

# Capitolo 4

## Sistema di Acquisizione

Scheda di Acquisizione NI-PXI4472 – Idrofoni BENTHOS e RESON4042

Programma di Acquisizione LabVIEW

La realizzazione di un sistema di acquisizione per misure acustiche prevede due fasi: la scelta dei dispositivi di acquisizione (scheda di acquisizione e idrofoni), e la scrittura di un programma di acquisizione, per la comunicazione con la scheda e per l'elaborazione dei dati. Il Capitolo 3 descrive il sistema di acquisizione utilizzato nell'ambito del presente lavoro di tesi. Si mettono in evidenza le caratteristiche dei dispositivi utilizzati e le motivazioni che ne hanno promosso la scelta. Si descrive, inoltre, schematicamente, il programma di acquisizione.

Per lo svolgimento di misure acustiche è necessario disporre di idrofoni, ossia di sensori, progettati per funzionare sott'acqua, in grado di convertire il segnale di pressione in un segnale di tensione. Ciò è possibile, per gli idrofoni comunemente disponibili in commercio, con l'utilizzo di cristalli piezoelettrici. Si tratta di materiali che, sottoposti a una sollecitazione meccanica (segnale di pressione), subiscono una deformazione che genera una polarizzazione elettrica misurabile. Il segnale di tensione prodotto dal trasduttore (idrofono), dopo essere stato opportunamente amplificato, deve essere campionato e digitalizzato. Questa funzione è svolta dalla scheda di acquisizione, la cui scelta dipende dalle caratteristiche del segnale da misurare. I dati acquisiti dalla scheda sono successivamente disponibili per l'elaborazione e l'analisi.

Per le misure svolte nel corso del presente lavoro di tesi è stata scelta una scheda di acquisizione di produzione NI - National Instrument (<http://www.ni.com/>); gli idrofoni utilizzati sono di marca RESON (<http://www.reson.com/>) e BENTHOS (<http://www.benthos.com/>).

Le specifiche di tutti i dispositivi presentati in questo capitolo sono disponibili consultando i siti internet delle case produttrici e sono raccolte in Appendice 1.

La Figura 4.1 mostra il telaio NI-PXI 1002, per l'alloggiamento delle schede. Lo standard di trasmissione dati per questa famiglia di prodotti NI è su bus PXI. Lo chassis scelto può ospitare fino a 4 schede ed è compatibile con tutti i dispositivi NI-PXI. Il primo alloggiamento (slot 1) è utilizzato per posizionare la scheda NI-PXI 8176 (Figura 4.2); sulla scheda è montato un processore Pentium III. Il secondo alloggiamento (slot 2) è occupato dalla scheda di acquisizione; è stato scelto il modello NI-PXI 4472, mostrato in Figura 4.3. La scelta è motivata dal fatto che le caratteristiche della scheda sono tali da rendere il prodotto adatto per la misura dei segnali acustici aspettati. Le principali caratteristiche della scheda NI-PXI 4472 sono elencate nel seguito:

- ✓ 8 canali di ingresso (analog input) + un canale per il segnale di trigger (external trigger);
- ✓ risoluzione: 24-bit;
- ✓ massima frequenza di campionamento:  $v_{C\ MAX} = 102.4\ \text{KSamples/s}$  (numero di campioni acquisiti in un secondo);
- ✓ filtro anti-alias fino alla frequenza  $v^* = 45\ \text{KHz}^1$

La scheda funziona con sistema operativo Windows ed è compatibile con il software *LabVIEW*, sempre di produzione NI. La programmazione attraverso software *LabVIEW* permette operazioni “real time”.

---

<sup>1</sup> Come si vede dalle caratteristiche elencate, la scheda rappresenta la scelta ottimale per l'acquisizione di segnali il cui spettro si estenda non oltre il valore di 40-50 KHz. In realtà, come sarà mostrato nel Capitolo 6, relativamente alle misure svolte a ITEP, si trova che, misurando il segnale prodotto dall'interazione di protoni in acqua a una distanza di circa 10 cm dalla sorgente acustica, lo spettro si estende oltre il valore massimo indicato. Per questo motivo, nel caso in cui si dovessero ripetere le misure in una vasca di piccole dimensioni, si consiglia di utilizzare una scheda con frequenza di campionamento maggiore, eventualmente riducendo la risoluzione.



**Figura 4.1** 4-slot chassis NI PXI – 1002. Nella figura sono evidenziate le dimensioni dell'oggetto.



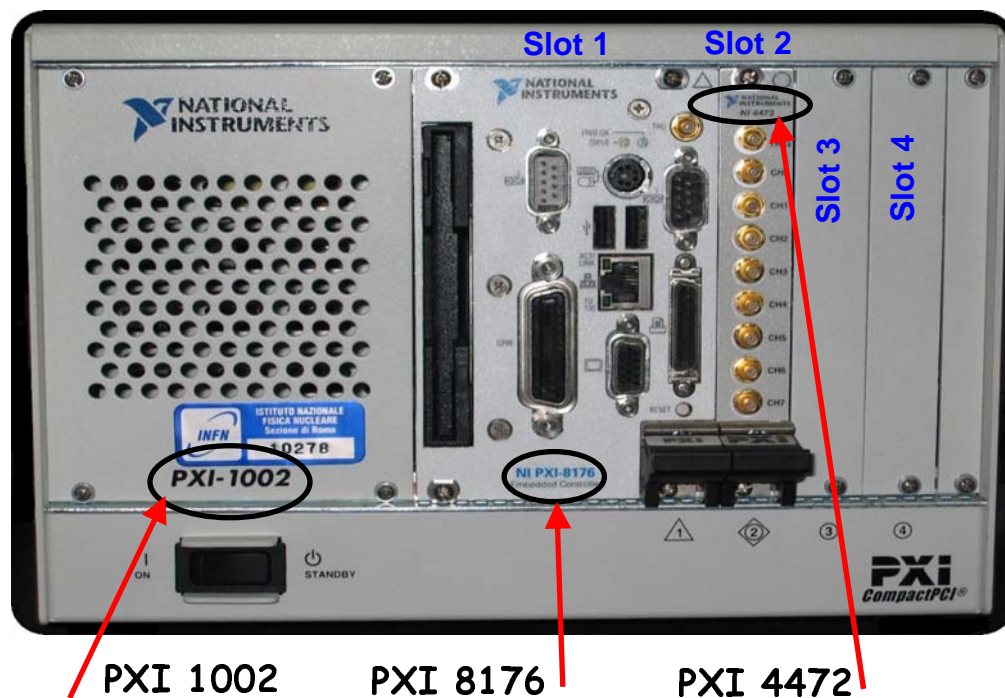
**Figura 4.2** NI PXI – 8176. Intel Pentium III Processor.



**Figura 4.3** Scheda di Acquisizione NI PXI – 4472.

La Figura 4.4 è una fotografia del sistema di acquisizione completo, utilizzato per le misure acustiche descritte nel presente lavoro di tesi. Come mostrato in figura, sono disponibili due alloggiamenti (slot 3 e slot 4) per inserire altri dispositivi PXI ed, eventualmente, estendere le applicazioni del sistema di acquisizione.

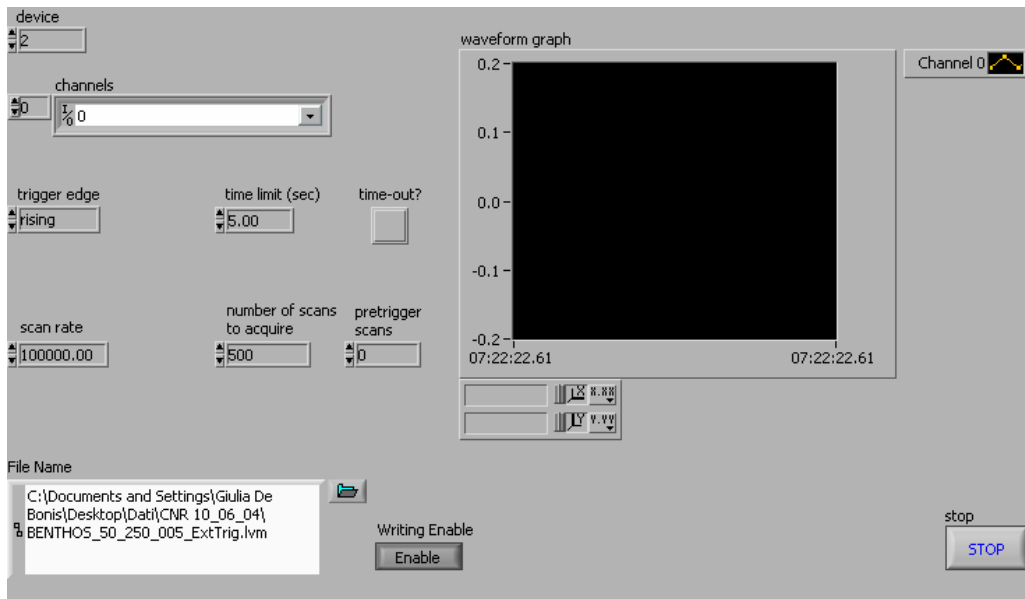
Il vantaggio di questa soluzione “compatta” sta nel fatto che, in questo modo, il sistema di acquisizione risulta facilmente trasportabile (Figura 4.1). Inoltre, lo stesso oggetto contiene sia la scheda di acquisizione specifica per le applicazioni acustiche, sia il sistema operativo per l’elaborazione dei dati.



**Figura 4.4** Il Sistema di Acquisizione National Instruments, utilizzato per le misure svolte nell’ambito del presente lavoro di tesi, costituito dai dispositivi mostrati nelle Figure 1 – 3.

Il software di sviluppo per il programma di acquisizione è il pacchetto *LabVIEW* (LV), prodotto dalla National Instrument (NI). *LabVIEW* è un linguaggio di programmazione visiva: il programmatore specifica le istruzioni da eseguire non attraverso la scrittura di righe di codice, ma con l'inserimento di oggetti (o funzioni), secondo opportune regole di connessione. Il risultato è la produzione di un VI (Virtual Instrument), ossia uno "strumento virtuale". Lo scopo di *LabVIEW* è, infatti, realizzare la simulazione di uno strumento per misure di laboratorio, in modo da rendere più agevole l'interfaccia di comunicazione con la scheda di acquisizione. Per rendere più realistica la simulazione, ogni VI è costituito da un Front Panel, o pannello frontale, che riproduce il pannello dei comandi. L'equivalente *LabVIEW* delle righe di codice che definiscono le istruzioni di esecuzione è inserito nel Block Diagram, che rappresenta il diagramma a blocchi del programma. Estesa documentazione sul software *LabVIEW* è disponibile sul sito della National Instrument, <http://www.ni.com/>.

La Figura 4.5 mostra il Front Panel del VI utilizzato per l'acquisizione con la scheda NI-PXI 4472.



**Figura 4.5** Front Panel del programma di acquisizione LabVIEW.



Il programma di acquisizione è stato da me scritto tenendo conto delle esigenze applicative del presente lavoro di tesi. Il VI prevede l'utilizzo di un "trigger", ossia di un segnale esterno che specifichi l'inizio dell'acquisizione ("external trigger acquisition"). Nel seguito sono descritte, schematicamente, le opzioni per l'utilizzatore, disponibili dal pannello frontale (Figura 4.5).

- L'opzione "*Device*" identifica la scheda di acquisizione con cui avviene la comunicazione: nel nostro caso device = 2 identifica la scheda NI-PXI 4472, alloggiata nella slot 2.
- L'opzione "*Channels*" permette di selezionare quale degli 8 canali di ingresso analogico si intende prendere in esame.
- "*Trigger Edge*" permette di specificare l'inizio dell'acquisizione. Selezionando l'opzione "*rising*" l'acquisizione inizia al ricevimento del fronte di salita del segnale di trigger. L'altra possibilità prevede la sincronizzazione con il fronte di discesa ("*falling*").
- La funzione "*Time Limit*" produce l'interruzione automatica dell'esecuzione del VI nel caso in cui non venga ricevuto un segnale di trigger per un tempo superiore all'intervallo specificato (in questo esempio, l'intervallo di "*Time Limit*" è stato fissato al valore 5 s).
- "*Scan Rate*" permette di specificare la frequenza di campionamento, compatibilmente con le caratteristiche di acquisizione della scheda.
- La funzione "pretrigger" consente di conservare informazione sul segnale per tempi precedenti all'istante di trigger; "*Pretrigger Scans*" definisce il numero di campionamenti di "pretrigger" che si vuole considerare.

- “*Number of Scans to Acquire*” definisce il numero totale di campionamenti acquisiti (inclusi i campionamenti di “pretrigger”).
- Il risultato dell’acquisizione viene visualizzato sull’indicatore “*Waveform Graph*”. A richiesta, è possibile memorizzare il contenuto dell’acquisizione in un file di dati. La scrittura su file è abilitata dal comando “*Writing Enable*”; la destinazione su cui viene salvata l’informazione prodotta dall’acquisizione è specificata nel riquadro “*File Name*”.
- Il comando “*Stop*” interrompe l’esecuzione del VI.

Il Block Diagram del VI di acquisizione e il diagramma ad albero sono visibili nelle Figure 4.6 e 4.7.

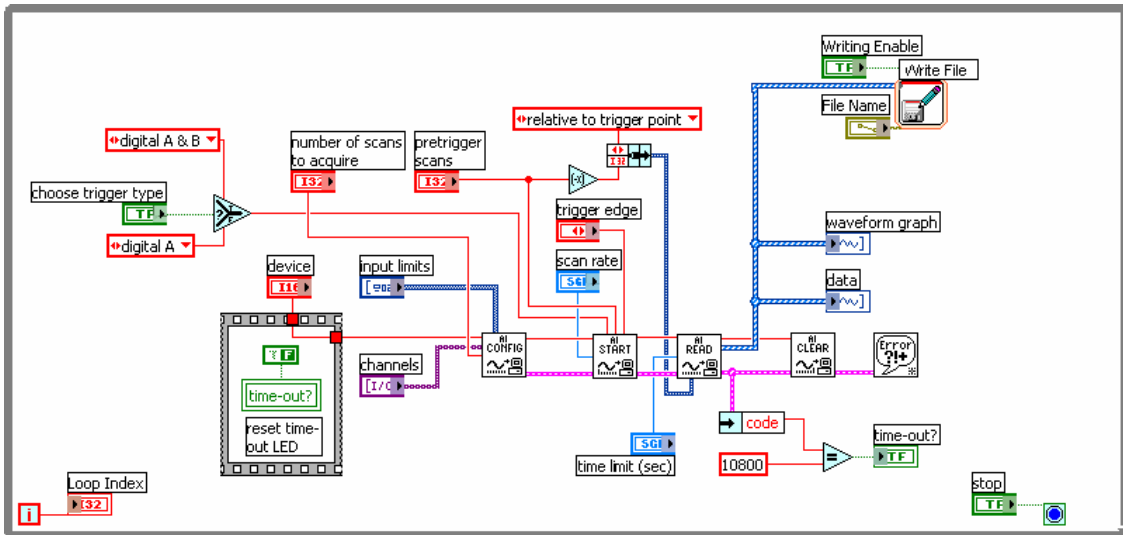


Figura 4.6 Block Diagram del programma di acquisizione LabVIEW.

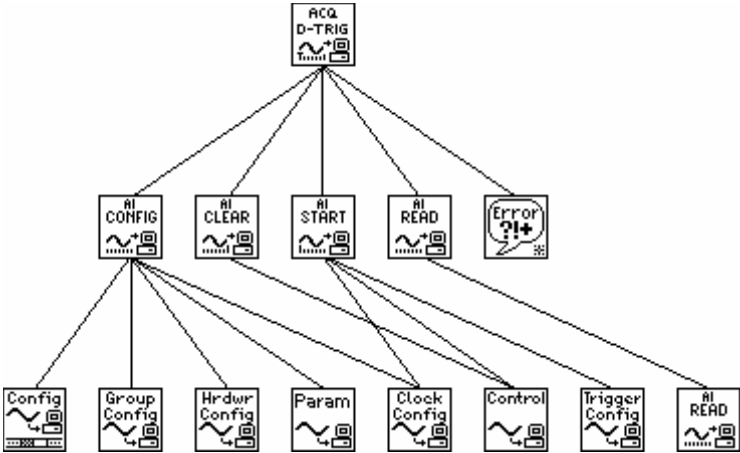


Figura 4.7 Albero di gerarchia del programma di acquisizione LabVIEW.

Le Figure 4.8 – 4.11 mostrano gli idrofoni BENTHOS e RESON utilizzati per le misure.

L'idrofono BENTHOS (Figura 4.8), un prototipo fuori produzione seriale realizzato su richiesta del gruppo NEMO di Roma, è dotato di caratteristiche che ne rendono possibile l'utilizzo ad elevate profondità ( $L_{\text{DEPTH}} > 2000$  m). Poiché si tratta di un prototipo, non sono disponibili le specifiche di produzione del prodotto. Sul sito della casa costruttrice (<http://www.benthos.com/pdf/AQ-2000%20DS.pdf>) si può fare riferimento, però, al modello AQ-2000, le cui specifiche sono riportate in Appendice 1. Questo idrofono, infatti, presenta caratteristiche di funzionamento molto simili a quelle previste per l'idrofono BENTHOS utilizzato per le misure. Dalle specifiche del modello AQ-2000 si possono trarre informazioni indicative sul comportamento del nostro idrofono BENTHOS.



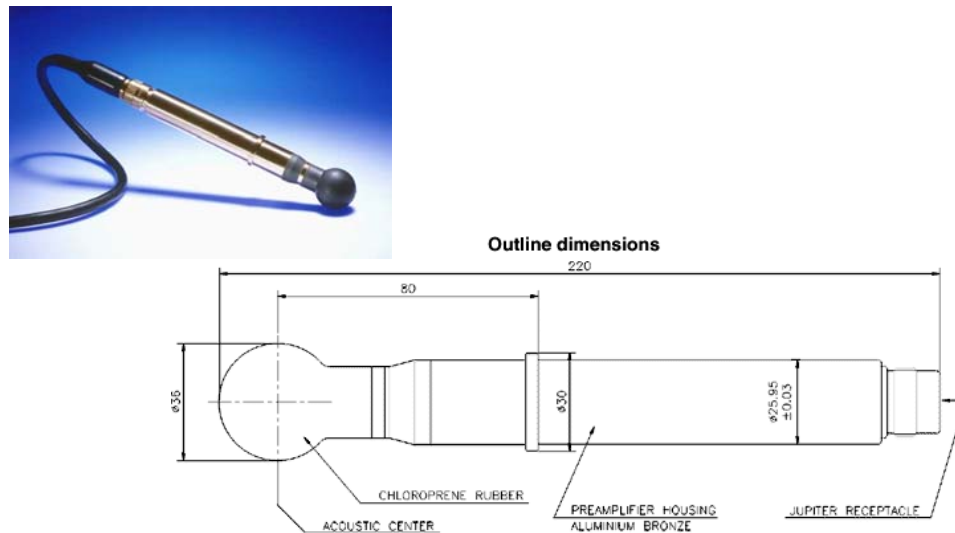
**Figura 4.8** Idrofono BENTHOS. Sono indicate le dimensioni dell'oggetto.

L'alimentazione dell'idrofono è realizzata per mezzo di batterie (serie di due batterie da 9 V), posizionate all'interno della scatola metallica visibile in Figura 4.9. La scelta di un'alimentazione a batterie è stata fatta per evitare il rumore elettrico prodotto dall'alimentazione di rete. All'interno della scatola metallica è stato inserito anche un semplice filtro passivo con funzione di passa-alto, allo scopo di tagliare la continua, ossia la tensione di alimentazione.



**Figura 9.** Idrofono BENTHOS. Sono identificabili: l'alloggiamento dell'idrofono (sfera), l'alloggiamento del pre-amplificatore (cilindro connesso alla sfera), il cavo (lunghezza del cavo = 3 m), la scatola di metallo che ospita le batterie di alimentazione e il filtro passa-alto per il taglio della continua.

L'altro idrofono utilizzato per le misure acustiche è il modello RESON 4042 (Figura 4.10). In questo caso, si tratta di un prodotto disponibile in commercio, le cui caratteristiche possono essere visionate in Appendice 1, o consultando il sito internet della casa costruttrice (<http://www.reson.com/TC4042.html> ). L'idrofono a nostra disposizione, visibile in Figura 4.11, è una versione modificata del modello RESON 4042, per soddisfare la richiesta di funzionamento ad elevate profondità.

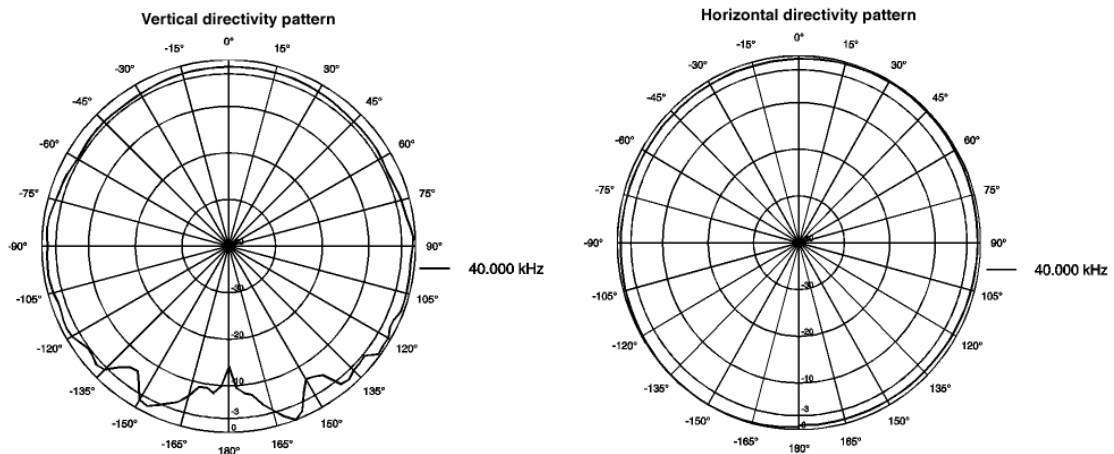


**Figura 4.10**      **Idrofono RESON 4042**



**Figura 4.11** Idrofono RESON 4042 utilizzato per le misure acustiche nel corso del presente lavoro di tesi.

L'uniformità della risposta angolare per l'idrofono RESON 4042, visibile dai grafici inseriti nelle specifiche e riprodotti in Figura 4.12, garantisce che l'idrofono considerato è un modello a risposta sferica. La stessa proprietà è valida anche per il prototipo BENTHOS.



**Figura 4.12** Grafici della risposta angolare dell'idrofono RESON 4042. Si osserva uniformità della risposta angolare, come previsto per un idrofono a risposta sferica. Il valore  $\nu = 40 \text{ KHz}$  è il valore standard per questo tipo di misure.

Come specificato, gli idrofoni utilizzati per le misure sono l'uno un prototipo fuori commercio, l'altro una versione modificata di un prodotto commerciale. Sebbene sia noto (specifiche in Appendice 1) l'andamento generale della risposta degli idrofoni, è necessario eseguire misure di calibrazione, per caratterizzare il comportamento dei sensori alle diverse frequenze di segnale. Questo argomento è l'oggetto del Capitolo 5.