

EASYSCAN e confronto misure/simulazione di emissione EM Close Field da PCBs

Data di redazione: 26 settembre 2000

Numero di pagine: 17

AUTORI: Flavio MAGGIONI (IN-SP)

REVISIONE: Piero BELFORTE (IN-SM)

Executive summary

EASYSCAN e' un prototipo di prodotto sviluppato per il rilevamento di mappe bidimensionali planari di emissione elettromagnetica (EM) da schede elettroniche e piccoli apparati (per esempio: telefoni portatili). L'attivita', svolta nell'ambito del progetto P24 "Evoluzione dei modelli di progettazione", task 4 "Impatto dei vincoli di compatibilita' elettromagnetica", aveva il triplice scopo di valutare le prestazioni della apparecchiatura EASYSCAN, delle sonde di campo magnetico utilizzate e la validazione del software di valutazione simulativa dello stesso fenomeno disponibile in THRIS.

L'analisi ha dimostrato un buon grado di affidabilita' dei risultati, sia dello strumento di scansione che del software di valutazione simulativa. Anche le sonde utilizzate hanno mostrato una sufficiente capacita' di risoluzione del campo misurato (ordine del millimetro). Sono emerse criticita' soprattutto di tipo meccanico e di lentezza dello strumento di scansione, superabili in una eventuale attivita' di ingegnerizzazione e alcuni problemi di stabilita' del software sia di simulazione che di controllo dello strumento di scansione. Il presente documento, dopo una introduzione della problematica, descrive i risultati delle prove effettuate ed i confronti fra misure e simulazioni.

Indice del documento

| | | |
|------|---------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introduzione | 3 |
| 1.1 | <i>Analisi EM Close Field</i> | 3 |
| 1.2 | <i>Contenuto</i> | 3 |
| 2 | Descrizione del sistema di scansione | 3 |
| 2.1 | <i>Lo strumento Easy Scan</i> | 3 |
| 3 | Descrizione del tool di simulazione | 4 |
| 3.1 | <i>Il sistema THRIS</i> | 4 |
| 3.2 | <i>L'analisi simulativa di emissione EM Close Field</i> | 4 |
| 4 | Descrizione del Setup di misura | 5 |
| 5 | Sonde | 5 |
| 6 | Test vehicle 1 | 6 |
| 6.1 | <i>Descrizione del test vehicle 1</i> | 6 |
| 6.2 | <i>Confronti misure/simulazione</i> | 6 |
| 7 | Test vehicle 2 | 8 |
| 7.1 | <i>Descrizione del test vehicle 2</i> | 8 |
| 7.2 | <i>Confronti misure/simulazioni</i> | 9 |
| 8 | Conclusioni | 12 |
| 9 | Bibliografia | 13 |
| 10 | Elenco di sigle, acronimi e simboli | 13 |
| 11 | Glossario | 13 |
| 12 | Appendice A: Descrizione delle sonde utilizzate | 14 |
| 13 | Appendice B: Calibrazione della sonda RF B 3-2 | 15 |
| 13.1 | <i>Setup di calibrazione</i> | 15 |
| 13.2 | <i>Test vehicle e procedura di misura adottata</i> | 15 |
| 13.3 | <i>Risultati di misura</i> | 16 |

1 Introduzione

1.1 Analisi EM Close Field

La rilevazione di campo elettromagnetico emesso da un corpo radiante puo' essere effettuata in condizioni di Far Field, Near Field o Close Field. Mentre le prime due sono differenziate dal rapporto fra la distanza di misura e la lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica, il Close Field si puo' definire una situazione particolare di Near Field in cui la distaza fisica dal corpo radiante e' piccola confrontata alle dimensioni dell'oggetto radiante, (dell'ordine di millimetri o centimetri per un PCB). Questa tecnica permette di identificare con precisione i punti di fuga di emissione elettromagnetica di interi apparati oppure spot di emissione da schede elettroniche. Il valore di campo ottenuto con questa tecnica, a causa dell'elevato gradiente del campo elettromagnetico che si verifica in prossimita' del corpo radiante che lo genera, e' fortemente sensibile alla distanza di misura (e' facile avere sensibilita' dell'ordine di parecchi dB/mm) percui si inquadra piu' come una caratterizzazione di tipo qualitativo che quantitativo.

1.2 Contenuto

Il presente documento contiene un confronto fra misure e simulazione di emissione elettromagnetica in condizioni di Close Field, con un triplice scopo:

- 1) Collaudo della apparecchiatura di misura di scansione elettromagnetica EASYSCAN realizzata in CSELT per la rilevazione di mappe bidimensionali di emissione elettromagnetica in condizioni di Close Field;
- 2) Validazione del software di simulazione EmiR disponibile nel sistema THRIS per la rilevazione simulata di mappe bidimensionali di emissione elettromagnetica in condizioni di Close Filed
- 3) Verifica prestazionale di sonde per la rilevazione di campo elettromagnetico in condizioni di Close Field.

2 Descrizione del sistema di scansione

2.1 Lo strumento Easy Scan

Easy Scan e' costituito da una piattaforma orizzontale traslabile in due direzioni ortogonali tramite viti millimetriche e motori passo passo controllati da una apparecchiatura hardware. Il controllo software e' effettuato tramite un programma in linguaggio VEE, mentre la visualizzazione delle mappe di emissioni rilevate dalla strumentazione e' affidata ad una particolare funzione del sistema THRIS.

L'altezza della sonda di misura e' pure controllata dal software VEE tramite una vite millimetrica ed un motore passo passo. Lo strumento permette la misurazione di componenti di campo nelle tre direzioni spaziali x,y,z, compatibilmente alle caratteristiche della sonda utilizzata.

Una descrizione dettagliata del sistema di scansione e del software di controllo VEE e' contenuta in [1].

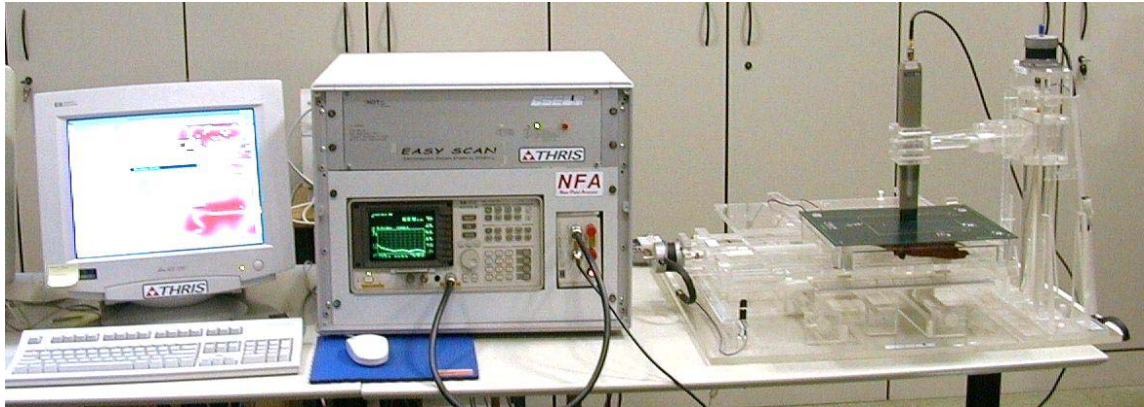


Figura 2.1.1: Sistema di misura EM Close Field EASY SCAN.

3 Descrizione del tool di simulazione

3.1 Il sistema THRIS

Il sistema THRIS è un sistema hardware/software che, fra le altre funzionalità, permette la simulazione della Signal Integrity e del comportamento EMC di schede elettroniche. Nato inizialmente come strumento applicabile per l'inserzione fisica di guasti durante la qualificazione degli apparati di telecomunicazione, nel corso di alcuni anni è diventato un potente strumento di verifica del progetto hardware a livello elettrico ed elettromagnetico. Fra le varie funzionalità comprende l'analisi pre-layout a livello elettrico di interconnessioni critiche e l'analisi post-layout a livello elettrico (terminazioni, impedenza delle piste, diafonie, rumore di commutazione simultanea) di interi PCB e di sistemi composti da più PCB. Recentemente l'interesse è stato indirizzato alle problematiche di emissione elettromagnetica (irradiata e condotta), con lo scopo di prevenire, tramite un approccio simulativo a livello di progetto, eventuali criticità che potrebbero manifestarsi solamente durante la fase di certificazione del prodotto finito.

3.2 L'analisi simulativa di emissione EM Close Field

Una delle analisi possibili del sistema THRIS è la simulazione dell'emissione in condizioni Close Field, limitatamente ai contributi dovuti alle piste dei layer top e bottom, di schede elettroniche a circuito stampato.

La procedura di simulazione è riassunta brevemente:

- 1) In una prima fase, tutti o alcuni segnali della scheda vengono simulati a livello elettrico. I modelli utilizzati per i driver (I/O dei componenti della scheda) permettono l'assegnamento di segnali digitali o analogici con frequenze e fasi diverse fra loro, emulando il più similmente possibile il comportamento reale della scheda sotto test.
- 2) Nel setup di simulazione viene specificato il campo di frequenze utilizzato per il test. La frequenza minima è correlata al segnale ripetitivo più lento sul PCB che si vuole analizzare, mentre quella più alta è 1GHz per default, ma può essere modificata dall'utente. La frequenza di campionamento rispetta il criterio di Nyquist.
- 3) La simulazione dei segnali sulla scheda avviene a livello elettrico nel dominio del tempo. La finestra temporale di simulazione è correlata dalla frequenza del segnale ripetitivo più lento. Alla fine della simulazione, i valori di tensione e corrente presenti **ad un'estremo** di **ogni** segmento di layout dei layer top e bottom della scheda vengono memorizzati su file. A titolo di esempio, per una interconnessione dal punto A al punto B rappresentata da n-segmenti di lunghezza variabile verranno salvati 2n forme d'onda, n di tensione ed n di corrente. Queste forme d'onda possono, inoltre, essere visualizzate sullo schermo.

- 4) Un primo algoritmo permette di passare dalle tensioni e correnti fisiche salvate nel file alle onde progressive e regressive di tensione e corrente sui vari tratti di pista, sempre nel dominio del tempo. Una descrizione di questo tipo permette di calcolare l'andamento nel tempo di tensione e corrente in un punto qualunque intermedio di un segmento.
- 5) Un algoritmo di FFT viene applicato alle onde progressive e regressive, passando dal dominio del tempo a quello delle frequenze.
- 6) A questo punto viene specificata una griglia bidimensionale XY, avente un passo di griglia specificato da utente ed una altezza della sonda virtuale dalla scheda sotto analisi (positiva per le mappe relative al top layer e negativa per quelle relative al bottom layer). Il potere risolutivo dell'analisi varia in funzione dell'altezza a cui viene calcolata la mappa e puo' arrivare (per altezze molto piccole) a valori dell'ordine di alcuni millimetri.
- 7) Come ultima fase di calcolo, per ogni punto di griglia della mappa vengono sommati (in modulo e fase) i contributi di irradiazione di ogni segmento delle interconnessioni coinvolte nell'analisi (i segmenti piu' lunghi vengono a loro volta spezzettati in piu' segmentini elementari) ed il campo risultante rappresentato nelle sue componenti x,y e z in valore RMS o massimo (a scelta dell'utente).
- 8) La mappa (una per ogni armonica della minore frequenza di analisi specificata nel setup di simulazione), con rappresentazione a curve di livello, viene quindi mostrata sovrapposta al disegno del layout della scheda utilizzando un scala a gradazione di colore (rosso = campo piu' intenso). Una serie di comandi permette di:
 - Selezionare la frequenza;
 - Selezionare la componente di campo desiderata (x,y,z, totale);
 - Specificare i limiti della scala di gradazione dei colori;
 - Effettuare zoom

Una descrizione accurata della user interface del sistema THRIS e' disponibile in [2].

4 Descrizione del Setup di misura

Il setup di misura prevede lo strumento EASYSCAN ed una scheda a circuito stampato irradiante. Per le prove sono state utilizzate due schede di prova. Il campo magnetico rivelato dalla sonda viene amplificato ed inviato ad un analizzatore di spettro. Il software di controllo di EASYSCAN provvede a spostare la sonda secondo una griglia definita da utente ed ad acquisire, dall'analizzatore di spettro, i valori di campo misurati. Alla fine della scansione i dati vengono salvati su file e possono essere visualizzati, tramite THRIS, in formato di mappe bidimensionali sovrapposte al disegno della scheda elettronica sotto test.

5 Sonde

Le sonde utilizzate nel corso della sperimentazione sono 2:

- Sonda HP 11940A Close-field probe 30MHz-1GHz
- Sonda RFB 3-2 prodotta dalla LANGER EMV-Technik (D)

Una descrizione piu' dettagliata delle sonde utilizzate e' riportata in appendice A.

Tutte le prove indicate nei capitoli successivi sono state condotte con la sonda RFB 3-2, tenendo conto delle curve di correzione ricavate dalla procedura indicata in appendice B.

6 Test vehicle 1

6.1 Descrizione del test vehicle 1

Il primo test vehicle e' rappresentato da una microstrip a serpentina su un PCB. La topologia della pista e' la seguente:

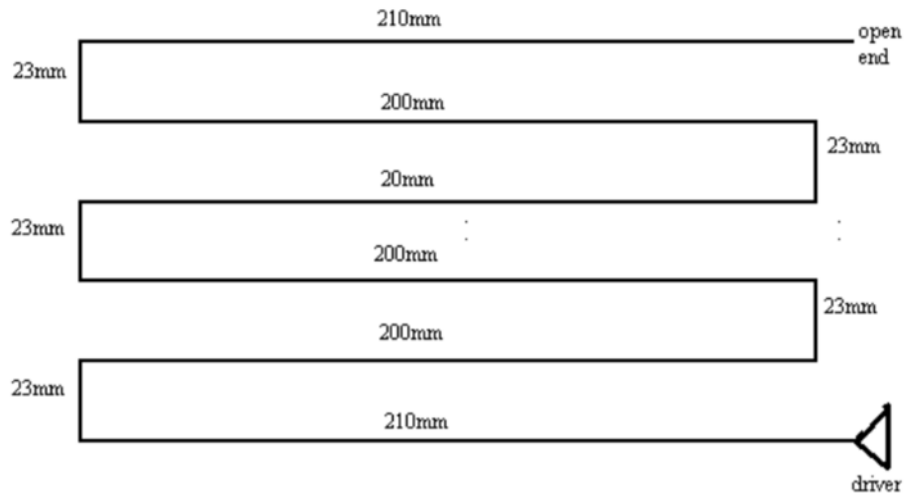


Figura 6.1.1: Pattern del primo test vehicle.

La larghezza della pista e' di 1.2mm e lo spessore totale della scheda (due layer, il secondo e' un piano continuo di massa) pari a 1.5mm. Il materiale considerato e' FR4 (costante dielettrica supposta pari a 4.7).

Come driver e' stato utilizzato un generatore sinusoidale connesso ad un capo della pista. L'altra estremita' della pista e' stata lasciata non terminata, per causare l'instaurarsi di onde stazionarie.

6.2 Confronti misure/simulazione

Il generatore (impedenza interna 50 ohm) e' stato impostato ad una frequenza di 300MHz, con un livello di segnale pari a 90db μ V (RMS), equivalente ad una sinusoide con ampiezza massima di 0.0894 Vpp, valore utilizzato anche per la simulazione.

La figura 6.2.1 mostra il confronto fra campo misurato e simulato, a 300MHz, della scheda sotto test. La distanza della sonda dalla scheda e' di 5mm ed il campo rilevato e' limitato alla componente in direzione z (normale alla scheda). La grigliatura di partenza (misurata e simulata) ha un passo di 3mm in entrambe le direzioni x e y. Per agevolare il confronto, sono stati fatte alcune sezioni del solido di irradiazione, per intensita' del campo maggiori di 50dB μ A/m.

Si puo' notare la notevole somiglianza dei pattern di campo sia nella forma (sono ben visibili i ventri ed i nodi dell'onda stazionaria) che nei valori (lo scarto fra il valori massimi misurati e simulati e' inferiore ai 3dB).

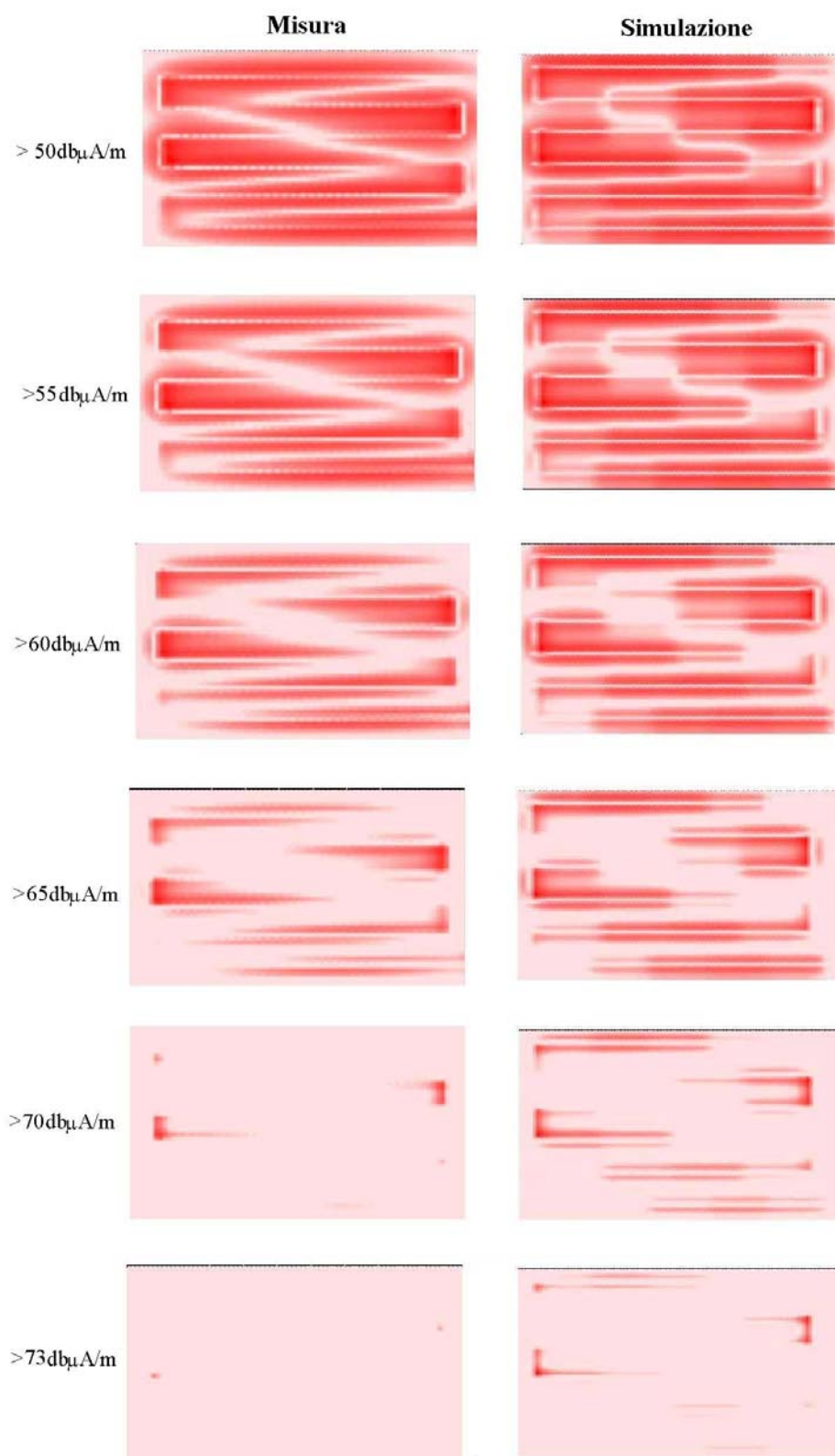


Figura 6.2.1: Confronto fra misura e simulazione del primo test vehicle. Frequenza = 300MHz, distanza della sonda dalla scheda = 5mm. Passo di scansione misurato e simulato = 3mm in entrambe le direzioni x ed y.

7 Test vehicle 2

7.1 Descrizione del test vehicle 2

Come secondo veicolo di test e' stata utilizzata una scheda di test completa di oscillatore, e componenti. Il layout della scheda e' riportato in fig. 7.1.1

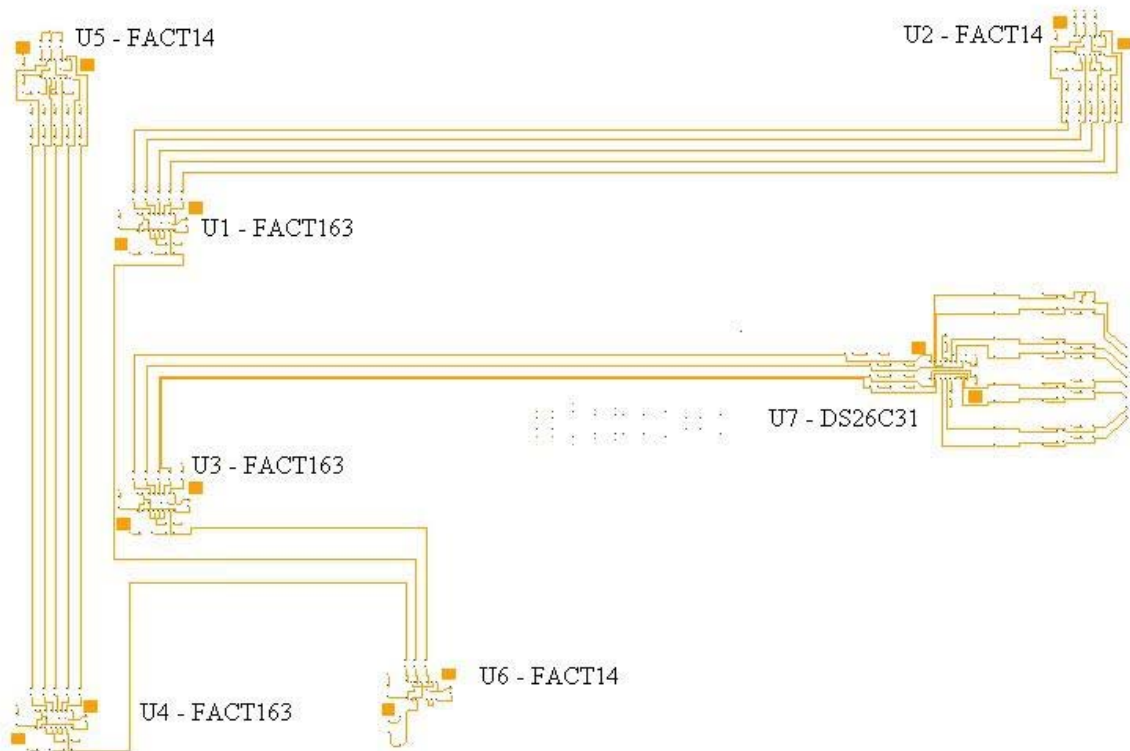


Figura 7.1.1: Layout della scheda utilizzata come test.

La funzione della scheda e' molto semplice: Un oscillatore locale quarzato genera una frequenza di 16.893 MHz che viene distribuita tramite U6 ai tre contatori U4, U3 ed U1 (FACT163). Ognuno di questi contatori ha cinque uscite, a frequenza 8, 4, 2 ed 1 Mhz piu' il bit di carry (in U3 il bit di carry non viene utilizzato).

I componenti U5 ed U2 hanno solo funzione di receiver, mentre U7 e' un driver di linea e trasforma il segnale ricevuto in un segnale differenziale collegato ad un connettore esterno. La scheda, utilizzata anche come test per la valutazione delle emissioni irradiate, e' alimentata autonomamente da un pacco di batterie schermate collocato sul lato opposto della scheda, dove risiede l'alimentatore stabilizzato tradizionale (schermato e non switching). La scheda ha 4 layers, con i due centrali costituiti da piani continui di massa ed alimentazione.

La scheda cosi' costituita irradia essenzialmente per tre cause:

- modo differenziale dalle piste,
- modo differenziale dai loop di alimentazione dei componenti,
- modo comune dai piani di massa ed alimentazione.

L'analisi di emissione EM in close field permette di rilevare i primi due fenomeni. Durante l'analisi è stato notato comunque che l'analisi in close field permette di rilevare anche le frequenze di risonanza del piano di massa della scheda. È sufficiente infatti porre la sonda in una posizione ai bordi della scheda e lontano dai componenti per rilevare uno spettro di emissione caratterizzato da un picco principale (intorno a 200MHz) e sue armoniche. Ovviamente, i segnali presenti sulla scheda devono contenere armoniche tali da stimolare la frequenza di risonanza del piano (idealmente una delta di Dirac, ma è sufficiente un segnale lento a fronti ripidi che genera numerose armoniche superiori di grande ampiezza).

Il segnale spettrale misurato sulla scheda presenta, in teoria, armoniche ogni 1.0558MHz, causate dalla frequenza del bit più significativo dei contatori. Comunque, la potenza spettrale ricade maggiormente nelle armoniche del clock (ogni 16 MHz circa), nei bit più significativi dei contatori (ogni 8 MHz circa) e via via a scalare fino alle armoniche intermedie a passo di 1.0558MHz. La medesima configurazione di segnale è stata simulata tramite THRIS.

7.2 Confronti misure/simulazioni

Fig. 7.2.1 mostra il confronto fra misura e simulazione per una armonica del clock (terza armonica del clock a 16.9MHz, circa 50.6 MHz). I diversi grafici sono tutti relativi alla medesima frequenza, ma disegnando, volta per volta, solo il campo maggiore di un valore specificato da utente, permettendo così una visualizzazione tipo "a curve di livello". Dall'analisi si vede come il contributo maggiore all'emissione misurata sia portato dalle piste di clock. Gli spot di colore intenso rilevato nelle misure sono in corrispondenza dei componenti, che hanno registrato il valore massimo di campo (circa 99dbuA/m), mentre le piste raggiungono al massimo un valore di 85dbuA/m. Comunque, lo spessore dei componenti provoca un errore sistematico di misura del campo emesso dagli stessi poiché la distanza dalla sonda diminuisce fino a circa 3mm invece dei 5mm delle piste, causando un errore di sovrastima del campo misurato di almeno 5-8db (vedi appendice B). Con questa correzione il campo emesso dai componenti si riavvicina notevolmente a quello emesso dalle piste. Relativamente alle piste si nota invece una buona corrispondenza fra misura e simulazione, con una differenza qualitativa di alcuni dB fra le mappe simulate e misurate.

Fig. 7.2.2 mostra il confronto fra misura e simulazione per una armonica del bit meno significativo del contatore (settima armonica di 8.45MHz, circa 60MHz). L'emissione è chiaramente dovuta alle piste dei contatori, mentre il contributo delle piste del clock è nullo (non è una armonica del clock). Il campo massimo è in generale circa 10db inferiore delle piste di clock di fig. 7.2.1¹. La corrispondenza fra misura e simulazione è notevole, anche in termini quantitativi di campo misurato/simulato, come rivelato dal sezionamento "a curve di livello".

¹ Le commutazioni sono anche doppie

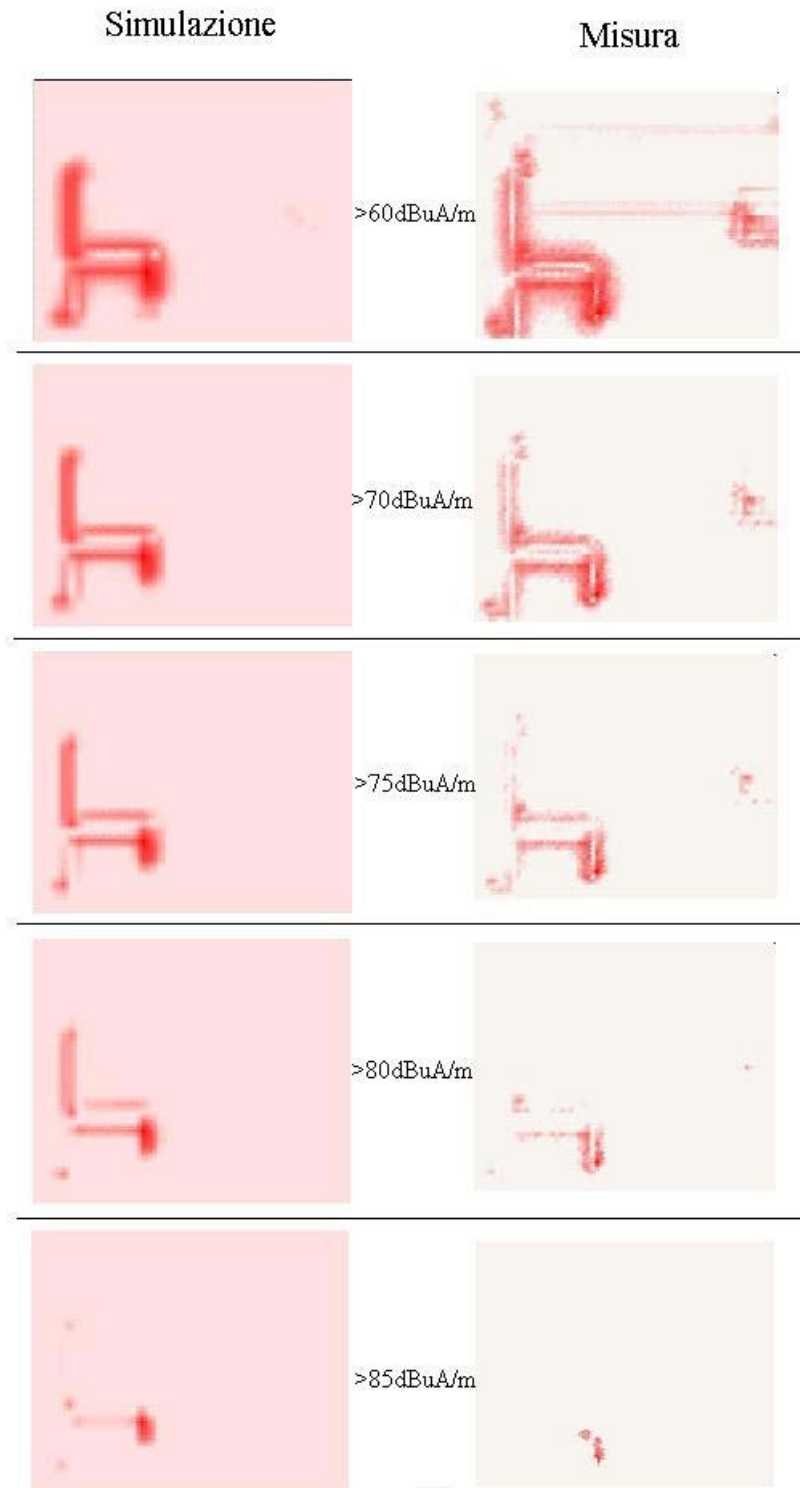


Fig. 7.2.1: Confronto fra mappe di emissione in close field (5mm di distanza dalla scheda) misurate e simulate alla frequenza di 50.5MHz circa (terza armonica del clock). Passo di scansione di misura 4mm in x ed y, Passo di scansione di simulazione 6mm in x ed y.

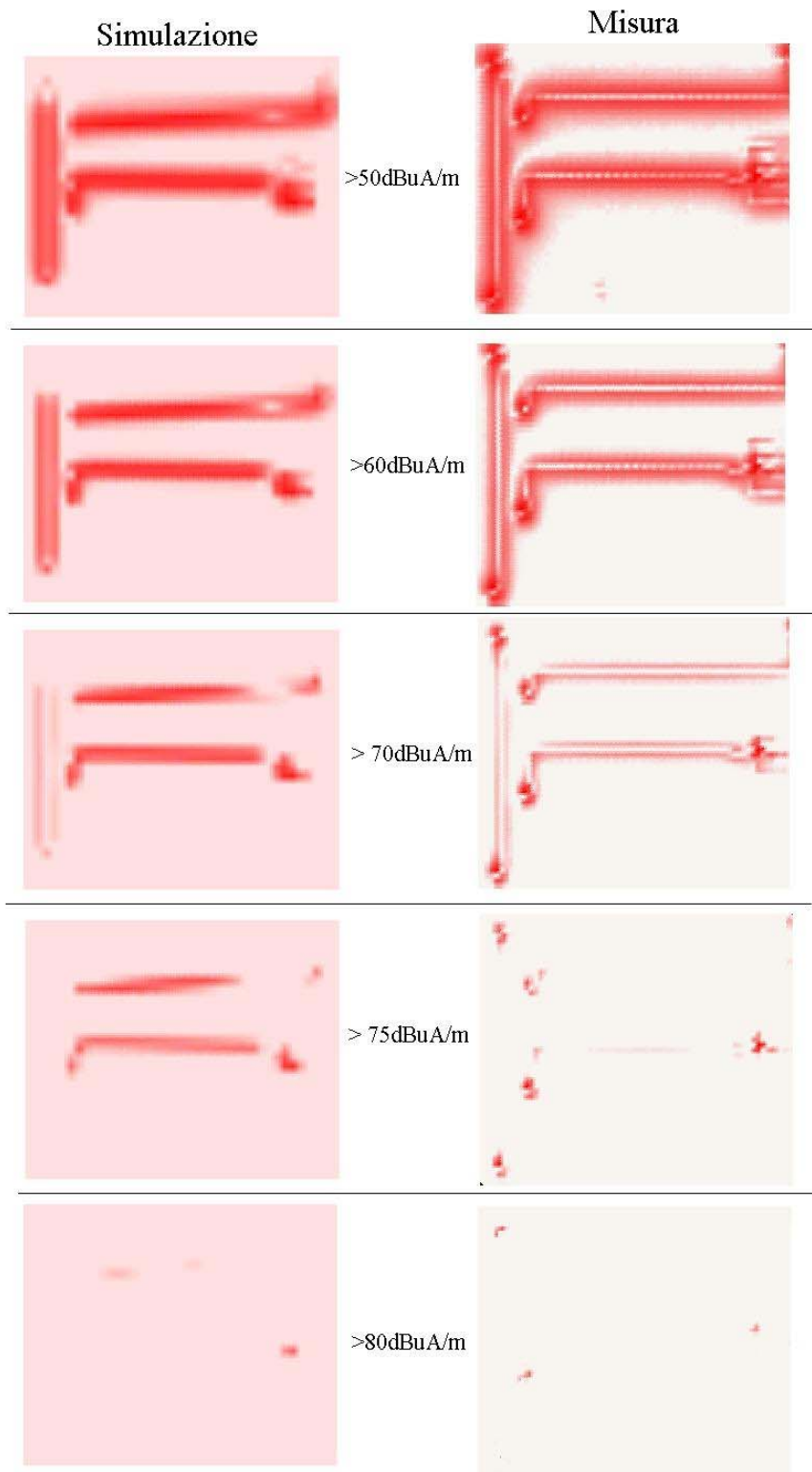


Fig. 7.2.2: Confronto fra mappe di emissione in close field (5mm di distanza dalla scheda) misurate e simulate alla frequenza di 60MHz circa (settima armonica della frequenza del bit meno significativo dei contatori – circa 8.45MHz). Passo di scansione di misura 4mm in x ed y, Passo di scansione di simulazione 6mm in x ed y.

8 Conclusioni

L'attività ha permesso di confermare l'utilizzabilità dello strumento di scansione EM in close field EASYSCAN. Nonostante la lentezza della fase di inizializzazione (circa 10 minuti) ed i tempi di scansione elevati (circa 90 minuti per una scansione a 4mm di griglia di una scheda di 28x25cm per un totale di oltre 4000 punti di misura), l'apparecchiatura ha mostrato una discreta utilizzabilità ed affidabilità, specialmente su mappe di piccole dimensioni. I confronti fra misure e simulazione hanno mostrato un corrispondenza dell'ordine di alcuni dB, più che buona in questo tipo di applicazione. La sonda utilizzata (Sonda RFB 3-2 prodotta dalla LANGER EMV-Technik (D)) ha mostrato delle buone prestazioni, nonostante le ridotte dimensioni.

Alcune criticità sono emerse nella stabilità del software di controllo della apparecchiatura (sviluppato in ambiente VEE) e in quello di simulazione, elencate in altro documento. Dal punto di vista meccanico, l'apparecchiatura (ora costruita in plexiglass per evitare problemi di interferenza sul campo EM misurato) ha mostrato problemi di scarsa rigidità meccanica, rispettando con fatica le tolleranze di planarità del pianale di sostegno della apparecchiature sotto test richieste durante la scansione (ordine di decimi di millimetri su superfici di 30x30).

9 Bibliografia

- [1] "EASY SCAN User Manual", 1999
[2] , "EmiR User Manual", 1999

10 Elenco di sigle, acronimi e simboli

| | |
|------------|-----------------------------------------------|
| EMC: | ElectroMagnetic Compatibility |
| EASY SCAN: | Electromagnetic Analysis SYstem by SCANning |
| THRIS: | Telecom Hardware Robustness Inspection System |
| EmiR: | Emission Radiated |
| PCB: | Printed Circuit Board |

11 Glossario

| | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Far Field: | Situazione di campo quando la distanza della sorgente radiante e' superiore alla lunghezza d'onda |
| Near Field: | Situazione di campo quando la distanza della sorgente radiante e' comparabile o inferiore alla lunghezza d'onda |
| Close Field: | situazione particolare di campo Near Field caratterizzata da una distanza di misura particolarmente ridotta rispetto alla dimensione dell'oggetto radiante. |

12 Appendice A: Descrizione delle sonde utilizzate

La sonda HP 11940A viene fornita per misure nel range da 30MHz ad 1GHz, con una curva di calibrazione. La sonda RF B 3-2 e' invece disponibile per un range maggiore, anche se priva di curva di calibrazione.



Figura 12.1: Sonde HP 11940A (sopra) e RF B 3-2 (sotto) a confronto.

13 Appendice B: Calibrazione della sonda RF B 3-2

13.1 Setup di calibrazione

La sonda HP (HP11940A) e' stata calibrata in fabbrica ed e' quindi disponibile una curva del fattore d'antenna per frequenze da 30MHz fino ad 1GHz. Il sistema EASY SCAN utilizza questa curva di fattore d'antenna per ottenere i dati su analizzatore di spettro direttamente in $\mu\text{A/m}$. Purtroppo questa sonda fornisce la misura di un campo mediato su una striscia larga pochi millimetri ma lunga circa 2cm, il che non permette una risoluzione spaziale molto elevata.

Per contro, per la sonda RF B 3-2 della LANGER EMV-Technik non viene fornita con una curva di calibrazione. Le sue dimensioni fisiche sono invece ottimali per l'analisi in oggetto a questo documento.

Come prima fase e' stata effettuata una analisi prestazionale comparativa fra le due sonde.

13.2 Test vehicle e procedura di misura adottata

Come piastra di test per l'analisi prestazionale e' stato utilizzato una semplice microstrip rettilinea di circa 20cm di lunghezza e 50ohm di impedenza caratteristica terminata a 50 ohm ad una estremita' e con l'altra estremita' connessa ad un generatore di segnale sinusoidale a frequenza variabile e con 50ohm di impedenza interna. La scelta di perfetto adattamento e' stata fatta per ridurre al minimo (in teoria annullare completamente) la presenza di onde stazionarie sulla struttura. Infatti, era necessario creare una situazione di campo di intensita' uniforme lungo la pista, cosa che non avviene in presenza dei ventri e nodi tipici della formazione di onde stazionarie quando la lunghezza d'onda del segnale si avvicina alla lunghezza fisica della pista radiante. La frequenza massima del generatore e' stata fissata a 1GHz, frequenza per cui la lunghezza d'onda e' comunque grande rispetto alla apertura delle sonde.

Non avendo possibilita' di calcolare esattamente a quale distanza della estremita' della sonda e' posta la bobina rivelatrice di campo, e' stato preso come punto di riferimento ai fini dell'allineamento l'estremita' fisica delle due sonde.

Particolare attenzione deve essere posta nel mantenere la struttura radiante perfettamente planare (un calibro con nonio ventesimale e' stato utilizzato per verificare le distanze in piu' posizioni della scheda, unitamente all'uso di uno spessimetro). L'errore massimo di planarita' e' stato contenuto in circa 1/10mm nell'intorno di 4-5cm dal centro della struttura radiante e per distanze da 2 a 40mm della sonda dalla struttura emettente.

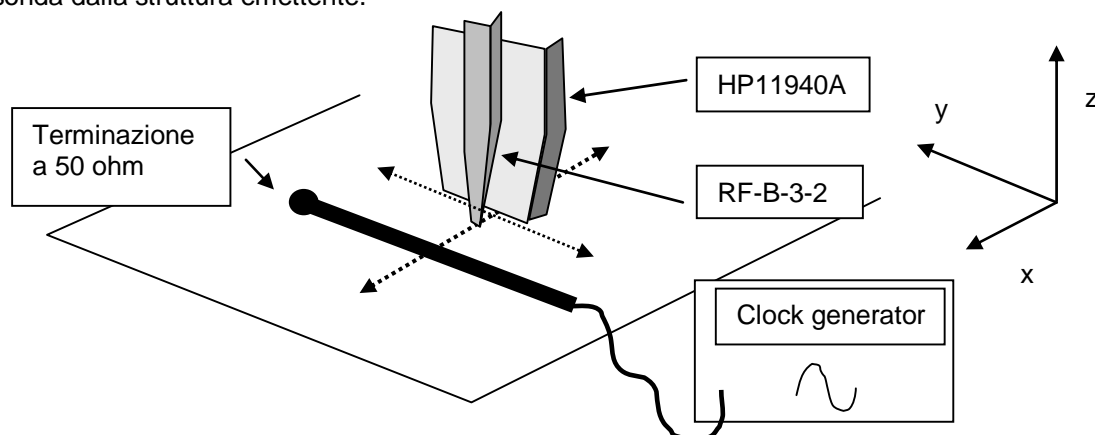


Figura 13.2.1: Configurazione adottata per la calibrazione della sonda RF-B-3-2. Le due sonde sono collegate rigidamente fra loro ad una altezza controllata dalla scheda.

In una prima fase l'insieme delle sonde e' stato posto al centro (in senso longitudinale) della struttura radiante, abbastanza disassato da mostrare una condizione di massimo di campo (la posizione esattamente verticale mostra una condizione di campo nullo, poiche' entrambe le sonde sono sensibili solamente alla componente z (Fig. 11.2.1). Da questa posizione e' stata eseguito inizialmente uno spostamento lungo l'asse y (lungitudinalmente alla struttura radiante) per verificare l'uniformita' di campo rivelato dalla sonda HP. L'effetto introdotto dalla lunghezza finita della pista radiante e dalla presenza di effetti di onde stazionarie dovuti al non perfetto matching delle terminazioni sull'intensita' di campo si e' dimostrata trascurabile nei dintorni del centro della struttura radiante.

A completamento della fase di preparazione e verifica del setup, e' stato anche verificato che la presenza contemporanea delle sonde non alterasse il valore di campo misurato.

13.3 Risultati di misura

La misura vera e propria e' stata quindi effettuata impostando una distanza del sistema di sonde (rigidamente connesse fra loro) dalla microstriscia di **5mm** ed effettuando varie passate nella direzione x (trasversalmente alla pista) posizionando l'analizzatore di spettro in condizione di "Max Hold" attivato. In questo modo e' stato misurato il valore massimo del campo emesso prescindendo da eventuali tolleranze di posizionamento delle sonde nella direzione x. In queste condizioni e' stato rilevato il campo misurato dalla sonda HP11940A per diverse frequenze del generatore. In particolare, per un segnale del generatore di 0dbV (pari ad un segnale sulla pista pari a $1.4142\sin\omega t$ volts), e' stato registrato un campo praticamente costante di circa 95dbuA/m nel range 30MHz-1GHz, valore, tra l'altro, confermato² dalla simulazione della suddetta situazione con il tool di predizione del campo elettromagnetico close field EmiR.

Ripetendo la misura con la sonda RF-B-3-2, e' stata ricavato, per differenza, il fattore d'antenna da inserire nel software VEE di controllo di EASY SCAN.

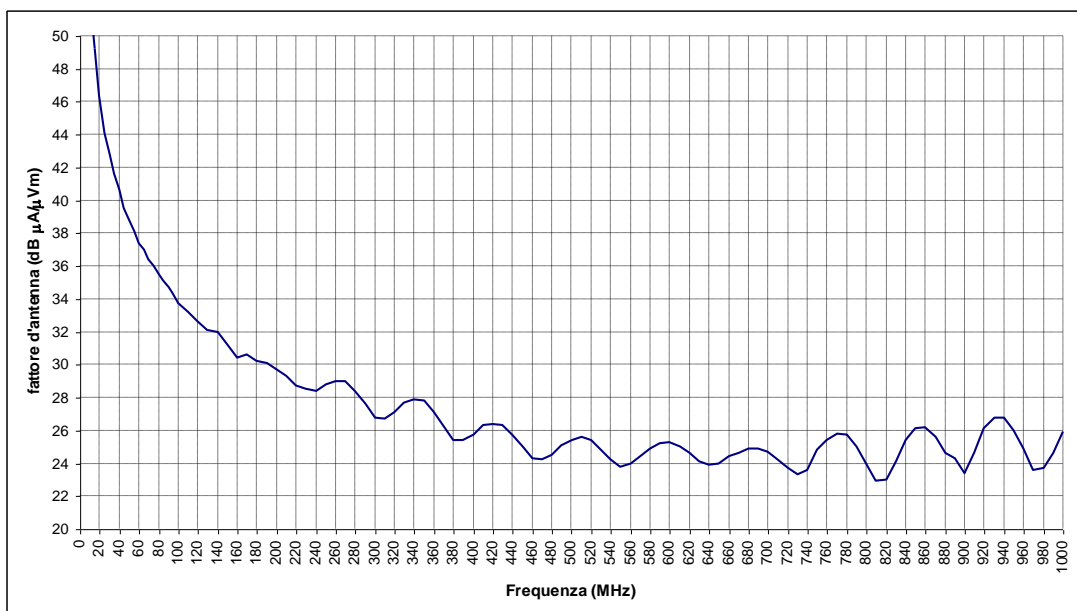


Figura 13.3.1: Fattore d'antenna della sonda RF-B-3-2 ricavato come scostamento dai valori misurati con la sonda HP11940A (utilizzata come riferimento) e dalla simulazione.

² La differenza fra campo simulato e misurato dalla sonda HP11940A per questa semplice struttura e' risultata (a 5mm di altezza) di alcuni dB, giustificabili anche dall'incertezza di posizionamento in altezza della sonda)

E' stato anche valutato il comportamento delle due sonde in funzione della distanza dalla struttura radiante. Per distanze minori di 5mm la sonda RF-B-3-2 tende a rilevare un campo maggiore di quella HP (+5dB di scostamento a 2mm di distanza). Per distanze maggiori di 5mm, la sonda RF-B-3-2 tende a rivelare un campo progressivamente maggiore (-3dB a 40mm di altezza), come riassunto nella seguente tabella:

| | Distanza | 2mm | 5mm | 10mm | 20mm | 40mm |
|-----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Frequenza | | | | | | |
| 50MHz | HP11940A | 81.7 | 75.7 | 68.9 | 60.5 | 48.0 |
| | RF-B-3-2 | 82.8 (+1.1) | 75.2 (-0.5) | 66.8 (-2.1) | 57.8 (-2.7) | 49.2 (+1.2) |
| | | | | | | |
| 250MHZ | HP11940A | 80.8 | 75.1 | 67.2 | 58.5 | 49.9 |
| | RF-B-3-2 | 83.0 | 75.2 | 66.5 | 56.7 | 46.8 |
| | | | | | | |
| 500MHz | HP11940A | 82.1 | 76.1 | 68.6 | 59.9 | 51.1 |
| | RF-B-3-2 | 83.3 | 75.5 | 66.6 | 56.5 | 45.7 |
| | | | | | | |
| 750MHz | HP11940A | 81.8 | 75.8 | 68.2 | 59.5 | 50.7 |
| | RF-B-3-2 | 84.0 | 76.2 | 67.1 | 56.6 | 46.63 |
| | | | | | | |
| 950MHz | HP11940A | 82.0 | 76.0 | 68.3 | 59.7 | 51.21 |
| | RF-B-3-2 | 83.5 | 75.6 | 66.0 | 56.4 | 47.2 |
| | | | | | | |