

# Misure di segnali deboli con analizzatore di spettro

## Limite di sensibilità

Carlo Carobbi

Dip. Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze, Via Santa Marta, 3 – 50139 Firenze  
[carlo.carobbi@unifi.it](mailto:carlo.carobbi@unifi.it)

Nella Compatibilità Elettromagnetica (CEM) si devono spesso rivelare livelli di segnale molto deboli con un analizzatore di spettro<sup>1</sup>. Questa circostanza si verifica, in particolare, quando si deve provare la conformità o meno al limite di norma delle emissioni di campo elettromagnetico di disturbo da un apparato.

Ad esempio, la norma CEI EN 55022 [1] stabilisce che il limite di emissione di disturbo irradiato ad una distanza di 10 m da un Apparecchio per la Tecnologia dell'Informazione (ITE) di Classe B<sup>2</sup> è 30 dB( $\mu$ V/m) fra 30 MHz e 230 MHz. Se si usa un'antenna biconica per la misura del campo elettromagnetico nelle VHF (è la scelta tipica nella CEM), la minima tensione ai terminali di antenna, a parità di campo incidente, si ha agli estremi dell'intervallo di frequenza, cioè a 30 MHz o a 230 MHz. Supponiamo che il minimo della tensione si abbia a 30 MHz e che il fattore di taratura<sup>3</sup> della biconica valga 18 dB(1/m) a tale frequenza. La tensione ai terminali di antenna, se il campo incidente eguaglia il limite di norma, è pari a 30 dB( $\mu$ V/m) – 18 dB(1/m), cioè 12 dB( $\mu$ V). Se l'antenna è connessa all'analizzatore di spettro per tramite di 15 m di cavo RG 214/U, l'attenuazione a 30 MHz del cavo è di circa 0.5 dB, per cui la tensione all'ingresso dell'analizzatore di spettro è 12 dB( $\mu$ V) – 0.5 dB, cioè 11,5 dB( $\mu$ V), che è indubbiamente una tensione molto piccola (circa 3,8  $\mu$ V).

Ci chiediamo: 1) qual è il livello di segnale minimo discernibile dall'analizzatore di spettro? 2) Se il segnale da misurare è poco al di sopra del livello discernibile qual è l'errore che ci possiamo aspettare nella misura dell'ampiezza di un segnale tanto debole? In questo breve articolo cerchiamo di rispondere alla prima domanda. In un articolo successivo risponderemo alla seconda domanda.

### Livello minimo discernibile con analizzatore di spettro

La sensibilità dell'analizzatore di spettro, cioè la minima potenza o tensione rivelabile<sup>4</sup>, è determinata dal rumore termico equivalente all'ingresso dello strumento. Il rumore equivalente all'ingresso è bianco, gaussiano, a valore medio nullo. La potenza di rumore equivalente vale  $FkTB$ , dove  $F$  è la cifra di rumore dell'analizzatore di spettro,  $k$  è la costante di Boltzmann ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K),  $T$  è la temperatura in kelvin (fissata convenzionalmente a 290 K),  $B$  è la banda equivalente di rumore dell'analizzatore di spettro. A scopo esemplificativo si riporta in Figura 1 il rumore presente sul video da un analizzatore di spettro (traccia rossa). E' presente anche un debole segnale in corrispondenza della frequenza centrale di 70 MHz.

<sup>1</sup> O con uno strumento analogo avente dei requisiti e apparecchiature ancillari conformi a specifiche di norma, il cosiddetto *ricevitore standard di radio-disturbi* (in inglese "ElectroMagnetic Interference (EMI) receiver").

<sup>2</sup> Apparecchio destinato ad essere utilizzato in un ambiente residenziale, cioè un "ambiente nel quale si prevede di poter utilizzare i ricevitori di radiodiffusione sonora e televisiva ad una distanza dall'apparecchio in questione inferiore o uguale a 10 m".

<sup>3</sup> Il fattore di taratura  $ACF$  (Antenna Calibration Factor), di un'antenna è definito come rapporto fra l'ampiezza del campo elettrico incidente  $E$  e l'ampiezza  $V$  della tensione ai terminali di antenna, ossia  $ACF = E/V$ . Nella definizione di  $ACF$  è implicito il fatto che i terminali di antenna devono essere connessi ad un carico definito, generalmente 50  $\Omega$ . L'unità di misura di  $ACF$  è 1/m. E' consuetudine esprimere  $ACF$  in unità logaritmiche come  $20 \log_{10}(E/V)$  e la corrispondente unità di misura è dB(1/m).

<sup>4</sup> Potenza, tensione e corrente all'ingresso dell'analizzatore di spettro sono legate fra loro dal fatto che la resistenza d'ingresso dello strumento è 50  $\Omega$ , oppure 75  $\Omega$ .

La cifra di rumore  $F$  quantifica la potenza di rumore aggiunta dallo strumento al livello minimo, presente in qualsiasi circuito, causato da agitazione termica e dato da  $kTB$ . Se all'ingresso dello strumento colleghiamo un resistore<sup>5</sup> la potenza di rumore termico che il resistore dissipa sulla resistenza d'ingresso è  $kTB$  ma la potenza di rumore che viene visualizzata sul video dello strumento è  $F$  volte più grande, cioè  $FkTB$ . Lo strumento aggiunge la potenza  $(F - 1)kTB$  all'ineliminabile minimo termico  $kTB$ . Spesso conviene ragionare in termini di *potenza di rumore termico equivalente* all'ingresso. Si immagina cioè che tutto vada come se all'ingresso venisse dissipata la potenza di rumore termico  $FkTB$  (anziché  $kTB$ , come in effetti avviene) e lo strumento fosse ideale (cioè non introducesse rumore).  $F$  ha valori tipicamente compresi fra 200 e 400 (cioè fra 23 dB e 26 dB).

Negli analizzatori di spettro moderni il comando che agisce sull'attenuazione interna è coordinato al guadagno di uno stadio di amplificazione interno in modo tale da mantenere inalterata l'ampiezza del segnale sul video al variare dell'attenuazione<sup>6</sup>. Aumentando quindi l'attenuazione interna di una certa quantità il livello di rumore visibile sul video viene amplificato della stessa quantità. La cifra di rumore  $F$  è definita in condizione di assenza di attenuazione interna. Se l'attenuazione di potenza inserita vale  $A$  tutto va come se la potenza di rumore equivalente all'ingresso fosse  $A \cdot FkTB$ . È evidente perciò che per aumentare la sensibilità occorre ridurre l'attenuazione.

La banda equivalente di rumore  $B$  è proporzionale alla banda del filtro di risoluzione dell'analizzatore di spettro. Il valore numerico di  $B$  dipende, oltre che dalla larghezza di banda del filtro di risoluzione, dalla sua forma. Dato che la forma della risposta in frequenza del filtro di risoluzione ha andamento con buona approssimazione gaussiano il fattore di proporzionalità fra la banda equivalente di rumore e la banda a  $-3$  dB è 1,064 (che poi si approssima, per comodità, a 1,1). Ad esempio, se la banda di risoluzione a  $-3$  dB è pari a 100 kHz la banda equivalente di rumore è circa 110 kHz.

La sensibilità dell'analizzatore di spettro è fornita, nelle specifiche dello strumento, in termini di *livello medio di rumore* (Average Noise Level, *ANL*, in inglese). Sebbene il valore medio del rumore termico equivalente all'ingresso sia nullo lo strumento rivela l'*involuppo* del segnale applicato all'ingresso e l'*involuppo* del rumore ha media maggiore di zero. *ANL* è definito, nelle specifiche dei costruttori, in condizioni di attenuazione interna pari a 0 dB, con una banda di risoluzione fissata e in scala logaritmica. Si estrae dal rumore il livello medio impostando una banda del filtro video<sup>7</sup> dello strumento sufficientemente stretta rispetto alla banda di risoluzione. Si può dimostrare che *ANL* è inferiore a  $FkTB$  di 2,51 dB, cioè, esprimendo  $FkTB$  e *ANL* in dBm<sup>8</sup>,  $ANL = FkTB - 2,51$  dB. In Figura 1 (traccia blu) è mostrato il livello di rumore medio (piedistallo a circa  $-101$  dBm) e il segnale debole (ampiezza circa  $-87$  dBm) estratti dal rumore grazie all'azione del filtro video.

Per dare un'idea quantitativa della sensibilità di un analizzatore di spettro prendiamo in considerazione il caso di uno strumento la cui cifra di rumore  $F$  vale 26 dB, la banda di risoluzione scelta sia 100 kHz e l'attenuazione interna  $A$  pari a 10 dB. *ANL* vale allora  $-90$  dBm, cioè 17 dB( $\mu$ V). Si noti che questa sensibilità non è sufficiente allo svolgimento della prova di emissione radiata secon-

<sup>5</sup> Di valore uguale alla resistenza di ingresso dello strumento, per definizione stessa di cifra di rumore occorre realizzare il massimo trasferimento di potenza.

<sup>6</sup> Il valore dell'ampiezza del segnale visibile sul video è quindi direttamente il valore applicato all'ingresso dello strumento, qualunque sia l'attenuazione interna.

<sup>7</sup> È un filtro passa-basso interno all'analizzatore di spettro e a valle del rivelatore di involuppo. Impostando una banda del filtro video sufficientemente stretta vengono eliminate le fluttuazioni rapide del rumore. È utile per rendere più visibile un segnale debole.

<sup>8</sup> Il dBm è, come il dB( $\mu$ V) o il dB(1/m), una unità di misura logaritmica assoluta. Il dBm è l'unità di misura logaritmica assoluta della potenza. Una potenza  $P$ , in Watt, si esprime in dBm mediante la seguente formula:  $10 \log_{10}(P/1 \text{ mW})$ . Quindi, ad esempio, una potenza  $P$  di 1 W corrisponde a 30 dBm.

do la CEI EN 55022 sopra descritta<sup>9</sup>. E' per questo motivo che, nelle prove CEM, l'ingresso dell'analizzatore di spettro è fatto precedere da uno stadio pre-amplificatore a basso rumore<sup>10</sup> che consente una riduzione da 15 dB a 20 dB del livello di rumore medio, e quindi un pari incremento della sensibilità.

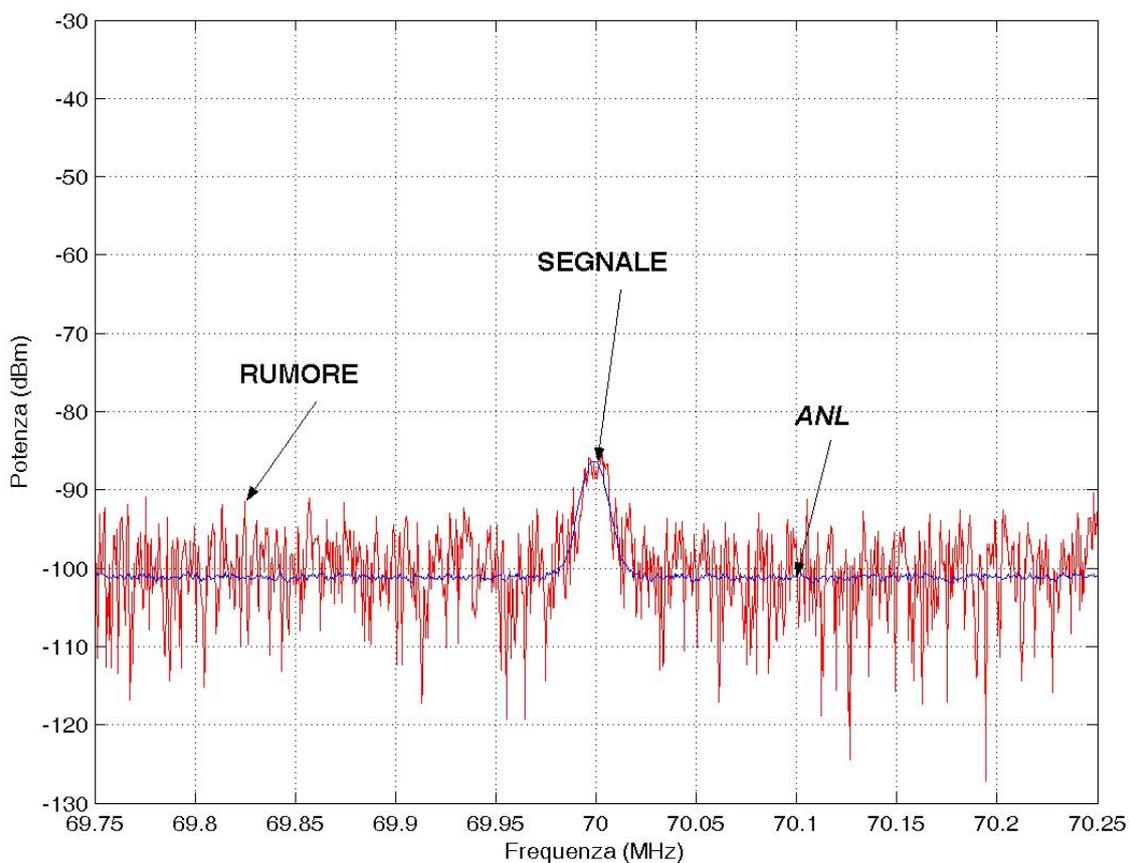
#### **BIBLIOGRAFIA**

[1] CEI EN 55022 "Limiti e metodi di misura delle caratteristiche di radiodisturbo prodotto dagli apparecchi per la tecnologia dell'informazione", Comitato Elettrotecnico Italiano, seconda edizione, Maggio 1995.

---

<sup>9</sup> La norma prevede in effetti l'uso di una banda di risoluzione a - 6 dB di 120 kHz (per filtri gaussiani equivale ad una banda a - 3 dB di circa 85 kHz), ma la conclusione non cambia.

<sup>10</sup> Nei ricevitori standard il pre-amplificatore a basso rumore è interno allo strumento.



**Figura 1:** rumore nell'analizzatore di spettro e segnale debole. Le impostazioni dell'analizzatore di spettro sono: banda di risoluzione 10 kHz, banda del filtro video 3 MHz (traccia rossa) e 30 Hz (traccia blu), attenuazione interna 10 dB. Il segnale ha frequenza di 70 MHz e ampiezza di  $-87$  dBm. Il livello di rumore medio (*ANL*) è circa  $-101$  dBm.