

“Nuove tecnologie per l’analisi non intrusiva dei manufatti”

Programma di ricerca

**Ingegnerizzazione di prototipi e strumentazione per la
diagnostica su manufatti monumentali in materiale lapideo**

SIND

Modulo di acquisizione di segnali US

Massimo Chimenti, Enrico Fantini

Istituto di Scienza e Tecnologie dell’Informazione “Alessandro Faedo”
Rapporto tecnico aprile 2009

Sommario

Il lavoro descrive la componente del Sistema per Ispezioni Non Distruttive SIND, sviluppata per l'acquisizione dei segnali derivanti da ispezioni mediante la tecnica di ultrasuoni in trasmissione.

La componente è costituita da moduli hardware e da un modulo software. I moduli hardware consistono in una coppia di sonde a ultrasuoni, un generatore di impulsi che pilota la sonda trasmittente ed un dispositivo per la conversione analogico/digitale del segnale prodotto dalla sonda ricevente; quest'ultimo è collegato al PC tramite una porta di tipo USB ed è controllato mediante una libreria di funzioni specifiche.

Il modulo software è costituito da un programma realizzato in ambiente Microsoft Windows utilizzando il linguaggio di programmazione Visual Basic 6.0; il programma controlla l'acquisizione del segnale ottenuto nelle posizioni di misura ed archivia i dati secondo le specifiche del SIND.

Abstract

The report describes the component of the H/S system SIND (System for Non-destructive Inspections), developed for the acquisition of the signals obtained by inspections based on ultrasound through- transmission.

The described component is composed of several hardware modules and of a software module.

Hardware modules consist on a couple of ultrasound probes, a pulse generator that drives the transmitting probe and a device for the analog to digital conversion of the signal produced by the receiving probe; the device is connected to the system PC trough an USB port and is controlled by means of a library of specific functions.

The software module consists on a program developed in the Microsoft Windows environment, using the programming language Visual Basic 6.0; the module controls the acquisition of the signals obtained in the measurements positions and archives data according to the SIND's specifics.

Indice

Introduzione.....	4
Periferica per l'ispezione US.....	5
Modulo di conversione.....	7
Specifiche di MC.....	7
Conversione A/D.....	7
Memoria tampone.....	8
Media delle misure.....	8
Caratteristiche del dispositivo PicoScope 3205.....	9
Frequenza di campionamento.....	9
Procedura d'ispezione.....	11
Messa a punto.....	11
Misura.....	11
Descrizione del programma.....	12
Pannello 1.....	13
Pannello 2.....	14
Pannello 3.....	15
Pannello 4.....	15
Formato dati d'uscita.....	19
Riferimenti.....	21

Introduzione

Il sistema per ispezioni non distruttive SIND [1] consente l'esecuzione di esami di un oggetto mediante tecniche basate sull'impiego di onde ultrasonore, campi elettromagnetici e campi elettrici.

Mediante un menù di tipo gerarchico l'utente può selezionare la tecnica d'ispezione e successivamente può muoversi all'interno del menù per selezionare programmi che governano l'acquisizione dei dati d'ispezione, la loro analisi e l'archiviazione dei risultati.

L'acquisizione dei dati è compiuta mediante una struttura detta periferica d'ispezione, che comprende sostanzialmente un trasduttore, dei dispositivi che controllano la generazione del segnale e rilevano la risposta del trasduttore e dei dispositivi per il collegamento al calcolatore del sistema. Alcuni dei suddetti dispositivi sono stati progettati e realizzati presso l'Istituto, altri sono stati scelti fra i prodotti di mercato in grado di soddisfare i requisiti delle applicazioni previste.

Per quanto riguarda l'ispezione mediante ultrasuoni si è previsto l'impiego di una coppia di trasduttori acustici, uno funzionante come generatore di un'onda ultrasonora e l'altro come ricevitore. Il principio di misura consiste nel rilevare il segnale trasmesso dall'oggetto in esame e confrontare il valore così ottenuto con quello ricavato in condizioni note di riferimento: si possono così individuare e localizzare variazioni della struttura di un oggetto, oppure confrontare oggetti differenti.

Si è quindi realizzata una periferica per l'ispezione, impiegando trasduttori e dispositivi vari reperiti sul mercato, e si è sviluppato un software che gestisce le operazioni di acquisizione in base ai comandi dell'utente.

Periferica per l'ispezione US

La figura 1 mostra la struttura attuale della periferica per l'ispezione con ultrasuoni del SIND.

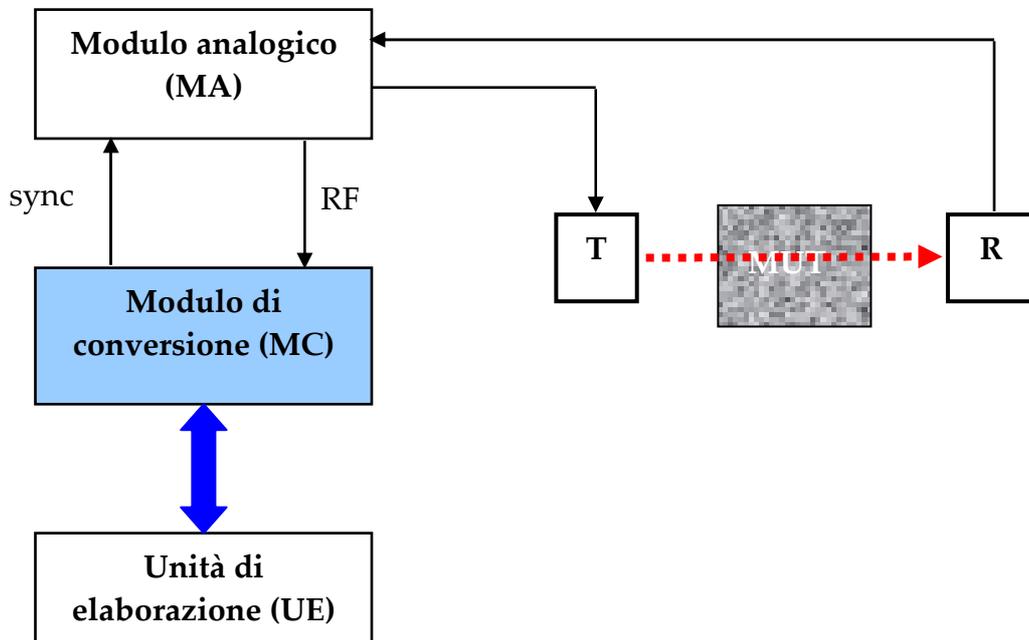


Figura 1. Struttura del sistema per l'ispezione a ultrasuoni in trasmissione.

Il modulo di trattamento analogico (MA) è costituito da due sezioni:

- un generatore dell'impulso di eccitazione, che pilota la sonda T
- un amplificatore, che riceve il segnale elettrico prodotto dalla sonda R in seguito all'arrivo dell'onda ultrasonora.

Sia l'ampiezza dell'impulso che il guadagno dell'amplificatore sono regolabili. L'impulso di eccitazione è generato in base al segnale di sincronismo (trigger sync), proveniente dal modulo di conversione (MC); MA invia a MC il segnale di uscita dell'amplificatore (RF).

Il modulo di conversione comprende:

- un orologio
- un generatore d'impulso, che produce il segnale sync
- un convertitore analogico/digitale
- una memoria tampone.

In base ai comandi ricevuti dall'unità di elaborazione (UE), MC campiona il segnale analogico RF, immagazzina i dati così ottenuti nella memoria tampone e li trasferisce ad UE attraverso una porta seriale. La frequenza di campionamento è ricavata dall'orologio interno in base all'impostazione applicata da UE; anche la lunghezza del vettore di dati estratto dalla memoria è controllabile.

L'unità di elaborazione provvede ad attivare il ciclo di acquisizione del segnale nella posizione corrente d'ispezione ed a costruire il relativo file di dati; al termine dell'acquisizione, il software residente in UE provvede all'elaborazione dei dati, alla presentazione dei risultati in forma grafica, e all'archiviazione di dati, risultati e informazioni ausiliarie nella propria memoria di massa.

La periferica fa uso di una coppia di sode a ultrasuoni Ultrason mod. NCT-101: è stato scelto questo prodotto, poiché in questo modo si può fare a meno di un mezzo di accoppiamento [2].

Il modulo analogico è costituito da un dispositivo US Analyzer Panametrics UA5058 PR, in grado di pilotare la sonda emettente con sufficiente energia e di amplificare in maniera opportuna il segnale elettrico prodotto dalla sonda ricevente.

Modulo di conversione

Il modulo di conversione della periferica per ispezioni mediante ultrasuoni è stato scelto in seguito alla definizione di specifiche ricavate nelle fasi di progetto e sperimentazione.

Specifiche di MC

Nell'applicazione considerata, l'ispezione a ultrasuoni è fatta impiegando una coppia di trasduttori non a contatto Ultrason mod. NCT-101, con frequenza di risonanza $f_{ris} = 100$ kHz. Nel caso di trasmissione in aria, il segnale ha una durata di $\approx 130 \mu s$ (vedi figura 2) ed è ritardato rispetto all'impulso di eccitazione del tempo di volo $t_1 = \frac{s}{v}$, dove s è lo spessore del mezzo attraversato e v è la velocità di propagazione dell'onda ultrasonora nel mezzo.

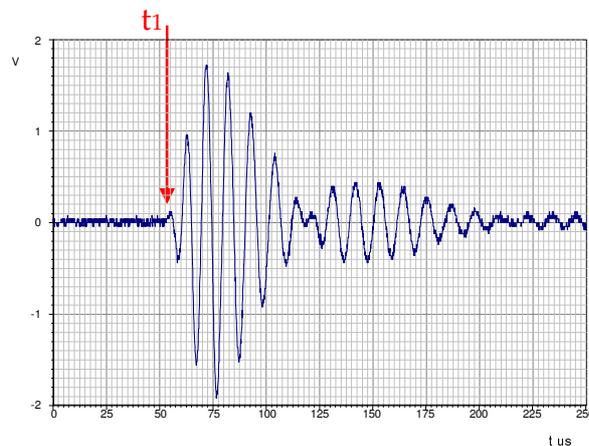


Figura 2. Risposta della sonda Ultrason mod. NCT-101 nel caso di trasmissione in aria.

Conversione A/D

Per una corretta conversione A/D il segnale analogico prodotto dalla sonda dev'essere campionato con la frequenza di campionamento $f_s > f_{ris}$, dove f_{ris} è la frequenza nominale di risonanza della sonda.

Inoltre, il segnale dev'essere campionato in una finestra temporale W_t , che inizia al tempo di eccitazione della sonda e ha una durata maggiore del tempo di volo t_1 . Nelle esperienze di laboratorio, il segnale è stato acquisito mediante un oscilloscopio digitale Tektronix TDS1012, dotato di una memoria tampone di 2500 byte. L'oscilloscopio è stato sincronizzato con l'impulso di comando dell'analizzatore US e sono state usate le impostazioni riportate in tabella 1.

base dei tempi	100 $\mu\text{s}/\text{div}$	50 $\mu\text{s}/\text{div}$
frequenza di campionamento	2.5 MHz	5 MHz
intervallo di campionamento	0.4 μs	0.2 μs
finestra temporale	1 ms	500 μs

Tabella 1. Impostazioni dell'oscilloscopio TDS1012.

Con queste impostazioni si acquisiscono correttamente i segnali ottenuti esaminando campioni lapidei con spessori sino ad alcune decine di centimetri: si è deciso quindi di impiegare un modulo di conversione in grado di eseguire il campionamento del segnale con frequenza di campionamento f_s compresa tra 2 e 5 MHz (e quindi intervallo di campionamento t_s compreso tra 0.2 e 0.4 μs).

Memoria tampone

La dimensione di una finestra temporale definita da m campioni è data da:

$$T_w = mt_s$$

con $m \leq 512 K$.

La figura 3 mostra la dimensione calcolata per i due valori estremi di t_s definiti in precedenza; per coprire l'intervallo di 1 ms sono necessari ≈ 6000 campioni per $t_s = 0.16 \mu\text{s}$ e 3000 campioni per $t_s = 0.32 \mu\text{s}$.

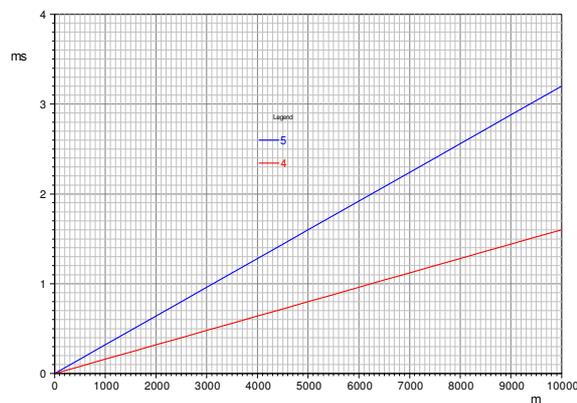


Figura 3. Dimensioni della finestra temporale di campionamento per $n = 4$ e $n = 5$.

Media delle misure

Quando il mezzo esaminato è dispersivo e assorbente, il segnale prodotto dalla sonda ricevente è affetto da un notevole rumore, e per ridurre il rapporto segnale/rumore è necessario ripetere le misure mantenendo le sonde nella stessa posizione ed eseguire la media dei vettori ottenuti. Questa operazione viene eseguita sull'Unità di elaborazione, nella quale viene predisposto un apposito buffer nel quale

il vettore ottenuto con la misura corrente viene sommato al contenuto già memorizzato.

Caratteristiche del dispositivo PicoScope 3205

Per realizzare il modulo di conversione della periferica si è scelto il dispositivo PicoScope 3205, prodotto da Pico Technology Ltd, St Neots UK.

Questo dispositivo possiede frequenza di campionamento, banda passante e capacità di memoria adatte per l'applicazione prevista, ed è dotato di un'interfaccia ad alta velocità USB per il collegamento ad un qualunque PC basato su Windows. La tabella 2 riporta le caratteristiche principali del dispositivo.

Canali	2 + trigger esterno
Modalità di campionamento segnali ripetitivi prova singola	5 GS/s 100 MS/s
Larghezza di banda	100 MHz
Dimensione buffer ₁	512 KS
Risoluzione	8 bit
Precisione tensione	±3%
Precisione base dei tempi	50 ppm
Basi dei tempi dell'oscilloscopio	da 2 ns a 50 s/div
Intervalli di frequenza	fino a 50 MHz
Intervalli di tensione	da ±100 mV a ±20 V
Impedenza d'ingresso	1 MΩ

Tabella 2. Caratteristiche del PicoScope 3205.

I dati contenuti nella memoria del dispositivo sono sincronizzati con un trigger selezionabile nelle modalità libero, auto, ripetizione e singolo, e si possono leggere i dati di campionamento sia dopo che prima del trigger.

Il dispositivo comprende anche un generatore di segnali, che può produrre un'onda sinusoidale, quadrata o triangolare a frequenza variabile, fino a 1 MHz, utilizzabile per il controllo e la sincronizzazione di apparecchi esterni.

Il PicoScope può essere controllato mediante il software PicoScope, ottenendo le prestazioni di oscilloscopio (con modalità XY), analizzatore di spettro e multimetro; nella nostra applicazione abbiamo usato i driver per Windows XP ed abbiamo sviluppato un applicativo che svolge le funzioni necessarie per l'acquisizione di dati nell'ispezione a ultrasuoni.

Frequenza di campionamento

La frequenza di campionamento del convertitore A/D del PicoScope è ricavata dall'orologio interno per successive divisioni per 2; si ha quindi (vedi figura 4):

$$f_s = \frac{100}{2^n} \text{MHz}$$

$$t_s = 2^n \times 0.01 \mu\text{s}$$

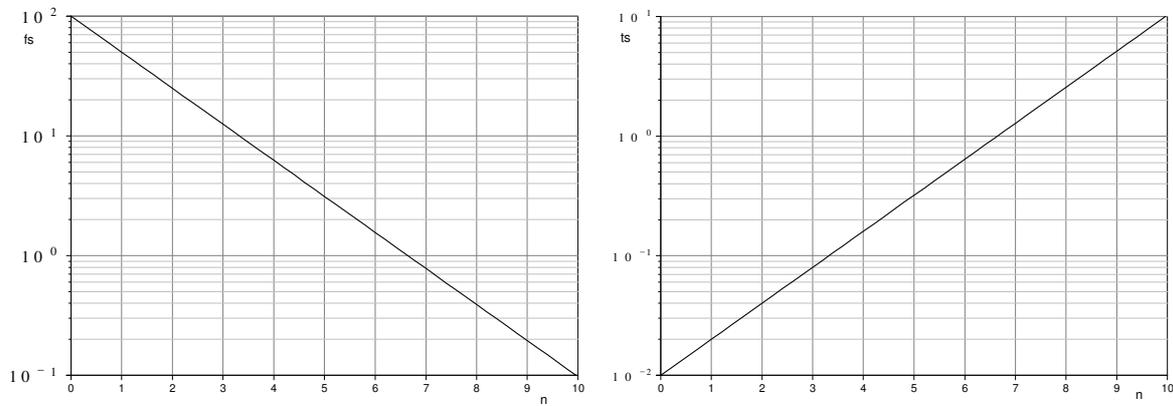


Figura 4. Frequenza di campionamento in MHz (a sinistra) e intervallo di campionamento in μs (a destra), in funzione dell'indice n .

Per ottenere valori simili a quelli delle specifiche, riportati in tabella 2, si deve porre $n = 4$ o 5 ; in questo caso si hanno i valori riportati in tabella 3.

Indice n	5	4
f_s	3.125 MHz	6.25 MHz
t_s	0.32 μs	0.16 μs

Tabella 3. Frequenza e intervallo di campionamento ottenuti con $n = 4$ e $n = 5$.

Procedura d'ispezione

L'applicazione in esame prevede lo spostamento manuale delle sonde nelle posizioni in cui eseguire le misure: la procedura è costituita da una fase preliminare di messa a punto ed una fase di misura.

Messa a punto

In questa fase, dopo aver sistemato le sonde sull'oggetto da esaminare, si imposta la frequenza di campionamento di MC in modo da ottenere un'ampia finestra temporale, in grado di contenere sia il segnale di primo transito, sia i segnali che hanno subito riflessioni multiple in corrispondenza tra le interfacce tra zone con differente impedenza acustica. Si regolano quindi i controlli di MA, aggiustando la tensione di eccitazione della sonda trasmittente, l'attenuazione, il guadagno e la banda del ricevitore in modo da ottenere un segnale d'uscita con ampiezza sufficiente. Si regola inoltre la cadenza del segnale di sincronismo generato da MC ed applicato a MA, in modo da eseguire le medie dei segnali di misura in tempi contenuti.

In questa fase si determinano quindi i parametri opportuni per l'acquisizione del segnale, riportati in tabella 4.

MA	MC
Ampiezza dell'impulso	Sensibilità
Attenuazione	Frequenza di campionamento
Guadagno	Finestra temporale
Preamplificatore	
Filtro HP	
Filtro LP	

Tabella 4. Impostazioni definite nella fase di messa a punto per il modulo analogico (MA) ed il modulo di conversione (MC).

Misura

In questa fase, dopo aver sistemato le sonde nella posizione d'ispezione si avvia il ciclo di misure ripetute per il calcolo della media. Al termine del ciclo si possono eseguire misure preliminari di tempo di volo e di ampiezza del segnale rappresentato sulla finestra grafica dell'unità di elaborazione e si archivia il vettore dei dati di misura per passare quindi alla misura successiva.

I parametri definiti nella fase di messa a punto rimangono validi per tutta la sessione di misure.

Descrizione del programma

Al momento dell'esecuzione del programma, viene controllato il corretto collegamento del PicoScope al PC. Se il dispositivo non risponde correttamente alla richiesta di collegamento, il programma visualizza l'avviso di errore riportato in Figura 5; dopo la risposta il programma termina, dando all'utilizzatore la possibilità di controllare il collegamento fisico tramite la porta USB.

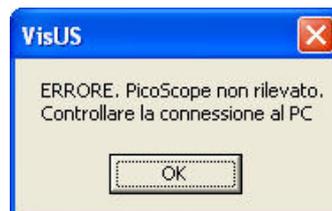


Figura 5. Avviso di mancato collegamento dell'oscilloscopio.

Se invece l'oscilloscopio risulta correttamente collegato, viene presentata la schermata principale del programma, mostrata in Figura 6.

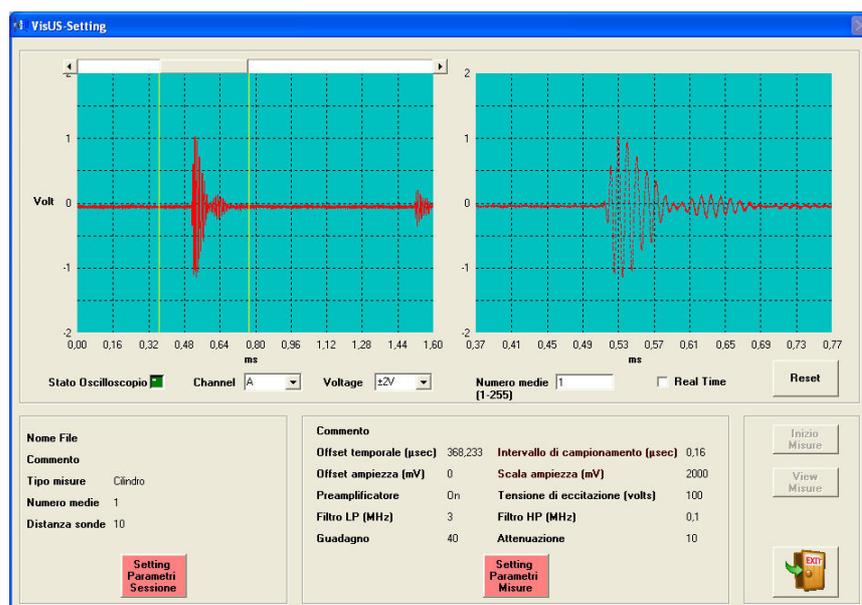


Figura 6. Schermata principale del programma.

Questa è composta dai quattro pannelli indicati in Figura 7.

Nella parte sinistra del pannello superiore viene mostrato il grafico del segnale rilevato dalle sonde, nella parte destra la porzione del segnale scelta per l'acquisizione.

Nei pannelli inferiori 2 e 3 sono riportati, da sinistra a destra, i parametri di setting della sessione di misura ed parametri per le singole misure; nel pannello 4 sono riportati i pulsanti per eseguire le operazioni abilitate al momento.

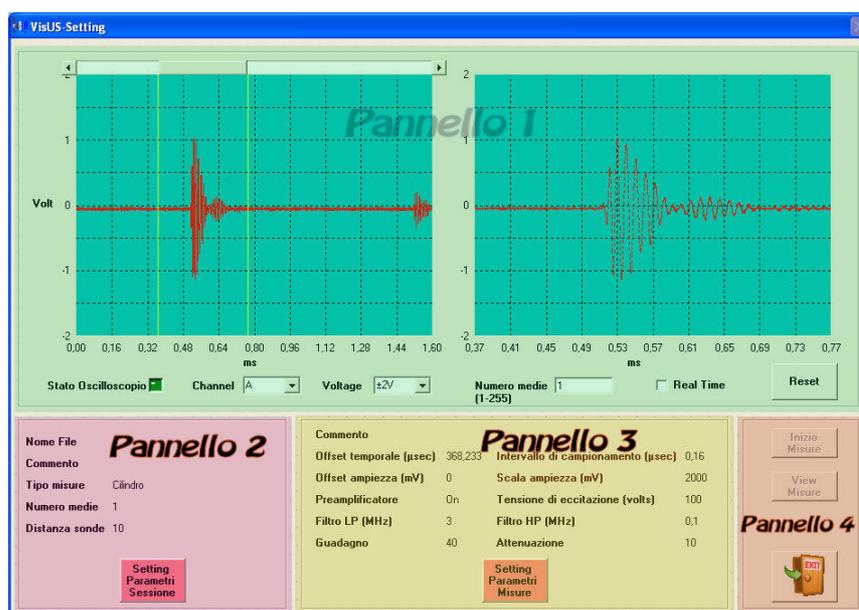


Figura 7. Pannelli componenti la schermata principale.

Pannello 1

Nel grafico a sinistra del pannello 1 è riportato il segnale rilevato dalle sonde a partire dal momento di sincronismo in un intervallo t_0 costituito da 10000 campioni. Tramite la barra di scorrimento orizzontale posta sopra al grafico è possibile selezionare un sottoinsieme di 2500 campioni che contestualmente viene riportato nel grafico a destra: si ha quindi uno zoom dell'intervallo di segnale acquisito, che verrà preso in considerazione per le successive fasi del programma.

Gli oggetti posti sotto i grafici servono a controllare lo stato dell'oscilloscopio (verde equivale ad acceso e funzionante, rosso rilevato un problema), il canale dell'oscilloscopio da cui si esegue l'acquisizione (A o B), il valore del fattore di scala con cui si acquisisce ed il numero di acquisizioni su cui eseguire la media.

Il parametro "Real Time" controlla la modalità di acquisizione: quando esso è settato viene visualizzato il segnale che le sonde stanno leggendo al momento, altrimenti il grafico visualizzato fa riferimento ad un'acquisizione di tipo "One shoot" avvenuta al momento dell'avvio o in seguito ad un successivo utilizzo del tasto **Reset**.

Quest'ultimo riporta i valori "Channel" e "Voltage" ai valori di default, che sono rispettivamente "A" e "± 2V"; inoltre effettua, con questi parametri, un'acquisizione di tipo "One shoot".

Pannello 2

In questo pannello sono riportati i valori di setting della sessione di misura.

Fino a quando non vengono impostati questi valori e quelli relativi al setting dei parametri di misura non viene abilitato il pulsante **Inizio Misure** presente nel pannello 4.

Tramite il pulsante **Setting Parametri Sessione**, che rimane di colore rosso fino a quando non sono settati tutti i parametri relativi alla sessione, è possibile visualizzare il form che permette l'introduzione di tali parametri (vedi Figura 8).



Figura 8. Form di setting dei parametri di sessione.

Tramite il pulsante **Sfoggia** viene aperto il form standard di Windows con il quale è possibile navigare all'interno del file-system del PC e conseguentemente impostare il nome del file ed il suo percorso all'interno del file-system su cui saranno memorizzati i dati acquisiti. Il formato del file di uscita segue le specifiche riportate nel seguito.

Il campo successivo è destinato a contenere un commento libero per descrivere la sessione di misura.

Con "Tipo Misure" si può specificare se ci si accinge ad effettuare misure su un piano o su un oggetto di tipo cilindrico.

Sono inoltre richiesti il "Numero medie" da effettuare per ogni misura (i dati di acquisizione sono calcolati facendo la media matematica sul numero specificato di singole letture) e la distanza cui sono poste le sonde di trasmissione e di ricezione.

Con il tasto **Annulla** è possibile annullare tutta la fase di input e tornare ai parametri impostati al momento dell'avvio del form; col tasto **Accetta** si convalidano i dati inseriti.

Pannello 3

In questo pannello sono riportati i valori di setting relativi alle misure.

Fino a quando non vengono impostati questi valori e quelli relativi al setting dei parametri di sessione (pannello 2) non viene abilitato il pulsante **Inizio Misure** presente nel pannello 4.

Tramite il pulsante **Setting Parametri Misure**, che rimane di colore rosso fino a quando non sono definiti tutti i parametri relativi al setting, è possibile visualizzare il form che permette l'introduzione di tali parametri (vedi Figura 9).

VisUS-Setting misure

Setting parametri misure

Commento (Max 30 car.)

Offset temporale μsec Intervallo di campionamento μsec

Offset ampiezza mV Scala ampiezza mV

Preamplificatore

Tensione di eccitazione volts

Filtro LP MHz Filtro HP MHz

Guadagno 40 dB 60 dB Attenuazione dB

I parametri in rosso sono obbligatori

Figura 9. Form di setting dei parametri delle misure.

Nel campo “Commento” è possibile inserire un testo libero di 30 caratteri per meglio caratterizzare le misure che si andranno ad eseguire: questa immissione è facoltativa e il campo può essere lasciato vuoto.

I parametri “Offset temporale”, “Intervallo di campionamento”, “Offset ampiezza” e “Scala ampiezza” vengono calcolati dal programma in base alla finestra del segnale che è stata selezionata utilizzando la barra di scorrimento orizzontale posta sopra al grafico di sinistra nel pannello 1.

Gli altri parametri devono essere impostati in modo che rispecchino i valori impostati manualmente sullo strumento che genera gli impulsi.

Con il tasto **Annulla** è possibile annullare tutta la fase di input e tornare ai parametri impostati al momento dell'avvio del form col tasto **Accetta** si convalidano i dati inseriti.

Pannello 4

In questo pannello sono presenti i pulsanti con cui iniziare le misure e, una volta effettuate, visualizzarle in un form opportuno.

Con il tasto **Exit** è possibile terminare il programma.

A questo punto la schermata principale del programma viene completata coi parametri inseriti e si ottiene la rappresentazione mostrata in Figura 10.

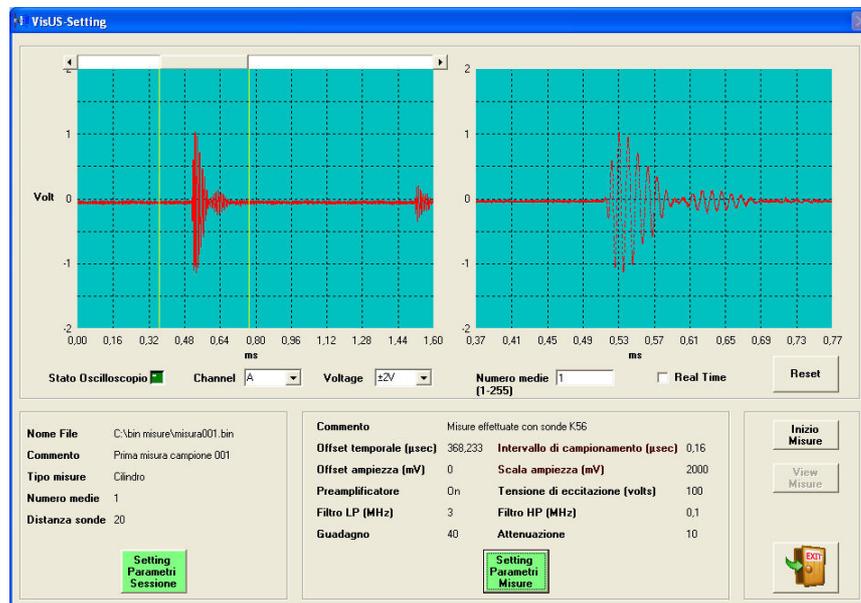


Figura 10- Schermata principale corredata dei parametri inseriti.

Se i parametri di setting della sessione e quelli della misura sono correttamente impostati viene abilitato l'uso del tasto **Inizio Misure**; utilizzando questo pulsante viene presentato il form di Figura 11 o quello di Figura 12, secondo l'impostazione del parametro "Tipo misura" presente nel form di setting di Figura 8.

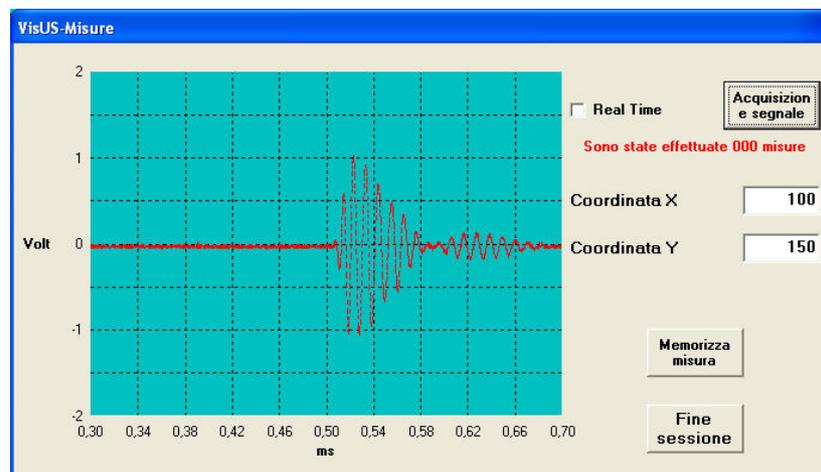


Figura 11. Form per misure su un piano.

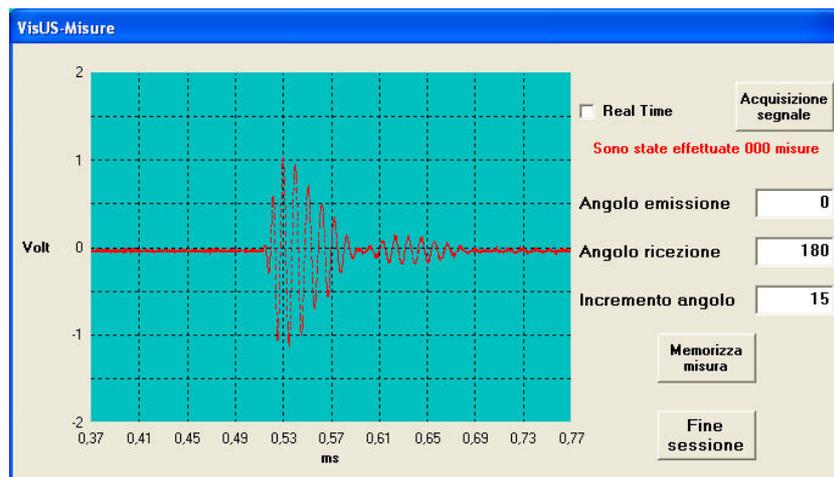


Figura 12. Form per misure su un cilindro.

I due form si differenziano per l'immissione delle coordinate in cui avviene la misura. Nel caso di misure su un piano vengono richieste le coordinate x ed y del punto da misurare, che definiscono la posizione delle sonde, e fino a quando non si immettono coordinate nuove non viene abilitato il tasto **Memorizza misura**. Nel caso di misure su un cilindro il programma aumenta in modo automatico sia l'angolo di emissione sia quello di ricezione del valore "Incremento angolo".

Se l'opzione "Real time" è attivata il segnale viene visualizzato in tempo reale, se l'opzione non è attivata è possibile visualizzare il segnale acquisito al momento tramite il pulsante **Acquisizione segnale**.

Al termine dell'acquisizione il programma mostra il grafico del segnale visualizzato ed abilitata il pulsante **Memorizza misura**, che ha lo scopo di convalidare i dati acquisiti e predisporre il form per una nuova acquisizione.

Una volta raggiunto il numero di acquisizioni che si ritiene opportuno è possibile utilizzare il tasto **Fine sessione** per poi confermare, tramite il form di Figura 13, la memorizzazione dei dati nel file specificato nel form di Figura 8.

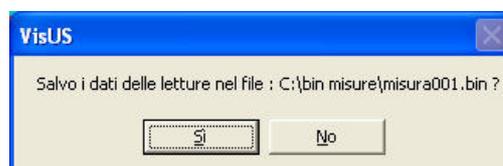


Figura 13. Richiesta conferma di memorizzazione dati acquisiti.

Terminata la fase di memorizzazione, il programma visualizza nuovamente il form principale abilita ora anche il tasto **View Misure**, come mostrato in Figura 14.

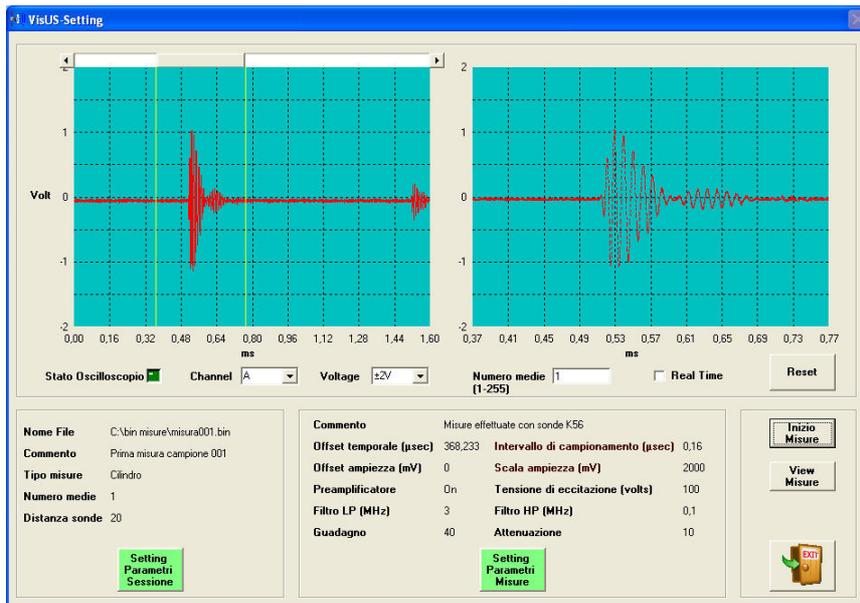


Figura 14. Schermata principale dopo l'esecuzione di misure.

Tramite questo pulsante è possibile visualizzare il form di Figura 15.

Tramite il selettore "Visualizzazione misure", l'utilizzatore può navigare tra le misure effettuate visualizzando i dati in formato grafico, corredati dai parametri di caratterizzazione della sessione e delle misure impostati con i pannelli di Figura 8 e di Figura 9.

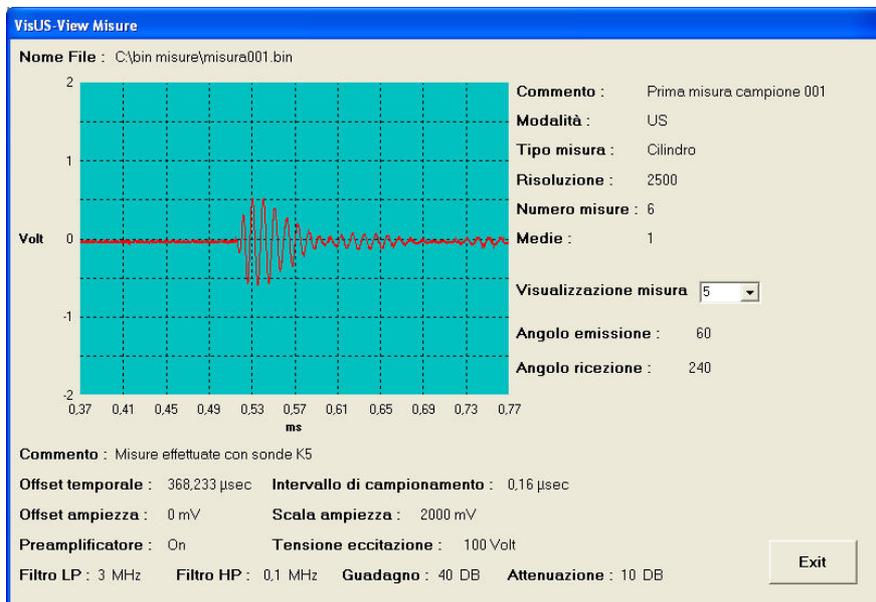


Figura 15. Form di visualizzazione delle misure effettuate.

All'uscita da questo form viene ripresentata la schermata principale di Figura 14, da cui è possibile iniziare una nuova sessione di misure oppure abbandonare il programma.

Formato dati d'uscita

I dati prodotti dal programma sono inseriti in un file secondo lo standard definito nel SIND.

La struttura prevede una parte che contiene le informazioni generali che caratterizzano i dati memorizzati; le informazioni sono codificate tramite un identificatore unico UID di due byte: il primo byte identifica il gruppo di appartenenza dell'informazione (GUID), mentre il successivo ne specifica il tipo (TUID).

Il primo gruppo di informazioni (GUID: 0) definisce la natura dei dati e le modalità con cui sono stati acquisiti; il secondo gruppo (GUID: 1) identifica le impostazioni degli strumenti impiegati per l'acquisizione; il terzo gruppo (GUID: 101) identifica il numero sequenziale della misura effettuata nella sessione (a partire da 1).

I dati di misura sono espressi su 2 Byte (con range -32767 a +32767) ; il numero dei dati è definito dal valore presente nel GUID 0 TUID 3.

La tabella 5 mostra la struttura dei dati.

GUID	TUID	Valore	Lunghezza
0	0	Commento	30 caratteri
	1	Modalità (US = Ultrasuoni)	2 caratteri
	2	Tipo misura (1 = Piano, 2 = Cilindro)	1 Byte
	3	Risoluzione (campioni per misura)	Integer 2 Byte
	4	Numero misure	Integer 2 Byte
	5	Medie	1 Byte
	6	Distanza sonde (cm)	1 Byte
1	0	Commento	30 caratteri
	1	Offset temporale (μ s)	Float single 4 Byte
	2	Intervallo di campionamento (μ s)	Float single 4 Byte
	3	Offset ampiezza	Integer 2 Byte
	4	Scala ampiezza	Integer 2 Byte
	5	Preamplificatore (0 = Off, 1 = On)	1 Byte
	6	Tensione di eccitazione (Volt)	Integer 2 Byte
	7	Filtro LP (MHz)	Float single 4 Byte
	8	Filtro HP (MHz)	Float single 4 Byte
	9	Guadagno (dB)	1 Byte
	10	Attenuazione (dB)	1 Byte
101		Coordinata x o Angolo di trasmissione 1	Integer 2 Byte
		Coordinata y o Angolo di ricezione 1	Integer 2 Byte
		Lunghezza dei dati che seguono in byte	Integer 2 Byte
	1	Dati della misura 1	Integer 2 Byte
		Dati della misura 1	Integer 2 Byte
		•••	
		Dati della misura 1	Integer 2 Byte
		Coordinata x o Angolo di trasmissione 2	Integer 2 Byte
		Coordinata y o Angolo di ricezione 2	Integer 2 Byte
		Lunghezza dei dati che seguono in byte	Integer 2 Byte
	2	Dati della misura 2	Integer 2 Byte
		Dati della misura 2	Integer 2 Byte
		•••	
		Dati della misura 2	Integer 2 Byte
	Coordinata x o Angolo di trasmissione N	Integer 2 Byte	
	Coordinata y o Angolo di ricezione N	Integer 2 Byte	
	Lunghezza dei dati che seguono in byte	Integer 2 Byte	
N	Dati della misura N	Integer 2 Byte	
	Dati della misura N	Integer 2 Byte	
	•••		
	Dati della misura N	Integer 2 Byte	

Tabella 6. Struttura file dei dati ottenuti col modulo di acquisizione US.

Riferimenti

- 1) M. Chimenti, E. Fantini: "SIND –Descrizione del sistema" ISTI-CNR, Nota Interna, aprile 2009.
- 2) E. Bozzi, M. Chimenti: "Valutazione delle prestazioni di differenti sonde per l'ispezione a ultrasuoni", ISTI-CNR, Nota Interna, gennaio 2007.