

Frequenza di campionamento utilizzata e ricostruzione della forma d'onda in relazione al tipo di Hardware e segnale utilizzato.

Di Tom Capraro

Dal Forum di Video HiFi

<http://forum.videohifi.com/discussion/386799/armonici/p9>

Il teorema di campionamento, perfetto sotto il profilo teorico/matematico, non sempre trova riscontro con la conversione di segnali digitali in analogico complessi campionati con frequenza di 44.100Hz.

Sembra anche esserci una ragionevole correlazione tra vari tipi di segnale utilizzato, in particolar modo con inviluppo complesso, visto che con segnali "semplici" l'alterazione della forma d'onda sparisce o quantomeno si attenua.

La ricostruzione della forma d'onda, almeno per le numerose prove che ho condotto, acuisce il difetto con l'utilizzo della frequenza di campionamento più bassa, possiamo dire che incontra più problemi nella fase di conversione visto che con il medesimo hardware, specie lo stadio uscita analogico, il passaggio alle frequenze più elevate (almeno 2X) ne debella il fenomeno.

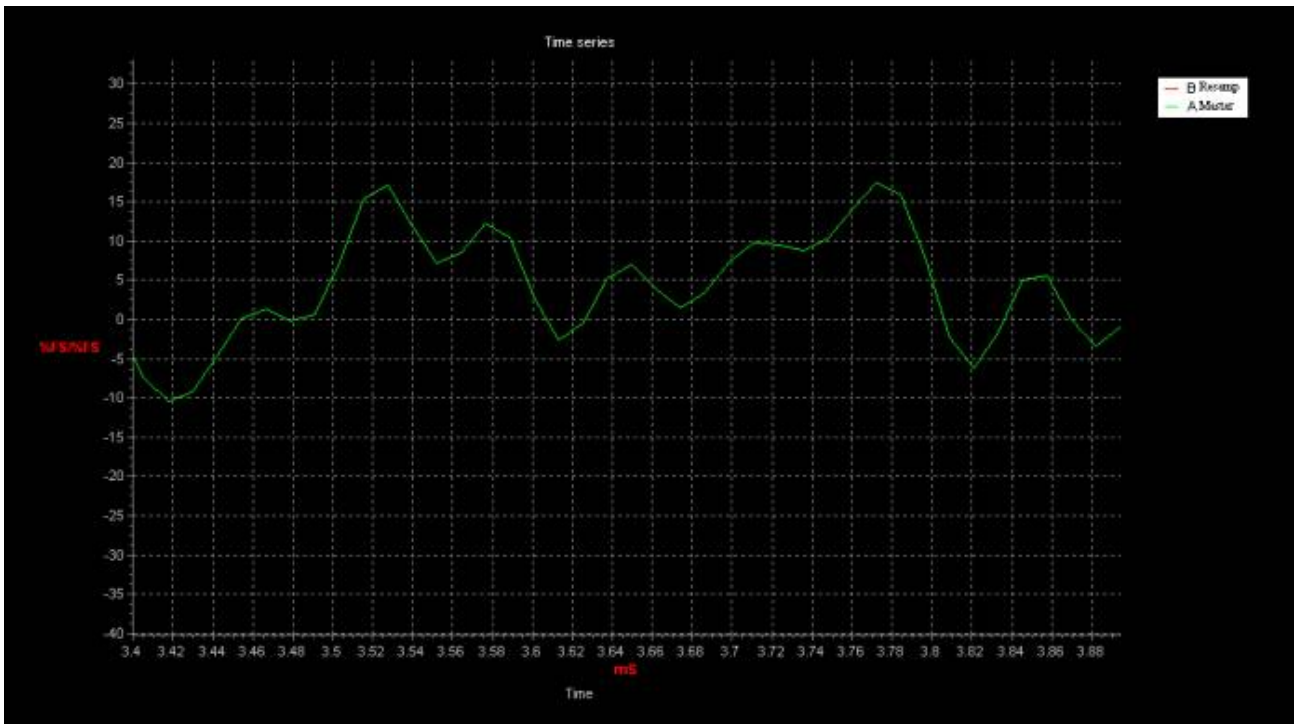
Trovate le misure. (leggete con attenzione perchè è stato fatto un lavoro molto dispendioso e preciso)

Iniziamo con le "presentazioni"...ossia le prestazioni oggettive del setup di misura e relativi algoritmi di resampler...questo servirà a capire meglio i vari step nei quali verrà illustrato quanto era stato fatto e quanto si sostiene (almeno per chi con il digitale c'ha sguazzato veramente) in fatto di campionamento dei segnali in forma fisica e in forma teorica.

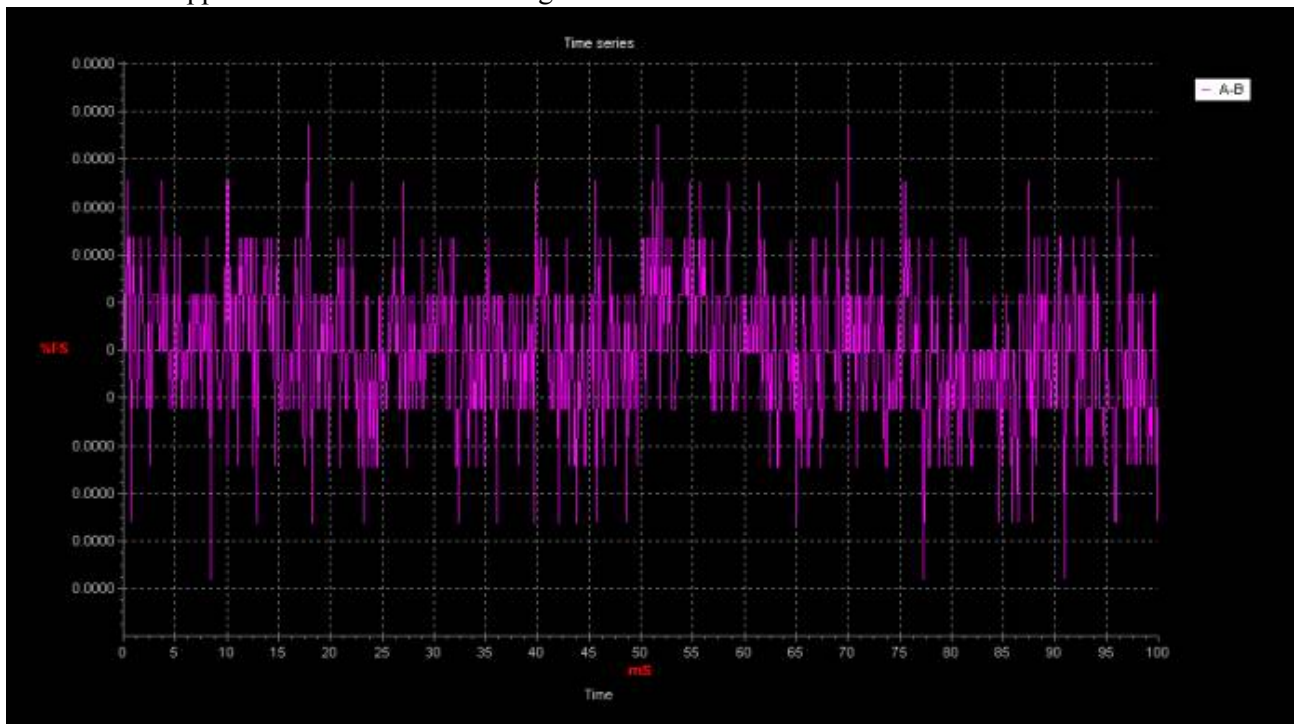
Il teorema di nyquist e shannon è matematicamente perfetto...il ricampionamento e il successivo oversampling (specie se elaborato a numeri interi) di un determinato segnale (nel nostro caso un 88.2khz ricampionato a 44.1 khz e oversampato nuovamente a 88.2khz) nel quale non si adotta la riquantizzazione (nel nostro caso la profondità in bit rimane fissa a 24) riporta la forma d'onda allo "stato precedente" (senza la benchè minima alterazione) tranne -ovviamente- per la perdita di una parte di banda che nel segnale oversampato non oltrepasserà i canonici 22050hz visto che si è "passati" da un sottocampionamento a 44.1 khz.

Estensione ""limitata"" di banda a parte...questo "stato precedente" di cui parlo è effettivamente eccezionale visto che in overlay la forma del segnale è pressochè speculare con pochissimo residuo (totalmente ininfluenza) e che vedremo nel primo grafico.

Qui possiamo osservare (con l'uso di un segnale ad elevato slew rate) come la waveform si sovrappone perfettamente allineando i due segnali entro 40picosecondi. Quello che vedete è il Master (in verde) e il resampler (in rosso) ossia il segnale master ricampionato a 44.1khz e oversampato nuovamente a 88.2khz...ed infine (ovvio!) filtrati entrambi a 20khz (tramite un precisissimo FFT filter) affinchè nel dominio della frequenza non vi fossero incongruenze. Perfetti, identici e sovrapponibili.



Per farci un'idea ancora più precisa, posto anche il "segnale residuo" ottenuto dalla funzione A minus B. Qui sotto il residuo è rappresentato dalla waveform magnitude.





Chiuso il paragrafo del dominio digitale...nessun dubbio...le cose funzionano.

Passiamo alla prossima "presentazione"...quella che mostra le potenzialità del setup di misura.

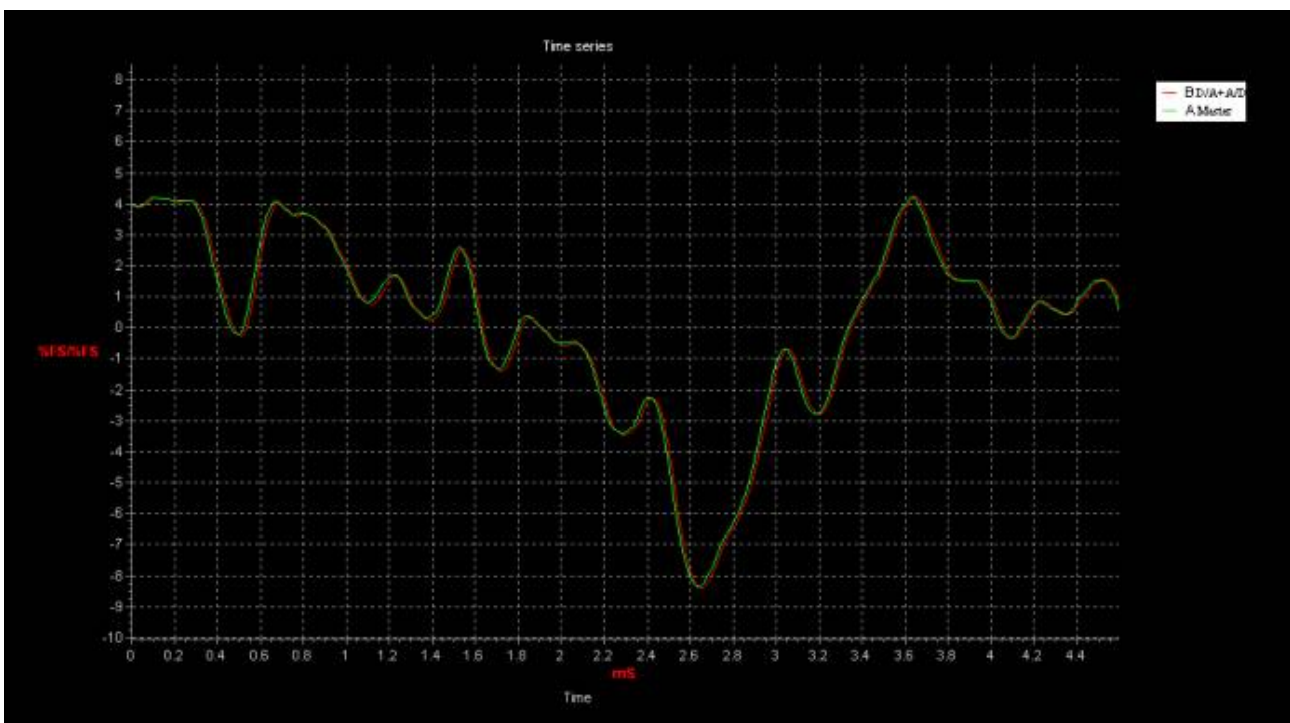
Quando si fanno queste analisi non è affatto semplice...perchè bisognerà considerare una serie di cose (diciamo precauzioni e accorgimenti) affinché non si commettano errori tali da rendere l'analisi fuorviante.

Bisogna considerare tutto quello che -appartiene- alla geometria del segnale, al ritardo (delay) introdotto dal filtro digitale, alla precisione nell'ampiezza e allineamento dei segnali...nonchè il rigoroso rispetto dell'estensione di banda.

Qui sotto mostrerò quanta precisione si ottiene con un campionamento di "soli" 88.2khz (ovviamente a 24bit)

Noterete che il confronto è stato fatto tra la forma d'onda originale (Master digitale) e un reale processo analogico...quindi il master digitale convertito da un DAC e acquisito dall'A/D e poi confrontati in overlay.

Per fare notare il livello di accuratezza ho sfasato (volutamente!) leggermente una delle due forme d'onda così da poter seguire "visivamente" la precisione e la ricostruzione delle linee nel segnale. (basta rifasarli e si ottiene una quasi perfetta sovrapposizione)



...bene...in tema di accuratezza possiamo fidarci.

Andiamo avanti..

Terminate le "presentazioni" passiamo al vero nocciolo della questione...ossia...cosa accade al segnale analogico quando abbassiamo la frequenza di campionamento a 44.1kHz ?

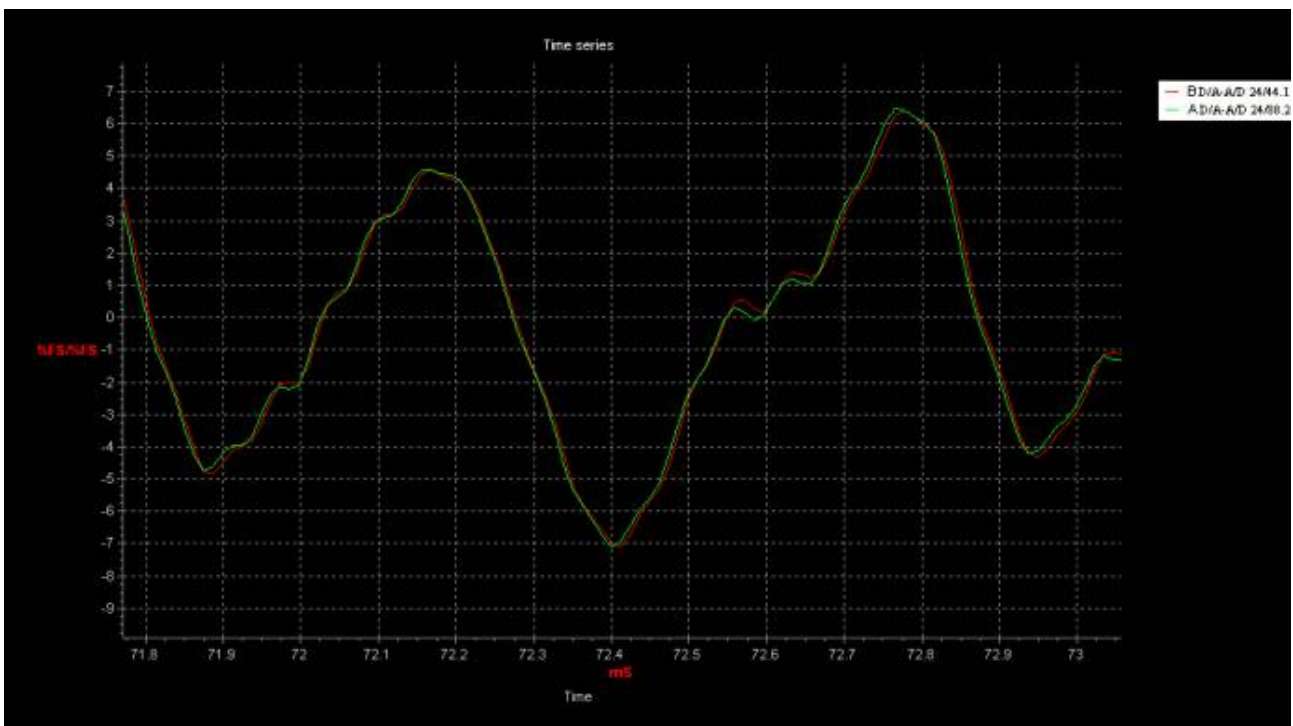
Se il teorema di Nyquist e Shannon funziona in forma teorica...(e lo abbiamo visto nella prima videata in digitale) lo fa sempre anche nella realtà fisica ? la (mia) risposta è stata sempre NO.

Un processo di conversione analogico-digitale (o viceversa) se effettuato a frequenza di campionamento 44.1kHz introduce (spesso) delle inconfutabili alterazioni (jitter e relativa alterazione della geometria della forma d'onda) per via di una "prevalenza" d'interpolazione (oversampling del filtro) che parte da un "insufficiente" tempo di campionamento (22,67us) e con il quale non si ottiene (ripeto in forma fisica) un'esatta stima del segnale continuo.

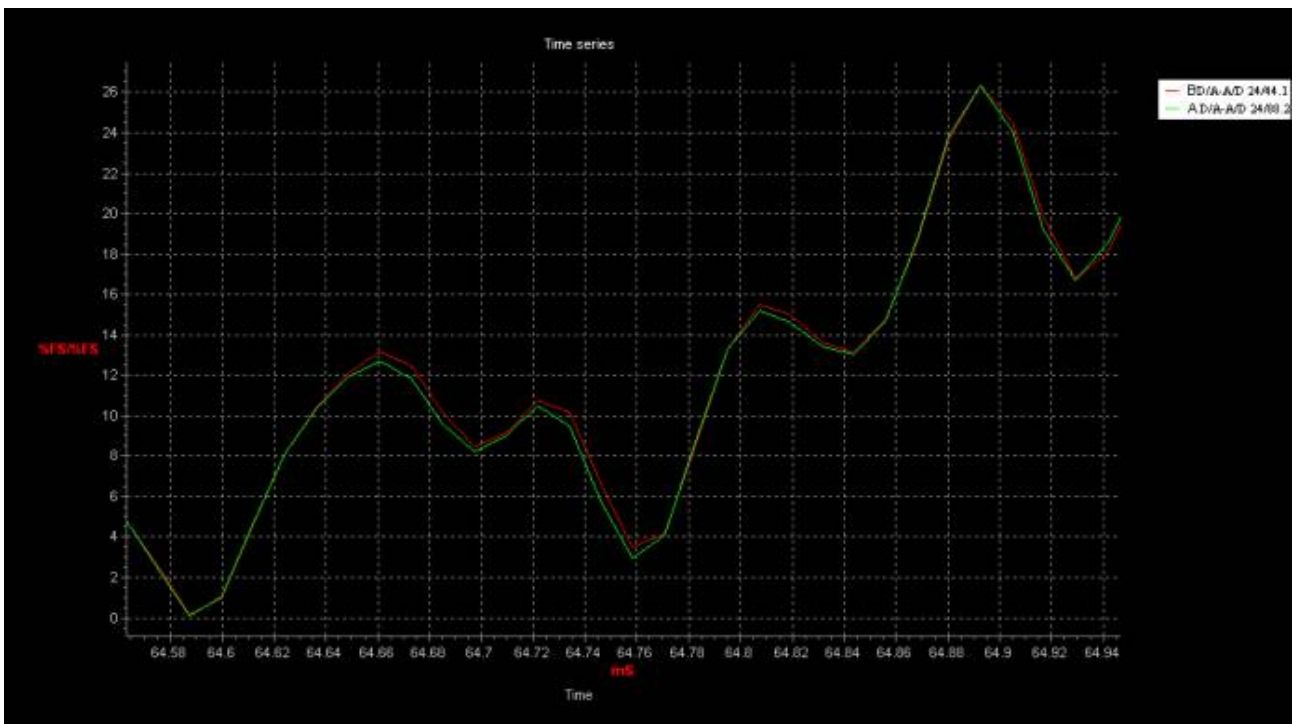
Qui sotto vedremo soltanto grafici con segnali allineati entro pochissimi picosecondi...per cui ogni deformazione è correlata all'effettiva alterazione nel segnale (e ci vorrà poco a capirlo).

Iniziamo a vedere un paio di overlay tra due segnali -convertiti- a 24/88.2kHz e 24/44.1kHz (non c'è più il segnale master originale...si confrontano segnali convertiti in entrambi i casi)

Il primo...

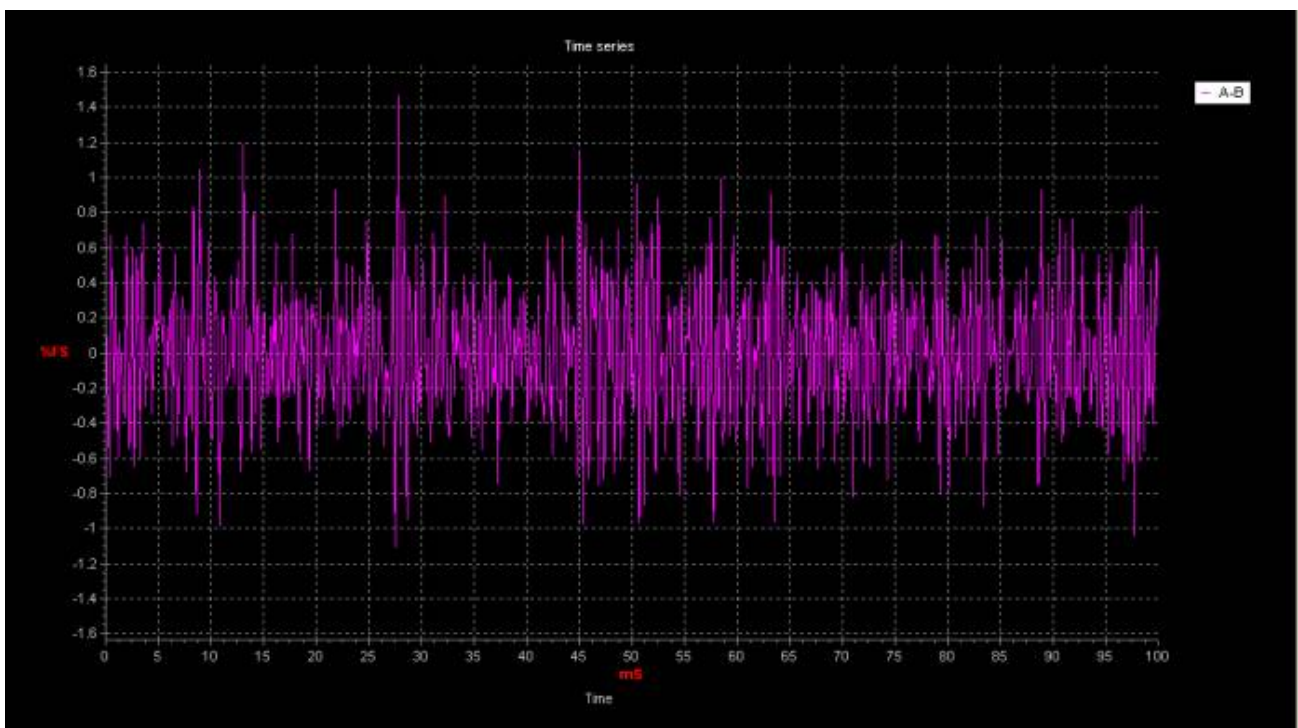


... e il secondo

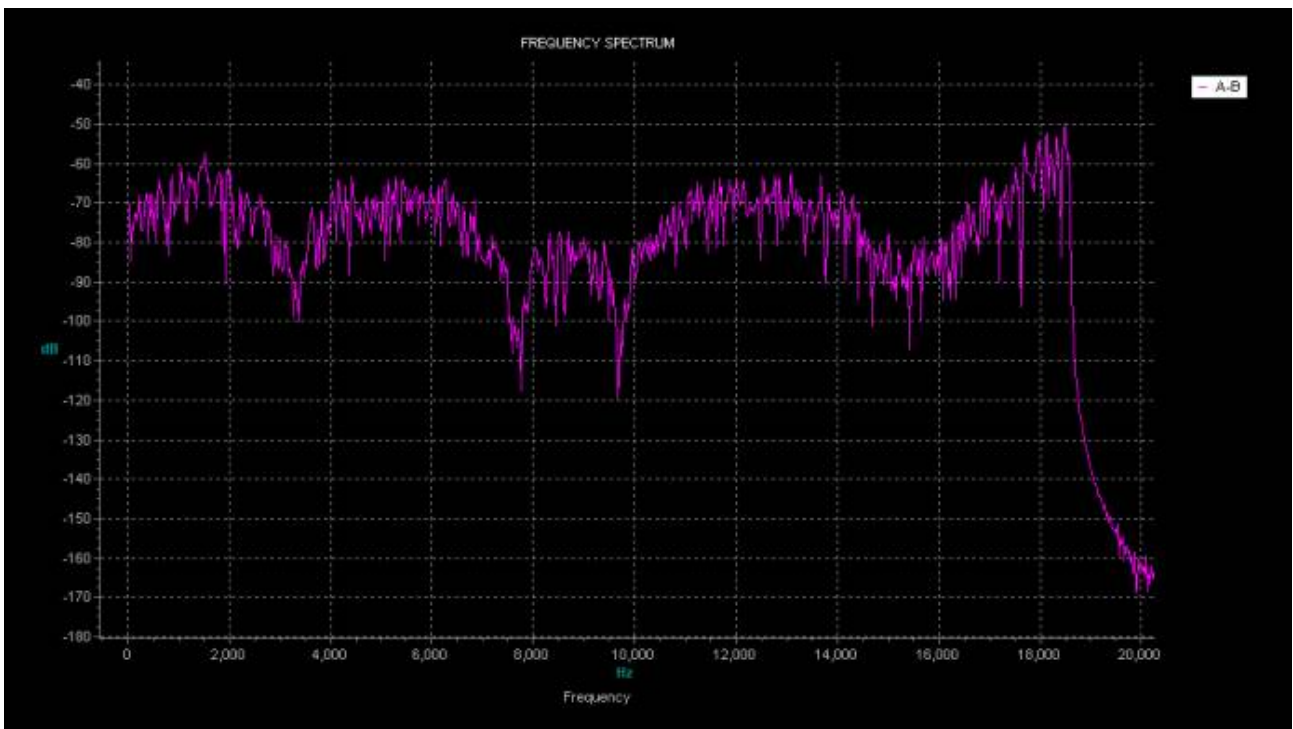


...il segnale differenza prodotto (anche se già basterebbe vedere il tracciato disomogeneo nelle linee) lo vediamo comunque tramite la nostra funzione A minus B.

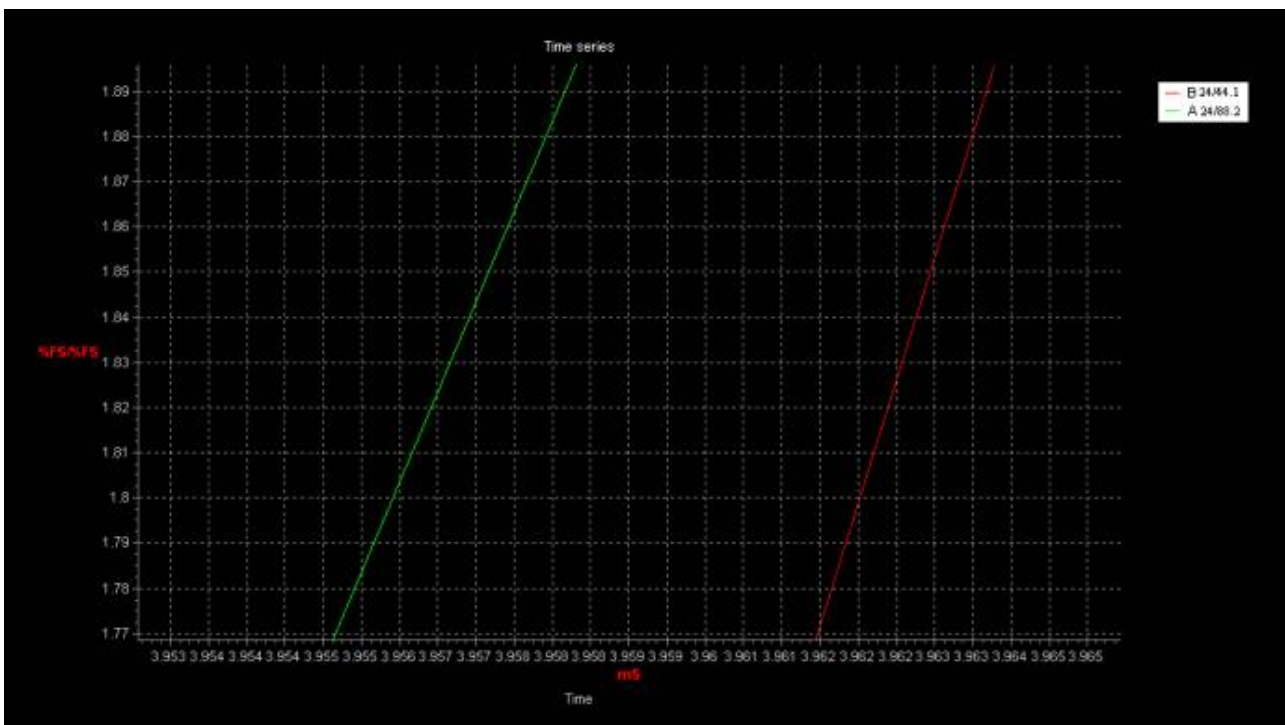
Qui sotto rappresentato a livello di waveform magnitude...



...e qui sotto proiettato nel dominio della frequenza.



A questo punto prendiamo un segmento -alterato- e lo andiamo ad espandere...
 Noteremo che l'alterazione...in questo caso NON lineare (perchè non è dovuta al delay) raggiunge anche i 6.8us...che sarebbe il punto massimo ottenuto (almeno in questo contesto).

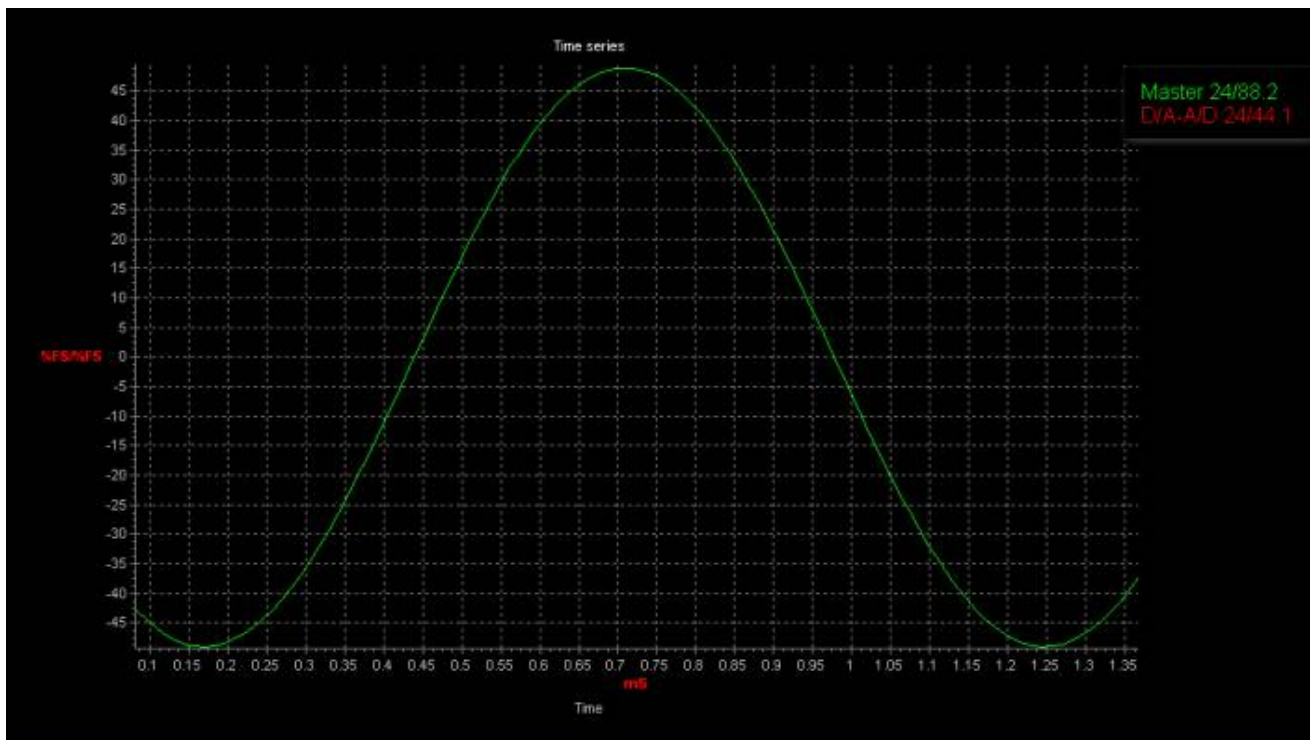


Vediamo adesso cosa accade con un segnale "semplice" quale è una sinusoide pura a 1khz.

Ebbene...in questo -specifico caso- l'uso di una **sinusoide pura** NON compromette minimamente la perfetta ricostruzione della forma d'onda per entrambe le frequenze di 88.2khz e 44.1khz..perfino con apparecchi di conversione da poche decine di euro.

Qui sotto lo notiamo nettamente mettendo in overlay la sinusoide del Master con il corrispettivo segnale analogico a 24/44.1khz

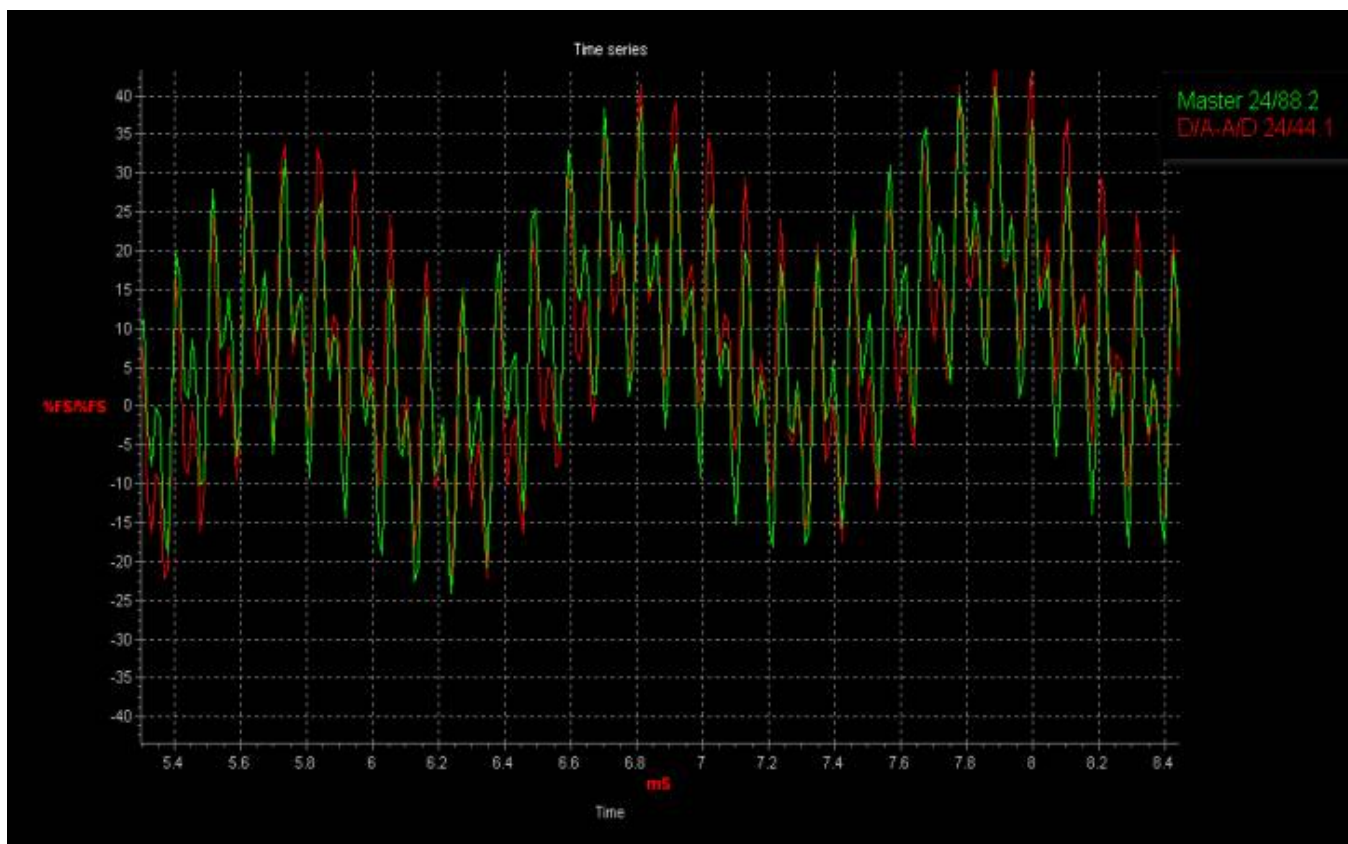
Risultano perfetti...ed espandendo i fronti non risultano forme di deformazione che oltrepassano i 25ns.



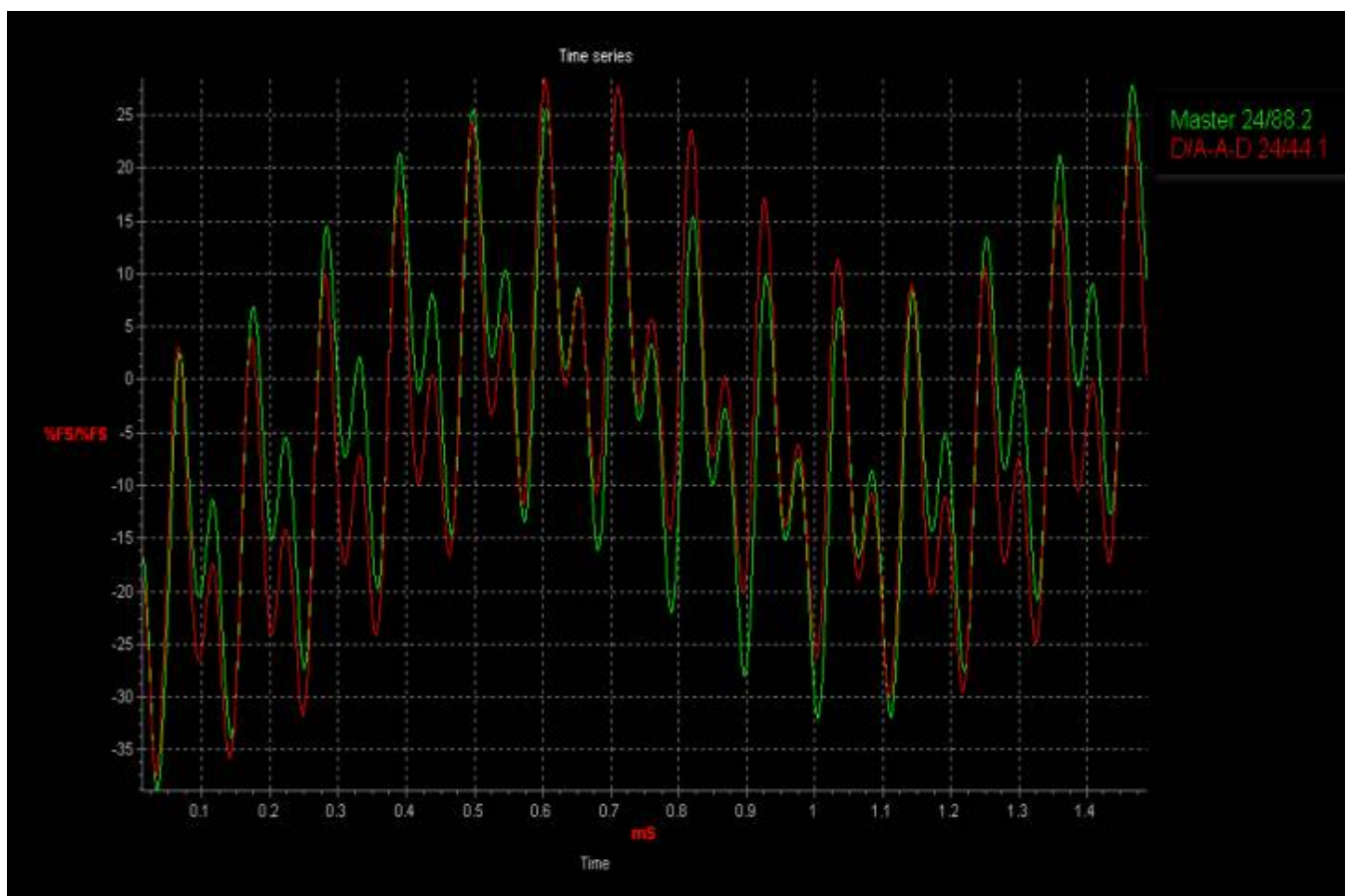
Sempre in tema di sinusoidi se componiamo un segnale multitono le cose cambiano...

- Con questo segnale...anch'esso di natura sinusoidale...ma formato da un "cocktail" di toni a frequenze diverse... (100hz + 1000hz + 10.000hz + 20.000hz) viene prodotta perfino un'incapacità nel seguire il tempo di involuppo (perlopiù della componente a 100hz...che si nota dalla curva ad ampio raggio e che ne determina maggiormente l'andamento generale)

Il Master "sale prima e scende prima"...il segnale analogico a 24-44khz "sale dopo e scende dopo"...quest'ultimo possiamo definirlo -più lento-. (giusto perchè era stata citata...la rappresentazione è di tipo ad interpolazione lineare)

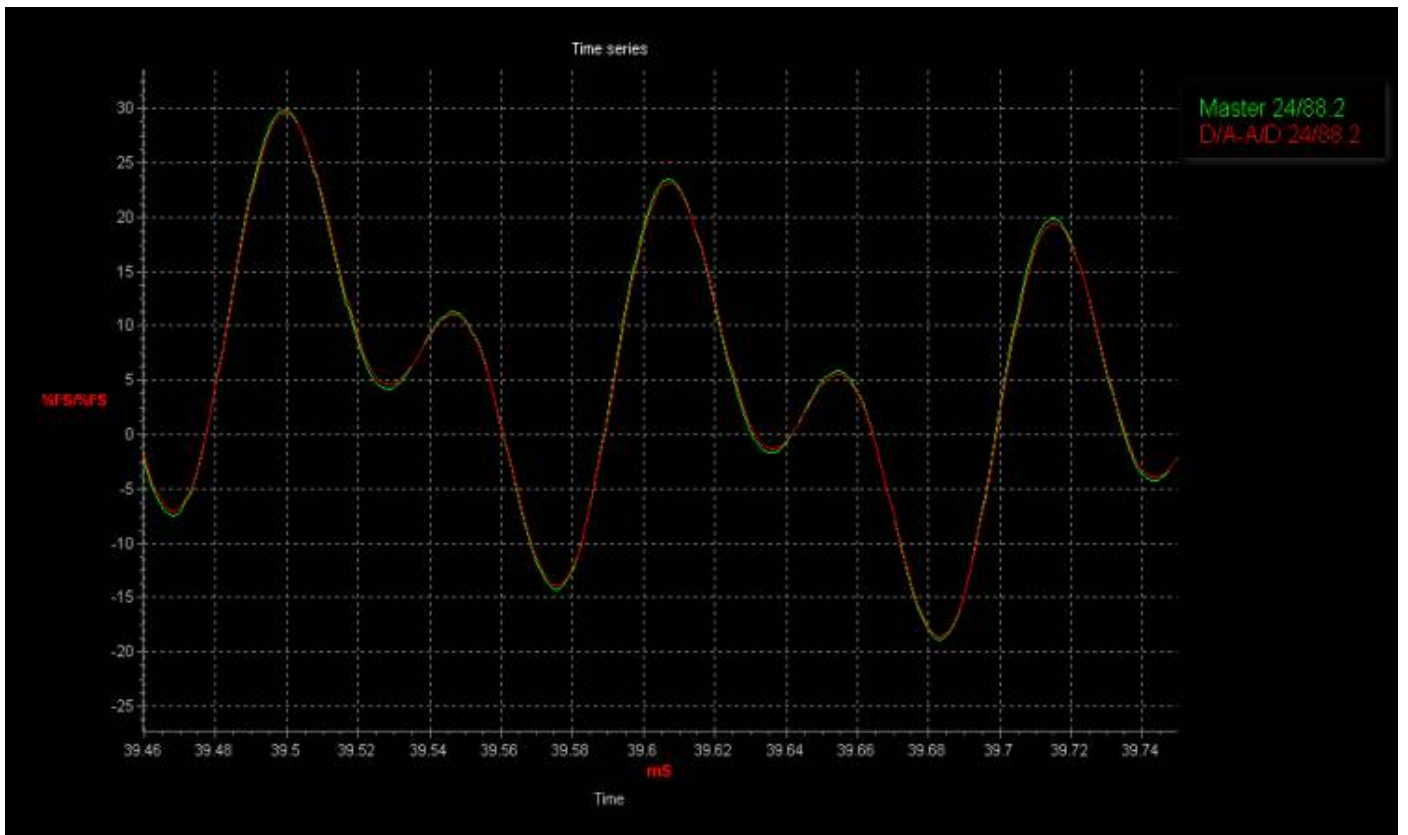


osservandola più nel dettaglio e con interpolazione D/A (Spline)...il punto in cui (quasi...molto quasi..) si sovrappongono è attorno il massimo valore di tensione (cresta del segnale)

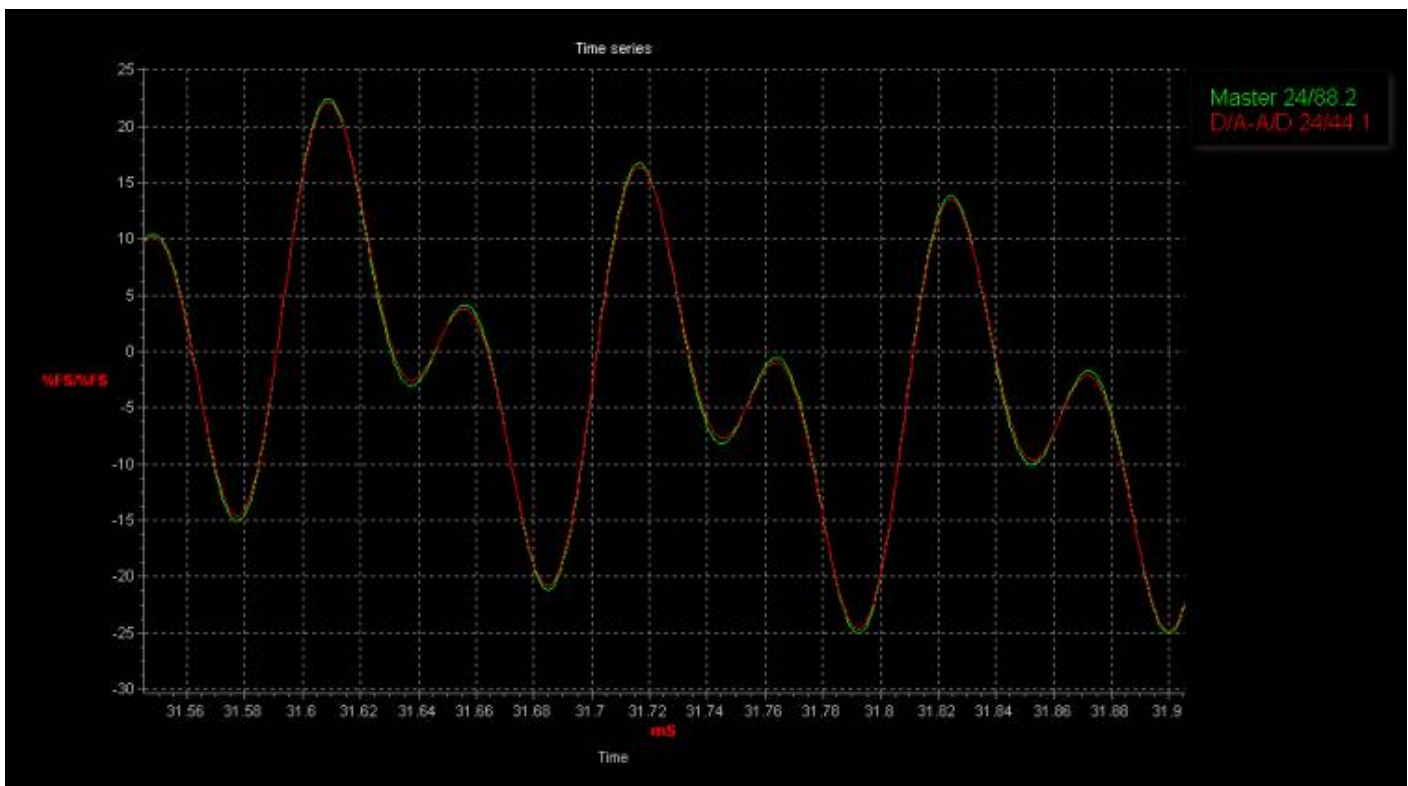


Adesso...stesso DAC...ma facendo convertire il segnale alla frequenza del Master...quindi 24/88.2khz

Tutto si sistema...l'involuppo risulta molto coerente e le alterazioni temporali della waveform sono risibilissime.

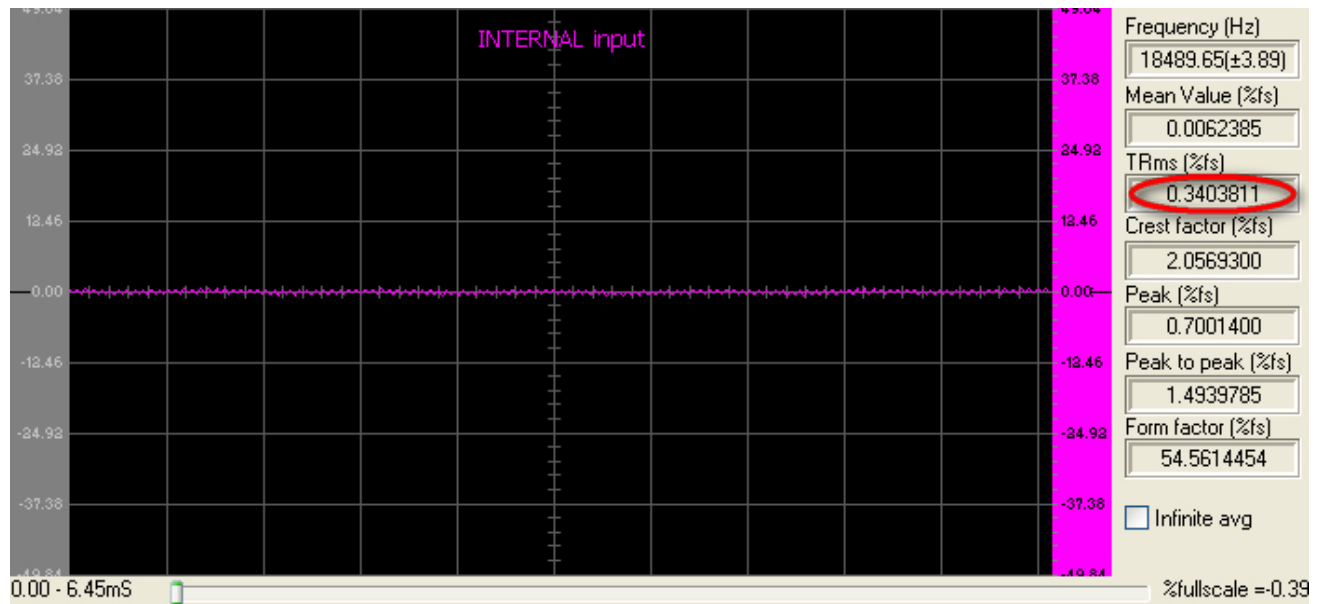


Adesso tocca al nostro DAC R2R che ci converte il 44.1khz come l'88.2khz del DAC usato precedentemente

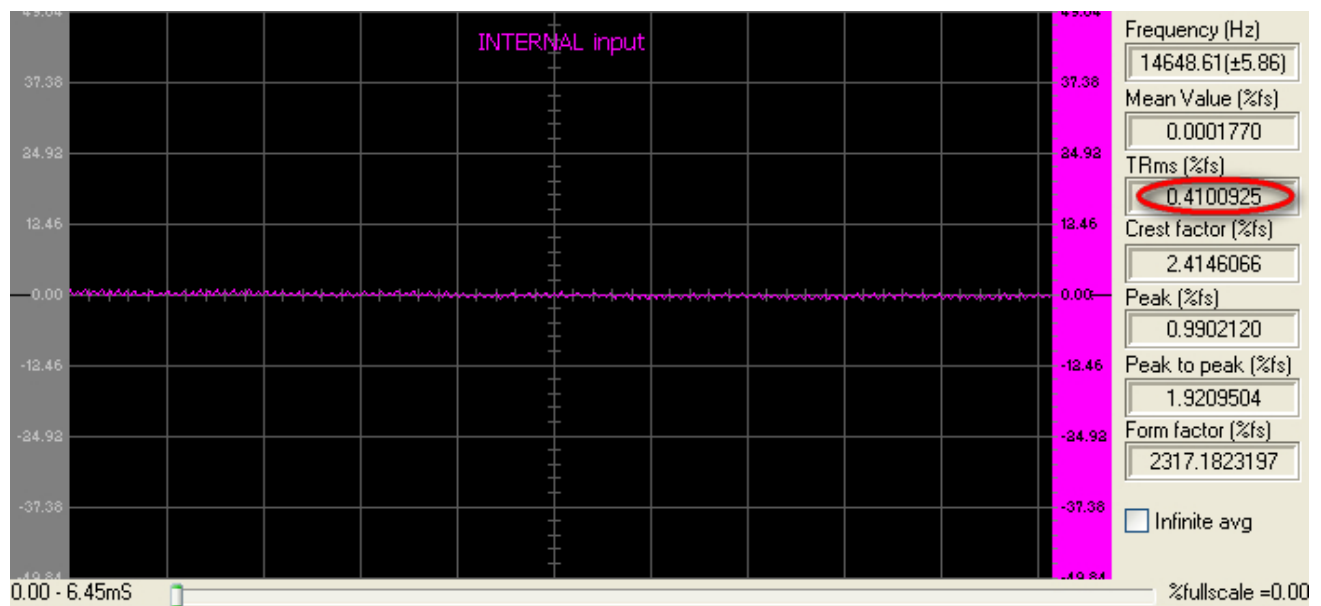


Avendo prodotto un risultato abbastanza simile (per congruenza) ho curiosato sull'effettivo segnale residuo quando sfasati di 180°...anche se li considererei difficilmente percettibili, ha vinto (di poco) il 24/88.2 del dac "normale" e dal costo di ben 16.500€ in meno.

Qui sotto il residuo tra Master e segnale analogico a 24/88.2khz del dac precedente .



Qui sotto il residuo tra Master e segnale analogico a 24/44.1khz del DAC R2R (da 17.000€)



Tom.