

**Università degli Studi del Sannio**  
**Facoltà di Ingegneria**  
**Corso di laurea in Ingegneria Informatica**

# Distorsimetro Digitale

Corso di Elaborazione dei Segnali e delle Informazioni di Misura

Aversano Lerina matr. 68/00731  
Dente Vincenzo matr. 68/00188  
Gallucci Pierpaolo matr. 68/00728

Prof. P. Daponte

## **DISTORSIMETRO DIGITALE**

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>LA SOLUZIONE PROPOSTA</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>HARDWARE &amp; SOFTWARE</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>LA PROCEDURA DI MISURA</b>	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>GENERATORE D'ONDA</b>	<b>8</b>
<b>4.2</b>	<b>FILTRAGGIO DEL SEGNALE E TRASMISSIONE DATI</b>	<b>9</b>
<b>4.3</b>	<b>MISURA DELLA DISTORSIONE</b>	<b>11</b>

## 1. Introduzione

Un distorsimetro è uno strumento utilizzato per misurare la distorsione introdotta da un quadripolo non ideale. Per misure accurate si ricorre anche a strumenti molto complessi, che effettuano un esame spettrometrico del segnale distorto (FFT). In senso qualitativo qualsiasi segnale, durante la trasmissione dalla sorgente al destinatario dell'informazione, subisce una serie di modificazioni, alcune delle quali sono necessarie all'esecuzione della trasmissione (es. Conversione A/D), ed altre vengono introdotte dallo stesso mezzo trasmissivo. Entrambe producono un deterioramento del segnale tali da generare confusioni o errori nell'informazione ricevuta. Queste modificazioni non volute del segnale prendono il nome di *distorsione*. Per valutare la distorsione non lineare, occorre misurare il valore efficace del segnale trasmesso e del rumore introdotto dal mezzo trasmissivo. Se supponiamo di avere un segnale sinusoidale puro, come quello riportato in figura 1, e lo facciamo passare in un mezzo trasmissivo, a questo si sommano altre armoniche, che rappresentano il disturbo introdotto dal mezzo trasmissivo (cioè il rumore). La forma d'onda risultante è distorta (figura 2).

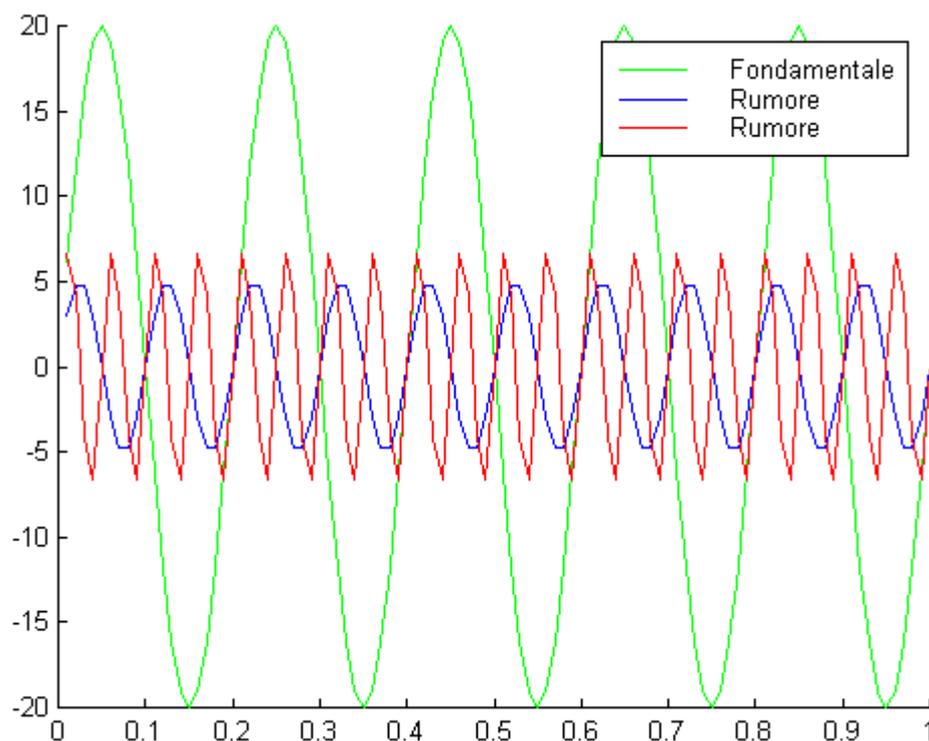
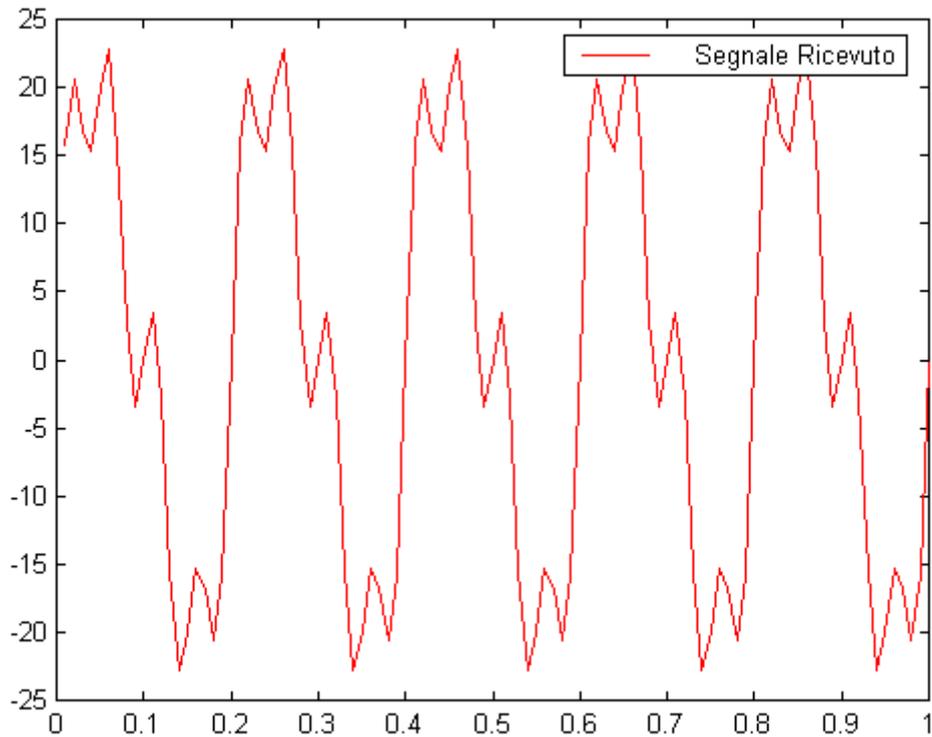


Figura 1 :Armoniche del Segnale



**Figura 2 : Segnale Distorto**

L'equazione per il calcolo teorico della distorsione non lineare, nel caso di un segnale poco distorto, è la seguente:

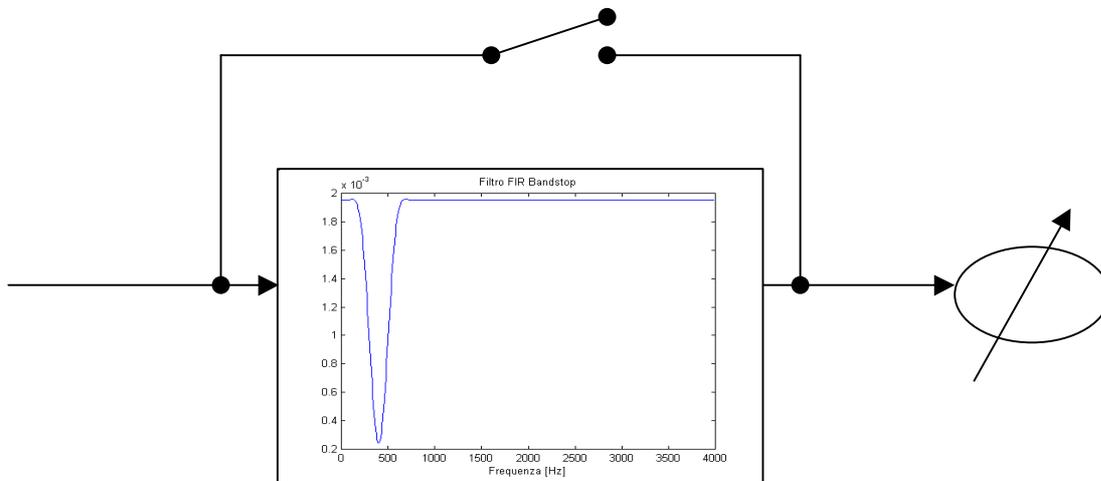
$$\mathbf{THD} = \mathbf{E}_{s-f} / \mathbf{E}_s \quad (1)$$

ove  $\mathbf{E}_{s-f}$  è il valore efficace del rumore (armoniche introdotte dal mezzo trasmissivo) e  $\mathbf{E}_s$  è il valore efficace del segnale.

Dall'equazione risulta chiaro che per realizzare un tale dispositivo, è necessario disporre di un filtro che eliminando la fondamentale ci restituisca solo il rumore.

## 2. La soluzione proposta

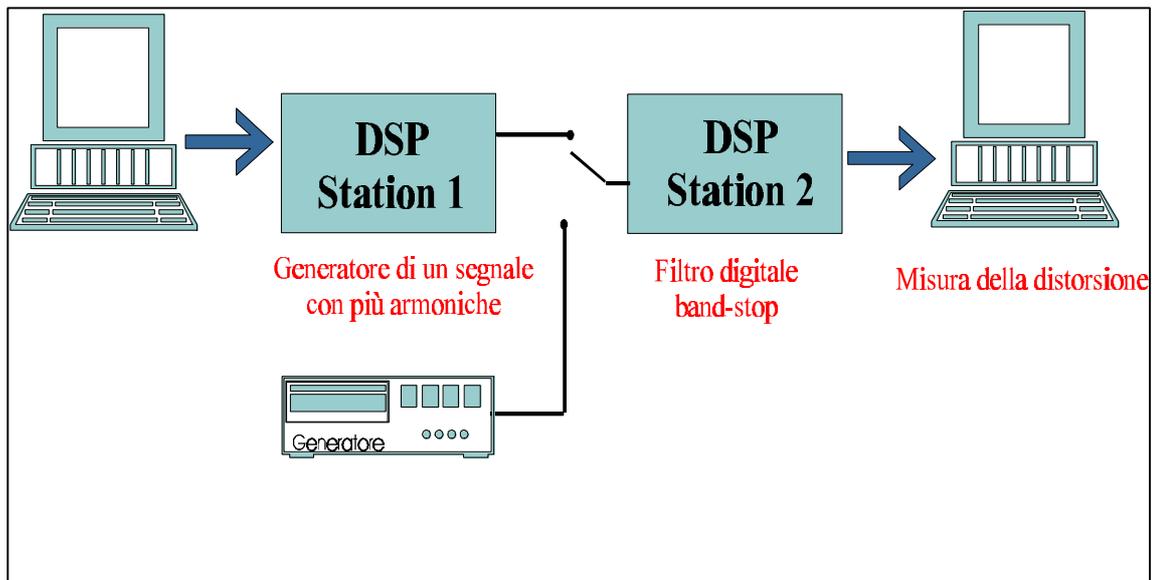
L'idea di base per la realizzazione di un distorsimetro digitale è quella di campionare il segnale di ingresso, utilizzare un filtro digitale Band-Stop che elimini la fondamentale in modo da ottenere un insieme di campioni che rappresenta il solo rumore del segnale inviato. Lo schema utilizzato è quello riportato in figura 3, da cui si evince che in un primo passo viene prelevato l'intero segnale sul canale, e successivamente si preleva all'uscita del filtro il solo rumore.



**Figura 3 Schema di funzionamento**

I campioni in uscita al filtro, vengono memorizzati di volta in volta in un Buffer; riempito il Buffer si procede alla trasmissione dei campioni ad un unità di elaborazione per il successivo calcolo della distorsione tramite la formula (1), ed analogamente si procede per i campioni che rappresentano l'intero segnale. Con questo schema esistono più fasi distinte, una per l'acquisizione dei dati (segnale e rumore) ed una successiva per la trasmissione.

Un Digital Signal Processor (DSP) può essere utilizzato per realizzare tale schema di distorsimetro. Lo schema di massima che è stato utilizzato è riportato in figura 4.



**Figura 4 : Schema a blocchi del sistema per la determinazione della distorsione**

Come si vede dallo schema in figura 4, il distorsimetro è in effetti costituito dal DSP Station 2 e dal PC2, ed è quindi totalmente indipendente dal sistema utilizzato per generare il segnale di ingresso. Nel nostro caso avendo a disposizione un secondo DSP, lo si è utilizzato come generatore di segnale, ma è evidente che il segnale può provenire da qualunque fonte.

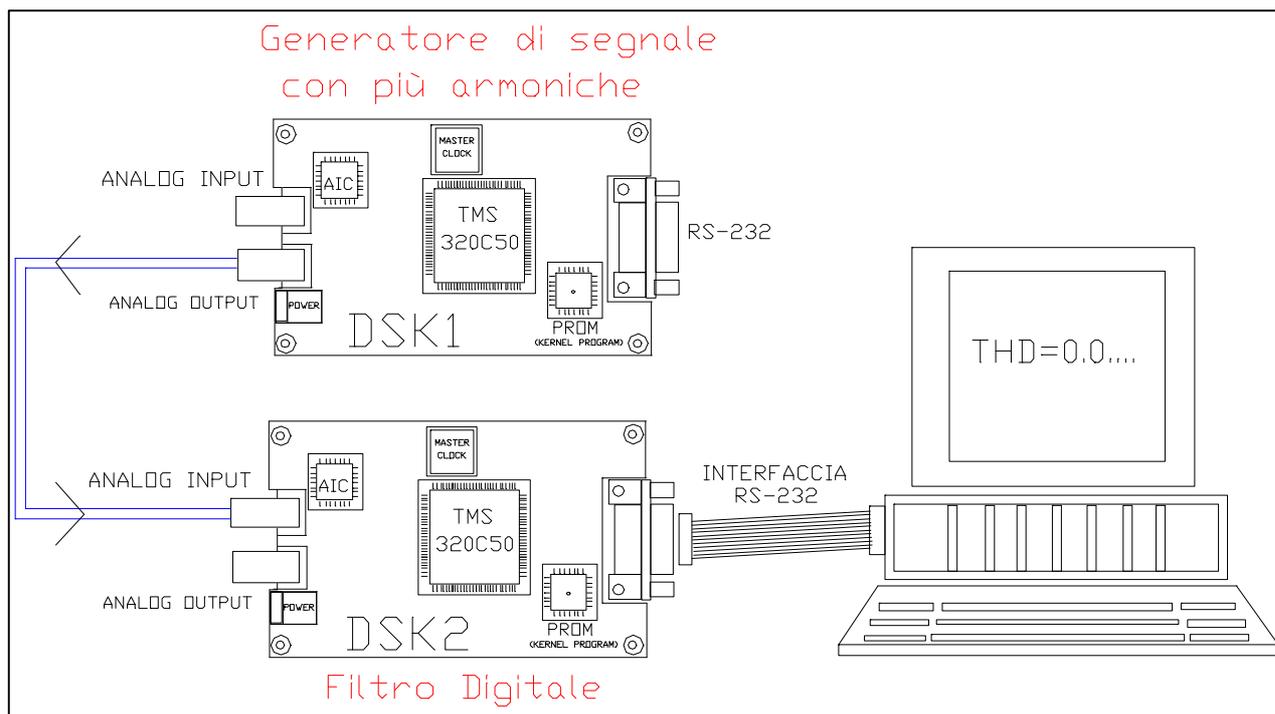
### **3. Hardware & Software**

La scheda DSK in dotazione ha un processore DSP TMS320C50, un circuito di interfacciamento analogico del tipo AIC TMS320C40 e due jack RCA, uno di ingresso ed uno di uscita, per la comunicazione con il mondo analogico. La scheda è anche dotata di una porta di comunicazione seriale compatibile con lo Standard RS-232, che consente la connessione ad un Personal Computer (figura 5).

Il DSK package include anche un assembler ed un debugger, che sono necessari per lo sviluppo, l'esecuzione ed il testing del software per il processore C5X.

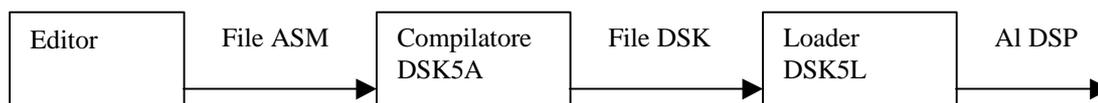
L'assembler è un programma software che converte il codice sorgente progettato in linguaggio Assembler in un formato (codice macchina) che può essere caricato sulla scheda DSK. Viene creato così un file 'object' con estensione 'dsk'.

Lo strumento utilizzato per caricare il codice eseguibile sulla scheda è il Loader che può essere invocato a linea di comando.



**Figura 5 :Schede con relative connessioni**

Per quanto riguarda il Software che implementa il distorsimetro digitale, esso è stato univocamente scritto in Assembler con un editor. I passi necessari per produrre l'eseguibile per il DSP (\*.dsk) sono riportati in figura 6:



**Figura 6 : Schema per la realizzazione del codice eseguibile su DSP**

#### 4. La procedura di misura

Per utilizzare il DSP Station 1 come generatore d'onda, su di esso viene caricato con il Loader "DSK5L" il programma "Sinewave.out" (disponibile come codice sorgente) che genera un'onda sinusoidale con del rumore. L'uscita del DSP Station 1 viene collegata all'ingresso del DSP Station 2 (figura 6). Su quest'ultimo viene caricato un programma "filtro.dsk" che provvede all'acquisizione del segnale distorto ed al filtraggio della fondamentale con un filtro digitale FIR di tipo bandstop (progettato con Matlab). Durante la fase di trasmissione il DSP deve temporizzarsi con il PC, ciò

comporta un'elevata perdita di campioni, per cui è necessario separare tale fase da quella di acquisizione vera e propria.

La soluzione adottata consiste nell'utilizzo di un buffer circolare tramite il quale è possibile acquisire rapidamente i campioni, senza sottrarre tempo di elaborazione al DSP, e quindi trasferire in un secondo momento al PC una sequenza significativa di campioni contenenti informazioni sul rumore.

I campioni vengono così acquisiti dal PC2 su cui è stato implementato un algoritmo di acquisizione dati dalla seriale e di determinazione della distorsione. Infine viene visualizzato il valore numerico del THD che viene continuamente aggiornato sulla base dei campioni acquisiti.

#### 4.1 Generatore d'onda

Esistono molti modi per generare un'onda sinusoidale usando un DSP. Il metodo più efficace consiste nell'usare un'organizzazione simile ad un filtro IIR instabile. Nel nostro caso specifico l'equazione adottata è un'equazione differenziale del secondo ordine:

$$Y_{(n)}=A* Y_{(n-1)}+B*Y_{(n-2)}+C*X_{(n-1)} \quad (2)$$

Per la determinazione dei coefficienti viene utilizzata la sua risposta impulsiva che è del tipo  $\sin(n\omega T)$ . In particolare il metodo consiste nell'imporre un impulso unitario in ingresso ed alcuni valori  $Y_n$  di uscita pari a campioni discreti della sinusoide voluta, fino ad ottenere le tre equazioni necessarie per la determinazione delle costanti A, B, C.

Applicando tale metodo le equazioni che si ricavano sono le seguenti:

$$\begin{aligned} n=0 & \quad Y_{(0)}=A*Y_{(-1)}+B*Y_{(-2)}+0 = 0 \\ n=1 & \quad Y_{(1)}=A*Y_{(0)}+B*Y_{(-1)}+ C = C \\ n=2 & \quad Y_{(2)}=A*Y_{(1)}+B*Y_{(0)}+ 0 = A*Y_{(1)} \\ n=3 & \quad Y_{(3)}=A*Y_{(2)}+B*Y_{(1)} \end{aligned} \quad (3)$$

Sostituendo i valori  $Y$  noti e relativi ad una frequenza di campionamento di 8 kHz si ricavano numericamente i valori delle costanti A, B, C. Nel nostro caso sono stati determinati i coefficienti relativi alle seguenti sinusoidi:

Frequenza [Hz]	A	B	C
400	$2*0.95105$	-1	$2*0.15450$
800	$2*0.80902$	-1	$2*0.29389$
1000	$2*0.70711$	-1	$2*0.35355$

Tali coefficienti vanno convertiti preventivamente nel formato Q15 adottato dal DSP e quindi posti sull'uscita dell'AIC.

#### 4.2 Filtraggio del segnale e trasmissione dati

Per utilizzare al meglio le risorse a disposizione il *sistema di misura della distorsione* è stato organizzato come segue:

- 1) Campionamento del segnale distorto su DSP2;
- 2) Filtraggio dei campioni con filtro FIR implementato sul DSP2;
- 3) Gestione in tempo reale dei campioni tramite Buffer-Circolare sul DSP2;
- 4) Trasmissione dei campioni tramite RS-232 da DSP2 a PC;
- 5) Determinazione del valore numerico del THD sul PC.

Il primo punto riguarda il campionamento del segnale ad una frequenza di 8kHz. Questo vuol dire che avendo una fondamentale a 400Hz riusciamo a campionare 20 punti per periodo (valore di molto superiore al limite imposto dal teorema di Nyquist) ed inoltre si osserva che ad un periodo del segnale corrisponde un numero intero di periodi di campionamento (giusto 20 periodi).

Tenendo conto che la frequenza del Master-Clock del DSP è di 20 MHz ciò si traduce nel dover impostare l'AIC con i seguenti valori (si veda il codice sorgente):

```

TA    .word  17      ; Fcut = 8 kHz  Value of TA register
RA    .word  17      ; Fcut = 8 kHz  Value of RA register
TB    .word  38      ; Fs = 2*Fcut  Value of TB register
RB    .word  38      ; Fs = 2*Fcut  Value of RB register

```

Il secondo punto sfrutta a pieno le potenzialità del DSP; per questo motivo il filtro è stato realizzato completamente in Assembler. Infatti il processore dispone di istruzioni

dedicate al trattamento di moltiplicazioni e somme di tipo vettoriale, operazioni pesantemente presenti nei filtri digitali. L'istruzione "MACD" è in grado di eseguire in un unico ciclo di clock la seguente relazione :

$$A = B * C + D \quad (4)$$

mentre in un processore general-purpose sono richiesti svariati cicli.

Come detto si tratta di un filtro FIR Band-Stop, ed è stato implementato con un numero di Tappe pari ad 85. Il suo progetto è stato realizzato con Matlab; ed i coefficienti così ottenuti sono stati tabellati in formato Q15 nel file "bandstop.flt".

All'uscita del filtro i campioni devono essere gestiti attraverso un Buffer Circolare. Inizia così la terza fase della misura. Questa soluzione ha una duplice importanza, innanzi tutto permette il trattamento in tempo reale del campione acquisito ed inoltre consente di non perdere campioni durante la trasmissione al PC (molto più lenta), avendo diviso completamente la fase di acquisizione dalla fase di trasmissione. Infatti nel nostro sistema di misura, prima vengono acquisiti un numero significativo di campioni e salvati nel Buffer Circolare e solo in un secondo momento questi verranno trasferiti al PC.

Nella fase successiva, di trasmissione, particolare attenzione è stata rivolta alla tempificazione del DSP. Il programmatore, utilizzando la scheda DSK, sprovvista di Chip UART, deve gestire completamente da sé la trasmissione con il PC. In particolare occorre fare in modo, tenendo conto della velocità del DSP, che la distanza temporale tra due bits coincida con il Baud Rate stabilito dall'UART del PC. A tale scopo sono settate due costanti "BITLEN" e "BITLEN2", che agiscono da Delay Loop.

L'informazione di ogni campione è rappresentata a 16 bits all'interno del DSP. Siccome la trasmissione definita dalle specifiche dello Standard RS-232, limita la trasmissione dei dati come pacchetti di 8 bits, è stato necessario inviare al PC due pacchetti consecutivi per ogni campione.

### **4.3 Misura della Distorsione**

Il programma per il calcolo della Distorsione non lineare è stato realizzato in ambiente BORLANDC su una macchina IBM 386 SX. La parte centrale di quest'applicazione svolge un monitoraggio continuo (polling) della porta seriale, in attesa di campioni che provvede a memorizzare in un array. Come già illustrato precedentemente, ogni campione viene ricevuto come la sequenza di due byte ancora in formato Q15, e quindi va opportunamente trattato. Innanzitutto occorre ricomporre i due byte, ma cosa più importante occorre riportare il dato in formato decimale eseguendo uno shift a destra del valore e interpretare correttamente il bit di segno.

Nel calcolo del THD si esegue una stima per calcolare, in base ai campioni acquisiti, sia il valore efficace del rumore che quello del segnale.