

Compressione, saturazione: il senso dei nostri test

L'interpretazione delle figure di Lissajous e ASDA può fornire un'indicazione sulla qualità del segnale musicale da esse rappresentato? E in che modo questi parametri ci possono aiutare quando si valuta un sistema hi-fi?

(V parte)

di Mario Bon

Una figura di Lissajous si dovrebbe presentare come una macchia, più o meno estesa, contornata da una corona di punti la cui densità si riduce verso i bordi (senza mai raggiungerli). La zona sfumata è generata dai picchi di segnale (di norma meno frequenti). La serie di rappresentazioni in **figura 1** rappresenta 6 tracce: nelle prime tre (dalla A alla C) i segnali rimangono all'interno dei limiti di massima modulazione (quadrato rosso). Tecnicamente queste tracce, dal punto di vista della modulazione (ovvero dell'ampiezza del segnale) sono corrette. La prima traccia assomiglia ad una macchia circolare che indica un ampio effetto stereofonico (massima entropia). La seconda mostra una macchia allungata lungo la diagonale (canale centrale dominante). Nella terza l'asse della macchia non coincide con la diagonale. Ciò significa che il segnale di un canale è mediamente più ampio dell'altro. La figura rientra comunque nei limiti di modulazione permessi dal formato CD anche se la posizione del canale centrale virtuale potrebbe apparire spostata.

Le successive tre tracce rappresentano situazioni con un diverso grado di limitazione dell'ampiezza. Nella quarta traccia la modulazione è sfruttata all'85% circa ma si capisce che poteva essere sfruttata di più. Nella successiva la modulazione è sfruttata all'80%: i bordi appaiono appiattiti e manca continuità in quella "sfumatura" che si vede solo parzialmente perpendicolarmente alla diagonale. L'ultima traccia è sovramodulata (l'ampiezza del segnale eccede i limiti di modulazione fissati per il formato CD). Per ottenere questo ultimo risultato basta alzare il livello dei segnali fino a provocare la saturazione del convertitore analogico/digitale.

Se prima di ascoltare queste sei trac-

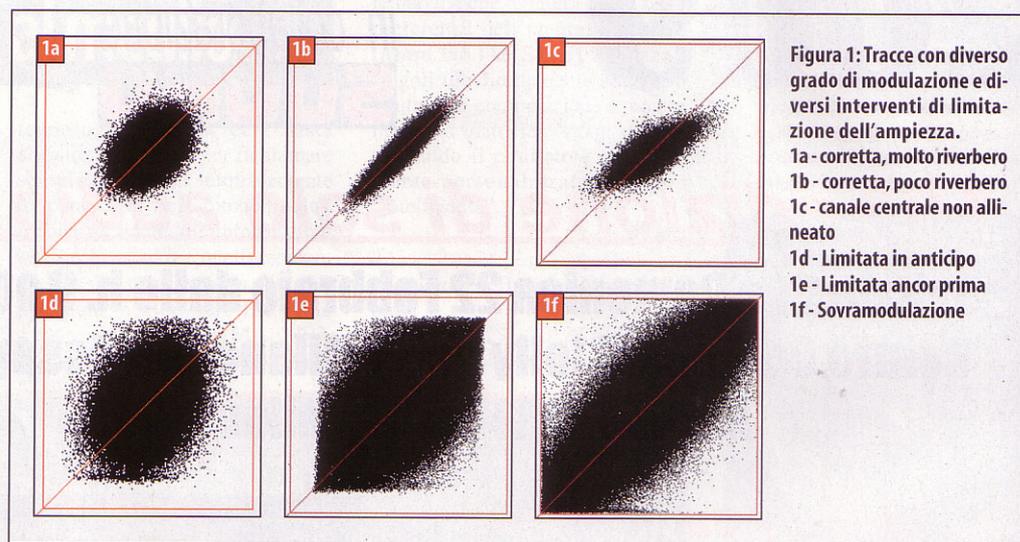


Figura 1: Tracce con diverso grado di modulazione e diversi interventi di limitazione dell'ampiezza.

1a - corretta, molto riverbero

1b - corretta, poco riverbero

1c - canale centrale non allineato

1d - Limitata in anticipo

1e - Limitata ancor prima

1f - Sovramodulazione

ce qualcuno avesse chiesto: quale traccia "potenzialmente" può suonare meglio? Personalmente avrei risposto "una delle prime tre". Se invece la domanda fosse stata: quale traccia suona più forte? La risposta sarebbe stata "una delle ultime due: quella con il valore RMS maggiore". Ciò non toglie che la prima traccia (tecnicamente corretta) possa contenere il rumore di uno sciacquone, mentre l'ultima una bellissima melodia (seppur sovramodulata)... Né questo significa che, al lato pratico, una traccia sottoposta ad un processo di limitazione o compressione non possa suonare gradevolmente! Per percepire i dettagli di una registrazione, d'altronde, per prima cosa questi devono essere presenti ed è difficile contestare che, in una traccia pesantemente limitata o sovramodulata, almeno una parte di questi dettagli sia stata cancellata! Svolviamo sugli effetti che la sovramodulazione (specie di un singolo canale) può avere sulla posizione istantanea della sorgente virtuale (si tratta di un effetto teorico non ancora indagato). La figura di Lissajous non mostra molto più di quanto detto. Al massimo si potrebbe ipotizzare che la prima traccia

(macchia circolare) contenga una quantità maggiore di suono riverberato (sulla base del fatto che la correlazione tra suono diretto e riflessioni remote tende a scemare).

Ci corre in aiuto allora l'ASDA che calcola alcune quantità caratteristiche del segnale e la distribuzione statistica dell'ampiezza. Vengono calcolati il valore medio (che dovrebbe essere nullo), il valore di picco (al massimo 32767), lo slew rate del segnale, il valore RMS ed il fattore di cresta (rapporto tra valore di picco e valore RMS). Lo slew rate del segnale è del tutto analogo (e paragonabile) allo slew rate di un amplificatore. Rappresenta la massima variazione del segnale espressa in Volt per microsecondo (normalizzato per un'escursione di 40+40 Volt). Se una traccia presenta uno slew rate di 2 Volt/uS deve essere riprodotta con un amplificatore da 100 Watt dotato di uno slew rate anche di poco superiore. Se l'amplificatore dispone di 400 Watt lo slew rate dovrà essere doppio.

Il valore RMS si riferisce al segnale applicato ad un amplificatore da 100 Watt su 8 Ohm pilotato al limite del clipping. In sostanza si pren-

de il segnale lo si applica all'ingresso di un ampli da 100 Watt/8 Ohm, quindi si alza il volume in modo che il picco massimo del segnale produca una tensione di uscita pari a 40 Volt. A questo punto si misura il valore RMS all'uscita dell'amplificatore sull'intero brano musicale. Se il fattore di cresta del brano musicale vale 14.14 il valore RMS vale 2.83 Volt e l'amplificatore avrà prodotto 1 Watt di potenza RMS (e 40 Volt di picco) per la durata del brano. Più il fattore di cresta è basso più potenza si riesce a mandare ai diffusori che suoneranno più forte. Un valore di cresta basso è associato a brani musicali con contrasti dinamici limitati. L'ASDA indica anche per quanto tempo il segnale supera il 70% della massima modulazione relativa. Se questo tempo è breve (millisecondi) significa che i picchi del segnale sono brevi e, anche se l'amplificatore satura su questi picchi, non si avranno effetti udibili. Ciò permette di alzare il volume oltre il limite teorico. La figura 2 mostra l'analisi di una traccia pressoché perfetta: si noti come l'ampiezza del segnale sia concentra-

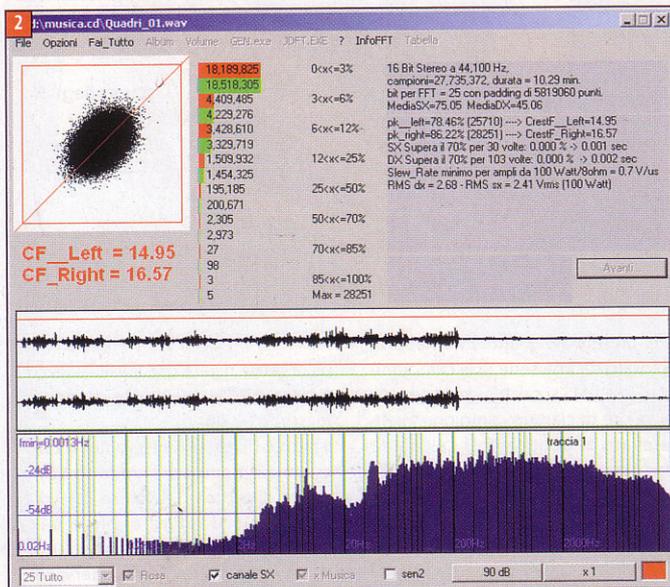


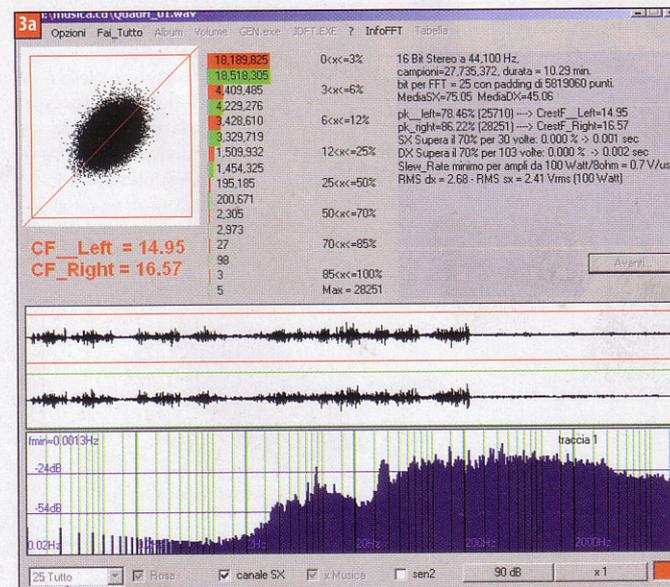
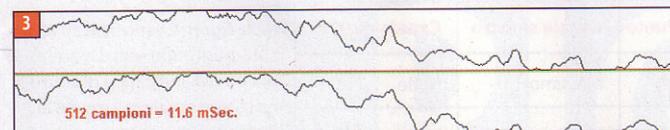
Figura 2: esempio di ASDA quasi perfetta.

ta sotto il 3% della massima modulazione relativa che viene raggiunta solo da qualche campione. Il fattore di cresta è alto e l'unico neo è un valore medio diverso da zero che però non ha alcun effetto sulla riproduzione (Mousorgsky, Pictures at an Exhibition & Night on Bald Mountain - Lorin Maazel, The Cleveland Orchestra, Telarc CD-80042: traccia 1). Volendo trovare un difetto, potremmo dire che la

modulazione poteva essere un poco più elevata (sfrutta 28251 sui 32767 disponibili sacrificando 1.2 dB). Se tutte le registrazioni fossero così si sarebbe ben poco da discutere. Lo spettro del segnale è poco più che una curiosità ed è stato introdotto per verificare la presenza di frequenze sub-soniche e l'andamento dello spettro in funzione del genere musicale. Lo spettro è calcolato su tutto il brano.

Attualmente è allo studio un metodo per misurare la dinamica in modo più aderente alla definizione (rapporto tra l'intensità sonora media del passaggio

Figura 3: tipica traccia troncata.



più forte rispetto a quello più debole). La difficoltà sta nello stabilire un intervallo di tempo rappresentativo (troppo corto sovrastima la dinamica, troppo lungo la sottostima). C'è poi il problema del silenzio all'inizio e alla fine della traccia che deve essere escluso. In sostanza questo calcolo richiede delle scelte soggettive che rischiano di compromettere la ripetibilità della misura. Per questo si è scelto di valutare indirettamente la dinamica attraverso il valore del fattore di cresta. Nelle puntate precedenti abbiamo visto che esistono due fenomeni distinti che condizionano la qualità della riproduzione: da una parte la saturazione dell'amplificatore (che avviene quando si alza troppo il volume) e dall'altra le saturazioni (o limitazioni o sovrarmodulazioni) già presenti nelle tracce dei CD (che non possono essere eliminate). Dopo aver analizzato oltre mille tracce estratte da CD Audio, possiamo distinguere principalmente 3 condizioni: 1) Tracce non limitate, 2) Trac-

data" consiste nel contare per quante volte viene raggiunto il valore di massima modulazione relativa. Questa funzione è stata recentemente aggiunta al nostro programma di analisi.

Consideriamo le ASDA delle due tracce in figura 3 e 4. Entrambe sono sovrarmodulate. Nella prima (fig. 3) troviamo quasi cinquantasette mila campioni tra l'85 ed il 100% della massima modulazione relativa che corrispondono a oltre 1 secondo di musica. Di questi, diverse centinaia raggiungono il valore massimo e dunque questa è una traccia "troncata". Nella seconda (fig. 4) troviamo ancora un secondo e mezzo di musica nello stesso intervallo di ampiezza ma solo 3 campioni (destro + sinistro) raggiungono il valore massimo (traccia "stondata"). Tra i due mali questo appare essere il minore e, in quanto tale, preferibile. Potendo scegliere, chi scrive preferirebbe non vedere sovrarmodulazioni o limitazioni dell'uno o dell'altro tipo...

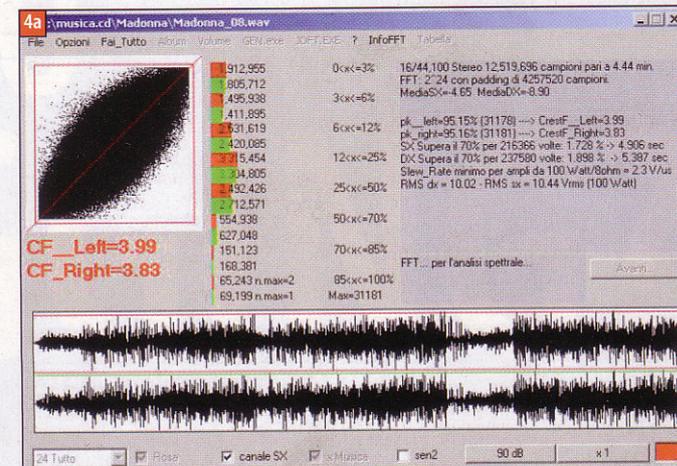


Figura 4: nella regione indicata dalla freccia rossa la traccia è "stondata" (anche se sembra appiattita) e il massimo viene raggiunto in un solo punto.

ce "stondate", 3) Tracce "troncate". *Pictures at an Exhibition* è un esempio di traccia non limitata mentre un esempio di traccia troncata si vede nella figura 3 che ben dimostra cosa si intenda per segnale appiattito o "troncato". Le tracce "stondate" (fig. 4) sono una via di mezzo, con molte varianti, ovvero limitate ma che non presentano un appiattimento bruto del segnale. Un modo per distinguere una traccia "troncata" da una "ston-

IL VALORE DELLE ANALISI

È bene chiarire immediatamente che queste analisi non dicono se una traccia suona bene o male, al massimo indicano se una traccia potrebbe suonare meglio (se non fosse limitata in ampiezza...). Comunque prima di parlare di "microdettaglio" o di "microdinamica" si dovrebbe dare un'occhiata all'ASDA della traccia in oggetto: ove siano presenti pesanti limitazioni dell'ampiezza o fattori di cresta

particolarmente bassi (minori di quattro), ha poco senso cercare di approfondire l'analisi con parametri soggettivi. Se lo scopo è quello di ascoltare musica e basta, il nostro orecchio è in grado di agire selettivamente e fornirci indicazioni positive o meno su ciò che si sta ascoltando (e, in fondo, quel che conta è la nostra soddisfazione personale). Se invece i brani utilizzati servono per l'ascolto critico di un impianto stereo, per poter attribuire gli eventuali difetti di riproduzione all'amplificatore piuttosto che ai diffusori, allora è necessario essere certi della qualità del programma musicale e non sarebbe male farsi aiutare anche da un'ASDA e dalle figure di Lissajous per eliminare ulteriori elementi che sinusamente possono condizionare il nostro giudizio! Un'ultima annotazione sul fattore di cresta: il rumore rosa artificialmente sintetizzato presenta un fattore di cresta tipico di 3.75, quindi un brano musicale con un fattore di cresta inferiore a 4 ha le stesse caratteristiche dinamiche del rumore rosa che si utilizza per fare le misure. Per i singoli strumenti registrati in ambienti molto assorbenti si osservano fattori di cresta superiori a 45, nelle tracce estratte da CD Audio il fattore di cresta supera 28. Quando si misurano valori superiori va verificato che non si tratti di un'anomalia come nel caso di **figura 5**.

Valore RMS, fattore di cresta (Crest Factor = CF) e slew rate

Sia data una corrente elettrica, variabile nel tempo, che attraversa un carico (per esempio un resistore), il valore efficace della corrente in esame è pari all'intensità che dovrebbe avere una corrente continua per produrre la stessa quantità di calore nel carico (sviluppare la stessa potenza elettrica). Lo stesso concetto vale anche per la tensione. Ad esempio applicando ad un resistore una tensione tempo dipendente di 12 Volt RMS il riscaldamento che ne deriva è lo stesso che si otterrebbe applicando una tensione continua di 12 Volt. Il valore RMS può essere calcolato per qualsiasi grandezza variabile nel tempo (e la sua interpretazione cambia di conseguenza).

L'acronimo RMS significa Root Mean Square (radice della media dei quadrati). Per un generico segnale rappresentato dalla funzione continua e a quadrato sommabile $f(t)$ definita nell'intervallo $T_1 \leq t \leq T_2$ si scrive:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt}$$

Per un segnale quantizzato (rappresentato da una serie di N campioni) il valore RMS si calcola come segue: il valore di ciascun campione viene elevato al quadrato; si calcola la media dei valori; si estrae la radice quadrata della media.

Analicamente, detti x_1, x_2, \dots, x_N i

valori assunti da ciascuno degli N campioni del segnale si scrive:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

Per un segnale sinusoidale vale la relazione:

$$x_{rms} = \frac{x_{max}}{\sqrt{2}}$$

dalla quale risulta che il valore RMS è circa il 70% del valore di picco massimo (-3 dB).

Il fattore di cresta (Crest Factor = CF) esprime il modulo del rapporto tra il valore di picco ed il valore RMS di un segnale. Il valore di picco è il massimo (minimo) valore assoluto raggiunto dal segnale nell'intervallo di tempo considerato. La **figura A** mostra due segnali che hanno lo stesso spettro ma andamento temporale molto diverso. La differenza è dovuta alla fase relativa tra le diverse componenti spettrali che sono tutte nulle nel primo caso e casuali nel secondo. I due segnali sono periodici ed hanno lo stesso periodo. Il primo suona come un "click" il secondo suona come un brusio. Si noti il diverso valore del fattore di cresta.

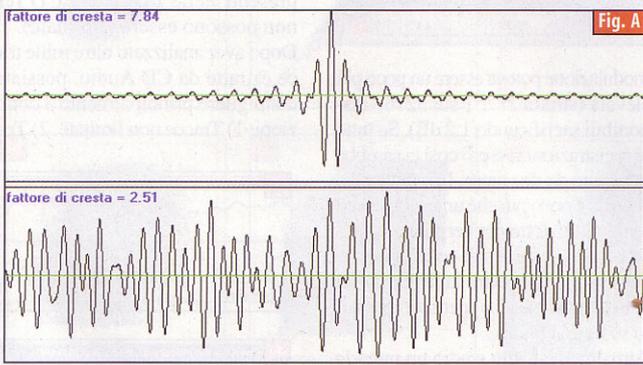


Figure di Lissajous

Le figure di Lissajous (**figura B**) sono utilizzate per rappresentare la composizione di moti armonici ovvero per produrre il grafico di una funzione parametrica definita dal sistema:

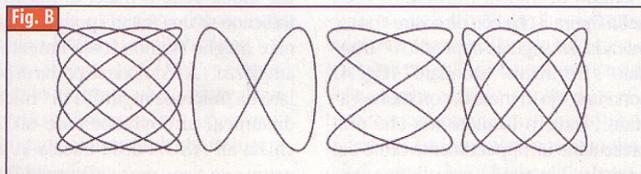
$$\begin{aligned} x &= A \cos(\omega t + \phi) \\ y &= B \cos(\omega t) \end{aligned}$$

w rappresenta la pulsazione, t è il parametro che rappresenta il tempo, ϕ rappresenta la differenza di fase tra x e y e A e B sono le rispettive ampiezze. Questo è il caso più semplice che crea un'elisse di semiassi A e B. La figura sarà tutta contenuta in un rettangolo di lati A e B. Se utilizziamo, per x e y, i canali destro e sinistro di un programma musicale stereofonico la figura di Lis-

sajous rappresenterà la funzione parametrica definita dal sistema:

$$\begin{aligned} x &= \text{canale_sinistro}(t) \\ y &= \text{canale_destro}(t) \end{aligned}$$

e il grafico che ne deriva sarà molto più complicato. I valori assunti dal segnale estratto da un CD Audio vanno da -32768 a +32767. Dato che una traccia audio contiene milioni di campioni discreti più che una figura si ottiene una macchia. Alcune caratteristiche sono comunque riconoscibili. Per prima cosa si vede immediatamente se il segnale è limitato in ampiezza o se è stato troppo amplificato (sovrarmodulato).



Punto	Canale sinistro	Canale destro
A	Massimo	Nulla
B	Massimo	Massimo
C	Nulla	Minimo
D	Nulla	Nulla
E	Massimo	Nulla
F	Minimo	Nulla

Nella **figura C** sono indicati alcuni punti notevoli. Le linee blu e verdi indicano i due canali. Se un canale fosse nullo la figura si ridurrebbe a una di queste due linee. Se invece i canali sono identici (traccia monofonica) la figura si ridurrebbe alla diagonale. Nella figura a destra le linee più grosse indicano la regione del bordo dove cadono, in questo caso, i punti che riportano la sovrarmodulazione di un canale.

