



ANALIZZATORE di

Sapevate che il vostro personal computer può trasformarsi in un valido analizzatore di spettro in banda audio? Installando sul pc il software “Visual Analyser” e collegando alla presa USB la scheda di interfaccia LX.1690 sarete in grado non solo di ricavare lo spettro di qualunque segnale elettrico, ma anche di eseguire interessanti misure in campo hi-fi. In questo articolo vi spieghiamo come si applica il teorema di Fourier e in cosa consiste l’analisi armonica di un segnale elettrico.

Nel numero precedente della rivista abbiamo presentato il software **Visual Analyser** realizzato dall’**Ing. Alfredo Accattatis** del **Dipartimento di Ingegneria Elettronica** dell’**Università Tor Vergata** di Roma e vi abbiamo spiegato come, abbinando la nostra **scheda interfaccia LX.1690** a questo software disponibile gratuitamente su Internet, sia possibile trasformare il vostro **personal computer** in un **oscilloscopio doppia traccia**, in grado di eseguire interessanti misure su segnali elettrici nell’ambito della **banda audio**.

In questo articolo vedrete che il medesimo software **Visual Analyser** abbinato alla **scheda di interfaccia LX.1690**, vi consente di realizzare sul vo-

stro **personal computer** uno strumento al quale la maggior parte degli hobbisti è costretta quasi sempre a **rinunciare** a causa del costo proibitivo, ma che risulta molto utile per chiunque si occupi di elettronica in bassa frequenza.

Stiamo parlando dell’**analizzatore di spettro**.

Nel corso dell’articolo cercheremo di spiegarvi non solo il funzionamento dell’analizzatore di spettro del **VA** ma anche di capire come si applica il **teorema di Fourier** e in cosa consiste l’**analisi armonica** di un segnale elettrico.

Utilizzando il **VA** avrete poi l’opportunità di verificare sperimentalmente i risultati ottenuti e vi accorgete che il software di questo strumento è co-

si ben congegnato e la presentazione grafica talmente accattivante da risultare di facile comprensione anche per chi si accosta da principiante al mondo dell'elettronica.

Come funziona l'ANALIZZATORE di SPETTRO

Chi non ha mai avuto l'occasione di utilizzare un **analizzatore di spettro** potrebbe essere indotto a nutrire nei suoi confronti una certa soggezione, giustificata dal fatto che questo strumento trova impiego quasi unicamente nei laboratori di elettronica di un certo livello, visto il suo costo decisamente poco abbordabile.

In realtà i comandi di un analizzatore di spettro non risultano molto più complicati di quelli di un altro strumento, molto conosciuto e apprezzato dagli hobbisti di elettronica, e cioè l'**oscilloscopio**. La differenza fondamentale tra questi due strumenti è che, mentre l'**oscilloscopio** permette di rappresentare sullo schermo l'ampiezza di un segnale e-

lettrico in funzione del **tempo**, l'**analizzatore di spettro** è in grado di visualizzare sullo schermo le ampiezze di **tutte** le componenti **armoniche** di un segnale in funzione della loro **frequenza**.

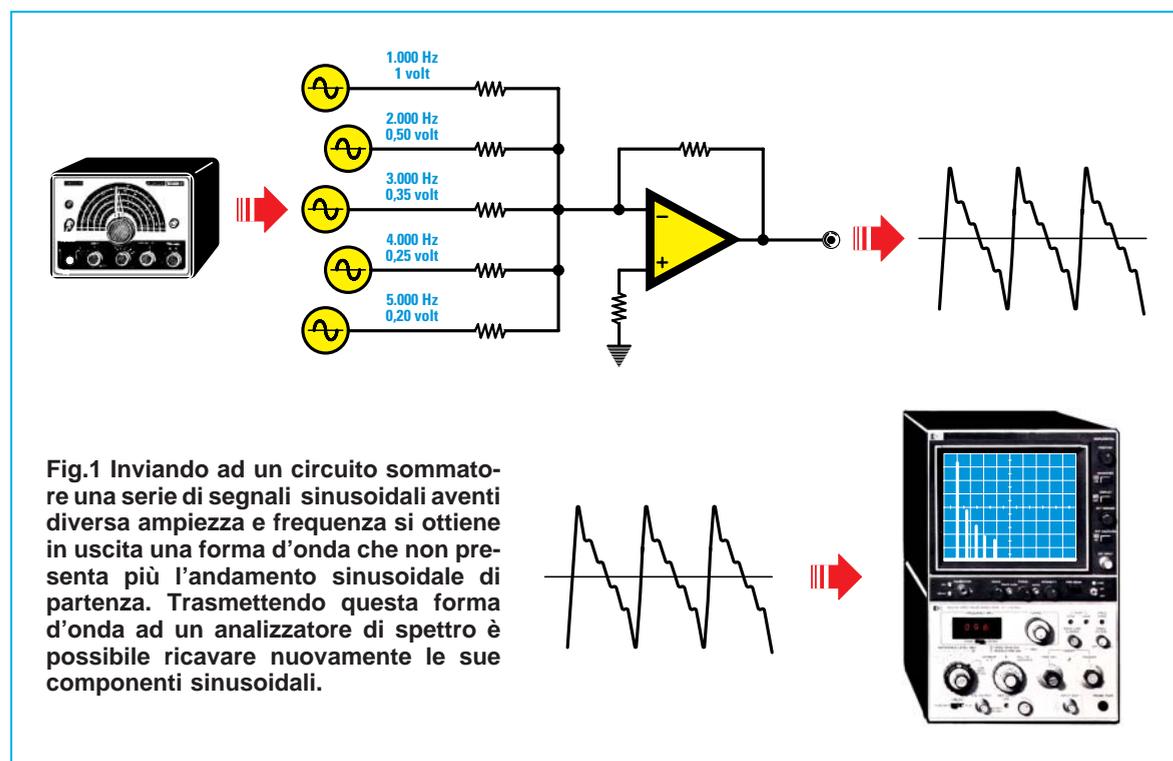
Questo è possibile perché esiste un importante enunciato, il **teorema di Fourier** (vedi scheda nelle pagine seguenti), il quale afferma che qualunque segnale elettrico può essere scomposto in una **serie** infinita di funzioni **sinusoidali**, di frequenza **multiplo** della frequenza **fondamentale** del segnale stesso, e di ampiezza progressivamente **decrescente**, che vengono chiamate **armoniche**.

L'insieme di tutte le armoniche costituisce lo **spettro** del segnale.

Per farvi comprendere meglio questa affermazione cercheremo di fare un esempio il più possibile intuitivo.

Supponiamo di avere a disposizione un certo numero di **generatori sinusoidali** in bassa frequenza (diciamo ad esempio 5), come indicato in fig.1.

SPETTRO su PC



Impostiamo su ciascun generatore i seguenti valori di **frequenza** e **ampiezza** del segnale:

generatore 1	1.000 Hz	1 Volt
generatore 2	2.000 Hz	0,5 Volt
generatore 3	3.000 Hz	0,35 Volt
generatore 4	4.000 Hz	0,25 Volt
generatore 5	5.000 Hz	0,2 Volt

Se ora immaginiamo di azionare simultaneamente tutti i generatori, facendo confluire le loro uscite in un **circuito sommatore** come quello rappresentato in fig.1, otterremo in uscita un segnale che non avrà più la forma **sinusoidale** dei generatori di partenza, ma che sarà molto simile ad un'onda a **dente di sega**.

L'approssimazione non è perfetta perché, anziché limitarci a **5 oscillatori**, cioè a **5 armoniche**, avremmo dovuto utilizzare, secondo il teorema di **Fourier**, un numero **infinito** di generatori di frequenza **crescente** ma di ampiezza via via **decrecente**.

Se ora prendiamo il segnale che si ottiene in uscita dal sommatore e lo inviamo ad un **analizzatore di spettro**, questo eseguirà il procedimento esattamente **inverso**, ricavando dal segnale tutte le sue componenti **armoniche**, che verranno visualizzate sullo schermo con i rispettivi valori di **ampiezza** e **frequenza**.

Per capire come funziona l'analizzatore di spettro possiamo paragonarlo grosso modo ad un **ricevitore** dotato di **sintonia** variabile in modo estremamente **rapido** e in un campo molto **ampio** di **frequenza**.

La differenza è che, mentre il ricevitore è collegato ad un **altoparlante**, l'analizzatore è collegato ad uno **schermo** luminoso.

Quando si dà il via all'analisi spettrale, lo strumento comincia ad eseguire una **scansione in frequenza**, modificando la sua sintonia a partire da **0** per valori via via sempre crescenti di frequenza. Per ogni valore di **frequenza** l'analizzatore segna sullo schermo un punto che rappresenta l'**ampiezza** del segnale a quella frequenza.

Così, nel caso del segnale a **dente di sega** dell'esempio precedente, quando la scansione in frequenza raggiunge il valore della **fondamentale** o **prima armonica** a **1 KHz**, lo strumento non fa al-

tro che riportare sullo schermo un picco di ampiezza pari ad **1 Volt** in corrispondenza di questo valore di frequenza.

Alla successiva frequenza di **2 KHz** corrispondente alla **seconda armonica**, l'analizzatore visualizza sullo schermo un picco pari a **0,5 Volt** di ampiezza.

In corrispondenza della frequenza di **3 KHz**, cioè della **terza armonica**, visualizzerà un picco corrispondente a **0,35 Volt**, e così via fino a rappresentare sullo schermo l'insieme di tutte le **armoniche** che compongono questo segnale, come rappresentato in fig.1.

Questo è quanto succede volendo semplificare al massimo le cose, perché nella realtà tutte queste operazioni vengono eseguite con estrema **rapidità** su una gamma di **frequenza** che può andare da **0** fino a qualche **GigaHz**, senza introdurre la **minima distorsione** e mantenendo su tutta la banda una **costanza di guadagno** pressoché assoluta, e ciò richiede prerogative costruttive di tutto rispetto, che spiegano il costo ragguardevole di questo strumento.

L'analizzatore di spettro del **Visual Analyser** lavora invece in modo completamente diverso. Innanzitutto la banda di lavoro è compresa tra **10 Hz** e **20 KHz**, limitata cioè al campo della **banda audio**.

L'analizzatore di spettro del **VA**, inoltre, non opera in modo **analogico** sul segnale elettrico, come l'analizzatore di spettro tradizionale, ma sui valori **digitali** che vengono ottenuti campionando il segnale ad una frequenza che si aggira intorno ai **40 KHz**, tramite una **scheda audio**.

Nel **VA** il calcolo delle armoniche viene poi eseguito in modo **matematico**, rielaborando tramite il **computer** tutti i valori digitali ottenuti con il campionamento secondo un **algoritmo** di calcolo denominato **FFT (Fast Fourier Transform)**, che consente di ricavare in un tempo brevissimo lo spettro di qualsiasi segnale elettrico.

E' evidente perciò che le prestazioni dell'analizzatore di spettro del **VA** dipendono sia dai vincoli imposti dalla **banda di lavoro** che dalle prestazioni della **scheda audio** utilizzata.

Ciononostante questo strumento può considerarsi di grande interesse innanzitutto a **scopo didattico**, negli **Istituti Tecnici** e in tutte le **Scuole** ad **indirizzo scientifico**, perchè permette di compren-

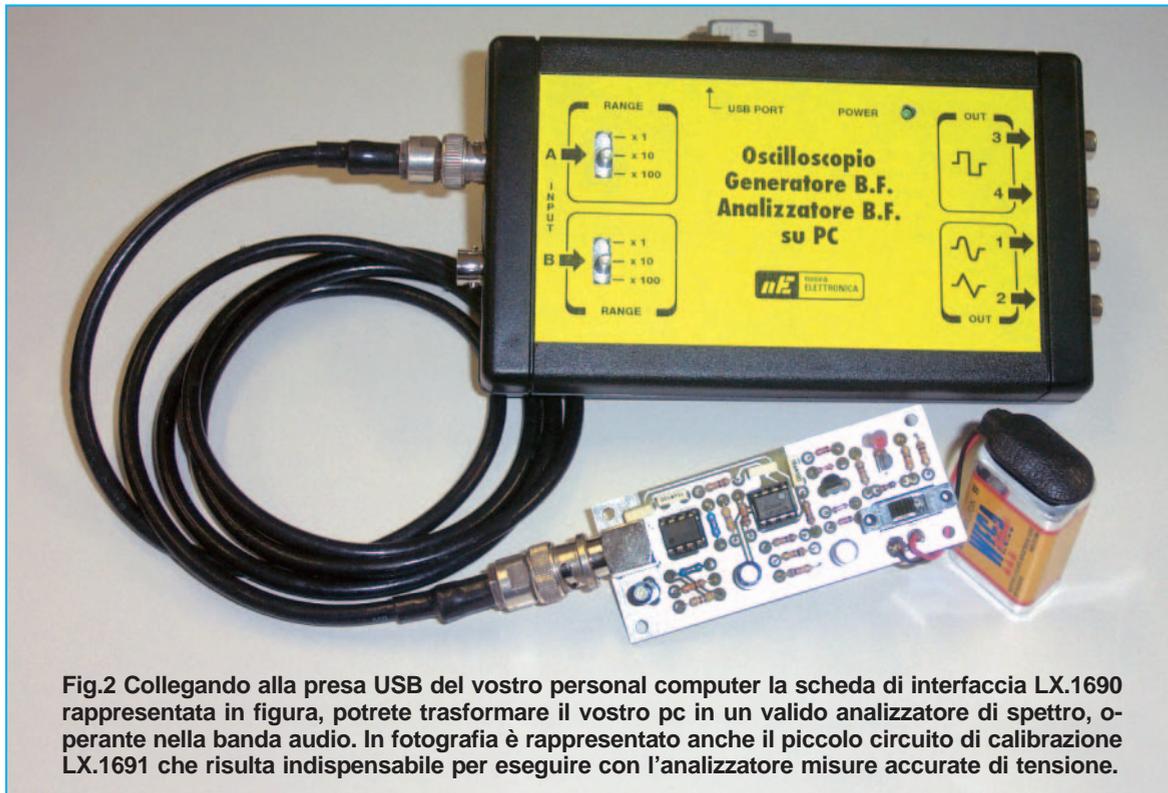


Fig.2 Collegando alla presa USB del vostro personal computer la scheda di interfaccia LX.1690 rappresentata in figura, potrete trasformare il vostro pc in un valido analizzatore di spettro, operante nella banda audio. In fotografia è rappresentato anche il piccolo circuito di calibrazione LX.1691 che risulta indispensabile per eseguire con l'analizzatore misure accurate di tensione.

dere con grande facilità un meccanismo solo apparentemente complicato, e cioè quello della **scomposizione** di un segnale elettrico nelle sue **componenti armoniche**, e poi nel suo impiego come **strumento di misura**, a vantaggio di tutti coloro che si interessano di elettronica all'interno della **banda audio**, che con il VA potranno divertirsi a realizzare l'**analisi spettrale** di segnali di qualsiasi provenienza.

Lo SCHERMO dell'ANALIZZATORE di SPETTRO del VA

Prima di passare alla descrizione dei vari comandi, occorre fare una breve premessa per descrivere come si presenta lo **schermo** dell'analizzatore di spettro del Visual Analyser.

Come potrete notare osservando la fig.6, lo schermo del VA presenta sull'asse **verticale (Y)** l'**ampiezza** delle componenti armoniche e sull'asse **orizzontale (X)** la loro **frequenza**.

Poiché generalmente l'ampiezza delle armoniche viene rappresentata in **dBpp (picco/picco)**, l'asse **Y** viene normalmente suddiviso indicando i valori in questa unità di misura e cioè in modo **logaritmico**, come appare in fig.6.

Come saprete, la rappresentazione logaritmica è molto comoda dal punto di vista grafico, perché of-

fre il vantaggio di visualizzare in uno spazio ristretto valori di ampiezza anche molto diversi tra loro.

Tuttavia, qualora sia necessario, tramite l'opzione **Fit screen** e deselezionando la casella **Log Y axis** è possibile utilizzare una rappresentazione **lineare** dell'ampiezza come indicato in fig.7 nella quale la scala dell'asse **Y** è in **Vpp (Volt picco/picco)**. In questo caso noterete che lo spettro si modifica notevolmente, perché, non potendo usufruire del vantaggio della rappresentazione logaritmica, **scompaiono** tutte le armoniche di **piccola** ampiezza.

Viceversa, sull'asse **X** la frequenza viene rappresentata normalmente in modo **lineare** (vedi fig.6).

Quando è necessario, tuttavia, è possibile usufruire anche qui della rappresentazione **logaritmica** (vedi fig.8), selezionando l'opzione **Fit screen** e spuntando la casella **Log X axis**.

L'asse **Y** inoltre può essere fatto scorrere verso l'**alto** oppure verso il **basso** trascinando lo spettro e **centrandolo** a piacimento sullo schermo. Per procedere in questo senso dovrete agire in questo modo:

- portate il cursore del mouse sulla **fascia azzurra** dell'asse **Y**;

La serie di Fourier e l'analisi armonica

Chi si interessa di elettronica anche solo a livello amatoriale prima o poi avrà senz'altro sentito parlare dell'**analisi armonica** e del **teorema di Fourier**. Questo teorema, che è stato ed è tuttora di grande aiuto per la comprensione di molti fenomeni della fisica, dagli studi sulla propagazione del **calore**, a quelli sull'**ottica** e sull'**acustica**, ha trovato un'altra straordinaria applicazione in elettronica e precisamente nella **scomposizione dei segnali periodici**.

Il **teorema di Fourier** dice che è possibile scomporre un segnale elettrico $f(t)$, di **qualsiasi forma** purchè **periodico** (con periodo T), nella somma di un **termine costante** A_0 , corrispondente al **valore medio** del segnale nel periodo T , e di una serie di infinite **sinusoidi**, di frequenza **multipla** della frequenza del segnale di partenza, che vengono chiamate **armoniche**.

La **sinusoide** che ha la stessa frequenza del segnale di partenza, corrisponde alla **prima armonica** e viene chiamata **fondamentale**.

Riportando in un grafico l'ampiezza delle varie sinusoidi derivanti dalla **scomposizione di Fourier** in funzione della loro frequenza, si ottiene lo **spettro** del segnale analizzato.

E' interessante notare che l'ampiezza delle armoniche **decresce** progressivamente, tendendo a **zero** al crescere della loro **frequenza**.

Per meglio comprendere quanto enunciato da Fourier prendiamo in esame l'**onda quadra** rappresentata in figura e supponiamo che questa abbia una frequenza di **1.000 Hz**. Applicando la **scomposizione di Fourier** a questo segnale, tramite una serie di complessi passaggi matematici si ottiene la somma di una **serie infinita** di addendi e cioè:

- un termine **A_0** che corrisponde al **valore medio** del segnale nel **periodo T** . In questo caso è di valore **nullo**, perché il valore medio dell'onda quadra presa in esame è uguale a **0**.

- una **sinusoide**, detta **fondamentale** di frequenza uguale a **1.000 Hz** e di ampiezza pari a circa **1,27 volte** quella dell'onda quadra di partenza.

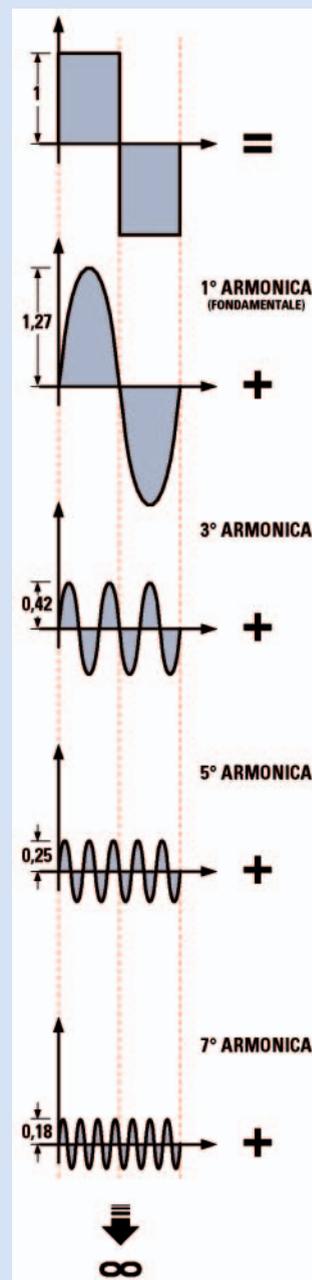
- una **sinusoide**, detta **terza armonica**, di frequenza pari a **3.000 Hz** e ampiezza pari a circa **0,42 volte** quella dell'onda quadra.

- una **sinusoide** detta **quinta armonica**, di frequenza uguale a **5.000 Hz** e ampiezza pari a circa **0,25 volte** quella dell'onda quadra.

- una **sinusoide** detta **settima armonica**, di frequenza uguale a **7.000 Hz** e ampiezza pari a circa **0,18 volte** quella dell'onda quadra.

E così via. Naturalmente questa serie continuerebbe all'infinito, ma poiché, come abbiamo detto, al **crescere** della **frequenza** delle armoniche **cala** la loro **ampiezza**, oltre un certo livello l'influenza delle armoniche superiori diviene via via sempre più **trascurabile**. Come avrete notato, nell'esempio della scomposizione di Fourier dell'onda quadra figurano solo le armoniche di ordine **dispari**. Senza entrare nei particolari diremo che nel caso di questa forma d'onda, le armoniche **pari** risultano **nulle**.

La grande intuizione di **Fourier** è quella di riuscire a scomporre **qualsunque** segnale **periodico** in una **somma** infinita di **funzioni sinusoidali**, consentendo in questo modo di semplificare enormemente la trattazione di funzioni anche molto complesse, riducendole a funzioni trigonometriche molto più semplici. Ciò consente di agevolare enormemente la comprensione del funzionamento dei circuiti elettronici, perché il comportamento di un circuito sottoposto ad un segnale elettrico di qualsiasi tipo può essere studiato scomponendo il segnale nelle sue **componenti sinusoidali** e poi analizzandone il comportamento in **regime sinusoidale** alle diverse frequenze.



Un matematico ... rivoluzionario

In un trattato intitolato "**Mémoires sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires**" dato alle stampe nel lontano 1824, viene per la prima volta ipotizzato ed affrontato in modo scientifico il problema della **temperatura globale** del nostro pianeta e del calcolo della quantità di calore **irraggiata** dalla Terra nello spazio circostante.

Per questo motivo il suo autore viene oggi considerato a giusta ragione il precursore degli studi geofisici sul **riscaldamento terrestre** e il padre dell'**effetto serra**, di cui per primo ha coniato il termine "**effet de serre**" e teorizzato l'esistenza.

Il personaggio in questione è **Jean Baptiste Fourier**, quello stesso **matematico** che è divenuto celebre soprattutto per i suoi studi sulla scomposizione delle **funzioni periodiche** e per la scoperta dell'**analisi armonica**, scoperta che si è rivelata fondamentale a distanza di quasi due secoli per la comprensione di tanti fenomeni in diversissime branche della scienza ed in particolare dell'**elettronica**.

Jean Baptiste Joseph Fourier, nasce ad Auxerre, una piccola cittadina della Borgogna, situata a circa 150 chilometri a sud est di Parigi, il **21 Marzo del 1768**. Il padre esercita la professione di sarto e dopo la morte della prima moglie, da cui ha avuto tre figli, si risposa, generando ancora dodici figli, dei quali Jean Baptiste sarà il nono.

All'età di nove anni Jean Baptiste perde la madre e, a distanza di neanche un anno, il padre. Il piccolo orfano viene affidato alle cure di una conoscente che lo indirizza presso la Reale Scuola Militare di Auxerre, gestita dai Benedettini.

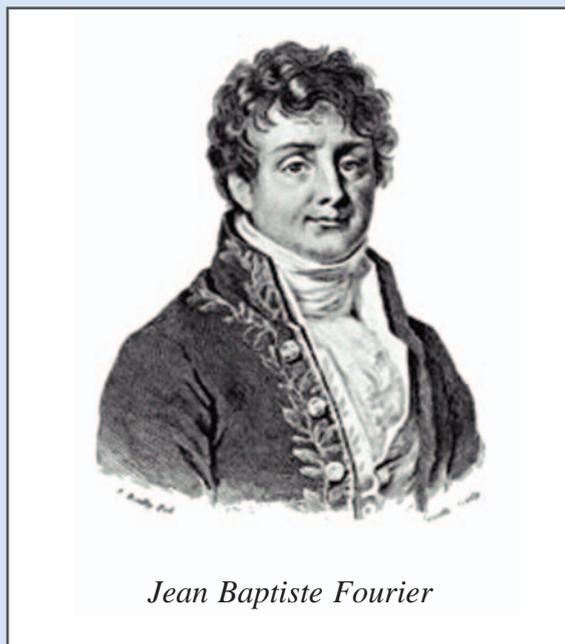
Il giovane studente si tuffa con entusiasmo negli studi e mostra fin da subito un notevole talento per la **letteratura** e per la **matematica**.

A soli 14 anni ha già completato lo studio dei 6 volumi del "Cours de mathématiques" di Bézout, e trascorre le notti leggendo a lume di candela, tanto da allarmare un guardiano che accorre temendo lo scoppio di un incendio.

All'età di 15 anni riceve un premio per i suoi studi sulla meccanica e nel 1787, all'età di 19 anni, entra nella Abbazia di Saint Benoit sur Loire, con l'idea di intraprendere la strada del sacerdozio.

Non abbandona tuttavia la sua grande passione per la matematica e continua a mantenere una corrispondenza su questo tema con il suo professore di Auxerre.

Nelle sue lettere traspare l'indecisione ad intraprendere la carriera ecclesiastica ed il giovanile rimpianto per non aver ancora combinato niente ad un'età, 21 anni, in cui Newton e Pascal erano già famosi.



Jean Baptiste Fourier

Nel 1789 invia un lavoro all'**Académie des Sciences**, che verrà giudicato da tre famosi matematici dell'epoca, **Monge**, **Legendre** e **Cousin**.

L'esperienza rivoluzionaria

Nello stesso anno scoppia la **Rivoluzione** e questo evento cambierà profondamente, insieme a quella di tanti altri, anche la sua vita.

Rinuncia infatti a prendere i voti e ottiene una cattedra di insegnante di matematica nella stessa scuola dove ha completato i suoi studi, che è stata trasformata nel frattempo in Collegio Nazionale.

Dedito al sociale, il giovane Jean Baptiste è sinceramente attratto dai nuovi ideali di uguaglianza e di libertà propugnati dal movimento rivoluzionario a cui aderisce con entusiasmo, entrando dapprima nella Société Populaire, di ispirazione giacobina e poi, nel 1793, nel locale Comitato Rivoluzionario di Auxerre.

Poco dopo la sua adesione si instaura il Terrore. Il giovane Jean Baptiste si oppone con forza agli eccessi che si vanno diffondendo, criticando i metodi che non condivide, e chiede più volte di essere dimesso dal comitato, ma senza risultato.

Nella sua qualità di funzionario pubblico, tuttavia, si adopera per quanto gli è possibile per difendere i suoi concittadini dai soprusi.

Durante un viaggio ad Orléans prende le difese di alcune persone che ritiene vittima di un'ingiustizia e que-

sto incidente diventerà foriero per lui di serie conseguenze. Ritornato ad Auxerre, infatti, riprende ad insegnare al Collegio ma nel luglio del 1794 viene arrestato.

Riacquista la libertà solo grazie alla ferma protesta dei tanti cittadini di Auxerre che hanno avuto modo di conoscerlo da vicino e di apprezzare la sua grande umanità.

Poi, a distanza di una settimana, viene nuovamente imprigionato e a questo punto la sua vita è davvero appesa ad un filo perché si profila all'orizzonte l'ombra della ghigliottina.

Per sua fortuna una delegazione della città natale si reca a Parigi e viene ricevuta personalmente da Saint Just, riuscendo ad ottenere nuovamente il suo rilascio.

A salvare Fourier da questa incresciosa situazione arriva il colpo di stato del **9 Termidoro** che porta sulla ghigliottina lo stesso Robespierre.

Il cambiamento politico ha come risultato una amnistia generale e la riabilitazione di gran parte dei detenuti, e da questo momento la sua vita prende finalmente un andamento più regolare.

L'École Polytechnique

Nell'ottobre 1794, la Convenzione aveva creato l'**École Normale**, un istituto che aveva come fine la formazione di una nuova classe di insegnanti, ai quali venivano impartite nozioni in tutte le discipline del sapere.

Fourier viene ammesso tra gli studenti e si trova ad avere come insegnanti matematici del calibro di **Lagrange**, **Laplace**, **Monge**, oppure scienziati come il chimico **Berthollet**.

La scuola, che si tiene nel vecchio Jardin de Plantes utilizzato un tempo per la coltivazione delle piante officinali, chiude però dopo pochi mesi a causa di insormontabili difficoltà organizzative.

Così Fourier si ritrova nuovamente a ripartire da zero.

Per di più, il nuovo corso politico ha portato ad atteggiamenti persecutori nei confronti di coloro che sono stati coinvolti nella Rivoluzione e alcune famiglie, sapendo che Fourier ha fatto parte a suo tempo del Comitato Rivoluzionario di Auxerre, si oppongono con forza alla sua carriera di insegnante.

Fourier viene così nuovamente arrestato nel giugno 1795 con l'accusa di crudeltà perpetrate negli anni 1793-94.

Scriva una appassionata autodifesa dal carcere, e, incredibilmente, viene ancora una volta liberato.

Allo stesso momento parecchi insegnanti, in seguito alla chiusura dell'École Normale, sono confluiti in quella che verrà chiamata **École Polytechnique** che, sotto la direzione di **Lazare Carnot** e di **Gaspard Monge** ha la funzione di formare ingegneri e tecnici in campo militare.

Fourier entra nella nuova scuola come assistente alla docenza ed inizia a tenere le sue lezioni di matematica nell'ambito del corso di Analisi matematica di **Lagrange**.

Collabora inoltre alla stesura delle dispense di Monge su problemi di matematica applicata in campo militare.

Nel 1797, allorché Lagrange si ritira dall'insegnamento, Fourier gli succede e diventa titolare della cattedra di analisi matematica e meccanica dell'École Polytechnique.

Incoraggiato da Lagrange e da Laplace, nel 1798 pubblica il suo primo lavoro scientifico sul "Journal de L'École Polytechnique" e successivamente un lavoro sulla regola dei segni sulle **radici polinomiali di grado n**.

Sembra che la sua vita possa finalmente scorrere sui binari di una tranquilla carriera accademica e di applicazione alla matematica, ma evidentemente il destino ha in serbo per lui qualcosa d'altro.

Sta ancora lavorando sulle **radici complesse delle equazioni** quando il generale **Bonaparte**, non ancora trentenne, lancia la sua **campagna d'Egitto**.

La campagna d'Egitto

Per dare lustro alla spedizione Bonaparte ha deciso di circondarsi di un gruppo di scienziati che avranno il compito di studiare il paese all'interno di un ambizioso programma di ricerche.



Della campagna fa parte anche **Gaspard Monge** che richiede subito la collaborazione di Fourier, presentandolo personalmente al generale; il matematico si trova così arruolato nella campagna, che si presenta all'inizio come un grande successo militare e scientifico.

Quando nell'**agosto 1798** la flotta francese viene distrutta dagli inglesi nel delta del Nilo, l'armata napoleonica si trova imprigionata all'interno del paese che ha conquistato.

E' in questo periodo che Fourier viene nominato segretario dell'**Istituto d'Egitto**, che si occupa di **matematica, fisica, arte e letteratura ed economia politica**.

All'rientro di Bonaparte in Francia, Fourier resta in Egitto, dove svolge con successo alcune delicate missioni diplomatiche che gli sono affidate.

All'Istituto d'Egitto si distingue in questo periodo per la sua febbrile attività e, oltre al disbrigo delle ordina-

rie questioni amministrative, si occupa di arte, di matematica, di monumenti e di egittologia, insieme al suo amico **Champollion**, il celebre decifratore della **stela di Rosetta**.

Dopo la resa del **1801** cura personalmente il rimpatrio delle truppe a lui affidate, poi ritorna a Parigi e alla *École Polytechnique*.

Gli studi sul calore e l'analisi armonica

Ha appena il tempo di tenere una serie di lezioni all'École, quando nel **febbraio 1802** Napoleone, che nel frattempo è divenuto Primo Console, lo nomina **prefetto di Grenoble**.

Così Fourier si trasferisce in questa città, dove darà inizio ad una serie di imponenti opere pubbliche fra le quali una **bonifica delle paludi** e la **strada** che da **Grenoble**, attraverso Briançon conduce a **Torino**.

Nonostante l'intensa attività amministrativa però Fourier non abbandona i suoi lavori di matematica.

È di questo periodo infatti il suo interesse per un fenomeno che lo affascina ormai da tempo: lo studio della **propagazione del calore**.

Sembra anzi che questo problema lo riguardi piuttosto da vicino, visto che, abituato al clima caldo dell'Egitto, non riesce a sopportare il freddo alpino di Grenoble.

Comincia così a studiare come avviene la diffusione del calore lungo una **lamina in metallo**, e come si calcola la **distribuzione** della temperatura all'interno di un corpo essendo nota la sua **temperatura superficiale**.

Allo stesso tempo si ingegna per calcolare la temperatura della **superficie terrestre** e il calore **irraggiato** dal pianeta nello **spazio**.

È in questo ambito che trova l'**equazione** della **propagazione del calore** nei corpi solidi e poi inventa, per risolverla, quella che oggi chiamiamo l'**analisi di Fourier**.

Il metodo consiste nello scomporre una **funzione** molto difficile da descrivere matematicamente, in una **somma infinita di funzioni seno e coseno**.

Questo gli consente di descrivere l'andamento nel tempo di **qualsiasi funzione**, ritrovandone ad ogni istante il valore come risultante della **somma delle infinite funzioni sinusoidali**.

Ma questa concezione così audace e profondamente originale gli viene aspramente contestata dai contemporanei come **Poisson** e dai suoi stessi insegnanti **Laplace** e **Lagrange**. Quest'ultimo non manca di attaccarlo pubblicamente, dichiarando che la sua è una falsa teoria.

Proprio a seguito di queste tenaci opposizioni dei suoi colleghi, il suo lavoro sul calore verrà premiato nel **1811** con la riserva che le conclusioni alle quali è giunto risultano interessanti ma non sono state dimostrate con sufficiente rigore.

Intanto gli avvenimenti politici incalzano: nel **febbraio 1815** Napoleone fugge dall'Elba e marcia con i suoi veterani su Parigi, e la prima tappa del suo percorso passa proprio per Grenoble.

Fourier, che è prefetto della città è tenuto ad organizzare la resistenza all'ex imperatore e cerca di dissuaderlo in ogni modo dal dirigersi su Grenoble. Non riuscendo a convincerlo è costretto a lasciare la città all'arrivo delle truppe bonapartiste.

Napoleone, che si attendeva un'accoglienza trionfale rimane deluso dalla fuga del suo antico collaboratore, ma poi in un successivo incontro chiarificatore ne apprezza la coerenza e lo gratifica di una pensione.

Con la battaglia di Waterloo, il **18 Giugno 1815** tramonta l'astro napoleonico ed inizia la **Restaurazione**.

Fourier che si era dimesso dalla carica di prefetto per contrasti con il ministro **Lazzaro Carnot**, si ritrova improvvisamente sul lastrico.

Cerca di farsi eleggere alla Accademia delle Scienze, ma viene ostacolato dalla Corte per i suoi trascorsi napoleonici.

Finalmente, grazie ad alcuni amici, trova un posto come direttore all'Ufficio Statistico della Senna, che gli permette di sopravvivere.

Poi nel 1822 diventa segretario dell'Accademia delle Scienze, incarico che manterrà fino alla morte, e in questa posizione aiuterà molti giovani matematici come **Dirichlet**, **Sturm** e **Ostrogradsky**.

L'ultimo periodo della sua vita è amareggiato dalle continue polemiche sulla priorità delle sue scoperte, priorità che gli viene contestata sia da Poisson che da Biot, i quali, approfittando del fatto che Fourier non si è mai preoccupato di pubblicare puntualmente le sue intuizioni, avanzano a posteriori pretese di paternità sui suoi lavori.

Trascorre gli ultimi anni della sua vita tormentato dai dolori reumatici e probabilmente da attacchi di malaria contratta durante la campagna d'Egitto e muore il **16 maggio 1830**, colpito da un attacco di angina pectoris.

Oggi, a ricordo di quest'uomo dal talento eclettico, oltre al suo straordinario lavoro scientifico rimane il cratere con il suo nome che gli astronomi hanno voluto dedicargli sulla Luna.

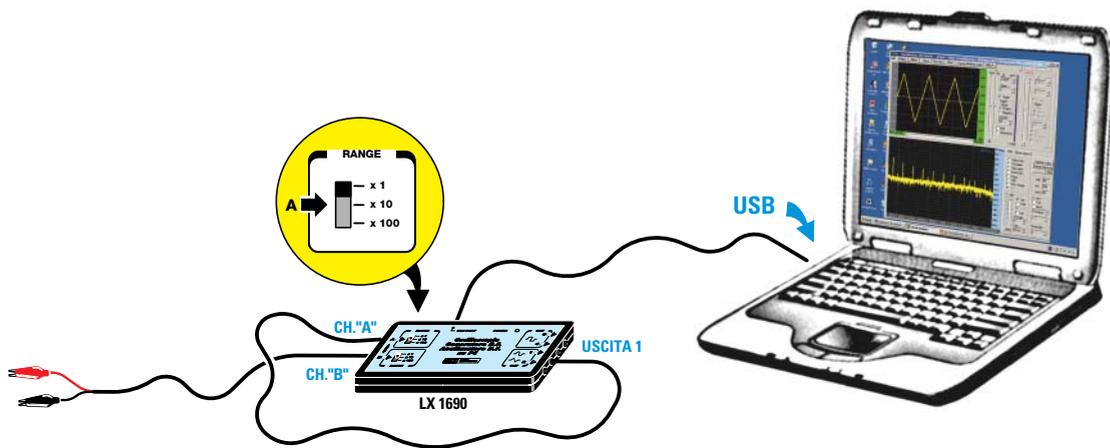


Fig.3 Per ricavare lo spettro di un'onda triangolare dovreste collegare la scheda LX.1690 alla presa USB del computer, come indicato in figura. Il segnale va prelevato collegando l'uscita 1 all'ingresso CH "A" della scheda, mentre l'attenuatore di ingresso andrà posizionato sulla portata x1.

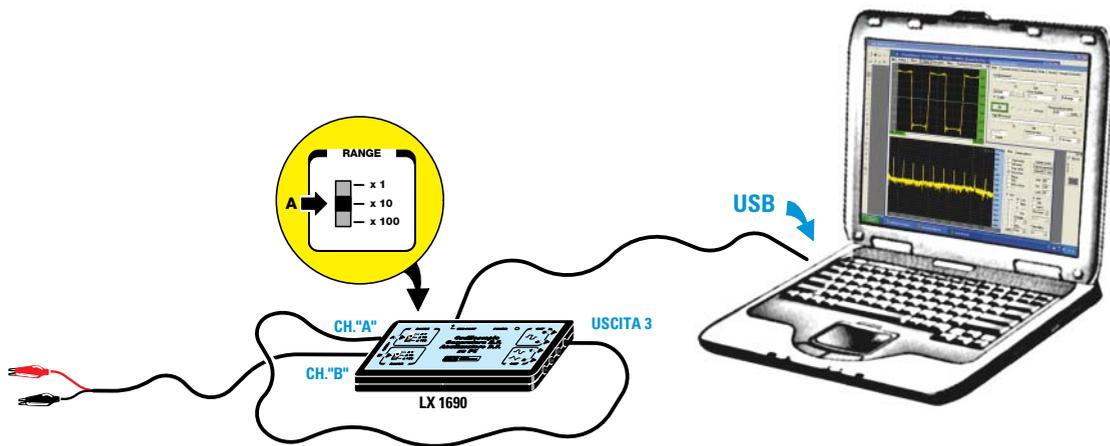


Fig.4 Per analizzare un segnale ad onda quadra occorre collegare l'uscita 3 della scheda LX.1690, sulla quale è presente questa forma d'onda, all'ingresso corrispondente al canale CH "A". Non dimenticate di predisporre l'attenuatore di ingresso sulla posizione x10.

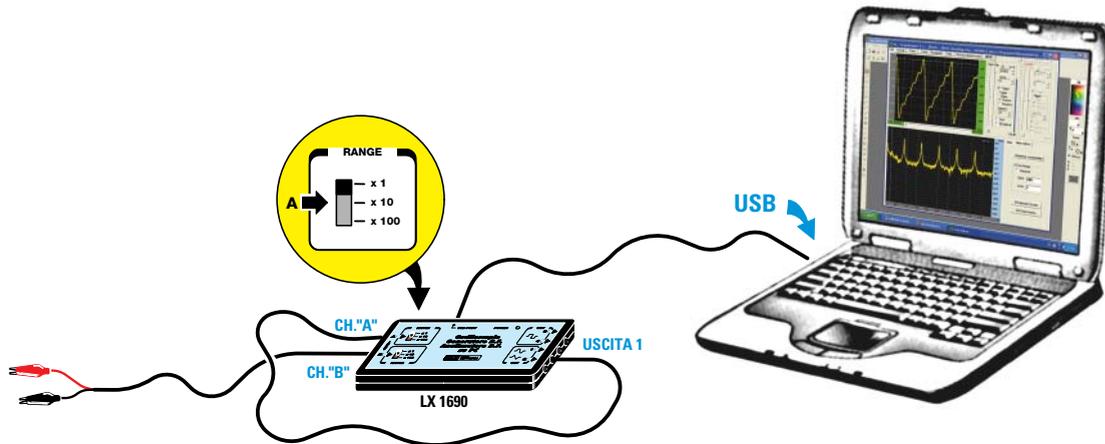


Fig.5 Se desiderate osservare lo spettro di un'onda a dente di sega dovrete provvedere a collegare l'uscita 1 della scheda di interfaccia LX.1690 all'ingresso corrispondente al canale CH "A". Il commutatore relativo all'attenuatore d'ingresso andrà posizionato sulla portata x1.

- tenendo premuto il tasto **sinistro** del mouse, fate scorrere il simbolo della piccola mano verso l'**alto** oppure verso il **basso**. In questo modo vedrete scorrere sia la scala dei **valori** dell'asse **Y** che lo **spettro** visualizzato sullo schermo, e potrete così posizionarlo nel modo più opportuno.

Fin quando non sarete divenuti più esperti nell'uso dello strumento, potrebbe accadervi di **non** vedere lo spettro **comparire** sullo schermo, pur avendo attivato correttamente il tasto **On** posto sulla barra dei comandi della finestra principale.

Questo potrebbe essere dovuto semplicemente al fatto che lo spettro risulta posizionato **fuori** dallo schermo.

Per riportarlo all'interno dello schermo vi consigliamo di procedere come segue:

- spostate verso l'alto il **cursore** verticale contraddistinto dalla scritta **Y axis** posto immediatamente a destra dello schermo dello spettro (vedi fig.9);

- se il grafico ancora non compare, portate il cursore del mouse sulla fascia **azzurra** dell'asse **Y** e dopo avere cliccato con il tasto **sinistro**, trascinate l'asse **Y** facendolo scorrere verso l'**alto** oppure verso il **basso** fin quando non vedrete apparire lo spettro sullo schermo.

Come spiegheremo più avanti nel paragrafo dedicato ai comandi e nel corso delle varie misure, è possibile anche **amplificare** lo spettro sia in senso **verticale** che in senso **orizzontale**.

Sullo schermo del **VA** compaiono inoltre alcune indicazioni che risultano utili per corredare il grafico dello spettro.

Precisamente, spostando il cursore del mouse in corrispondenza di una armonica, e centrandolo sul picco desiderato, è possibile ricavare il valore della **frequenza** in **Hz** e della **ampiezza** in **dB** del picco in oggetto, come indicato in fig.10.

Se inoltre sono selezionate le opzioni **THD** e **THD + Noise**, sullo schermo sono visualizzati i valori **percentuali** di **distorsione** e **distorsione + rumore** (vedi fig.11).

INSTALLAZIONE del SOFTWARE VA

Per quanto riguarda l'**installazione** del software **VA** vi rimandiamo alla descrizione già riportata sulla rivista **N.232** dello scorso **Settembre**, nella quale abbiamo spiegato che il software può essere scaricato liberamente dal **sito Internet**:

www.sillanumsoft.org

Coloro che non disponessero del collegamento ad Internet, potranno richiederci invece il software installato direttamente su **CD Rom**.

Prima di installare tale software sul vostro computer, dovrete accertarvi che questo soddisfi ai **requisiti** indicati nella tabella.

REQUISITI minimi del COMPUTER

- **Sistema operativo: Windows XP Professionale, XP Home Edition, VISTA 32**
- **Tipo: PENTIUM**
- **Ram: 32 Mb**
- **Spazio disponibile su hard disk: almeno 20 Mb**
- **Lettore CD-Rom 8x oppure lettore DVD 2x**
- **Scheda video grafica 800 x 600 16 bit**
- **presa USB**

Una volta installato, il software potrà essere periodicamente **aggiornato** scaricando le nuove versioni che verranno rese disponibili dal suo Autore sul sito Internet già citato.

Per rendere più facile l'aggiornamento sul **VA** esiste una funzione che trovate nella finestra **Main**, vedi fig.12, denominata **Check new Version**.

Cliccando su questo tasto e seguendo le indicazioni che compaiono, potrete attivare il collegamento ad **Internet** ed effettuare automaticamente gli aggiornamenti disponibili per la vostra versione di software.

La SCHEDA di INTERFACCIA LX.1690

Il kit che vi consente di trasformare il **personal computer** nell'**analizzatore di spettro** si compone di un **pacchetto software** denominato "**Visual Analyser**" che può essere liberamente scaricato da Internet e della nostra **scheda di interfaccia LX.1690**, che andrà collegata alla **porta USB** del computer.

La scheda di interfaccia si compone a sua volta del circuito stampato **LX.1690** che viene fornito in kit di montaggio, sul quale è innestata la piccola scheda **KM1667** sulla quale è presente il **convertitore USB PCM 2902**, che viene invece fornita già montata in **SMD**.

Il **convertitore USB a 16 bit** lavora ad una frequenza di **44.100 Hz** e supporta il protocollo **USB 1.1**.

Una volta che la scheda viene collegata alla **presa USB** del vostro personal computer si sostituisce completamente alla **scheda audio** presente sul **PC**.

E' dotata di **2 canali in ingresso (Ch A e Ch B)** entrambi protetti da un **attenuatore** in ingresso, che consente di eseguire misure di **tensione AC** in **3 diverse portate**:

- pos. x1** fino a **1,7 Volt**
- pos. x10** fino a **17 Volt**
- pos. x100** fino a **170 Volt**

L'**impedenza** tipica in ingresso risulta superiore a **100 KOhm**.

La scheda prevede **4 canali in uscita**.

Sulla coppia di **uscite 1 e 2**, relative agli ingressi **Ch A e Ch B**, è possibile prelevare la forma d'**onda** generata all'**interno** del **VA**, **amplificata** fino ad una tensione massima di **14 Volt picco/picco**.

Sulla coppia di **uscite 3 e 4**, anch'esse relative agli ingressi **Ch A e Ch B**, è disponibile una tensione ad **onda quadra** di **5 Volt** di ampiezza.

L'alimentazione della scheda è a **+5 Volt** prelevati direttamente dalla **porta USB**.

Tutte le informazioni relative allo **schema elettrico** e al **montaggio** della scheda di **interfaccia LX.1690** sono riportate per esteso nella rivista **N.232 di Settembre**.

Catturiamo lo SPETTRO di un SEGNALE

La prima curiosità che può sorgere in chi si trova a disposizione un analizzatore di spettro potrebbe essere quella di analizzare le forme d'onda più comuni, come l'onda **quadra**, l'onda **triangolare**, l'onda a **dente di sega**, ecc., e di osservare come si modifica il loro **spettro** al variare della forma d'onda.

Per catturare lo spettro di un segnale con il Visual Analyser non è assolutamente necessario essere degli utilizzatori **esperti**.

Come vedrete, data la grande semplicità d'uso di questo software, è sufficiente che seguiate con attenzione le nostre indicazioni ed in pochissimo tempo sarete in grado di utilizzare perfettamente questo strumento, divertendovi a curiosare tra le sue moltissime funzioni, fino a padroneggiarne completamente l'uso.

Figura 6

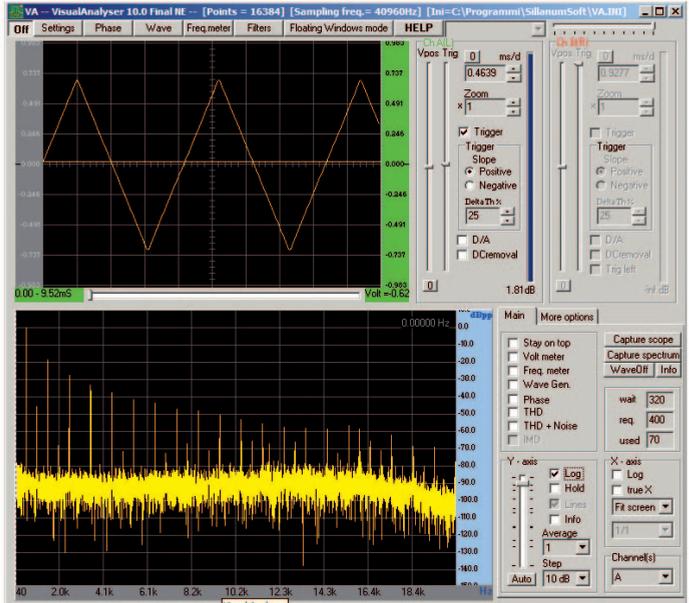


Figura 7

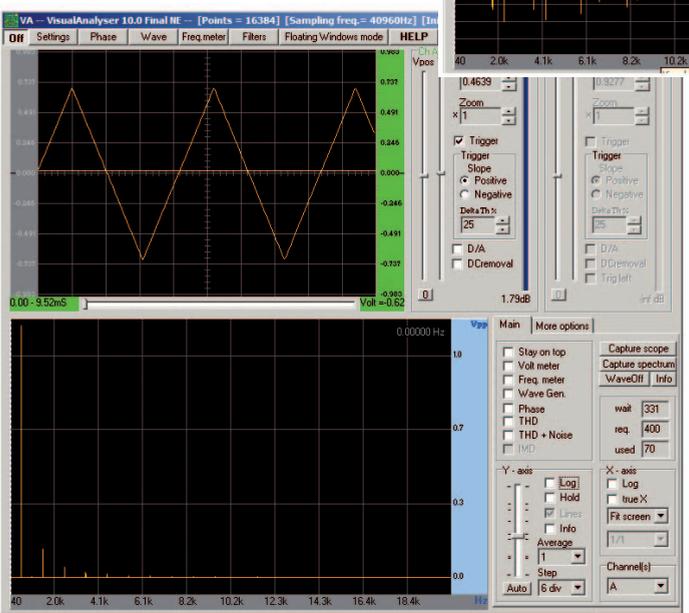
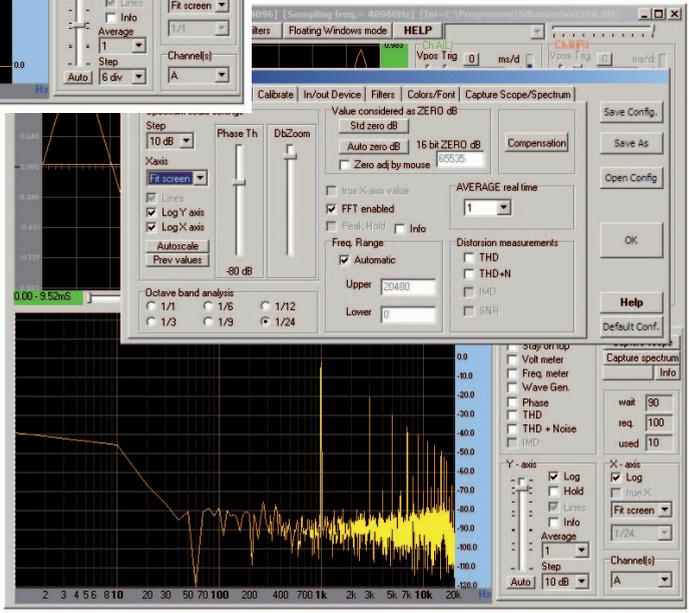


Figura 8



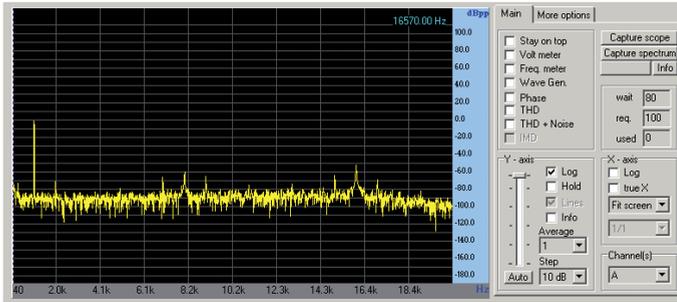


Figura 9

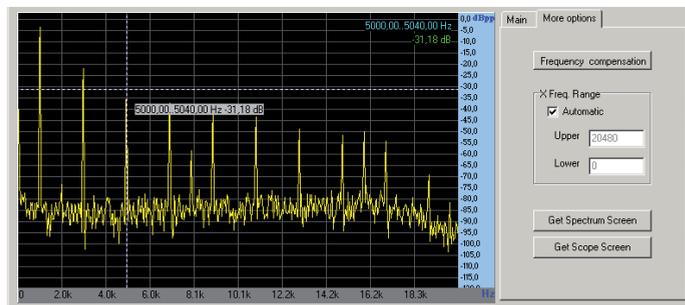


Figura 10

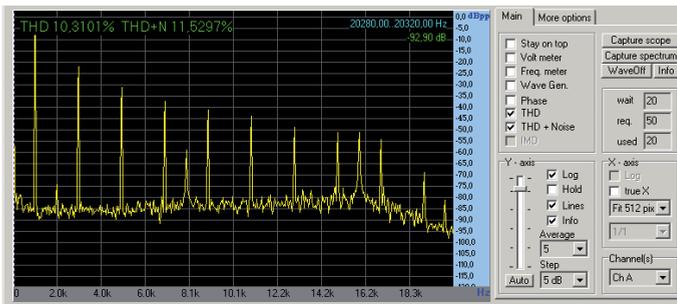


Figura 11

Figura 12

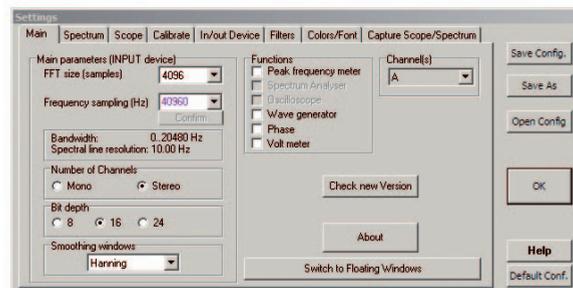


Figura 13

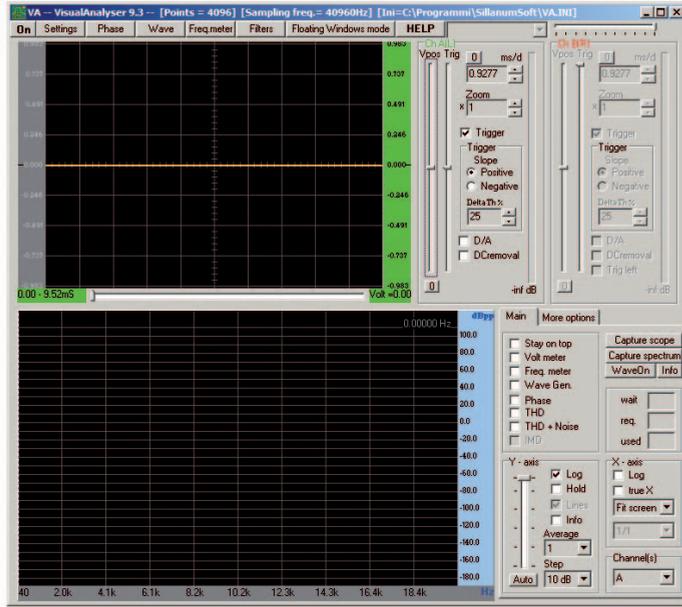


Figura 14



Figura 15

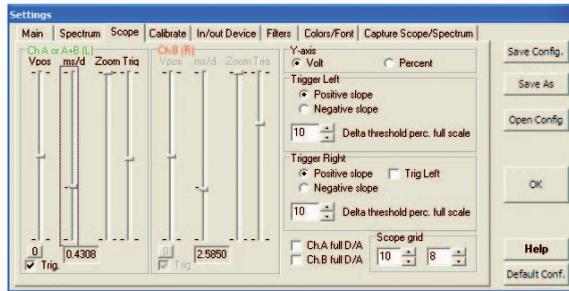
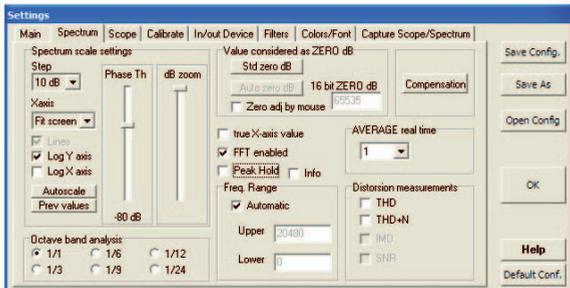


Figura 16



Per iniziare potrete imparare ad usare i comandi dell'analizzatore ricavando lo spettro delle diverse forme d'onda prodotte dalla scheda di **interfaccia LX.1690**, collegata al **generatore BF** interno al **VA**.

La prima operazione da eseguire sarà perciò quella di collegare la **presa USB** presente sulla scheda di interfaccia **LX.1690** alla **presa USB** presente sul vostro **personal computer**, mediante un comune **cavo USB** per stampante.

Dopo avere lanciato il programma cliccando due volte con il tasto sinistro del mouse sull'**icona** del **VA** presente sul desktop, vedrete apparire la finestra principale di fig.13.

A questo punto premete il tasto **Settings**.

Nella finestra **Main** che si apre selezionate il tasto **In/Out device**.

Se sulle due finestre **Input device** e **Output device** non compare la scritta "**USB Audio CODEC**" significa che il pc non ha effettuato il **riconoscimento** della scheda interfaccia **LX.1690**. Premete quindi il tasto **Detect** e sinceratevi che nelle due finestre compaia la scritta indicata sopra.

Ora premete il tasto **Main** e impostate i seguenti parametri come visibile in fig.14:

FFT size: 4096
Frequency sampling: 44.100
Number of channels: Mono
Bit depth: 16
Smoothing windows: Hanning
Channels: ChA

Nota: se cliccate sulla finestra **FFT Size** verrà visualizzato il **numero di FFT** da utilizzare per l'elaborazione dello spettro.

Il valore consigliato per questo parametro è **4096**. Valori più elevati consentono di ottenere una analisi spettrale più **precisa** ma richiedono un **tempo maggiore** per l'elaborazione dello spettro.

La **Frequency sampling** è la frequenza con la quale viene eseguito dalla scheda audio il **campionamento** del **segnale**, e nel caso della scheda di interfaccia **LX.1690** corrisponde a **44.100 Hz**.

La **Bit Depth** è il **numero di bit** utilizzati nella conversione. Poiché il nostro convertitore utilizza **16 Bit**, questo parametro va settato su questo valore.

Dopo avere impostato i valori nella finestra **Main**, cliccate sulla opzione **Scope** e vedrete aprirsi la finestra di fig.15.

In questa finestra dovrete regolare i **4 cursori** lineari relativi al **canale A** come segue:

Vpos (vertical position): va regolato a **metà** corsa;
ms/d (millisecondi/divisione): va regolato in modo da ottenere un valore prossimo a circa **0,5 millisecondi/divisione**;

zoom: va regolato tutto in **alto**;

Trig: va regolato circa a **metà** corsa.

Poiché utilizzeremo per la nostra misura unicamente il **canale A**, occorre regolare solo i **4 cursori** posti a **sinistra**.

Marcate quindi le caselle relative alle opzioni **Trigger**, **Volt** e **Positive Slope** come indicato nella fig.15, attivando le rispettive funzioni.

Cliccate ora sul tasto **Spectrum** e verificate che siano inseriti i seguenti parametri (vedi fig.16):

Step: 10 dB
X axis: Fit screen
Log Y axis: Attivata
Log X axis: Disattivata
Octave band analysis: 1/1
Cursore zoom: tutto in alto
FFT enabled: Attivata
Average: 1
Freq.Range: Automatic

Premete il tasto **Filters** e controllate che sia sul canale **A** che sul canale **B** sia selezionata l'opzione **No filters**.

Ora ritornate alla finestra principale del **VA** e selezionate sulla barra in alto l'opzione **Wave**.

Selezionate la finestra **General setup** con i seguenti parametri, come indicato in fig.17:

Buffer (samples): 4096
Buffer (s): 4
Bit depth: 16
Frequency sampling: 44100

A questo punto avete terminato la **configurazione** dei parametri dell'analizzatore.

Prima di eseguire le misure vere e proprie dovrete ricordarvi di svolgere la procedura di **calibrazione**, che abbiamo indicato nella rivista **N.232** a pag.102. La calibrazione, che va effettuata collegando all'in-

Figura 17

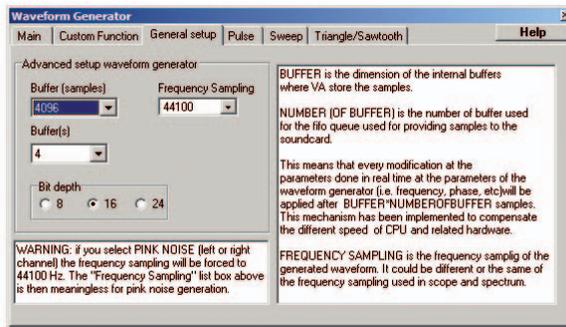


Figura 18

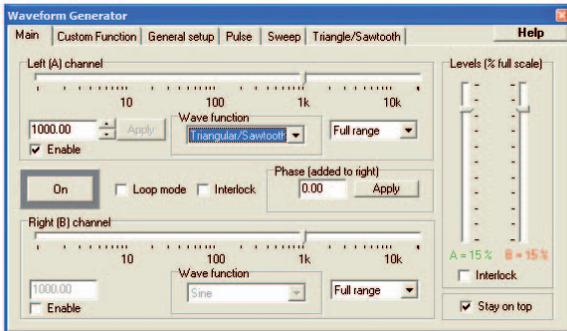


Figura 19

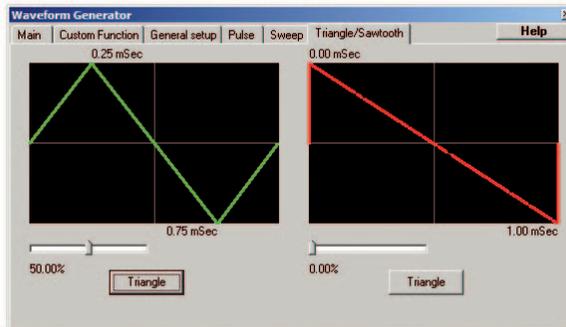
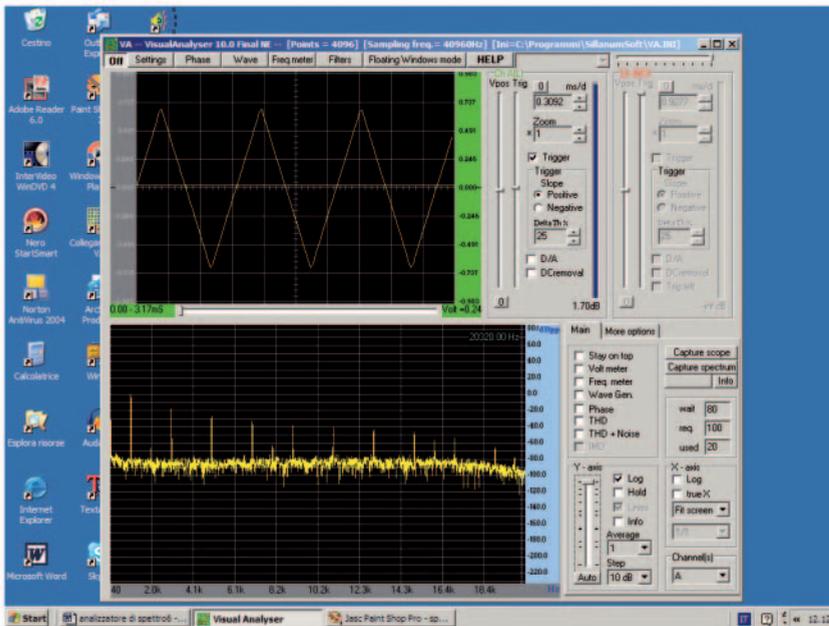


Figura 20



gresso della scheda di interfaccia l'apposito **circuito di calibrazione LX.1691**, è indispensabile se si desidera ottenere una lettura corretta di tutti i valori di ampiezza in **Volt** misurati con l'**oscilloscopio**, con il **voltmetro** e con l'**analizzatore**.

Nota: una volta eseguita la calibrazione, i relativi parametri possono essere salvati all'interno di un file **.cal** che può essere **memorizzato** sull'hard disk tramite il tasto **Save as** e richiamato successivamente tramite il tasto **Load**. Quindi, per rendere attiva la calibrazione ricordatevi di selezionare sempre l'opzione **Apply**.

Avendo eseguito la calibrazione siete pronti per procedere alle vostre **misure**, seguendo le indicazioni fornite nei prossimi paragrafi.

Lo SPETTRO dell'ONDA TRIANGOLARE

Supponiamo di voler iniziare ricavando lo spettro di un'onda **triangolare**.

Questa forma d'onda è disponibile sulle due **uscite BF 1 e 2** della scheda **LX.1690**.

Provvedete quindi a collegare la **presa BF** relativa all'uscita **N.1** della scheda **LX.1690** al connettore **BNC** di ingresso relativo al **canale A** della stessa scheda, come indicato in fig.3.

Posizionate l'attenuatore di ingresso sulla posizione **x1**.

Fatto questo dovrete procedere come segue:

Dalla finestra principale del **VA** selezionate sulla barra in alto l'opzione **Wave**.

Quindi premete il tasto **Main**, e nella finestra che si apre successivamente selezionate i parametri del **generatore BF** relativi al canale **A (left)** come indicato in fig.18.

Inserite i seguenti parametri:

Frequenza: 1.000 Hz
Wave function: Triangular/sawtooth
Enable: attivato

Nota: ogni volta che modificate nella finestra il valore della frequenza, ricordatevi di premere il tasto **Apply** per rendere la modifica effettiva.

Nella parte alta della finestra selezionate l'opzione **Triangle/Sawtooth** e nella finestra che appare successivamente (vedi fig.19), premete sul tasto **Triangle** in modo da ottenere un'onda **triangolare** perfettamente **simmetrica**.

Ora premete il tasto **On** del **generatore BF**, che si porterà sulla dicitura **Off** e inizierà a **lampeggiare**, indicando che il generatore è in funzione.

Tenendo aperta la finestra del generatore, spostatela leggermente in basso sullo schermo in modo da rendere visibile la barra delle opzioni della finestra principale sottostante e lo schermo dell'oscilloscopio.

Premete il tasto **On** presente in alto a sinistra sulla barra degli strumenti, azionando in questo modo la lettura dell'**oscilloscopio** e dell'**analizzatore di spettro**.

Regolate quindi il cursore del **Level** del generatore relativo al **canale A** in modo da ottenere un'ampiezza del segnale sullo schermo di circa **6** quadretti.

Non appena sullo schermo dell'oscilloscopio viene visualizzata la forma d'onda da analizzare, sullo schermo sottostante appare il suo **spettro**, come visibile in fig.20.

Ora che avete a disposizione lo spettro della vostra onda triangolare potrete divertirvi a fare alcune considerazioni.

La prima cosa che si nota osservando lo schermo prodotto dall'analizzatore è che l'ampiezza delle armoniche **decresce** all'aumentare della loro **frequenza**, come previsto dal teorema di Fourier.

Se ora riportiamo in una tabella i valori di ampiezza e frequenza delle armoniche presenti nello spettro otterremo la seguente configurazione.

Fondamentale	1.000 Hz	0 dB
3 armonica	3.000 Hz	-24 dB
5 armonica	5.000 Hz	-28 dB
7 armonica	7.000 Hz	-34 dB
9 armonica	9.000 Hz	-39 dB
11 armonica	11.000 Hz	-41 dB
13 armonica	13.000 Hz	-44 dB
15 armonica	15.000 Hz	-48 dB
17 armonica	17.000 Hz	-62 dB

Ciò che si nota immediatamente è che nello spettro dell'**onda triangolare** sono presenti unicamente le armoniche di ordine **dispari** e questo è per-

Figura 21

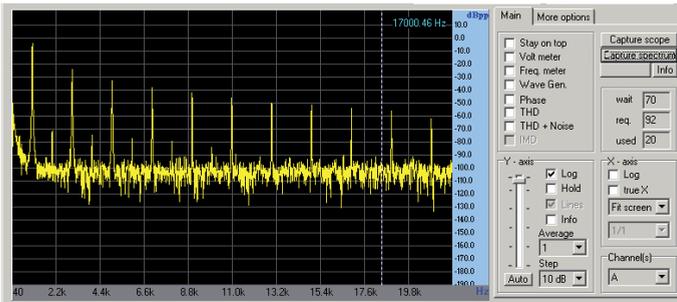
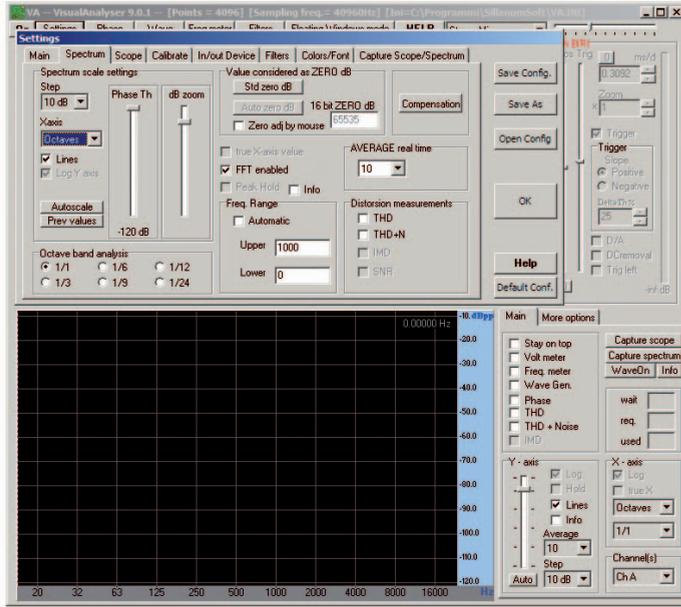
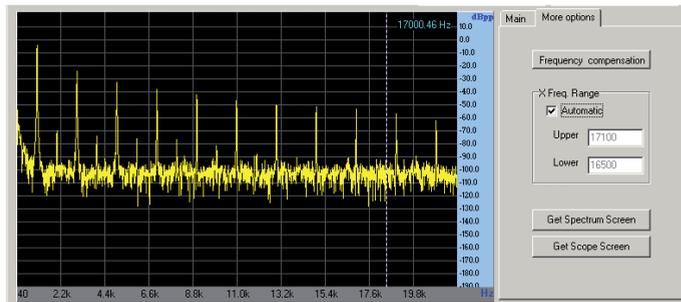


Figura 22

Figura 23



fettamente in accordo con la teoria, come potrete notare consultando la tabella delle serie di Fourier riprodotta a pagina 95.

Se osservate con attenzione lo spettro, noterete tuttavia la presenza di un picco anche a **2.000 Hz**, a **8.000 Hz** e a **16.000 Hz**, corrispondenti rispettivamente alla **seconda**, alla **ottava** e alla **sedicesima armonica**.

Queste armoniche **pari**, di ampiezza molto ridotta (circa **-70 dB**), non dovrebbero essere presenti nello spettro e sono l'indicazione di segnali spurii che non appartengono al segnale che stiamo analizzando.

Sul **VA** sono presenti alcune funzioni che consentono di eseguire misure accurate di ampiezza e di frequenza delle armoniche e nel paragrafo che segue vi spiegheremo come eseguirle.

In generale, per utilizzare i vari **comandi** dell'analizzatore di spettro avete due possibilità:

- la prima è quella di attivare la finestra **Settings** dalla finestra principale e successivamente la finestra **Spectrum**, vedi fig.21.

In questa finestra trovate **tutti** i comandi dell'analizzatore di spettro;

- l'altra possibilità è quella di utilizzare la finestra **Main** presente a lato dello spettro, vedi fig.22, nella quale sono riportati i comandi di uso **più frequente**.

A lato della finestra **Main** di fig.22 è presente inoltre l'opzione "**More options**" cliccando sulla quale si apre la finestra di fig.23, che contiene ulteriori comandi di uso frequente.

D'ora in avanti utilizzeremo i comandi posti a **lato** dello **spettro** e contenuti nella finestra **Main**.

ELABORARE lo SPETTRO

Una volta che avete ricavato lo spettro di un segnale, potrete avere la necessità di **ingrandire** il grafico in altezza oppure in larghezza, di selezionare uno specifico **range** di **frequenza** oppure di effettuare misure accurate di **ampiezza** e **frequenza** delle armoniche che lo compongono.

Nel precedente paragrafo "**Lo schermo dell'analizzatore di spettro**" abbiamo spiegato come far **scorrere** lo schermo in senso verticale verso l'alto o verso il basso, e come scegliere le **scale** linea-

re e logaritmica dei due assi **X** e **Y**.

Spostando il cursore siglato **Y axis** verso il basso è possibile inoltre **ingrandire** lo spettro in senso **verticale**, dilatando la scala in modo da apprezzare al meglio i minimi particolari come indicato in fig.24.

Nota: *facendo scorrere il cursore potrebbe accadere che lo spettro finisca **fuori** dallo schermo. In questo caso sarà sufficiente portare il cursore del mouse sulla **fascia azzurra** dell'asse **Y**. Tenendo premuto il tasto **sinistro** del mouse, fate scorrere il simbolo della piccola mano verso l'**alto** oppure verso il **basso**. In questo modo vedrete scorrere sia la scala dei **valori** dell'asse **Y** che lo **spettro** visualizzato sullo schermo, e potrete così riposizionarlo nel modo più opportuno.*

Selezionate ora l'opzione **More options**, come indicato in fig.23.

Se nella finestra che si apre è selezionata la casella **Automatic**, il **VA** presenterà di default lo spettro misurato all'interno della **massima** banda di lavoro, e cioè da **10 Hz** a **20 KHz**.

Se invece deselezionate la casella **Automatic**, potrete scegliere direttamente il **range** di **frequenza** nel quale intendete lavorare.

In fig.25, ad esempio, è possibile esaminare in dettaglio la parte di spettro compresa tra una frequenza minima di **100 Hz** e una massima di **5.500 Hz**, avendo impostato questi due valori rispettivamente nelle caselle **Lower** e **Upper**.

Questa opzione è molto utile perché consente di esaminare nel dettaglio i picchi delle armoniche, distinguendo anche picchi molto vicini tra loro che a prima vista possono apparire indistinguibili.

Dopo aver scelto opportunamente il **range** di frequenza in modo da isolare il picco del quale desiderate misurare **ampiezza** e **frequenza**, dovrete procedere come segue.

Portate il cursore del mouse sullo spettro come indicato in fig.26 e spostatelo fino a far coincidere la **linea tratteggiata verticale** con la **sommità** del picco che desiderate misurare.

Vi accorgete che il cursore del mouse, giunto in prossimità del picco, viene "**agganciato**" e sullo schermo compare il valore della **frequenza** in **Hz** e l'**ampiezza** del picco in **dB** oppure in **Volt**, a seconda che abbiate scelto la scala **logaritmica** oppure la scala **lineare**.

Figura 24

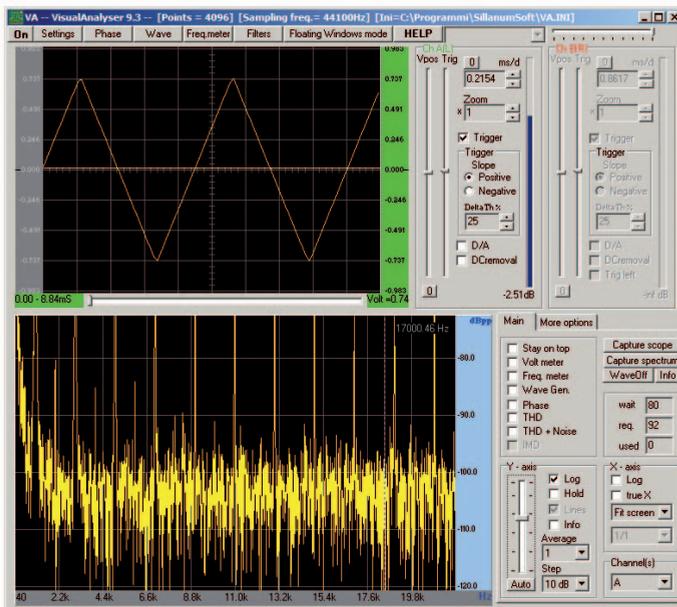


Figura 25

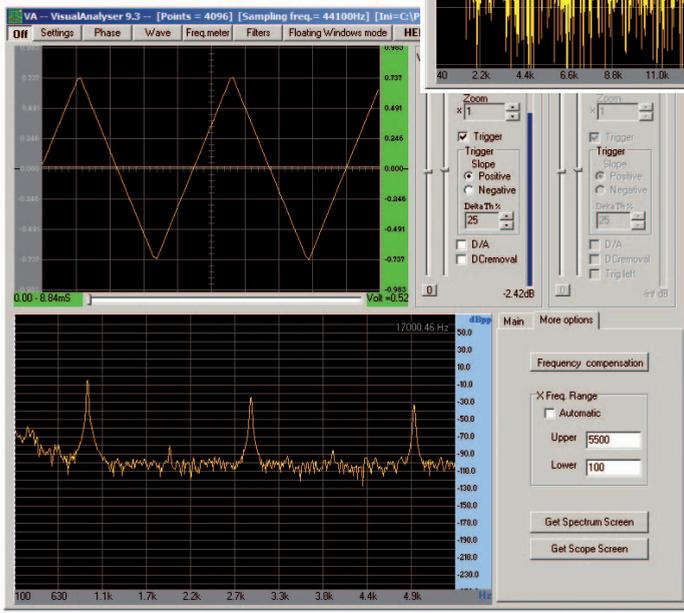
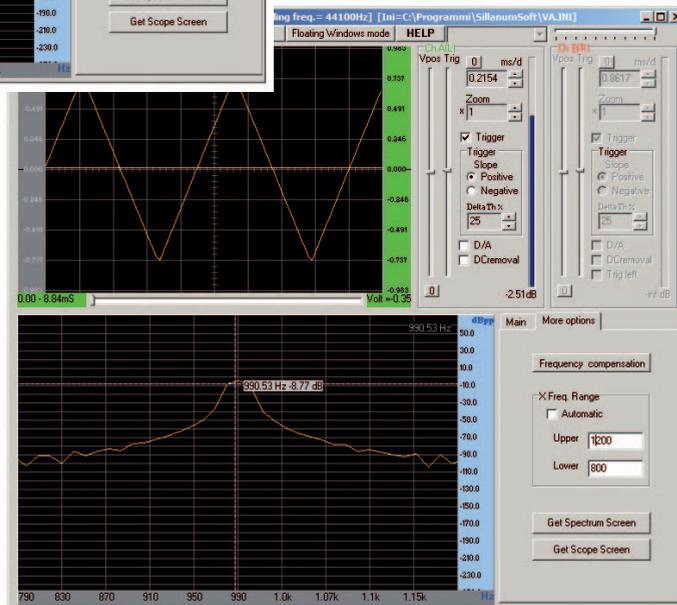


Figura 26



Naturalmente il valore indicato corrisponde alla frequenza del picco a meno della **risoluzione** del **convertitore USB** montato sulla scheda di interfaccia, che per una frequenza di campionamento di **44.100 Hz** ed un **buffer** della **FFT** pari a **4.096 punti** è uguale a **10,77 Hz**.

Nota: a titolo di curiosità potreste chiedervi come si ricava questo valore. Si parte dalla considerazione che per il teorema di **Nyquist-Shannon** la **banda passante** utilizzabile durante la **conversione A/D** di un segnale non può superare la **metà della frequenza di campionamento** del segnale medesimo. Così con una frequenza di campionamento di **44.100 Hz** è possibile effettuare unicamente la conversione dei segnali al di sotto di **22.050 Hz**. Poiché la **FFT**, cioè la **trasformata di Fourier**, viene calcolata sulla intera banda passante, se abbiamo selezionato **4.096 punti** di calcolo nel buffer della **FFT**, significa che questi vengono "spalmati" sulla intera frequenza che va da **10 Hz** a **22.050 Hz**. E poiché per calcolare ciascuna armonica occorrono **due punti**, impostando un valore di **4.096** nel buffer, la **FFT** utilizzerà **4.096 : 2 = 2.048 punti**. Ora, dividendo il valore della **banda passante** per il **numero di punti utilizzati** per il calcolo si ottiene la **risoluzione della FFT** in **Hz**:

$$22.040 : 2.048 = 10,77 \text{ Hz}$$

Questo valore viene sempre indicato nella finestra **Main**.

Potrebbe capitare, facendo coincidere la linea tratteggiata con un picco da misurare, di leggere **due** o **più frequenze** molto prossime tra loro ed i corrispondenti valori di **ampiezza**.

Questo significa che sullo spettro sono presenti due o più picchi molto vicini, che, a causa della risoluzione grafica, vengono rappresentati sullo schermo come un picco **unico**.

In questo caso potrete allargare lo spettro, selezionando un **range** più ristretto di frequenza mediante l'opzione **More options**.

Man mano che utilizzerete il **VA** e diventerete più esperti, vi accorgete che l'analizzatore di spettro dispone di comandi che vi consentono di ottenere misure più o meno raffinate, a seconda delle vostre necessità.

Ad esempio, agendo sul valore impostato sul buffer della **FFT**, potrete ottenere uno spettro ancora più "pulito".

Per comprendere il funzionamento di questo parametro dovrete pensare alla **FFT** come ad una batteria di **filtri analogici**, ognuno dei quali corrisponde a una diversa **frequenza**.

Minore è il numero di punti della **FFT** e minore è il numero dei filtri utilizzati per calcolare le armoniche.

In questo caso la risoluzione è più **bassa** e lo spettro risulta più grossolano.

Alzando il numero di punti, portandolo per esempio da **4.096 punti** a **8.192** oppure a **16.384**, si incrementa la batteria di filtri, con il risultato di una risoluzione più **elevata** e di uno spettro più nitido.

La contropartita è che il tempo per l'elaborazione dello spettro si **allunga**, perché si richiedono maggiori risorse al computer per il calcolo.

Lo SPETTRO dell'ONDA QUADRA

Supponiamo di voler ricavare ora lo spettro di un'onda **quadra**.

Questa forma d'onda è disponibile sulle due **uscite BF 3** e **4** della scheda **LX.1690**.

Provvedete quindi a collegare la **presa BF** relativa all'uscita **N.3** della scheda **LX.1690** al connettore **BNC** di ingresso relativo al **canale A** della stessa scheda, come indicato in fig.4.

Impostate il commutatore dell'**attenuatore** di ingresso sulla posizione **x10**.

Fatto questo dovrete procedere come segue.

Dalla finestra **principale** del **VA** selezionate sulla barra in alto l'opzione **Wave**.

Nella finestra che compare successivamente dovrete selezionare i seguenti parametri del **generatore BF** del **VA** (vedi fig.27):

Frequenza: 1.000 Hz
Wave function: square
Enable: attivata

Quindi premete il tasto **On** del **generatore BF**, che si porterà sulla dicitura **Off** e inizierà a **lampeggiare**, indicando che il generatore è in funzione.

Ora tenendo aperta la finestra del generatore, spostatela leggermente in basso sullo schermo, in modo da rendere visibile la barra delle opzioni della finestra principale sottostante e lo **schermo** dell'oscilloscopio.

Figura 27

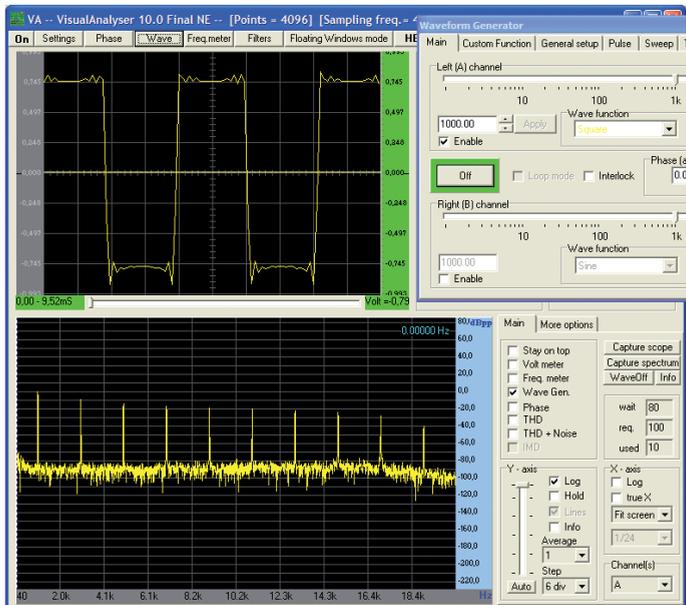
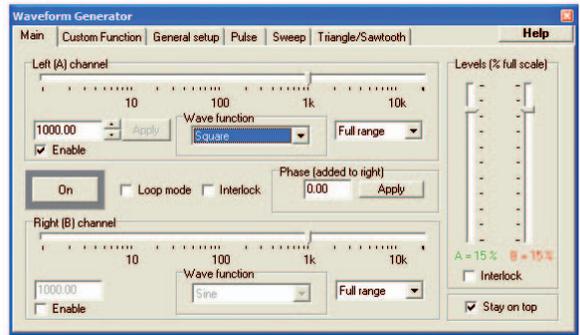
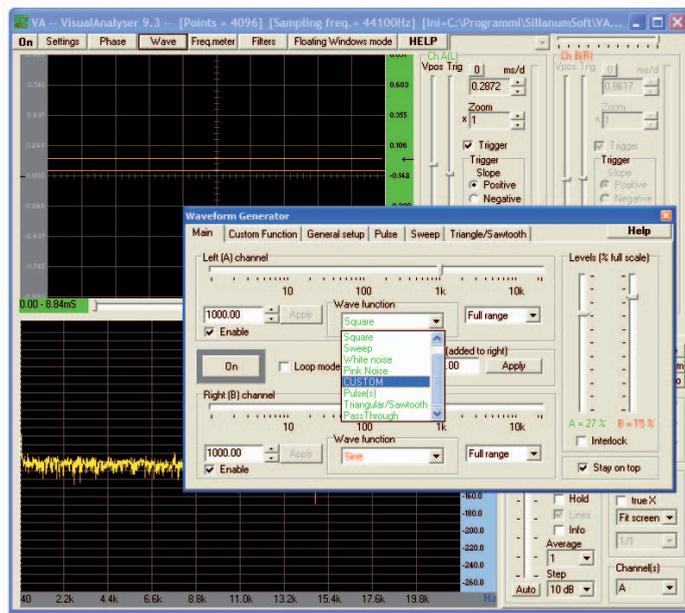


Figura 28

Figura 29



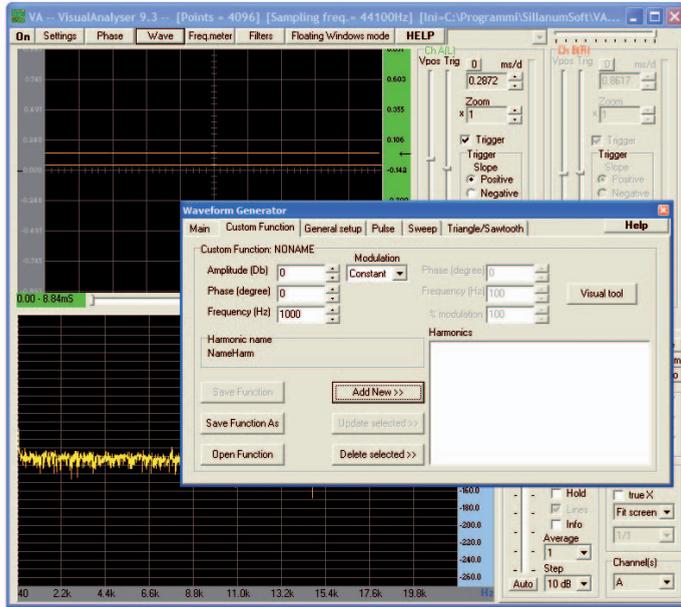


Figura 30

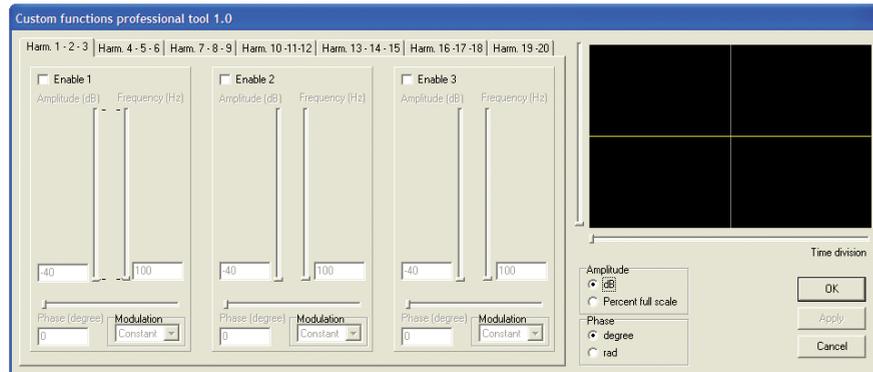


Figura 31

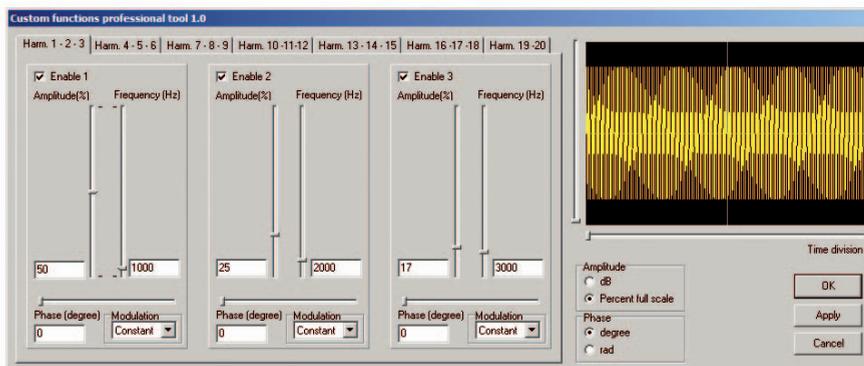


Figura 32

Figura 33

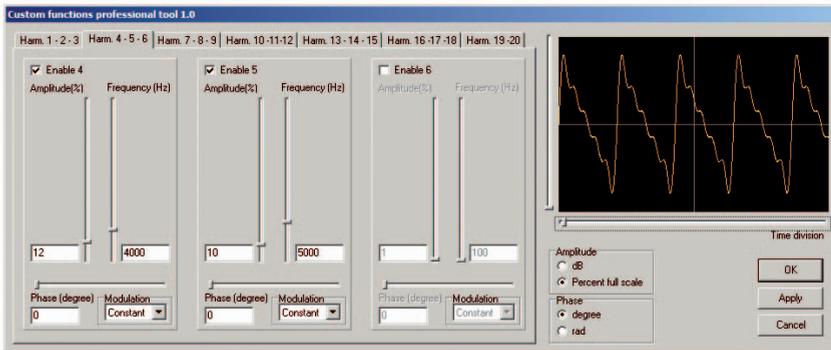
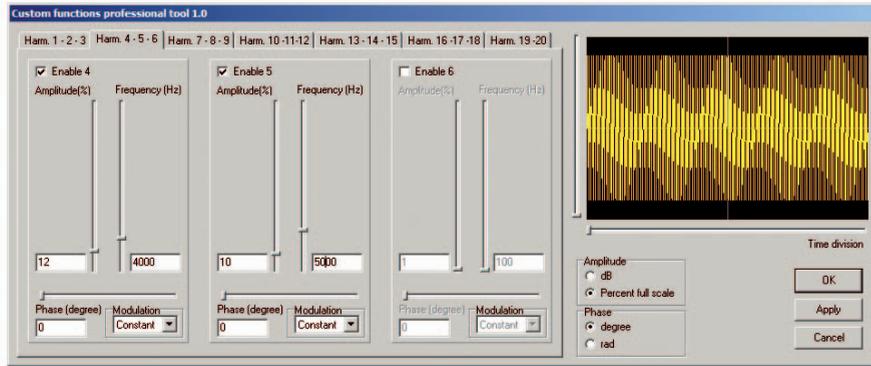
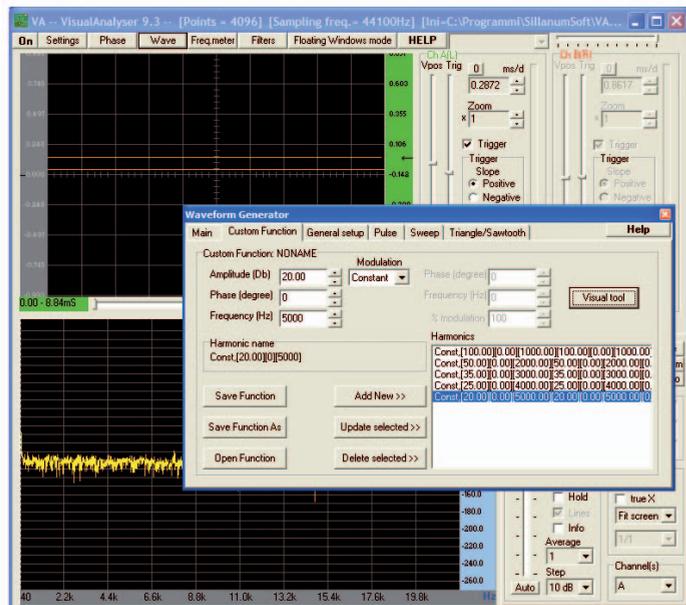


Figura 34

Figura 35



Premete il tasto **On** posto in alto a sinistra sulla barra degli strumenti, attivando la lettura dell'**oscilloscopio** e dell'**analizzatore di spettro**.

Regolate il cursore del **Level** del generatore relativo al **canale A** fin quando vedrete comparire sullo schermo l'onda quadra di fig.28.

Nota: se l'onda quadra non dovesse comparire significa che il cursore **Level** del generatore è regolato ad un livello troppo **basso** per attivare il circuito **squadratore** presente sulla scheda **LX.1690**.

Come potete notare, l'onda quadra che compare sullo schermo del **VA** presenta dei fianchi **non molto ripidi** e una **sovraoscillazione (overshoot)** sulla sua parte **piatta**.

A prima vista potreste pensare che questo sia dovuto ad un **difettoso** funzionamento del generatore **BF** del **VA** oppure del circuito squadratore presente sulla scheda di interfaccia.

In realtà, se andate ad analizzare con un oscilloscopio a tubo catodico l'onda quadra presente sul connettore **BNC** di ingresso dell'analizzatore, questa non presenta difetti.

Come si spiega questa differenza?

Una cosa che occorre sempre tenere presente quando si lavora con il **VA** è che ci si trova a fare i conti con alcune inevitabili limitazioni; una di queste è che si opera in una banda compresa tra **10 Hz** e **20.000 Hz** e quindi non è possibile elaborare e visualizzare **nessuna** delle **armoniche** al di fuori di questo intervallo di frequenze.

Questo significa che se state misurando un'onda quadra a **1.000 Hz**, potrete visualizzare fino alla sua **19esima armonica**, che ha una frequenza di **19.000 Hz**.

Ma se l'onda quadra avesse una frequenza di **5.000 Hz** potreste riprodurla solo fino alla sua **3** armonica, corrispondente a **15.000 Hz**.

Ne consegue che, mentre l'onda quadra a **1.000 Hz** verrà rappresentata sullo schermo con una discreta approssimazione, la stessa onda a **5.000 Hz** risulterà notevolmente **distorta**.

A ciò si aggiunge il fatto che anche il **convertitore USB** si trova in difficoltà nel riprodurre le rapide commutazioni tipiche di questa forma d'onda, che risulta perciò affetta sullo schermo dell'oscilloscopio da un fronte di salita piuttosto **lento** e da una **sovraoscillazione (overshoot)** nella sua parte **piatta**.

Per queste ragioni vi raccomandiamo di **non** utilizzare l'**onda quadra** per eseguire delle misure che richiedono una grande accuratezza, ma di utilizzare sempre in sua vece la forma d'onda **sinusoidale**, che non presenta questo tipo di problema.

COSTRUIAMO lo SPETTRO di un SEGNALE QUALSIASI

Procedendo nell'uso del **VA** vi accorgete che questo strumento vi consente non solo di effettuare l'analisi spettrale di un segnale elettrico, ma vi offre anche la possibilità di **costruirvi un segnale** a vostro piacere.

Se osservate la finestra principale **Wave** del generatore **BF** di fig.29, vedrete infatti che oltre alle funzioni più note, come l'onda **sinusoidale**, **triangolare**, **quadra**, ecc., tramite l'opzione **Custom**, esiste la possibilità di generare forme d'onda **diversissime** tra loro.

Questo è possibile perché, come già sappiamo, qualunque forma d'onda non è altro che il risultato della **combinazione** di diverse **sinusoidi** di ampiezza e frequenza opportune.

Utilizzando questa funzione del generatore potrete divertirvi a verificare il teorema di **Fourier**, **costruendo** voi stessi un **segnale elettrico** mediante la combinazione di onde **sinusoidali** di **ampiezza** e **frequenza** a voi note.

Inviando poi il segnale così ottenuto all'**analizzatore di spettro**, potrete verificare se sullo spettro compaiono davvero le **componenti sinusoidali** che avete utilizzato in precedenza per costruirlo.

Per eseguire questa prova dovrete procedere come segue:

Selezionate la funzione **Custom** posta all'interno della finestra **Wave function**, come indicato in fig.29.

Selezionate nella barra in alto l'opzione **Custom Function** e si aprirà la finestra indicata in fig.30. In questa finestra selezionate l'opzione **Visual Tool** e vedrete comparire la finestra di fig.31.

Come potete notare, nella parte alta della finestra sono presenti le diciture **Harm.1-2-3**, **Harm.4-5-6** e così via fino alla dicitura **Harm.19-20**.

Questo significa che avete a disposizione fino a **20** diverse **armoniche** per generare un segnale a vostro piacimento.

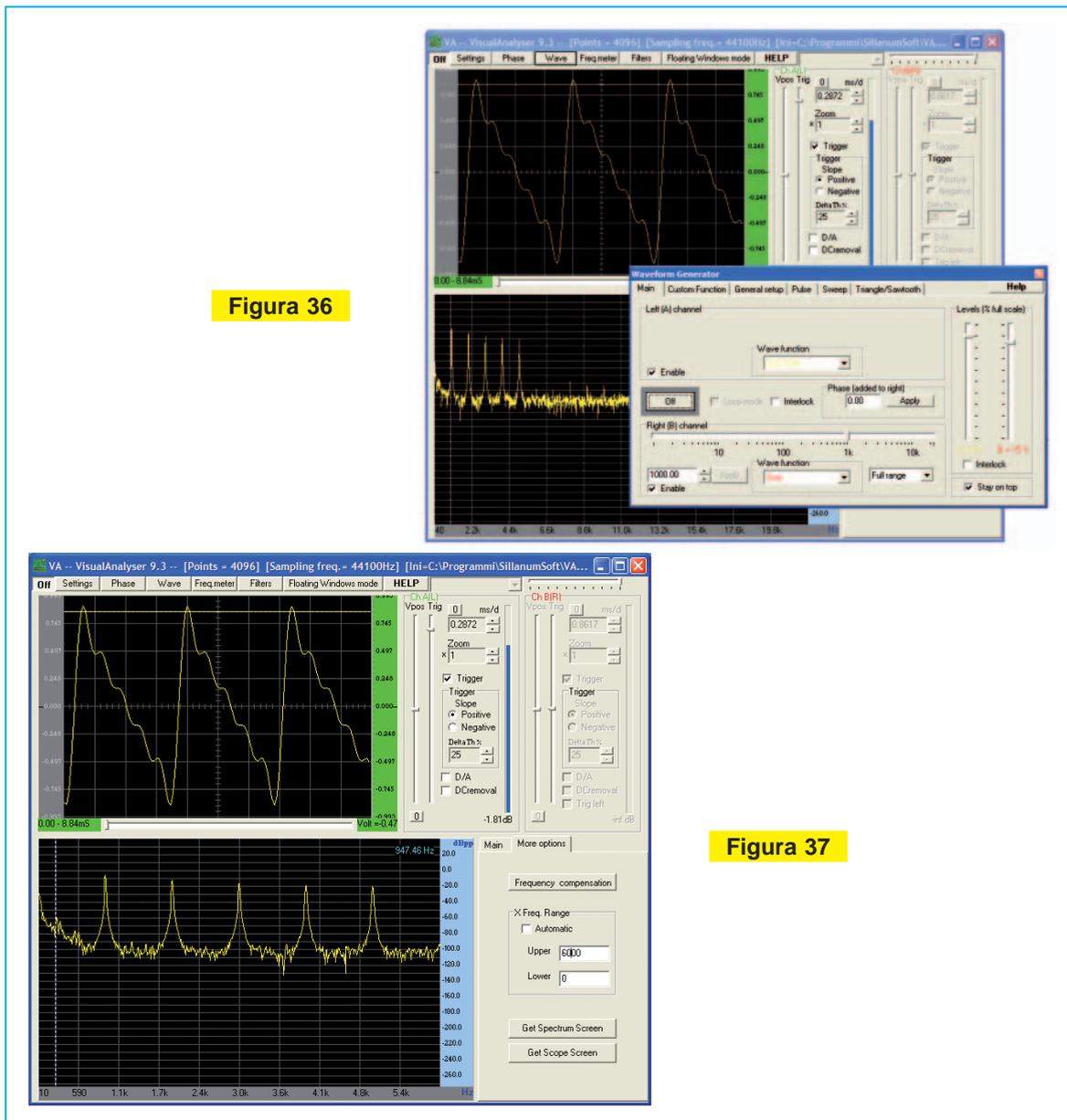


Figura 36

Figura 37

Supponiamo ad esempio di voler verificare se i segnali da noi presi in esame nel caso illustrato in fig.1 danno davvero luogo ad un segnale molto simile ad un'onda a **dente di sega**.

I segnali da cui siamo partiti erano i seguenti:

generatore 1	1.000 Hz	1 Volt
generatore 2	2.000 Hz	0,5 Volt
generatore 3	3.000 Hz	0,35 Volt
generatore 4	4.000 Hz	0,25 Volt
generatore 5	5.000 Hz	0,2 Volt

Per eseguire la prova non dovrete fare altro che introdurre questi valori di **ampiezza** e **frequenza** nel-

la finestra di fig.31 in corrispondenza delle prime **5 armoniche**.

Selezionate perciò l'opzione in alto **Harm.1-2-3** che vi dà la possibilità di introdurre i valori relativi alle prime **3 armoniche**.

Ora attivate le opzioni **Enable 1**, **Enable 2**, **Enable 3** spuntando le relative caselle.

Per generare una forma d'onda a piacere possiamo indicare l'ampiezza delle sue componenti in **dB** oppure in una **percentuale** del fondo scala, selezionando una di queste opzioni nella dicitura **Amplitude**.

Nel nostro esempio ci tornerà più utile selezionare l'opzione **Percent full scale** perché, supponendo che il valore di **1 Volt** corrisponda al **50%** della scala, tutti gli altri valori potranno essere espressi direttamente in percentuale secondo la tabella seguente:

1 Volt	= 50%
0,5 Volt	= 25%
0,35 Volt	= 17% circa
0,25 Volt	= 12% circa
0,20 Volt	= 10%

Riportate perciò il valore **50%** e **1.000 Hz** sulle finestre della **1 armonica**, e i valori **25%** - **2.000 Hz** e **17%** - **3.000 Hz**, sulle finestre relative alla **2** e alla **3 armonica**, come indicato in fig.32.

Ora selezionate l'opzione in alto **Harm.4-5-6**, sulla quale andrete a spuntare le caselle **Enable 4** e **Enable 5** come indicato in fig.33.

Quindi introducete nelle finestre della **4 armonica** i valori **12%** e **4.000 Hz** e nelle finestre relative alla **5 armonica** i valori **10%** e **5.000 Hz** (vedi fig.33).

Su ognuna delle finestre che avete programmato inserite i parametri:

Phase: 0
Modulation: constant

Se ora andate ad espandere in senso orizzontale il grafico presente sulla parte alta della finestra, spostando verso destra il piccolo **cursore** sottostante (vedi fig.34), vedrete comparire sullo schermo una forma d'onda che approssima effettivamente un segnale a **dente di sega**.

Naturalmente, come avevamo già previsto, il segnale non è un perfetto dente di sega perché per costruirlo abbiamo utilizzato solamente le sue prime **5 armoniche**.

Nota: una volta programmata, la forma d'onda può essere salvata ritornando alla finestra di fig.35, premendo il tasto **Save as**, e richiamata in qualunque momento con il tasto **Open function**.

Ora che avete costruito il segnale, potrete prelevarlo dalla scheda di interfaccia **LX.1690** e inviarlo all'analizzatore di spettro.

Provvedete quindi a collegare la **presa BF** relativa all'uscita **N.1** della scheda **LX.1690** al connettore

BNC di ingresso relativo al **canale A** della stessa scheda, come indicato in fig.5.

Impostate il commutatore dell'**attenuatore** di ingresso sulla posizione **x1**.

Ora cliccate sull'opzione **Main** aprendo la finestra principale del **generatore BF** di fig.36.

Premete il tasto **On** del generatore che inizierà a lampeggiare, indicando che sta funzionando correttamente.

Se ora premete il tasto **On** posto in alto a sinistra sulla barra principale, vedrete comparire sull'**oscilloscopio** la forma d'onda del **segnale** e sullo schermo dell'**analizzatore** il suo **spettro**.

E' facile verificare, osservando la fig.36, che lo spettro contiene effettivamente le **5 sinusoidi** di partenza, a **1.000, 2.000, 3.000, 4.000 e 5.000 Hz**.

Se desiderate osservare questa parte di spettro più nel dettaglio, potrete farlo cliccando sulla opzione **More Options**, come indicato in fig.37.

Togliendo la spuntatura sulla casella **Automatic** e impostando un valore di frequenza **Lower** uguale a **0** e **Upper** uguale a **6.000 Hz** avrete sullo schermo la porzione interessata, come visibile in fig.37, nella quale sono ben visibili le frequenze che compongono il vostro segnale.

Se ora poi voleste misurarne con precisione **ampiezza** e **frequenza**, cliccando sullo schermo con il tasto sinistro del mouse e portando sul picco desiderato la linea tratteggiata che si apre, avrete il valore della frequenza in **Hz** e dell'ampiezza in **dB** oppure in **Volt**, a seconda della scala che avete selezionato.

Come si calcola l'AMPIEZZA delle ARMONICHE

Dopo aver visto come si ricava lo spettro di un segnale potreste avere la curiosità di sapere come si fa a calcolare l'**ampiezza** e la **frequenza** delle varie **armoniche** che lo compongono.

In genere i calcoli utilizzati nella analisi armonica prevedono formule matematiche piuttosto complesse, che non è certamente il caso di affrontare in questo articolo.

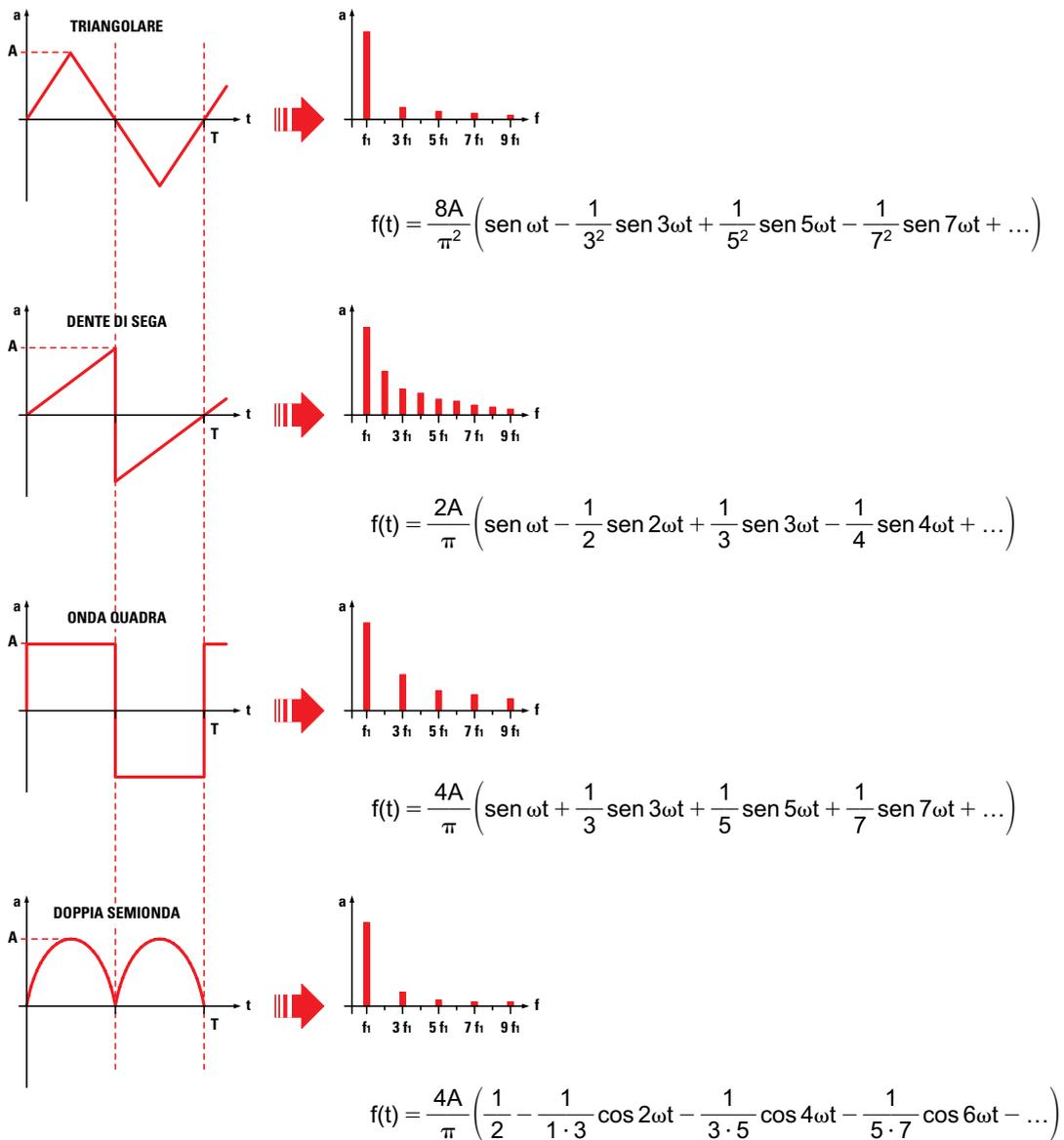


Fig.38 In questa figura abbiamo rappresentato alcune forme d'onda di uso abbastanza comune unitamente alla configurazione del loro spettro, elaborato per le prime 9 armoniche. Come potete notare, l'ampiezza delle armoniche decresce all'aumentare della frequenza e nell'onda a dente di sega figurano sia le armoniche di ordine pari che le armoniche di ordine dispari, mentre negli altri casi compaiono unicamente le armoniche di ordine dispari. A titolo di curiosità abbiamo inoltre indicato le formule con le quali è possibile ricavare la frequenza e l'ampiezza delle diverse armoniche, come indicato nell'esempio riportato nelle pagine seguenti.

Tuttavia, se il segnale da analizzare corrisponde ad un'onda **triangolare**, a un'onda a **dente di sega**, oppure ad un'onda **quadra**, il calcolo delle armoniche si riduce ad alcune formule abbastanza semplici come quelle che abbiamo riprodotto nel prospetto riportato in fig.38.

Se avete la pazienza di seguirci nell'esempio che vi illustriamo di seguito, vi accorgete che con un po' di attenzione sarete in grado anche voi di utilizzare queste formule per ricavare lo spettro di queste semplici forme d'onda, conoscendo l'**ampiezza** e la **frequenza** del segnale di partenza.

A titolo di esempio vediamo come si calcola lo spettro di un segnale ad **onda quadra**.

Supponiamo che la vostra forma d'onda di partenza abbia le seguenti caratteristiche:

ampiezza: 1,5 Volt picco/picco
frequenza: 1.000 Hz

Se prendiamo in considerazione il prospetto di fig.38, vediamo che per il calcolo della forma d'onda quadra occorre utilizzare la formula:

$$f(t) = 4A / \pi \times (\text{sen } \omega t + 1/3 \text{ sen } 3\omega t + 1/5 \text{ sen } 5\omega t + 1/7 \text{ sen } 7\omega t + \dots)$$

Questa formula può sembrare a prima vista di difficile comprensione, ma è in realtà meno complicata di quanto appare.

Cercheremo perciò di sdrammatizzarla spiegandone il contenuto.

Il termine **f(t)** indica la forma d'onda che vogliamo analizzare, nel nostro caso l'onda quadra, che assume valori diversi ad ogni **istante** del tempo **t**. Subito all'inizio della formula troviamo il fattore:

$$4A / \pi$$

Questo termine, che dovrà essere moltiplicato per ciascuno degli addendi contenuti tra parentesi, contribuisce a determinare l'**ampiezza** di ciascuna delle armoniche che compongono lo spettro.

La lettera **A** rappresenta l'ampiezza della nostra onda quadra di partenza, che nel nostro caso corrisponde a **1,5 Volt picco/picco**, mentre il termine **π (pigreco)** è un numero a tutti ben noto che corrisponde a circa **3,141**.

Sostituendo questi valori nella formula otterremo perciò:

$$4 \times 1,5 \text{ Volt} / 3,141 = 1,909 \text{ Volt}$$

Potremo perciò semplificare la formula precedente scrivendola in questo modo:

$$f(t) = 1,909 \times (\text{sen } \omega t + 1/3 \text{ sen } 3\omega t + 1/5 \text{ sen } 5\omega t + 1/7 \text{ sen } 7\omega t + \dots)$$

Nella successiva somma posta tra parentesi, compaiono i termini **sen ωt** , **sen3 ωt** , **sen5 ωt** , **sen7 ωt** , ecc., che rappresentano le varie **funzioni sinusoidali** che compongono il segnale e cioè le **armoniche** nel loro ordine di frequenza via via crescente.

Senza addentrarci in ulteriori spiegazioni, diremo che la lettera **ω** rappresenta la **velocità angolare** di una funzione sinusoidale ed è collegata con la sua **frequenza f** tramite la formula:

$$\omega = 6,28 f$$

La velocità angolare **ω** corrisponde alla frequenza della **1 armonica**, detta anche **fondamentale**, del segnale da analizzare.

Nel nostro caso poiché l'onda quadra ha una frequenza di **1.000 Hz**, il valore di **ω** corrisponde ad una **frequenza di 1.000 Hz**.

Perciò le armoniche indicate tra parentesi avranno le seguenti frequenze:

1 armonica (senωt)	= 1.000 Hz
3 armonica (sen3ωt)	= 3.000 Hz
5 armonica (sen5ωt)	= 5.000 Hz
7 armonica (sen7ωt)	= 7.000 Hz

e via dicendo.

Nel nostro esempio noi ci fermiamo alla **settima armonica** ma naturalmente la serie continua all'**infinito**.

La prima cosa che si nota è che nello spettro dell'onda quadra non sono presenti le **armoniche pari**, e cioè la **seconda armonica** corrispondente nel nostro caso a **2.000 Hz**, la **quarta armonica** corrispondente a **4.000 Hz**, la **sesta armonica**, corrispondente a **6.000 Hz** e così via.

La seconda considerazione che salta all'occhio osservando la formula è che ciascuna delle armoni-

Figura 39

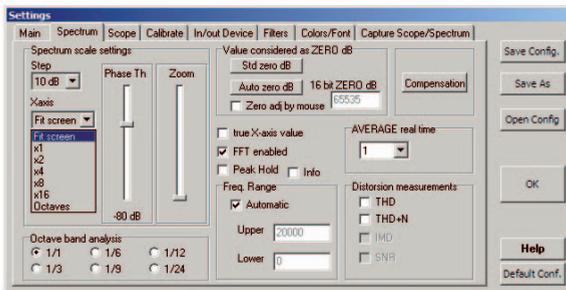
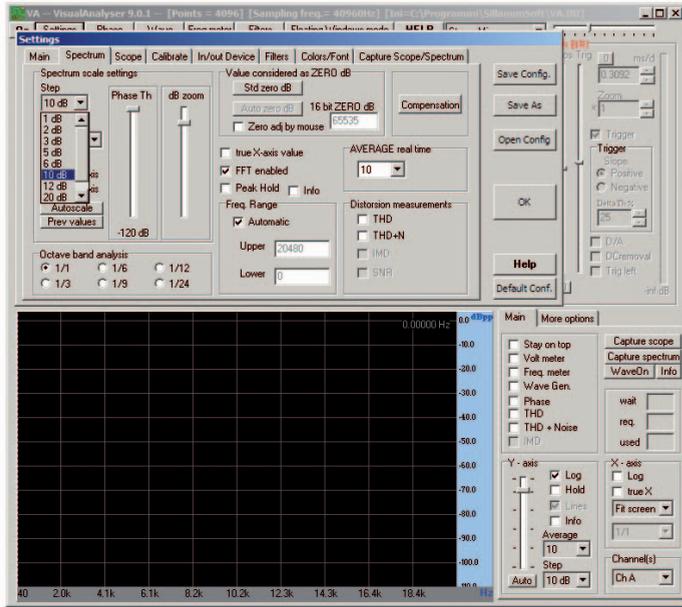
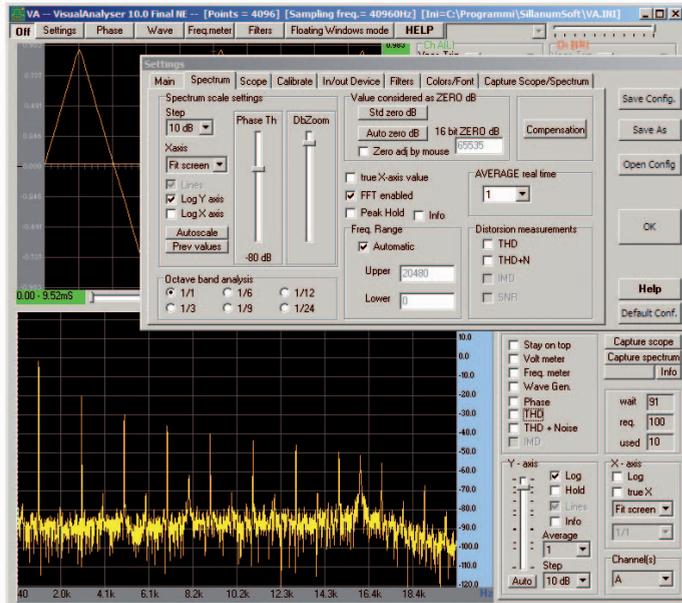


Figura 40

Figura 41



che è preceduta da un **fattore** che è uguale a:

- 1 per la **1 armonica**
- 1/3 per la **3 armonica**
- 1/5 per la **5 armonica**
- 1/7 per la **7 armonica**

Come previsto, al crescere delle armoniche la loro ampiezza si **riduce** progressivamente.

Per calcolare le ampiezze di ciascuna armonica ora non dovremo fare altro che sviluppare la formula che abbiamo scritto in precedenza:

Perciò la formula precedente:

$$f(t) = 1,909 \times (\text{sen } \omega t + 1/3 \text{ sen } 3\omega t + 1/5 \text{ sen } 5\omega t + 1/7 \text{ sen } 7\omega t + \dots)$$

diventa:

$$f(t) = 1,909 \times \text{sen } \omega t + 1,909 \times 1/3 \text{ sen } 3\omega t + 1,909 \times 1/5 \text{ sen } 5\omega t + 1,909 \times 1/7 \text{ sen } 7\omega t + \dots$$

e quindi:

$$f(t) = 1,909 \text{ sen } \omega t + 0,636 \text{ sen } 3\omega t + 0,381 \text{ sen } 5\omega t + 0,272 \text{ sen } 7\omega t + \dots$$

Queste non sono nient'altro che le armoniche che compongono la nostra onda quadra di partenza con le loro rispettive ampiezze in **Volt**.

Potremo perciò dire che lo spettro di un'onda quadra di **1,5 Volt** di ampiezza **picco/picco** e una frequenza di **1.000 Hz** calcolato fino alla sua **7 armonica** è così composto:

	frequenza (Hz)	ampiezza (Volt p/p)
1 armonica	1.000	1,909
3 armonica	3.000	0,636
5 armonica	5.000	0,381
7 armonica	7.000	0,272

In questo esempio abbiamo calcolato lo spettro di un segnale ad onda quadra fermandoci alla **settima** armonica.

Tuttavia, come avete visto, le formule hanno un andamento ciclico, che consente di calcolare alla stessa maniera anche le armoniche successive.

Se, ad esempio, volessimo determinare l'ampiezza della armonica successiva alla **settima** osser-

vando la formula relativa all'onda quadra potremo già intuire che si tratterà di una armonica di questo tipo:

$$1/9 \text{ sen } 9\omega t$$

Questo ci dice che avrà una frequenza pari a **9 volte** quella della **fondamentale**, e cioè nel nostro caso:

$$f = 9 \times 1.000 \text{ Hz} = 9.000 \text{ Hz}$$

La sua ampiezza potrà essere facilmente calcolata come sopra e cioè:

$$\text{ampiezza} = 4A / \pi \times 1/9$$

Sostituendo nella formula l'ampiezza del segnale di partenza che è di **1,5 Volt**, otterremo:

$$\text{ampiezza} = (4 \times 1,5 \text{ Volt}) / 3,141 \times 1/9 = 1,909 \times 1/9 = 0,212 \text{ Volt}$$

Un ragionamento analogo potrà essere applicato anche alle altre formule di fig.38, avendo l'avvertenza di prendere in considerazione anche il **segno algebrico + o -** posto dinanzi alle diverse componenti armoniche poste tra parentesi.

In alcuni casi noterete che al posto della funzione **seno** abbreviata nella dicitura **sen**, compare la funzione **coseno**, abbreviata dalla dicitura **cos**. Non si tratta di un errore, perché chi conosce queste funzioni sa che entrambe fanno parte della famiglia delle funzioni sinusoidali.

Seguendo lo stesso procedimento adottato in questo esempio e utilizzando di volta in volta le rispettive formule, sarete in grado di calcolare lo spettro delle diverse forme d'onda rappresentate in fig.38.

I comandi dell'ANALIZZATORE di SPETTRO

Prima di inoltrarci nella descrizione dei comandi specifici dell'analizzatore, vogliamo ricordarvi che il comando che attiva contemporaneamente l'**oscilloscopio** e l'**analizzatore di spettro**, facendo comparire sullo schermo dell'oscilloscopio il **segnale elettrico** applicato in ingresso e su quello dell'analizzatore il suo **spettro**, è il tasto **On** presente in alto a sinistra sulla barra degli strumenti della finestra principale del **VA**.

Figura 42

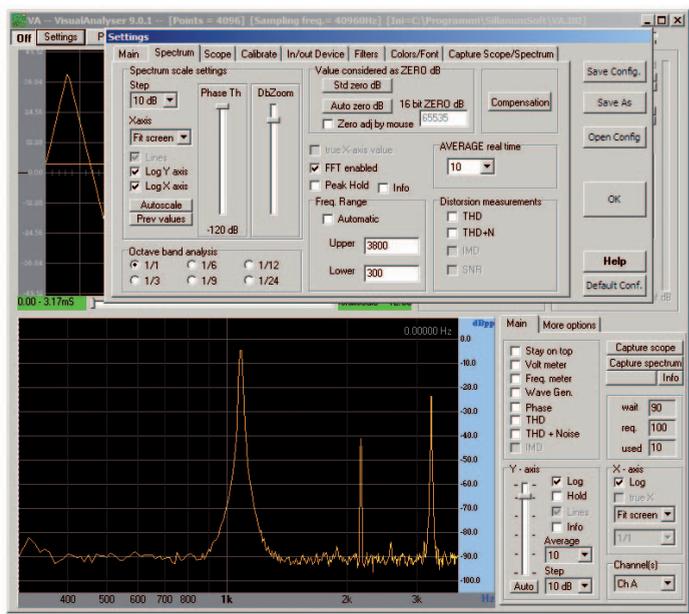


Figura 43

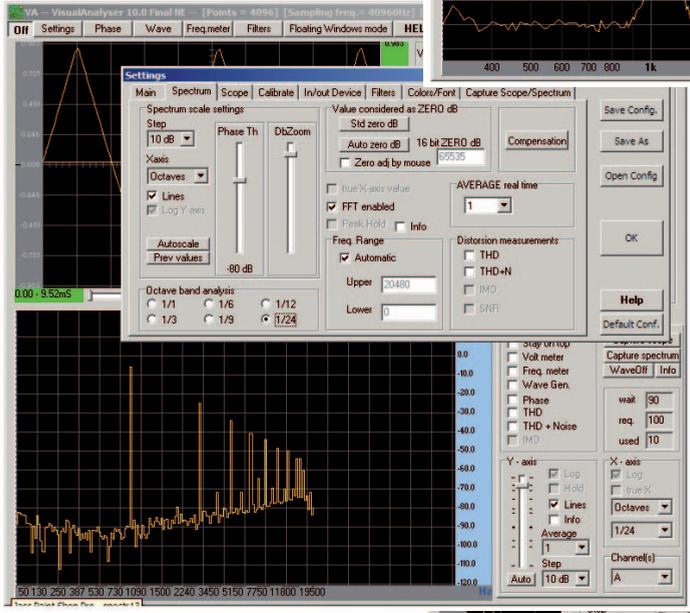
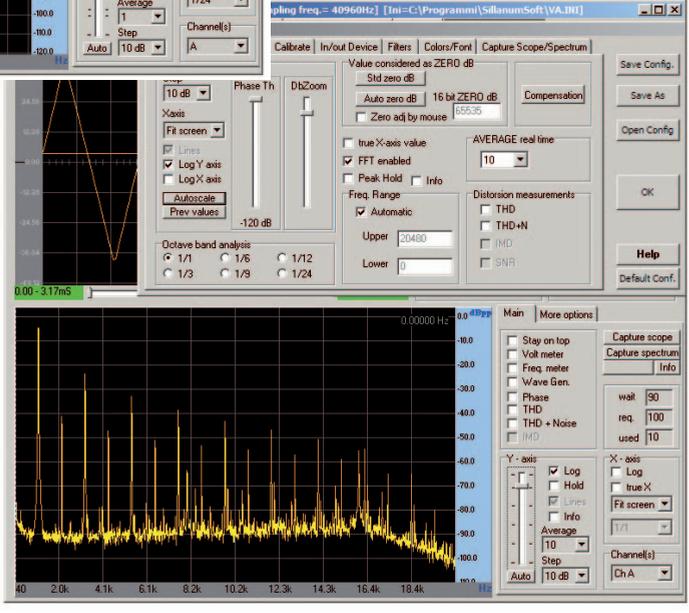


Figura 44



Una volta attivato, sul tasto compare la dicitura **Off** ed il **VA entra in funzione**.

Per richiamare i comandi che riguardano l'analizzatore di spettro, dovrete partire dalla **finestra principale** del **VA** e cliccare sul tasto **Settings**.

Nella finestra che si apre successivamente cliccate sul tasto **Spectrum** e vi apparirà la finestra di fig.39.

In questa finestra sono presenti tutti i parametri che vi consentono di effettuare il **settaggio** dell'analizzatore di spettro.

La maggior parte dei parametri presenti all'interno di questa finestra può essere modificata anche dalla finestra principale del programma, ove sono riportati nella parte destra in basso e a destra dello schermo, vedi fig.22.

Il primo comando che trovate all'interno del blocco "**Spectrum scale settings**" è quello degli:

Step

Questo comando consente di variare l'**intervallo** nel quale è suddivisa la scala graduata dei **decibel** che misura l'**ampiezza** del segnale sul grafico dello **spettro**.

Aperto questa finestra compare una serie di valori come indicato in fig.39, all'interno dei quali la suddivisione della scala presentata sull'asse **verticale (Y)** dello spettro può essere variata in modo discreto da un minimo di **1 dB** fino ad un massimo di **24 dB**.

Il comando che si presenta successivamente è:

X axis

Questo comando consente di modificare la rappresentazione grafica delle **frequenze** sull'**asse orizzontale** dello spettro, scegliendo sia i **limiti** dell'**intervallo** di frequenze che si desiderano osservare che il **modo** in cui le frequenze vengono presentate, cioè il modo **lineare** oppure **logaritmico**.

Se aprite la finestra relativa a questo comando si presenteranno le varie opzioni raffigurate in fig.40. Selezionando la dicitura **Fit screen** il grafico verrà visualizzato rappresentando sull'asse orizzontale l'**intero range** di frequenza di lavoro da **20 Hz** a **20 KHz** (vedi fig.41).

Esiste tuttavia la possibilità di selezionare un range di frequenza a piacere, che viene impostato nella opzione **Freq.range** deselezionando la casella **Automatic** ed impostando il valore **inferiore** e **superiore** del **range di frequenza** desiderato, ad esempio da **300** a **3.800 Hz** come indicato in fig.42.

In questo modo potrete scegliere di visualizzare sullo schermo solo la parte di spettro che vi interessa osservare.

Selezionando invece le opzioni **x1-x2-x4-x8-x16** verrà **ingrandita** progressivamente la porzione **iniziale** di frequenze rappresentate sull'asse **orizzontale (X)** dello **spettro**.

Nel momento in cui viene selezionata questa opzione, al di sotto del grafico viene presentato un **cursore** che permette di scorrere lungo l'asse **X** dello spettro, scegliendo la porzione di spettro che interessa.

E' interessante notare che, attivando questa opzione nel caso di uno spettro contenente molte armoniche ravvicinate (che con l'opzione **Fit screen** risulterebbero necessariamente sovrapposte), è possibile osservarle separatamente una ad una.

In tutta questa gamma di opzioni la rappresentazione delle frequenze sullo spettro avverrà unicamente in modo lineare.

Selezionando l'opzione **Octaves** l'asse orizzontale dello spettro si modifica rappresentando i valori delle frequenze non più in modo **decimale** o **logaritmico**, ma secondo la classificazione per **ottave**.

In questa classificazione ciascuna frequenza della scala rappresenta il **doppio** della frequenza che la **precede**.

Se osservate ad esempio la fig.21 vi accorgete che i valori raffigurati sull'asse orizzontale dello spettro sono i seguenti:

20-32-63-125-250-500-1.000-2.000-4.000-8.000-16.000

Come potete notare, escludendo il primo valore di **20 Hz** che rappresenta il **limite inferiore** della banda di lavoro, i valori di frequenza vengono a raddoppiarsi man mano che si procede ad aumentare la **frequenza**.

Ciascun intervallo tra un valore e l'altro rappresenta una **ottava** e se due valori non sono adiacenti la loro distanza si misura indicando il numero di ottave che li separa.

Esempio: i valori **250 Hz** e **2.000 Hz** sono separati da **tre ottave**.

Se anziché spuntare sulla casella **Octave band analysis** l'opzione **1/1** selezionate una delle altre opzioni **1/3-1/6-1/9-1/12-1/24**, otterrete una ulteriore suddivisione di ciascuna ottava in **3-6-9-12-24 divisioni**, che vi consentiranno di effettuare un apprezzamento ancora più fine della frequenza, vedi fig.43.

Avendo così scelto in quale modo rappresentare la frequenza sullo spettro, troverete a seguire la casella:

Lines

Spuntando questa casella avrete sullo schermo la rappresentazione di fig.44, mentre non spuntandola otterrete la rappresentazione grafica di fig.45.

Questa opzione **non** è attiva se viene selezionata l'opzione **Fit screen**.

Proseguendo nei comandi trovate la casella:

Log Y axis

Spuntando questa casella avrete la rappresentazione della ampiezza delle armoniche presenti sullo spettro in forma logaritmica e cioè il loro valore in **dB** sull'asse **verticale (Y)** dello schermo.

Se invece togliete la spuntatura avrete una rappresentazione della loro ampiezza **lineare**, e cioè in **Volt**.

A differenza della rappresentazione **logaritmica** in **dB**, nella quale sul grafico trovano posto anche le armoniche enormemente più piccole della fondamentale, con questo tipo di raffigurazione queste non possono essere rappresentate, **scomparendo** dal grafico.

Nota: muovendo il cursore **Zoom** potrete ingrandire o ridurre a piacere in senso verticale la rappresentazione grafica dello spettro.

Log X axis

Questa casella si apre **unicamente** se è stata selezionata precedentemente l'opzione **Fit screen**. In questo caso è possibile attivare la rappresentazione su scala **logaritmica** delle **frequenze**, vedi fig.8, oppure su scala **lineare** (vedi fig.7).

Il comando successivo che trovate sulla finestra Spectrum è:

Autoscale

Se per una ragione qualsiasi, ad esempio facendo scorrere il cursore **Zoom**, vi trovate con lo spettro che fuoriesce dallo schermo, premendo il tasto **Autoscale** questa funzione provvederà a **dimensionarlo automaticamente**, facendolo rientrare nuovamente nello schermo.

Premendo invece il tasto:

Prev.values

ripristinerete la situazione precedente.

A fianco del cursore **Zoom** trovate anche il cursore:

Phase th.

che significa regolazione della **soglia di fase** (Phase Threshold).

Questo cursore non agisce sullo spettro, ma consente di variare la **sensibilità** in ingresso in **dB** del **misuratore di fase**, permettendo di selezionare le armoniche da considerare nelle misure di fase, in funzione della loro **ampiezza**.

Ne vedremo meglio l'utilizzo quando ci occuperemo delle **misure di fase**.

I comandi che trovate successivamente sono quelli che permettono di effettuare l'azzeramento dello spettro e precisamente lo **Std.Zero dB**, l'**Autozero dB** e lo **Zero adj.by mouse**:

Std Zero dB

Questo comando consente di eseguire automaticamente l'azzeramento dello spettro, facendo corrispondere lo **zero dB** al **valore massimo** fornito dalla conversione a **16 bit** e cioè **65.535**.

In questo modo, qualunque modifica abbiate apportato manualmente, premendo questo tasto riporterete automaticamente lo **zero dB** al valore standard.

Autozero dB

A differenza dello **Std Zero dB**, questo comando fa collimare il livello dello **zero dB** con la sommità del picco che presenta il **massimo** valore in **ampiezza** sullo spettro.

Zero adj.by mouse

Spuntando questa opzione vedrete che l'asse **verticale (Y)** dello spettro si colorerà di un **blu intenso**. Se ora portate sull'**asse Y** il puntatore del mouse, cliccando con il tasto sinistro potrete trascinare lo spettro verso l'**alto** oppure verso il **basso**, fino a fare coincidere il valore corrispondente allo **0 dB** sull'asse **Y** con il punto desiderato dello **spettro**.

Nota: ogni volta che eseguite un azzeramento verrà visualizzato il corrispondente valore nella casella **16 bit zero dB**.

L'opzione che incontrate immediatamente dopo è quella del:

True X-axis value

Spuntando questa casella vedrete che sull'asse orizzontale i valori della frequenza non verranno più indicati con la minima approssimazione utilizzata normalmente, ma con il loro valore preciso. Passiamo ora alla successiva opzione e cioè alla:

FFT enabled

Come vi abbiamo spiegato l'acronimo **FFT** sta per **Fast Fourier Transform**, cioè per l'algoritmo che viene utilizzato per ricavare lo spettro di qualsiasi segnale elettrico.

Quando questa casella è spuntata, l'analizzatore di spettro è **attivo** e calcola continuamente lo spettro del segnale applicato in ingresso eseguendo una **serie** ripetuta di **FFT**, che vengono **mediate** tra loro. Il numero di **FFT** da utilizzare per il calcolo può essere impostato nella finestra **AVERAGE real time** e può variare tra un minimo di **1** e un massimo di **200** come visibile in fig.46.

Naturalmente, più **elevato** è il numero di **FFT** prese in considerazione e maggiore risulta l'accuratezza della **presentazione** dello spettro sullo schermo.

Allo stesso tempo però aumenta la quantità di **risorse** richieste al computer e il **tempo** necessario per eseguire il calcolo della **FFT**.

Tra tutte le funzioni del **VA** quella che calcola la **FFT** è di gran lunga la funzione che assorbe più risorse dal computer.

Per questo motivo, se non avete la necessità di elaborare lo spettro, **disattivando** la **FFT** avrete a

disposizione maggiori risorse per l'**oscilloscopio**, anche se in questo modo non potrete utilizzare il **frequenzimetro**, che attinge dalla **FFT** per calcolare la frequenza della fondamentale, e nemmeno la misura di **fase**.

Successivamente trovate la casella:

Peak Hold

Questa opzione consente di **bloccare** il livello massimo di un picco.

Se attivata agisce anche sulla funzione **Capture spectrum**.

Info

Consente di visualizzare nella parte alta dello spettro il valore dell'ampiezza in **dB** del picco avente massima ampiezza.

Freq.range

Questa opzione consente di scegliere uno specifico **range di frequenza** all'interno del quale visualizzare lo spettro.

Togliendo la spuntatura sulla casella **Automatic** avrete la possibilità di inserire i due valori di **frequenza**, superiore e inferiore, della porzione di spettro che desiderate vedere sullo schermo, come nell'esempio di fig.42.

Le due caselle a fianco:

THD THD + N

consentono invece di visualizzare sullo spettro il valore della **distorsione armonica totale (Total Harmonic Distorsion)** e della **THD + il rumore**.

Nella finestra dei comandi dell'analizzatore di spettro resta ancora una funzione e cioè quella denominata:

Compensation

Questa funzione è molto interessante se si utilizza l'analizzatore di spettro in **campo audio**, perché qualora si debba impiegare il segnale proveniente da una **sorgente audio** come un **microfono**, la **testina** di un **registratore**, il **pick-up** di un giradischi, ecc., consente di tenere conto della curva di **risposta** in **frequenza** di questi dispositivi.

Con la funzione **Compensation** la curva di risposta di un microfono può essere importata da un **file**, se questo è disponibile, oppure può essere in-

Figura 45

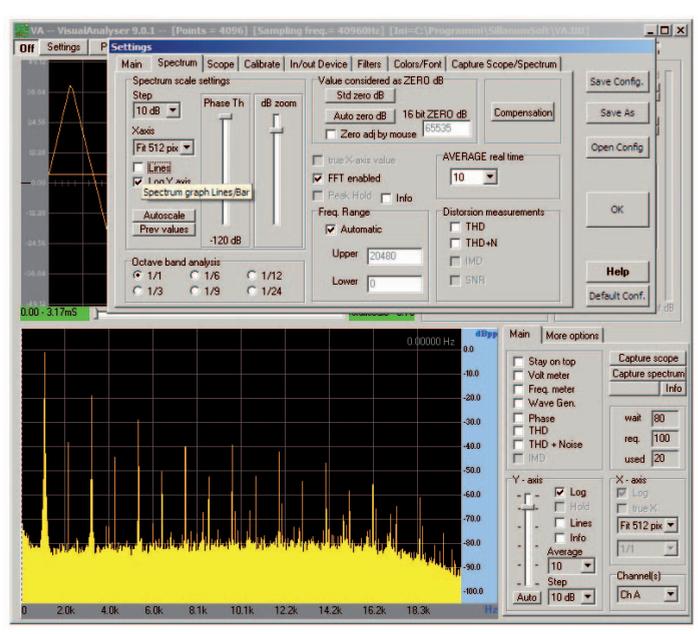


Figura 46

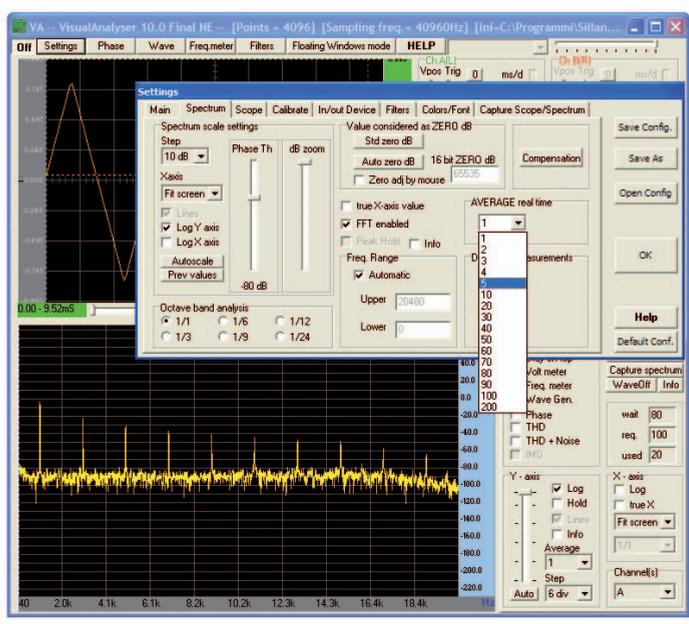
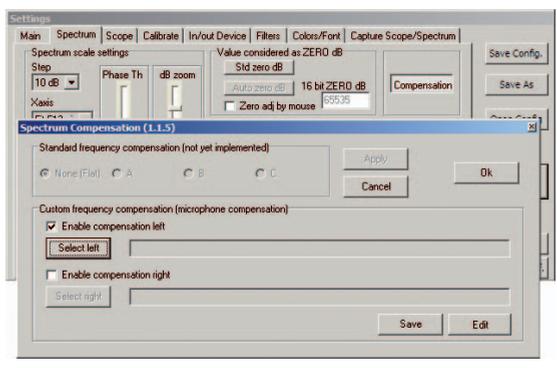


Figura 47



trodotta **manualmente** punto per punto.

Il **VA** ne terrà conto in fase di elaborazione dello spettro, che risulterà perciò **equalizzato**, cioè indipendente dalla risposta in frequenza della sorgente sonora utilizzata.

Per utilizzare questa funzione dovrete procedere come segue.

Premete il tasto **Compensation** e si aprirà la finestra visibile in fig.47.

La finestra presenta la possibilità di equalizzare entrambi i canali di ingresso, e cioè **A (Left)** e **B (Right)**.

Spuntando la casella corrispondente è possibile attivare la compensazione sul canale desiderato oppure su entrambi.

Per farvi meglio comprendere questa funzione facciamo un piccolo esempio.

Supponiamo che disponiate di due microfoni **mono**, di tipo diverso e che vengano collegati uno sul canale **A** e l'altro sul canale **B**.

Tramite la funzione **Compensation** potrete introdurre la risposta in frequenza di ciascun microfono, equalizzandoli entrambi perfettamente.

Dopo avere aperto la finestra di fig.47 potrete:

- importare un **file** in formato **.cmp** contenente la **curva di risposta** in frequenza;

- introdurre manualmente i **valori** della curva di risposta in frequenza.

Per importare il file dovrete abilitare la casella "**Enable compensation...**" del canale desiderato, ad esempio il canale **Left** in fig.47, e quindi premere il tasto corrispondente, in questo caso **Select left**.

Si aprirà una finestra nella quale è visualizzata una piccola **libreria** di files disponibili (vedi fig.48). Naturalmente in questa libreria dovrete avere già importato il file relativo al vostro dispositivo.

Selezionate dunque il file corrispondente e cliccate sul tasto **Apri**.

Il file verrà trasferito sul canale **Left** del **VA** come potete vedere in fig.49.

La stessa procedura può essere ripetuta per il canale **Right** (vedi fig.50).

Il comando successivo dell'analizzatore di spettro è relativo alla:

FFT enable

Spuntando questa casella è possibile **abilitare** oppure **disabilitare** l'elaborazione dello **spettro**.

La **disabilitazione** della **FFT** può essere utile qualora non interessi ricavare lo spettro, perché consente di ridurre l'assorbimento di risorse al computer, che per il calcolo di questa funzione è davvero notevole.

COSTO di REALIZZAZIONE

Come abbiamo anticipato, la descrizione dello schema elettrico e della realizzazione pratica della scheda interfaccia **LX.1690** è pubblicata nella rivista **N.232**.

Vi rimandiamo dunque alla lettura del relativo articolo per apprendere tutti i particolari tecnici.

Qui ci limitiamo a riproporvi i costi di realizzazione delle varie schede che compongono il kit.

Costo di tutti i componenti necessari per realizzare la **scheda base** dell'**Analizzatore di spettro** siglata **LX.1690** pubblicata nella rivista **N.232**, compresi circuito stampato, scheda premontata in **SMD** siglata **KM.1667** contenente il **CODEC**, mobile **MO1690** **Euro 95,00**

Costo del circuito del **calibratore** siglato **LX.1691** compreso circuito stampato **Euro 15,50**

Costo del circuito del **filtro passa banda** **LX.1691/B** compreso circuito stampato **Euro 12,00**

Costo del circuito stampato **LX.1690** **Euro 9,20**

Costo del circuito stampato **LX.1691** **Euro 2,30**

Costo del circuito stampato **LX.1691/B** **Euro 1,20**

CD-Rom contenente il software **Visual Analyser** al costo del solo supporto **Euro 5,00**

Nota: negli esempi riportati nelle figg.3-4-5 abbiamo indicato un collegamento da effettuare tra il connettore **BF** di **uscita** della scheda **LX.1690** e il connettore **BNC** di **ingresso** della stessa scheda.

Per realizzare questo collegamento, vi consigliamo di acquistare il cavo di collegamento con **BNC** e 2 **coccodrilli** (codice **RG1.102**) e di sostituire i due coccodrilli con un **connettore BF**.

Tutti i prezzi sono comprensivi di **IVA**, ma **non** delle spese postali di spedizione a domicilio.

Figura 48

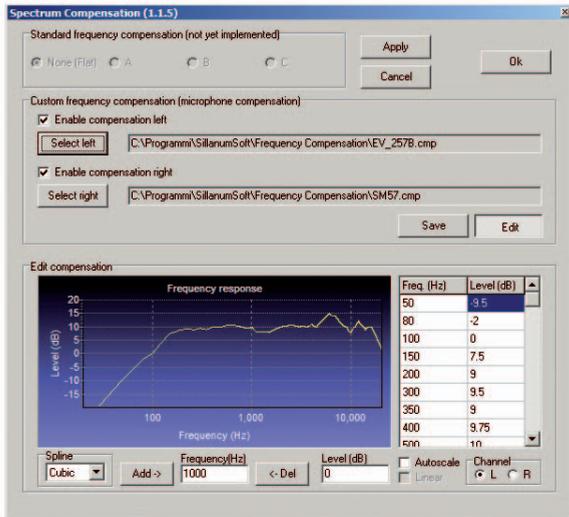
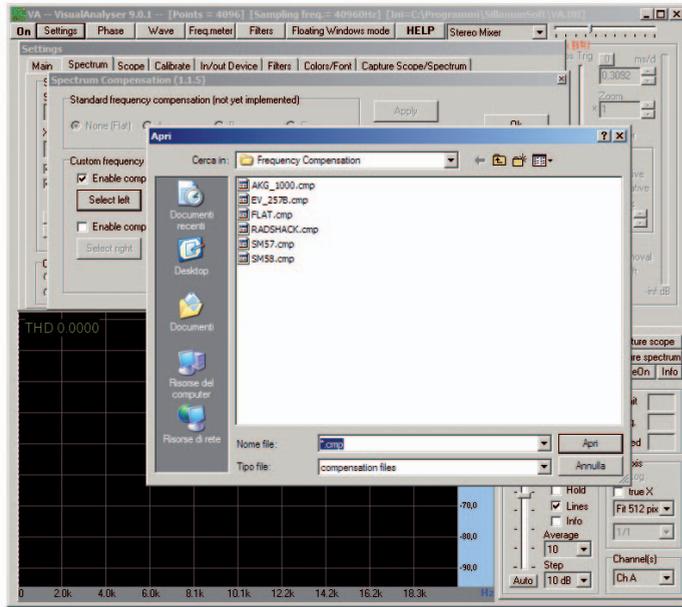


Figura 49

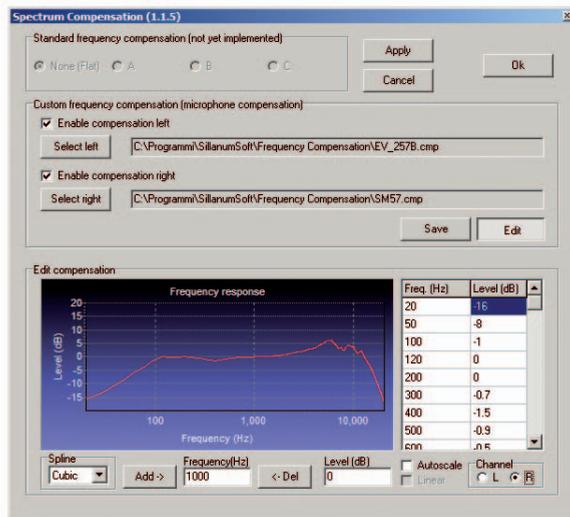


Figura 50