

CAPITOLO 15

15.1 L'oscilloscopio numerico

L'attuale disponibilità di microprocessori in grado di gestire e di elaborare dati numerici con prestazioni sempre più spinte rende molto vantaggioso effettuare, inizialmente, una conversione analogico digitale del segnale da analizzare e operare, successivamente, sui valori campionati per ricavare le informazioni di interesse. Questa metodologia operativa sta profondamente modificando non solo la struttura, ma anche la modalità di impiego della strumentazione elettronica più recente, la quale viene indicata genericamente con il nome di *strumentazione di misura numerica* per mettere in risalto che una parte sempre più consistente dell'intero strumento opera su valori numerici, e che il risultato è disponibile in forma numerica.

Negli strumenti elettronici numerici, la conversione in una collezione di valori numerici del segnale analogico da analizzare offre la possibilità di una opportuna elaborazione dei campioni, impiegando adeguati algoritmi numerici, per valutare il parametro di interesse.

I vantaggi offerti da questo modo di operare sono molteplici. Ad esempio, per ricavare un parametro diverso da quello inizialmente previsto è sufficiente modificare solo l'algoritmo di elaborazione. È possibile realizzare strumenti che sono in grado di fornire il valore di più grandezze contemporaneamente: non si deve cioè utilizzare uno strumento diverso per ogni specifica misurazione, come avviene nel caso di strumenti analogici. Ciò consente, in particolare, di evitare la duplicazione dei blocchi comuni a ogni strumento, come, ad esempio, il blocco di condizionamento di ingresso o quello di visualizzazione dei risultati ottenuti. Il costo di uno strumento numerico, pertanto, i risulta spesso inferiore al costo globale degli strumenti analogici richiesti per determinare le varie grandezze incognite.

È spesso possibile, inoltre, migliorare l'accuratezza dei risultati, o la velocità di esecuzione delle misurazioni.

Poiché il risultato di ogni misurazione è espresso in forma numerica, è possibile eseguire su di esso ulteriori elaborazioni, sia utilizzando la capacità elaborativa dello strumento stesso sia mediante un host computer al quale lo strumento può essere collegato.

15.2 Blocchi fondamentali di uno strumento numerico

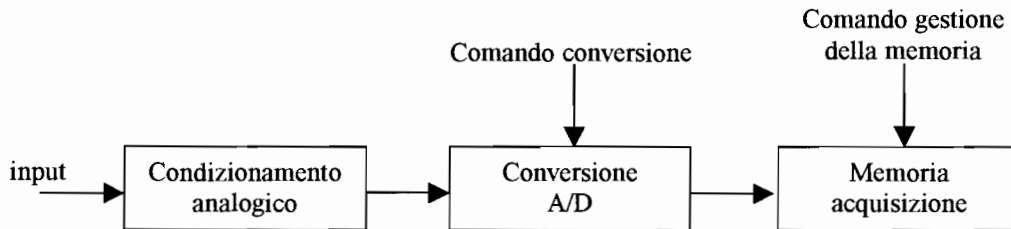
Nella maggior parte degli attuali strumenti numerici, oltre ad altri blocchi dipendenti dal tipo di strumento considerato, o alla grandezza che si vuole valutare, è presente una struttura comune, schematizzata in figura 15.1.

Il blocco di conversione A/D trasforma il segnale analogico in ingresso in un segnale numerico. Per eseguire questa trasformazione sono adottabili diverse tecniche. La scelta più adatta dipende essenzialmente da due parametri: il numero massimo di bit richiesto per la codifica dei valori numerici e la massima velocità di conversione. Questi due parametri sono tra loro correlati in quanto all'aumentare dell'uno diminuisce l'altro.

La principale funzione del blocco di condizionamento consiste nell'amplificare o attenuare il segnale analogico di interesse in modo che il successivo blocco di conversione possa eseguire la trasformazione A/D nelle migliori condizioni possibili; in

generale, questo blocco esegue anche un filtraggio passa-basso per evitare l'insorgere del fenomeno di aliasing nella successiva conversione.

I valori numerici forniti dal blocco A/D sono poi, almeno da un punto di vista di principio, conservati nella cosiddetta memoria di acquisizione, rappresentata in figura 15.1; tali valori possono essere prelevati per essere sottoposti a successive elaborazioni, le quali dipendono sia dallo strumento nel quale tali blocchi sono inseriti, sia dai parametri che si desidera valutare.



- figura 15.1 -

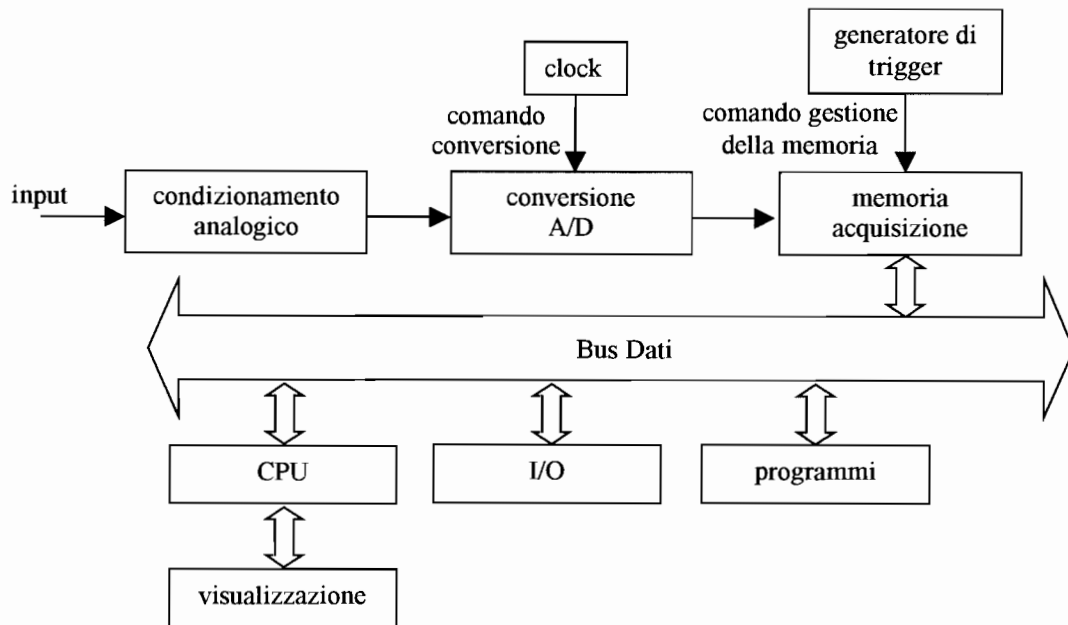
15.3 Struttura generale di un oscilloscopio numerico

Lo strumento che permette di visualizzare un segnale nel dominio del tempo viene genericamente denominato *oscilloscopio*. Quando l'andamento temporale è ottenuto a partire da un numero finito di campioni memorizzati all'interno dello strumento, si parla più precisamente di *Digital Storage Oscilloscope (DSO)*. Nel seguito tale strumento sarà denominato semplicemente *oscilloscopio digitale*.

Poiché la capacità di memoria disponibile è comunque finita, lo strumento può memorizzare e quindi visualizzare solo porzioni di durata limitata di segnale. La scelta della porzione da memorizzare viene eseguita sulla base di un opportuno segnale di trigger. Le modalità con cui il trigger permette di eseguire tale scelta saranno illustrate successivamente.

Alcuni strumenti numerici sono costituiti solo dai tre blocchi funzionali rappresentati in figura 15.1 e sono spesso denominati *transient recorder* o *waveform recorder*. Per poter essere elaborati, o semplicemente visualizzati, i campioni memorizzati sono trasferiti su un altro dispositivo, come ad esempio un host computer.

L'oscilloscopio digitale, a cui nel seguito si farà implicitamente riferimento, contiene, invece, oltre ai tre blocchi di figura 15.1, sia una capacità elaborativa di prestazioni più o meno sofisticate, sia un blocco di visualizzazione. Si ha cioè una struttura completamente autonoma, che presenta tutti i blocchi funzionali necessari per analizzare l'andamento temporale di un segnale (figura 15.2).



-figura 15.2 -

La memoria di acquisizione può essere considerata come un elemento di separazione fra due diverse architetture. A monte di tale blocco si ha una architettura di tipo serie, e precisamente due blocchi funzionali fra loro in cascata; a valle della memoria di acquisizione viene invece adottata una architettura di tipo parallelo, o a bus, la cui gestione è affidata a un'unità centrale.

Nella struttura parallelo i legami fra le prestazioni dei blocchi presenti non sono così rigidi come nell'architettura di tipo serie. Ne consegue, ad esempio, che non esiste un legame diretto tra la banda passante del blocco di condizionamento e quella del tubo a raggi catodici utilizzato per la visualizzazione; ciò consente l'impiego di tubi di prestazioni relativamente modeste, senza alcun degrado nelle prestazioni di banda dello strumento, con una conseguente riduzione del costo dell'apparecchiatura.

Si deve notare che il blocco di memoria, oltre a rendere relativamente indipendenti le prestazioni dei due tipi di architetture in cui lo strumento può essere suddiviso, permette anche di ottenere altre interessanti prestazioni, non ottenibili con una struttura analogica.

Con strutture digitali e con algoritmi elaborativi si possono ottenere delle prestazioni non raggiungibili con una usuale struttura analogica, ma il raggiungimento di queste prestazioni richiede che siano soddisfatte determinate condizioni; in caso contrario i risultati ottenuti possono essere del tutto privi di significato. Il fatto più grave di questa situazione è che in genere non si ha alcuna indicazione esplicita che garantisca che le condizioni poste siano soddisfatte. Ad esempio, si supponga che il corretto funzionamento di uno strumento richieda la stazionarietà del segnale di ingresso; nel caso analogico, se tale condizione non è soddisfatta, il risultato fornito presenta in genere qualche anomalia, come ad esempio una fluttuazione della forma d'onda visualizzata che fa sorgere qualche dubbio sulla validità del risultato stesso. In un oscilloscopio digitale, invece, la mancata stazionarietà dei segnali di ingresso può portare a un risultato completamente errato, ma spesso non viene fornita alcuna indicazione che permetta di mettere in dubbio la significatività del risultato stesso.

Poiché generalmente lo strumento non è in grado di verificare se le condizioni richieste per un corretto funzionamento sono soddisfatte, la garanzia della correttezza del risultato fornito è di esclusiva competenza dell'operatore. Pertanto, anche se uno strumento digitale permette di ottenere prestazioni notevolmente superiori a quelle offerte dal corrispondente strumento analogico, per evitare errori grossolani è richiesta una profonda conoscenza delle sue modalità di funzionamento e di utilizzazione.

Nello schema a blocchi di figura 15.2 non va trascurata l'importanza del blocco di I/O, ormai sempre presente in un qualsiasi strumento numerico. Mediante tale blocco è infatti possibile un collegamento con altri dispositivi, o con un host computer. Il caso più tipico di utilizzazione del blocco di I/O si ha nel trasferimento a un host computer delle informazioni acquisite ed elaborate dallo strumento.

Altrettanto interessante è, inoltre, la possibilità di inviare allo strumento, mediante il blocco di I/O, opportuni comandi di predisposizione utilizzando un computer. Lo strumento può, cioè, essere considerato un componente di un più complesso sistema di misurazione, il cui scopo è quello di acquisire e gestire delle informazioni in modo automatico, ad esempio per un collaudo di un prodotto finito, oppure per la verifica del corretto funzionamento di un processo di produzione.

Il blocco di I/O consente, inoltre, il collegamento dello strumento con una normale stampante; si può così ottenere una stampa su carta della traccia visualizzata sullo schermo. Con i primi oscilloscopi, ciò avveniva solo utilizzando registratori a carta, i quali presentano notevoli limiti soprattutto in termini di banda, oppure apparecchiature fotografiche, il cui uso non è però molto agevole.

In ogni oscilloscopio digitale, il blocco di conversione A/D riveste un ruolo di primaria importanza e parecchi sono gli sforzi fatti dai costruttori per incrementare le sue prestazioni, soprattutto nei riguardi della frequenza di campionamento. Questo blocco esegue due distinte attività: il campionamento del segnale analogico di ingresso e la quantizzazione dei campioni ottenuti; questa seconda attività è necessaria per rappresentare su un registro di memoria il valore numerico del campione acquisito con un numero finito di bit.

Come schematizzato in figura 15.2, il comando per il blocco di conversione viene fornito da un segnale periodico, denominato clock, la cui frequenza può essere anche molto elevata, dell'ordine di parecchie centinaia di MHz, o addirittura, nei più recenti modelli di strumenti, di decine di GHz.

I valori numerici così ottenuti vengono normalmente depositati nella memoria di acquisizione, la cui gestione generale è basata su un comando dipendente dalle modalità di funzionamento complessivo e usualmente ricavato dal segnale di ingresso. Nella situazione più semplice, questo comando, che prende il nome generico di *trigger*, può essere ottenuto dai segnali di ingresso con la stesse modalità utilizzate in un oscilloscopio analogico. Si può cioè fissare un livello e una pendenza; ogni volta che il segnale di ingresso assume il dato livello con la data pendenza, viene generato un impulso di trigger, che influenza il funzionamento del blocco di memorizzazione.

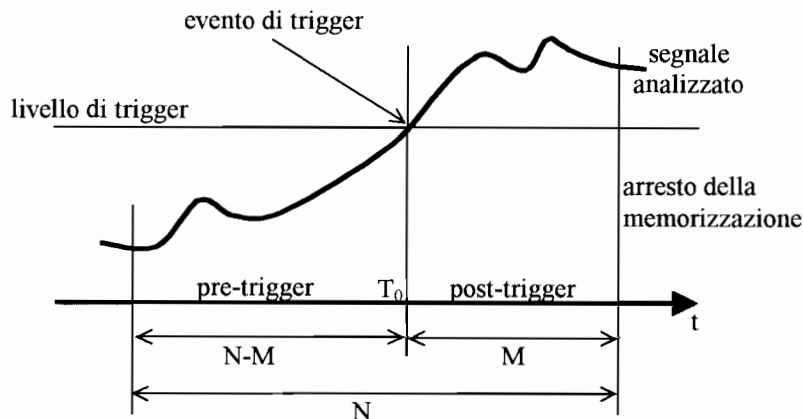
15.4 La memoria di acquisizione

Per semplicità, si supponga per il momento che i valori numerici forniti dal blocco di conversione A/D su comando del segnale periodico di clock siano depositati in successione nella memoria di acquisizione. Poiché il periodo di campionamento è

costante, è possibile risalire al legame temporale tra i campioni memorizzati a partire dalla posizione che occupano nella memoria di acquisizione.

Da un punto di vista logico è possibile immaginare la memoria di acquisizione come costituita da un buffer circolare di capacità N . Pertanto, una volta riempita la memoria con N campioni, il nuovo campione acquisito, l' $(N+1)^{mo}$, viene memorizzato nella posizione occupata dal primo, che viene così perso; analogo comportamento si ha per i campioni successivi. In altre parole, alla fine di ogni ciclo, nella memoria sono sempre conservati gli ultimi N campioni acquisiti.

Il segnale di trigger può influire sul funzionamento della memorizzazione con modalità che possono essere scelte dall'operatore in base all'indagine che si desidera effettuare. Per illustrare alcune di queste modalità si supponga che all'ingresso di un oscilloscopio sia applicato un segnale analogico avente l'andamento temporale illustrato in figura 15.3a; in tale figura sono anche indicati il livello e la pendenza scelti per ottenere l'evento di trigger.



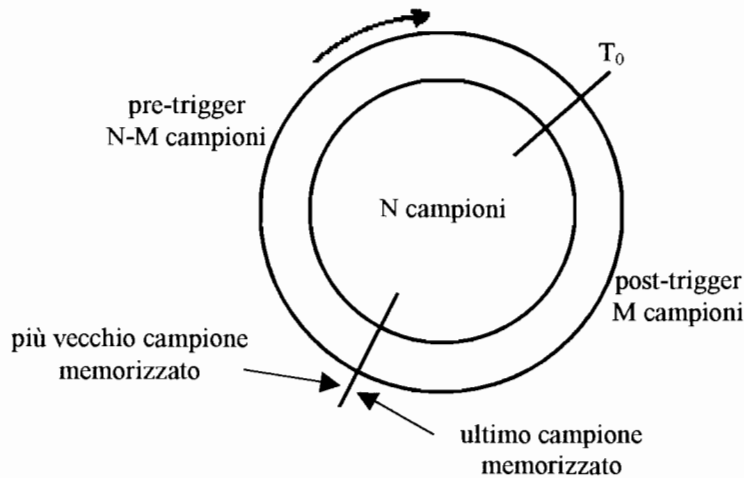
- figura 15.3 a)-

Si supponga che all'istante T_0 nel quale si verifica un evento di trigger nella memoria siano già conservati gli ultimi N campioni acquisiti in precedenza, cioè che il transitorio iniziale sia già terminato.

Lo strumento può essere predisposto in modo che la memorizzazione si arresti dopo M campioni dall'istante in cui si è verificato il trigger; poiché il blocco di conversione rimane continuamente in funzione, i campioni successivi all' M^{mo} andranno quindi persi. All'arresto della memorizzazione in memoria sono pertanto conservati N campioni allocati temporalmente rispetto all'istante di trigger in base al valore del parametro M con cui lo strumento è stato predisposto.

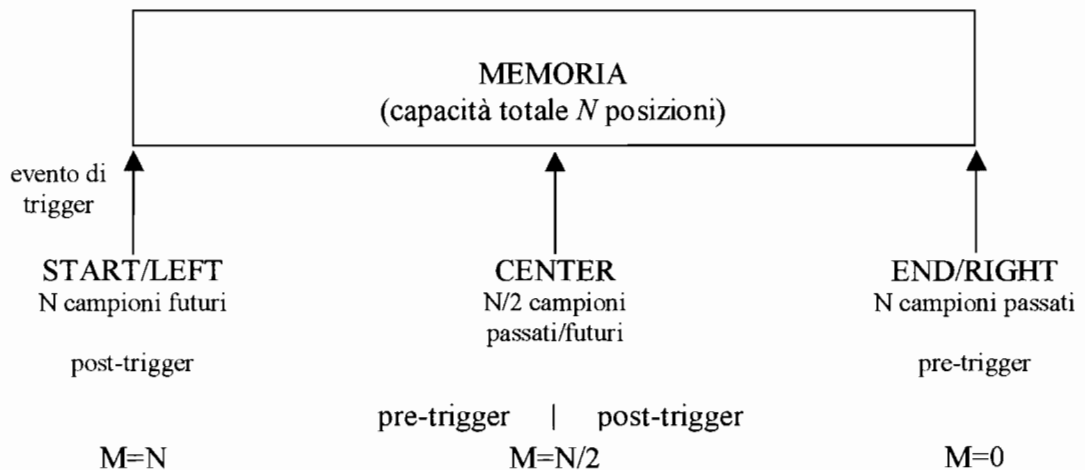
In figura 15.3 b) è illustrato il caso in cui il valore di M è compreso fra 0 e N . Quando la memorizzazione viene arrestata in memoria sono quindi conservati M campioni acquisiti dopo l'evento di trigger e $N-M$ campioni acquisiti prima. Possono cioè essere analizzate anche porzioni di segnale precedenti all'evento di trigger; è questa una prestazione molto interessante, non disponibile in un usuale oscilloscopio analogico. Da un punto di vista applicativo questa prestazione può essere molto utile, e in qualche caso addirittura indispensabile, come ad esempio quando interessa analizzare la causa di un guasto. Utilizzando la condizione di guasto stessa per generare l'impulso

di trigger, si può infatti avere a disposizione anche l'andamento del segnale prima del guasto, facilitando in tal modo l'individuazione della causa che l'ha generato.



- figura 15.3 b) -

La durata temporale della porzione di segnale conservata in memoria rispetto all'evento di trigger dipende dalla frequenza di campionamento adottata, dalla capacità complessiva della memoria e dal valore del parametro M scelto con opportune modalità dall'operatore.



- figura 15.4 -

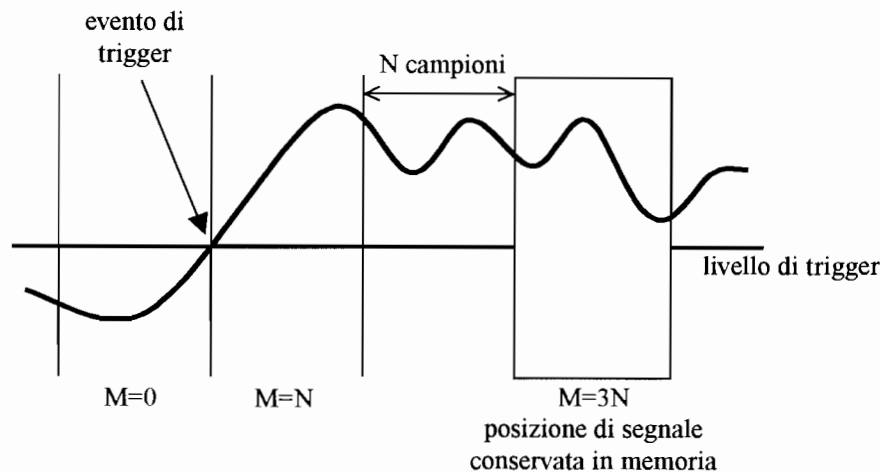
Se $M=0$, l'evento di trigger blocca la memorizzazione e gli N campioni presenti in memoria sono tutti relativi a una porzione di segnale che precede il trigger.

Se invece $M=N$ tutti gli N campioni memorizzati sono successivi all'evento di trigger; concettualmente è come se tale evento abilitasse la conservazione dei campioni in memoria.

Con riferimento all'evento di trigger si può affermare che nel primo caso in memoria sono conservati solo campioni appartenenti al passato, mentre nel secondo caso i campioni appartengono al futuro.

Nella situazione illustrata in figura 15.3 appartiene al passato la porzione costituita da $N-M$ campioni, mentre la restante porzione formata da M campioni appartiene al futuro: in letteratura queste due porzioni vengono dette rispettivamente di *pre-trigger* e di *post-trigger*.

Nei primi oscilloscopi digitali, e in quelli attuali con modeste prestazioni, la dimensione della porzione di post-trigger può essere 0, $N/2$ o N ; le corrispondenti predisposizioni dello strumento sono denominate rispettivamente STOP, CENTER, START, o simili, come mostrato in figura 15.4.



- figura 15.5 -

Negli oscilloscopi più recenti si può assumere un numero elevato di valori interi, aumentando così la possibilità di scelta. Generalmente M può assumere un qualsiasi valore intero compreso tra 0 e un massimo anche maggiore di N ; in qualche caso, invece, la minima variazione possibile di M è maggiore di uno.

Ovviamente, poiché l'arresto della memorizzazione non può avvenire prima del verificarsi dell'evento di trigger non ha significato considerare valori negativi di M . È invece possibile fissare $M > N$; in questo caso viene fissato il ritardo che deve intercorrere tra l'evento di trigger e la porzione di segnale che si desidera analizzare. Questo ritardo può assumere anche valori piuttosto elevati.

In figura 15.5 è schematizzato il caso con $M=3N$: in memoria sono conservati N campioni relativi a una porzione di segnale che inizia dopo aver acquisito $2N$ campioni successivi all'evento di trigger.

15.5 Il blocco di conversione A/D

Le prestazioni di accuratezza e di banda di un oscilloscopio digitale dipendono in maniera significativa dal blocco di conversione A/D; questo è caratterizzato, principalmente, dal numero di bit e dal numero di campioni convertiti al secondo (Sample/second, S/s).

In un usuale oscilloscopio digitale la conversione viene normalmente eseguita con 8 bit ma per particolari esigenze di accuratezza sono disponibili anche strumenti con 10 o più bit di risoluzione, a fronte dei 7 o 6 bit dei primi strumenti di questo tipo.

La frequenza di campionamento massima può assumere valori in un campo molto esteso e parecchi sono gli sforzi fatti dai costruttori per elevare sempre di più il limite superiore di questo parametro. Attualmente, anche gli oscilloscopi più modesti eseguono un campionamento con velocità dell'ordine di alcune decine di MS/s; i più sofisticati strumenti disponibili arrivano invece fino a decine di GS/s.

15.9 Il campionamento in tempo reale

La conversione A/D può essere organizzata con diverse modalità; la scelta della modalità più adeguata a una data applicazione dipende dal tipo di segnale di ingresso e dal tipo di analisi che si desidera eseguire. Il modo più semplice e intuitivo per organizzare l'attività di conversione prende il nome di *one-shot*, oppure *single-shot* o *in tempo reale*. Utilizzando come comando per il blocco A/D un segnale di clock periodico di frequenza f_c , si procede al campionamento del segnale di ingresso, depositando in sequenza nel buffer circolare di acquisizione i campioni numerici ottenuti.

L'evento di trigger influisce sull'attività di memorizzazione con modalità diverse, che possono essere scelte dall'operatore. In ogni caso, quando la memorizzazione viene arrestata, in memoria sono conservati N campioni ottenuti in sequenza dal campionamento di una porzione del segnale di ingresso di durata pari a $NT_c = N/f_c$, localizzata temporalmente in una posizione dipendente dalla modalità di funzionamento scelta per il blocco di trigger.

Le frequenze di campionamento f_c ottenibili con gli attuali convertitori A/D rendono particolarmente complessa la realizzazione non solo del blocco di conversione, ma anche di quello di memorizzazione. Si deve infatti tenere presente che, ad esempio, con una frequenza di campionamento di 1GS/s si ha a disposizione, sia per la conversione sia per la memorizzazione di ogni dato, un solo nanosecondo. Le soluzioni circuitali adottate dalle case costruttrici nella realizzazione di questi blocchi sono raramente rese note, e, quando ciò si verifica, vengono fornite solo indicazioni di massima.

In genere, per raggiungere prestazioni di velocità così elevate vengono adottate architetture di tipo parallelo: questa soluzione, pur permettendo di aumentare le prestazioni, richiede però strutture particolarmente complesse, e quindi costose.

Ad esempio, ponendo in parallelo 4 convertitori funzionanti a 250MS/s, è possibile convertire il segnale con una frequenza di campionamento equivalente di 1GS/s. Ovviamente, per una corretta gestione dei 4 convertitori in parallelo, deve essere prevista una adeguata struttura di temporizzazione.

15.10 I segnali ripetitivi

Esistono varie situazioni nelle quali il campionamento in tempo reale è l'unico possibile per analizzare una forma d'onda, come quando si vuole indagare sulle caratteristiche di un transitorio, o su un fenomeno che si verifica una sola volta. I transient recorder, ad esempio, prevedono spesso solamente questa modalità di campionamento.

Con questo modo di procedere, però, la frequenza di campionamento f_c impone un limite superiore alla frequenza massima f_s del segnale di ingresso; devono, infatti, essere rispettate le condizioni imposte dal teorema di Shannon, cioè $f_c > 2f_s$.

Pur disponendo di un convertitore funzionante con una certa frequenza, è possibile superare i limiti teorici imposti dal teorema di Shannon se si accettano restrizioni sul segnale di ingresso. La condizione che si impone è che il segnale da analizzare sia ripetitivo. Vale quindi la pena di richiamare il concetto di ripetitività di un segnale.

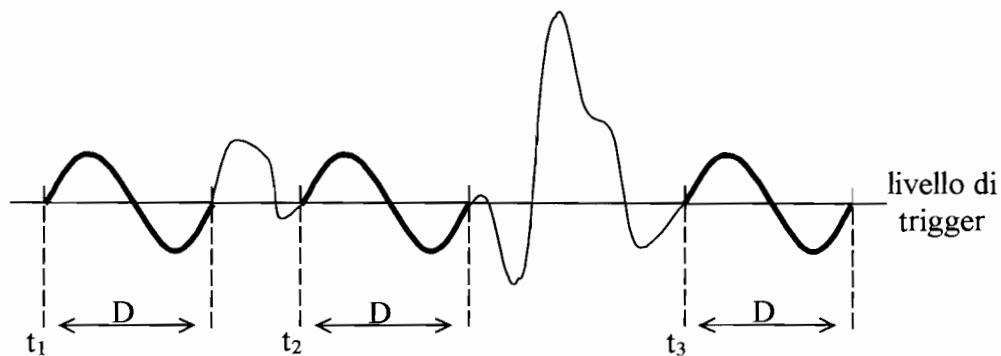
Come è noto, si definisce periodico un segnale che soddisfa la relazione:

$$x(t) = x(t + nT) \quad (15.2)$$

dove n è un numero intero e T il minimo valore che permette di soddisfare la precedente relazione.

La definizione richiede che la porzione di segnale di durata T si ripeta in modo identico su tutto l'asse temporale. Nessun segnale reale può però essere effettivamente periodico, in quanto ha senz'altro avuto un'origine e si presume che avrà una fine. Se però all'interno di un intervallo di tempo durante il quale viene osservato è possibile individuare una porzione di segnale che si ripresenta più volte, il segnale viene detto ripetitivo nei confronti della porzione individuata. Nessuna condizione viene invece posta sull'andamento del segnale esternamente alle porzioni che si ripetono all'interno dell'intervallo di osservazione.

Un semplice esempio di segnale ripetitivo è riportato in figura 15.10.



- figura 15.10 -

Come si può notare, solo le porzioni di durata D presentano lo stesso andamento temporale e l'andamento del segnale al di fuori delle porzioni di interesse può essere qualsiasi.

Imporre che un segnale sia ripetitivo all'interno di un dato intervallo è una condizione che, con accettabile approssimazione, può essere ritenuta spesso verificata in pratica. Implicitamente questa condizione è sempre stata accettata per poter analizzare l'andamento di un segnale utilizzando un oscilloscopio analogico senza memoria. Infatti, affinché sullo schermo di tale strumento sia osservabile una traccia stabile, è necessaria una sincronizzazione delle successive spazzolate così da ottenere un continuo rinfresco dei fosfori eccitati; ciò richiede che la porzione di segnale che si desidera visualizzare ripeta il suo andamento nel tempo.

Per non appesantire la trattazione, nel seguito non si adotterà in modo rigoroso la distinzione tra ripetitività e periodicità. In particolare, poiché concetti che saranno illustrati risultano spesso molto più intuitivi considerando segnali periodici, spesso si farà riferimento a questa situazione, anche se può essere sufficiente supporre soddisfatta la condizione di ripetitività.

15.11 Il campionamento in tempo equivalente

L'uguaglianza delle diverse porzioni di un segnale ripetitivo può essere sfruttata per ricostruire l'andamento temporale delle porzioni utilizzando i campioni prelevati in ripetizioni successive. La scelta di eseguire un campionamento in tempo equivalente ha

senso se, per un dato segnale, la massima frequenza di campionamento non verifica il criterio di Nyquist e se la banda passante dell'oscilloscopio è non inferiore alla massima frequenza contenuta dal segnale, in modo da non introdurre deformazioni. È, inoltre, necessario essere in grado di selezionare le singole porzioni di segnale ed avere garanzie che esse siano effettivamente delle repliche. Per sfruttare al meglio la ripetitività sono state sviluppate due modalità di campionamento; la prima è utilizzata prevalentemente negli oscilloscopi analogici a campionamento, ed è spesso denominata *campionamento tempo equivalente sincrono*; la seconda, propria degli oscilloscopi digitali, è meglio nota come *campionamento tempo equivalente asincrono* (o *random*).

15.12 Campionamento tempo equivalente sincrono

Il principio di funzionamento del campionamento tempo equivalente sincrono si basa sull'acquisizione di campioni di un segnale di periodo noto.

Il campionamento è detto sincrono quando, dati N , P e Q interi, con $P < Q$, è soddisfatta la relazione (15.3) che lega il periodo di campionamento T_c effettivo al periodo del segnale T :

$$T_c = \left(N + \frac{P}{Q} \right) T \quad (15.3)$$

Ad esempio, la scelta $N=1$, $P=1$ e $Q=5$, non verifica il criterio di Nyquist, poiché, essendo $N \neq 0$, risulta:

$$f_c = \frac{5}{6} f_s < f_{Nyquist} = 2f_s$$

In termini di tempo equivalente, invece, risulta:

$$f_{c_{eq}} = Q \cdot f_s = 5f_s$$

Poiché, in tal modo è ricostruita una porzione di segnale mediante Q campioni. Per $N=1$, $P=3$ e $Q=5$, la sequenza periodica è ancora 5, ma i campioni non sono nel giusto ordine; i periodi richiesti sono adesso 7 e dipendono, senza una relazione precisa, dal rapporto tra P e Q .

15.13 Campionamento tempo equivalente asincrono

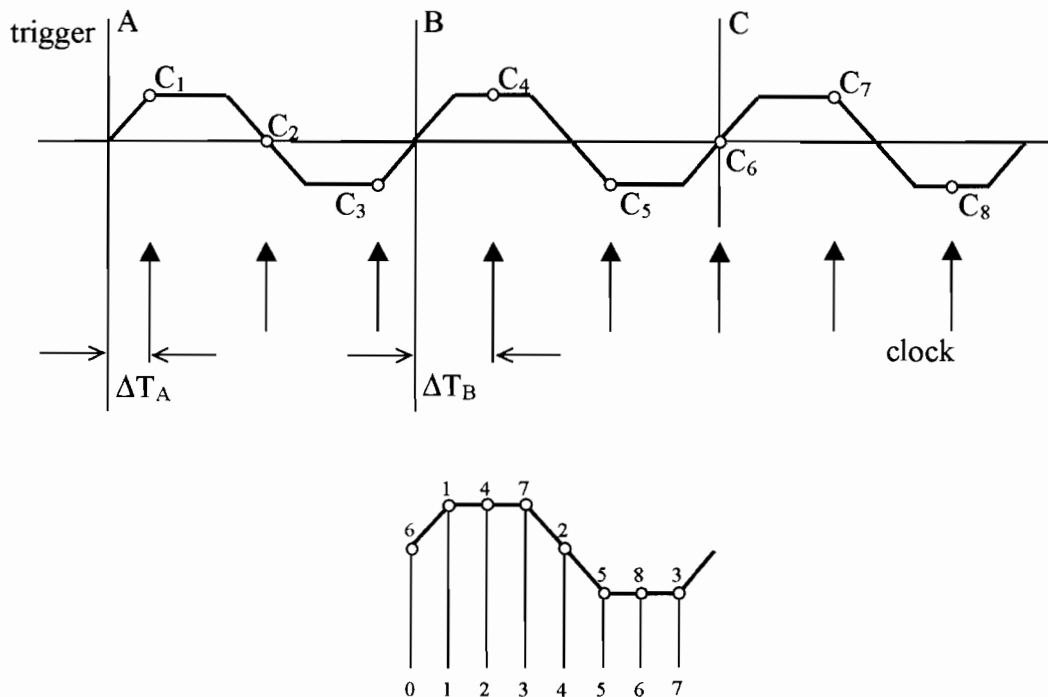
Se T è non noto, si utilizza la modalità di campionamento asincrona, dove si associa al campione acquisito il suo ritardo rispetto al precedente evento di trigger. Il ritardo si traduce in una diversa collocazione dei campioni nelle celle di memoria: la loro posizione è determinata dal ritardo rispetto al trigger.

Il segnale di ingresso è campionato con una frequenza costante f_c , indipendentemente dagli istanti di trigger; gli impulsi di trigger si verificano cioè in modo completamente asincrono rispetto agli istanti di campionamento, da cui il nome di asincrono, o casuale, dato a questa tecnica di campionamento.

Fra due successivi impulsi di trigger viene prelevato un numero molto limitato di campioni, non rigorosamente costante a causa della asincronicità, o in genere del tutto insufficiente per una adeguata ricostruzione della forma d'onda in esame; a tale scopo devono quindi essere utilizzati insieme di campioni ottenuti da periodi diversi del segnale.

Per ottenere una ricostruzione corretta è perciò necessario conoscere il legame temporale esistente fra ogni impulso di trigger e il corrispondente insieme di campioni acquisiti. Tutti gli eventi di trigger vengono inoltre fatti corrispondere allo stesso istante temporale.

In pratica, poiché il campionamento avviene con un periodo noto, per conoscere tale legame temporale è sufficiente misurare il ritardo esistente tra ogni impulso di trigger e il campione immediatamente successivo. La risoluzione temporale con cui è necessario determinare tale ritardo dipende anche dalla durata della porzione di segnale da analizzare e dal numero di campioni utilizzati per rappresentare tale porzione.



- figura 15.11 -

Per ricavare le principali relazioni che esistono tra i diversi parametri utilizzati nel campionamento asincrono si supponga di voler analizzare una porzione di segnale di durata T_0 utilizzando N campioni.

Detta T_0 la durata della porzione del segnale da analizzare, ed N il numero di campioni acquisiti, la frequenza di campionamento equivalente f_c' è data da:

$$f_c' = \frac{N}{T_0} \quad (15.4)$$

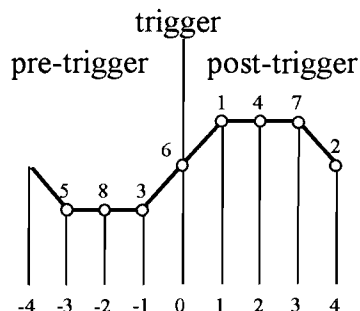
mentre la frequenza di campionamento effettiva f_c è pari a:

$$f_c = \frac{f_c'}{K} = \frac{N}{K \cdot T_0} \quad \text{con } K > 1 \quad (15.5)$$

Si ha perciò $f_c < f_c'$; in pratica, il parametro K assume valori notevolmente elevati.

La figura 15.11 mostra una porzione ricostruita in condizioni di solo post-trigger.

È possibile richiedere che gli $N=8$ campioni siano per metà antecedenti e per metà successivi all'evento di trigger, come mostrato in figura 15.12.



- figura 15.12 -

Le figure 15.11 e 15.12 sono state ricavate, per semplicità, da un segnale periodico; in generale, la procedura descritta è valida per segnali ripetitivi.

L'individuazione di ogni porzione di durata T avviene mediante dei segnali di trigger e ogni campione acquisito viene collocato rispetto a tale evento; se un campione acquisito non appartiene alla porzione di segnale (sia pre- che post-trigger) di interesse, viene perso.

15.14 Visualizzazione

Per ricavare le informazioni di interesse i campioni depositati nella memoria di acquisizione devono essere opportunamente manipolati. Normalmente tali campioni vengono utilizzati per ricostruire la forma d'onda di una porzione di interesse del segnale d'ingresso; in tal caso l'insieme delle attività richieste viene svolta nel blocco di visualizzazione. Come già ricordato, questo blocco può far parte di uno strumento autonomo oppure costituire una risorsa comune inserita in un più complesso sistema elettronico e utilizzabile per tutte le esigenze di presentazione dei risultati ottenuti. Nel seguito si farà per semplicità riferimento al primo caso in quanto più diffuso. In un oscilloscopio digitale la visualizzazione viene di solito realizzata utilizzando tubo a raggi catodici il cui funzionamento può essere di tipo vettoriale oppure *raster*; la tendenza all'impiego è sempre più rivolta verso i tubi raster.

L'esempio più semplice di tubo vettoriale è costituito dal tubo a raggi catodici, presente in un normale oscilloscopio analogico; in esso la posizione del fascio elettronico è determinata dalle tensioni applicate a due coppie di placchette. L'impiego di questo tipo di tubi richiede ovviamente l'uso di due convertitori digitali-analogici per convertire i valori numerici che esprimono l'ampiezza e il ritardo associati a ogni campione da visualizzare in tensioni analogiche.

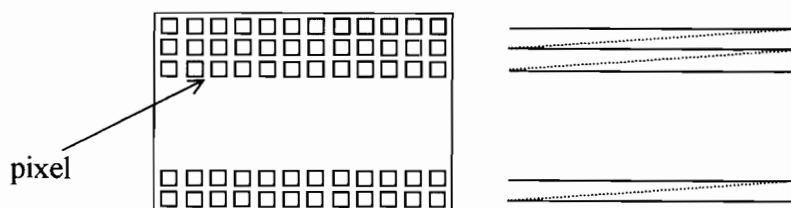
La presenza della memoria di acquisizione rende relativamente indipendenti le prestazioni in frequenza dai blocchi posti a monte e a valle di essa. Non è quindi necessario che il tubo vettoriale presenti una banda passante molto ampia.

Il funzionamento di un tubo raster è molto simile a quello di un tubo televisivo. Lo schermo viene considerato come una matrice composta da $N \times M$ areole elementari, dette *pixel*, ognuna delle quali emette luce quando viene eccitata da un fascio elettronico. Nel caso più semplice, il fascio elettronico scandisce con continuità tutti i pixel dello

schermo, come mostrato in figura 15.13; ogni pixel viene eccitato o meno a seconda dell'intensità assunta dal fascio durante la scansione.

La visualizzazione di una traccia, oppure di un carattere alfanumerico, richiede l'eccitazione di un opportuno insieme di pixel. Si tratta quindi di modulare l'intensità del fascio in modo che durante la scansione, che avviene in modo indipendente dalla traccia da visualizzare, siano eccitati solo i pixel desiderati.

Lo schermo di un tubo raster è normalmente costituito da qualche centinaio di righe e di colonne. Il tubo di un oscilloscopio di prestazioni normali può presentare ad esempio 368 righe e 576 colonne. Per ottenere un'immagine di migliore qualità strumenti di prestazioni elevata sono invece dotati di schermi di maggiore risoluzione; ad esempio, lo schermo di un oscilloscopio di un certo pregio è formato da 810 righe e 696 colonne.



- figura 15.13 -

Non tutto lo schermo viene utilizzato per la visualizzazione delle tracce; in genere due porzioni laterali, una verticale e una orizzontale sono infatti utilizzate per fornire informazioni alfanumeriche.

Il rinfresco dello schermo avviene con una frequenza di solito compresa fra 50 e 70 Hz. La gestione del pennello elettronico (sincronismo di riga, di quadro, ...) è ottenuta mediante circuiti integrati molto simili a quelli utilizzati in un normale tubo televisivo; essi rappresentano una parte della circuiteria necessaria al funzionamento del tubo stesso.

La qualità della traccia visualizzata in un tubo raster è inferiore a quella ottenibile con un tubo vettoriale di un oscilloscopio analogico; la risoluzione fornita da entrambe le soluzioni è invece paragonabile, nonostante il numero limitato di livelli rappresentabili in un tubo raster. Si deve infatti tener presente che la risoluzione ottenibile in un oscilloscopio analogico dipende dalla capacità dell'occhio umano di discriminare due diverse posizioni del pennello elettronico sullo schermo; supponendo di poter discriminare due posizioni che differiscono fra loro di 0,3-0,5 mm, un oscilloscopio analogico dotato di uno schermo di 100 mm permette pertanto di individuare 200-300 posizioni diverse. Un tubo raster con 256 righe presenta quindi una risoluzione paragonabile a quella di un oscilloscopio analogico. Aumentando il numero di righe del tubo raster è possibile ottenere una risoluzione superiore.

Si deve però notare che sullo schermo viene spesso presentata solo una parte dell'informazione disponibile nella memoria dello strumento, soprattutto per quello che riguarda l'asse temporale. Un opportuno uso dei cursori e l'impiego di successive espansioni della scala orizzontale permette di raggiungere risoluzioni temporali molto elevate, normalmente superiori a quelle disponibili in un oscilloscopio analogico.