

“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

Procedura per l’analisi di segnali a ultrasuoni

Renzo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini

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

Sommario

Il lavoro descrive la funzionalità ed il modo d'impiego della procedura sviluppata per l'analisi di segnali ottenuti mediante l'ispezione puntuale di un campione mediante sonde a ultrasuoni.

La procedura costituisce un modulo software del sistema H/S SIND (Sistema per Ispezioni Non Distruttive, sviluppato nell'ambito del Progetto Strategico SP1a del CNR; la procedura è uno strumento offerto dal SIND per analizzare segnali acquisiti in precedenza impiegando altri moduli del sistema.

Abstract

The report describes the functionality and the use of a procedure, developed for the analysis of the signals obtained by discrete inspections of samples using ultrasound probes.

The described procedure is a software module of the H/S system SIND (System for Non-destructive Inspections), developed in the participation to the CNR Strategic Project SP1a; the procedure is a tool offered by the system for the analysis of the signals previously acquired using other SIND's modules.

Indice

Descrizione generale	4
Processo di analisi	4
Estrazione di parametri	4
Analisi di parametri	4
Processo di lettura	7
Struttura dati d'uscita	9
Descrizione operativa	10
Avvio del programma	10
Processo di Analisi di segnali	11
Informazioni d'ingresso	12
Parametri di elaborazione	13
Comando di esecuzione	13
Risultati numerici	13
Grafico dei segnali.....	13
Fase di Visualizzazione	17
Quantizzazione	17
Classificazione	18
Rappresentazione numerica dei risultati.....	19
Processo di Lettura di risultati	21

Descrizione generale

Il programma descritto costituisce un modulo della componente software del sistema per analisi non distruttive SIND: il programma è attivato mediante l'interfaccia utente del SIND, utilizzando l'icona *Procedure* nell'ambiente *Elaborazione segnali a Ultrasuoni*.

Il programma consente di trattare i segnali ottenuti dall'ispezione di un campione mediante sonde ad ultrasuoni, ed accetta i dati codificati secondo lo standard del sistema.

Il programma è costituito da due processi:

- analisi di segnali
- lettura dei risultati di una precedente analisi.

Processo di analisi

In questa modalità sono eseguiti due tipi di elaborazione:

- estrazione dei parametri di un singolo segnale
- analisi dei parametri estratti da più segnali.

Estrazione di parametri

In questo caso, il segnale ottenuto in una posizione d'ispezione viene elaborato per estrarne i parametri caratteristici, consistenti in:

- tempo di volo (in μs) = tempo tra la generazione del segnale ed il superamento della soglia da parte del segnale ricevuto
- velocità (in $\mu\text{s}/\text{cm}$) = tempo di volo / distanza tra le sonde
- valore di Picco-Picco (in mV) = ampiezza massima del segnale ricevuto
- pendenza (in $\text{mV}/\mu\text{s}$) = pendenza della retta individuata dai punti in corrispondenza del superamento della soglia e del massimo valore del segnale.

Analisi di parametri

In questo caso il programma esegue il confronto tra i parametri Ampiezza e Velocità ricavati dai segnali ottenuti in differenti posizioni d'ispezione, al fine di determinare eventuali differenze tra i valori che possono essere associate ad anomalie nella struttura esaminata. Per esempio, la presenza di un'anomalia che intercetta parzialmente il fascio US lascia inalterato il tempo di volo del segnale misurato e ne riduce l'ampiezza (valore massimo del segnale, valore picco-picco e energia); la presenza di un'anomalia che intercetta completamente il fascio può annullare completamente il segnale, oppure può introdurre un aumento del tempo di volo quando la sonda ricevente è eccitata da un'onda che si è propagata lungo un percorso con lunghezza maggiore della minima distanza tra le sonde.

Per ciascun parametro si considerano gli insiemi determinati dai segnali presi in esame e si compiono operazioni di quantizzazione e di classificazione.

Quantizzazione

In questo caso, dato un insieme di valori, si definiscono 2 soglie, e conseguentemente 3 livelli di quantizzazione, in base ai seguenti criteri.

Ampiezza A	livello
$A_m > A \geq B$	1
$B > A > C$	2
$A \leq C$	3

dove:

$$A_m = \max [\text{Valore di Picco-Picco}]$$

$$B = \text{Soglia1} = A_m \times 0.4$$

$$C = \text{Soglia2} = A_m \times 0.2$$

Velocità V	livello
$V_m > V \geq B$	1
$B > V > C$	2
$V \leq C$	3

dove:

$$V_m = \max [\text{Velocità}]$$

$$B = \text{Soglia1} = V_m \times 0.8$$

$$C = \text{Soglia2} = V_m \times 0.4$$

Classificazione

In questo caso, dato l'insieme di valori relativo ad uno dei due parametri, il programma calcola il valore medio μ e la deviazione standard σ ed esegue una classificazione in base al seguente criterio.

Parametro P	classe
$\mu-1.5\sigma \leq P \leq \mu+1.5\sigma$	1
$\mu-1.5\sigma > P \geq \mu-2\sigma$	2
$\mu+2\sigma \geq P > \mu+1.5\sigma$	2
$P < \mu-2\sigma$	3
$P > \mu+2\sigma$	3

Si definisce inoltre il parametro Percorso, corrispondente al percorso dell'onda ultrasonora all'interno del materiale esaminato, determinato dalle posizioni delle sonde. Questo parametro viene classificato in base alle classi di assegnazione dei due parametri precedenti, adottando il seguente criterio.

Ampiezza	Velocità	Percorso
1	1	1
2	2	2
3	3	3
1	2	2
1	3	3
2	1	2
2	3	3
3	1	3
3	2	3

Il programma fornisce due rappresentazioni grafiche, il diagramma di quantizzazione e il diagramma di classificazione, che sono costituiti da un grafico con linee corrispondenti alle differenti posizioni di misura dei segnali esaminati: le linee sono colorate in base al risultato della quantizzazione o della classificazione col seguente criterio:

livello/ classe	colore
1	Verde
2	Giallo
3	Rosso

Il programma fornisce inoltre una tabella dei risultati, che riporta i valori numerici dei parametri ricavati dall'analisi di ciascun segnale e della classificazione dei segnali.

Processo di lettura

In questa modalità il programma consente di selezionare file già elaborati e di ottenere le rappresentazioni numeriche o grafiche dei risultati.

La figura 1 mostra il diagramma di flusso del programma.

I processi di *Analisi* e *Lettura* hanno in comune la fase di Visualizzazione (Display): nel primo caso, questa fase consente di avere rappresentazioni numeriche e grafiche dei risultati correnti, nel secondo caso questa fase consente di avere le rappresentazioni dei risultati delle precedenti analisi. Per comodità si descrive l'interfaccia utente della fase di visualizzazione una sola volta.

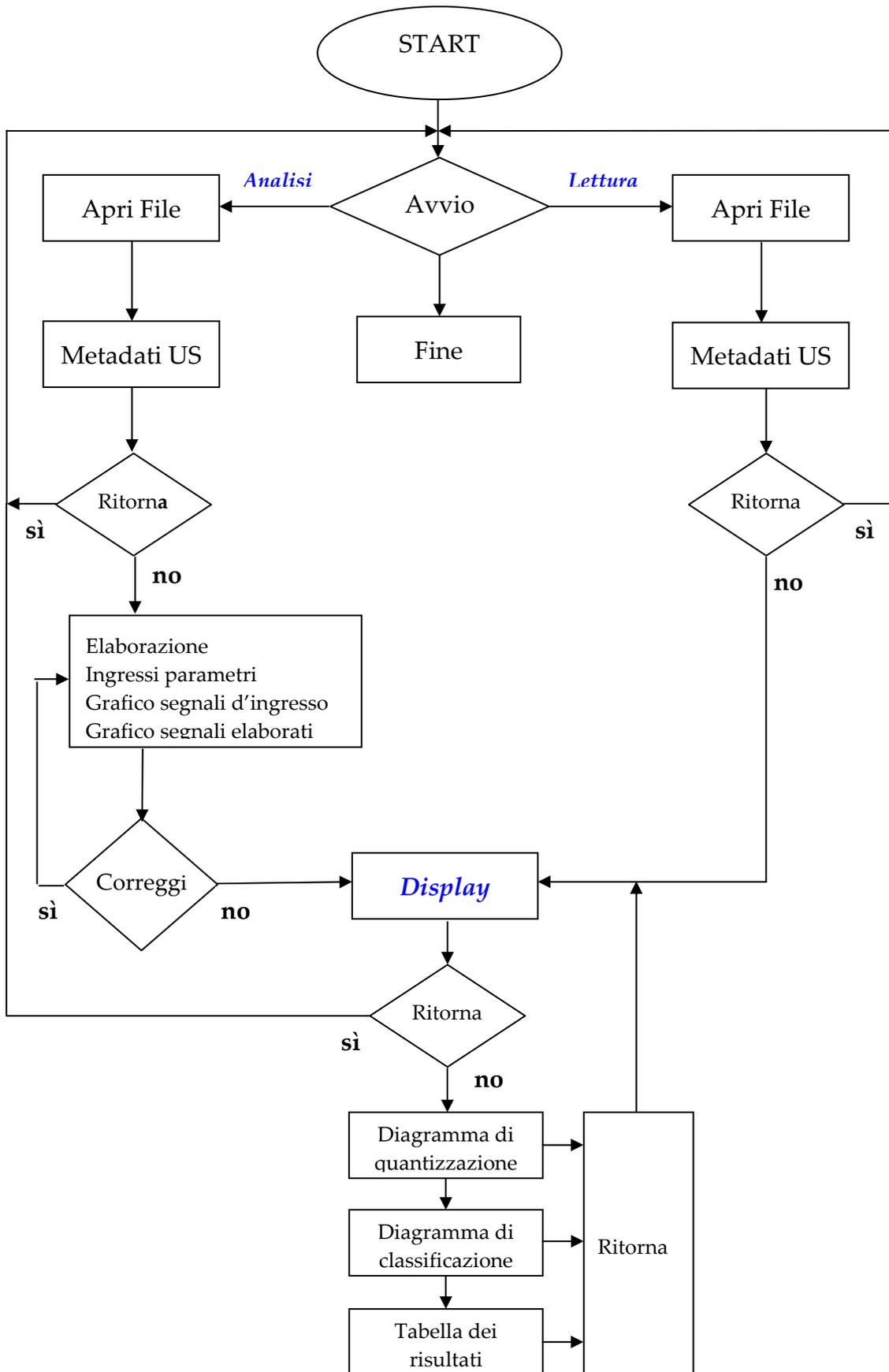


Figura 1. Diagramma di flusso del programma.

Struttura dati d'uscita

Il programma salva le informazioni della sessione ed i risultati delle elaborazioni, accodandoli alla fine del file di input aperto all'inizio.

La struttura è costituita da una testata, da un campo contenente informazioni ausiliarie relative all'acquisizione dei segnali, da un campo coi parametri di elaborazione, e da un campo coi risultati ottenuti per ciascuna misura elaborata.

		Byte
<i>Testata</i>	Guid = 231	1
	Tuid = 0	1
	Lunghezza dei dati seguenti	2
<i>Informazioni ausiliarie</i>	Giorno dell'elaborazione	10
	Ora dell'elaborazione	8
	Tipo Misura	1
	Numero Misure	2
<i>Parametri</i>	Inizio Finestra di Apprendimento	2
	Lunghezza Finestra di Apprendimento	2
	Inizio Finestra di Elaborazione	2
	Lunghezza Finestra di Elaborazione	2
	Coefficiente di Standard Deviation	4
<i>Risultati</i>	Misura 1	4
	X/A.Ems coordinata o Angolo di trasmissione	2
	Y/A.Ric coordinata y o Angolo di ricezione	2
	Soglia di elaborazione	4
	Tempo Volo	4
	Velocità	4
	PiccoPicco	4
	Pendenza	4
	ClassPP classe del parametro Ampiezza	2
	ClassVel classe del parametro Velocità	2
	ClassPerc classe del parametro Percorso	2
	Misura 2	4
	
	Misura N	4

Descrizione operativa

In questa sezione si descrivono le finestre presentate dall'interfaccia utente nelle varie fasi dell'esecuzione.

Avvio del programma

All'avvio del programma si ottiene la finestra mostrata in figura 2.



Figura 2. Finestra di Avvio esecuzione.

Mediante il corrispondente tasto di comando l'utente avvia uno dei processi descritti in precedenza. Nel processo di Analisi di Segnali si ricavano i parametri caratteristici di un segnale e si esegue la quantizzazione e la classificazione degli insiemi di parametri ricavati da più segnali; nel processo di Lettura Risultati si ottiene la rappresentazione numerica o grafica dei risultati di analisi già eseguite.

Processo di Analisi di segnali

Analisi di Segnali

Questo comando fa comparire la finestra mostrata in figura 3, che consente di selezionare il file contenente l'insieme di segnali da analizzare.

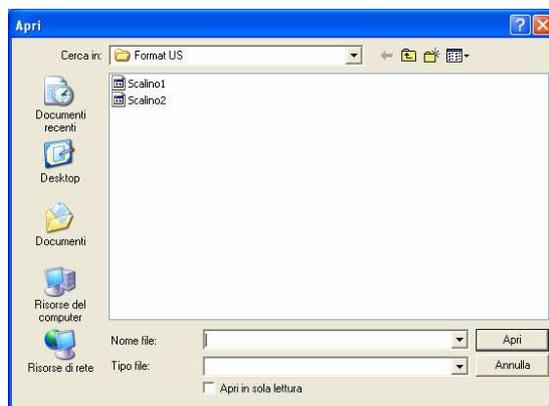


Figura 3. Finestra di apertura file.

Dopo la selezione il programma genera la finestra mostrata in figura 4, che presenta le informazioni relative al file aperto e le specifiche di acquisizione dei segnali che vi sono contenuti (Metadati US).

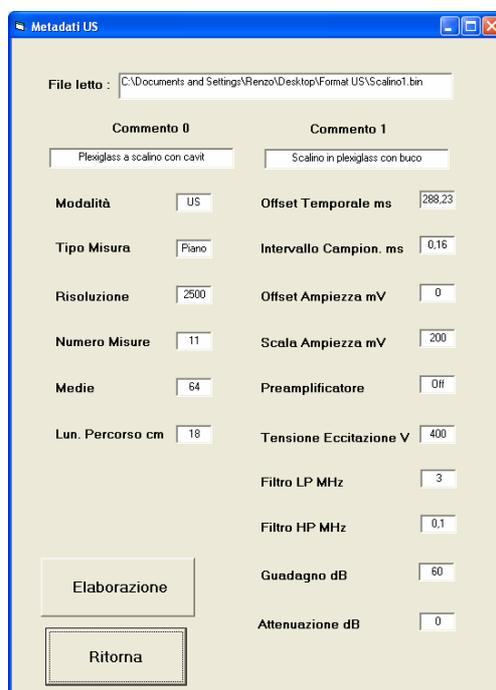


Figura 4. Finestra dei Metadati US.

Ritorna

Questo comando riporta alla finestra di avvio.

Elaborazione

Questo comando fa passare alla fase successiva e mostra la finestra di figura 5.

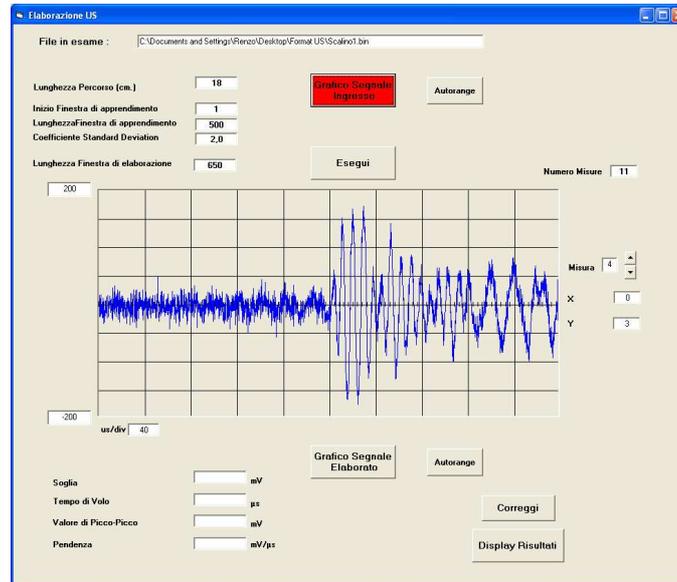


Figura 5. Finestra di Elaborazione US.

Questa finestra contiene differenti campi per la rappresentazione delle informazioni d'ingresso, del grafico dei segnali e dei risultati dell'analisi di un segnale.

Informazioni d'ingresso

File in esame : C:\Documents and Settings\Renzo\Desktop\Format US\Scalino1.bin

Questo campo mostra il percorso del file aperto nell'azione precedente.

Numero Misure 11

Questo campo riporta il numero dei segnali di misura contenuti nel file aperto.

Misura 8
X 70
Y 70

Questo campo permette di selezionare mediante le frecce di scorrimento uno dei segnali del file e ne visualizza nelle sottostanti caselle le coordinate che specificano la posizione d'ispezione del campione. Nel caso d'ispezione di oggetti piani sono riportate le coordinate x, y dell'asse delle sonde; nel caso d'ispezione di oggetti a

sezione circolare sono riportati gli angoli d'incidenza delle sonde di trasmissione e di ricezione.

Parametri di elaborazione

Lunghezza Percorso (cm.)	<input type="text" value="18"/>
Inizio Finestra di apprendimento	<input type="text" value="1"/>
Lunghezza Finestra di apprendimento	<input type="text" value="500"/>
Coefficiente Standard Deviation	<input type="text" value="2.0"/>
Lunghezza Finestra di elaborazione	<input type="text" value="650"/>

In questo campo l'utente inserisce i parametri di controllo per l'elaborazione del segnale.

Comando di esecuzione

Questo tasto avvia l'analisi del segnale di misura selezionato; al termine compare il messaggio



Risultati numerici

Soglia	<input type="text" value="-7.5"/>	mV
Tempo di Volo	<input type="text" value="181.1"/>	μ s
Valore di Picco-Picco	<input type="text" value="106.3"/>	mV
Pendenza	<input type="text" value="1."/>	mV/ μ s

Nell'area dei risultati sono visualizzati i valori numerici dei parametri in base alle definizioni descritte in precedenza.

Grafico dei segnali

L'area grafica della finestra mostra sia i segnali d'ingresso contenuti nel file, sia i segnali dopo l'analisi; la selezione è fatta mediante due pulsanti.

Questo tasto azzerà l'area dei risultati numerici e attiva la visualizzazione del segnale d'ingresso selezionato (vedi figura 6), colora in rosso il tasto **Grafico Segnale Ingresso** e riporta al colore originale il tasto **Grafico Segnale Elaborato**.

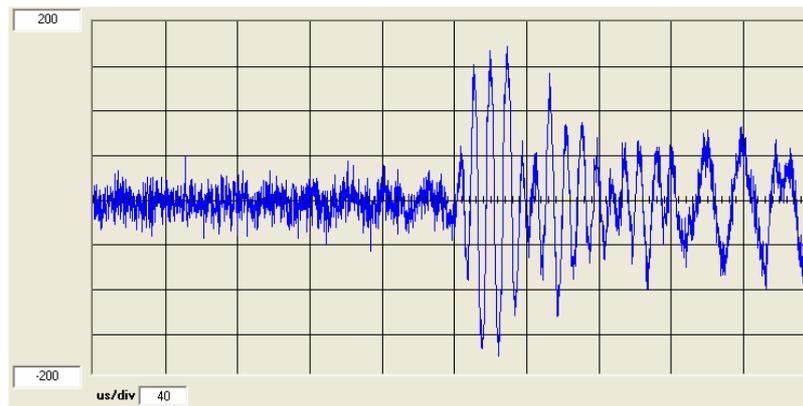


Figura 6. Grafico del segnale d'ingresso.

Grafico Segnale Elaborato

Questo tasto attiva la visualizzazione del segnali elaborato (vedi figura 7), colora in rosso il pulsante **Grafico Segnale Elaborato** e riporta al colore originale il pulsante **Grafico Segnale Ingresso**.

La parte di grafico colorata in rosso mostra la finestra di elaborazione impiegata dal programma: l'inizio della finestra è ricavato automaticamente sul segnale d'ingresso in base al valore di Coefficiente Standard Deviation impostato dall'utente, la lunghezza della finestra è definita dal valore impostato dall'utente.

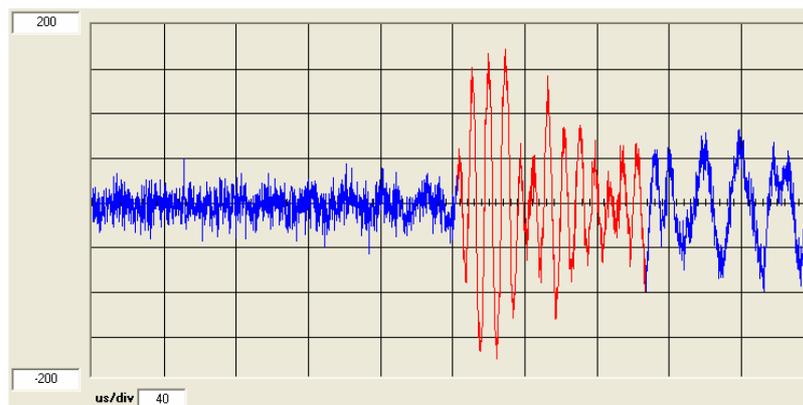


Figura 7. Grafico del segnale elaborato.

Il comando **Grafico Segnale Elaborato** ha senso solo dopo aver eseguito il comando **Esegui**; la mancata preventiva esecuzione fa sì che venga visualizzato il grafico del segnale in ingresso.

Autorange

La scala verticale del grafico è predefinita; mediante il tasto **Autorange** la scala è riportata agli estremi minimo e massimo del segnale corrente (vedi figura 8).

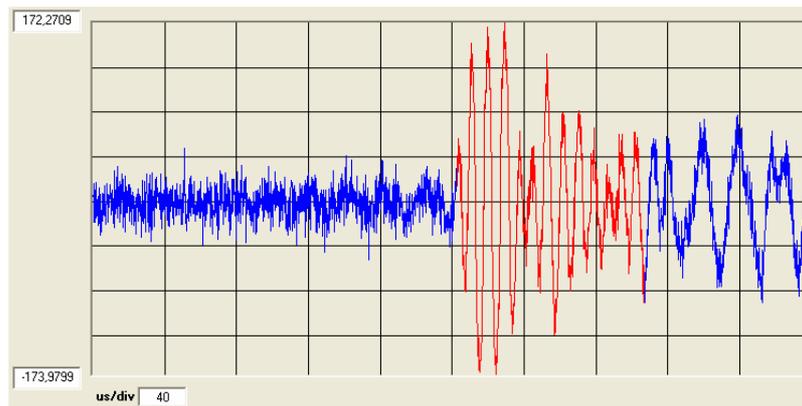


Figura 8. Grafico del segnale di figura 7 in rappresentazione Autorange.

Correggi

Questo tasto permette di definire in modo manuale l'inizio della finestra di elaborazione ed eseguire una nuova elaborazione del segnale corrente. Si ottiene la finestra mostrata in figura 9, con un campo per l'inserimento del valore.

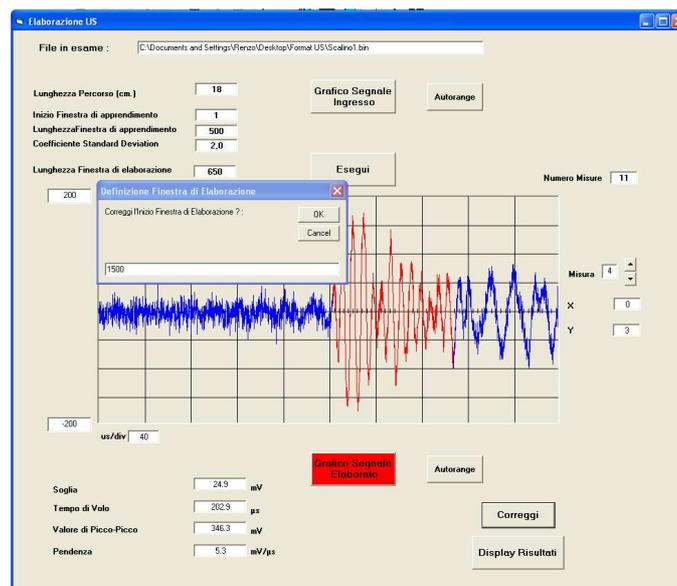


Figura 9. Finestra di Elaborazione US dopo l'attivazione del tasto Correggi.

Alla fine dell'elaborazione viene mostrato il messaggio  e si ha la finestra coi nuovi risultati (vedi figura 10).

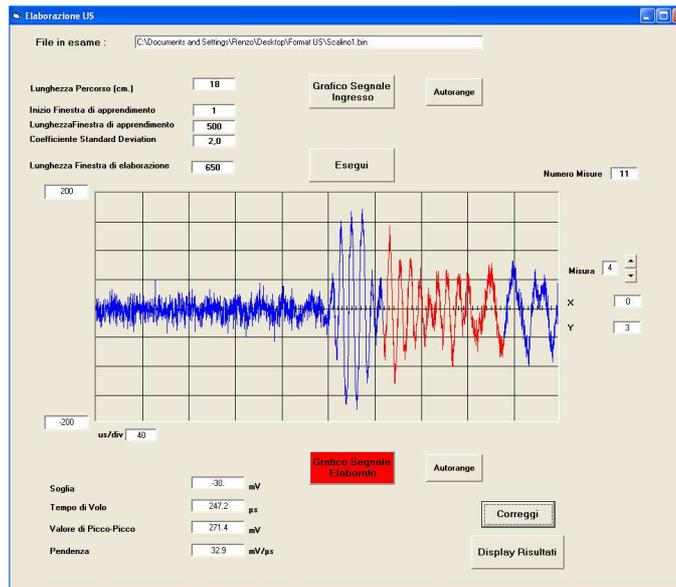


Figura 10. Finestra di Elaborazione US in seguito alla correzione manuale dell'inizio della finestra di elaborazione

Display Risultati

Questo comando conclude la fase di analisi e invia alla fase di visualizzazione dei risultati, di cui parleremo in seguito.

Fase di Visualizzazione

La fase di visualizzazione dei risultati (*Display*) provvede all'elaborazione degli insiemi di parametri e alla rappresentazione numerica o grafica dei risultati.

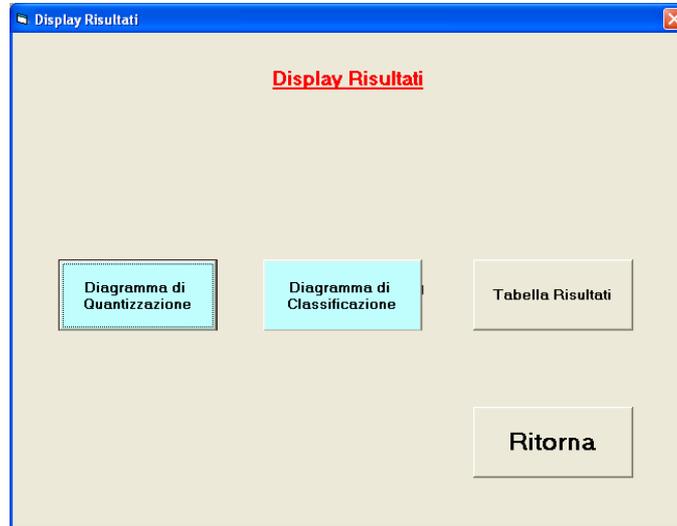


Figura 11. Finestra iniziale della fase di visualizzazione dei risultati.

La fase inizia con la finestra mostrata in figura 11, che contiene i pulsanti per tre opzioni:

- quantizzazione
- classificazione
- rappresentazione numerica dei risultati.

Quantizzazione



Con questo pulsante si attiva la finestra mostrata in figura 12. Il tipo di parametro da elaborare è selezionato nell'apposita finestra.



Questo comando attiva l'elaborazione dell'insieme selezionato e la rappresentazione grafica dei risultati.

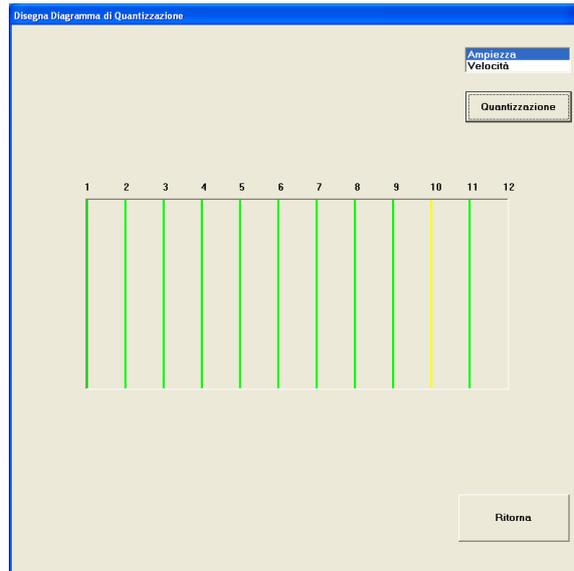


Figura 12. Opzione di quantizzazione.

Ritorna

Questo comando provoca il ritorno alla finestra del livello precedente.

Classificazione

Diagramma di
Classificazione

Con questo pulsante si attiva la finestra mostrata in figura 13. Il tipo di parametro è selezionato nell'apposita finestra.

Classificazione

Questo comando attiva l'elaborazione dell'insieme selezionato e la rappresentazione grafica dei risultati.

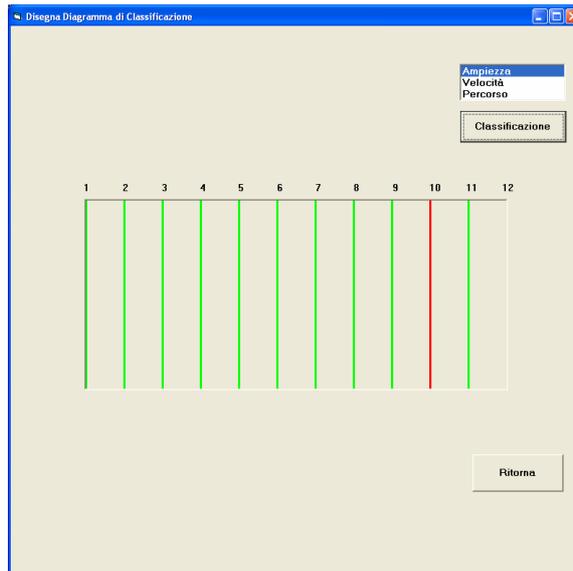


Figura 13. Opzione di classificazione.

Alla fine di questa opzione si salvano i risultati di tutta l'elaborazione, accodandoli secondo la struttura di uscita vista in precedenza, nel file aperto all'inizio.

Se si accede direttamente a questo comando senza passare dall'opzione di quantizzazione si ha il messaggio di errore , in quanto le soglie di classificazione sono calcolate insieme alle soglie di quantizzazione.



Questo comando provoca il ritorno alla finestra del livello precedente.

Rappresentazione numerica dei risultati.



Con questo pulsante si attiva la finestra mostrata in figura 14, che riporta i metadati contenuti nel file d'ingresso, le impostazioni di elaborazione ed i risultati per ciascun segnale selezionato.

I parametri di un singolo segnale sono mostrati nella tabella e inseriti nel file d'uscita ogni volta che viene premuto il tasto **Esegui** nella Finestra di Elaborazione US; i parametri di classificazione (PP, Vel e Perc) sono memorizzati dopo la corrispondente selezione nella finestra Opzione di Classificazione e l'attivazione del tasto **Classificazione**.

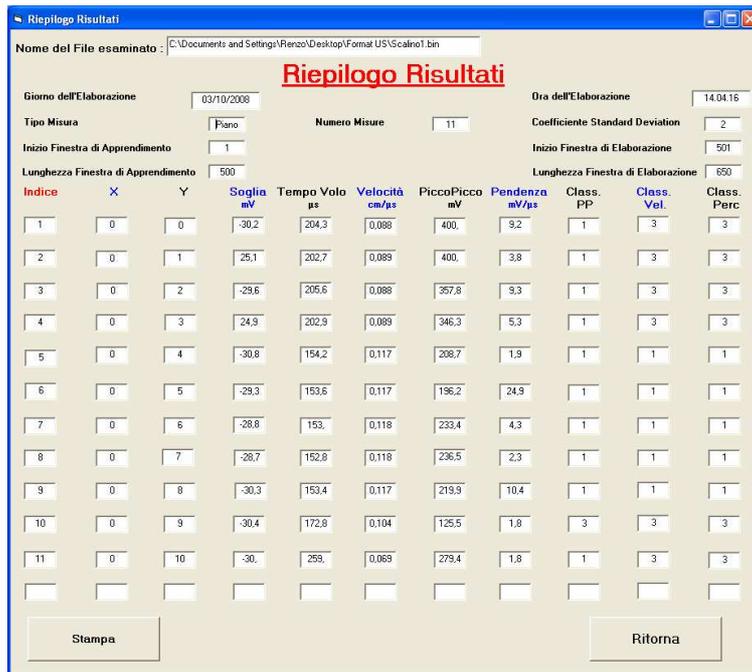


Figura 14. Finestra di riepilogo.

Mediante il comando stampa è possibile ottenere, sulla stampante predefinita, la stampa dei risultati (vedi Figura 15).

Giorno dell'Elaborazione = 03/10/2008					Ora dell'Elaborazione = 14.04.16					
Tipo Misura = Piano			Numero Misure = 11		Coefficiente Standard Deviation = 2					
Inizio Finestra di Apprendimento = 1					Inizio Finestra di Elaborazione = 501					
Lunghezza Finestra di Apprendimento = 500					Lunghezza Finestra di Elaborazione = 650					

I	X	Y	SOGLIA	T.VOLO	VELOCITA'	PP	PEND	C-PP	C-V	C-PERC
1	0	0	-30.2	204.3	0.088	400.	9.2	1	3	3
2	0	1	-25.1	202.7	0.089	400.	3.8	1	3	3
3	0	2	-29.6	205.6	0.088	357.8	9.3	1	3	3
4	0	3	-24.9	202.9	0.089	346.3	5.3	1	3	3
5	0	4	-30.8	154.2	0.117	208.7	1.9	1	1	1
6	0	5	-29.3	153.6	0.117	196.2	24.9	1	1	1
7	0	6	-28.8	153.	0.118	233.4	4.3	1	1	1
8	0	7	-28.7	152.8	0.118	236.5	2.3	1	1	1
9	0	8	-30.3	153.4	0.117	219.9	10.4	1	1	1
10	0	9	-30.4	172.8	0.104	125.5	1.8	3	3	3
11	0	10	-30.	259.	0.069	279.4	1.8	1	3	3

Figura 15. Stampa dei risultati.

Ritorna

Questo comando trasferisce il controllo del programma alla finestra di avvio.

Processo di Lettura di risultati

In seguito alla selezione del comando Lettura Risultati sulla finestra d'avvio si ottiene la finestra mostrata in Figura 16, che consente di selezionare il file da consultare.

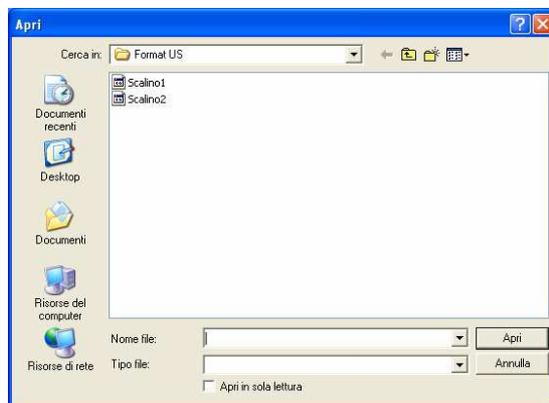


Figura 16. Finestra di apertura file.

Dopo la selezione il programma presenta la finestra mostrata in figura 17.



Figura 17 Finestra Metadati MW di un file già elaborato.

La finestra riporta in differenti campi i commenti e le informazioni relative alle specifiche di acquisizione dei segnali. La finestra contiene inoltre il campo **Date dei Risultati**, che mostra le date in cui il file selezionato è stato elaborato.

Se viene selezionato un file che non è mai stato elaborato, come in Figura 18, non vengono rappresentati né il campo **Date dei Risultati**, né il comando **Display**.

Commento 0		Commento 1	
Plexiglass a scalino con cavit		Scalino in plexiglass con buco	
Modalità	US	Offset Temporale ms	288,23
Tipo Misura	Piano	Intervallo Campion. ms	0,16
Risoluzione	2500	Offset Ampiezza mV	0
Numero Misure	11	Scala Ampiezza mV	200
Medie	64	Preamplificatore	Off
Lun. Percorso cm	18	Tensione Eccitazione V	400
		Filtro LP MHz	3
		Filtro HP MHz	0,1
		Guadagno dB	60
		Attenuazione dB	0

Ritorna

Figura 18 Finestra Metadati MW di un file non elaborato.

Con la selezione nel campo **Date dei Risultati** e l'attivazione del comando **Display** si passa alla fase di visualizzazione dei risultati, descritta in precedenza.

Però, mentre le funzionalità delle opzioni quantizzazione e rappresentazione numerica dei risultati rimangono inalterate, quando di attiva l'opzione classificazione non viene eseguito nessun calcolo poiché i parametri sono già presenti nel file aperto.

Inoltre, in questo processo si ha il display grafico e non si ha la scrittura dei risultati nel file.



Con questo comando si torna alla finestra di avvio.