

# Velocità e accuratezza nelle misure di compatibilità elettromagnetica EMI

Jens Medler

Test and Measurement Division  
Standardization and Application  
Support for EMC Test Equipment  
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

I ricevitori basati sulla trasformata di Fourier FFT misurano i segnali suddividendoli in frequenza in segmenti che coprono una banda molto maggiore di quella utilizzata nelle connessioni IF ed è perciò necessario che le larghezze di banda IF attualmente in uso siano elaborate tramite opportuni filtri di preselezione posti adeguatamente prima dei filtri FFT

I ricevitori per i test sulle EMI basati sulle FFT possono essere usati per eseguire test in conformità al primo emendamento della terza edizione della normativa CISPR 16-1-1 allo scopo di determinare se i prodotti siano compatibili con questo standard. L'utilizzo di questi ricevitori è giustificato dall'accorciamento del tempo di scansione di parecchi ordini di grandezza e dalla necessità di ottenere valutazioni più affidabili grazie alla possibilità di applicare tempi di misura più lunghi e funzioni di misura più avanzate come l'analisi dello spettro nelle modalità più impegnative. Inoltre, per migliorare ulteriormente la precisione di misura è possibile utilizzare opportuni filtri di preselezione che altrimenti non sarebbero idonei.

## Il superamento dei limiti degli strumenti tradizionali

I tradizionali ricevitori per i test EMI si utilizzano per misurare i segnali all'interno di una larghezza di banda IF impostata durante un ben preciso intervallo di tempo di misura. Ciò si traduce in un tempo di scansione che

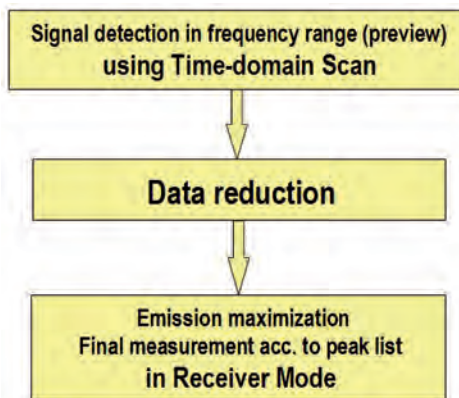


Fig. 1 – Procedura per le misure di compatibilità elettromagnetica EMI che utilizza una scansione nel dominio del tempo quando lo standard non è conforme alla normativa CISPR 16-1-1:2010 e al suo emendamento 1:2010

deve essere sufficientemente lungo per analizzare l'intera gamma di frequenza e individuare le emissioni intermittenti più irregolari.

I ricevitori basati sulle FFT misurano i segnali suddividendoli in frequenza in segmenti che coprono una banda molto maggiore di quella utilizzata nei collegamenti di questo tipo ed è perciò necessario che le larghezze di banda IF attualmente in uso siano elaborate tramite opportuni filtri di preselezione posti adeguatamente prima dei filtri FFT. Questo approccio offre alcuni importanti vantaggi:

1 – Il tempo necessario alla misura delle emissioni elettromagnetiche si riduce significativamente in propor-

zione al numero dei filtri FFT installati perché il ricevitore impiega molto meno tempo a cambiare frequenza e ciò significa diminuire il tempo dei test di diversi ordini di grandezza senza penalizzare in alcun modo la precisione di misura.

2 – Con le FFT è possibile applicare tempi più lunghi per le misure e quindi catturare anche i segnali intermittenti più irregolari.

3 – È possibile applicare funzioni di misura avanzate come

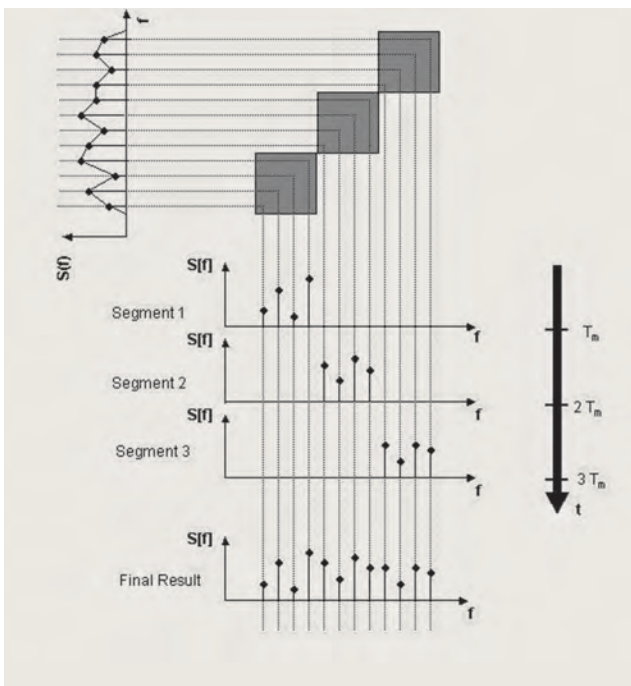


Fig. 2 – Scansione FFT sequenziale in accordo alla CISPR 16-2-3

quelle necessarie per gli spettrogrammi o per le misure di spettro in modalità persistenza.

Con la pubblicazione del primo emendamento della terza edizione della normativa CISPR 16-1-1 nel giugno 2010 sono stati definiti gli strumenti di misura basati sulle trasformate FFT idonei per le misure di conformità EMI. La pubblicazione delle norme standard è indispensabile affinché i prodotti siano certificati come compatibili e, in effetti, tutto ciò è già successo anche per le misure sulle emissioni EMI dei ricevitori radiofonici e televisivi e degli apparecchi a essi associati (normativa CISPR 13:2006) e per le apparecchiature multimediali (CISPR 32:2012). Altre normative simili sono già in via di pubblicazione per gli apparecchi di illuminazione (CISPR 15) e per le attrezzature automotive (CISPR 25).

La scelta del tempo di misura più adatto per un test sulla ricezione EMI basato sulle trasformate FFT richiede attenzione soprattutto quando si analizzano segnali a banda larga e segnali intermittenti. Inoltre, l'uso dei filtri di preselezione a radiofrequenza è utile per ampliare la gamma dinamica e per eliminare i rischi di sovraccarico. Quest'approccio si dimostra particolarmente vantaggioso nelle misure di picco sui segnali impulsati deboli sovrapposti a segnali con elevata ampiezza media.

### La normativa CISPR 16-1-1

Attualmente la direttiva CISPR è scritta con un approccio "a scatola nera" per definire le specifiche per le apparecchiature di misura. Ciò significa che tutte le specifiche prescritte dalla norma CISPR 16-1-1 devono essere sod-

disfatte dallo strumento di misura indipendentemente dalla tecnologia utilizzata per la sua fabbricazione e solo così le misure possono essere considerate conformi allo standard CISPR. Nel rispetto di questo approccio è stata aggiunta la nuova definizione del termine "ricevitore di misura" nell'emendamento 1:2010-06 della norma CISPR 16-1-1:2010-01 che dice esattamente: "strumento come voltmetro sintonizzabile, ricevitore EMI, analizzatore di spettro o altro strumento basato sulle FFT, con o senza preselezione, capace di soddisfare le parti fondamentali di questo standard".

Di conseguenza solo gli strumenti di misura basati sulle FFT che soddisfano i requisiti della CISPR 16-1-1:2010 e la sua modifica 1:2010 possono essere usati per le misure di compatibilità elettromagnetica, EMI. Ciò va inteso a livello di tutti i parametri di misura fondamentali come l'impedenza d'ingresso, l'ampiezza di banda, i fattori di sovraccarico, la VSWR, la precisione sulle tensioni sinusoidali, la risposta agli impulsi, la selettività delle caratteristiche, gli effetti d'intermodulazione, il rumore del ricevitore e gli effetti di screening.

D'altra parte, oltre ai requisiti generici gli strumenti basati sulle FFT devono essere in grado di campionare ed elaborare continuamente il segnale durante tutto il tempo del test e questo è fondamentale per catturare i disturbi impulsivi e i segnali intermittenti. Invero, questo è il principale motivo per cui si sconsigliano gli oscilloscopi a memoria digitale per le misure di compatibilità elettromagnetica EMI e cioè proprio a causa dell'inevitabile esistenza dei tempi ciechi durante le scansioni.

### L'applicabilità dello standard

Generalmente gli standard entrano in vigore nella forma di riferimenti alle norme citati nei prodotti con o senza data. Se il riferimento è senza data si applica l'ultima edizione della norma, altrimenti se c'è una data allora si applica l'edizione specifica dello standard che ha quella data. Le norme CISPR 13:2006 (ed.4.2) hanno riferimenti

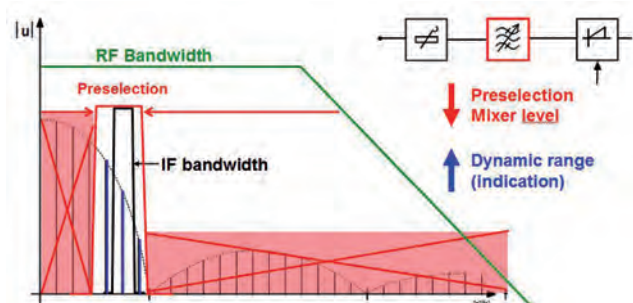


Fig. 3 – Principio della preselezione

non datati rispetto alle CISPR 16-1 mentre tutte le altre norme CISPR sia generiche che specifiche hanno i riferimenti con la data, come si vede nella tabella 1.

Pertanto, solo chi usa già strumenti conformi alla CISPR 13:2006 (Ed. 4.2) e alla CISPR 32:2012 (Ed. 1.0) può eseguire subito misure FFT sulla compatibilità elettromagnetica EMI purché il suo strumento soddisfi i requisiti della CISPR 16-1-1:2010 e della corrispondente modifica 1:2010 (Ed. 3.1), ben sapendo che i riferimenti alla CISPR saranno aggiornati nel corso del 2013. Tutte le altre norme su questi prodotti continueranno a essere sospese o in via di definizione almeno fino al 2014. La CISPR 22 non sarà modificata ulteriormente e sarà sostituita dalla CISPR 32 solamente nel 2017 e pertanto gli strumenti di misura basati esclusivamente sulle FFT continueranno a essere inadatti alle misure di compatibilità elettromagnetica sulle apparecchiature informatiche.

Per beneficiare della miglior efficienza dei ricevitori basati sulla tecnologia FFT nei test di compatibilità EMI non resta altro da fare che usare un ricevitore EMI tradizionale e implementare nella stessa procedura di test una scansione FFT nel dominio del tempo come illustrato nella figura 1. Anche se lo standard non è sufficientemente aggiornato per essere compatibile con la tecnologia FFT questo metodo consente di effettuare test completi sulle frequenze individuate come critiche in due passaggi ossia con una scansione preliminare e poi con un'analisi su ricevitore analogico tradizionale.

**Problematiche di temporizzazione e risposta dinamica nei test EMI basati sulla tecnologia FFT**

Sono possibili due differenti approcci per l'implementazione dei ricevitori basati sulle FFT: 1) l'oscilloscopio digitalizza il segnale a radiofrequenza usando un convertitore A/D con un'elevata dinamica, 2) il ricevitore ha un front-end che digitalizza il segnale IF. Il limite del primo approccio con oscilloscopio è il convertitore A/D che deve avere una risoluzione molto alta e un'elevata frequenza di campionamento per poter soddisfare i requisiti imposti dalla normativa CISPR 16 in termini di gamma dinamica e larghezza di banda. Considerando un certo margine di filtraggio in ingresso per un ricevitore da 1 GHz occorre allora un convertitore A/D con velocità di campionamento di almeno 2,5 GHz. Per soddisfare la normativa CISPR 16 è indispensabile, inoltre, una risoluzione di almeno 14 bit e, tuttavia, i convertitori A/D con queste caratteristiche non sono disponibili in commercio. Per ovviare a questa difficoltà è necessario pertanto ricorrere a opportune routine di auto calibrazione e adeguati algoritmi di filtraggio che

consentano di avvicinarsi quanto più possibile al livello di prestazioni richiesto.

Un approccio migliore è la combinazione di entrambe le soluzioni in un unico strumento che sia capace di convertire direttamente i segnali alla stessa velocità d'ingresso. Per esempio, una conversione A/D diretta sui segnali d'ingresso di 30 MHz può permettere a un ricevitore tradizionale di elaborare i segnali senza bisogno di procedure accessorie e consente di utilizzare convertitori A/D repe-

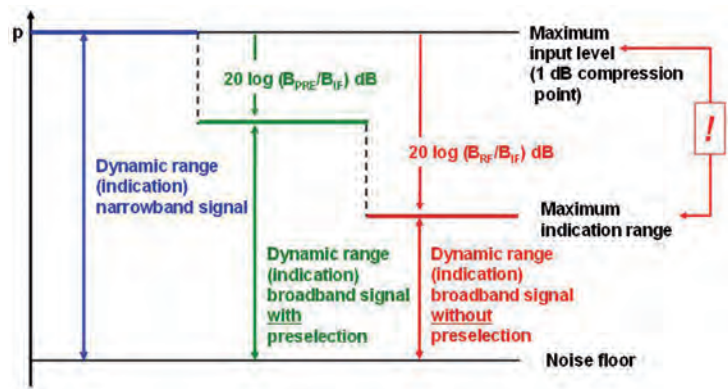


Fig. 4 – Gamma dinamica e fattore di banda

ribili a basso costo. Questo approccio ha molti vantaggi: superiore dinamica su minor banda e ampia disponibilità di convertitori A/D con miglior risposta dinamica ed elevata risoluzione di 16 bit; superiore limite di frequenza del ricevitore non più costretto al limite della frequenza di campionamento del convertitore A/D; il filtraggio in ampiezza di banda e tutti i front-end possono ora lavorare in tempo reale e quindi lo spettro dell'emissione irradiata può essere visualizzato senza interruzioni di continuità nel dominio del tempo; oltre i 30 MHz l'intervallo di frequenza viene suddiviso in numerosi segmenti da circa 25 MHz che vengono analizzati sequenzialmente; il tempo di permanenza aumenta grazie alla minor velocità di campionamento e, per esempio, può arrivare a ben 100 secondi; grazie all'inferiore banda di frequenza utilizzata per la FFT è ora possibile usare un pre-selezionatore a radiofrequenza che consente di proteggere l'ingresso del ricevitore dai sovraccarichi causati dai segnali più forti e al tempo stesso garantisce la corretta misura dei segnali di disturbo più deboli quando appaiono sovrapposti ai segnali di fondo più forti.

Di conseguenza un ricevitore di test sulle EMI basato sulle FFT può essere realizzato con un banco di N filtri in parallelo e con una velocità di scansione capace di calibrare la cattura dei segnali esattamente sulla larghezza di banda

di risonanza delle FFT. A tale scopo l'intera banda di frequenza viene divisa in segmenti che sono acquisiti ed elaborati separatamente in successione, come si vede nella figura 2. Il tempo di scansione  $T_{scan}$  è calcolabile come  $T_{scan} = T_m N_{seg}$ , dove  $T_m$  è il tempo di misura per ciascun segmento di frequenza e  $N_{seg}$  è il numero dei segmenti. È comunque necessario che il tempo di misura sia sempre più lungo dell'intervallo di ripetizione degli impulsi causati dal rumore tipicamente impulsivo per poter ottenere una misura corretta. Se il tempo di misura è più breve inevitabilmente si perderanno degli impulsi e potranno apparire degli errori di misura. Nel caso peggiore il ricevitore potrebbe non catturare affatto il segnale e ciò può essere fatale soprattutto quando la ripetizione degli impulsi supera la dimensione dei segmenti ovvero fosse maggiore, per esempio, di 25 MHz. Qualora l'intervallo di ripetizione degli impulsi sia sconosciuto allora è necessario effettuare più scansioni con diversi tempi di misura selezionando al suo massimo valore la funzione di mantenimento dei campioni in modo tale da visualizzare e determinare l'esatto involuppo spettrale del segnale. Per i segnali che hanno una bassa ripetizione degli impulsi potrebbero essere necessarie molte scansioni (per esempio da 10 a 50) per riuscire a catturare correttamente l'intero involuppo spettrale nella banda del segnale. Il tempo di misura più appropriato può essere deciso provando ripetutamente a cambiarlo finché la differenza fra gli involuppi spettrali ottenuti e la loro media si riduce almeno entro 2 dB.

Generalmente i ricevitori per i test EMI devono essere dotati di filtri di preselezione per poter offrire una gamma dinamica adeguata per le misure sui picchi dei segnali impulsivi soprattutto quando la frequenza di ripetizione degli impulsi (Pulse Repetition Frequency, PRF) è bassa e occorre proteggere lo stadio d'ingresso dello strumento dai sovraccarichi e dai danni che possono provocare i segnali con ampiezza elevata o banda molto larga. Questo succede, per esempio, con i segnali che hanno una banda di frequenza molto più ampia della larghezza di banda di misura dello strumento, come si vede nella figura 3.

Un filtro di pre-selezione adeguato a tali situazioni dovrebbe essere in grado di fornire almeno 30 dB di attenuazione alla frequenza centrale del segnale più forte. Inoltre, occorrono numerosi filtri per coprire adeguatamente l'intera gamma di frequenza da 9 kHz fino a 6 GHz. In genere, la gamma dinamica è limitata dalla linea di fondo determinata dal livello del rumore visualizzato sul display in funzione della risoluzione in frequenza prescelta per l'analisi e, per esempio, è di 120 kHz per la banda CISPR che va da 30 a 1000 MHz mentre il limite superiore è di 1 dB e corrisponde al punto di compressione del primo mixer. La massima gamma dinamica consente di

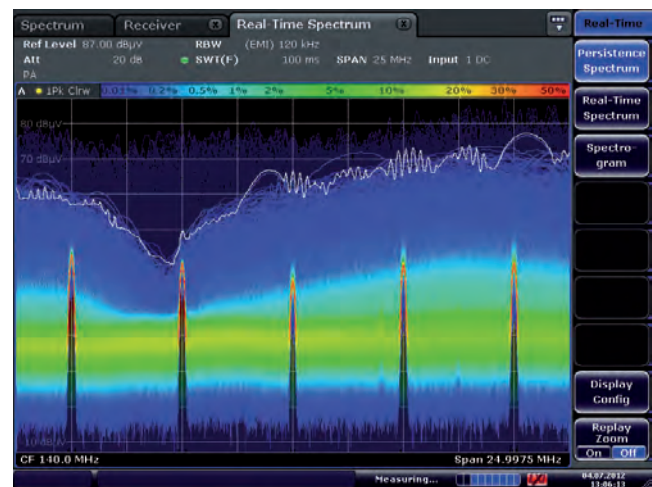


Fig. 5 – Il R&S ESR nella modalità “persistenza”

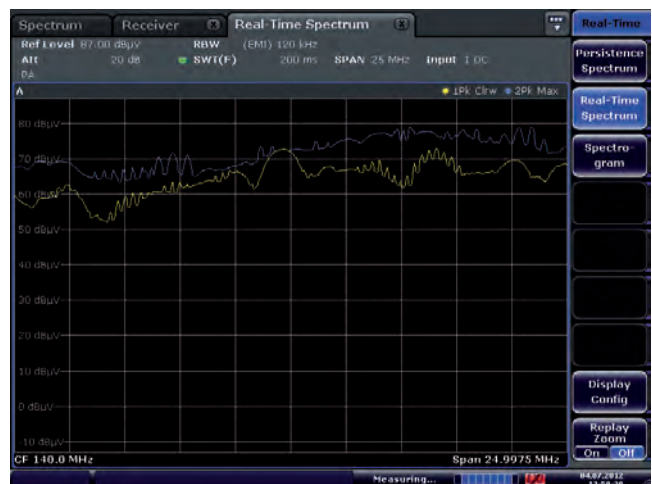


Fig. 6 – Il R&S ESR nella modalità “spettro in tempo reale”. La traccia gialla rappresenta lo spettro corrente mentre la traccia blu è il picco massimo (Max Hold)

misurare i segnali a onda continua (Continuous-Wave, CW) con banda relativamente stretta perché se si dovessero misurare segnali a banda troppo larga si osserverebbero forti distorsioni prodotte dalle non linearità tipiche del mixer. Di conseguenza il massimo livello d'ingresso privo di fenomeni d'intermodulazione (Maximum Indication Range, MIR) viene ridotto proprio dalla larghezza di banda, come si vede nella figura 4. Esempio: il fattore di banda senza preselezione è di circa 26 dB se si utilizza un filtro di banda di 50 MHz (IF Filter Bandwidth,  $B_{IF}$ ) e se si assume che la larghezza di banda del segnale a banda larga sia uguale alla larghezza di banda del ricevitore per il test EMI e cioè  $B_{RF} = 1$  GHz. Per contro, il fattore di banda scende a circa 6 dB se si usa un filtro di preselezione  $B_{PRE}$  di 100 MHz e ciò significa che il massimo livello d'ingresso aumenta di 20 dB rispetto ai test senza preselezione.

**Tabella 1 – Date di pubblicazione delle normative riferite alla CISPR 16-1-1**

Standard	Compatibilità con la CISPR 16-1-1	Data di pubblicazione
CISPR 11:2010 (Ed. 5.1) – prodotti standard per attrezzature industriali, scientifiche e medicali (ISM)	CISPR 16-1-1:2006 ed emendamenti 1:2006 e 2:2007	2014
CISPR 12:2009 (Ed. 6.1) – prodotti standard per veicoli, natanti e motori a combustione interna (protezione off-board)	CISPR 16-1-1:2006	2014
CISPR 13:2009 (Ed. 5.0) – prodotti standard per audio, televisione e apparecchiature associate	CISPR 16-1-1:2006 ed emendamenti 1:2006 e 2:2007	2014
CISPR 14-1:2011 (Ed. 5.2) – prodotti standard per elettrodomestici e strumenti elettrici	CISPR 16-1-1:2003	2014
CISPR 15:2009 (Ed. 7.2) – prodotti standard per illuminazione elettrica e apparecchiature simili	CISPR 16-1-1:2003	2013
CISPR 22:2008 (Ed. 6.0) – prodotti standard per apparecchi informatici (Information Technology Equipment, ITE)	CISPR 16-1-1:2006 ed emendamenti 1:2006 e 2:2007	2017
CISPR 25:2008 (Ed. 3.0) – prodotti standard per veicoli, natanti e motori a combustione interna (protezione on-board)	CISPR 16-1-1:2006 ed emendamenti 1:2006 e 2:2007	2014
CISPR 32:2012 (Ed. 1.0) – prodotti standard per apparecchiature multimediali	CISPR 16-1-1:2010 e suo emendamento 1:2010	2015
IEC 61000-6-3:2010 (Ed. 2.1) – standard generico per attrezzature residenziali, commerciali e industriali leggere	CISPR 16-1-1:2010	2014
IEC 61000-6-4:2010 (Ed. 2.1) – standard generico per attrezzature industriali pesanti	CISPR 16-1-1:2010	2014

una determinata ampiezza a una ben precisa frequenza non appare più nel segnale allora il pixel corrispondente scompare dopo un periodo di persistenza definibile dall'utente. Ciò consente agli utenti di stabilire quali disturbi distinguere più chiaramente e, per esempio, evidenziare i disturbi impulsati che appaiono per periodi brevi e irregolari oppure i disturbi continui che si susseguono per lunghi periodi. Inoltre, l'utente può anche decidere quali disturbi impulsati isolare qualora fossero presenti molteplici treni di impulsi. Esempio: lo spettro del disturbo visualizzato nella figura 5 è causato da un motore elettrico dove non ci sono filtri di soppressione EMI e un secondo disturbo impulsato è chiaramente visibile ma non può essere identificato usando i ricevitori tradizionali perché

si trova nascosto dal più potente disturbo a banda larga generato dal motore, come si vede nella figura 6.

**Maggior velocità con la scansione nel dominio del tempo**

Rohde & Schwarz ha introdotto una nuova generazione di ricevitori EMI basati sulle FFT conformi alle normative CISPR 16 per la misura dei disturbi elettromagnetici. Nel nuovo strumento R&S ESR l'analisi nel dominio del tempo basata sulle FFT è in grado di fornire una velocità circa 6000 volte superiore a quella raggiungibile con i tradizionali approcci basati sul filtraggio a singolo canale.

Le scansioni in frequenza nelle bande CISPR possono essere eseguite dall'ESR in pochi millesimi di secondo e le misure di picco e di media richiedono solo pochi secondi il che significa che le misure preliminari con i rivelatori di picco non sono più necessarie. La maggior velocità di misura è particolarmente utile se l'apparecchiatura sotto test è disponibile solo in brevi periodi di tempo come, per esempio, per i motorini di avviamento delle automobili. Il tempo risparmiato grazie alla maggior velocità di misura può essere utilizzato per imporre tempi di misura molto più lunghi allo scopo di rilevare correttamente i segnali intermittenti o gli impulsi irregolari. Nella modalità persistenza l'ESR R&S visualizza gli spettri senza soluzione di continuità nella forma di diagrammi istantanei come si vede nella figura 5. Il colore di ogni pixel indica quante volte si misura una determinata ampiezza a ogni frequenza specifica. Per esempio, i segnali che compaiono più di frequente sono visualizzati in rosso e quelli più sporadici in blu mentre se

**Misure FFT veloci e affidabili**

I ricevitori per i test EMI basati sulle FFT possono essere utilizzati per le misure di compatibilità elettromagnetica in conformità con il primo emendamento della terza edizione della normativa CISPR 16-1-1 solo se questa norma viene espressamente citata come standard di riferimento nei prodotti. Pertanto solo gli utilizzatori degli strumenti conformi alla CISPR 13:2006 (Ed. 4.2) e alla CISPR 32:2012 (Ed. 1.0) possono usare immediatamente soluzioni di misura basate sulle FFT anche per i test di compatibilità EMI. Gli utenti di strumenti conformi alle altre normative possono ricorrere alla scansione nel dominio del tempo che consente di accelerare i test e migliorarne l'efficacia.

L'uso dei ricevitori EMI basati sulle FFT è motivato dalla diminuzione del tempo di scansione di parecchi ordini di grandezza che le FFT consentono grazie alla possibilità di applicare tecniche di misura più sofisticate e funzioni di cattura più avanzate come ad esempio l'acquisizione nella modalità persistenza oppure l'impiego dei filtri di preselezione che rendono le misure ancor più precise e ripetibili. ■