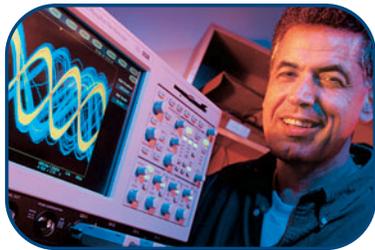


Introduzione agli oscilloscopi



Indice

Introduzione	3
Integrità del segnale	
Significato dell'integrità del segnale	4
Perché l'integrità del segnale è un problema?	4
Visualizzazione delle origini analogiche dei segnali digitali	5
L'oscilloscopio	
Caratteristiche delle forme d'onda e misure su di esse	6
Tipi di onde	7
Onde sinusoidali	7
Onde quadre e rettangolari	7
Onde a dente di sega e triangolari	7
Andamenti a gradino e a impulso	8
Segnali periodici e non periodici	8
Segnali sincroni e asincroni	8
Onde complesse	8
Misure sulle forme d'onda	9
Frequenza e periodo	9
Tensione	9
Ampiezza	9
Fase	10
Misure sulle forme d'onda con gli oscilloscopi digitali	10
Tipologia degli oscilloscopi	
Oscilloscopi analogici	11
Oscilloscopi digitali	12
Oscilloscopi a memoria digitale	13
Oscilloscopi ai fosfori digitali	15
Oscilloscopi campionatori	17
Sistemi e comandi di un oscilloscopio	
Comandi e sistema di deflessione verticale	18
Posizione e volt a divisione	19
Accoppiamento d'ingresso	19
Limite della larghezza di banda	20
Modalità di visualizzazione Alternate e Chop	20
Comandi e sistema di deflessione orizzontale	21
Comandi di acquisizione	21
Modalità di acquisizione	21
Avvio e arresto del sistema di acquisizione	23
Campionamento	23
Comandi di campionamento	23
Metodi di campionamento	23
Campionamento in tempo reale	24
Campionamento in tempo reale con interpolazione	25
Campionamento in tempo equivalente	25
Campionamento in tempo equivalente casuale	26
Campionamento in tempo equivalente sequenziale	26
Posizione e secondi a divisione	27
Selezione della base dei tempi	27
Zoom	27
Modalità XY	27
Asse Z	27
Modalità XYZ	27
Comandi e sistema di trigger	28
Posizione del trigger	29
Livello e pendenza del trigger	30
Sorgenti di trigger	30
Modalità di trigger	30
Accoppiamento del trigger	30
Holdoff del trigger	31
Comandi e sistema di visualizzazione	31
Altri comandi dell'oscilloscopio	
Operazioni di misura e matematiche	32

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida

Il sistema di misura completo

Sonde	33
Sonde passive	34
Sonde attive e differenziali	35
Accessori della sonda	36

Fattori e termini relativi alle prestazioni

Larghezza di banda	37
Tempo di salita	38
Frequenza di campionamento	39
Frequenza di acquisizione della forma d'onda	40
Lunghezza di registrazione	40
Funzioni di trigger	41
Bit effettivi	41
Risposta in frequenza	41
Sensibilità verticale	41
Velocità di scansione	41
Precisione del guadagno	41
Precisione orizzontale (della base dei tempi)	41
Risoluzione verticale (convertitore analogico-digitale)	41
Connettività	42
Espansibilità	43
Facilità d'uso	44
Sonde	44

Uso dell'oscilloscopio

Preparazione	45
Collegamento dell'oscilloscopio alla terra	45
Collegamento di sé stessi con la terra	45
Impostazione dei comandi	46
Uso delle sonde	46
Collegamento della presa di messa a terra	46
Compensazione della sonda	47

Tecniche di misura con l'oscilloscopio

Misure di tensione	48
Misure di tempo e di frequenza	49
Misure della durata dell'impulso e del tempo di salita	49
Misure di sfasamento	50
Altre tecniche di misura	50

Esercizi scritti

Parte I

Esercizi sul vocabolario	51
Esercizi sulle applicazioni	52

Parte II

Esercizi sul vocabolario	53
Esercizi sulle applicazioni	54
Risposte	55

Glossario	56
-----------------	----

Introduzione

I fenomeni della natura hanno un andamento sinusoidale, siano essi onde marine, terremoti, onde acustiche, esplosioni, il suono che si propaga nell'aria o la frequenza naturale di un corpo in movimento. Energia, particelle in vibrazione e altre forze invisibili pervadono l'universo fisico. Anche la luce, la cui natura è in parte corpuscolare e in parte ondulatoria, ha una frequenza fondamentale, osservabile sotto forma di colore.

I sensori possono trasformare queste forze in segnali elettrici osservabili e analizzabili con un oscilloscopio. Gli oscilloscopi permettono a scienziati, ingegneri, tecnici, professori e altri studiosi di visualizzare eventi variabili nel tempo.

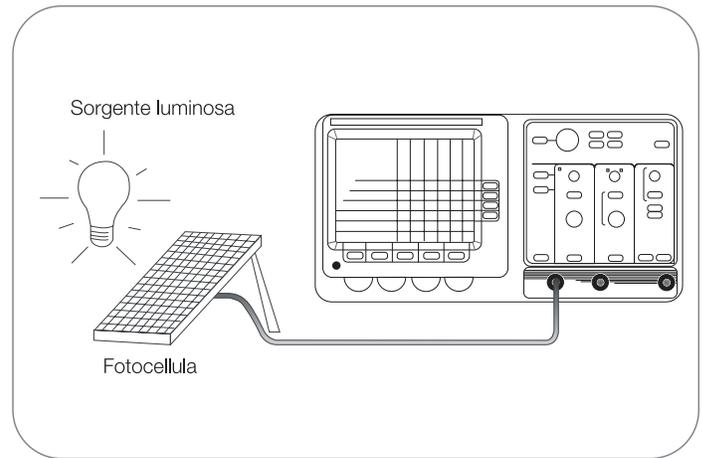
Gli oscilloscopi sono strumenti indispensabili per chiunque debba progettare, fabbricare o riparare apparecchi elettronici. Nella società d'oggi, caratterizzata da ritmi così rapidi, i tecnici hanno bisogno degli strumenti migliori per risolvere velocemente e con precisione i problemi posti dalle misure. A tale scopo, gli oscilloscopi sono essenziali per un tecnico quanto gli occhi.

L'utilità di un oscilloscopio non si limita al settore dell'elettronica. Con i **trasduttori** adatti, un oscilloscopio può misurare ogni tipo di fenomeno. Un trasduttore è un dispositivo che genera un segnale elettrico in risposta a un segnale fisico, come un suono, una sollecitazione meccanica, una pressione, un segnale luminoso o uno di calore. Per esempio, un microfono è un trasduttore che trasforma il suono in segnali elettrici. La figura 1 illustra dati scientifici acquisibili mediante un oscilloscopio.

Gli oscilloscopi sono adoperati da chiunque, dai fisici ai tecnici radiotelevisivi. Gli ingegneri di autoveicoli usano gli oscilloscopi per misurare le vibrazioni dei motori. Un ricercatore medico può utilizzare un oscilloscopio per eseguire misure sulle onde cerebrali. Le possibilità sono infinite.

I concetti presentati nella presente guida gettano le fondamenta per la comprensione del funzionamento e dei comandi basilari dell'oscilloscopio.

Il glossario riportato alla fine della guida definisce i termini meno noti. La terminologia impiegata e gli esercizi a risposta multipla sulla teoria e sui comandi dell'oscilloscopio fanno di questa guida un utile sussidio didattico. Non occorrono conoscenze avanzate di matematica o elettronica.



► **Figura 1.** Esempio di dati scientifici acquisiti mediante un oscilloscopio.

Una volta studiata questa guida, sarete in grado di:

- descrivere come funzionano gli oscilloscopi;
- descrivere le differenze tra gli oscilloscopi analogici, a memoria digitale, ai fosfori digitali e campionatori;
- descrivere i vari tipi di forme d'onda elettriche;
- usare i comandi fondamentali dell'oscilloscopio;
- eseguire semplici misure.

Il manuale dell'oscilloscopio che state utilizzando contiene informazioni più specifiche sul suo impiego nell'ambiente di lavoro. Alcuni produttori di oscilloscopi forniscono inoltre una moltitudine di note applicative per aiutare a ottimizzare l'oscilloscopio in base alle misure specifiche da eseguire.

Per ulteriori informazioni, per offrire commenti o fare domande su questa guida, rivolgetevi al rappresentante Tektronix o visitate il sito

www.tektronix.com.

Integrità del segnale

Significato dell'integrità del segnale

La caratteristica essenziale di un buon sistema di misura di oscilloscopio è la sua capacità di ricostruire con precisione una forma d'onda; si fa riferimento a ciò con il termine **integrità del segnale**. Un oscilloscopio è simile a una macchina fotografica che acquisisca immagini che possiamo osservare e interpretare. Alla base dell'integrità del segnale ci sono due aspetti chiave.

- Quando si scatta una fotografia, essa rappresenta accuratamente ciò che è effettivamente accaduto?
- L'immagine è nitida o sfocata?
- Quante di queste immagini accurate è possibile acquisire al secondo?

Presi nella loro interezza, i diversi sistemi e prestazioni di un oscilloscopio contribuiscono alla sua capacità di ottenere la più alta integrità possibile del segnale. Anche le sonde influiscono sull'integrità del segnale di un sistema di misura.

L'integrità del segnale è importante in numerosi settori di progettazione di apparecchi elettronici, ma fino ad alcuni anni fa essa era solo un problema di minore entità per i progettisti di dispositivi digitali, che potevano affidarsi al fatto che i loro circuiti logici funzionassero esattamente come i circuiti booleani progettati. Il rumore e i segnali indeterminati erano fenomeni che si verificavano durante la progettazione di dispositivi ad alta frequenza, della quale erano responsabili i tecnici addetti alle radiofrequenze. I sistemi digitali cambiavano stato lentamente e i segnali si stabilizzavano in modo prevedibile.

Da allora le frequenze di clock dei processori sono aumentate di vari ordini di grandezza. Le applicazioni per i computer, quali la grafica tridimensionale e i segnali di ingresso/uscita (input/output, I/O) video e dei server richiedono larghezze di banda elevate. Molte delle odierne apparecchiature per telecomunicazioni sono basate su dispositivi digitali e richiedono anch'esse larghezze di banda notevolissime, come pure gli impianti digitali per le trasmissioni televisive ad alta definizione. I dispositivi a microprocessore attuali elaborano i dati a frequenze sino a 2, 3 e anche 5 Gs/s (gigacampioni al secondo), mentre alcuni dispositivi di memoria impiegano clock a 400 MHz e segnali di trasmissione dati con tempi di salita di 200 ps.

Una considerazione importante è che gli aumenti di frequenza si sono ripercossi sui comuni dispositivi a circuiti integrati adoperati negli autoveicoli, nei videoregistratori e nei regolatori elettronici delle macchine, tanto per segnalare solo alcune applicazioni. Un processore funzionante a una frequenza di clock di 20 MHz potrebbe avere segnali con tempi di salita

simili a quelli di un processore a 800 MHz. I progettisti hanno oltrepassato una soglia di prestazioni tale che effettivamente quasi ogni progetto interessa dispositivi digitali ad alta frequenza.

Se non si prendono alcune precauzioni, i problemi derivanti dalle frequenze elevate possono infiltrarsi anche in progetti di dispositivi digitali altrimenti convenzionali. Se in circuito si verificano guasti intermittenti o errori a tensioni e temperature estreme, è probabile che esistano problemi non evidenti di integrità del segnale, che possono ripercuotersi sui tempi di lancio sul mercato, sull'affidabilità del prodotto, sulla conformità alle norme relative all'interferenza elettromagnetica, e su tanto altro ancora.

Perché l'integrità del segnale è un problema?

Esaminiamo alcune delle cause specifiche della degradazione del segnale nei progetti dei dispositivi digitali odierni. Perché questi problemi sono molto più frequenti rispetto agli anni passati?

La risposta è: a causa della frequenza. In passato, ai tempi delle basse frequenze, per mantenere l'integrità dei segnali digitali a livelli accettabili occorreva prestare attenzione a dettagli come la distribuzione dei clock, la progettazione del percorso del segnale, i margini di rumore, gli effetti dei carichi introdotti e delle linee di trasmissione, la terminazione del bus, il disaccoppiamento e la distribuzione dell'alimentazione. Tutte queste regole sono ancora valide, ma c'è qualcosa di nuovo:

i tempi di ciclo dei bus sono persino migliaia di volte più brevi rispetto a 20 anni fa! Le transizioni che una volta duravano microsecondi, adesso si misurano in nanosecondi. Per ottenere questo miglioramento sono stati ridotti anche i tempi dei fronti, che adesso sono fino a 100 volte più brevi rispetto a 20 anni fa.

Tutto ciò ha determinato miglioramenti desiderabili, ma alcune leggi della natura hanno impedito alla tecnologia delle schede di circuiti di stare al passo con questi progressi. I tempi di propagazione nei bus che collegano i vari chip sono rimasti pressoché immutati da decenni. Le dimensioni si sono ridotte, certo, ma esiste ancora la necessità di avere spazio sulle schede per i dispositivi a circuiti integrati, i connettori, i componenti passivi e, naturalmente, le piste dei bus. Questo spazio aumenta le distanze e quindi i tempi, che impediscono di aumentare le frequenze.

È importante tenere presente che la velocità di un fronte – ovvero il tempo di salita – di un segnale digitale può comportare la presenza di componenti a frequenza molto più alta di quella che la frequenza di ripetizione del segnale potrebbe implicare. Per questo motivo alcuni progettisti impiegano deliberatamente dispositivi e circuiti integrati con tempi di salita relativamente lunghi.

Il modello di circuito a costanti concentrate è stato sempre alla base della maggior parte delle formule utilizzate per prevedere l'andamento del se-

gnale in un circuito. Ma quando i tempi dei fronti sono da quattro a sei volte più brevi del ritardo di propagazione del segnale, questo semplice modello non è più valido.

Le piste di schede di circuiti lunghe appena 18 centimetri diventano linee di trasmissione quando in esse si propagano segnali con tempi dei fronti inferiori a 4 - 6 nanosecondi, qualunque sia la frequenza di ciclo. In pratica, si creano nuovi percorsi per il segnale. Queste connessioni non tangibili non sono riportate sugli schemi circuitali, ma ciò nonostante permettono ai segnali di influire l'uno sull'altro in modi imprevedibili.

Al tempo stesso, i percorsi previsti per il segnale non funzionano come dovrebbero. Come le tracce per il segnale descritte in precedenza, i piani di massa e quelli di alimentazione diventano induttivi e funzionano come linee di trasmissione; il disaccoppiamento dall'alimentatore è molto meno efficace. L'interferenza elettromagnetica aumenta man mano che a velocità sempre più alte dei fronti si generano segnali con lunghezze d'onda più corte della lunghezza dei bus. Aumenta la diafonia.

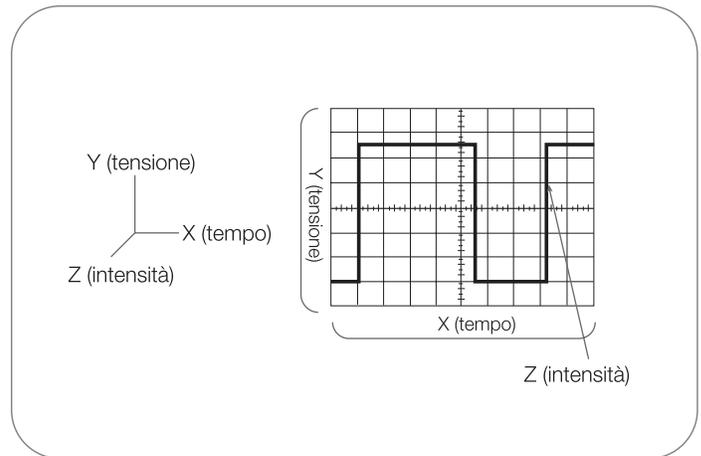
Inoltre, per produrre velocità elevate dei fronti occorrono in genere correnti più alte, che tendono a causare riflessioni da punti a massa, specialmente sui bus più larghi, nei quali più segnali cambiano stato simultaneamente. E poi, all'aumentare della corrente aumenta l'energia magnetica irradiata e con essa la diafonia.

Visualizzazione delle origini analogiche dei segnali digitali

Che cosa hanno in comune tutte queste caratteristiche? Sono tutti fenomeni **analogici** classici. Per risolvere i problemi di integrità del segnale, i progettisti di dispositivi digitali devono operare nel dominio dei segnali analogici, e a tale scopo hanno bisogno di strumenti che visualizzino le interazioni tra i segnali digitali e quelli analogici.

Gli errori dei circuiti digitali spesso hanno origine in problemi di integrità dei segnali analogici. Per individuare la causa di un guasto digitale, è spesso necessario servirsi di un oscilloscopio, che può visualizzare i dettagli e i fronti di una forma d'onda e il rumore sovrapposto, può rilevare e visualizzare i transitori, e può aiutare a misurare con precisione relazioni di temporizzazione come i tempi di setup e hold.

Comprendendo ciascuno dei sistemi dell'oscilloscopio e la loro modalità di applicazione si potrà usare lo strumento efficacemente per risolvere i problemi specifici delle misure da eseguire.



► **Figura 2.** Le componenti X, Y e Z di una forma d'onda visualizzata.

L'oscilloscopio

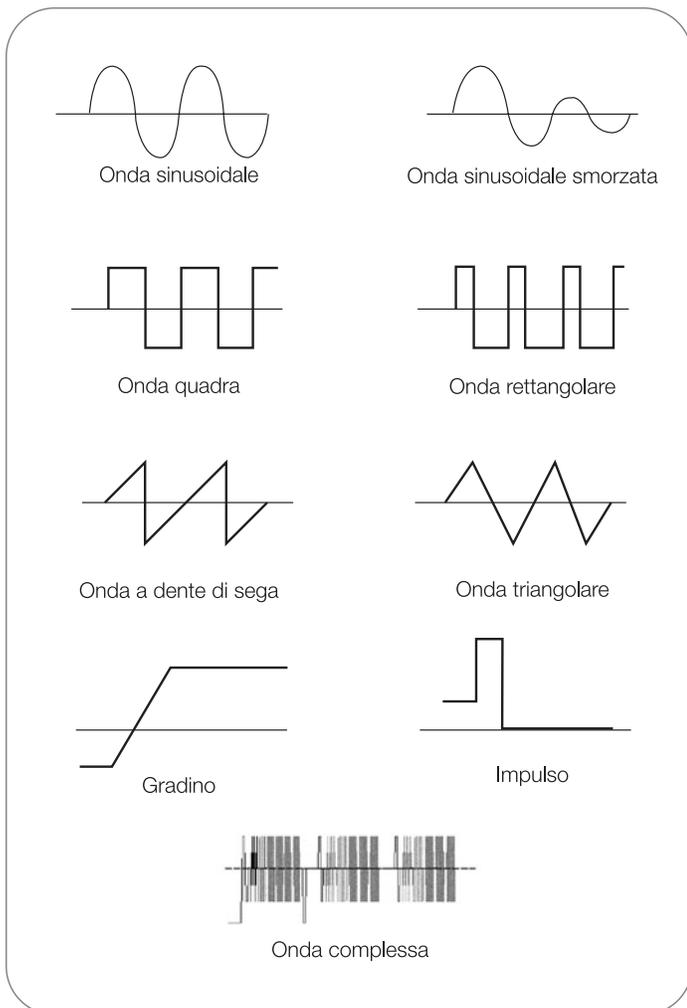
Che cos'è un **oscilloscopio** e come funziona? Questa sezione risponde a queste domande basilari.

L'oscilloscopio è fondamentalmente un dispositivo di visualizzazione grafico: traccia l'andamento di un segnale elettrico. Nella maggior parte delle applicazioni, l'andamento visualizzato è quello dei segnali in funzione del tempo: l'asse verticale, o delle ordinate, (Y) rappresenta la **tensione** e l'asse orizzontale, o delle ascisse, (X) rappresenta il **tempo**. L'**intensità** o luminosità della traccia a volte viene detta asse Z (vedi Figura 2). Questa semplice rappresentazione grafica fornisce molte informazioni su un segnale, come:

- i valori di tensione e temporali di un segnale;
- la frequenza di un segnale oscillante;
- le "parti mobili" di un circuito, rappresentate dal segnale;
- la frequenza di una parte specifica del segnale rispetto ad altre sue parti;
- l'eventuale distorsione del segnale causata dal malfunzionamento di un componente;
- quanta parte di un segnale è in corrente continua o alternata;
- quanta parte di un segnale è rumore e se quest'ultimo varia nel tempo.

Introduzione agli oscilloscopi

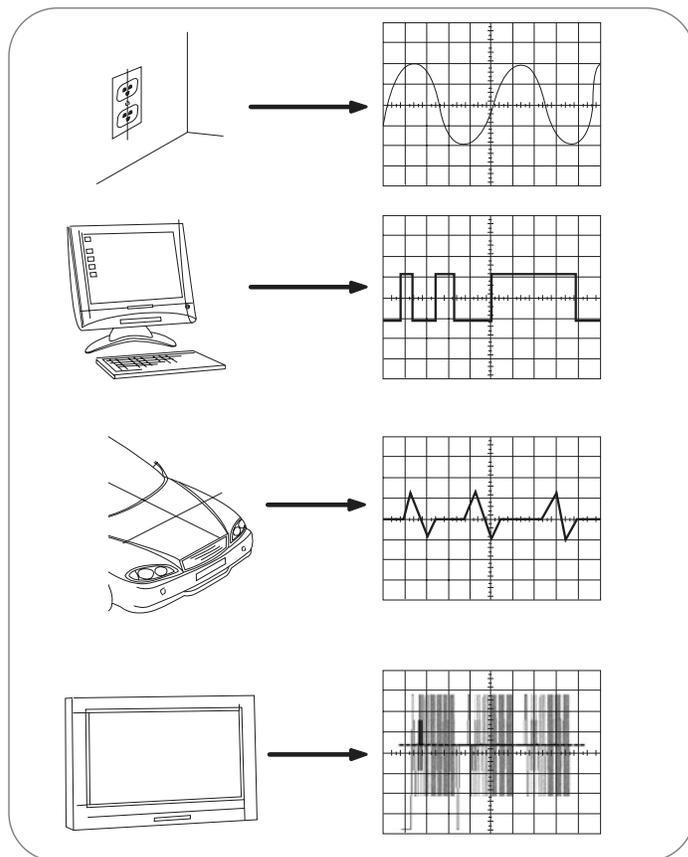
► Guida



► **Figura 3.** Forme d'onda comuni.

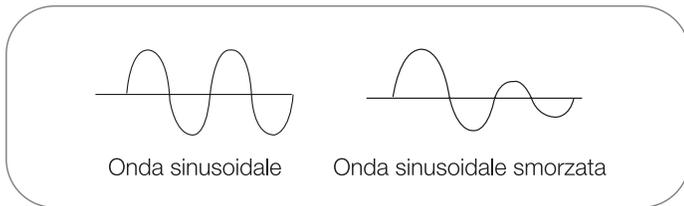
Caratteristiche delle forme d'onda e misure su di esse

Il termine generico utilizzato per indicare una sequenza periodica nel tempo è **onda**; le onde acustiche, cerebrali, marine e di tensione sono tutte sequenze periodiche. Un oscilloscopio esegue misure sulle onde di tensione. Il **ciclo** di un'onda è la parte di essa che si ripete e una **forma d'onda** è la rappresentazione grafica di un'onda. Una forma d'onda di tensione mostra il tempo lungo l'asse delle ordinate e la tensione lungo quello delle ascisse.

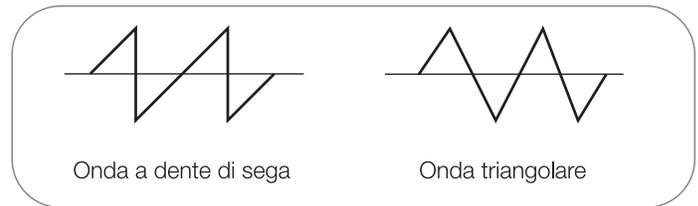


► **Figura 4.** Sorgenti di forme d'onda comuni.

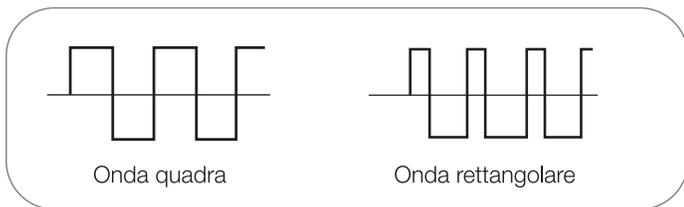
L'andamento di una forma d'onda fornisce molte informazioni sul segnale. Ogni variazione dell'ampiezza della forma d'onda indica una variazione della tensione. Ogni tratto orizzontale piatto indica che durante quell'intervallo non si verificano variazioni. Linee rette diagonali indicano una variazione lineare, ossia un aumento o una diminuzione della tensione a velocità costante. Bruschi angoli lungo la forma d'onda indicano variazioni rapide. La figura 3 illustra forme d'onda comuni e la figura 4 illustra alcune sorgenti di forme d'onda comuni.



► **Figura 5.** Onde sinusoidali e onde sinusoidali smorzate.



► **Figura 7.** Onde a dente di sega e triangolari.



► **Figura 6.** Onde quadre e rettangolari.

Tipi di onde

La maggiore parte delle onde si può classificare nei seguenti tipi.

- Onde sinusoidali
- Onde quadre e rettangolari
- Onde triangolari e a dente di sega
- Onde a gradino e a impulso
- Segnali periodici e non periodici
- Segnali sincroni e asincroni
- Onde complesse

Onde sinusoidali

L'**onda sinusoidale** è l'onda dall'andamento fondamentale per molti motivi. Ha proprietà matematiche armoniche: è lo stesso tipo di onda che si incontra al liceo quando si studia la trigonometria. La tensione delle prese di corrente varia come un'onda sinusoidale. I segnali di test prodotti dal circuito oscillatore di un generatore di segnali spesso sono onde sinusoidali. Molti generatori di corrente alternata producono onde sinusoidali. (Nonostante si faccia riferimento alla **corrente alternata**, anche la tensione è alternata. Quando si parla di **corrente continua**, significa che sia la corrente che la tensione sono costanti nel tempo, come per esempio quelle prodotte da una batteria.)

L'**onda sinusoidale smorzata** è un caso speciale, osservabile in un circuito oscillante; essa si attenua nel tempo. La figura 5 mostra esempi di onde sinusoidali e sinusoidali smorzate.

Onde quadre e rettangolari

L'**onda quadra** è un'altra onda dall'andamento comune.

Fondamentalmente corrisponde a una tensione che diventa presente o assente (oppure a livello alto o basso) a intervalli regolari. Si tratta di un'onda standard per i test sugli amplificatori: un amplificatore dalle buone prestazioni aumenta l'ampiezza di un'onda quadra con una distorsione minima. I circuiti televisivi, radio e dei computer impiegano spesso onde quadre per i segnali di temporizzazione.

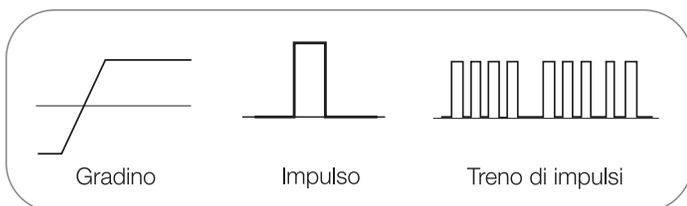
L'**onda rettangolare** è simile all'onda quadra, con la differenza che gli intervalli in cui la tensione è a livello alto o basso non sono uguali. Essa è particolarmente importante quando si analizzano circuiti digitali. La figura 6 mostra esempi di onde quadre e rettangolari.

Onde a dente di sega e triangolari

Le **onde a dente di sega** e **triangolari** vengono generate nei circuiti progettati per regolare le tensioni linearmente, per esempio nel circuito di scansione orizzontale di un oscilloscopio analogico o di scansione raster di una televisione. Le transizioni tra i livelli di tensione di queste onde variano a velocità costante e sono dette **rampe**. La figura 7 mostra esempi di onde a dente di sega e triangolari.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 8.** Andamenti a gradino, a impulso e a treno di impulsi.

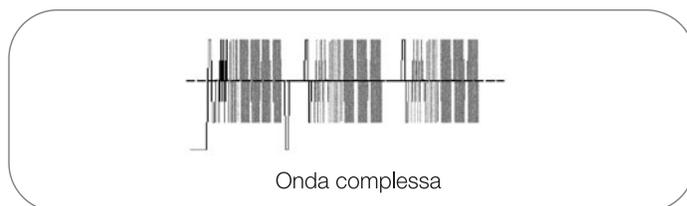
Andamenti a gradino e a impulso

I segnali quali i **gradini** e gli **impulsi**, che si verificano raramente o senza periodicità, sono detti **segnali a evento singolo** o **transitori**. Un gradino indica una variazione brusca della tensione, simile a quella che si verifica quando si aziona un interruttore di corrente.

Un impulso indica una variazione brusca della tensione, simile a quella che si verifica portando un interruttore di corrente sulla posizione “in funzione” (on) e poi di nuovo su quella “non in funzione” (off). Un impulso potrebbe rappresentare un bit di informazione che si propaga nel circuito di un computer oppure un **glitch**, ossia un difetto, di un circuito. Una serie di impulsi che si propagano insieme è un **treno di impulsi**. In un computer i dati vengono trasmessi tra i vari componenti digitali sotto forma di impulsi. Gli impulsi sono comuni anche negli apparati per radiografie e comunicazioni. La figura 8 mostra esempi di andamenti a gradino e a impulso, e un treno di impulsi.

Segnali periodici e non periodici

I segnali ripetitivi vengono detti **segnali periodici**, mentre quelli che cambiano continuamente vengono detti **non periodici**. Un'immagine ferma è analoga a un segnale periodico, mentre un'immagine in movimento può essere equiparata a un segnale non periodico.



► **Figura 9.** Un segnale video composto NTSC è un esempio di onda complessa.

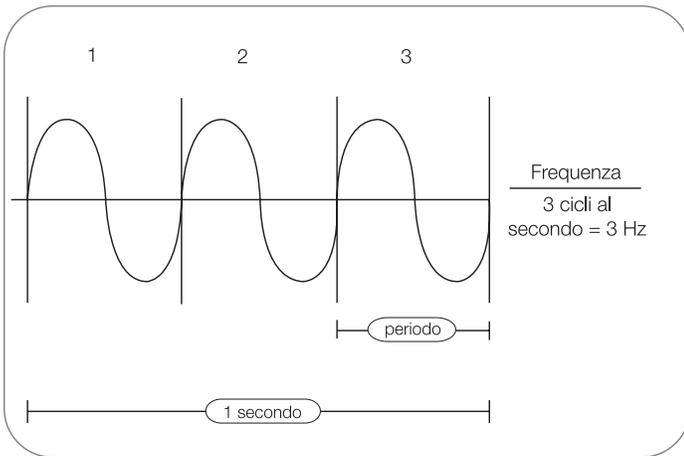
Segnali sincroni e asincroni

Quando tra due segnali esiste una relazione di temporizzazione, essi sono detti **sincroni**. I segnali di clock, dei dati e di indirizzamento in un computer sono esempi di segnali sincroni.

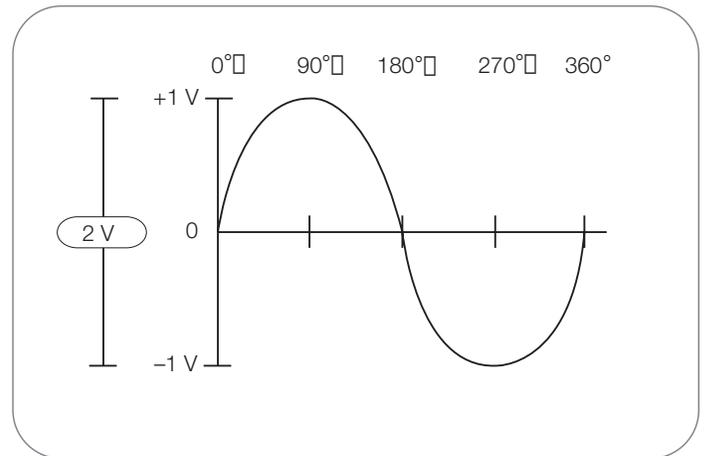
Con il termine **asincrono** si indicano quei segnali tra i quali non esiste nessuna relazione di temporizzazione. Per esempio, poiché non esiste alcuna correlazione temporale tra l'azione di pressione sul tasto della tastiera di un computer e il clock all'interno del computer, questi due segnali sono considerati asincroni.

Onde complesse

Alcune forme d'onda combinano le caratteristiche delle onde sinusoidali e quadre, dei gradini e degli impulsi per produrre andamenti che pongono problemi a molti tipi di oscilloscopio. Le informazioni sul segnale possono essere inserite sotto forma di variazioni di ampiezza, di fase e/o di frequenza. Per esempio, sebbene il segnale illustrato nella figura 9 sia un ordinario segnale video composto, esso è composto da numerosi cicli di forme d'onda a frequenze più alte involtate da un segnale a frequenza più bassa. In questo esempio, in genere è più importante comprendere i livelli relativi e le relazioni di temporizzazione dei gradini. Per visualizzare questo segnale occorre un oscilloscopio in grado di acquisire l'**inviluppo** a bassa frequenza e di unirli alle onde a frequenza più alta in modo da creare una traccia a intensità graduale che permetta di osservare il segnale complessivo sotto forma di un'immagine interpretabile visivamente. Gli oscilloscopi analogici e ai fosfori digitali sono i più adatti per visualizzare onde complesse, quali i segnali video, come quella illustrata nella figura 9. Il loro display a gradazioni di intensità fornisce le informazioni necessarie sulla frequenza con cui si presentano le varie componenti del segnale, essenziali per comprendere l'andamento effettivo della forma d'onda.



► **Figura 10.** Frequenza e periodo di un'onda sinusoidale.



► **Figura 11.** Frequenza e periodo di un'onda sinusoidale.

Misure sulle forme d'onda

Per descrivere i tipi di misure eseguibili con l'oscilloscopio si utilizzano molti termini. Questa sezione descrive alcuni dei termini e delle misure più comuni.

Frequenza e periodo

Se un segnale si ripete, ha una **frequenza**. Questa si misura in hertz (Hz) ed è uguale al numero di volte per cui il segnale si ripete in un secondo (cicli al secondo). Un segnale ripetitivo ha anche un **periodo**, ossia il tempo necessario al segnale per completare un ciclo. Il periodo e la frequenza sono l'uno il reciproco dell'altro, cosicché $1/\text{periodo}$ è uguale alla frequenza e $1/\text{frequenza}$ è uguale al periodo. Per esempio, l'onda sinusoidale illustrata nella figura 10 ha una frequenza di 3 Hz e un periodo di $1/3$ di secondo.

Tensione

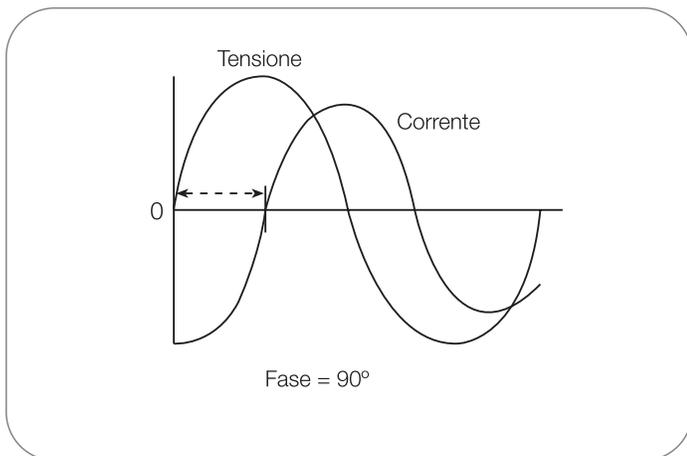
La **tensione** è la differenza di potenziale elettrico - indicante l'intensità del campo elettrico del segnale - tra due punti di un circuito. Uno di questi punti, in genere ma non sempre, è al potenziale di terra, ovvero a zero volt. È opportuno misurare la tensione tra i due picchi (massimo e minimo) di una forma d'onda; tale valore è detto tensione picco-picco.

Ampiezza

L'**ampiezza** corrisponde alla tensione tra due punti di un circuito e comunemente si riferisce alla massima tensione di un segnale misurata rispetto a massa ovvero a zero volt. La forma d'onda illustrata nella figura 11 ha un'ampiezza di 1 volt e una tensione picco-picco di 2 V.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 12.** Sfasamento.

Fase

Il modo migliore per comprendere che cos'è la **fase** consiste nell'osservare un'onda sinusoidale. La tensione delle onde sinusoidali è basata su un moto circolare. Poiché un cerchio si sviluppa su 360° , un ciclo di un'onda sinusoidale corrisponde a 360° , come illustrato nella figura 11. Utilizzando i gradi ci si può riferire all'angolo di fase di un'onda sinusoidale quando si vuole specificare la parte del periodo passata.

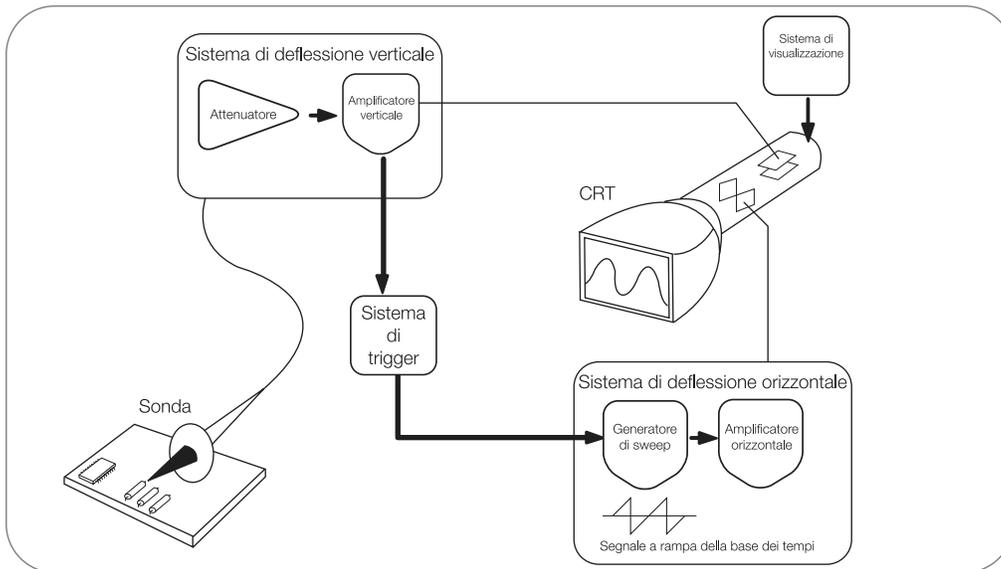
Lo **sfasamento** indica la differenza di temporizzazione tra due segnali altrimenti simili. La forma d'onda indicata nella figura 12, definita come "corrente", ha uno sfasamento di 90° rispetto alla forma d'onda definita "tensione", in quanto le due onde raggiungono punti simili nei loro cicli a $1/4$ di ciclo di distanza tra di loro ($360^\circ/4 = 90^\circ$). Gli sfasamenti sono comuni nei circuiti elettronici.

Misure sulle forme d'onda con gli oscilloscopi digitali

I moderni oscilloscopi digitali hanno funzioni che facilitano le misure sulle forme d'onda. Sono dotati di pulsanti sul pannello anteriore e/o menu a schermo con i quali si possono selezionare misure completamente automatiche, come misure di ampiezza, di periodo, del tempo di salita e di discesa e molte altre ancora. Molti oscilloscopi digitali eseguono anche il calcolo della media e del valore efficace, del duty cycle, e altre operazioni matematiche. Le misure automatizzate vengono visualizzate come letture numeriche, tipicamente più precise di quelle ottenibili interpretando direttamente le intersezioni con il reticolo.

Le seguenti sono le misure automatizzate eseguibili sulle forme d'onda con alcuni oscilloscopi ai fosfori digitali.

- | | | |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| ► Periodo | ► Duty cycle + | ► Livello alto |
| ► Frequenza | ► Duty cycle - | ► Livello basso |
| ► Durata + | ► Ritardo | ► Minimo |
| ► Durata - | ► Fase | ► Massimo |
| ► Tempo di salita | ► Durata del burst | ► Sovraelongazione + |
| ► Tempo di discesa | ► Picco-picco | ► Sovraelongazione - |
| ► Ampiezza | ► Media | ► Valore efficace (RMS) |
| ► Rapporto di estinzione | ► Media sul ciclo | ► RMS sul ciclo |
| ► Potenza ottica media | ► Area del ciclo | |



► **Figura 13.** L'architettura di un oscilloscopio analogico.

Tipologia degli oscilloscopi

Gli apparecchi elettronici possono essere classificati in due categorie: analogici e digitali. Gli apparecchi **analogici** impiegano tensioni variabili con continuità, mentre quelli **digitali** impiegano segnali discreti (binari) che rappresentano campioni di tensione. Un giradischi convenzionale è un apparecchio analogico, mentre un lettore CD è un apparecchio digitale.

Gli oscilloscopi possono essere classificati in modo simile. Per molte applicazioni sono adeguati sia gli oscilloscopi analogici che quelli digitali. Tuttavia, ciascun tipo di oscilloscopio ha caratteristiche uniche che lo rendono più o meno adatto per certe applicazioni. Gli oscilloscopi digitali possono essere suddivisi ulteriormente in oscilloscopi a memoria digitale (DSO), oscilloscopi ai fosfori digitali (DPO) e oscilloscopi campionatori.

Oscilloscopi analogici

Fondamentalmente, un **oscilloscopio analogico** funziona applicando la tensione del segnale misurata direttamente all'asse di deflessione verticale di un fascio di elettroni che si sposta da sinistra a destra lungo il display dell'oscilloscopio, in genere un **tubo a raggi catodici** (CRT). La parte posteriore del display è ricoperta da fosfori che emettono energia luminosa quando vengono colpiti dagli elettroni. La tensione del segnale deflette il fascio in su o in giù di una quantità proporzionale alla tensione stessa mentre esso si muove in orizzontale sul display, tracciando su quest'ultimo

la forma d'onda. Quanto più spesso il fascio colpisce un punto particolare del display, tanto maggiore è la luminosità di quel punto.

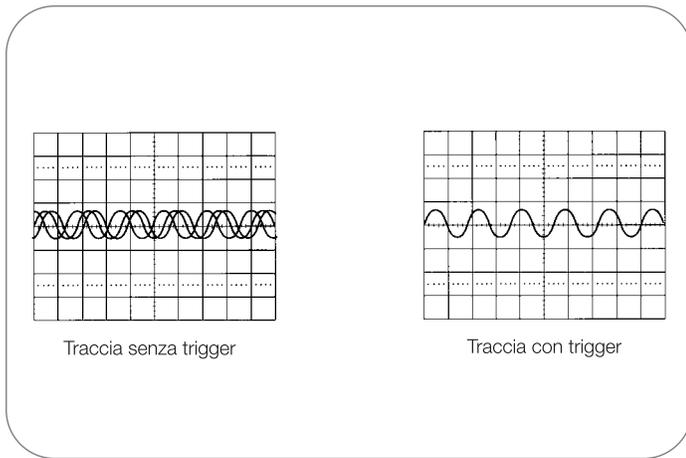
Il CRT limita la gamma di frequenze dei segnali visualizzabili da un oscilloscopio analogico. A frequenze molto basse, il segnale appare come un punto luminoso che si sposta lentamente e che è quindi difficile individuare come forma d'onda. A frequenze elevate il limite è imposto dalla **velocità di scrittura** del CRT; quando essa è inferiore alla frequenza del segnale, la luminosità della traccia è troppo bassa e il segnale non è più visibile. Gli oscilloscopi analogici più veloci possono visualizzare segnali sino a frequenze di circa 1 GHz.

Quando si collega la sonda di un oscilloscopio a un circuito, il segnale di tensione si propaga nella sonda fino al sistema di deflessione verticale dell'oscilloscopio. La figura 13 illustra come un oscilloscopio analogico visualizza un segnale misurato. A seconda di come si regola la scala verticale (comando volts/div), la tensione del segnale viene ridotta da un attenuatore o aumentata da un amplificatore.

Successivamente il segnale si propaga alle placchette di deflessione verticale del CRT. La tensione applicata a queste placchette causa lo spostamento di un punto luminoso sul display. Questo punto è creato da un fascio di elettroni che colpisce i fosfori che ricoprono la parte interna del display. Una tensione positiva fa muovere il punto verso l'alto, mentre una tensione negativa lo fa muovere verso il basso.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



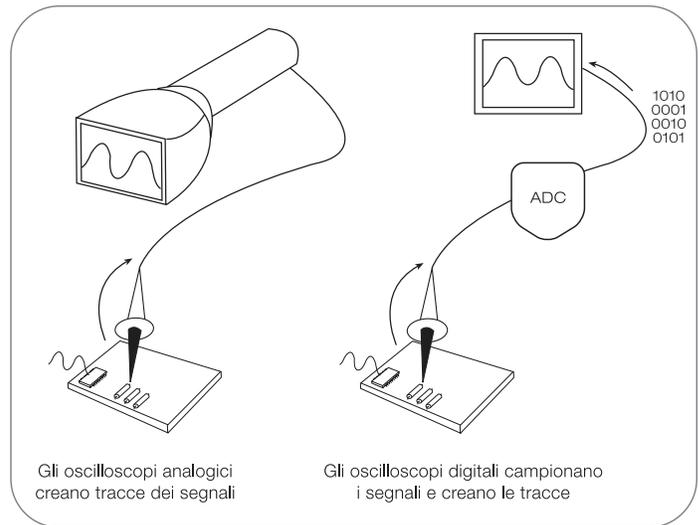
► **Figura 14.** Il trigger stabilizza una forma d'onda periodica, creando un'immagine chiara del segnale.

Il segnale si propaga anche al sistema di trigger per comandare una scansione orizzontale, ossia l'azione del sistema di **deflessione orizzontale** (sistema della base dei tempi) che fa muovere il punto luminoso sullo schermo. Quando si comanda il trigger, il sistema della base dei tempi causa lo spostamento del punto luminoso sullo schermo da sinistra a destra in un determinato intervallo. Numerose scansioni in rapida sequenza fanno sì che il movimento del punto luminoso sia percepito come una linea continua. Alle frequenze più alte il punto può attraversare lo schermo fino a 500.000 volte al secondo.

Insieme, le azioni di scansione orizzontale e di deflessione verticale tracciano un grafico del segnale sullo schermo. Il trigger è necessario per stabilizzare un segnale periodico, in quanto assicura che la scansione cominci allo stesso punto di tale segnale, in modo da ottenere un'immagine chiara, come illustrato nella figura 14.

Inoltre, gli oscilloscopi analogici sono dotati di comandi per la regolazione della focalizzazione e dell'intensità allo scopo di produrre una traccia nitida, facilmente interpretabile.

Gli oscilloscopi analogici sono preferiti spesso quando è importante visualizzare rapidamente segnali variabili in tempo reale, ossia nel momento stesso in cui si verificano. Il display ricoperto di fosfori dell'oscilloscopio analogico presenta una caratteristica nota come **gradazioni di intensità**, che determina l'aumento della luminosità della traccia nei punti in cui si verificano più spesso i tratti distintivi del segnale e che rende facile distinguere i dettagli del segnale semplicemente osservando i livelli d'intensità della traccia stessa.



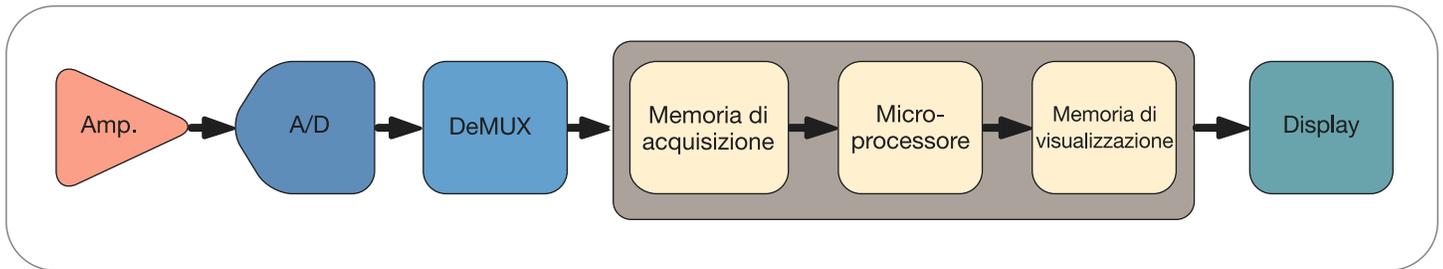
► **Figura 15.** Gli oscilloscopi analogici creano tracce dei segnali, mentre gli oscilloscopi digitali campionano i segnali e creano le tracce.

Oscilloscopi digitali

A differenza di un oscilloscopio analogico, un **oscilloscopio digitale** impiega un convertitore analogico-digitale (A/D) per trasformare la tensione misurata in dati digitali. L'oscilloscopio acquisisce la forma d'onda sotto forma di una serie di campioni e li memorizza finché ne ha accumulato un numero sufficiente per tracciarla; a questo punto la ricrea e la visualizza (vedi Figura 15).

Gli oscilloscopi digitali possono essere classificati in oscilloscopi a memoria digitale (DSO), oscilloscopi ai fosfori digitali (DPO) e oscilloscopi campionatori.

Impiegando circuiti digitali, l'oscilloscopio può visualizzare un segnale a frequenza qualsiasi nella gamma di acquisizione con stabilità, luminosità e nitidezza. Nel caso di segnali periodici, la larghezza di banda dell'oscilloscopio digitale è una funzione della larghezza di banda analogica dei componenti all'ingresso dell'oscilloscopio, alla quale in genere si fa riferimento con il termine "punto a - 3 dB". Nel caso di eventi transitori e singoli, quali gli impulsi e i gradini, la larghezza di banda può essere limitata dalla frequenza di campionamento dell'oscilloscopio. Per una descrizione più dettagliata vedere la sezione **Frequenza di campionamento** nel capitolo **Fattori e termini relativi alle prestazioni**.



► **Figura 16.** L'architettura di elaborazione digitale di un oscilloscopio a memoria digitale (DSO).

Oscilloscopi a memoria digitale

Un oscilloscopio digitale convenzionale, noto come oscilloscopio a memoria digitale (DSO), è dotato di un display raster anziché dei fosfori luminosi.

I DSO permettono di acquisire e visualizzare eventi che si presentano solo una volta, ossia i transitori. Poiché le informazioni sulla forma d'onda esistono in forma digitale, sotto forma di serie di valori binari memorizzati, esse possono essere analizzate, archiviate, stampate o elaborate altrimenti nell'oscilloscopio stesso o da un computer esterno. Non occorre che la forma d'onda sia continua: è visualizzabile anche quando il segnale scompare. A differenza degli oscilloscopi analogici, gli oscilloscopi a memoria digitale offrono la memorizzazione permanente del segnale e un'elaborazione estesa della forma d'onda. Tuttavia, i DSO in genere non hanno un display a gradazioni di intensità in tempo reale, cosicché non possono rappresentare vari livelli di intensità nel segnale mentre esso è presente.

Alcuni dei sottosistemi di cui sono composti i DSO sono simili a quelli degli oscilloscopi analogici. Tuttavia i DSO contengono sottosistemi aggiuntivi per l'elaborazione dei dati, adoperati per raccogliere e visualizzare i dati relativi all'intera forma d'onda. Un DSO si basa su un'architettura di elaborazione seriale per acquisire e visualizzare i segnali, come illustrato nella figura 16. Segue una descrizione di tale architettura.

Architettura di elaborazione seriale

Come nell'oscilloscopio analogico, il primo stadio (quello d'ingresso) di un DSO è un amplificatore verticale. Appositi comandi permettono di regolare il guadagno e la frequenza centrale.

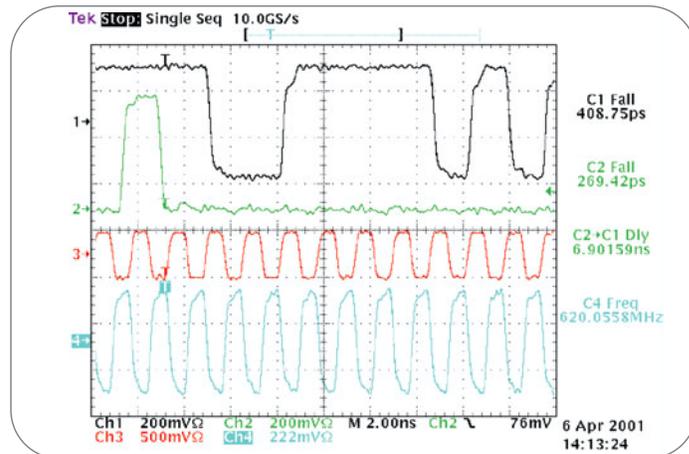
Successivamente, un convertitore analogico-digitale (A/D) inserito nel sistema orizzontale campiona il segnale a vari istanti e trasforma la tensione del segnale in questi punti nel tempo in valori digitali, detti **campioni**. Questo processo si chiama **digitalizzazione** del segnale. Un apposito clock determina la frequenza con la quale il convertitore A/D esegue il campionamento: tale frequenza è detta **frequenza di campionamento** e viene espressa in campioni al secondo (S/s).

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida

I campioni generati dal convertitore A/D vengono registrati nella memoria di acquisizione come **punti** rappresentativi **della forma d'onda**; un singolo punto di questa può essere composto da numerosi campioni. La serie di tutti i punti rappresentativi della forma d'onda costituisce una "registrazione" e il loro numero è detto **lunghezza di registrazione**; gli istanti iniziale e finale della registrazione sono determinati dal sistema di trigger.

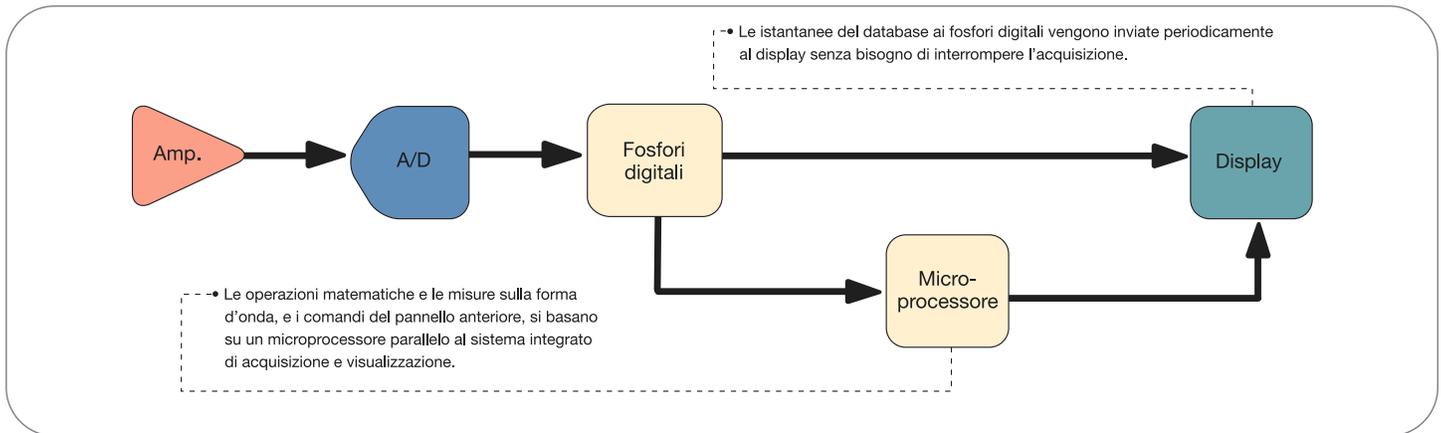
Il DSO include un microprocessore, inserito nel percorso del segnale verso il display, che elabora il segnale, coordina le attività del display, gestisce i comandi sul pannello anteriore ed esegue altre operazioni. Il segnale passa poi attraverso la memoria del display e viene visualizzato.



► **Figura 17.** Il TDS694C acquisisce eventi singoli ad alta frequenza su più canali, aumentando la probabilità di acquisire glitch elusivi ed eventi transitori.

A seconda delle funzioni di un oscilloscopio specifico, è possibile che i campioni siano sottoposti a ulteriori elaborazioni per migliorare la qualità della traccia. Può essere disponibile anche un sistema di pretrigger, che permette di osservare eventi precedenti l'istante di trigger. La maggiore parte degli odierni oscilloscopi digitali offre anche una scelta di misure parametriche automatiche che semplificano le procedure di misura.

Un DSO offre prestazioni elevate in uno strumento multicanale adatto a eventi singoli (vedi Figura 17). I DSO sono ideali durante la progettazione di dispositivi multicanale, ad alta frequenza, che funzionano con segnali a evento singolo o basse frequenze di ripetizione. Nel corso della progettazione di un dispositivo digitale, in genere un tecnico deve esaminare quattro o più segnali simultaneamente e il DSO si rivela uno strumento essenziale.



► **Figura 18.** L'architettura di elaborazione parallela di un oscilloscopio ai fosfori digitali (DPO).

Oscilloscopi ai fosfori digitali

L'oscilloscopio ai fosfori digitali (DPO) è basato su un nuovo approccio all'architettura dell'oscilloscopio. Tale architettura consente a un DPO di offrire funzioni di acquisizione e visualizzazione uniche al fine di ricostruire con precisione i segnali.

Mentre il DSO si basa su un'architettura di elaborazione seriale per acquisire, visualizzare e analizzare i segnali, il DPO impiega un'architettura di elaborazione parallela per svolgere queste funzioni, come illustrato nella figura 18. Il DPO dedica circuiti ASIC unici all'acquisizione delle immagini della forma d'onda a frequenze elevate, ottenendo un livello più alto nella qualità della traccia. Queste prestazioni aumentano la probabilità di osservare i transitori che si verificano nei sistemi digitali, quali gli impulsi runt, i glitch e gli errori di transizioni. Segue una descrizione di questa architettura di elaborazione parallela.

Architettura di elaborazione parallela

Il primo stadio (quello d'ingresso) del DPO è simile a quello di un oscilloscopio analogico (un amplificatore verticale) e il secondo stadio è simile a quello di un DSO (un convertitore A/D). Ma il DPO si differenzia notevolmente dai suoi predecessori negli stadi successivi alla conversione analogico-digitale.

Per qualsiasi oscilloscopio - analogico, DSO o DPO - esiste sempre un tempo di holdoff durante il quale lo strumento elabora i dati acquisiti per ultimi, reimposta il sistema e attende l'evento successivo di trigger. Durante questo intervallo l'oscilloscopio non rileva alcuna attività del segnale. La probabilità di osservare un evento infrequente o a bassa ripetizione diminuisce con l'aumentare del tempo di holdoff.

Occorre tenere presente che è impossibile determinare la probabilità di acquisizione semplicemente in base alla frequenza di aggiornamento del display. Se ci si basa solo su quest'ultima, è facile commettere l'errore di ritenere che l'oscilloscopio stia acquisendo tutte le informazioni sulla forma d'onda quando invece non è così.

L'oscilloscopio a memoria digitale acquisisce le forme d'onda serialmente. Il collo di bottiglia in questo processo è la velocità del microprocessore, perché limita la frequenza di acquisizione della forma d'onda.

Il DPO rasterizza i dati relativi alla forma d'onda digitalizzata in un database ai fosfori digitali. Ogni trentesimo di secondo - un intervallo sufficientemente breve perché l'occhio umano percepisca l'immagine come se fosse continua - un'istantanea dell'immagine del segnale memorizzata nel database viene trasmessa direttamente al sistema di visualizzazione. Questa rasterizzazione diretta dei dati relativi alla forma d'onda e la loro trasmissione diretta dal database alla memoria del display elimina il collo di bottiglia nell'elaborazione dei dati intrinseco ad altre architetture. Ne risulta un aggiornamento del display più veloce e una migliore rappresentazione in tempo reale del segnale. Gli eventi intermittenti, i dettagli e le caratteristiche dinamiche del segnale vengono acquisiti in tempo reale. Il microprocessore del DPO funziona in parallelo a questo sistema integrato di acquisizione per gestire il display, eseguire le misure automaticamente e regolare le funzioni dello strumento, cosicché non influisce sulla velocità di acquisizione dell'oscilloscopio.

Introduzione agli oscilloscopi

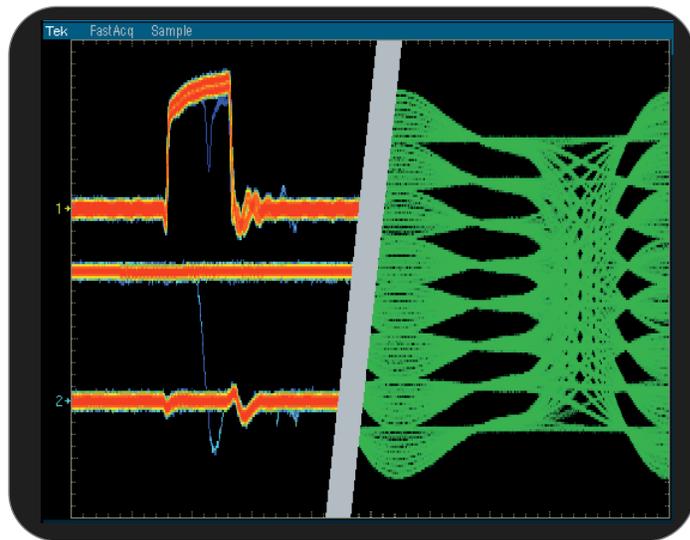
► Guida

Il DPO simula fedelmente le caratteristiche di visualizzazione migliori offerte da un oscilloscopio analogico, visualizzando il segnale in tre dimensioni: il tempo, l'ampiezza e la distribuzione dell'ampiezza nel tempo, tutte in tempo reale.

A differenza dell'oscilloscopio analogico, basato su fosfori chimici, il DPO utilizza fosfori digitali puramente elettronici, che in effetti sono un database aggiornato continuamente e avente una "cella" separata di informazioni per ogni pixel del display dell'oscilloscopio. Ogni volta che quest'ultimo acquisisce una forma d'onda, ovvero ogni volta che viene comandato il trigger, essa viene mappata nelle celle del database. Ciascuna cella rappresenta un punto dello schermo e quando viene "colpita" dal segnale, si accumulano in essa le informazioni sulla luminosità della forma d'onda mentre le informazioni nelle altre celle non cambiano, cosicché le informazioni sulla luminosità si accumulano nelle celle per le quali la forma d'onda passa con maggiore frequenza.

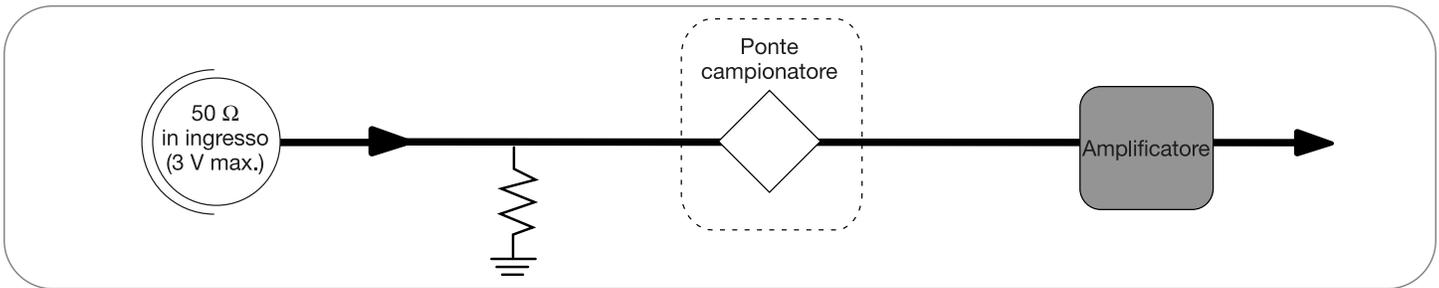
Quando il database ai fosfori digitali viene trasmesso al display dell'oscilloscopio, la forma d'onda si visualizza con aree di luminosità più o meno grande in proporzione alla frequenza con la quale il segnale si presenta in ciascun punto, analogamente a quanto accade con le caratteristiche di intensità graduale dell'oscilloscopio analogico. Inoltre, a differenza di quanto fa quest'ultimo, il DPO visualizza con colori a buon contrasto le aree relative alle informazioni sul segnale che si presentano a frequenza diversa. Con un DPO è facile vedere la differenza tra una forma d'onda che si presenta quasi a ogni trigger e una che si presenta, per esempio, ogni 100 trigger.

I DPO eliminano la barriera esistente tra le tecnologie degli oscilloscopi analogici e digitali, in quanto sono adatti per visualizzare segnali a frequenza alta o bassa, forme d'onda periodiche, transitori e variazioni del segnale in tempo reale. Solo il DPO fornisce l'asse Z (intensità) in tempo reale che invece manca nei DSO convenzionali.



► **Figura 19.** Alcuni DPO possono acquisire milioni di forme d'onda in pochi secondi, aumentando notevolmente la probabilità di acquisizione di eventi intermittenti ed elusivi e rivelando l'andamento dinamico del segnale.

Il DPO è ideale quando occorre lo strumento universale migliore di progettazione e ricerca guasti per una vasta serie di applicazioni (vedi Figura 19). Il DPO è perfetto per i test con maschere per comunicazioni, il debug digitale di segnali intermittenti, la progettazione di circuiti digitali funzionanti con segnali periodici e le applicazioni di temporizzazione.



► **Figura 20.** L'architettura dell'oscilloscopio campionatore.

Oscilloscopi campionatori

Quando si eseguono misure su segnali ad alta frequenza, è possibile che l'oscilloscopio non sia in grado di acquisire un numero sufficiente di campioni in una sola scansione. L'oscilloscopio campionatore è uno strumento ideale per acquisire con precisione segnali con componenti a frequenza molto più alta della frequenza di campionamento dello strumento (vedi figura 21). Questo tipo di oscilloscopio può eseguire misure su segnali a frequenza fino a un ordine di grandezza più alta rispetto a qualsiasi altro tipo di oscilloscopio. Nel caso di segnali periodici, può funzionare a larghezze di banda e velocità di temporizzazione dieci volte superiori rispetto agli altri tipi di oscilloscopio. Sono disponibili oscilloscopi campionatori in tempo equivalente sequenziale aventi larghezze di banda sino a 50 GHz.

A differenza degli oscilloscopi a memoria digitale e ai fosfori digitali, l'architettura dell'oscilloscopio campionatore scambia le posizioni dell'attenuatore/amplificatore e del ponte campionatore, come illustrato nella figura 20. Il segnale d'ingresso viene campionato prima di essere eventualmente attenuato o amplificato. All'uscita del ponte campionatore si può quindi adoperare un amplificatore a piccola larghezza di banda, in quanto il segnale è stato già convertito a una frequenza più bassa dalla porta campionatrice; ne risulta uno strumento con larghezza di banda molto più ampia.

Lo svantaggio derivante da quest'ampia larghezza di banda è tuttavia la limitazione della gamma dinamica dell'oscilloscopio campionatore. Poiché all'ingresso della porta campionatrice non c'è nessun attenuatore/amplificatore, non si può regolare l'ampiezza del segnale in ingresso, cosicché il ponte campionatore deve poterne sempre accettare l'intera gamma dinamica. Ne consegue che la gamma dinamica della maggior parte degli oscilloscopi campionatori è limitata a circa 1 V picco-picco, mentre gli oscilloscopi a memoria digitale e quelli ai fosfori digitali accettano segnali di ampiezza compresa tra 50 e 100 volt.



► **Figura 21.** La schermata di un riflettometro nel dominio del tempo (TDR) ottenuta con un oscilloscopio a memoria digitale TDS8000 e un modulo campionatore a 20 GHz 80E04.

Inoltre, non si possono inserire diodi di protezione all'ingresso del ponte campionatore, in quanto si limiterebbe la larghezza di banda. Ne consegue una riduzione della tensione d'ingresso applicabile all'oscilloscopio campionatore senza rischio di danni pari a circa 3 V, mentre agli altri tipi di oscilloscopio si possono applicare tensioni sino a 500 V.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 22.** Sezione di comando (pannello anteriore) di un oscilloscopio.

Sistemi e comandi di un oscilloscopio

Un oscilloscopio con funzioni basilari è composto da quattro sistemi: il sistema di deflessione verticale, il sistema di deflessione orizzontale, il sistema di trigger e il sistema di visualizzazione. La loro comprensione vi permetterà di usare efficacemente l'oscilloscopio per risolvere i problemi relativi a misure specifiche. Tenete presente che ciascun sistema contribuisce alla capacità dell'oscilloscopio di ricostruire accuratamente un segnale.

Questo capitolo descrive brevemente i sistemi e i comandi fondamentali degli oscilloscopi analogici e digitali. Tra questi due tipi di oscilloscopio esistono differenze tra alcuni comandi; l'oscilloscopio in vostra dotazione probabilmente ha altri comandi non descritti in questa guida.

Il pannello anteriore di un oscilloscopio è diviso in tre sezioni principali: **verticale**, **orizzontale** e di **trigger**. Secondo il tipo e il modello, un particolare oscilloscopio può avere altre sezioni, come illustrato nella figura 22. Mentre leggete questo capitolo, individuate queste sezioni del pannello anteriore nella figura 22 e sull'oscilloscopio che state utilizzando.

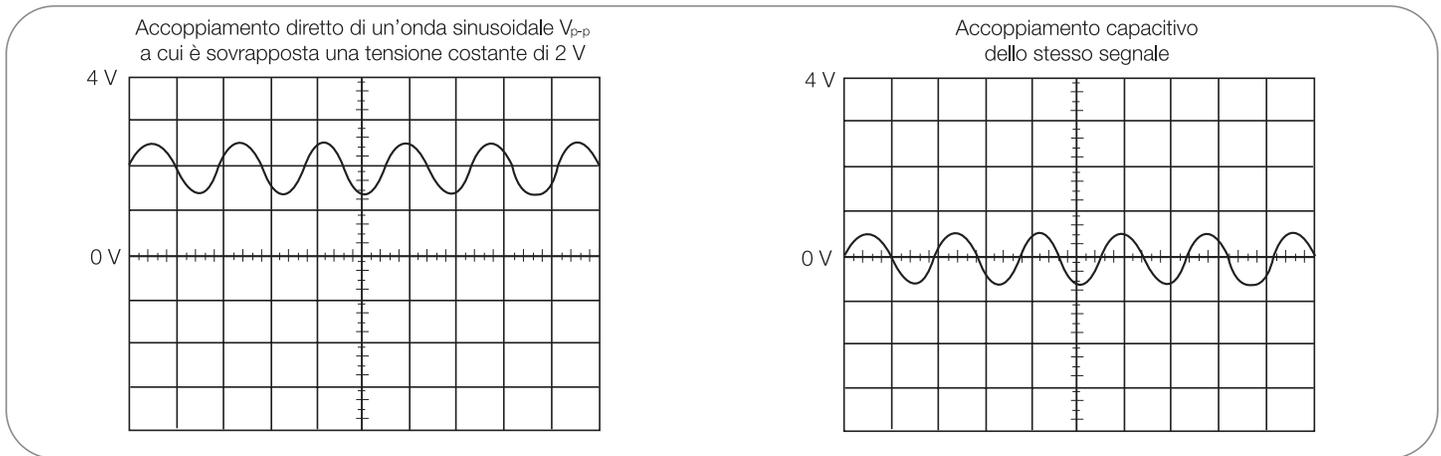
Quando si usa un oscilloscopio, occorre regolare le seguenti tre impostazioni fondamentali in base al segnale d'ingresso.

- L'**attenuazione** o l'**amplificazione** del segnale. Per regolare l'ampiezza del segnale secondo la portata prescelta per la misura si usa il comando volts/div.
- La **base dei tempi**. Per regolare il tempo a divisione, rappresentato lungo l'asse delle ascisse sullo schermo, si usa il comando sec/div.
- Il **livello di trigger**. Va regolato in modo da stabilizzare un segnale periodico o per comandare il trigger su un evento singolo.

Comandi e sistema di deflessione verticale

I comandi di deflessione verticale servono a posizionare la forma d'onda in senso verticale e a regolarne la scala. Inoltre sono utilizzabili per regolare l'accoppiamento in ingresso e altri parametri di condizionamento del segnale, descritti più avanti in questo capitolo. I seguenti sono i comandi più comuni di deflessione verticale.

- Terminazione
 - 1M Ω
 - 50 Ω
- Accoppiamento
 - DC (accoppiamento diretto, detto anche in corrente continua)
 - AC (accoppiamento capacitivo, detto anche in corrente alternata)
 - GND (massa)
- Limite della larghezza di banda
 - 20 MHz
 - 250 MHz
 - Massimo
- Posizione
- Offset
- Inversione - On/Off
- Scala
 - 1-2-5
 - Variabile
- Zoom



► **Figura 23.** Accoppiamento di ingresso DC e AC.

Posizione e volt a divisione

Il comando di posizione verticale serve a spostare in su o in giù la forma d'onda per posizionarla sul punto prescelto dello schermo.

Il comando "volt a divisione" (in genere contrassegnato con la dicitura "volts/div") serve a regolare la dimensione verticale della forma d'onda sullo schermo. Un oscilloscopio universale di buone prestazioni può visualizzare accuratamente livelli del segnale da circa 4 millivolt a 40 volt. L'impostazione volts/div è un fattore di scala. Se è uguale a 5, ciascuna delle divisioni principali verticali del reticolo rappresenta 5 volt e sull'intero schermo si possono visualizzare 40 volt dal punto inferiore a quello superiore, presumendo che il reticolo abbia otto di tali divisioni. Se l'impostazione è di 0,5, si possono visualizzare 4 volt dal punto inferiore a quello superiore dello schermo, e così via. La tensione massima visualizzabile è uguale al prodotto del valore volts/div per il numero di divisioni verticali. Si noti che la sonda adoperata, 1X o 10X, influisce anche sul fattore di scala. Il valore volts/div deve essere diviso per il fattore di attenuazione della sonda, se l'oscilloscopio non esegue automaticamente questa operazione.

Spesso la scala volts/div offre un comando di guadagno variabile o regolabile con precisione per regolare su un certo numero di divisioni la scala di un segnale visualizzato. Tale comando facilita la misura del tempo di salita.

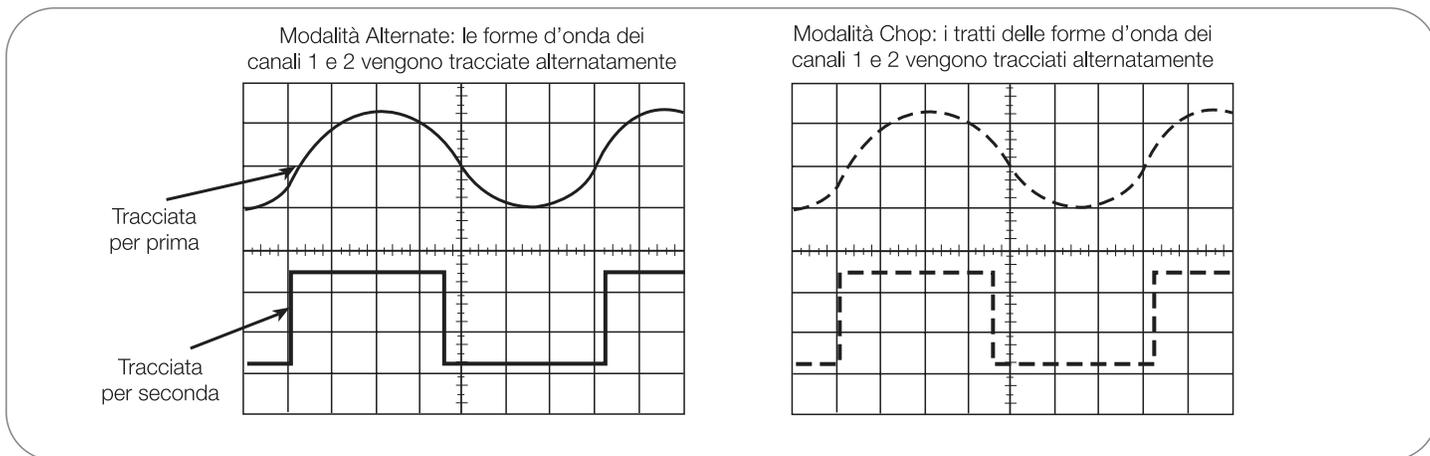
Accoppiamento d'ingresso

Il termine **accoppiamento** indica il metodo impiegato per collegare un segnale elettrico da un circuito all'altro. Quando si usa un oscilloscopio, l'accoppiamento d'ingresso è la connessione tra il circuito di test e l'oscilloscopio stesso. L'accoppiamento può essere impostato su DC, AC o GND. L'accoppiamento DC (diretto, detto anche in corrente continua) permette di visualizzare l'intero segnale d'ingresso. L'accoppiamento AC (capacitivo, detto anche in corrente alternata) blocca la componente continua di un segnale, cosicché si visualizza la forma d'onda centrata su 0 volt. La figura 23 illustra questa differenza. L'accoppiamento AC è utile quando l'intero segnale (componente in corrente alternata + componente in corrente continua) è troppo grande per l'impostazione volts/div.

L'impostazione GND (Ground, ovvero massa) scollega il segnale d'ingresso dal sistema di deflessione verticale, in modo da permettere di vedere in quale punto dello schermo si trova il livello di 0 volt. Selezionando questo accoppiamento d'ingresso e la modalità di trigger automatico, si visualizza una linea orizzontale corrispondente a 0 volt. Passare dall'accoppiamento DC a quello GND e di nuovo a DC è un modo conveniente per misurare la tensione del segnale rispetto a massa.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 24.** Modalità di visualizzazione multicanale.

Limite della larghezza di banda

I circuiti della maggior parte degli oscilloscopi ne limitano la larghezza di banda, riducendo così il rumore che a volte si sovrappone alla forma d'onda visualizzata e quindi producendo un'immagine del segnale più chiara. Si noti che, oltre a bloccare il rumore, il limite sulla larghezza di banda può ridurre, anche annullandole, le componenti del segnale ad alta frequenza.

Modalità di visualizzazione Alternate e Chop

Negli oscilloscopi analogici si visualizzano i segnali di più canali utilizzando la **modalità Alternate** o **Chop**. (Con molti tipi di oscilloscopi digitali si possono visualizzare più canali simultaneamente senza bisogno né dell'una né dell'altra di queste due modalità.)

Nella **modalità Alternate**, la forma d'onda di ciascun canale viene tracciata alternando le scansioni: l'oscilloscopio completa una scansione sul canale 1, la successiva sul canale 2, quella seguente di nuovo sul canale 1 e così via. Questa modalità va adoperata con segnali a frequenze medio-alte, quando la scala sec/div è regolata su 0,5 ms o una velocità di scansione più alta.

Nella **modalità Chop** l'oscilloscopio traccia piccoli tratti di ciascuna forma d'onda passando continuamente dall'una all'altra. La frequenza di commutazione è troppo alta per essere percepita dall'occhio umano, cosicché la forma d'onda sembra continua. In genere si adoperava questa modalità con segnali variabili lentamente, che richiedono velocità di scansione di 1 ms/div o più basse. La figura 24 illustra la differenza tra le due modalità. Spesso è utile visualizzare i segnali in entrambe le modalità, per essere sicuri di avere l'immagine migliore.



► **Figura 25.** Esempio di un menu di acquisizione.

Comandi e sistema di deflessione orizzontale

La caratteristica saliente del sistema di deflessione orizzontale di un oscilloscopio è la funzione di acquisizione di un segnale d'ingresso; alcuni dei parametri importanti sono la frequenza di campionamento e la lunghezza di registrazione. I comandi servono a posizionare la forma d'onda in senso orizzontale e a regolarne la scala. I seguenti sono i comandi più comuni di deflessione orizzontale.

- Main (base dei tempi principale)
- Delay (base dei tempi ritardata)
- XY
- Scala
 - 1-2-5
 - Variabile
- Separazione fra le tracce
- Lunghezza di registrazione
- Risoluzione
- Frequenza di campionamento
- Posizione del trigger
- Zoom

Comandi di acquisizione

Gli oscilloscopi digitali offrono impostazioni che permettono di regolare come il sistema di acquisizione elabora i segnali. Mentre leggete questa descrizione, esaminate le opzioni di acquisizione dell'oscilloscopio digitale che state utilizzando. La figura 25 mostra un esempio di menu di acquisizione.

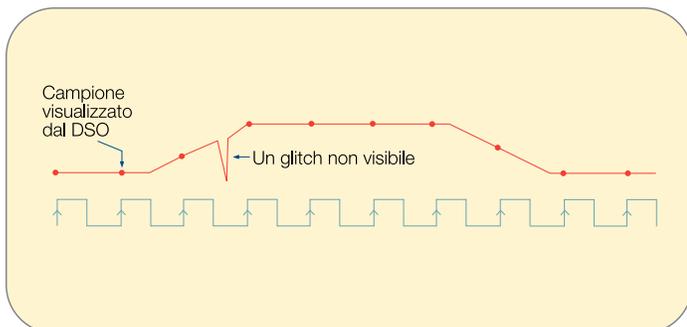
Modalità di acquisizione

Le modalità di acquisizione specificano come i punti della forma d'onda vengono generati in base ai campioni. Questi ultimi sono i valori digitali prodotti dal convertitore analogico-digitale (A/D). L'**intervallo di campionamento** è il tempo che intercorre tra un campione e il successivo. I **punti della forma d'onda** sono i valori digitali memorizzati dall'oscilloscopio e visualizzati per tracciare la forma d'onda. L'intervallo tra due punti consecutivi della forma d'onda è l'**intervallo di scrittura della forma d'onda**.

L'intervallo di campionamento e quello di scrittura della forma d'onda possono essere uguali o diversi. Ne consegue l'esistenza di numerose modalità di acquisizione, in ciascuna delle quali un punto della forma d'onda è composto da numerosi campioni acquisiti in sequenza. Inoltre, i punti della forma d'onda possono essere generati in base a una combinazione dei campioni ricavati da più acquisizioni e ciò dà luogo a un altro gruppo di modalità di acquisizione. Segue una descrizione delle modalità di acquisizione usate più comunemente.

Introduzione agli oscilloscopi

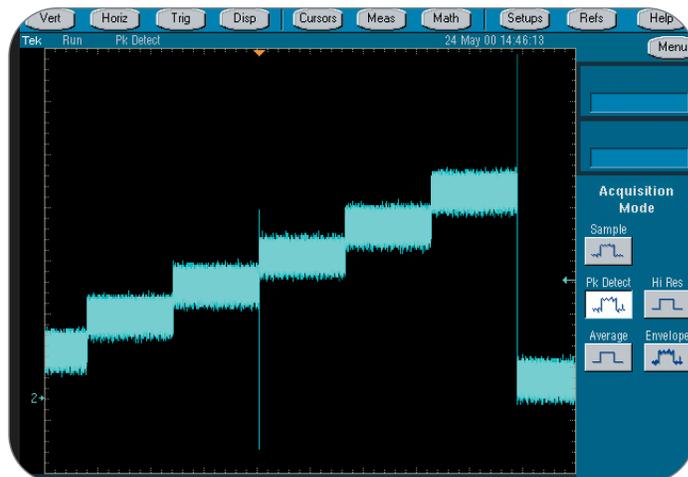
► Guida



► **Figura 26.** La frequenza di campionamento dipende dall'impostazione della base dei tempi: quanto più bassa è la velocità di scansione, tanto più bassa è la frequenza di campionamento. Alcuni oscilloscopi digitali offrono una modalità di rilevazione del picco, per acquisire transitori veloci a basse frequenze di scansione.

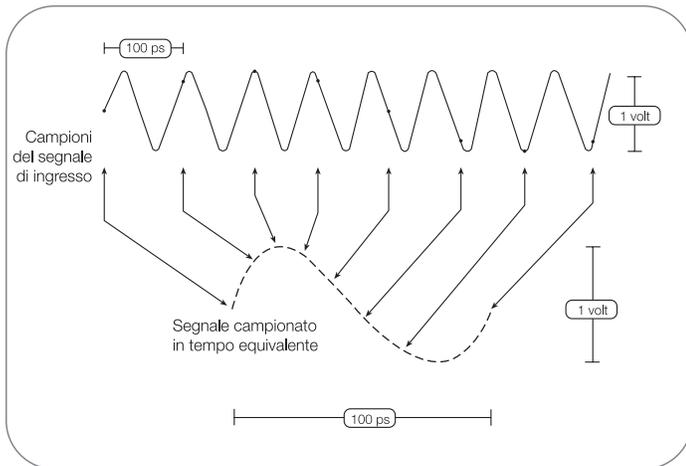
Tipologia delle modalità di acquisizione

- Modalità di campionamento semplice (Sample): è la modalità di acquisizione più semplice. L'oscilloscopio crea ciascun punto della forma d'onda memorizzando un campione durante ciascun intervallo di scrittura della forma d'onda.
- Modalità di rilevazione del picco (Peak Detect): l'oscilloscopio memorizza i campioni di valore massimo e minimo acquisiti durante due intervalli di scrittura della forma d'onda e li utilizza per produrre i due punti corrispondenti della forma d'onda. Nella modalità Peak Detect, gli oscilloscopi digitali fanno funzionare il convertitore A/D a un'elevata frequenza di acquisizione, persino a impostazioni della base dei tempi corrispondenti a velocità di scansione molto basse (e quindi a lunghi intervalli della forma d'onda) e riescono ad acquisire variazioni rapide del segnale che si verificano tra i punti della forma d'onda e che non verrebbero rilevate dalla modalità Sample (vedi figura 26). La modalità Peak Detect è particolarmente utile per osservare impulsi di breve durata separati da un lungo periodo di tempo (vedi figura 27).
- Modalità di risoluzione elevata (Hi Res): come la modalità Peak Detect, la modalità Hi Res consente di ottenere più informazioni nei casi in cui il convertitore A/D può eseguire il campionamento a frequenza più alta rispetto alla velocità impostata per la base dei tempi. In questo caso, l'oscilloscopio calcola la media di più campioni acquisiti durante un intervallo di scrittura della forma d'onda per produrre un punto di quest'ultima. Si ottiene così una riduzione del rumore e una risoluzione migliore per i segnali a bassa frequenza.



► **Figura 27.** La modalità Peak Detect permette all'oscilloscopio serie TDS7000 di acquisire anomalie transitorie di durata brevissima, sino a 100 ps.

- Modalità involucro (Envelope): è simile alla modalità Peak Detect; ne differisce in quanto i punti di valore massimo e minimo della forma d'onda risultanti da più acquisizioni vengono combinati per produrre una forma d'onda che mostra l'accumulazione min./max. nel corso del tempo. In genere la modalità Peak detect viene usata per acquisire registrazioni che vengono combinate per generare la forma d'onda involucro.
- Modalità di calcolo della media (Average): in questa modalità l'oscilloscopio memorizza un campione durante ciascun intervallo di scrittura della forma d'onda, come nel caso della modalità Sample, calcolando però la media dei punti della forma d'onda risultanti da acquisizioni consecutive per produrre la forma d'onda finale da visualizzare. La modalità Average riduce il rumore senza ridurre la larghezza di banda, ma richiede un segnale periodico.



► **Figura 28.** Campionamento base. Si interpolano i campioni per produrre una forma d'onda continua.

Avvio e arresto del sistema di acquisizione

Uno dei vantaggi più grandi degli oscilloscopi digitali è la loro capacità di memorizzare forme d'onda per visualizzarle in un momento successivo. A tal fine, in genere sul pannello anteriore sono presenti uno o più pulsanti che permettono di avviare e arrestare il sistema di acquisizione, in modo da analizzare le forme d'onda nei momenti più convenienti. Inoltre, è raccomandabile che l'oscilloscopio arresti automaticamente la fase di acquisizione una volta completata un'acquisizione o non appena un gruppo di registrazioni sia stato trasformato in una forma d'onda involuppo o risultante dal calcolo della media. Questa funzione in genere viene detta scansione o sequenza singola, e i relativi comandi sono posti accanto agli altri comandi di acquisizioni o ai comandi di trigger.

Campionamento

È il procedimento di conversione di una parte del segnale d'ingresso in un certo numero di valori elettrici discreti a fini di memorizzazione, elaborazione e/o visualizzazione. L'ampiezza di ciascun campione è uguale a quella del segnale d'ingresso nell'istante in cui esso viene campionato.

Campionare equivale a scattare istantanee, ognuna delle quali corrisponde a un punto specifico nel tempo sulla forma d'onda. Queste istantanee possono poi essere disposte nell'ordine giusto in funzione del tempo in modo da ricostruire il segnale d'ingresso.

In un oscilloscopio digitale, una serie di campioni viene ricostruita su un display rappresentando l'ampiezza misurata lungo l'asse delle ordinate e il tempo lungo l'asse delle ascisse, come illustrato nella figura 28.

Il segnale d'ingresso nella figura 28 si visualizza come una serie di punti. Se questi sono a grande distanza tra di loro ed è difficile interpretarli come una forma d'onda, è possibile unirli con linee, o vettori, mediante un procedimento matematico detto interpolazione. Sono disponibili vari metodi di interpolazione, utilizzabili per produrre una rappresentazione precisa di un segnale d'ingresso continuo.

Comandi di campionamento

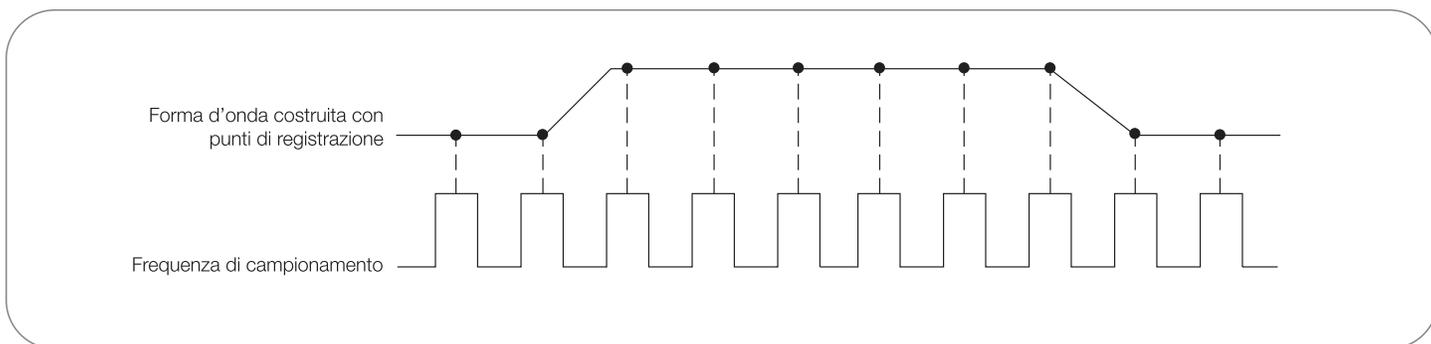
Alcuni oscilloscopi digitali permettono di scegliere, con appositi comandi di acquisizione del segnale, tra due metodi di campionamento: in tempo reale e in tempo equivalente. Si noti che questa scelta non fa differenza per quanto riguarda le impostazioni della base dei tempi corrispondenti a basse velocità di scansione: ha effetto solo quando il convertitore A/D non può campionare il segnale a frequenza sufficientemente veloce per completare la registrazione con i punti della forma d'onda in una sola passata.

Metodi di campionamento

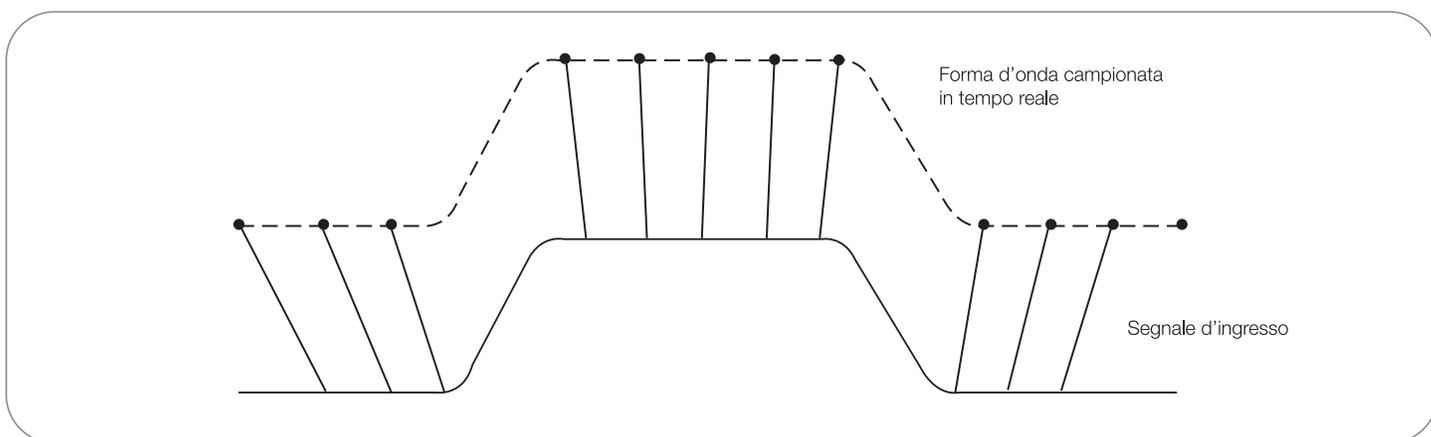
Sebbene esistano vari modi di realizzare la tecnologia di campionamento, per gli odierni oscilloscopi digitali si utilizzano due metodi basilari di campionamento: in tempo reale e in tempo equivalente. Quest'ultimo a sua volta può essere suddiviso in due categorie: casuale e sequenziale. Ciascun metodo ha vantaggi precisi a seconda del tipo di misure da eseguire.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 29.** Metodo di campionamento in tempo reale.

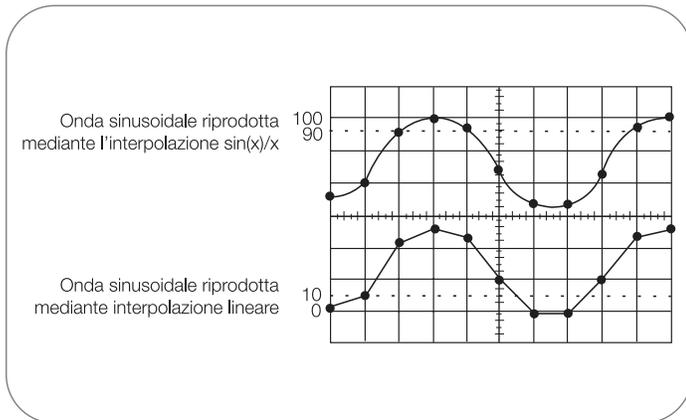


► **Figura 30.** Per acquisire in tempo reale questo impulso lungo 10 ns, occorre che la frequenza di campionamento sia sufficientemente alta da seguire con precisione i fronti.

Campionamento in tempo reale

È ideale per i segnali la cui gamma di frequenze è inferiore alla metà della massima frequenza di campionamento dell'oscilloscopio, il quale può così acquisire un numero più che sufficiente di punti in una scansione della forma d'onda per rappresentarla con precisione, come illustrato nella figura 29. Il **campionamento in tempo reale** è il solo modo disponibile per acquisire con un oscilloscopio digitale segnali transitori, a evento singolo e ad alta frequenza.

Il campionamento in tempo reale presenta per gli oscilloscopi digitali i problemi maggiori, a causa della frequenza di campionamento necessaria per digitalizzare con precisione gli eventi transitori ad alta frequenza, come illustrato nella figura 30. Questi eventi si presentano una sola volta e devono essere campionati simultaneamente alla loro comparsa. Se la frequenza di campionamento non è abbastanza alta, le componenti ad alta frequenza possono visualizzarsi a frequenze più basse; questo fenomeno si chiama aliasing. Il campionamento in tempo reale è ulteriormente complicato dalla necessità di usare una memoria ad alta velocità per registrare la forma d'onda una volta che sia digitalizzata. Per una descrizione più dettagliata vedere le sezioni **Frequenza di campionamento** e **Lunghezza di registrazione** nel capitolo **Fattori e termini relativi alle prestazioni**.



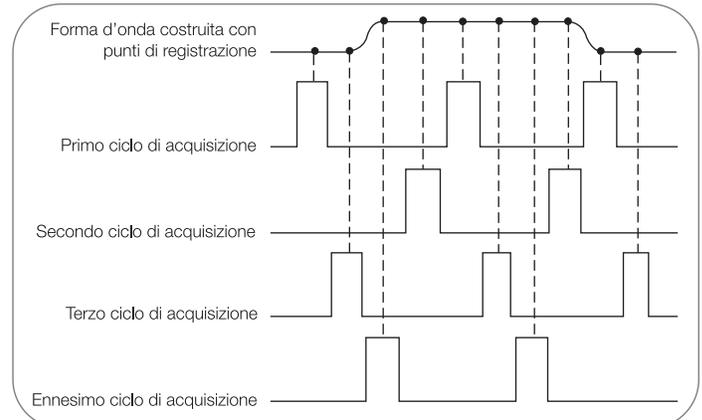
► **Figura 31.** Interpolazione lineare e $\sin(x)/x$.

Campionamento in tempo reale con interpolazione. Gli oscilloscopi digitali acquisiscono campioni discreti del segnale che possono essere visualizzati. Tuttavia, può essere difficile visualizzare il segnale rappresentato con punti, specialmente perché è possibile che siano disponibili troppo pochi punti rappresentanti le parti ad alta frequenza del segnale. Per facilitare la visualizzazione del segnale, in genere gli oscilloscopi digitali impiegano modalità di visualizzazione con interpolazione.

In parole semplici, l'**interpolazione** unisce i punti con linee in modo che un segnale campionato solo poche volte in ciascun ciclo possa essere visualizzato con precisione. Quando utilizza il campionamento in tempo reale con interpolazione, l'oscilloscopio acquisisce solo alcuni campioni del segnale in una singola passata in tempo reale e completa gli spazi vuoti mediante interpolazione. Quest'ultima è quindi una tecnica di elaborazione che serve ad approssimare l'andamento della forma d'onda in base ad alcuni punti.

L'interpolazione lineare unisce i campioni con linee rette. Questo approccio è limitato alla ricostruzione di segnali con fronti diritti, come le onde quadre (illustrato nella figura 31).

L'interpolazione $\sin(x)/x$, più versatile, unisce i campioni con curve (illustrato nella figura 31). L'interpolazione $\sin(x)/x$ è un procedimento matematico di calcolo di punti in modo da riempire gli intervalli tra i campioni effettivi. Questo metodo di interpolazione è adatto a segnali con andamenti curvilinei e irregolari, molto più comuni delle onde quadre e degli impulsi nelle applicazioni. Ne consegue che l'interpolazione $\sin(x)/x$ è il metodo preferito nei casi in cui la frequenza di campionamento è da 3 a 5 volte superiore alla larghezza di banda del sistema.



► **Figura 32.** Alcuni oscilloscopi impiegano il campionamento in tempo equivalente per acquisire e visualizzare segnali periodici a frequenza molto alta.

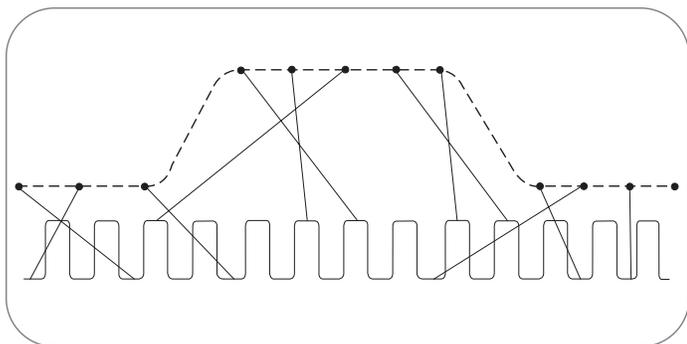
Campionamento in tempo equivalente

Quando si misurano segnali ad alta frequenza, è possibile che l'oscilloscopio non riesca ad acquisire un numero sufficiente di campioni in una sola scansione. Per acquisire con precisione i segnali la cui frequenza è superiore alla metà della frequenza di campionamento dell'oscilloscopio si può ricorrere al campionamento in tempo equivalente, come illustrato nella figura 32. Gli strumenti digitalizzatori (campionatori) in tempo equivalente sfruttano il fatto che la maggior parte degli eventi, sia naturali che prodotti dall'uomo, sono periodici. Con il campionamento in tempo equivalente si costruisce un'immagine di un segnale periodico acquisendo parte dell'informazione complessiva durante ciascuna ripetizione. La forma d'onda si crea lentamente, come una fila di luci che si accendono una dopo l'altra. In questo modo l'oscilloscopio può acquisire con precisione i segnali con componenti a frequenza molto più alta della frequenza di campionamento dell'oscilloscopio.

Esistono due tipi di campionamento in tempo equivalente: casuale e sequenziale; ciascuno ha i suoi vantaggi. Il **campionamento in tempo equivalente casuale** permette di visualizzare il segnale d'ingresso prima del punto di trigger, senza bisogno di utilizzare una linea di ritardo. Il **campionamento in tempo equivalente sequenziale** offre precisione e risoluzione temporale molto più alte. Entrambi i metodi richiedono che il segnale d'ingresso sia periodico.

Introduzione agli oscilloscopi

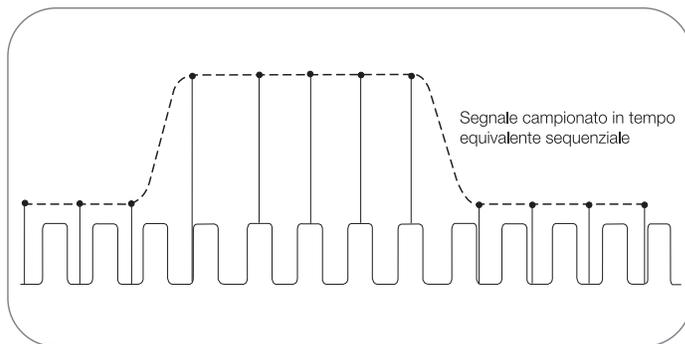
► Guida



► **Figura 33.** Durante il campionamento in tempo equivalente casuale, il clock di campionamento funziona in modo asincrono rispetto al segnale d'ingresso e al trigger.

Campionamento in tempo equivalente casuale. Gli strumenti digitalizzatori (campionatori) in tempo equivalente casuale impiegano un clock interno che funziona in modo asincrono rispetto al segnale d'ingresso e a quello di trigger, come illustrato nella figura 33. I campioni vengono acquisiti senza interruzione, indipendentemente dalla posizione del trigger, e vengono visualizzati in base al periodo di tempo intercorrente tra il campione e il trigger. Sebbene i campioni siano acquisiti in sequenza nel tempo, il loro ordine è casuale rispetto al trigger, da qui il termine “casuale” per indicare tale tipo di campionamento: i campioni compaiono in punti a caso lungo la forma d'onda quando essa si visualizza.

La capacità di acquisire e visualizzare i campioni prima del punto di trigger è il vantaggio essenziale di questa tecnica di campionamento, che elimina la necessità di linee di ritardo o di segnali di pretrigger esterni. A seconda della frequenza di campionamento e dell'intervallo di tempo sul display, il campionamento casuale può anche consentire di acquisire più di un campione ogni volta che si comanda il trigger. Tuttavia, a velocità di scansione più alte l'intervallo di acquisizione si riduce, finché il digitalizzatore non può eseguire il campionamento su ogni trigger. È a tali velocità di scansione che spesso si eseguono misure di temporizzazione di grande precisione e che si hanno i massimi vantaggi dalla straordinaria risoluzione temporale del campionatore in tempo equivalente casuale. Il limite della larghezza di banda per il campionamento in tempo equivalente casuale è minore di quello relativo al campionamento in tempo equivalente sequenziale.



► **Figura 34.** Durante il campionamento in tempo equivalente sequenziale, viene acquisito un solo campione per ciascun trigger che ha effetto dopo un ritardo che viene incrementato dopo ciascun ciclo.

Campionamento in tempo equivalente sequenziale. Il campionatore in tempo equivalente sequenziale acquisisce un campione per trigger, indipendentemente dall'impostazione time/div, ossia dalla velocità di scansione, come illustrato nella figura 34. Quando il digitalizzatore rileva un trigger, acquisisce un campione dopo un ritardo molto breve ma specificato. Quando viene comandato il trigger successivo, il digitalizzatore incrementa il ritardo di una piccola quantità “delta t” e acquisisce un altro campione. Questa operazione si ripete molte volte, con “delta t” aggiunto a ciascuna acquisizione precedente, finché non viene riempito il periodo di tempo. I campioni compaiono da sinistra a destra in sequenza lungo la forma d'onda quando questa viene visualizzata sullo schermo dell'oscilloscopio.

In termini tecnici, è più facile generare un “delta t” molto breve e preciso che misurare con precisione le posizioni verticale e orizzontale di un campione rispetto al punto di trigger, come richiesto dai campionatori casuali. Questo ritardo misurato con precisione è ciò che permette a questi ultimi di ottenere una risoluzione temporale senza pari. Poiché con il campionamento sequenziale ciascun campione viene acquisito una volta rilevato il livello di trigger, non si può visualizzare il punto di trigger senza utilizzare una linea di ritardo analogica, che a sua volta può ridurre la larghezza di banda dello strumento. Se si può adoperare un pretrigger esterno, la larghezza di banda non cambia.

Posizione e secondi a divisione

Il comando di posizione orizzontale serve a spostare a sinistra o a destra la forma d'onda per posizionarla sul punto prescelto dello schermo.

L'impostazione "secondi a divisione" (in genere indicata con la dicitura "sec/div") serve a selezionare la frequenza (detta anche impostazione della base dei tempi o velocità di scansione) con la quale la forma d'onda viene tracciata sullo schermo ed è un fattore di scala. Se essa è pari a 1 ms, ogni divisione orizzontale rappresenta 1 millisecondo e la larghezza totale dello schermo rappresenta 10 ms se questo ha dieci divisioni. Cambiando l'impostazione sec/div si possono osservare intervalli di tempo più o meno lunghi.

Analogamente alla scala verticale volts/div, la scala dei tempi orizzontale sec/div può offrire una regolazione variabile con continuità, che consente di impostarla tra i valori discreti.

Selezione della base dei tempi

La normale base dei tempi dell'oscilloscopio è detta in genere **base dei tempi principale**. Molti oscilloscopi hanno anche una **base dei tempi ritardata**, per la quale la scansione può cominciare (o avviata comandando il trigger) relativamente a un istante predeterminato sulla scansione della base dei tempi principale. Con la base dei tempi ritardata si possono visualizzare gli eventi più chiaramente e visualizzare eventi non visibili impiegando solo la base dei tempi principale.

L'utilizzo della base dei tempi ritardata richiede l'impostazione di un ritardo e può richiedere di usare modalità di trigger ritardato e altre impostazioni non descritte in questa guida. Per informazioni sull'uso di queste funzioni, consultate il manuale dell'oscilloscopio che state utilizzando.

Zoom

Un oscilloscopio può offrire impostazioni di ingrandimento orizzontale che permettono di portare in primo piano sullo schermo una sezione particolare della forma d'onda. Nell'oscilloscopio a memoria digitale (DSO) questa operazione viene eseguita sui dati digitalizzati memorizzati.

Modalità XY

La maggior parte degli oscilloscopi analogici ha una modalità XY che consente di visualizzare lungo l'asse orizzontale un segnale d'ingresso invece del segnale della base dei tempi. Questa modalità operativa rende possibile un'intera nuova serie di tecniche di misura dello sfasamento, spiegate nel capitolo **Tecniche di misura con l'oscilloscopio**.

Asse Z

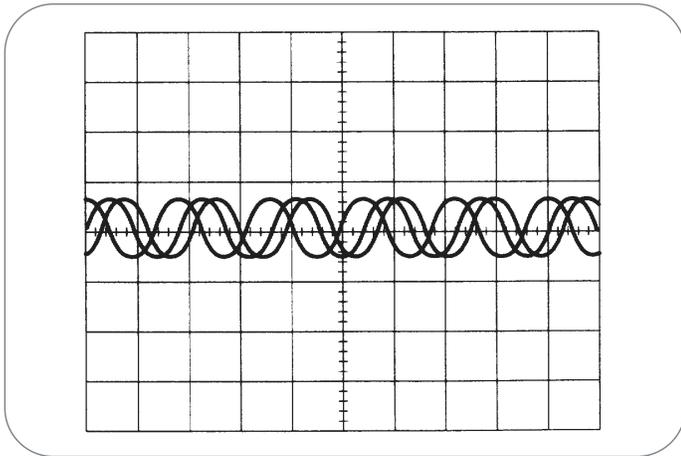
Un oscilloscopio ai fosfori digitali (DPO) presenta un'elevata densità dei campioni sul display e ha la capacità intrinseca di acquisire informazioni sull'intensità. Grazie al suo asse di intensità (asse Z), il DPO è in grado di visualizzare tracce tridimensionali in tempo reale, analogamente a quanto fa un oscilloscopio analogico. Osservando la traccia della forma d'onda su un DPO si possono vedere aree più luminose: sono quelle in cui il segnale si presenta più spesso. Questo tipo di display consente di distinguere facilmente l'andamento base del segnale da un transitorio che si verifica saltuariamente: l'andamento base appare molto più luminoso. Un'applicazione dell'asse Z consiste nell'applicazione di segnali con temporizzazioni speciali all'ingresso Z separato, per creare punti "contrassegno" evidenziati a intervalli noti sulla forma d'onda.

Modalità XYZ

Alcuni DPO possono utilizzare l'ingresso Z per creare una traccia XY con intensità graduale, campionando i valori istantanei dei dati all'ingresso Z e impiegandoli per qualificare una parte specifica della forma d'onda. Una volta ottenuti campioni qualificati, essi si possono accumulare, producendo una traccia XYZ a intensità graduale. La modalità XYZ è particolarmente utile per la visualizzazione dei diagrammi polari adoperati comunemente durante i test sui dispositivi di comunicazione wireless - un diagramma a costellazione, per esempio.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 35.** Traccia ottenuta senza trigger.

Comandi e sistema di trigger

La funzione di **trigger** dell'oscilloscopio sincronizza la scansione orizzontale rispetto al segnale; ciò è essenziale per caratterizzare quest'ultimo con chiarezza. I comandi di trigger servono a stabilizzare forme d'onda periodiche e ad acquisire forme d'onda a evento singolo.

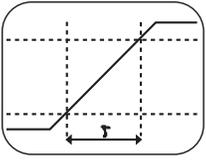
Il trigger fa apparire ferme le forme d'onda sul display dell'oscilloscopio visualizzando ripetutamente la stessa parte del segnale d'ingresso. Immaginate come apparirebbe confuso lo schermo se ciascuna scansione cominciasse in corrispondenza di un punto diverso del segnale, come illustrato nella figura 35.

Il trigger sul fronte, disponibile sia negli oscilloscopi analogici sia in quelli digitali, è il tipo fondamentale e più comune di trigger. Oltre al trigger sulla soglia, offerto da entrambi i tipi di oscilloscopio, molti tipi di oscilloscopi digitali offrono svariate impostazioni speciali di trigger, non disponibili negli strumenti analogici. Questi trigger sono comandati su condizioni specifiche del segnale d'ingresso, facilitando per esempio la rilevazione di un impulso di durata più breve di quella prevista. Sarebbe impossibile rilevare una tale condizione con un solo trigger comandato sulla soglia di tensione.

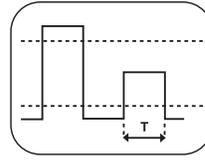
I comandi di trigger avanzati permettono di individuare eventi specifici allo scopo di ottimizzare la frequenza di campionamento e la lunghezza di registrazione dell'oscilloscopio. In alcuni tipi di oscilloscopio, le funzioni avanzate di trigger ne consentono la regolazione con grande precisione; si può comandare il trigger su impulsi specificati dall'ampiezza (quali gli impulsi runt), qualificati nel tempo (durata dell'impulso, glitch, slew rate, setup e hold, e time-out) oppure individuati da sequenze o stati logici (trigger logico).

I comandi opzionali di trigger disponibili in alcuni oscilloscopi sono stati progettati appositamente per esaminare i segnali di comunicazione. L'intuitiva interfaccia utente di cui sono dotati alcuni oscilloscopi permette inoltre di impostare rapidamente e con grande flessibilità i parametri di trigger durante la preparazione dei test, per ottimizzare la produttività.

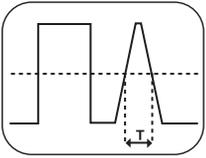
Quando si adoperano più di quattro canali per comandare il trigger sui segnali, un analizzatore di stati logici (logic analyzer) è lo strumento ideale. Per ulteriori informazioni su questi preziosi strumenti per test e misure consultate la guida Tektronix *XYZ del logic analyzer*.



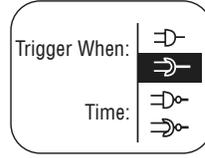
Trigger sulla slew rate. I segnali ad alta frequenza con slew rate superiore a quella prevista o necessaria possono irradiare energia che causa problemi. Il trigger sulla slew rate va oltre il convenzionale trigger sul fronte aggiungendo l'elemento "tempo" e permettendo di scegliere se comandare il trigger su fronti veloci o lenti.



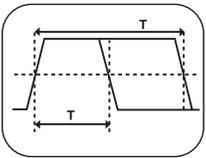
Trigger sull'impulso runt. Consente di acquisire ed esaminare impulsi che attraversano una di due soglie logiche, ma non entrambe.



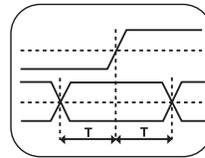
Trigger sul glitch. Permette di comandare il trigger su impulsi digitali più brevi o più lunghi di un limite di tempo specificabile dall'utente. Questo comando di trigger consente di esaminare le cause di glitch anche rari e i loro effetti sul segnale.



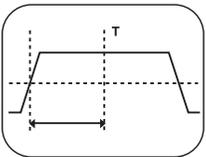
Trigger logico. Permette di comandare il trigger su una qualsiasi combinazione logica di canali d'ingresso disponibili; è utile specialmente per la verifica del funzionamento dei circuiti logici.



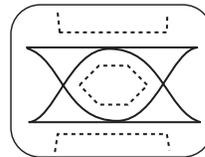
Trigger sulla durata dell'impulso. Consente di controllare un segnale ininterrottamente e comandare il trigger la prima volta non appena si presenta un impulso di durata fuori dei limiti specificati.



Trigger su setup e hold. Solo questo tipo di trigger consente di rilevare una singola violazione del tempo di setup e hold che sfuggirebbe certamente impiegando altre modalità di trigger. Questa modalità di trigger facilita l'acquisizione di dettagli specifici sulla temporizzazione e sulla qualità di un segnale di dati sincroni quando esso non soddisfa le specifiche di setup e hold.



Trigger sul time-out. Permette di comandare il trigger su un evento in base a un ritardo specificato, senza bisogno di attendere la fine dell'impulso di trigger.



Trigger per comunicazioni. Disponibili in opzione su alcuni modelli di oscilloscopio, queste modalità di trigger rispondono alla necessità di acquisire svariati segnali di comunicazione AMI (Alternate-Mark Inversion), CMI (Code-Mark Inversion) ed NRZ (Non-Return to Zero).

Posizione del trigger

Il comando di posizione orizzontale del trigger è disponibile solo sugli oscilloscopi digitali. Può essere situato nella sezione dei comandi di deflessione orizzontale dell'oscilloscopio e rappresenta la posizione orizzontale del trigger nella registrazione della forma d'onda.

Variando la posizione orizzontale del trigger è possibile acquisire l'andamento del segnale **prima** di un evento di trigger (**visualizzazione di pre-trigger**), ossia di determinare la lunghezza del segnale osservabile che precede e segue un punto di trigger.

Gli oscilloscopi digitali possono attuare la visualizzazione di pretrigger in quanto elaborano costantemente il segnale d'ingresso, sia che un trigger sia stato comandato o no. Nell'oscilloscopio si propaga un flusso costante di dati; il trigger fa semplicemente in modo che l'oscilloscopio memorizzi i dati presenti. Gli oscilloscopi analogici, invece, si limitano a visualizzare il segnale, ossia a tracciarlo sullo schermo, una volta comandato il trigger. La visualizzazione di pretrigger non è quindi disponibile negli oscilloscopi analogici, ad eccezione di una piccola quantità di pretrigger fornita da una linea di ritardo nel sistema di deflessione verticale.

La visualizzazione di pretrigger è un aiuto prezioso per la ricerca guasti. Se un problema è intermittente, si può comandare il trigger su di esso, registrare gli eventi da cui è derivato e possibilmente determinarne la causa.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida

Livello e pendenza del trigger

I comandi di **livello** (Level) e **pendenza** (Slope) del **trigger** servono a regolarne i punti fondamentali e determinano come si visualizza la forma d'onda, come illustrato nella figura 36.

Il circuito di trigger funziona come un comparatore. A un ingresso del comparatore si selezionano il livello di tensione e la pendenza. Quando il segnale di trigger sull'altro ingresso del comparatore corrisponde alle impostazioni selezionate, l'oscilloscopio comanda il trigger.

- Il comando Slope determina se il punto di trigger si trova sul fronte ascendente o discendente di un segnale. Un fronte ascendente ha una pendenza positiva e un fronte discendente ha una pendenza negativa.
- Il comando Level determina il punto del fronte in corrispondenza del quale si presenta il trigger.

Sorgenti di trigger

L'oscilloscopio non deve necessariamente comandare il trigger per avviare così la scansione per la visualizzazione: si possono impiegare numerose altre sorgenti, come le seguenti.

- Qualsiasi canale d'ingresso
- Un generatore esterno diverso da quello del segnale applicato a un canale d'ingresso
- Il segnale dell'alimentatore
- Un segnale specificato internamente dall'oscilloscopio, su uno o più canali d'ingresso.

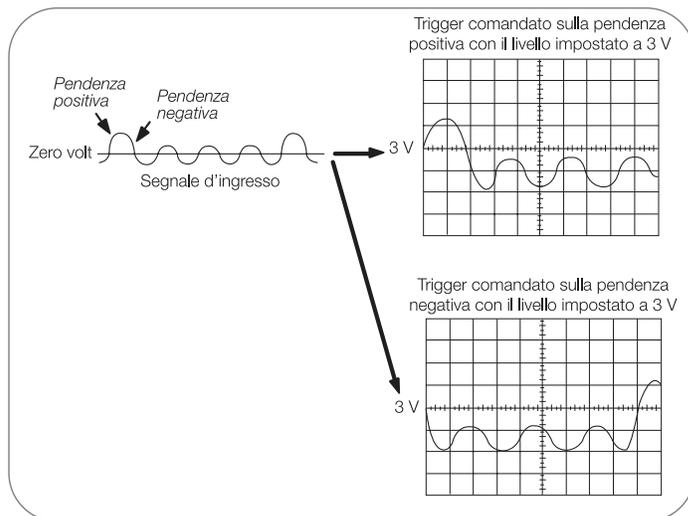
Nella maggior parte dei casi si può lasciare l'oscilloscopio impostato in modo da comandare il trigger sul canale visualizzato. Alcuni oscilloscopi forniscono un'uscita di trigger che comanda il segnale di trigger ad un altro strumento.

L'oscilloscopio può utilizzare un generatore di trigger alternativo, che può essere visualizzato o no, cosicché occorre fare attenzione a non comandare involontariamente il trigger sul canale 1 mentre per esempio si visualizza il canale 2.

Modalità di trigger

Determina se l'oscilloscopio traccia o meno la forma d'onda in base a una condizione del segnale. Le modalità di trigger comuni sono **Normal** e **Auto**.

Nella modalità Normal, l'oscilloscopio avvia la scansione solo se il segnale d'ingresso raggiunge il punto di trigger impostato, altrimenti (negli oscilloscopi analogici) lo schermo non visualizza niente oppure (negli oscilloscopi digitali) rimane fermo sull'ultima forma d'onda acquisita. Questa modalità può disorientare, in quanto è possibile che inizialmente non si veda il segnale se il comando del livello non è sulla giusta posizione.



► **Figura 36.** Trigger comandato sulla pendenza positiva e su quella negativa.

Nella modalità Auto, un circuito temporizzatore avvia la scansione anche se manca il trigger in quanto il segnale è assente. Ciò assicura che la traccia non scompaia dallo schermo se manca il segnale di comando del trigger.

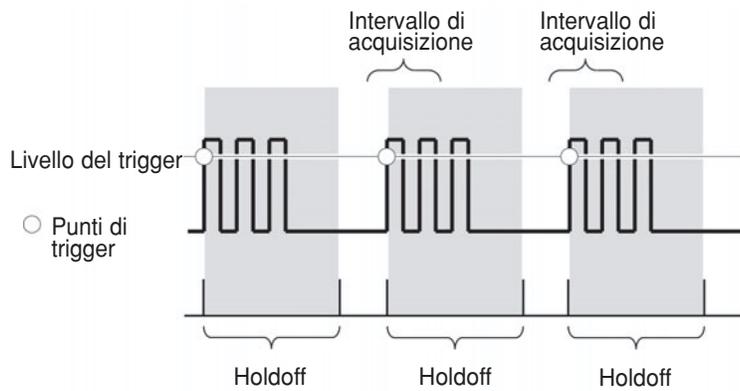
Nella pratica spesso si usano entrambe le modalità: la modalità Normal perché consente di osservare il solo segnale che interessa, anche quando il trigger viene comandato a frequenza bassa, e la modalità Auto perché richiede meno regolazioni.

Molti oscilloscopi includono anche modalità speciali per scansioni singole, trigger su segnali video o impostazioni automatiche del livello di trigger.

Accoppiamento del trigger

Così come per il sistema di deflessione verticale si può selezionare l'accoppiamento AC o DC, per il segnale di trigger si può scegliere il tipo di accoppiamento desiderato.

Oltre all'accoppiamento AC e DC, un oscilloscopio può consentire di selezionare l'accoppiamento del trigger con reiezione delle alte frequenze, delle basse frequenze o del rumore. Queste impostazioni speciali sono utili per eliminare rumore dal segnale di trigger e prevenire comandi falsi del trigger.



► **Figura 37.** Holdoff del trigger.

Holdoff del trigger

A volte occorre molta esperienza per far sì che l'oscilloscopio comandi il trigger sulla parte giusta di un segnale. Molti oscilloscopi hanno funzioni speciali che facilitano questa operazione.

Il **tempo di holdoff** del trigger è un intervallo regolabile, successivo a un trigger valido, durante il quale gli impulsi di trigger non hanno effetto. Questa funzione è utile quando si deve comandare il trigger su forme d'onda dall'andamento complesso e quindi l'impulso di trigger deve avere effetto solo su punti specifici. La figura 37 illustra come l'utilizzo del tempo di holdoff del trigger aiuta a creare una traccia adeguata.

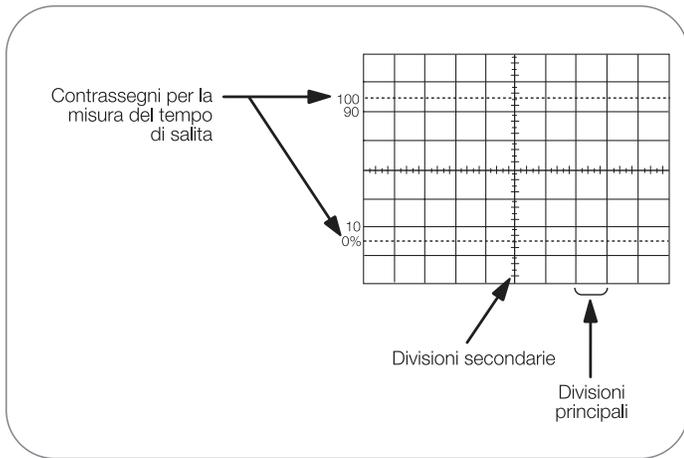
Comandi e sistema di visualizzazione

Il pannello anteriore di un oscilloscopio è composto da un display e da manopole, pulsanti, interruttori e indicatori per l'acquisizione e la visualizzazione. Come accennato all'inizio di questo capitolo, i comandi sul pannello anteriore sono ripartiti in tre sezioni: **verticale**, **orizzontale** e di **trigger**. Il pannello anteriore è dotato anche di connettori d'ingresso.

Sul display dell'oscilloscopio si nota il **reticolo**, suddiviso in tanti tratti. Ciascuna linea verticale e orizzontale dà luogo a una **divisione principale**. In genere il reticolo è suddiviso in 8 x 10 divisioni. Le diciture sui comandi dell'oscilloscopio (quali volts/div e sec/div) si riferiscono sempre alle divisioni principali. I contrassegni di divisione sulle linee orizzontali e verticali del reticolo, illustrati nella figura 38, sono detti divisioni secondarie. Molti oscilloscopi indicano sullo schermo quanti volt sono rappresentati da ciascuna divisione verticale e quanti secondi sono rappresentati da ciascuna divisione orizzontale.

Introduzione agli oscilloscopi

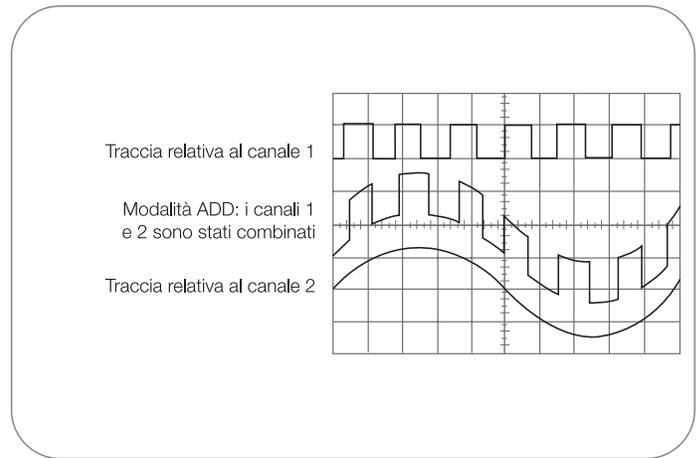
► Guida



► **Figura 38.** Il reticolo di un oscilloscopio.

I sistemi di visualizzazione sono diversi a seconda che l'oscilloscopio sia analogico o digitale. I seguenti sono i comandi più comuni.

- Un comando di intensità, per la regolazione della luminosità della forma d'onda. Quando si aumenta la velocità di scansione di un oscilloscopio analogico, occorre aumentare l'intensità.
- Un comando di focalizzazione, per regolare la nitidezza della forma d'onda, e un comando di rotazione della traccia per allinearla all'asse orizzontale. La posizione dell'oscilloscopio rispetto al campo magnetico terrestre influisce sull'allineamento della forma d'onda. È possibile che gli oscilloscopi digitali, che impiegano display a cristalli liquidi o raster, non abbiano questi comandi in quanto la schermata complessiva è predeterminata, come sul monitor di un personal computer. Invece gli oscilloscopi analogici impiegano un display vettoriale o a fascio diretto.
- In molti DSO e DPO, una tavolozza per la selezione dei colori della traccia e dei livelli cromatici di intensità graduale.
- Possono essere presenti altri comandi per la regolazione dell'intensità luminosa del reticolo e per visualizzare o fare scomparire informazioni a schermo, quali i menu.



► **Figura 39.** Somma di canali.

Altri comandi dell'oscilloscopio

Operazioni di misura e matematiche

L'oscilloscopio in vostra dotazione può offrire funzioni che consentono di sommare tra di loro forme d'onda, visualizzando una nuova forma d'onda. Gli oscilloscopi analogici combinano i segnali, mentre gli oscilloscopi digitali creano nuove forme d'onda con operazioni matematiche. La sottrazione di forme d'onda rappresenta un'altra operazione matematica. Con un oscilloscopio analogico è possibile eseguire la sottrazione utilizzando la funzione di inversione del canale su un segnale e poi eseguendo la somma. Gli oscilloscopi digitali in genere mettono a disposizione l'operazione di sottrazione. La figura 39 illustra una terza forma d'onda creata combinando due segnali diversi.

Grazie alla capacità di calcolo dei loro processori interni, gli oscilloscopi digitali offrono numerose operazioni matematiche complesse: moltiplicazione, divisione, integrazione, trasformata rapida di Fourier e altre ancora.

Abbiamo descritto i comandi fondamentali dell'oscilloscopio. Il vostro particolare oscilloscopio può avere altri comandi per svariate funzioni, alcune delle quali sono le seguenti.

- Misure parametriche automatiche
- Cursori di misura
- Tastierini per eseguire operazioni matematiche o immettere dati
- Funzioni di stampa
- Interfacce per il collegamento dell'oscilloscopio a un computer o direttamente a Internet

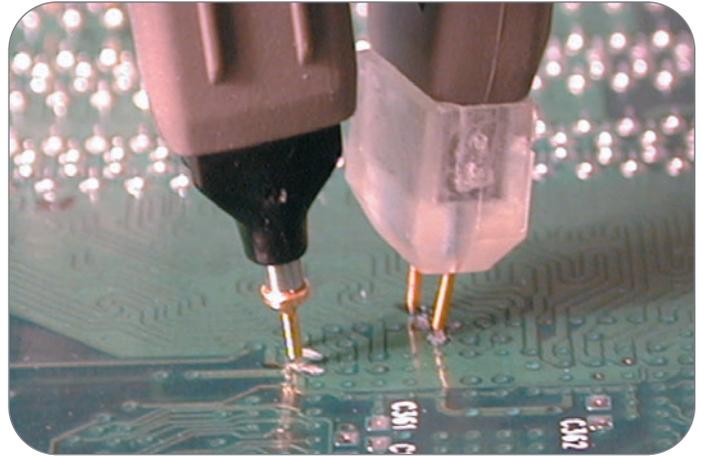
Esaminate le altre opzioni disponibili sull'oscilloscopio che state utilizzando e consultatene il manuale per ulteriori informazioni su questi comandi aggiuntivi.

Il sistema di misura completo

Sonde

Anche lo strumento più all'avanguardia può essere preciso solo quanto lo sono i dati immessi. Una **sonda** funziona insieme a un oscilloscopio come parte del sistema di misura. Una misura di precisione comincia dal puntale della sonda. Scegliendo la sonda giusta, adattata sia all'oscilloscopio che al dispositivo in prova (DUT), il segnale non solo si può applicare all'oscilloscopio nelle migliori condizioni possibili, ma lo si può anche amplificare e se ne possono preservare le caratteristiche per ottenere la massima integrità del segnale stesso e misure precise.

- Per assicurare una ricostruzione precisa del segnale, cercate di scegliere una sonda che insieme all'oscilloscopio presenti una larghezza di banda cinque volte superiore a quella del segnale.



► **Figura 40.** I sistemi e i dispositivi ad alta densità richiedono sonde di piccole dimensioni.

Le sonde diventano effettivamente parte del circuito, introducendo **carichi** resistivi, capacitivi e induttivi che alterano inevitabilmente la misura. Per ottenere la massima precisione possibile, occorre selezionare una sonda che introduca un carico minimo, ovvero che sia adattata all'oscilloscopio e si possano così sfruttare tutte le funzioni di quest'ultimo.

Nella selezione di questa importantissima connessione al dispositivo in prova occorre anche tenere presente le dimensioni della sonda: quanto più esse sono piccole tanto più facile è usarla sugli odierni circuiti dalle densità elevate (vedi Figura 40).

Segue una descrizione dei tipi di sonda. Per ulteriori informazioni su questo componente essenziale del sistema di misura completo consultate la guida Tektronix *L'ABC delle sonde*.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 41.** Una tipica sonda passiva con accessori.

Sonde passive

Per le misure di livelli di tensione e su segnali tipici, le sonde **passive** offrono facilità d'uso e la possibilità di eseguire una vasta gamma di misure a un prezzo accessibile. La coppia costituita da una sonda di tensione passiva e una sonda di corrente è la soluzione ideale per le misure di potenza.

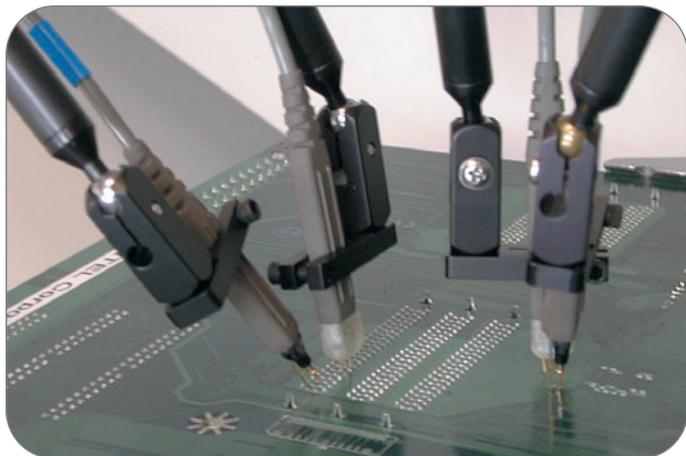
La maggior parte delle sonde passive ha un fattore di attenuazione, come 10X, 100X e così via. Per convenzione, i fattori di attenuazione vengono indicati con una X dopo il valore dell'attenuazione. Per i fattori di amplificazione, invece, come X10, la X precede il valore.

La sonda attenuatrice 10X (da leggere "di dieci volte") riduce il carico del circuito rispetto alla sonda 1X ed è un'eccellente sonda universale. Il carico del circuito è tanto più alto quanto più alte sono la frequenza e/o l'impedenza del generatore del segnale, cosicché è importante analizzare queste interazioni tra il carico del segnale e quello della sonda prima di scegliere quest'ultima. La sonda attenuatrice 10X migliora la precisione delle misure ma riduce anche di un fattore 10 l'ampiezza del segnale all'ingresso dell'oscilloscopio.

Poiché attenua il segnale, la sonda 10X rende difficile studiare segnali con ampiezza inferiore a 10 millivolt picco-picco. La sonda 1X è simile a quella 10X, ma non ha circuiti attenuatori e senza di questi si genera maggiore interferenza nel circuito in prova. Usate la sonda 10X come sonda universale, ma tenete quella 1X a portata di mano per eseguire misure su segnali a bassa frequenza e ampiezza. Alcune sonde hanno una comoda funzione che permette di selezionare il fattore 1X o 10X al puntale. Se la sonda che adoperate ha questa funzione, verificatene l'impostazione prima di eseguire le misure.

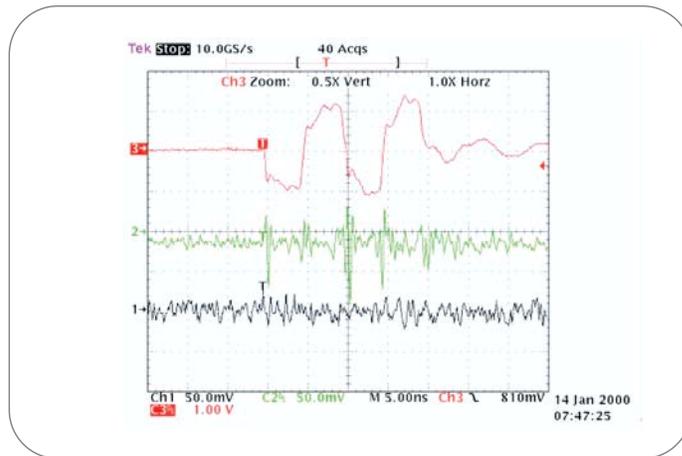
Molti oscilloscopi possono rilevare se sono collegati a una sonda 1X o 10X e regolare opportunamente le letture sullo schermo. Invece con altri tipi di oscilloscopio occorre impostare il tipo di sonda che si sta adoperando oppure esaminare la giusta indicazione, 1X o 10X, sul comando volts/div.

La sonda attenuatrice 10X funziona bilanciando le sue proprietà elettriche rispetto a quelle dell'oscilloscopio. Prima di usare una sonda 10X occorre regolare questo bilanciamento in base al particolare oscilloscopio adoperato. Tale regolazione è detta compensazione della **sonda** ed è descritta più dettagliatamente nel capitolo **Uso dell'oscilloscopio**.



► **Figura 42.** Le sonde ad alte prestazioni sono essenziali quando si eseguono misure sui fronti e sui clock ad alta frequenza dei bus di computer e delle linee di trasmissione odierni.

Le sonde passive offrono eccellenti soluzioni quando bastano sonde universali. Tuttavia, le sonde passive universali non sono adatte per eseguire misure precise su segnali con tempi di salita brevissimi e possono introdurre carichi eccessivi nei circuiti con alta sensibilità. L'incessante aumento delle frequenze di clock e delle velocità dei fronti richiede sonde funzionanti a frequenza più alta e che presentino effetti minori di carico. Le sonde **attive** ad alta frequenza e quelle **differenziali** sono soluzioni ideali per le misure su segnali ad alta frequenza e/o differenziali.



► **Figura 43.** Le sonde differenziali possono separare il rumore di modo comune dalla parte del segnale che interessa nelle odierne applicazioni ad alta frequenza e bassa tensione, una caratteristica particolarmente importante man mano che le ampiezze dei segnali digitali continuano a scendere sotto le soglie tipiche di rumore dei circuiti integrati.

Sonde attive e differenziali

Le frequenze dei segnali sempre più alte e le tensioni sempre più basse delle famiglie logiche rendono difficile eseguire misure precise. La fedeltà del segnale e il carico introdotto dal dispositivo sono i fattori essenziali. Una soluzione di misura completa a queste frequenze elevate deve includere sonde a elevata fedeltà e frequenza, adattabili alle prestazioni dell'oscilloscopio (vedi Figura 42).

Le sonde **attive** e **differenziali** impiegano circuiti integrati progettati appositamente per assicurare l'integrità del segnale durante l'accesso e la trasmissione all'oscilloscopio. Quando occorre eseguire misure su segnali con tempi di salita molto brevi, una sonda attiva ad alta frequenza o una sonda differenziale consentono di ottenere risultati più precisi.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 44.** L'interfaccia Tektronix TekConnect™ preserva l'integrità del segnale fino a 10 GHz e oltre, per rispondere alle necessità attuali e future relative alla larghezza di banda.

Accessori della sonda

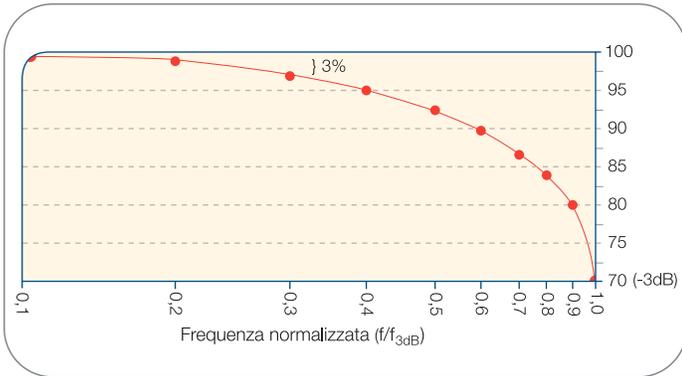
Molti oscilloscopi moderni offrono funzioni automatiche speciali incorporate nei connettori d'ingresso e della sonda adattata. Se sono dotati di un'interfaccia intelligente per sonde, non appena si collega quest'ultima all'oscilloscopio esso ne rileva il fattore di attenuazione e regola la scala del display in modo che le letture tengano conto di tale attenuazione. Alcune interfacce per sonde rilevano anche il tipo di sonda: passiva, attiva o di corrente. L'interfaccia può funzionare da alimentatore in corrente continua delle sonde. Le sonde attive sono dotate di circuiti propri di amplificazione e buffer che richiedono corrente continua di alimentazione.



► **Figura 45.** Gli adattatori Tektronix SF200A e SF500 serie SureFoot™ permettono di connettere in modo affidabile il puntale di una sonda con cavo corto a un pin specifico di un circuito integrato.

Sono disponibili anche accessori per i puntali e i cavi di collegamento con la terra, che aiutano a mantenere l'integrità del segnale quando si eseguono misure su segnali ad alta frequenza. Gli adattatori per tali cavi offrono flessibilità nella distanza tra la connessione del puntale e quella di collegamento con la terra al dispositivo in prova, permettendo al tempo stesso di mantenere molto corto il cavo tra il puntale e il dispositivo in prova.

Per ulteriori informazioni sugli accessori per sonde consultate la guida Tektronix *L'ABC delle sonde*.



► **Figura 46.** La larghezza di banda dell'oscilloscopio è la frequenza alla quale un segnale d'ingresso sinusoidale è attenuato sino al 70,7% dell'ampiezza effettiva del segnale ed è detta punto a -3 dB.

Fattori e termini relativi alle prestazioni

Si è accennato in precedenza che un oscilloscopio è analogo a una macchina fotografica, la quale acquisisce immagini osservabili e interpretabili. La velocità dell'otturatore, le condizioni di illuminazione, l'apertura e il codice ASA della pellicola influiscono sulla capacità della macchina fotografica di acquisire le immagini con nitidezza e precisione. Come i sistemi fondamentali di un oscilloscopio, i fattori relativi alle sue prestazioni influiscono in modo notevole sulla possibilità di ottenere con esso l'integrità del segnale richiesta.

Per acquisire una nuova abilità spesso occorre imparare un nuovo vocabolario. Lo stesso vale per l'apprendimento dell'uso dell'oscilloscopio. Questo capitolo descrive utili misure e termini relativi alle prestazioni di un oscilloscopio. Questi termini servono a descrivere i criteri essenziali per scegliere l'oscilloscopio adatto a un'applicazione specifica e comprenderli aiuta a valutare e confrontare con altri modelli un particolare oscilloscopio.

Larghezza di banda

Determina la capacità fondamentale di un oscilloscopio di eseguire misure sui segnali. All'aumentare della frequenza di un segnale, diminuisce la capacità dell'oscilloscopio di visualizzarlo con precisione. Questa specifica indica la gamma di frequenze entro la quale l'oscilloscopio può eseguire misure precise.

La **larghezza di banda** dell'oscilloscopio viene specificata come la frequenza alla quale un segnale d'ingresso sinusoidale è attenuato sino al 70,7% dell'ampiezza effettiva del segnale ed è detta punto a -3 dB, un termine derivante dall'impiego della scala logaritmica (vedi Figura 46).



► **Figura 47.** Quanto più ampia è la larghezza di banda, tanto più precisa è la riproduzione del segnale, come illustrato nel caso di un segnale acquisito con larghezze di banda pari a 250 MHz, 1 GHz e 4 GHz.

Se non ha una larghezza di banda adeguata, l'oscilloscopio non è in grado di rilevare variazioni ad alta frequenza: l'ampiezza risulta distorta, i fronti non vengono rilevati e si perdono i dettagli. Senza un'adeguata larghezza di banda, nessun'altra funzione dell'oscilloscopio risulta veramente utile.

- **La regola della moltiplicazione per 5**
Larghezza di banda richiesta all'oscilloscopio = Massima frequenza contenuta nel segnale da misurare moltiplicata per 5

Per determinare la larghezza di banda dell'oscilloscopio necessaria per caratterizzare con precisione l'ampiezza di un segnale specifico, applicate la regola della moltiplicazione per 5.

Un oscilloscopio selezionato mediante questa regola produce un errore inferiore a $\pm 2\%$ nelle misure, in genere sufficiente per le applicazioni d'oggi. Tuttavia, all'aumentare delle frequenze del segnale è possibile che non sia più possibile applicare questa regola pratica. Tenete sempre presente che da una larghezza di banda più ampia probabilmente risulterà una riproduzione più precisa del segnale (vedi Figura 47).

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 48.** Caratterizzazione del tempo di salita di un segnale digitale ad alta frequenza.

Tempo di salita

Nel settore dei circuiti digitali, le misure del tempo di salita sono essenziali. Il tempo di salita può essere un fattore relativo alle prestazioni più appropriato quando si intende eseguire misure su segnali digitali, come impulsi e gradini. L'oscilloscopio deve avere un tempo di salita sufficientemente breve per acquisire con precisione i dettagli di transizioni rapide.

Il **tempo di salita** indica la gamma di frequenze utili di un oscilloscopio. Per calcolare il tempo di salita dell'oscilloscopio necessario per un segnale specifico, usate la seguente equazione:

$$\text{Tempo necessario di salita dell'oscilloscopio} = \frac{\text{Tempo di salita più breve del segnale da misurare}}{5}$$

Famiglia logica	Tempo di salita tipico del segnale	Larghezza di banda del segnale calcolata
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1,5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3,5 GHz
GaAs	40 ps	8,75 GHz

► **Figura 49.** Alcune famiglie logiche hanno tempi di salita intrinsecamente più brevi rispetto ad altre.

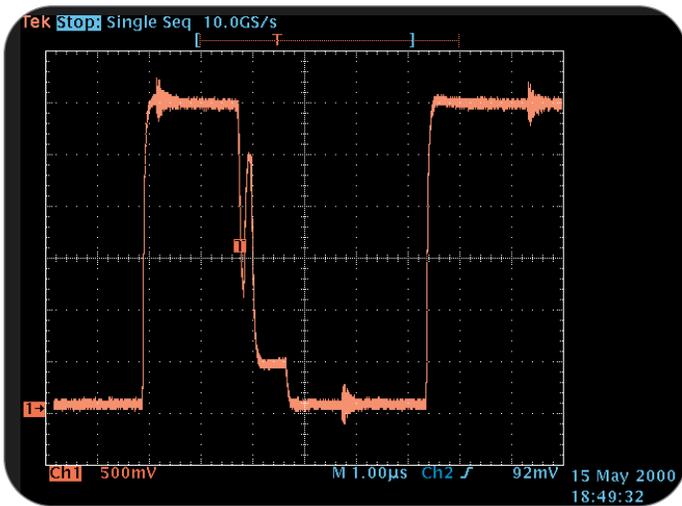
Si noti che questo criterio per la selezione del tempo di salita dell'oscilloscopio è simile a quello relativo alla larghezza di banda. Come nel caso di quest'ultima, non sempre è possibile applicare questa regola pratica, a causa delle frequenze altissime degli odierni segnali. Tenete sempre presente che un oscilloscopio con tempo di salita più breve acquisisce con maggiore precisione i dettagli essenziali delle transizioni rapide.

In alcuni casi è possibile che si conosca solo il tempo di salita del segnale. Una costante mette in relazione tra di loro la larghezza di banda e il tempo di salita dell'oscilloscopio; l'equazione è la seguente:

$$\text{Larghezza di banda} = \frac{k}{\text{Tempo di salita}}$$

dove k è un valore compreso tra 0,35 e 0,45, secondo il tempo di salita della risposta all'impulso e l'andamento della risposta in frequenza dell'oscilloscopio. Per gli oscilloscopi con larghezza di banda <1 GHz in genere si usa il valore 0,35, mentre se la larghezza di banda è >1 GHz in genere il valore da usare è compreso tra 0,40 e 0,45.

Alcune famiglie logiche hanno tempi di salita intrinsecamente più brevi rispetto ad altre, come illustrato nella figura 49.



► **Figura 50.** Una frequenza di campionamento più alta fornisce una risoluzione maggiore del segnale, assicurando la visualizzazione di eventi intermittenti.

Frequenza di campionamento

Si specifica in campioni al secondo (S/s) e indica la frequenza con la quale un oscilloscopio digitale acquisisce un'istantanea, o un campione, del segnale, analoghi ai fotogrammi di una videocamera. Quanto più alta è la **frequenza di campionamento**, tanto maggiori sono la risoluzione e i dettagli della forma d'onda visualizzata e minori le probabilità che si perdano informazioni o eventi essenziali, come illustrato nella figura 50. La frequenza di campionamento minima può inoltre essere importante se occorre visualizzare segnali variabili lentamente nel corso di lunghi periodi di tempo. In genere la frequenza di campionamento visualizzata cambia parallelamente alle regolazioni eseguite con il comando della scala dell'asse orizzontale per mantenere un numero costante di punti nella registrazione della forma d'onda visualizzata.

Per calcolare i requisiti sulla frequenza di campionamento sono disponibili vari metodi, la cui scelta dipende dal tipo di forma d'onda su cui si devono eseguire le misure e dal metodo di ricostruzione del segnale impiegato dall'oscilloscopio.

Il teorema di Nyquist afferma che per ricostruire con precisione un segnale ed evitare l'aliasing, il segnale deve essere campionato a una frequenza pari ad almeno il doppio della più alta frequenza contenuta nel segnale stesso. Questo teorema presume però che la lunghezza di registrazione sia infinita e che il segnale sia continuo. Poiché nessun oscilloscopio offre una lunghezza di registrazione infinita e per definizione i glitch non sono continui, il campionamento eseguito a una frequenza pari a solo il doppio della massima frequenza del segnale è di solito insufficiente.

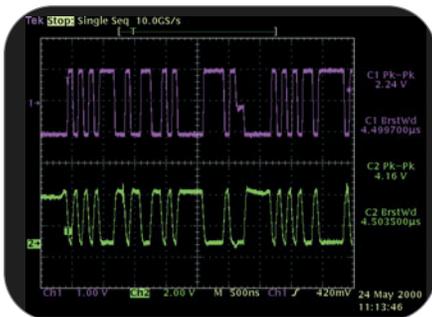
In realtà, la ricostruzione precisa di un segnale dipende sia dalla frequenza di campionamento sia dal metodo di interpolazione adoperato per riempire gli spazi tra i campioni. Alcuni oscilloscopi permettono di selezionare l'interpolazione $\sin(x)/x$ per eseguire misure su segnali sinusoidali e l'interpolazione lineare per le onde quadre, gli impulsi e altri tipi di segnale.

► Per eseguire una ricostruzione precisa mediante l'interpolazione $\sin(x)/x$, la frequenza di campionamento dell'oscilloscopio deve essere pari ad almeno 2,5 volte la massima frequenza del segnale. Se si utilizza l'interpolazione lineare, la frequenza di campionamento deve essere pari ad almeno 10 volte la massima frequenza del segnale.

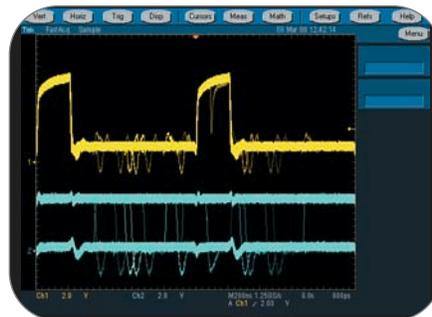
Alcuni sistemi di misura con frequenze di campionamento sino a 20 GS/s e larghezze di banda sino a 4 GHz sono stati ottimizzati in modo da acquisire eventi transitori e singoli velocissimi sovracampionando a una frequenza pari a fino 5 volte la larghezza di banda.

Introduzione agli oscilloscopi

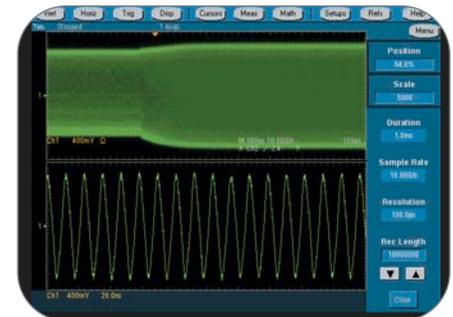
► Guida



► **Figura 51.** Un DSO è una soluzione ideale durante la progettazione di dispositivi digitali multicanale che impiegano segnali ad alta frequenza, non periodici.



► **Figura 52.** Un DPO consente di esaminare in modo più approfondito l'andamento del segnale grazie a frequenze di acquisizione del segnale molto più alte e alle tracce tridimensionali; ciò ne fa il migliore strumento universale per la progettazione e la ricerca guasti in una vasta serie di applicazioni.



► **Figura 53.** Per acquisire il dettaglio ad alta frequenza di questa portante a 85 MHz modulata, occorre un campionamento ad alta risoluzione (100 ps). Per visualizzare l'involuppo di modulazione completo del segnale occorre una durata lunga (1 ms). Mediante una notevole lunghezza di registrazione (10 MB), l'oscilloscopio può visualizzare entrambe le grandezze.

Frequenza di acquisizione della forma d'onda

Tutti gli oscilloscopi funzionano a intermittenza, ossia acquisiscono il segnale un certo numero di volte al secondo e rimangono inattivi durante gli intervalli tra un'acquisizione e l'altra. Questo numero è la **frequenza di acquisizione della forma d'onda** e viene espresso in forme d'onda al secondo (wfms/s). Mentre la frequenza di campionamento indica quante volte l'oscilloscopio campiona il segnale d'ingresso nell'ambito di una forma d'onda, ossia di un ciclo, il valore wfms/s indica la velocità con la quale l'oscilloscopio acquisisce le forme d'onda.

La frequenza di acquisizione della forma d'onda può variare molto, a seconda del tipo e del livello di prestazioni dell'oscilloscopio. Gli oscilloscopi con elevate frequenze di acquisizione permettono di osservare in modo notevolmente più approfondito l'andamento del segnale e aumentano significativamente la probabilità di acquisire con rapidità anomalie transitorie come il jitter, gli impulsi runt, i glitch e gli errori di transizione (vedi figure 51 e 52).

Gli oscilloscopi a memoria digitale (DSO) impiegano un'architettura di elaborazione seriale per acquisire le forme d'onda a frequenze comprese tra 10 e 5.000 wfms/s. Alcuni DSO offrono una modalità speciale, che raggruppa più acquisizioni in una memoria a lungo termine, fornendo temporaneamente frequenze di acquisizione più alte, seguite da lunghi tempi morti di elaborazione che riducono la probabilità di acquisire eventi rari e intermittenti.

La maggiore parte degli oscilloscopi ai fosfori digitali (DPO) impiega un'architettura di elaborazione parallela per ottenere frequenze di acquisizione della forma d'onda molto più alte. Alcuni DPO possono acquisire milioni di forme d'onda in alcuni secondi, aumentando in modo significativo la probabilità di acquisire eventi intermittenti ed elusivi e consentendo di osservare più rapidamente i problemi del segnale. Inoltre, la capacità del DPO di acquisire e visualizzare tre dimensioni dell'andamento del segnale in tempo reale - l'ampiezza, il tempo e la distribuzione dell'ampiezza nel tempo - si traduce nella possibilità di analisi più approfondite dell'andamento del segnale.

Lunghezza di registrazione

È espressa come il numero di punti costituenti una registrazione completa della forma d'onda e determina il numero di dati acquisibili con ciascun canale. Poiché un oscilloscopio può memorizzare solo un numero limitato di campioni, la durata della forma d'onda è inversamente proporzionale alla frequenza di campionamento dell'oscilloscopio.

$$\text{Intervallo di tempo} = \frac{\text{Lunghezza di registrazione}}{\text{Frequenza di campionamento}}$$

I moderni oscilloscopi permettono di selezionare la lunghezza di registrazione in modo da ottimizzare il livello di dettagli necessario per una specifica applicazione. Se si deve analizzare un segnale sinusoidale estremamente stabile, può occorrere solo una lunghezza di registrazione di 500 punti, ma se si devono individuare le cause di anomalie di temporizzazione in un flusso complesso di dati digitali, per una data lunghezza di registrazione può essere necessario un milione di punti o più.

Funzioni di trigger

La funzione di **trigger** dell'oscilloscopio sincronizza la scansione orizzontale rispetto al segnale; ciò è essenziale per caratterizzare quest'ultimo con chiarezza. I comandi di trigger servono a stabilizzare forme d'onda periodiche e ad acquisire forme d'onda a evento singolo.

Per ulteriori informazioni sulle funzioni di trigger vedere la sezione **Trigger** nel capitolo **Fattori e termini relativi alle prestazioni**.

Bit effettivi

Rappresentano una misura della capacità di un oscilloscopio digitale di ricostruire con precisione l'andamento di un segnale sinusoidale. Questa misura è il risultato del confronto tra l'errore effettivo dell'oscilloscopio e quello di un teorico digitalizzatore "ideale". Poiché gli errori effettivi includono il rumore e la distorsione, occorre specificare la frequenza e l'ampiezza del segnale.

Risposta in frequenza

La sola larghezza di banda non basta per assicurare che un oscilloscopio possa acquisire con precisione un segnale a frequenza elevata. L'obiettivo della progettazione dell'oscilloscopio è quello di ottenere una specifica risposta in frequenza, indicata con la sigla **MFED (Maximally Flat Envelope Delay)**, caratterizzata da una fedeltà eccellente nella risposta all'impulso, con sovraelongazione e oscillazioni minime. Poiché un oscilloscopio digitale è composto da amplificatori, attenuatori, convertitori A/D, connessioni e relè, la risposta MFED è un obiettivo solo approssimabile. La fedeltà nella risposta all'impulso varia notevolmente secondo il modello e il produttore (la Figura 47 illustra questo concetto).

Sensibilità verticale

Indica di quanto l'amplificatore verticale può aumentare l'ampiezza di un segnale debole; in genere si misura in millivolt (mV) a divisione. La tensione più bassa rilevabile da un oscilloscopio universale è in genere di 1 mV a divisione verticale.

Velocità di scansione

Indica la velocità con la quale la traccia può spostarsi lungo lo schermo, permettendo l'osservazione dei dettagli. Si misura in tempo (secondi) a divisione.

Precisione del guadagno

Indica la precisione con la quale il sistema di deflessione verticale attenua o amplifica il segnale; in genere è rappresentata sotto forma di errore percentuale.

Precisione orizzontale (della base dei tempi)

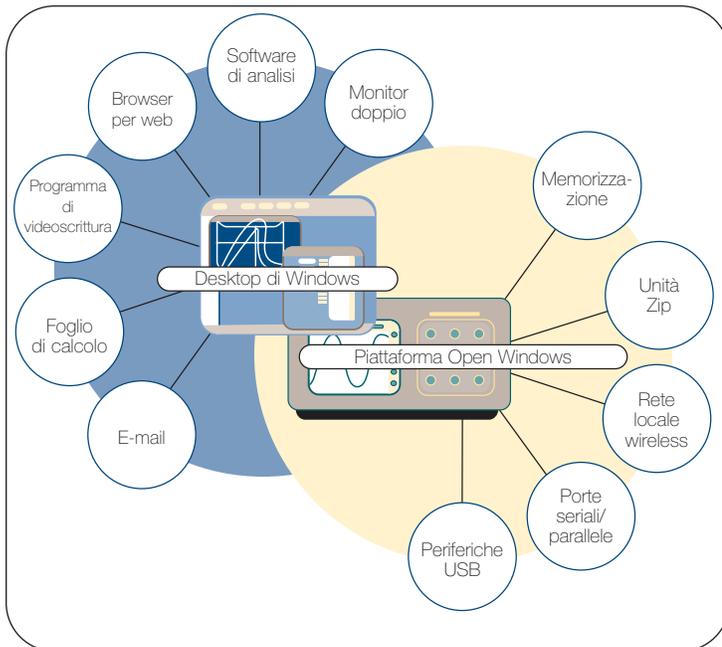
Indica la precisione con la quale il sistema di deflessione orizzontale visualizza la temporizzazione del segnale; in genere è rappresentata sotto forma di errore percentuale.

Risoluzione verticale (convertitore analogico-digitale)

La risoluzione verticale del convertitore A/D, e quindi dell'oscilloscopio digitale, indica la precisione con la quale le tensioni d'ingresso possono essere trasformate in valori digitali e si misura in bit. Apposite tecniche di calcolo possono migliorare la risoluzione effettiva, come esemplificato dalla modalità di acquisizione Hi Res. Vedere la sezione **Comandi e sistema di deflessione orizzontale** nel capitolo **Sistemi e comandi di un oscilloscopio**.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 54.** Un oscilloscopio serie TDS7000 collega persone e apparecchi per ridurre i tempi e aumentare la produttività dell'intero gruppo di lavoro.

Connettività

La necessità di analizzare i risultati delle misure rimane della massima importanza. Inoltre è cresciuta l'importanza della necessità di documentare e condividere facilmente le informazioni e i risultati delle misure, spesso tramite reti ad alta velocità.

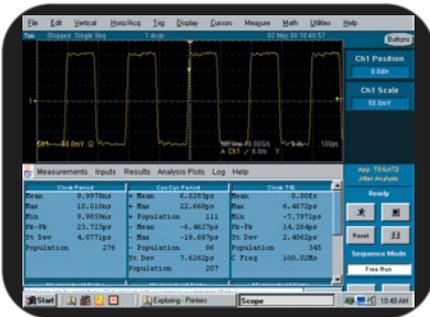
La connettività di un oscilloscopio fornisce funzioni avanzate di analisi e semplifica la documentazione e la condivisione dei risultati. Le interfacce standard (GPIB, RS-232, USB, Ethernet) e i moduli per comunicazioni in rete permettono ad alcuni oscilloscopi di offrire un'ampia serie di funzioni e comandi.



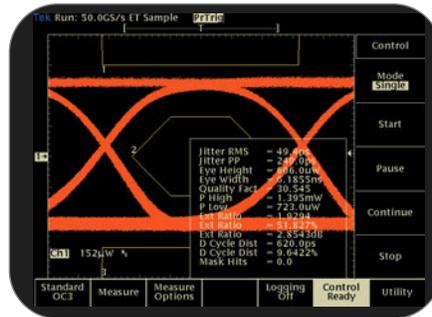
► **Figura 55.** Un oscilloscopio serie TDS3000 offre svariate interfacce di comunicazione, quali una porta Centronics standard e moduli opzionali Ethernet/RS-232, GPIB/RS-232 e VGA/RS-232.

Alcuni oscilloscopi all'avanguardia permettono anche di eseguire le seguenti operazioni.

- Creazione, modifica e condivisione di documenti sull'oscilloscopio - mentre lo si usa sul lavoro
- Accesso alle risorse di condivisione dei file e di stampa in rete
- Accesso al desktop di Windows®
- Esecuzione di programmi di produttori diversi per documentazione e analisi
- Collegamento a reti
- Accesso a Internet
- Invio e ricezione di e-mail



► **Figura 56.** Il pacchetto software opzionale TDSJIT2 per l'oscilloscopio serie TDS7000 è stato studiato per rispondere alle necessità dei progettisti degli odierni dispositivi ad alta frequenza relative alle misure di jitter.



► **Figura 57.** Equipaggiando l'oscilloscopio serie TDS700 con il modulo applicativo TDSCEM1 si possono eseguire i test di conformità con maschere per comunicazioni.



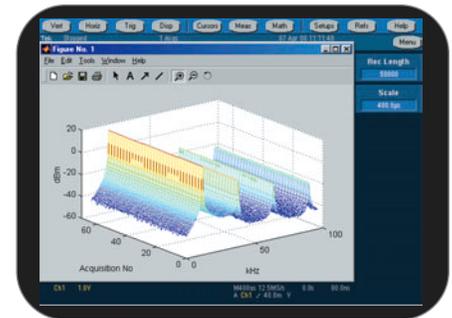
► **Figura 58.** Il modulo video TDS3SDI trasforma l'oscilloscopio serie TDS3000 in uno strumento rapido e accurato per la ricerca guasti in impianti video.

Espansibilità

Un oscilloscopio deve essere in grado di rispondere alle vostre necessità man mano che cambiano. Alcuni oscilloscopi vi permettono di fare quanto segue.

- Aggiungere memoria ai canali per analizzare lunghezze di registrazioni maggiori
- Aggiungere funzioni di misura per applicazioni specifiche
- Completare la funzionalità dell'oscilloscopio con una serie completa di sonde e moduli
- Usare diffusi programmi di produttori diversi, Windows compatibili, per analisi e produttività
- Aggiungere accessori, quali batterie ricaricabili e kit di fissaggio a rack

Il software e i moduli applicativi possono consentire di trasformare l'oscilloscopio in uno strumento di analisi altamente specializzato, in grado di svolgere funzioni quali l'analisi del jitter e della temporizzazione, la verifica del sistema di memoria dei microprocessori, i test di conformità agli standard di comunicazione, le misure sulle unità a disco, le misure video, le misure sugli alimentatori e molte altre funzioni.



► **Figura 59.** È possibile installare nell'oscilloscopio serie TDS7000 programmi avanzati e per produttività, quali MATLAB®, per analizzare segnali locali.

Introduzione agli oscilloscopi

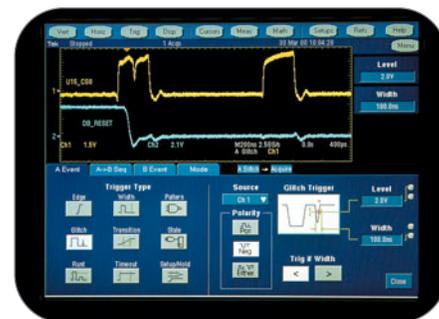
► Guida



► **Figura 60.** La disposizione dei comandi classica, di stile analogico, permette di regolare la posizione, la scala, l'intensità, ecc. - precisamente come vi aspettereste.



► **Figura 61.** Il display a sfioramento risolve con semplicità i problemi derivanti da banchi e carrelli ingombri e al tempo stesso consente l'accesso a tasti a schermo facilmente comprensibili.



► **Figura 62.** Le finestre grafiche di comando permettono di usare anche le funzioni più complesse con sicurezza e facilità.

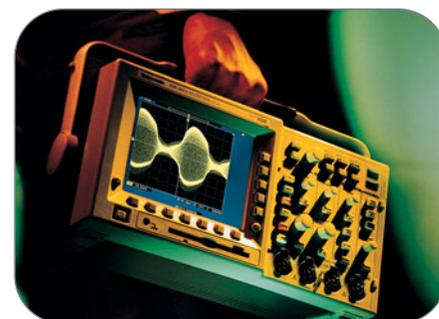
Facilità d'uso

Gli oscilloscopi devono essere facili da apprendere e usare, per aiutare a operare con efficienza e rendimento massimi. Così come non esiste un tipico autista, non esiste un tipico utente di oscilloscopio. Ci sono utenti tradizionali e utenti che si sono formati nell'era di Windows®/Internet. Per venire incontro alle necessità di un gruppo così ampio di utenti occorre flessibilità nelle modalità d'uso.

Molti oscilloscopi offrono il giusto equilibrio fra prestazioni e semplicità, consentendo molti modi di usare lo strumento. Un pannello anteriore fornisce comandi appositi per i sistemi di deflessione verticale e orizzontale, e di trigger. Un'interfaccia grafica utente ricca di icone aiuta a capire e usare intuitivamente funzioni avanzate. Uno schermo a sfioramento elimina i problemi derivanti da banchi e carrelli ingombri e al tempo stesso consente di accedere a tasti a schermo facilmente comprensibili. Una guida in linea permette di consultare comodamente un manuale sullo schermo. I comandi intuitivi permettono anche a chi usa l'oscilloscopio saltuariamente di sentirsi a proprio agio come se guidasse una macchina che conosce bene, mentre offrono agli utenti esperti facile accesso alle funzioni più avanzate. Inoltre molti oscilloscopi sono portatili e ciò rende questi strumenti efficienti in numerosi ambienti operativi - nel laboratorio o sul campo.

Sonde

Una sonda è un componente essenziale del sistema di misura, assicurando l'integrità del segnale e consentendo di sfruttare tutte le caratteristiche e le funzioni dell'oscilloscopio. Per ulteriori informazioni vedere la sezione **Il sistema di misura completo** nel capitolo **Sistemi e comandi di un oscilloscopio**, oppure consultare la guida Tektronix *L'ABC delle sonde*.



► **Figura 63.** La portabilità di molti oscilloscopi rende questi strumenti efficienti in numerosi ambienti operativi.

Uso dell'oscilloscopio

Preparazione

Questo capitolo descrive brevemente come approntare l'oscilloscopio e cominciare a usarlo; specificamente, come collegarlo alla terra, portare i comandi nelle posizioni standard e compensare la sonda.

Il corretto collegamento alla terra è una fase importante quando lo si prepara per eseguire misure o altre operazioni su un circuito, in quanto protegge dal pericolo di scariche elettriche, mentre collegare alla terra sé stessi protegge i circuiti da danni.

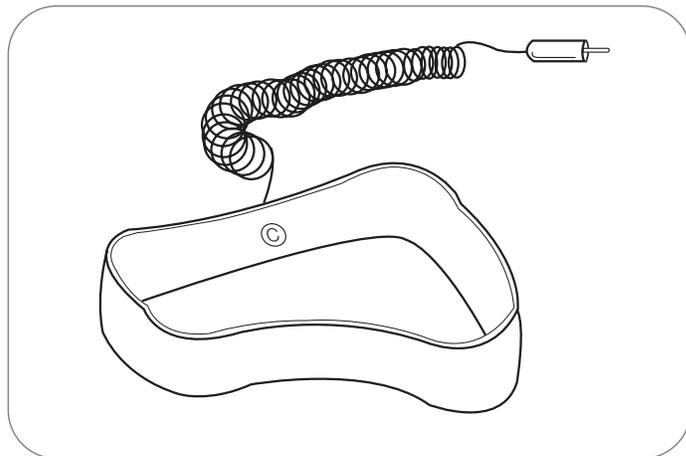
Collegamento dell'oscilloscopio alla terra

Collegare l'oscilloscopio alla terra significa collegarlo a un punto di riferimento elettricamente neutro, quale la terra, inserendone il cavo di alimentazione tripolare in una presa di corrente dotata di conduttore di protezione, ossia collegato all'impianto di messa a terra.

È necessario collegare l'oscilloscopio alla terra per tutelare la propria incolumità. Se un elemento ad alta tensione va a contatto di una parte qualsiasi (anche le manopole, che sembrano isolate) dell'involucro di un oscilloscopio non collegato alla terra, si può essere colpiti da una scarica elettrica. Se invece l'oscilloscopio è collegato correttamente alla terra, la corrente si scarica in essa attraverso l'apposito percorso anziché attraverso la persona che sta toccando l'oscilloscopio.

Collegare l'oscilloscopio alla terra è inoltre importante per eseguire misure precise; esso deve essere collegato allo stesso punto di terra al quale sono collegati i circuiti su cui si eseguono le misure.

Alcuni oscilloscopi non richiedono una connessione separata con la terra, in quanto hanno involucri e comandi isolati che proteggono l'utente dal pericolo di una scarica elettrica.



► **Figura 64.** Tipico bracciale antistatico.

Collegamento di sé stessi con la terra

Se si lavora su circuiti integrati occorre anche collegare sé stessi alla terra. I circuiti integrati hanno percorsi di conduzione di piccole dimensioni, che possono essere danneggiati dalla scarica elettrostatica derivante dalle cariche che si accumulano sul proprio corpo. Si può danneggiare irreversibilmente un costoso circuito integrato semplicemente camminando su una moquette o togliendosi il maglione e poi toccando i cavi del circuito. Per eliminare questo problema occorre portare un bracciale antistatico, illustrato nella figura 64, che consente alle cariche che altrimenti si accumulerebbero sul corpo di scaricarsi verso la terra.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida

Impostazione dei comandi

Una volta acceso l'oscilloscopio, esaminate il pannello anteriore. Come descritto in precedenza, esso è diviso in genere in tre sezioni principali opportunamente contrassegnate: verticale, orizzontale e trigger. A seconda del suo modello e tipo - analogico o digitale - l'oscilloscopio che state utilizzando potrebbe avere altre sezioni.

Osservate i connettori d'ingresso dell'oscilloscopio: servono a collegare le sonde. La maggior parte degli oscilloscopi ha almeno due canali d'ingresso e ciascun canale può visualizzare una forma d'onda. Avere più canali è utile per confrontare forme d'onda.

Alcuni oscilloscopi sono dotati di pulsanti AUTOSET e/o DEFAULT che permettono di impostare i comandi con una sola operazione per un certo segnale. Se l'oscilloscopio che state utilizzando non ha questa funzionalità, è utile impostare i comandi sulle posizioni standard prima di eseguire le misure.

Seguono le istruzioni generali per impostare i comandi sulle posizioni standard.

- Impostare l'oscilloscopio in modo da visualizzare il canale 1.
- Regolare la scala verticale volts/div e i comandi di posizione sulle posizioni intermedie.
- Mettere in posizione off il comando di volts/div variabili.
- Mettere in posizione off tutti i comandi di zoom.
- Selezionare DC per l'accoppiamento d'ingresso del canale 1.
- Selezionare la modalità di trigger Auto.
- Selezionare il canale 1 come sorgente di trigger.
- Impostare il tempo di holdoff del trigger sul valore minimo o nullo.
- Impostare il comando di intensità - se disponibile - su un livello nominale di visualizzazione.
- Impostare il comando di focalizzazione - se disponibile - in modo che la traccia sia nitida.
- Regolare la scala orizzontale sec/div e i comandi di posizione sulle posizioni intermedie.

Per ulteriori istruzioni consultate il manuale del vostro oscilloscopio.

Il capitolo **Sistemi e comandi di un oscilloscopio** di questa guida contiene descrizioni più dettagliate.

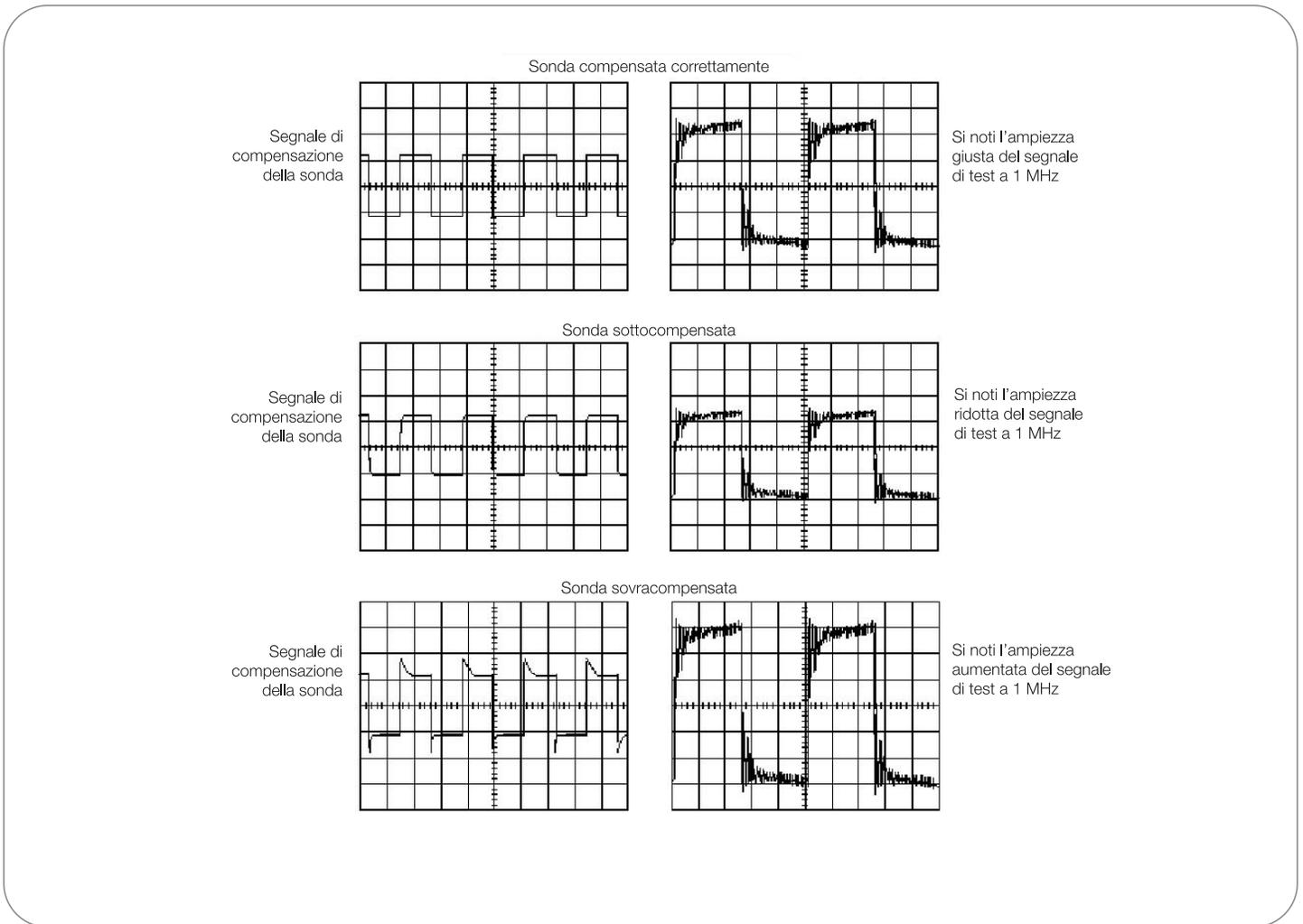
Uso delle sonde

A questo punto si può collegare una sonda all'oscilloscopio. Se è adatta all'oscilloscopio, la sonda permette di usarne tutte le funzioni e assicura l'integrità del segnale su cui si eseguiranno le misure.

Per ulteriori informazioni vedere la sezione **Il sistema di misura completo** nel capitolo **Sistemi e comandi di un oscilloscopio**, oppure consultare la guida Tektronix *L'ABC delle sonde*.

Collegamento della presa di messa a terra

Per eseguire misure su un segnale occorre eseguire due connessioni: quella del puntale della sonda e quella con la terra. Le sonde sono dotate di un morsetto a coccodrillo (la presa di messa a terra) che permette di collegarle alla terra attraverso il circuito in prova. A tale scopo si collega il coccodrillo a un punto del circuito sicuramente collegato alla terra, come il contenitore metallico di un apparecchio stereofonico da riparare, e con il puntale si toccano i punti di test del circuito.



► **Figura 65.** Effetti di una compensazione errata della sonda.

Compensazione della sonda

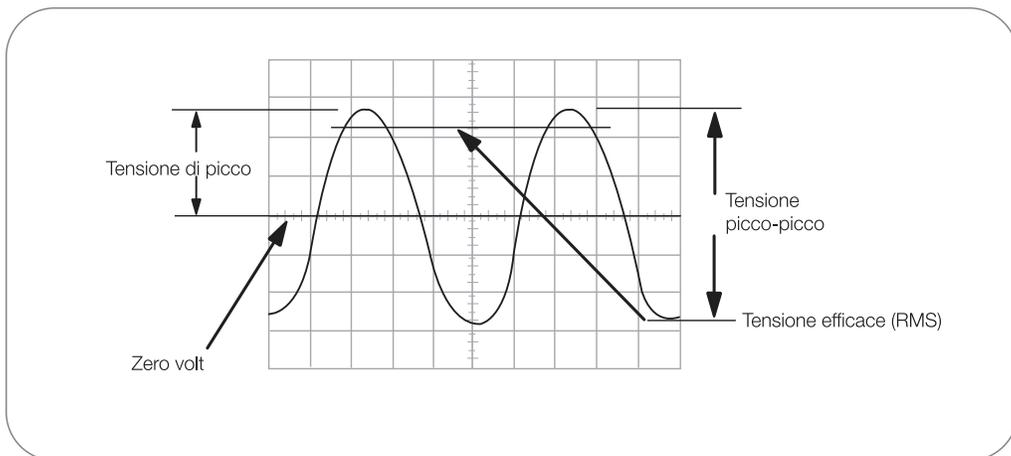
Prima di usare una sonda di attenuazione passiva (ossia attenuatrice) è necessario compensarla - ossia bilanciarne le proprietà elettriche - rispetto all'oscilloscopio con la quale sarà usata. Occorre prendere l'abitudine di compensare la sonda ogni volta che si prepara l'oscilloscopio, in quanto una sonda mal compensata può ridurre la precisione delle misure. La figura 65 illustra gli effetti di un segnale di test a 1 MHz utilizzando una sonda compensata erroneamente.

Nella maggior parte degli oscilloscopi è disponibile, in corrispondenza di un terminale sul pannello anteriore, un segnale di riferimento a onda quadra da utilizzare per compensare le sonde. Seguono le istruzioni generali per la compensazione.

- Collegare la sonda al canale verticale.
- Collegare il puntale al terminale che applica il **segnale di compensazione**, ossia l'onda quadra di riferimento.
- Collegare alla terra l'apposito morsetto della sonda.
- Osservare il segnale di riferimento sull'oscilloscopio.
- Regolare opportunamente i comandi sulla sonda in modo che i vertici dell'onda quadra siano a spigoli vivi.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida



► **Figura 66.** Tensione di picco (V_p) e tensione picco-picco (V_{p-p}).

Quando compensate la sonda, collegate sempre qualsiasi puntale accessorio che utilizzerete e collegate la sonda al canale verticale che intendete usare, per essere sicuri che l'oscilloscopio abbia le stesse proprietà elettriche che deve presentare quando eseguirete le misure.

Tecniche di misura con l'oscilloscopio

Questo capitolo tratta delle tecniche basilari di misura. Le due misure fondamentali sono quelle di tensione e di tempo; qualsiasi altra misura si basa su una di queste due tecniche.

In questo capitolo si descrivono metodi per eseguire le misure visivamente, con il display dell'oscilloscopio. Si tratta di una tecnica comune quando si usano strumenti analogici, che può anche essere utile per un'interpretazione immediata delle tracce visualizzate dal DSO e dal DPO.

Si noti che la maggior parte degli oscilloscopi digitali include funzioni automatiche di misura. Sapere eseguire le misure manualmente, come descritto in questa sede, aiuta a capire e verificare le misure automatiche seguite dai DSO e dai DPO. Le misure automatiche sono spiegate più avanti in questo capitolo.

Misure di tensione

La tensione è la differenza di potenziale elettrico tra due punti di un circuito ed è espressa in volt. In genere, ma non sempre, uno dei due punti è al potenziale di terra, ovvero a zero volt. La tensione di una forma d'onda può essere misurata anche tra i due picchi (massimo e minimo). Occorre fare attenzione a specificare sempre a quale tensione ci si riferisce.

L'oscilloscopio è principalmente uno strumento per la misura di tensioni. Una volta misurata la tensione, è semplice calcolare le altre grandezze. Per esempio, la legge di Ohm afferma che la tensione tra due punti di un circuito è uguale al prodotto della corrente per la resistenza, cosicché da due qualsiasi di queste grandezze si può calcolare la terza con la seguente formula:

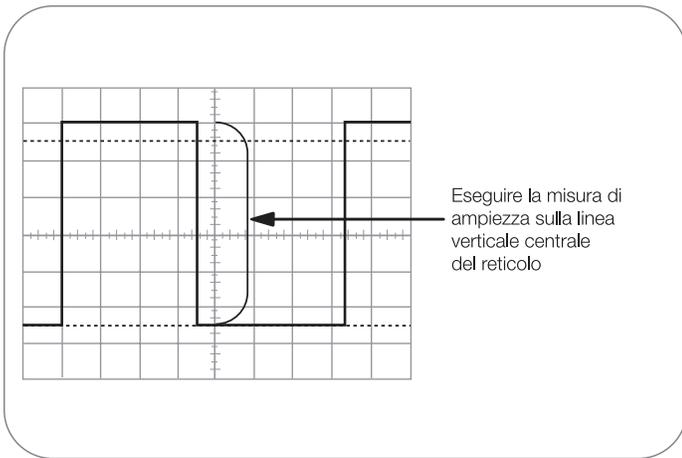
$$\text{► Tensione} = \text{Corrente} * \text{Resistenza}$$

$$\text{Corrente} = \frac{\text{Tensione}}{\text{Resistenza}}$$

$$\text{Resistenza} = \frac{\text{Tensione}}{\text{Corrente}}$$

$$\text{Legge per il calcolo della potenza:} \\ \text{Potenza} = \text{Tensione} * \text{Corrente}$$

Un'altra formula conveniente è la legge per il calcolo della potenza: la potenza di un segnale in corrente continua è uguale al prodotto della tensione per la corrente. I calcoli sono più complessi nel caso di segnali in corrente alternata, ma l'importante è notare qui che misurare la tensione è il primo passo verso il calcolo delle altre grandezze. La figura 66 illustra la tensione di picco (V_p) e la tensione picco-picco (V_{p-p}).



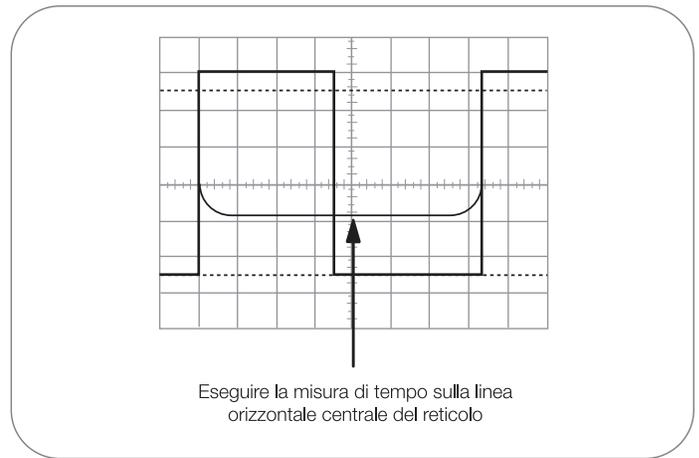
► **Figura 67.** Misura di tensione eseguita sulla linea verticale centrale del reticolo.

Il metodo fondamentale per eseguire misure di tensione consiste nel contare il numero di divisioni contenute nella forma d'onda lungo la scala verticale del display. Regolando il segnale in modo che copra quasi per intero lo schermo in verticale, si misura la tensione con la massima precisione possibile (vedi Figura 67). Quanto più grande è l'area dello schermo utilizzata, tanto più precisa è la lettura.

Molti oscilloscopi visualizzano **cursori** che permettono di eseguire automaticamente le misure sullo schermo senza bisogno di contare i segni di divisione sul reticolo. Un cursore è semplicemente una linea spostabile sullo schermo. I due cursori orizzontali si possono spostare in alto o in basso per racchiudere l'ampiezza di una forma d'onda allo scopo di misurare la tensione, e i due cursori verticali si possono spostare a destra o a sinistra per eseguire misure di tempo. Il display visualizza la lettura di tensione o di tempo in corrispondenza dei cursori.

Misure di tempo e di frequenza

Mediante la scala orizzontale dell'oscilloscopio si possono eseguire misure di tempo, comprese quelle di periodo e della durata di impulsi. Poiché la frequenza è il reciproco del periodo, una volta noto il periodo per calcolarla basta dividere 1 per il periodo. Analogamente alle misure di tensione, le misure di tempo sono più precise quando si regola la parte del segnale da misurare in modo da coprire una grande area dello schermo, come illustrato nella figura 68.



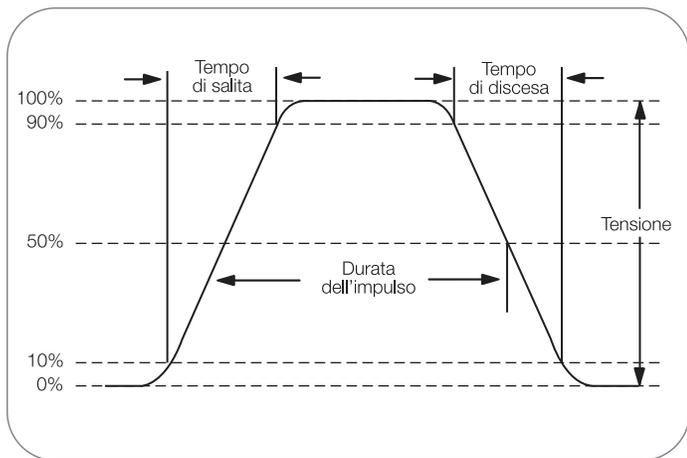
► **Figura 68.** Misura di tempo eseguita sulla linea orizzontale centrale del reticolo.

Misure della durata dell'impulso e del tempo di salita

In molte applicazioni è importante conoscere i dettagli dell'andamento di un impulso. Gli impulsi possono subire distorsioni e causare malfunzionamenti dei circuiti digitali; inoltre la temporizzazione degli impulsi in un treno d'impulsi è spesso significativa.

Le misure standard sugli impulsi sono la misura della **durata dell'impulso** e **del tempo di salita dell'impulso**. Quest'ultimo è il tempo di transizione dell'impulso da una tensione bassa a una alta e per convenzione si misura tra il 10% e il 90% della massima tensione dell'impulso; si eliminano così eventuali irregolarità ai vertici della transizione. La durata dell'impulso è il tempo di transizione dell'impulso dal livello basso a quello alto e di nuovo a quello basso, e per convenzione si misura in corrispondenza del 50% della tensione massima. La figura 69 (vedi la pagina seguente) illustra questi punti di misura.

Per eseguire misure sugli impulsi spesso occorre regolare con precisione il trigger. Per diventare esperti nell'acquisizione di impulsi è necessario imparare a usare il comando di holdoff del trigger e a impostare l'oscilloscopio digitale in modo da acquisire i dati di pretrigger, come descritto nel capitolo **Sistemi e comandi di un oscilloscopio**. L'ingrandimento orizzontale è un'altra funzione utile per eseguire misure sugli impulsi, in quanto permette di osservare i dettagli degli impulsi veloci.

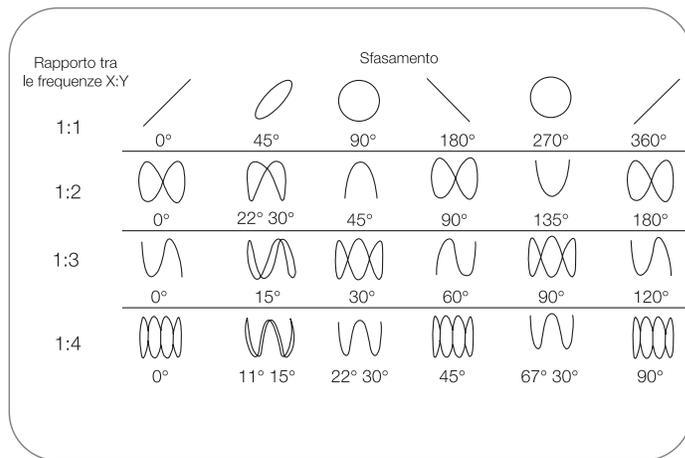


► **Figura 69.** Punti di misura del tempo di salita e della durata dell'impulso.

Misure di sfasamento

Un metodo per misurare lo sfasamento, ovvero la differenza di temporizzazione tra due segnali periodici altrimenti identici, consiste nell'adoperare la modalità XY. Questa tecnica di misura richiede di applicare un segnale all'ingresso del sistema di deflessione verticale, come si fa solitamente, e un altro segnale all'ingresso del sistema di deflessione orizzontale, e viene detta tecnica di misura XY perché per tracciare le tensioni si impiegano sia l'asse X che l'asse Y. La forma d'onda risultante da questa configurazione è detta figura di Lissajous (dal nome del fisico francese Jules Antoine Lissajous). In base alla forma della figura di Lissajous si può risalire allo sfasamento tra i due segnali e al rapporto tra le loro frequenze. La figura 70 illustra figure di Lissajous per vari sfasamenti e rapporti di frequenze.

La tecnica di misura XY è nata con gli oscilloscopi analogici. Con un DSO può essere difficile creare tracce XY in tempo reale. Alcuni DSO possono creare un'immagine XY accumulando nel tempo i dati acquisiti comandando il trigger e poi visualizzando i due canali su uno schermo XY.



► **Figura 70.** Figure di Lissajous.

I DPO, d'altra parte, sono in grado di acquisire e visualizzare una vera immagine in modalità XY in tempo reale, utilizzando un flusso continuo di valori digitalizzati, e possono visualizzare anche un'immagine XYZ con aree più luminose. A differenza delle tracce XY sui DSO e sui DPO, sugli oscilloscopi analogici queste tracce in genere sono limitate a larghezze di banda di alcuni megahertz.

Altre tecniche di misura

In questo capitolo abbiamo descritto le tecniche di misura fondamentali. Altre tecniche di misura richiedono di preparare l'oscilloscopio per svolgere test su componenti elettrici in una linea di assemblaggio, acquisire segnali transitori elusivi ed eseguire tante altre operazioni. Le tecniche di misura che userete dipenderanno dalla vostra specifica applicazione, ma avete appreso quanto basta per cominciare. Fate pratica usando l'oscilloscopio e leggete altri manuali su di esso. In poco tempo lo saprete usare con disinvoltura.

Esercizi scritti

Questo capitolo contiene esercizi scritti sugli argomenti esposti in questa guida, divisi in due parti.

▶ La parte I si riferisce agli argomenti di questi capitoli:

L'oscilloscopio

Fattori e termini relativi alle prestazioni

▶ La parte II si riferisce agli argomenti di questi capitoli:

Sistemi e comandi di un oscilloscopio

Uso dell'oscilloscopio

Tecniche di misura con l'oscilloscopio

Gli esercizi che seguono riguardano il vocabolario e le applicazioni.

Valutate come avete appreso le nozioni esposte facendo questi brevi esercizi. Le risposte sono a pagina 55.

Parte I

▶ L'oscilloscopio

▶ Fattori e termini relativi alle prestazioni

Esercizio sul vocabolario - Scrivete la lettera di ciascuna definizione nella colonna destra accanto al termine giusto nella colonna sinistra.

Termine	Definizione
1. __ Acquisizione	A L'unità di differenza di potenziale elettrico.
2. __ Analogico	B Una misura delle prestazioni indicante la precisione di un convertitore A/D, espressa in bit.
3. __ Larghezza di banda	C Termine utilizzato per riferirsi ai punti in gradi del periodo di un segnale.
4. __ Ai fosfori digitali	D Il numero di ripetizioni di un segnale in un secondo.
5. __ Frequenza	E Il tempo necessario affinché un'onda completi un ciclo.
6. __ Glitch	F Un valore digitale memorizzato che rappresenta la tensione di un segnale in corrispondenza di un punto specifico di tempo sul display.
7. __ Periodo	G Andamento comune di una forma d'onda che presenta un fronte ascendente, una durata e un fronte discendente.
8. __ Fase	H Una misura delle prestazioni indicante la velocità del fronte ascendente di un impulso.
9. __ Impulso	I I circuiti dell'oscilloscopio che regolano la temporizzazione della scansione.
10. __ Punto della forma d'onda	J Un picco transitorio (spike) intermittente in un circuito.
11. __ Tempo di salita	K Un segnale misurato da un oscilloscopio e che si presenta solo una volta.
12. __ Campione	L L'operazione eseguita dall'oscilloscopio consistente nell'acquisizione di campioni da un convertitore A/D e nella loro elaborazione e memorizzazione.
13. __ A memoria digitale	M Un dispositivo funzionante con valori variabili continuamente.
14. __ Base dei tempi	N Oscilloscopio digitale che acquisisce tre dimensioni di informazioni sul segnale in tempo reale.
15. __ Transitorio	O Oscilloscopio digitale che impiega una tecnica di elaborazione seriale.
16. __ Risoluzione del convertitore A/D	P La gamma di frequenze di un'onda sinusoidale, specificata dal punto a - 3 dB.
17. __ Volt	Q I dati non elaborati all'uscita di un convertitore A/D, utilizzati per calcolare e visualizzare i punti della forma d'onda.

Parte I

► L'oscilloscopio

► Fattori e termini relativi alle prestazioni

Esercizio sulle applicazioni

Fate un circoletto attorno alla risposta migliore per ciascuna affermazione. Per alcune affermazioni potrebbe esserci più di una risposta giusta.

1. Con un oscilloscopio si può:

- Calcolare la frequenza di una segnale.
- Individuare componenti elettrici guasti.
- Analizzare i dettagli di un segnale.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

2. La differenza tra gli oscilloscopi analogici e quelli digitali è:

- Gli oscilloscopi analogici non hanno menu a schermo.
- Gli oscilloscopi analogici applicano una tensione di misura direttamente al sistema di visualizzazione, mentre quelli digitali convertono prima la tensione in valori digitali.
- Gli oscilloscopi analogici misurano grandezze analogiche, mentre quelli digitali misurano cifre.
- Gli oscilloscopi analogici non hanno un sistema di acquisizione.

3. La sezione di deflessione verticale di un oscilloscopio fa quanto segue:

- Acquisisce i campioni con un convertitore A/D.
- Avvia una scansione orizzontale.
- Permette di regolare la luminosità del display.
- Attenua o amplifica il segnale d'ingresso.

4. Il comando della base dei tempi di un oscilloscopio serve a:

- Regolare la scala verticale.
- Visualizzare l'ora esatta.
- Impostare il tempo rappresentato dalla larghezza dello schermo.
- Inviare un impulso di clock alla sonda.

5. Sul display di un oscilloscopio:

- La tensione è rappresentata lungo l'asse verticale e il tempo lungo l'asse orizzontale.
- Una traccia diagonale diritta significa che la tensione varia a velocità costante.
- Una traccia orizzontale piatta significa che la tensione è costante.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

6. Tutte le onde periodiche hanno le seguenti proprietà:

- Una frequenza, misurata in hertz.
- Un periodo, misurato in secondi.
- Una larghezza di banda, misurata in hertz.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

7. Se si usa una sonda all'interno di un computer insieme a un oscilloscopio, probabilmente si rileveranno i seguenti tipi di segnale:

- Treni di impulsi.
- Onde a rampa.
- Onde sinusoidali.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

8. Quando si valutano le prestazioni di un oscilloscopio analogico, alcuni fattori da considerare sono:

- La larghezza di banda.
- La sensibilità del canale verticale.
- La risoluzione del convertitore A/D.
- La velocità di scansione.

9. La differenza tra gli oscilloscopi a memoria digitale (DSO) e gli oscilloscopi ai fosfori digitali (DPO) è:

- Il DSO ha una larghezza di banda più ampia.
- Il DPO acquisisce tre dimensioni di informazioni sulla forma d'onda in tempo reale.
- Il DSO ha un display a colori.
- Il DSO acquisisce più dettagli sul segnale.

Parte II

- Sistemi e comandi di un oscilloscopio
- Uso dell'oscilloscopio
- Tecniche di misura con l'oscilloscopio

Esercizio sul vocabolario - Scrivete la lettera di ciascuna definizione nella colonna destra accanto al termine giusto nella colonna sinistra.

Termine	Definizione
1. __ Modalità Average	A L'interazione fortuita tra il sistema sonda-oscilloscopio e il circuito in prova, causa di distorsione.
2. __ Carico introdotto nel circuito	B Un conduttore che stabilisce un percorso per la corrente verso terra.
3. __ Compensazione	C Una modalità di campionamento con la quale l'oscilloscopio digitale acquisisce quanti più campioni possibile mentre è presente il segnale e poi crea la traccia, mediante interpolazione se necessario.
4. __ Accoppiamento	D Una modalità di campionamento con la quale l'oscilloscopio digitale rappresenta sullo schermo un segnale periodico acquisendo una parte dell'informazione complessiva durante ciascuna ripetizione.
5. __ Presa di messa a terra	E Un dispositivo che converte una grandezza fisica come il suono, la pressione, lo sforzo o l'intensità luminosa in un segnale elettrico.
6. __ Tempo equivalente	F Un dispositivo per test che serve ad applicare un segnale all'ingresso di un circuito.
7. __ Reticolo	G Una tecnica di elaborazione impiegata dagli oscilloscopi digitali per eliminare il rumore dai segnali visualizzati.
8. __ Interpolazione	H Il metodo di collegamento di due circuiti tra di loro.
9. __ In tempo reale	I Una tecnica di elaborazione consistente nell'unire i punti tra di loro per approssimare l'andamento di una forma d'onda ad alta frequenza solo in base ad alcuni campioni.
10. __ Generatore di segnale	J L'insieme di linee sullo schermo impiegate per eseguire misure sulla traccia visualizzata.
11. __ Scansione singola	K Una modalità di trigger con la quale la scansione viene comandata una volta e va poi reimpostata per accettare un altro evento di trigger.
12. __ Trasduttore	L Una regolazione eseguita su sonde attenuatrici 10X per bilanciarne le proprietà elettriche rispetto all'oscilloscopio.

Parte II

► Sistemi e comandi di un oscilloscopio

► Uso dell'oscilloscopio

► Tecniche di misura con l'oscilloscopio

► Sistemi e comandi di un oscilloscopio

► Uso dell'oscilloscopio

► Tecniche di misura con l'oscilloscopio

Esercizio sulle applicazioni

Fate un cerchietto attorno alla risposta migliore per ciascuna affermazione. Per alcune affermazioni potrebbe esserci più di una risposta giusta.

1. Per usare un oscilloscopio senza mettere in pericolo la propria incolumità, è necessario:

- Collegare l'oscilloscopio alla terra con l'apposito cavo tripolare di alimentazione.
- Imparare a riconoscere i componenti elettrici pericolosi.
- Evitare di toccare connessioni esposte in un circuito in prova anche se non è alimentato.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

2. Collegare alla terra un oscilloscopio è necessario:

- Per motivi di sicurezza.
- Per ottenere un punto di riferimento allo scopo di eseguire le misure.
- Per allineare la traccia all'asse orizzontale dello schermo.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

3. Il carico introdotto in un circuito è causato da:

- Un segnale d'ingresso a tensione troppo alta.
- L'interazione tra il sistema sonda-oscilloscopio e il circuito in prova.
- Una sonda attenuatrice 10X non compensata.
- Un peso eccessivo applicato al circuito.

4. Compensare una sonda è necessario per:

- Bilanciare le proprietà elettriche della sonda attenuatrice 10X rispetto all'oscilloscopio.
- Prevenire danni al circuito in prova.
- Migliorare la precisione delle misure.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

5. Il comando di rotazione della traccia della forma d'onda è utile per:

- Regolare la scala delle forme d'onda sullo schermo.
- Rilevare segnali a onda sinusoidale.
- Allineare la traccia all'asse orizzontale dello schermo su un oscilloscopio analogico.
- Misurare la durata degli impulsi.

6. Il comando volts/div serve a:

- Regolare la scala delle forme d'onda lungo l'asse verticale.
- Posizionare le forme d'onda lungo l'asse verticale.
- Attenuare o amplificare un segnale d'ingresso.
- Impostare il numero di volt corrispondente a ciascuna divisione.

7. Selezionando GND per l'accoppiamento d'ingresso al canale verticale:

- Si scollega il segnale d'ingresso dall'oscilloscopio.
- Si visualizza una linea orizzontale con la modalità di trigger Auto.
- Si visualizza il livello di 0 volt.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

8. Il trigger è necessario per:

- Stabilizzare le forme d'onda periodiche sullo schermo.
- Acquisire forme d'onda a evento singolo.
- Contrassegnare un punto particolare di un'acquisizione.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

9. La differenza tra le modalità di trigger Auto e Normal è:

- Nella modalità Normal l'oscilloscopio comanda la scansione una sola volta e poi si arresta.
- Nella modalità Normal l'oscilloscopio comanda la scansione solo se il segnale d'ingresso raggiunge il punto di trigger, altrimenti sullo schermo non si visualizza niente.
- Nella modalità Auto l'oscilloscopio comanda la scansione continuamente anche se il trigger non viene comandato.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

10. La modalità di acquisizione che riduce nel modo migliore il rumore in un segnale periodico è:

- La modalità di campionamento semplice (Sample).
- La modalità di rilevazione del picco (Peak Detect).
- La modalità involuppo (Envelope).
- La modalità di calcolo della media (Average).

11. Le due misure fondamentali eseguibili con un oscilloscopio sono:

- Misure di tempo e di frequenza.
- Misure di tempo e di tensione.
- Misure di tensione e di durata dell'impulso.
- Misure di durata dell'impulso e di sfasamento.

12. Se il comando volts/div è impostato su 0,5, la massima ampiezza di segnale che può essere contenuta dallo schermo (presumendo che il reticolo sia 8 x10) è pari a:

- 62,5 millivolt picco-picco.
- 8 volt picco-picco.
- 4 volt picco-picco.
- 0,5 volt picco-picco.

13. Se il comando sec/div è impostato su 0,1 ms, l'intervallo corrispondente alla larghezza dello schermo è uguale a:

- 0,1 ms.
- 1 ms.
- 1 secondo.
- 0,1 kHz.

14. Per convenzione, la durata dell'impulso si misura:

- In corrispondenza del 10% della tensione picco-picco dell'impulso.
- In corrispondenza del 50% della tensione picco-picco dell'impulso.
- In corrispondenza del 90% della tensione picco-picco dell'impulso.
- In corrispondenza del 10% e del 90% della tensione picco-picco dell'impulso.

15. Si collega una sonda al circuito in prova ma non si visualizza niente. È necessario:

- Verificare che il comando di intensità non sia in posizione off.
- Verificare che l'oscilloscopio sia impostato in modo da visualizzare il canale a cui è collegata la sonda.
- Impostare la modalità di trigger su Auto in quanto con la modalità Normal non si visualizza niente.
- Selezionare AC per l'accoppiamento d'ingresso del canale verticale e regolare il comando volts/div sul valore massimo in quanto un segnale con una componente continua elevata può andare oltre la parte superiore o inferiore dello schermo.
- Verificare che la sonda non sia in cortocircuito e che sia collegata correttamente alla terra.
- Verificare che l'oscilloscopio sia impostato in modo da comandare il trigger sul canale d'ingresso che si sta usando.
- Tutte le risposte precedenti sono giuste.

Risposte

Questa sezione contiene le risposte a tutti gli esercizi delle sezioni precedenti.

Parte I: risposte relative agli esercizi sul vocabolario.

1. L	5. D	9. G	13. O
2. M	6. J	10. F	14. I
3. P	7. E	11. H	15. K
4. N	8. C	12. Q	16. B
			17. A

Parte I: risposte relative agli esercizi sulle applicazioni dell'oscilloscopio.

1. D	3. D	5. D	7. A
2. B,D	4. C	6., A,B	8. A,B,D
			9. B

Parte II: risposte relative agli esercizi sul vocabolario.

1. G	4. H	7. J	10. F
2. A	5. B	8. I	11. K
3. L	6. D	9. C	12. E

Parte II: risposte relative agli esercizi sulle applicazioni dell'oscilloscopio.

1. D	5. C	9. B,C	13. B
2. A,B	6. A,C,D	10. D	14. B
3. B	7. D	11. B	15. G
4. A,C	8. D	12. C	

Glossario

Accoppiamento – Metodo per collegare due circuiti tra di loro. Se i circuiti sono collegati con conduttori puramente resistivi l'accoppiamento è diretto (DC), mentre se sono collegati attraverso un condensatore o un trasformatore l'accoppiamento è reattivo (AC).

Ampiezza – La grandezza di quantità o forza di un segnale. In elettronica l'ampiezza in genere si riferisce alla tensione o alla potenza.

Amplificazione – Aumento dell'ampiezza del segnale mentre si propaga.

Analizzatore di stati logici (logic analyzer) – Strumento per la visualizzazione in funzione del tempo degli stati logici dei segnali digitali. Analizza i dati digitali e li può rappresentare sotto forma di istruzioni software eseguite in tempo reale, valori del flusso di dati, sequenze di stato, ecc.

Asse Z – La caratteristica del display di un oscilloscopio che mostra le variazioni di luminosità mentre si forma la traccia.

Attenuazione – Riduzione dell'ampiezza del segnale mentre si propaga.

Base dei tempi – I circuiti dell'oscilloscopio che regolano la temporizzazione della scansione. La base dei tempi si imposta con il comando sec/div.

Base dei tempi ritardata – Base dei tempi la cui scansione può avviarsi (eventualmente comandata da un trigger) relativamente a un istante predefinito della scansione della base dei tempi principale. Permette di visualizzare gli eventi più chiaramente e di osservare eventi non visualizzabili impiegando la sola scansione della base dei tempi principale.

Bit effettivi – Misura della capacità di un oscilloscopio digitale di ricostruire con precisione l'andamento di un segnale a onda sinusoidale, risultante dal confronto tra l'errore effettivo dell'oscilloscopio e l'errore di un teorico digitalizzatore "ideale".

Calcolo della media – Tecnica di elaborazione impiegata dagli oscilloscopi digitali per eliminare il rumore dai segnali visualizzati.

Campionamento – Conversione di una parte del segnale d'ingresso dell'oscilloscopio in un numero di valori discreti a scopo di memorizzazione, elaborazione e/o visualizzazione. Esistono due tipi di campionamento: in tempo reale e in tempo equivalente.

Campionamento in tempo equivalente – Modalità di campionamento con la quale l'oscilloscopio digitale crea una traccia di un segnale periodico acquisendo una parte dell'informazione complessiva durante ciascuna ripetizione. Esistono due tipi di tale campionamento: casuale e sequenziale.

Campionamento in tempo reale – Modalità di campionamento con la quale l'oscilloscopio acquisisce quanti più campioni possibile con una sola acquisizione con trigger. È ideale nel caso di segnali la cui gamma di frequenze è inferiore alla metà della massima frequenza di campionamento dell'oscilloscopio.

Campioni – I dati non elaborati all'uscita di un convertitore A/D, utilizzati per calcolare i punti della forma d'onda.

Carico – L'interazione fortuita tra il sistema sonda-oscilloscopio e il circuito in prova, causa di distorsione.

Carico introdotto nel circuito – L'interazione fortuita tra il sistema sonda-oscilloscopio e il circuito in prova, causa di distorsione.

Collegamento con la terra –

1. Connessione di un circuito o un apparecchio con il potenziale di terra per stabilire e mantenere una tensione di riferimento.
2. Il punto di un circuito alla tensione di riferimento.

Compensazione – Operazione di regolazione eseguita su sonde passive (attenuatrici) per bilanciare la capacità della sonda rispetto a quella dell'oscilloscopio.

Convertitore analogico-digitale (A/D) – Dispositivo elettronico digitale che trasforma un segnale elettrico in valori discreti (binari).

Corrente alternata – Segnale la cui corrente e tensione variano con andamento periodico nel tempo. Indica anche uno dei tipi (AC) di accoppiamento del segnale.

Corrente continua – Segnale a corrente e/o tensione costanti. Indica anche uno dei tipi (DC) di accoppiamento del segnale.

Cursore – Un contrassegno sullo schermo, allineabile alle forme d'onda per eseguire misure più precise.

Digitalizzazione – Procedimento con il quale un convertitore analogico-digitale (A/D) inserito nel sistema di deflessione orizzontale campiona un segnale a istanti discreti e trasforma la tensione del segnale in corrispondenza di questi istanti in valori digitali detti campioni.

Divisione – Contrassegni di misura sul reticolo del display dell'oscilloscopio.

Durata dell'impulso – Il tempo durante il quale l'impulso passa dal valore basso a quello alto e di nuovo a quello basso, convenzionalmente misurato in corrispondenza del 50% della tensione massima.

Evento singolo – Segnale misurato da un oscilloscopio e che si presenta una sola volta; è detto anche “evento transitorio”.

Fase – Tempo intercorrente tra l’inizio di un ciclo e l’inizio del ciclo successivo, misurato in gradi.

Focalizzazione – Comando dell’oscilloscopio che regola il fascio di elettroni del tubo catodico (CRT) per il controllo della nitidezza della traccia visualizzata.

Forma d’onda – Rappresentazione grafica di una tensione variabile nel tempo.

Frequenza – Il numero di ripetizioni di un segnale in un secondo. Si misura in hertz (cicli al secondo) ed è pari a $1/\text{periodo}$.

Frequenza di acquisizione della forma d’onda – Indica la velocità con la quale un oscilloscopio acquisisce le forme d’onda e si esprime in forme d’onda al secondo (wfms/s).

Frequenza di campionamento – La frequenza alla quale un oscilloscopio digitale acquisisce i campioni del segnale; si misura in campioni al secondo (S/s).

Gigahertz (GHz) – Multiplo dell’hertz, l’unità base di misura della frequenza; equivale a 1 miliardo di hertz.

Glitch – Errore intermittente ad alta frequenza in un circuito.

Hertz (Hz) – Unità di misura della frequenza, corrispondente a un ciclo al secondo.

Holdoff del trigger – Comando per la regolazione del tempo successivo a un trigger valido, durante il quale l’oscilloscopio non può comandare il trigger.

Impulso – Andamento comune di una forma d’onda che presenta un fronte ascendente veloce, una durata e un fronte discendente veloce.

Integrità del segnale – La ricostruzione precisa di un segnale, determinata dai sistemi e dalle prestazioni di un oscilloscopio, oltre che dalla sonda impiegata per acquisire il segnale stesso.

Intensità graduale – Informazioni sulla frequenza con cui si presentano le caratteristiche di una forma d’onda, essenziali per valutarne l’andamento effettivo.

Interpolazione – Tecnica di elaborazione consistente nell’unire i punti tra di loro per approssimare l’andamento di una forma d’onda ad alta frequenza in base a solo alcuni campioni. Esistono due tipi di interpolazione: lineare e $\sin(x)/x$.

Inviluppo – Profilo formato dai valori massimi e minimi di un segnale, acquisiti nel corso di numerose ripetizioni della forma d’onda visualizzata.

Kilohertz (kHz) – Multiplo dell’hertz, l’unità base di misura della frequenza; equivale a 1.000 hertz.

Larghezza di banda – Gamma di frequenze, in genere limitata dai punti a -3 dB.

Livello di trigger – Il livello di tensione che deve essere raggiunto dal segnale di comando del trigger prima che il circuito di trigger avvii una scansione.

Lunghezza di registrazione – Il numero di punti della forma d’onda adoperato per creare una registrazione del segnale.

Megacampioni al secondo (MS/s) – Unità di misura della frequenza di campionamento; equivale a 1 milione di campioni al secondo.

Megahertz (MHz) – Multiplo dell’hertz, l’unità base di misura della frequenza; equivale a 1 milione di hertz.

Microsecondo (μ s) – Sottomultiplo del secondo, l’unità base di misura del tempo; equivale a un milionesimo di secondo.

Millisecondo (ms) – Sottomultiplo del secondo, l’unità base di misura del tempo; equivale a un millesimo di secondo.

Modalità Alternate – Modalità di visualizzazione con la quale l’oscilloscopio completa la traccia relativa a un canale prima di cominciare a tracciare la forma d’onda relativa a un altro canale.

Modalità Chop – Modalità di visualizzazione con la quale per ciascun canale vengono tracciati in sequenza brevi tratti nel tempo in modo da visualizzare simultaneamente più di una forma d’onda.

Modalità di acquisizione – Modalità che regolano la creazione dei punti della forma d’onda in base ai campioni. Alcuni tipi sono la modalità Sample (campionamento semplice), Peak Detect (rilevazione del picco), Hi Res (risoluzione elevata), Envelope (inviluppo) e Average (calcolo della media).

Modalità di trigger – Determina se l’oscilloscopio traccia o meno la forma d’onda se non rileva un trigger. Le modalità di trigger comuni sono Normal e Auto.

Nanosecondo (ns) – Sottomultiplo del secondo, l’unità base di misura del tempo; equivale a un miliardesimo di secondo.

Introduzione agli oscilloscopi

► Guida

Onda – Termine generico per indicare una sequenza periodica nel tempo. I tipi più comuni di onda sono: sinusoidale, quadra, rettangolare, a dente di sega, triangolare, gradino, impulso, periodica, non periodica, sincrona e asincrona.

Onda quadra – Un'onda di andamento comune, composta da impulsi quadrati periodici.

Onda sinusoidale – Un'onda definita matematicamente con una curva che rappresenta la funzione trigonometrica seno.

Oscilloscopio – Strumento per la visualizzazione delle variazioni di tensione dei segnali nel tempo. La parola deriva da "oscillazione", in quanto gli oscilloscopi sono adoperati spesso per misurare tensioni oscillanti.

Oscilloscopio ai fosfori digitali (DPO) – Tipo di oscilloscopio digitale con caratteristiche di visualizzazione molto simili a quelle di un oscilloscopio analogico e che al tempo stesso offre i vantaggi del tradizionale oscilloscopio digitale (memorizzazione della forma d'onda, misure automatiche, ecc.). Il DPO impiega un'architettura di elaborazione parallela per fare propagare il segnale fino al display raster, che visualizza con gradazioni d'intensità le caratteristiche del segnale in tempo reale. Il DPO visualizza i segnali in tre dimensioni: ampiezza, tempo e distribuzione dell'ampiezza nel tempo.

Oscilloscopio a memoria digitale (DSO) – Tipo di oscilloscopio digitale che acquisisce i segnali con un campionamento digitale (adoperando un convertitore analogico-digitale). Impiega un'architettura di elaborazione seriale per regolare l'acquisizione, l'interfaccia utente e il display raster.

Oscilloscopio analogico – Strumento che visualizza forme d'onda applicando il segnale d'ingresso (condizionato e amplificato) lungo l'asse verticale di un fascio di elettroni che si sposta sullo schermo di un tubo a raggi catodici (CRT) da sinistra a destra. Uno strato di fosfori chimici sul CRT crea una traccia luminosa nei punti colpiti dal fascio.

Oscilloscopio campionatore – Tipo di oscilloscopio digitale che impiega il metodo di campionamento in tempo equivalente per acquisire e visualizzare campioni del segnale, ideale per acquisire con precisione i segnali le cui componenti sono a frequenza molto più alta della frequenza di campionamento dell'oscilloscopio.

Oscilloscopio digitale – Tipo di oscilloscopio che impiega un convertitore analogico-digitale (A/D) per trasformare la tensione misurata in dati digitali. Ne esistono tre tipi: a memoria digitale, ai fosfori digitali e campionatore.

Pendenza – In un diagramma o sullo schermo dell'oscilloscopio, il rapporto tra una distanza verticale e una orizzontale. Se la pendenza è positiva, la retta che la rappresenta è inclinata da sinistra a destra; se è negativa, la retta è inclinata da destra a sinistra.

Pendenza di trigger – La pendenza che deve essere raggiunta dal segnale di comando del trigger prima che il circuito di trigger avvii una scansione.

Periodo – Tempo necessario affinché un'onda completi un ciclo, uguale a $1/\text{frequenza}$.

Precisione del guadagno – Indica la precisione con la quale il sistema di deflessione verticale attenua o amplifica il segnale; in genere è rappresentata sotto forma di errore percentuale.

Precisione orizzontale (base dei tempi) – Indica la precisione con la quale il sistema di deflessione orizzontale visualizza la temporizzazione del segnale; in genere è rappresentata sotto forma di errore percentuale.

Presa di messa a terra – Conduttore che stabilisce un percorso per la corrente verso terra.

Punto della forma d'onda – Valore digitale memorizzato che rappresenta la tensione di un segnale in corrispondenza di un punto specifico nel tempo. I punti della forma d'onda vengono calcolati in base ai campioni e memorizzati.

Rampe – Transizioni a velocità costante tra i livelli di tensione di un'onda sinusoidale.

Raster – Tipo di display.

Reticolo – L'insieme delle linee sullo schermo impiegate per eseguire misure sulla traccia visualizzata.

Rilevazione del picco (Peak Detect) – Modalità di acquisizione disponibile negli oscilloscopi digitali per l'osservazione di dettagli del segnale che altrimenti non sarebbero visualizzati; è particolarmente utile per visualizzare impulsi di breve durata separati da un lungo periodo di tempo.

Risposta in frequenza – Diagramma di Bode della risposta di un amplificatore o di un attenuatore a segnali sinusoidali, con ampiezza costante e frequenza diversa, entro una data gamma di frequenze.

Risoluzione verticale (convertitore analogico-digitale) – Indicazione della precisione con la quale il convertitore analogico-digitale (A/D) di un oscilloscopio digitale può trasformare la tensione d'ingresso in valori digitali, misurati in bit. Apposite tecniche di calcolo, quali la modalità di acquisizione Hi Res, possono migliorare la risoluzione effettiva.

Rumore – Tensione o corrente indesiderata in un circuito.

Scansione – Passata orizzontale del fascio di elettroni di un oscilloscopio da sinistra a destra sullo schermo.

Scansione orizzontale – L'azione del sistema di deflessione orizzontale che permette all'oscilloscopio di tracciare le forme d'onda.

Scansione singola – Modalità di trigger con la quale si visualizza la traccia del segnale comandando il trigger una sola volta.

Schermo – Superficie del display sulla quale si visualizza la traccia del segnale.

Segnale analogico – Segnale la cui tensione varia con continuità.

Segnale digitale – Segnale i cui campioni di tensione sono rappresentati da valori discreti (binari).

Sensibilità verticale – Indicazione dell'aumento di ampiezza di un segnale debole ottenibile con l'amplificatore verticale; in genere si misura in millivolt (mV) a divisione.

Sfasamento – Differenza di temporizzazione tra due segnali altrimenti simili.

Sonda – Dispositivo d'ingresso dell'oscilloscopio, dotato in genere di un puntale metallico per realizzare la connessione con gli elementi del circuito, di un cavo di collegamento alla presa di messa a terra del circuito e di un cavo flessibile per la trasmissione del segnale e del riferimento di terra all'oscilloscopio.

Sorgente del segnale – Dispositivo di test adoperato per applicare un segnale all'ingresso di un circuito; l'uscita viene poi rilevata da un oscilloscopio. Si usa anche il termine "generatore del segnale".

Tempo di salita – Il tempo necessario perché il fronte iniziale di un impulso passi dal livello basso a quello alto, in genere misurati in corrispondenza del 10% e del 90% del livello massimo.

Tensione – Differenza di potenziale elettrico tra due punti; si misura in volt.

Tensione di picco (V_p) – La tensione massima misurata rispetto a un punto di riferimento a 0 volt.

Tensione picco-picco (V_{p-p}) – Tensione misurata tra i valori massimo e minimo di un segnale.

Traccia – L'andamento di un segnale rappresentato sullo schermo di un tubo a raggi catodici (CRT) da un fascio di elettroni in movimento.

Trasduttore – Dispositivo che converte in un segnale elettrico una grandezza fisica come il suono, la pressione, lo sforzo o l'intensità luminosa.

Transitorio – Segnale misurato da un oscilloscopio e che si presenta una sola volta; è detto anche "evento singolo".

Treno di impulsi – Serie di impulsi che si propagano insieme.

Trigger – Il circuito di sincronizzazione della scansione orizzontale di un oscilloscopio.

Tubo a raggi catodici (CRT) – Dispositivo in cui si genera un fascio di elettroni focalizzabile su uno schermo luminescente e la cui posizione e intensità vengono variate per produrre una traccia visibile. Quello di un televisore è un particolare tubo a raggi catodici.

Velocità di scansione – Vedi Base dei tempi.

Velocità di scrittura – La capacità di un oscilloscopio analogico di creare una traccia visibile del segnale sullo schermo. Può essere inadeguata nel caso di segnali periodici con dettagli veloci, quali i segnali logici dei circuiti digitali.

Visualizzazione di pretrigger – Funzione di un oscilloscopio digitale per l'acquisizione di un segnale prima di un evento di trigger. Determina la lunghezza del segnale osservabile prima e dopo il punto di trigger.

Volt – L'unità di misura della differenza di potenziale elettrico.

Introduzione agli oscilloscopi

▶ Guida

Annotazioni

Altre guide disponibili presso Tektronix

Panoramica sulla tecnologia e sulle applicazioni dei generatori di segnale

L'ABC delle sonde

Introduzione all'analisi degli stati logici: guida al debug hardware

XYZ dei logic analyzer

Protocolli UMTS e test sui protocolli

Test sul protocollo GPRS per i dispositivi wireless

Ricerca guasti sui trasmettitori cdmaOne™ sul campo

Test di interferenza

Standard di telecomunicazioni SDH

Standard di telecomunicazioni SONET

Prestazioni dei dispositivi DWDM e prove di conformità

Guida alle misure della qualità delle immagini

Guida alla tecnologia base MPEG

Guida alle misure video digitali standard e ad alta definizione

Tracciabilità del servizio clienti

► www.tektronix.com

Oscilloscopi

Logic analyzer

Generatori di segnale

Strumenti di test per comunicazioni

Strumenti di test per impianti televisivi

Sonde

Accessori

Altri strumenti di test e misura

Per contattare Tektronix:

ASEAN/Australasia/Pakistan (65) 6356-3900

Austria +43 2236 8092 262

Belgio +32 (2) 715 89 70

Brasile e America del Sud 55 (11) 3741-8360

Canada 1 (800) 661-5625

Danimarca +45 44 850 700

Europa Centrale e Grecia +43 2236 8092 301

Federazione Russa, CSI e Paesi Baltici +358 (9) 4783 400

Finlandia +358 (9) 4783 400

Francia e Africa del Nord +33 (0) 1 69 86 80 34

Germania +49 (221) 94 77 400

Giappone 81 (3) 6714-3010

Hong Kong (852) 2585-6688

India (91) 80-22275577

Italia +39 (02) 25086 1

Messico, America Centrale e Caraibi 52 (55) 56666-333

Norvegia +47 22 07 07 00

Paesi Bassi +31 (0) 23 569 5555

Polonia +48 (0) 22 521 53 40

Regno Unito e Irlanda +44 (0) 1344 392400

Repubblica di Corea 82 (2) 528-5299

Repubblica Popolare Cinese 86 (10) 6235 1230

Spagna +34 (91) 372 6055

Stati Uniti 1 (800) 426-2200

Stati Uniti (Vendite all'estero) 1 (503) 627-1916

Sudafrica +27 11 254 8360

Svezia +46 8 477 6503/4

Taiwan 886 (2) 2722-9622

Per altre aree rivolgersi a Tektronix, Inc.: 1 (503) 627-7111

Updated March 01, 2004



Copyright © 2001, Tektronix, Inc. Tutti i diritti sono riservati. I prodotti Tektronix sono protetti da brevetti statunitensi e internazionali, emessi e in corso di registrazione. Le informazioni qui contenute sostituiscono quelle precedentemente pubblicate. I dati tecnici e i prezzi sono soggetti a modifiche senza preavviso. TEKTRONIX e TEK sono marchi registrati di Tektronix, Inc. Tutti gli altri nomi commerciali sono marchi d'identificazione di servizi, marchi di fabbrica o marchi registrati che appartengono alle rispettive aziende.
05/01 HB/WWW 031-8605-2

Tektronix