione (Sona 2016, p.285).

Un progetto che tenga in considerazione i criteri EMC può essere suddiviso in tre attività principali:

- Attività A: consiste nella applicazione di accorgimenti EMC in merito a masse, interfacce, disposizione dei componenti, etc.
- Attività B: ha come scopo la verifica del raggiungimento dei requisiti EMC tramite prove di *pre-compliance*. Per questo motivo va eseguita dopo aver condotto l'attività A, al fine di verificare la validità delle scelte fatte.
- Attività C: consiste nell'applicare ulteriori accorgimenti "di peso" e più costosi per sopperire a quanto non è stato raggiunto con le attività A e B. Consiste principalmente nell'utilizzo di cavi schermati, filtri e schermature EMI e dispositivi di protezione contro sovratensione e sovracorrenti.

Svolgere al meglio l'attività A è una scelta ottimale in quanto, se svolta con successo, permette di evitare l'attività C e quindi di aumentare i costi e il tempo di progettazione.



Figura 5.1: diagramma che riporta i possibili iter da seguire per una corretta progettazione. Il percorso migliore è quello che prevede l'attività A

3.Assemblaggio

Per i prodotti viene fatta una classificazione in tre categorie:

- Componenti, cioè elementi di base non in grado di svolgere autonomamente una funzione. La direttiva EMC va applicata se il componente ha una funzione diretta, ovvero svolge una qualsiasi funzione che soddisfi l'uso a cui è destinato, e se il destinatario non è competente, ovvero se non è esperto di EMC. Nel caso in cui il componente abbia una funzione diretta, ma il destinatario è competente è sufficiente l'utilizzo del manuale.
- Apparato / apparecchiatura, cioè qualsiasi unità autonoma in grado di svolgere una specifica funzione. Essi vengono realizzati da un insieme di componenti non necessariamente tutti marcati CE. Agli apparati va applicata la direttiva EMC.
- Sistema / installazione, cioè combinazione di diversi tipi di apparecchiature, prodotti finiti e componenti progettati e assemblati dal costruttore e destinata ad essere immessa sul mercato come unità funzionale singola. In questa categoria ricadono i quadri elettrici.

Per i quadri elettrici, in ambito EMC, vale il principio di modularità, definito nella norma IEC 61439-1 “*Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT), Parte 1: Regole generali*”, allegato J.

Il principio di modularità consiste nel considerare il sistema come l'insieme degli apparati che lo compongono. Pertanto, non è necessario effettuare test per dimostrare la conformità del quadro elettrico ai requisiti EMC se sono verificate le seguenti condizioni:

- Gli apparati e i componenti che vengono incorporati sono conformi ai requisiti EMC per l'ambiente preso in considerazione (in questo caso ambiente industriale, non residenziale) come richiesto dalle norme EMC che si applicano a quei prodotti.
- L'installazione dei componenti e il cablaggio viene condotto secondo le istruzioni fornite dal fabbricante.

Nel caso in cui una di queste condizioni non dovesse verificarsi, il produttore è tenuto a dimostrare la conformità del sistema ai requisiti EMC.

Non viene richiesto il testing di tutti quegli apparati non elettromagneticamente rilevanti ovvero apparati che non presentano circuiteria elettronica oppure la cui circuiteria è composta esclusivamente da elementi passivi (resistenze, diodi, capacità).

La Figura 5.2 fornisce un diagramma riassuntivo. Il percorso 3 è quello di maggior interesse per il caso dei quadri elettrici e rappresenta quanto detto nel paragrafo precedente. L'individuazione delle configurazioni di *worst case* e il testing di esse esonera dal comprovare la conformità anche per le altre configurazioni.

Nel caso in cui dovesse essere aggiunto al sistema un nuovo componente rispetto al sistema originale, ed esso è elettromagneticamente rilevante, si dovrà procedere a rivalutare i casi di *worst case* e ridimostrare la conformità.

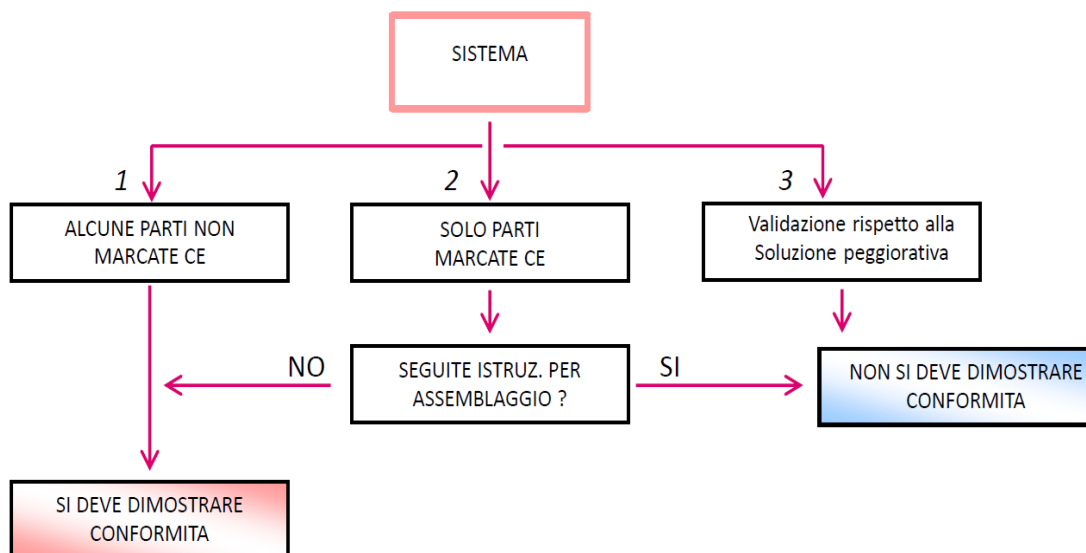


Figura 5.2: diagramma per valutare la conformità di un sistema

4. Informazioni da fornire

Per poter garantire le prestazioni in termini EMC è necessario informare l'utente delle pratiche di assemblaggio e installazioni corrette da adottare. In questo modo si può evitare che un'installazione fatta non a regola d'arte possa compromettere la compatibilità del prodotto nel suo ambiente di lavoro. Alcuni tipi di informazione da includere riguardo l'assemblaggio possono essere:

- Eventuali cavi particolari da utilizzare (ad es. intrecciati, schermati)
- Lunghezza massima dei cavi
- Separazione dei circuiti
- Informazioni relative alla messa a terra
- Tipi di alimentazione ausiliaria
- Le buone pratiche di cablaggio introdotte nel Capitolo 4

Oltre a ciò, il fornitore deve informare l'utente anche di eventuali misure adottate per mitigare gli effetti delle interferenze elettromagnetiche (ad es. barriere per lo *shielding*) e di tutte le misure aggiuntive prese in ambito EMC.

Il produttore è anche tenuto a riportare i criteri di performance adottati nelle prove di immunità e dichiarare espressamente per che tipi di ambienti elettromagnetici è stato progettato il prodotto. È bene anche informare l'utente riguardo alle caratteristiche in termini di disturbi degli ambienti considerati.

Nel caso in cui il prodotto potesse essere utilizzato in più ambienti, ciò va indicato, così come vanno indicate le specifiche istruzioni di installazione per ogni tipo di ambiente.

Un esempio di dicitura per informare l'utente sugli ambienti elettromagnetici in cui può operare il prodotto può essere:

“EMC environment E-III: Industrial and EMC environment E-II: light-industrial.”

Siccome nella IEC 63216 sono considerati solo i quadri elettrici operanti in ambienti industriali, i limiti in termini di emissione sono quelli dei prodotti appartenenti al gruppo A delle norme CISPR, pertanto, per tali prodotti, è assai probabile che non soddisfino i requisiti di emissione del gruppo B e quindi non siano adatti ad operare in ambienti residenziali e commerciali. Perciò è bene che il produttore apponga, secondo la EN 55011 (CISPR 11), una dicitura come quella in Figura 5.3 per informare l'utente che il prodotto non è stato progettato per ambienti residenziali.

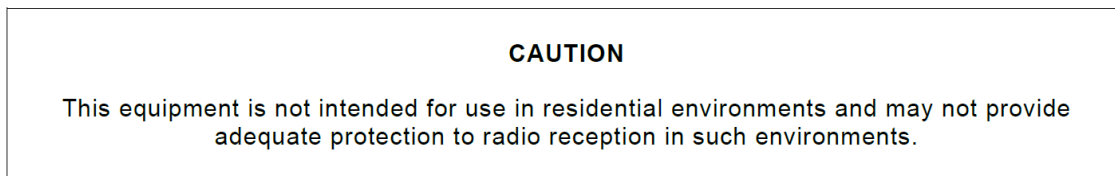


Figura 5.3: esempio di dicitura da riportare sul quadro elettrico progettato per ambienti industriali e non residenziali

CONCLUSIONE

Come si è visto i disturbi elettromagnetici sono una classe molto ampia di fenomeni che possono impattare in modi molto diversi sull'equipaggiamento elettrico. Non esistono regole assolute per limitare la loro emissione e la resistenza dei dispositivi ad essi, ma solamente pratiche di buona tecnica. Queste pratiche sono in continuo aggiornamento e miglioramento per poter garantire una sempre migliore compatibilità elettromagnetica.

La norma IEC 63216 ha come obiettivo proprio il riassumere tutte le regole di buona tecnica dell'ambito EMC dei quadri elettrici. Per la direttiva EMC è richiesto che i quadri elettrici soddisfino i due requisiti essenziali: non disturbare e non essere disturbati.

Il raggiungimento di questi requisiti avviene attraverso un'attenta progettazione, corrette pratiche di assemblaggio e all'installazione di appositi dispositivi quali schermature o filtri. Per i quadri elettrici vale anche il principio di modularità, secondo cui l'EMC è raggiunta se tutti i componenti del quadro sono EMC e l'assemblaggio viene svolto senza comprometterne la compatibilità e secondo le istruzioni del fornitore.

La IEC 63216 definisce delle categorie per gli ambienti elettromagnetici in cui andranno ad operare i quadri. Queste categorie sono definite da ben specifici livelli di emissione e immunità definiti rispettivamente dalla norma CISPR 11 e dalla serie IEC 61000-6. I quadri che andranno ad operare in una specifica categoria ambientale dovranno essere composti da componenti certificati per i rispettivi livelli di emissione ed immunità; se ciò non fosse, allora il produttore del quadro dovrà provvedere a verificare i livelli del prodotto finito tramite le prove di misura elettromagnetiche definite nelle varie norme di prodotto (ad es. la serie 61000-4).

Non essendoci alcun obbligo da parte della direttiva EMC di seguire le norme armonizzate o certificare la conformità, ma soltanto l'obbligo di garantire il soddisfacimento dei requisiti essenziali, le varie norme potrebbero avere valori limiti differenti in termini di emissione ed immunità. È buona cosa quindi scegliere i valori più restrittivi in quanto offrono una maggiore sicurezza di rispettare i requisiti EMC.

Le misure richiedono ambienti e strumentazione particolare, pertanto, è necessario rivolgersi ad organismi appositi e la misurazione diviene molto costosa. Quindi è bene limitare le misurazioni di *full-compliance* al minimo indispensabile e solo alla fine del progetto. Per fare ciò è necessaria una corretta progettazione del quadro elettrico che tenga conto sin dal principio degli aspetti legati alla compatibilità elettromagnetica. Per accertarsi che la progettazione stia seguendo i limiti imposti dai requisiti EMC, è bene eseguire prove di *pre-compliance* in modo da intervenire al più presto su eventuali

problematiche riscontrate e ridurre il numero di prove di *full-compliance*, come già detto molto più costose. La validazione del prodotto va fatta tenendo conto di tutte le configurazioni di funzionamento che esso può assumere, in particolare quella più peggiorativa in termini di compatibilità.

BIBLIOGRAFIA

IEC/TR 63216 “*Apparecchiature a bassa tensione - Valutazione della compatibilità elettromagnetica per apparecchi a bassa tensione e per apparecchiature assiemate (quadri BT)*”

EN 55011 “*Apparecchi industriali, scientifici e medicali (ISM) - Caratteristiche di radiodisturbo - Limiti e metodi di misura*”

IEC 61439-1 “*Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) - Parte 1: Regole generali*”, allegato J

IEC 60947-1 “*Apparecchiature a bassa tensione - Parte 1: Regole generali*”

IEC 60204-1 “*Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine - Parte 1: Regole generali*”, allegato H

IEC 61000-6-1 “*Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-1: Norme generiche - Immunità per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera*”

IEC 61000-6-2 “*Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali*”

IEC 61000-6-5 “*Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-5: Norme generiche - Immunità per le apparecchiature utilizzate in centrali e stazioni elettriche*”

IEC 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*”

Direttiva 2014/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio “*Direttiva EMC*”

D. Dainese, *Slide corso EMC*, Università degli studi di Padova

A. Sona, 2016, *Interferenze elettromagnetiche. Effetti indesiderati e soluzioni in ambito EMC*

F. Bertagnoli, 2013-2014, *Compatibilità elettromagnetica applicata all'equipaggiamento elettrico delle macchine*, Tesi di laurea triennale, Università degli studi di Padova