

Sistemi di acquisizione dati

1 - Configurazioni tipiche

Generalità

L'impiego di tecniche numeriche per la rappresentazione dei segnali consente la successiva elaborazione in modo potente e flessibile.

Nei sistemi di acquisizione dati la grandezza fisica da misurare, dopo una prima fase di trasduzione e/o condizionamento, attraverso la quale viene convertita in una grandezza elettrica adatta per essere trattata dai dispositivi elettronici successivi, è sottoposta a un processo di campionamento (mediante i circuiti di *sample & hold*) e di quantizzazione (tramite convertitori *AD*). Queste due operazioni sono comuni a ogni tipo di segnale e sono caratterizzate, rispettivamente, dalla velocità di campionamento e dalla risoluzione del convertitore *AD*.

Il trattamento dell'informazione numerica avviene mediante dispositivi logici. Tali dispositivi possono essere dedicati a una specifica applicazione, e in questo caso svolgono solo i compiti previsti in sede di progetto, oppure possono impiegare architetture programmabili, in modo da consentire l'assegnazione di diverse funzioni di misura allo stesso hardware. In questo secondo caso, spesso, lo strumento viene identificato con la procedura di elaborazione dell'informazione contenuta nei dati acquisiti.

Bisogna tuttavia tener presente che, comunque, la qualità della misura rimane essenzialmente legata all'attendibilità e all'accuratezza dei dati campionati.

E' difficile fornire una definizione completa ed esaustiva di un *sistema di acquisizione dati*, dal momento che tali tipi di sistemi di misura possono presentarsi sotto forme molto differenti fra loro. In generale si può affermare che un sistema di acquisizione dati è caratterizzato da alcuni aspetti essenziali:

- Un sistema a microprocessore è usato per programmare e gestire le apparecchiature di misura e per elaborare i dati da esse acquisiti. Questo sistema può essere basato su una qualsiasi architettura, dedicata o generica, e può essere gestito con un qualsiasi sistema operativo. Il sistema a microprocessore ospita tipicamente un software per l'elaborazione delle grandezze digitalizzate e per la gestione dei relativi risultati, gestisce l'eventuale memorizzazione dei dati e può anche essere utilizzato per la rappresentazione grafica o testuale dei risultati.
- Le apparecchiature di misura vere e proprie possono essere costituite da schede di acquisizione (interne o esterne al sistema di calcolo), sistemi modulari o strumenti autonomi. Nel caso di dispositivi esterni la connessione al calcolatore può avvenire tramite porte di comunicazione standard o sistemi di interfaccia proprietari.
- Il sistema di misura può effettuare una o più misure contemporaneamente, oltre che, eventualmente, implementare processi di controllo, combinando in vario modo gli ingressi e le uscite analogiche, i segnali di *input/output* digitali o altre funzioni specifiche.

Sistema di misura a ingresso singolo

Un sistema di misura digitale prevede, di norma, una fase di trasduzione e/o condizionamento preliminare del segnale in ingresso, al fine di renderlo idoneo alla successiva fase di campionamento e conversione in forma numerica. I dispositivi di condizionamento del segnale sono di natura molto diversa, in relazione al tipo di segnale da trattare, e non verranno trattati in dettaglio nel resto del capitolo.

Lo schema di un sistema di acquisizione a ingresso singolo è rappresentato in Fig.1.1: i compiti di gestione della misura sono assegnati a un microprocessore, che fornisce il segnale di campionamento al circuito di *sample & hold* e successivamente il comando di inizio della conversione (*start*) al convertitore *AD*.

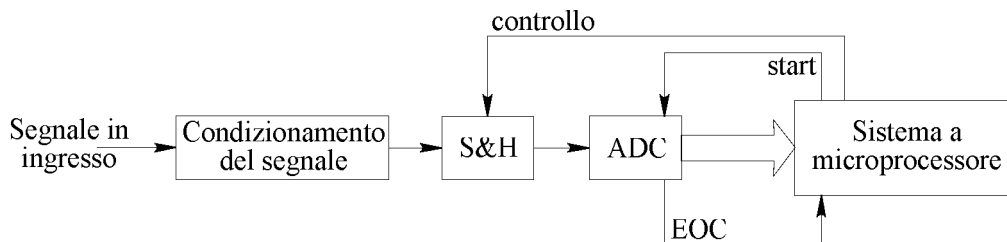


Fig.1.1 - Sistema di misura a un canale.

Quest'ultimo, completata la conversione, restituisce al processore il controllo della procedura tramite il segnale *End of Conversion*, *EOC*.

La velocità di campionamento, con la quale può essere interrogato il segnale d'ingresso, è limitata dalla durata di tutti questi compiti. Infatti si deve consentire l'immagazzinamento del dato nel campionatore *S&H* (tempo di acquisizione), la successiva conversione da parte del dispositivo *ADC* (tempo di conversione) e il trasferimento del numero in una opportuna area di memoria del sistema. Pertanto, conoscendo i tempi necessari per l'esecuzione di tutte queste operazioni, sarà possibile stabilire la frequenza di campionamento f_c massima consentita.

Sistemi di misura a più ingressi

Se il sistema di misura deve consentire l'acquisizione di più segnali di ingresso possono essere implementate soluzioni diverse, che si differenziano per prestazioni e costi.

Nella soluzione più semplice, illustrata in Fig.1.2, è presente un elemento nuovo, il circuito *multiplexer*, che ha il compito di collegare ciclicamente il campionatore *S&H* e il convertitore *AD* ai diversi canali in ingresso *CH0*, *CH1*, ... *CH(N-1)*.

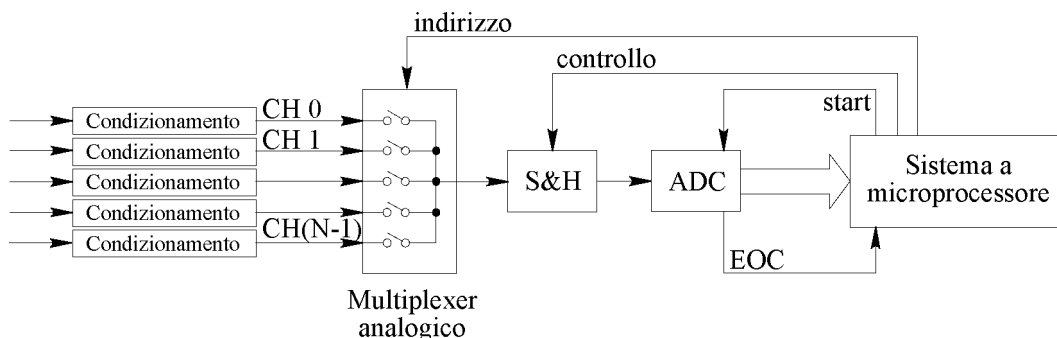


Fig.1.2 - Sistema multicanale con multiplexer.

Questa soluzione ha come primo, evidente, effetto la diminuzione della frequenza di campionamento consentita su ciascun segnale di ingresso. Infatti, per un sistema di acquisizione dati che presenta N canali in ingresso, detta f_c la frequenza di campionamento massima alla quale può operare il sistema di campionamento e conversione (gruppo $S\&H$ e ADC), la massima frequenza con cui potrà essere campionato il canale i -esimo, fra gli N utilizzati, risulta $f_i = f_c/N$. Questo risultato vale solo in prima approssimazione, ammettendo trascurabile il tempo di commutazione del multiplexer da un canale al successivo. Nella realtà, anche considerando i problemi legati allo *slew-rate* del Sample & Hold nel passaggio tra un canale e il successivo, si dovrà assumere per la massima frequenza di campionamento su ciascun canale f_i un valore inferiore a f_c/N .

Inoltre, nel sistema considerato in Fig.1.2 i campioni dei diversi segnali di ingresso risultano presi in sequenza e pertanto non è possibile disporre di campioni simultanei di più forme d'onda, come invece è richiesto in certe applicazioni.

Campionamento simultaneo

L'esigenza di effettuare un campionamento simultaneo su tutti i segnali in ingresso al sistema di acquisizione può essere soddisfatta con lo schema di Fig.1.3, che impiega tanti campionatori $S\&H$ quanti sono i canali in ingresso.

Tutti i circuiti di campionamento sono pilotati dallo stesso segnale di controllo. In tal modo gli N campioni prelevati dagli N segnali in ingresso in un'acquisizione risultano sincroni. Tali campioni, memorizzati nei singoli $S\&H$, sono poi convertiti in modo sequenziale dall'unico convertitore AD presente nello schema.

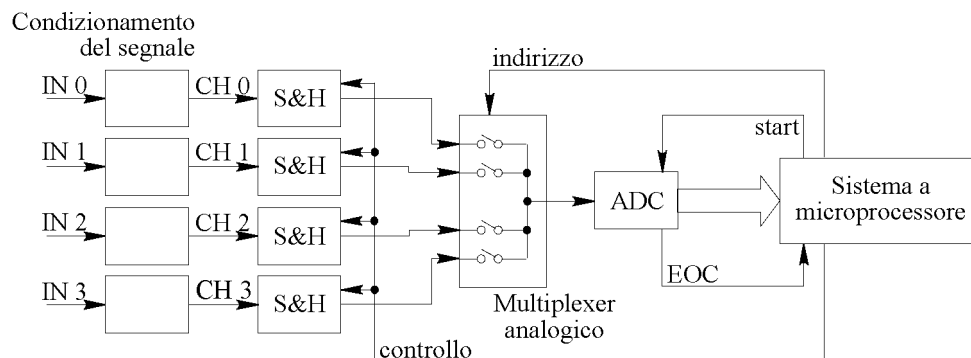


Fig.1.3 - Sistema a campionamento simultaneo.

Per evidenziare i vantaggi del campionamento simultaneo si consideri la Fig.1.4, nella quale sono rappresentate le sequenze temporali dei campioni ottenuti campionando, ciascuno ogni T_{ci} secondi, i segnali presenti su un gruppo di N canali, CH0, CH1 ... CH(N-1).

La Fig.1.4A si riferisce al caso in cui è presente un solo campionatore $S\&H$ (vedi lo schema di Fig.1.2). In tal caso si nota, in ciascun gruppo di canali CH0, CH1 ... CH(N-1), il ritardo Δt che il campione del generico canale ha rispetto a quello del canale precedente (per esempio il ritardo del campione di CH1 rispetto a quello di CH0, e così via). Il ritardo Δt è il tempo minimo necessario per effettuare la conversione AD e passare al canale successivo.

La Fig.1.4B si riferisce invece allo schema a blocchi di Fig.1.3, con tanti campionatori $S\&H$ quanti sono i canali in ingresso (campionamento simultaneo). In tal caso tutti i campioni del gruppo di canali, CH0, CH1 ... CH(N-1), sono presi contemporaneamente.

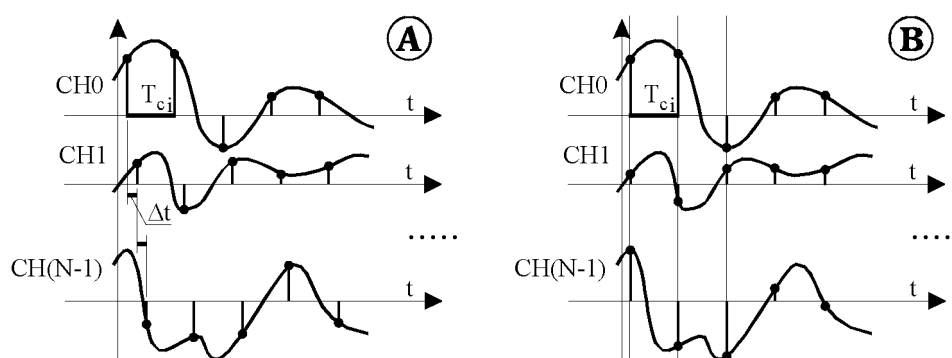


Fig.1.4 - Campionamento multiplo.

Si è detto che il campionamento simultaneo di più canali può assumere rilevanza in certe applicazioni. Si consideri, ad esempio, la misura della potenza attiva, ottenuta campionando i segnali di tensione $v(t)$ e di corrente $i(t)$. Poiché la determinazione della potenza è fatta in forma discreta, si ha la seguente approssimazione numerica:

$$P = \frac{1}{T} \int_T v(t)i(t)dt \cong \frac{1}{N_p} \sum_{j=1}^{N_p} v(t_j)i(t_j) \quad (1.1)$$

dove N_p è il numero di punti prelevati in un periodo dal canale di tensione o di corrente, mentre $v(t_j)$ e $i(t_j)$ sono i campioni di tensione e corrente, rispettivamente, acquisiti nel j -esimo istante temporale t_j .

Qualora non si realizzi il campionamento simultaneo dei due canali, come nel caso di Fig.1.4A, il multiplexer commuta alternativamente dapprima sul canale di tensione e successivamente sul canale di corrente. In tal modo, la sequenza dei campioni di corrente risulta spostata, rispetto alla sequenza dei campioni di tensione, di un ritardo temporale pari all'intervallo Δt . Si introduce pertanto un errore aggiuntivo nella valutazione della potenza attiva, oltre a quelli dovuti alla acquisizione dei singoli segnali.

Se, come caso particolare, il sistema lavora alla massima velocità possibile, il ritardo Δt tende a coincidere con il tempo di campionamento sul singolo canale, T_c .

Nel caso di campionamento simultaneo, invece, come mostrato in Fig.1.4B, le sequenze di campioni di tensione e corrente sono acquisite senza alcuno sfasamento reciproco, in quanto ciascun campione di corrente $i(t_j)$ è effettivamente contemporaneo, a meno delle piccole incertezze temporali proprie dei singoli $S\&H$, al corrispondente campione di tensione $v(t_j)$. Pertanto nessun errore significativo viene aggiunto nel calcolo della potenza.

Nel sistema di Fig.1.3 rimane sequenziale la conversione AD . Pertanto tale soluzione non consente evidentemente di superare i limiti sulla massima frequenza di campionamento per il canale i -esimo, che rimane pari a quella stabilita nel caso precedente: $f_i < f_c/N$.

Sistemi veloci di acquisizione

Per ottenere un campionamento simultaneo su più canali e allo stesso tempo conservare la massima velocità di campionamento sul singolo canale, si può adottare lo schema di Fig.1.5, dove sono presenti un $S\&H$ e un ADC per ciascun ingresso.

Il flusso dei dati provenienti da tutti i canali e immagazzinati nella memoria digitale sarà opportunamente gestito dal sistema a microprocessore per la ricostruzione dei singoli segnali acquisiti.

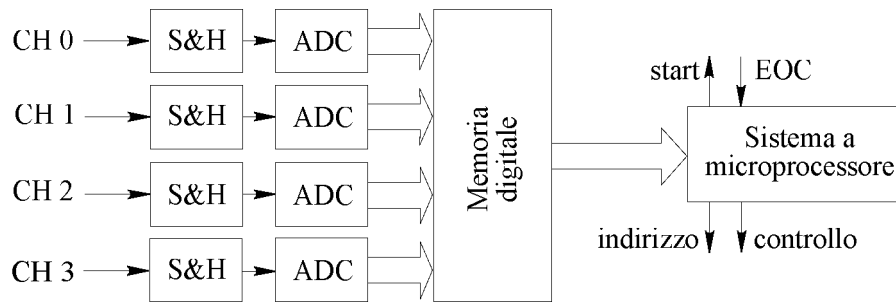


Fig.1.5 - Sistema di acquisizione veloce.

Tipologie costruttive dei sistemi di acquisizione dati

E' difficile classificare in modo rigido le tipologie realizzative dei sistemi di acquisizione dati, dal momento che sono molto sfumati i confini tra le diverse soluzioni in termini di configurazione fisica, funzionamento, caratteristiche e prestazioni.

A titolo esemplificativo, nel seguito si fornirà una classificazione di massima delle possibili configurazioni hardware dei sistemi di acquisizione dati.

Schede di acquisizione dati

Le soluzioni più semplici ed economiche per realizzare un sistema di misura basato sul calcolatore sono rappresentate da schede di acquisizione dati, che per la realizzazione di un sistema di misura completo sfruttano le potenzialità di calcolo del computer al quale sono connesse.

Le schede possono essere di tipo *plug-in*, cioè progettate per essere installate negli *slot* di espansione di cui sono normalmente dotati i personal computer, oppure, sempre più spesso, costituire elementi esterni che comunicano col calcolatore mediante comuni interfacce di comunicazione (p. es. *USB*, *Ethernet*, ecc.).

Le caratteristiche metrologiche di questi sistemi possono essere molto buone. La risoluzione dei modelli più economici è di 12 bit, mentre si arriva facilmente a 16 bit, o più, nelle schede più sofisticate. La frequenza di campionamento varia da poche decine di kilohertz a diversi megahertz, ma in alcune soluzioni può arrivare anche a 1 GHz. Il mercato offre numerose possibilità di scelta: normalmente esiste un compromesso fra velocità di campionamento, risoluzione e costo.

Spesso le schede di acquisizione dati accettano ingressi sia analogici che digitali. Sono inoltre molto diffuse le schede multifunzione, che forniscono anche uscite sia analogiche che digitali.

Gestione remota di strumenti di misura digitali

La strumentazione elettronica di test e misura di tipo tradizionale era costituita da sistemi autonomi (*stand alone*), progettati per applicazioni generiche. Negli anni l'aggiunta di porte di comunicazione (p. es. la *IEEE 488*) e i progressi nella tecnica delle misure hanno esteso enormemente il campo di applicazione di questi strumenti. La produzione di strumentazione specializzata rende ora possibile l'implementazione di sistemi complessi di misura, gestiti dal computer e caratterizzati da risoluzione e sensibilità eccezionali.

Le caratteristiche metrologiche dei sistemi di misura basati sulla connessione di strumenti *stand alone* sono quelle dei singoli strumenti, mentre il trasferimento dei dati mediante l'interfaccia di comunicazione rappresenta spesso un limite alla velocità complessiva del sistema.

Sistemi di misura modulari

Sempre più spesso i sistemi di acquisizione dati prendono la forma di soluzioni modulari autonome orientate ad applicazioni industriali, per le quali i sistemi basati su schede *plug-in* possono risultare inadeguate o addirittura inapplicabili. Questi sistemi (PXI, VXI, ecc.) sono composti da *chassis* standardizzati e meccanicamente robusti, sui quali è possibile inserire diversi moduli, che offrono una gran varietà di funzioni di misura disponibili.

Anche questi sistemi per il funzionamento richiedono un sistema di elaborazione, che può essere costituito da un computer esterno, col quale comunicano tramite un'interfaccia di comunicazione standard o proprietaria, oppure da un processore realizzato su una scheda e incorporato nel modulo.

I moderni sistemi di acquisizione modulari offrono un'elevata sensibilità per i piccoli segnali, la possibilità di avere un elevato numero di canali o di strumenti autonomi oltre che quella di effettuare un controllo in *real-time* del processo.

2 - Strumentazione programmabile

Strumenti virtuali

Basandosi sui sistemi di acquisizione dati si ottengono sequenze campionate che, sotto opportune condizioni dettate soprattutto dal teorema del campionamento e a meno dell'incertezza dei dati acquisiti, contengono tutta l'informazione associata ai segnali analogici da cui derivano. Poiché l'informazione di interesse può essere estratta con opportuni algoritmi, la funzione di misura è implementata tramite il software.

In particolare, per i sistemi di acquisizione dati sono disponibili dei programmi che consentono di riprodurre sullo schermo di un computer il pannello frontale di ogni strumento di misura tradizionale. Tale pannello (virtuale) conterrà gli organi di selezione e controllo nonché i dispositivi di indicazione e presentazione tipici di uno strumento classico, sui quali sarà possibile agire con i sistemi di puntamento del computer per gestire la misura.

Questa modalità d'impiego dei sistemi di acquisizione e del software ha portato allo sviluppo degli *strumenti virtuali*, così chiamati in quanto le funzionalità dello strumento vengono determinate non da specifici circuiti ma dal modo in cui i dati acquisiti vengono elaborati.

Comunicazione fra strumenti

La comunicazione fra strumenti programmabili di tipo *stand-alone* o fra questi e i computer avviene mediante supporti fisici (cavi e interfacce, ecc.) e secondo protocolli (trasmissioni sincrone o asincrone, ecc.) standardizzati. In tutti i casi si trasmettono segnali digitali, tipicamente binari, sia in forma seriale che parallela.

Fra i tipi di interfacce e di protocolli più impiegati si ricordano l'interfaccia seriale *RS-232* e quella parallela *IEEE 488*. Negli ultimi anni stanno avendo larghissima diffusione sistemi di misura basati su moderne interfacce ad alta velocità (*USB*, *IEEE 1394*, ecc.) o su comunicazione in rete (*LAN*).

L'interfaccia IEEE 488

Un'interfaccia di comunicazione molto diffusa nel campo della strumentazione è la *IEEE 488*. Questa interfaccia venne introdotta nel 1967 dalla Hewlett-Packard per collegare i propri strumenti ai propri computer e venne chiamata *HP-IB* (Hewlett-Packard Interface Bus). Successivamente venne riconosciuta dall'*IEEE* (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) con il nome di *IEEE 488* e dall'*ANSI* (*American National Standards Institute*).

Divenuta uno standard di fatto e adottata diffusamente da tutti i costruttori di strumentazione, è nota anche col nome di *GPIB* (*General Purpose Interface Bus*).

Un'apparecchiatura che comunica in *GPIB* rispetta una gerarchia in base alla quale può assumere tre ruoli: *Controller*, *Talker* (parlatore) e *Listener* (ascoltatore).

L'interfaccia, di tipo parallelo, è costituita fisicamente da 25 conduttori:

- 8 linee dati (DIO1-DIO8) che trasferiscono sia dati che messaggi di comando

- 3 linee di *handshake*, che controllano in forma asincrona il flusso di dati:

NRFD (Not Ready for Data)

NDAC (Not Data Accepted)

DAV (Data Valid)

- 5 linee per la gestione generale del flusso di informazioni attraverso il collegamento:

IFC (Interface Clear)

ATN (Attention)

SRQ (Service Request)

REN (Remote Enable)

EOI (End or Identify)

Vi sono poi 7 pin per i collegamenti a massa più uno per lo schermo.

La massima velocità di trasferimento è di 1 MByte/s. La distanza massima fra le apparecchiature è di 20 m, mentre le apparecchiature collegabili sono al massimo 15.

Per rendere omogenea la programmazione dell'interfaccia *GPIB* i maggiori produttori mondiali di strumentazione hanno costituito, nel 1990, un Consorzio per la definizione e l'adozione di un set di comandi standard per la strumentazione programmabile, detto *SCPI* (*Standard Command for Programmable Instrumentation*). In tal modo la stessa funzione viene svolta da strumenti diversi, di costruttori diversi, con lo stesso comando. Ciò semplifica notevolmente la programmazione e consente il riutilizzo del software già sviluppato.

La fase di programmazione può essere di diversi tipi, a seconda del livello di complessità al quale si vuole operare.

I costruttori solitamente forniscono librerie utilizzabili con i più comuni linguaggi di programmazione. Sfruttando queste funzioni è possibile eseguire tutti i comandi previsti dallo standard. In questo caso il lavoro del programmatore è oneroso, in quanto egli deve conoscere il funzionamento di tutte le periferiche e i loro diversi linguaggi di programmazione. Il vantaggio derivante da questo sforzo è quello di mantenere un controllo totale su tutta la procedura di gestione del sistema.

Un sistema più semplice, ma meno flessibile, è quello di utilizzare i software che i costruttori forniscono per la gestione remota dei loro strumenti. Il limite è rappresentato dalla possibilità di controllare solamente lo strumento per il quale quel software è stato realizzato, oltre che dalla impossibilità di intervenire sul codice per modificarlo secondo le esigenze dell'utente.

Ad un livello di programmazione più alto si collocano i cosiddetti *driver*, cioè quelle routine (anch'esse sfruttabili con i compilatori dei più comuni linguaggi) che i fornitori forniscono per implementare le funzioni dei propri strumenti. Il programmatore deve semplicemente inserire questi *driver* nel proprio programma e inserire i parametri richiesti dalle routine, senza necessariamente doverne conoscere la sintassi. Gli svantaggi di questa soluzione sono la non completa programmabilità dello strumento (spesso non tutte le funzioni di comando remoto sono implementate nei *driver*) e la difficoltà nell'apportare modifiche.