

Virtù, vizi, pregi e difetti nella **percezione** della musica

Come abbiamo segnalato nella scorsa puntata è assai comune che una registrazione sia affetta da saturazioni, pertanto nella riproduzione della musica saremo di fronte a due fenomeni distinti: da una parte la saturazione dell'amplificatore (quando si alza troppo il volume) e dall'altra le saturazioni già presenti nelle tracce dei CD. Per quanto riguarda le prime, l'effetto all'ascolto è il tipico "indurimento" dello spettro medio-alto e il rimedio è "abbassare il volume". In questa puntata indagheremo sull'udibilità delle saturazioni presenti nei CD che sono invece ineliminabili.

(III parte)

di **Mario Bon**
(resp. tecnico Opera Loudspeakers)

Prendiamo in esame la traccia 2 di Beethoven (*Sonaten*, Emil Gilels pf., Deutsche Grammophon – una delle prime analizzate). Per comodità ne proponiamo l'ASDA in **figura 1** ricordando che il fattore di cresta (CF) è superiore a 24 (27.6 dB). Abbiamo visto che, con un amplificatore da 100 Watt RMS e un diffusore con 90 dB di sensibilità, possiamo ottenere, senza indurre l'amplificatore a saturare, circa 85 dB SPL a un metro con picchi di 112.6 dB (85 + 27.6) di suono diretto (a un metro). Se consideriamo la riproduzione in un normale ambiente con il diffusore a 2 metri dal punto di ascolto otterremo ancora un livello SPL di circa 85-86 dB SPL (perdendo 6 dB per il raddoppio della distanza ma guadagnandone 6-7 grazie al campo riflesso) mentre i picchi di pressione del suono diretto raggiungono 106.6 dB (6 dB in meno per il raddoppio della distanza). Con due canali in funzione il livello della riproduzione aumenta di qualche dB. In un ambiente silenzioso queste potrebbero essere condizioni accettabili anche se qualche dB in più sarebbe ben accetto.

Nella traccia analizzata la modulazione supera l'85% della MMR (picco massimo del segnale - Massima Modulazione Relativa), per meno di mezzo millisecondo, se scendiamo al 50% della MMR questa viene superata da meno di

4000 campioni pari a circa 90 millisecondi complessivi (4000/44100 = 0.0907). Ciò significa che, durante la riproduzione, il segnale descrive un certo numero di brevi picchi (parte sul canale destro e altri sul canale sinistro) che superano il 50% della MMR per un tempo totale di 90 millisecondi (vds figura 1.7). Se supponiamo che queste brevi saturazioni non siano udibili, possiamo ottenere lo stesso livello SPL con un amplificatore meno potente e possiamo scegliere indifferentemente tra le situazioni elencate in **figura 2**.

Se le brevi saturazioni non sono udibili le situazioni illustrate in **figura 2** sono equivalenti e non distinguibili. Questo vale però solo con quelle registrazioni, con fattori di cresta elevati, dove la distribuzione dell'ampiezza può tollerare un clipping al 50% della MMR. Se le cose stanno in questo modo si intuisce che la qualità della riproduzione dipende da come l'amplificatore gestisce le saturazioni: in particolare è fondamentale che le saturazioni brevi restino brevi. In tutto questo ragionamento il rumore di fondo dell'ambiente ha un ruolo fondamentale: se il rumore ambientale è solo 3 dB più elevato, per mantenere la stessa dinamica, si deve moltiplicare la potenza dell'amplificatore per due: la silenziosità dell'ambiente d'ascolto è un requisito fondamentale. L'isolamento dell'ambiente, per esempio la sostituzione degli infissi delle finestre, può essere meno oneroso della sostituzione dell'impianto stereo (e fa risparmiare anche sul riscaldamento).

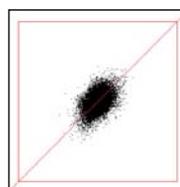


Fig. 1 ASDA e Lissajous originale della traccia di Beethoven.

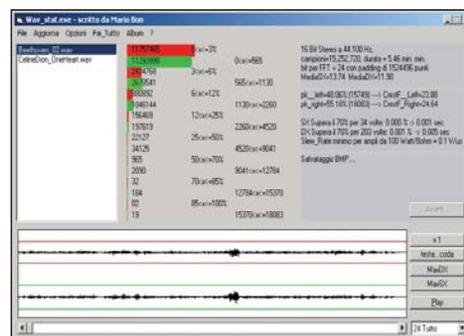


Fig. 2 Tabella della potenza richiesta in funzione della saturazione e della sensibilità dei diffusori.

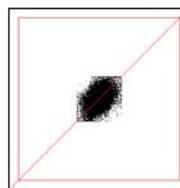
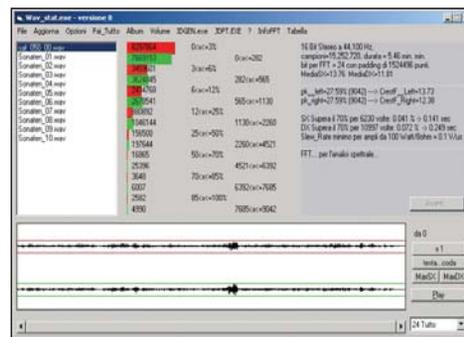


Fig. 3 ASDA e Lissajous della traccia di Beethoven saturata artificialmente al 50% della MMR.



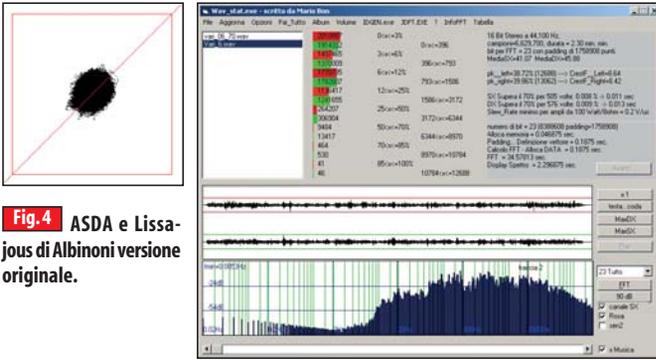


Fig. 4 ASDA e Lissajous di Albinoni versione originale.

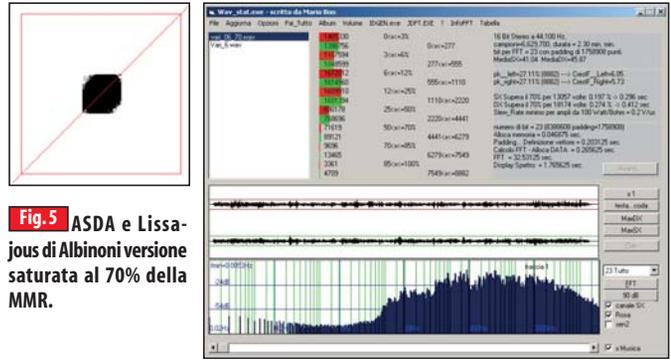


Fig. 5 ASDA e Lissajous di Albinoni saturata al 70% della MMR.

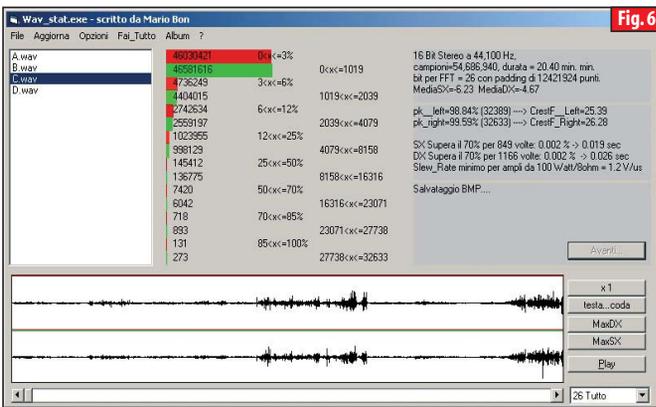


Fig. 6

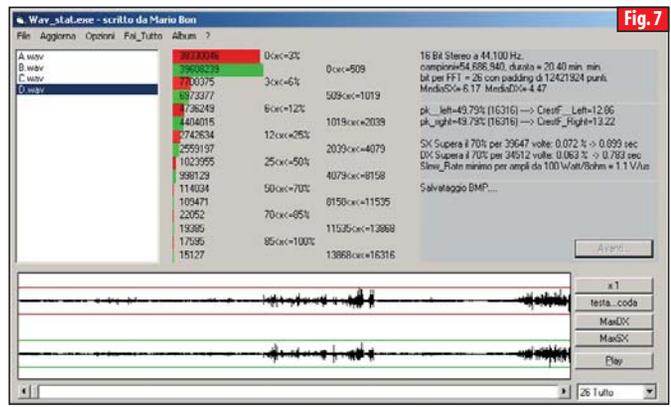


Fig. 7

UDIBILITÀ DELLE SATURAZIONI PRESENTI NEI CD

Una volta constatata la presenza non saltuaria di saturazione nei CD audio, vista la distribuzione dell'ampiezza dei segnali musicali e considerato che un amplificatore di potenza inferiore ai 100 Watt viene facilmente portato alla saturazione, dobbiamo verificare con un test fino a che punto queste saturazioni siano udibili. L'ideale sarebbe confrontare la stessa traccia con e senza saturazioni. In questo modo il confronto potrebbe essere fatto indipendentemente dall'amplificatore, dai diffusori e dal volume di ascolto. Dato che le saturazioni non si possono togliere, non resta che indurle artificialmente "rovinando" una buona registrazione. Per fare questo scegliamo una traccia priva di saturazioni, la salviamo sul disco fisso del computer in formato .wav e quindi la riscriviamo imponendo una limitazione all'ampiezza del segnale. Questo processo, realizzato via software, equivale a sottoporre la traccia al clipping di un amplificatore ideale. Fatto ciò potremo riascoltarla a confronto con la traccia originale. Il programma Wav_stat permette di impostare il livello di modulazione relativa al quale si desidera "clippare" il segnale e salvarlo in un nuovo file

.wav per ascoltarlo. Per quanto riguarda la scelta del brano musicale è del tutto evidente che un assolo di chitarra elettrica distorta non sia adatto allo scopo. Conviene orientarsi su brani musicali eseguiti con strumenti acustici il cui timbro è familiare e facilmente riconoscibile. La presenza di voci, che sono la specialità dell'apparato uditivo umano, rende il test più significativo.

Oltre alla traccia più volte citata di Beethoven (figura 1 e 3 - versione modificata) è stata scelta una traccia di Albinoni (*Gloria RV 589, Allegro: Qui sedes*, dirige Vittorino Negri) che presenta soltanto un migliaio di campioni oltre il 70% della MMR (figura 4 e 5 - versione modificata). Limitando l'ampiezza del segnale al 70% della MMR i picchi che superano tale soglia vengono "clippati". Di conseguenza il fattore di cresta si riduce da 8 a circa 6. Le figure riproducono le ASDA e le figure di Lissajous della traccia originale e della versione "clippata" artificialmente.

Lo spettro della versione "clippata" è rimasto sostanzialmente lo stesso a parte un modesto incremento attorno a 2 Hz. La risoluzione grafica della figura non è comunque tale da permettere confronti raffinati che in questo con-

Figura 6 • ASDA Stravinsky versione originale.

Figura 7 • ASDA Stravinsky saturata artificialmente al 50% della massima modulazione relativa. Il fattore di cresta si è ridotto a circa la metà.

testo interessano ben poco. L'ASDA della versione clippata è cambiata perché le soglie sono regolate in rapporto alla MMR che è ridotta del 30%.

Il test di ascolto è stato organizzato come segue: in una saletta normalmente utilizzata per i test di ascolto sono state predisposte una coppia di diffusori Opera Tebaldi (89 dB su 2.83 Volt/1 m), un amplificatore Unison Unico 200 e un lettore Unico CD. L'amplificatore Unico 200 è un ibrido (valvole e MOSFET) che eroga oltre 300 Watt RMS su 8 Ohm e arriva a 1300 Watt istantanei su 2 Ohm (la tensione di picco sul carico vale circa 70 Volt). In un primo momento non è stato spiegato ai convenuti cosa avrebbero ascoltato e nemmeno lo scopo del test. Al primo ascolto nessuno si è reso conto di nulla. Allora è stato spiegato agli ascoltatori lo scopo del test specificando anche quali tracce erano state manipolate. Il risultato degli ascolti successivi non ha portato novità: i presenti hanno concordato che le tracce erano

"sostanzialmente indistinguibili".

A volte basta cambiare un cavo per sentire una differenza nel suono, ma non si riesce a percepire un clipping al 70% nella MMR!

Lo stesso esperimento è stato ripetuto con *L'uccello di fuoco* (*The Firebird Suite*, Stravinsky - fattore di cresta 26) ma clippato al 50% della Massima Modulazione Relativa (figura 6 e 7 - versione modificata). Va detto che questa traccia contiene già qualche saturazione di suo. In questo caso la situazione è stata nettamente peggiorata: i picchi del segnale sono stati letteralmente "tagliati a metà". Il risultato del test di ascolto però non è cambiato: nessuno ha potuto riconoscere le saturazioni introdotte artificialmente.

Altri test sono stati condotti con la già citata traccia di Beethoven e anche impiegando amplificatori a valvole di diversa potenza (in pratica buona parte della produzione Unison). A parte le differenze timbriche attribuite a questo o quell'amplificatore nessuno ha individuato le saturazioni come tali.

È facile dire che questo test è limitato, parziale e poco significativo: è vero, il test è parziale e limitato perché riguarda pochi brani musicali ed un numero ristretto di ascoltatori (tester)! Tuttavia ha una sua valenza: il test è stato

condotto coinvolgendo persone molto qualificate, abituate ad ascoltare musica con impianti di alto livello ed allenate a percepire anche differenze minime (anzi, il loro mestiere è proprio capire le differenze tra le diverse apparecchiature). Lo scopo del test è determinare se le saturazioni brevi (presenti nel segnale registrato nel CD o generate dall'elettronica) siano udibili; i partecipanti al test hanno avuto modo e tempo per disporsi ad un ascolto critico sapendo cosa stavano ascoltando e, alla fine, pur cercandole, hanno ammesso di non aver sentito differenze. Il risultato del test è quindi il seguente: se la distribuzione dell'ampiezza del segnale musicale lo consente, ovvero se il fattore di cresta è abbastanza alto, è possibile ridurre la potenza dell'amplificatore anche di quattro volte senza per questo percepire le saturazioni presenti nella riproduzione. Questo nell'ipotesi che le satu-

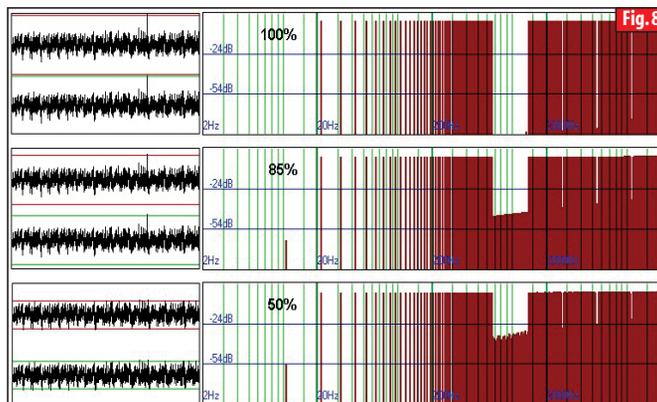


Figura 8 - Rumore rosa con fattore di cresta pari a 6.07, 32 pseudo-periodi di 4096 campioni a 44100 Hz. Segnale originale, saturato artificialmente all'85% e al 50% della Massima Modulazione Relativa. Si noti come lo spazio corrispondente all'ottava centrata a 640 Hz venga riempita dalla distorsione. Lo spazio presente tra le diverse ottave lascia intravedere l'aumento della distorsione alle alte frequenze.

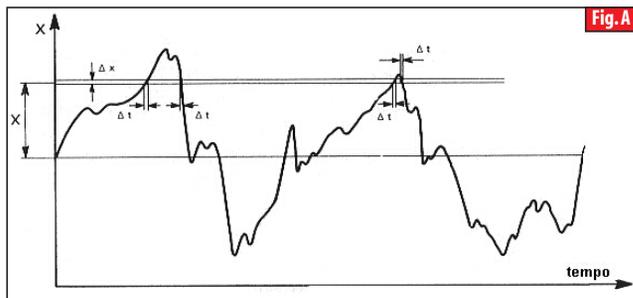
razioni siano contenute nel CD o che l'amplificatore saturi "in modo ideale" senza metterci troppo del suo...

Dato che il nostro sistema uditivo ha la capacità di imparare, è stato fatto un ulteriore test. È stato isolato un segmento musicale di pochi secondi che è stato replicato con livelli di saturazione artificia-

le crescenti all'85, 70, 50 e 25% (sempre rispetto alla MMR). Essendo il brano molto corto (alcuni secondi) è possibile riascoltarlo e fare confronti entro un breve lasso di tempo. In queste condizioni, allenando l'orecchio, si è presto in grado di distinguere i brani più o meno clippati. Questo test è stato condotto dall'ing. Stefano Sartori (progettista Unison) e da chi scrive, quindi è ancora più limitato e parziale del precedente ma sufficiente per dimostrare che l'orecchio è in grado di distinguere certi fenomeni solo se è possibile effettuare confronti diretti entro pochi secondi. Senza dubbio, ripetendo il test su più persone, potremo trovare soggetti più o meno abili in questo esercizio ma la sostanza del risultato non cambia.

Il fatto che la presenza di saturazioni, ovvero di un messaggio incompleto, non impedisca la comprensione del messaggio sonoro non deve stupire più di tanto. In fondo nemmeno per l'intelligibilità del parlato è richiesta la comprensione del 100% delle sillabe. Il nostro cervello possiede dei meccanismi di "completamento automatico" e di "riconoscimento dal contesto". Basti pensare a cosa succede quando ascoltiamo una telefonata disturbata: ci concentriamo, ascoltiamo con attenzione ma riusciamo a comprendere. Tali meccanismi potrebbero essere attivi anche per l'ascolto della musica. Semmai tutto questo costa in termini di affaticamento (la fatica di ascolto). Quando si sottopone ad analisi spettrale un segnale (artificialmente) clippato, la distorsione appare molto più evidente di quanto non accada all'ascolto. Nella **figura 8** è riportata l'ASDA di un rumore rosa pseudocasinale con pseudoperiodo di 4096 campioni (durata 98.2 millisecondi) e fattore di cresta pari a 6.07. La finestra di analisi comprende 32 pseudoperiodi. Il rumore usato nel test non copre l'intero spettro in quanto è stata sottratta un'ottava: il "buco" nello spettro corrisponde all'ottava mancante. Questo rumore è stato artificialmente clippato all'85% e al 50% della MMR (cosa che interessa complessivamente solo 320 campioni per canale). Si noti come il "buco" venga riempito dalla distorsione generata dalla saturazione che raggiunge un livello di circa -40 e -30 dB. Questo esempio indica che, con un

ASDA: un piccolo "ripassino"



Oggi l'analisi spettrale è una metodologia di misura alla portata di chiunque possieda un pc ed un software adatto. Con questi strumenti è possibile eseguire l'analisi spettrale di una traccia riprodotta dal lettore CD presente nello spesso pc. Anzi la facilità di accesso all'analisi spettrale ha portato a trascurare altri tipi di analisi altrettanto importanti e tra questi l'Analisi Statistica della Distribuzione dell'Amplitude (abbreviata ASDA). Se interessa un riferimento bibliografico si veda *Application of B&K Equipment to Acoustic Noise Measurements* di J. T. Broch (seconda edizione, 1971, Appendice A, pag 170), oppure *Handbook of Noise Measurement* di Arnold P.G. Paterson (nona edizione, 1963-1980 copyright GenRad, Inc, Concord, Massachusetts U.S.A. pag 128), oppure qualche testo sull'analisi ed il controllo

delle vibrazioni meccaniche. L'ASDA viene utilizzata, in particolare, per l'analisi nel tempo di segnali non stazionari: prendiamo per esempio il rumore prodotto da un trapano elettrico. Questo dipende dal numero di giri, dalla presenza della percussione, dal tipo di materiale che si va a forare... Per proteggere l'utilizzatore da livelli di rumori potenzialmente dannosi si devono indagare le diverse condizioni di utilizzo, valutare il livello di "rumore" prodotto ed i tempi di esposizione. In pratica il rumore del trapano viene registrato e analizzato per vedere per quanto tempo supera determinate soglie di intensità. L'ASDA dice quante volte l'ampiezza del segnale analizzato transita attraverso un certo numero di soglie predefinite (**figura A**). Il risultato dell'ASDA si riassume in una

Fig. B Tabella della definizione delle soglie per l'ASDA.

	Modulazione in %	in dB
1	da 0 a 3.125	fino a -24
2	da 6.25 a 12.5	-24 a -18
3	da 12.5 a 25	-18 a -12
4	da 25 a 50	-12 a -6
5	da 50 a 70	-6 a -3
6	da 70 a 85	-3 a -1.5
7	da 85 a 100	-1.5 a 0

serie di quantità numeriche (media, picco, RMS ecc.) ed in un grafico a barre che rappresenta la distribuzione dell'ampiezza (normalizzata rispetto ad un valore di riferimento). Per esempio potremo conoscere quante volte il segnale assume valori prossimi al valore massimo o per quanto tempo si trova al di sopra o al di sotto del 50% del massimo... e così via. L'ASDA "conta" quante volte il segnale attraversa un certo numero di soglie prefissate. La musica ha poco a che vedere con il rumore prodotto da un trapano; tuttavia, per la teoria dei segnali, la musica ed il rumore del trapano vanno trattati allo stesso modo perché appartengono alla stessa categoria (segnali non stazionari). Per l'analisi dei segnali musicali sono state fissate sette soglie (come riportato in figura B).

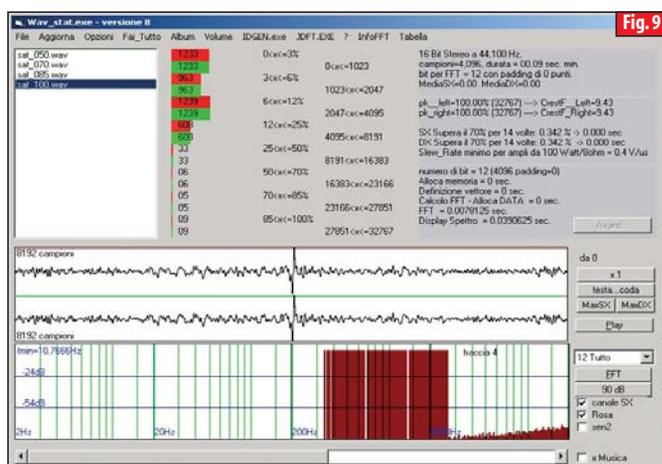


Fig. 9

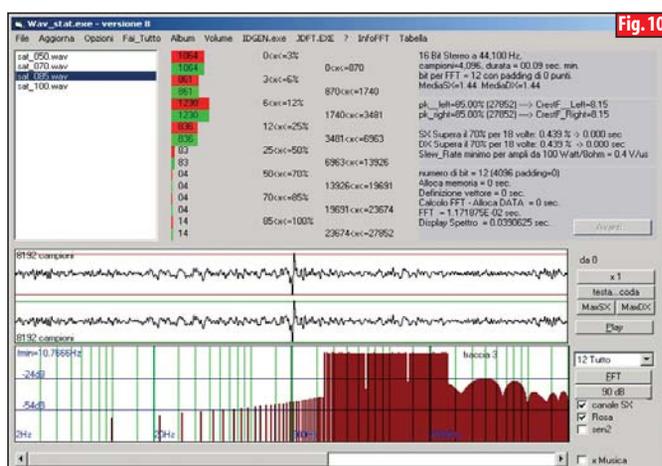


Fig. 10

Figure 9 e 10 • Distorsione prodotta dalla saturazione artificiale, le linee rossa e verde indicano il livello di saturazione. Il segnale (monofonico) comprende 4096 campioni a 44100 Hz e dura circa 98 millisecondi. Viene analizzato un singolo pseudo periodo. Alle alte frequenze è presente un residuo di rumore ben visibile nella figura superiore.

segnale di test, si raggiungono livelli di distorsione che è difficile considerare “non udibili”.
 Le figure 9 e 10 presentano l’ASDA di un rumore che comprende tre ottave contigue centrate a 320, 640 e 1280 Hz. Lo pseudo periodo è di 4096 campioni a 44100 Hz (durata 98.22 millisecondi). Il fattore di cresta vale 9.43. Nella figura 9 il segnale è riprodotto senza alterazioni e dalla distribuzione dell’ampiezza risulta che solo 9 campioni superano l’85% della MMR. Nella figura 10 appare lo spettro dello stesso segnale ma artificialmente saturato all’85% della MMR. La forma del segnale è stata alterata clipando 9 campioni per 204 micro secondi circa. Anche con questa

modesta alterazione lo spettro appare “sconvolto” con le righe spettrali di intermodulazione che raggiungono -24 dB. Il clipping artificiale imposto alle tracce sottoposte a test di ascolto è stato molto più severo (70 e 50%) e non ha sortito effetti all’ascolto. Questo modo di valutare la distorsione tende evidentemente a sovrastimarne l’effetto. In realtà lo spettro del segnale clipato non rappresenta quello che l’orecchio effettivamente sente perché il picco è troppo veloce rispetto al tempo di salita dell’orecchio che lo processa diversamente da un analizzatore FFT. È un problema di rappresentazione del segnale: l’orecchio non sente quello che l’FFT mostra. L’FFT, in questo caso, non è lo strumento più idoneo. Si dovrebbe utilizzare una SFFT o una trasformazione Wavelet che rivelerebbero come i prodotti di distorsione appaiono e svaniscono in tempi molto brevi. Ma queste trasformazioni, forse anche giustamente, non vengono utilizzate per le misure nel campo hi-fi.

(continua)

l'assoluto

solution
nature of sound

NABLA Via di Monteverde, 216 • 00151 Roma
 Tel. +39 0658204263 • Fax +39 065828031
 info@nabla.it • www.nabla.it