

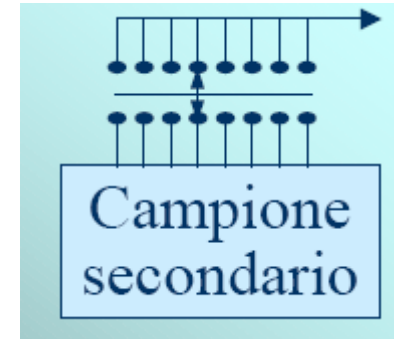
Le misure di tempo e frequenza

- Le misure di *tempo* e *frequenza* costituiscono un'importante branca delle misure elettriche ed elettroniche ed in generale delle misure di grandezze fisiche.
- E' possibile raggiungere livelli di accuratezza molto *elevati*
- La conversione *grandezza*-tempo o *grandezza* frequenza è adottata per la misura di molte grandezze fisiche
 - Voltmetro a rampa

Il contatore elettronico

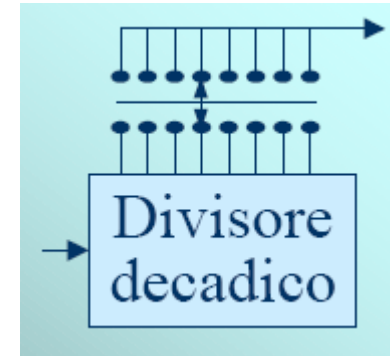
- E' lo strumento impiegato per:
 - conteggio di eventi;
 - misure di intervallo di tempo;
 - misure di periodo e periodo medio;
 - misure di frequenza.
- E' costituito da alcuni blocchi fondamentali
- A seconda di come questi blocchi sono collegati fra di loro è possibile effettuare le diverse misure
 - In un certo senso è il primo strumento *programmabile*.

I blocchi funzionali



- Il campione secondario
- E' un generatore di impulsi cronometrici.
- A valle del generatore di impulsi è posizionato un divisore di frequenza decadico.
- E' quindi possibile regolare la frequenza in uscita dal campione secondario per potenze di 10

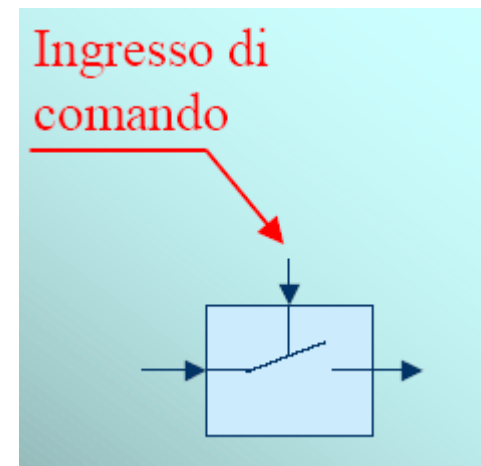
I blocchi funzionali



- Il divisore decadico
- E' un divisore di frequenza che agisce per potenze di 10.
- A valle del divisore il segnale di uscita ha frequenza 10^n volte minore di quella del segnale in ingresso.

I blocchi funzionali

- La porta
- E' un circuito elettronico che abilita o disabilita il passaggio di un segnale a seconda dello stato del suo ingresso di comando



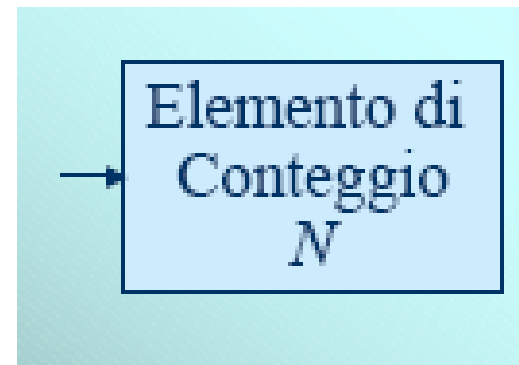
I blocchi funzionali

- Il comando porta
- E' un circuito elettronico che apre o chiude la porta
- La porta si apre (abilita il passaggio del segnale) quando viene inviato il comando di start.
- La porta si chiude (disabilita il passaggio del segnale) quando viene inviato il comando di stop



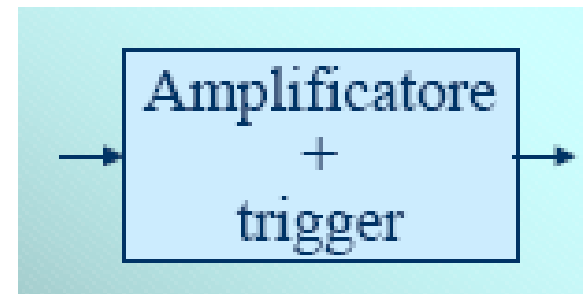
I blocchi funzionali

- L'elemento di conteggio
- E' un circuito elettronico che conta gli impulsi che riceve in ingresso e li visualizza su un display numerico.

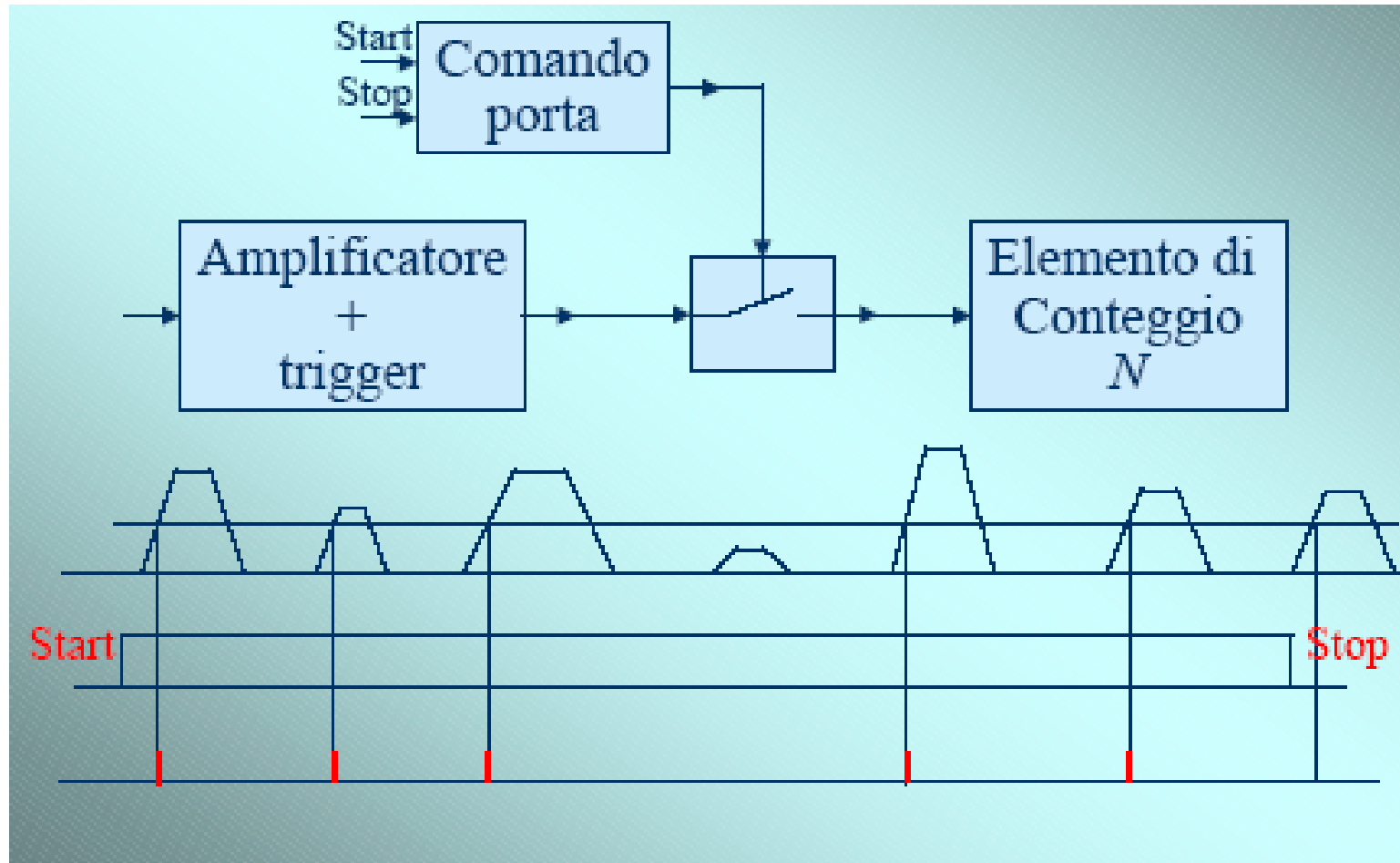


I blocchi funzionali

- L'amplificatore e trigger
- Ha le funzioni di amplificare il segnale in ingresso per adattarlo alla dinamica dei circuiti a valle
- Riconosce l'attraversamento, con una prefissata derivata di una soglia prefissata ed emette un impulso di *trigger* in corrispondenza di tale attraversamento.



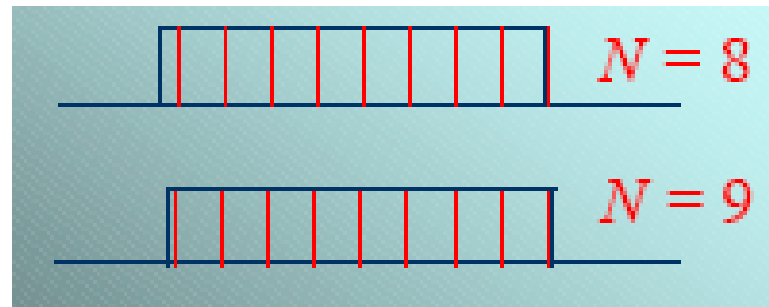
Il conteggio di impulsi



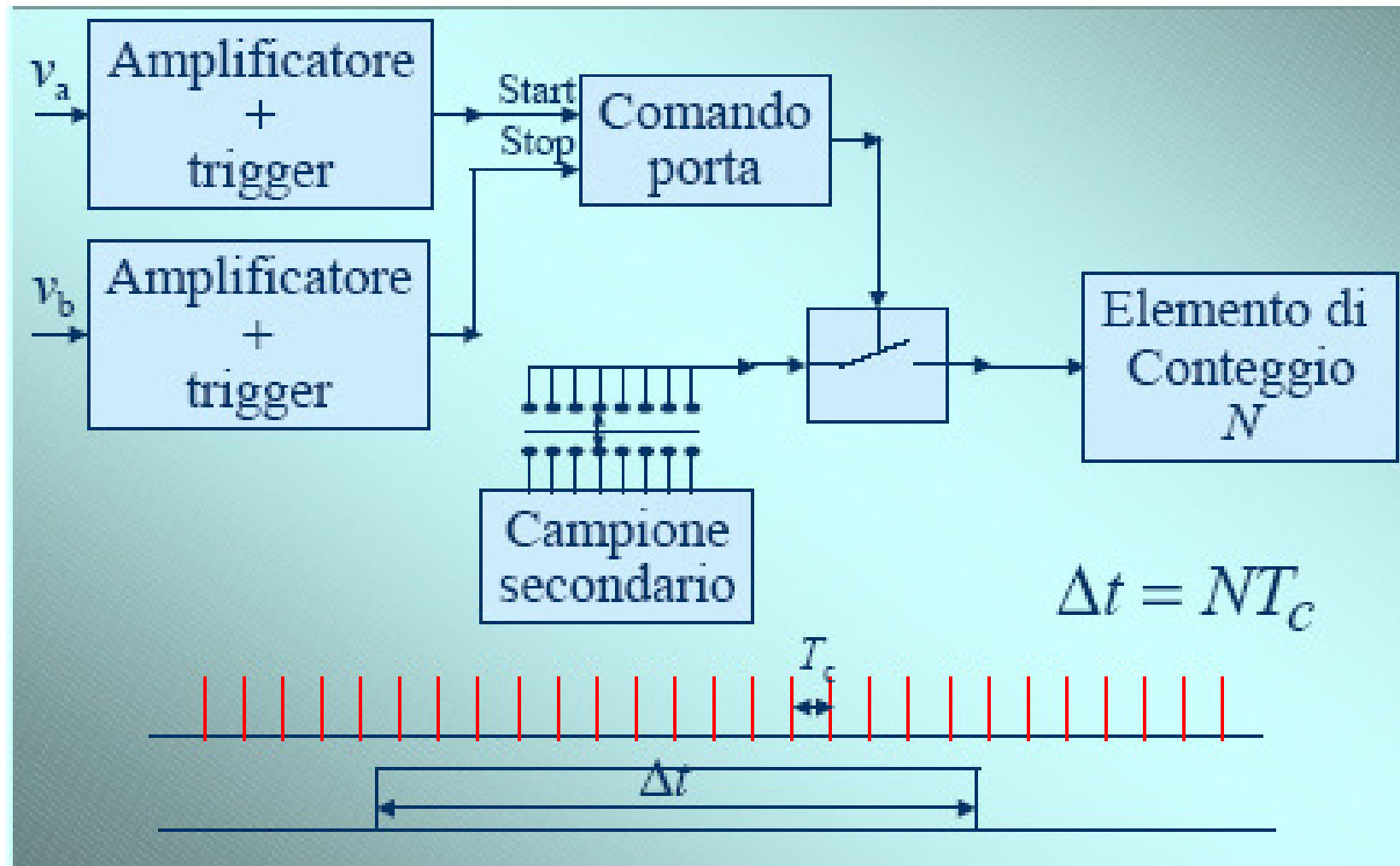
Un problema

- Gli impulsi che arrivano dal trigger e i comandi di start e stop alla porta sono asincroni.
- Questo significa che, nello stesso intervallo di tempo di apertura della porta può essere conteggiato un impulso in più o in meno.
- L'errore relativo di conteggio è quindi:

$$\varepsilon = \frac{N \pm 1 - N}{N} = \pm \frac{1}{N}$$

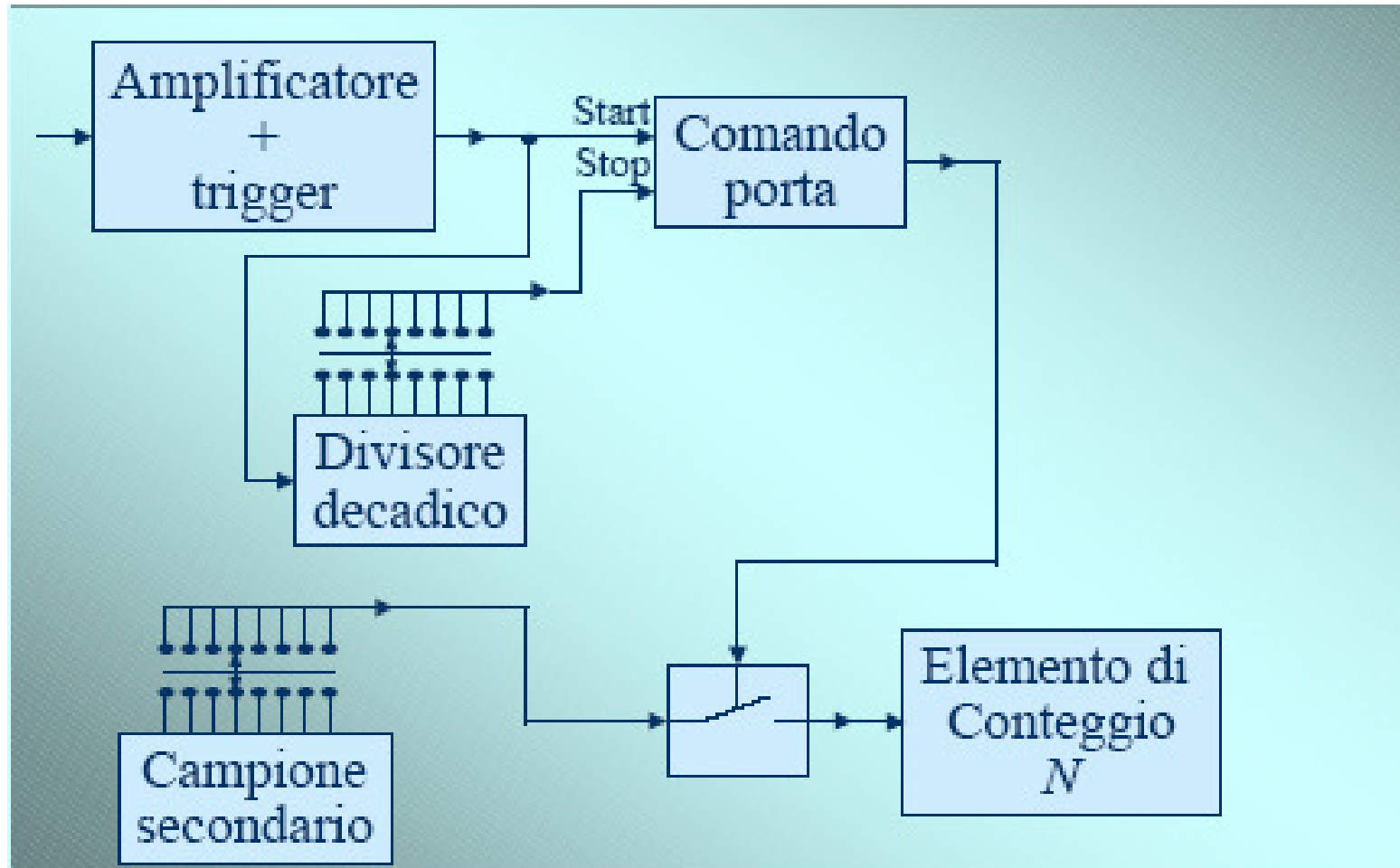


Misure di intervallo di tempo

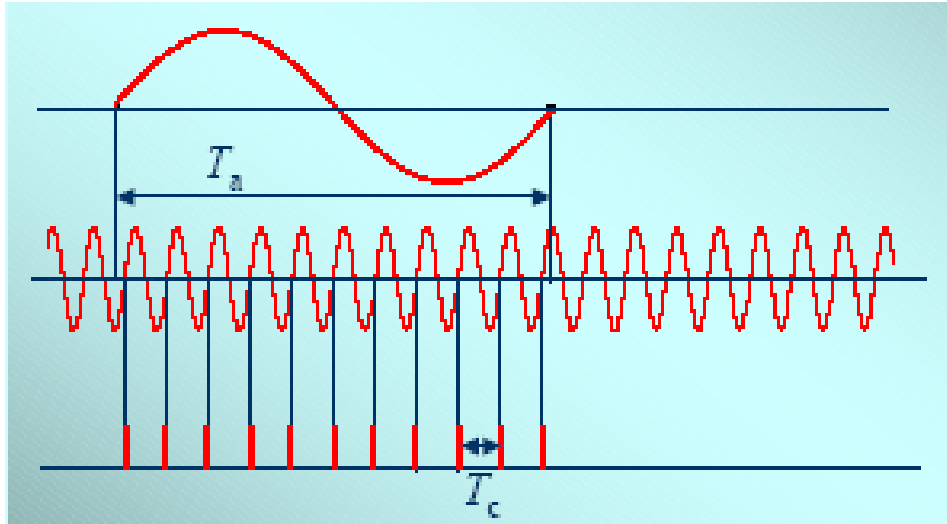


Misure di periodo e periodo medio

La struttura



Misura di periodo

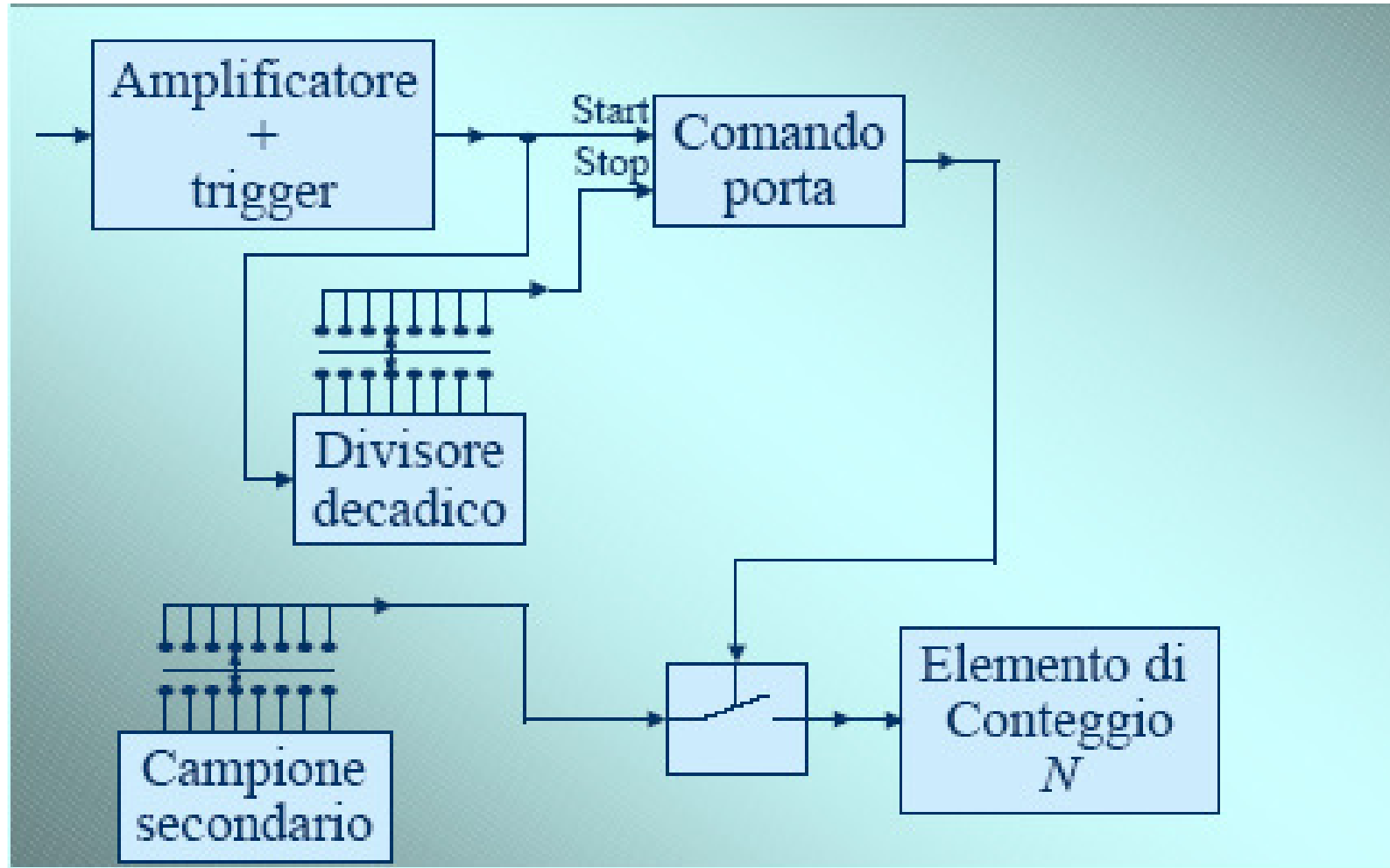


$$T_a = N T_c$$

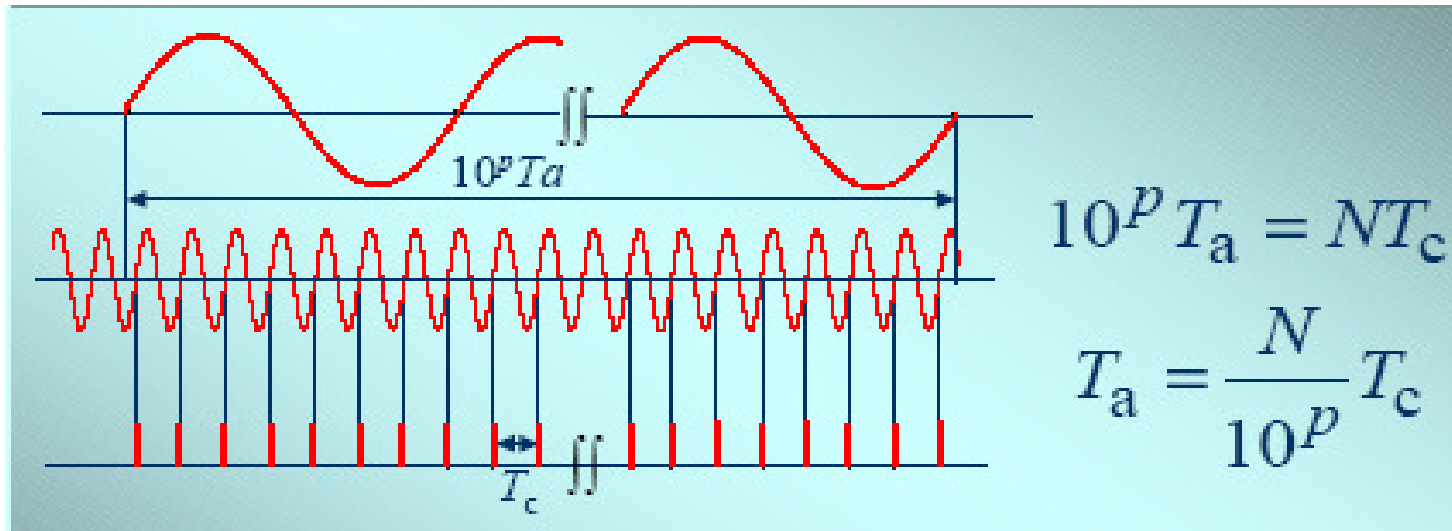
- Per una buona accuratezza deve essere N grande
- Bisogna che sia $T_c \ll T_a$

Misure di periodo e periodo medio

La struttura



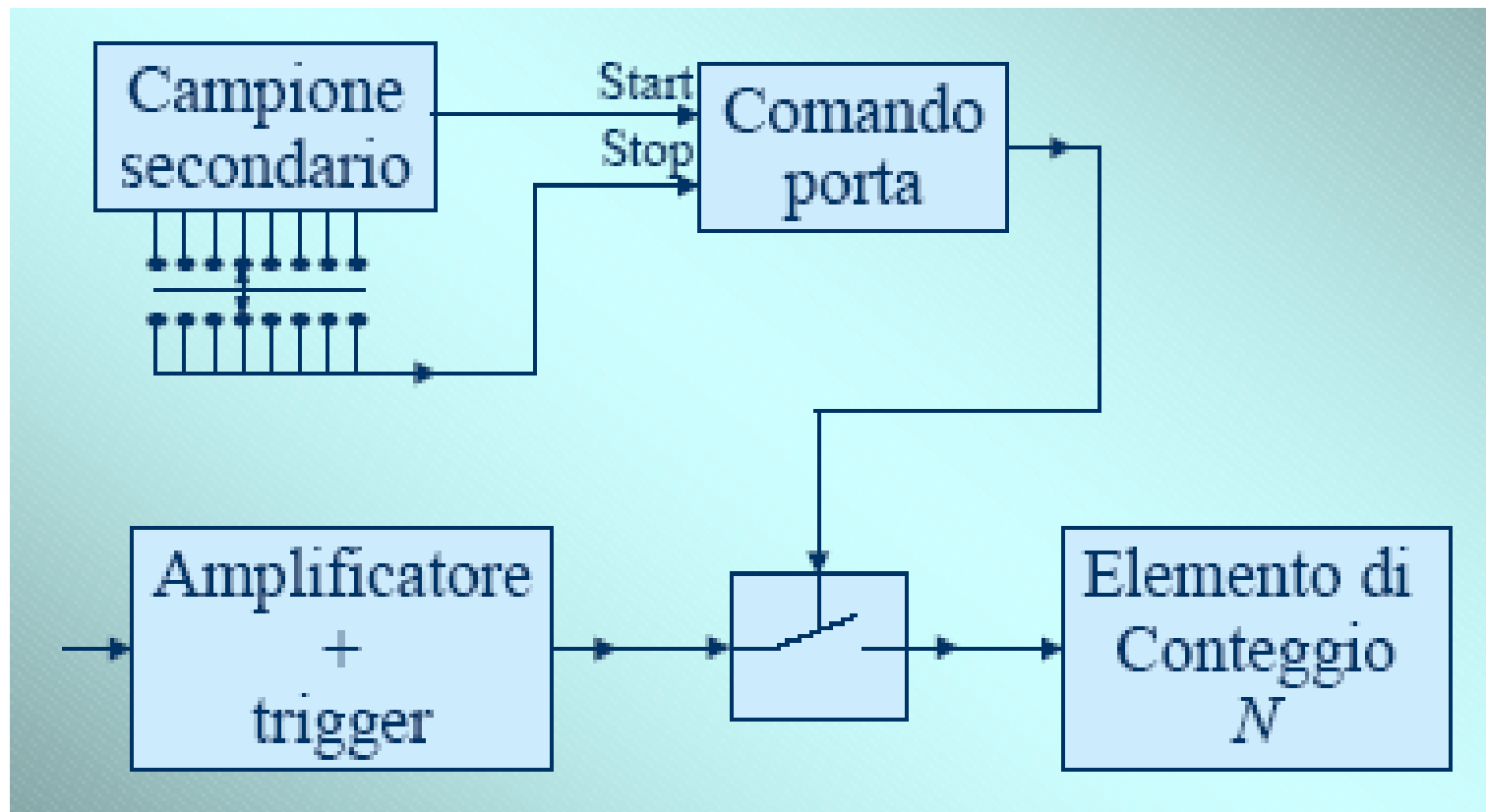
Misura di periodo medio



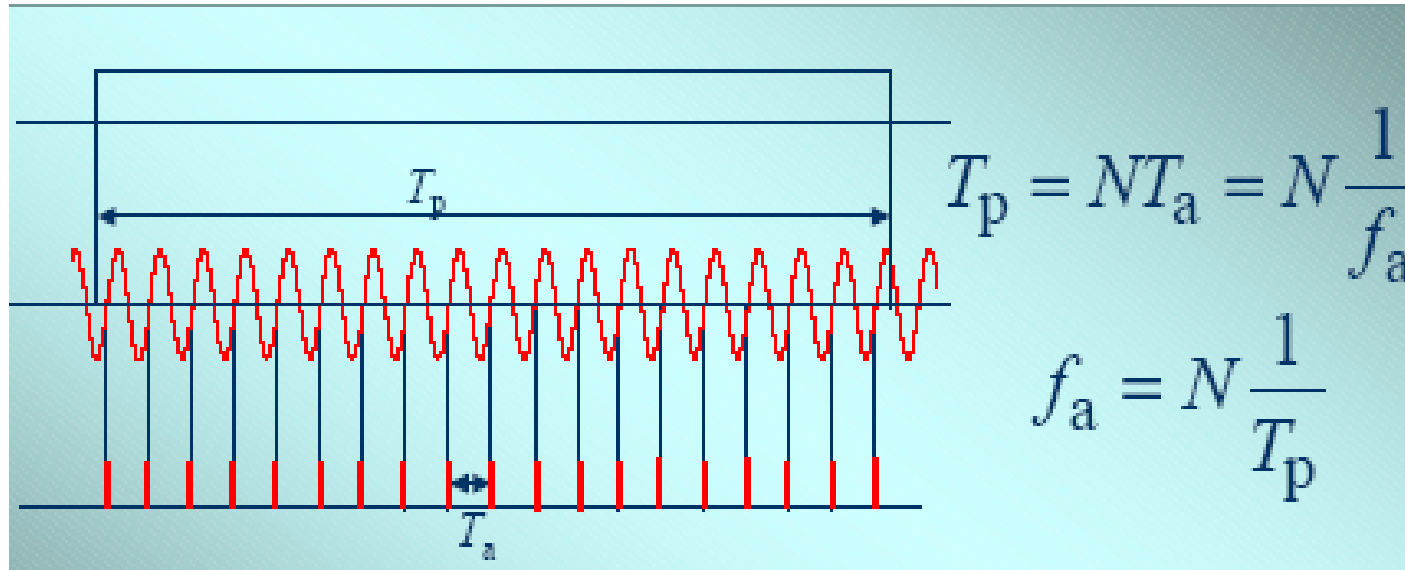
- A parità di T_c e T_a è aumentato N
- Bisogna che il periodo T_a sia stabile per tutto il tempo della misura

Misura di frequenza

La struttura



Le misure di frequenza



- Se $T_p = 1$ s, N indica la frequenza in hertz
- Per una buona accuratezza bisogna che sia N grande

Che tipo di misura fare

- Per misurare il periodo o la frequenza di un segnale, essendo $f = 1/T$, in teoria una misura di periodo e una di frequenza sono equivalenti.
- E' lo stesso anche per quanto riguarda l'incertezza di misura?

NO

Che tipo di misura fare

- Per ridurre l'incertezza di misura deve essere N grande
- Nelle misure di periodo: $T_a = NT_c$.
- Una misura di periodo ha incertezza piccola se il periodo da misurare è molto maggiore del periodo del segnale del campione secondario.
- La misura di periodo porta ad una piccola incertezza quando il segnale in ingresso ha bassa frequenza.

Che tipo di misura fare

- Per ridurre l'incertezza di misura deve essere N grande
- Nelle misure di frequenza: $f_a = N/T_p$, dove $T_p = 10^p T_c$.
- Una misura di frequenza ha incertezza piccola se la frequenza da misurare è molto maggiore della frequenza del segnale del campione secondario.
- La misura di frequenza porta ad una piccola incertezza quando il segnale in ingresso ha alta alta frequenza.

Una limitazione

- L'impiego di divisori decadici consente di variare la *portata* del contatore senza bisogno di effettuare calcoli.
- Infatti i fattori di scala introdotti dai divisori decadici sono sempre potenze di dieci e se ne tiene conto semplicemente modificando la posizione del punto decimale sul display dell'unità di conteggio.
- Per contro, l'impiego di divisori decadici rende la scelta di intervalli di tempo e frequenze del campione secondario piuttosto rigida

Il contatore reciproco

- La disponibilità di unità di calcolo a basso costo ha consentito di ovviare agli inconvenienti introdotti dal divisore decadico.
- Infatti è possibile tenere conto dei fattori di scala introdotti da un divisore non decadico eseguendo le operazioni matematiche richieste con l'unità di calcolo
- Il contatore che utilizza tale unità si chiama reciproco.
- E' possibile scegliere sempre gli intervalli di tempo ottimali.

Le sorgenti di incertezza

- Finora tutti i componenti del contatore sono stati considerati ideali.
- L'unica incertezza considerata è stata quella intrinseca ($1/N$).
- Esistono però altre cause di incertezza di misura che possono diventare più significative di quella intrinseca in alcune situazioni pratiche.

Il campione secondario

- Il campione secondario è un *oscillatore*, che deve generare un segnale a frequenza nota e stabile nel tempo.
- Negli strumenti meno pregiati l'oscillatore è realizzato con un circuito LC risonante
 - E' poco costoso, ma poco stabile
- Negli strumenti di maggior pregio è realizzato con un oscillatore al quarzo.

L'oscillatore al quarzo

- L'oscillatore al quarzo sfrutta le proprietà *piezoelettriche* dei cristalli di quarzo.
- Sollecitati elettricamente da un segnale alternato vicino alla frequenza propria di vibrazione del cristallo, gli atomi del cristallo di quarzo iniziano a vibrare meccanicamente attorno alla loro posizione di riposo e agganciano la frequenza del segnale di eccitazione alla propria frequenza di vibrazione.

L'oscillatore al quarzo

- L'oscillatore al quarzo è in grado di fornire un segnale molto stabile in frequenza.
- La stabilità di questo segnale è tuttavia influenzata da diverse grandezze di influenza:
 - temperatura;
 - variazione della tensione di rete;
 - rumore di fase (agisce sulla instabilità a breve termine);
 - Invecchiamento (agisce sulla instabilità a lungo termine).

La stabilità del quarzo

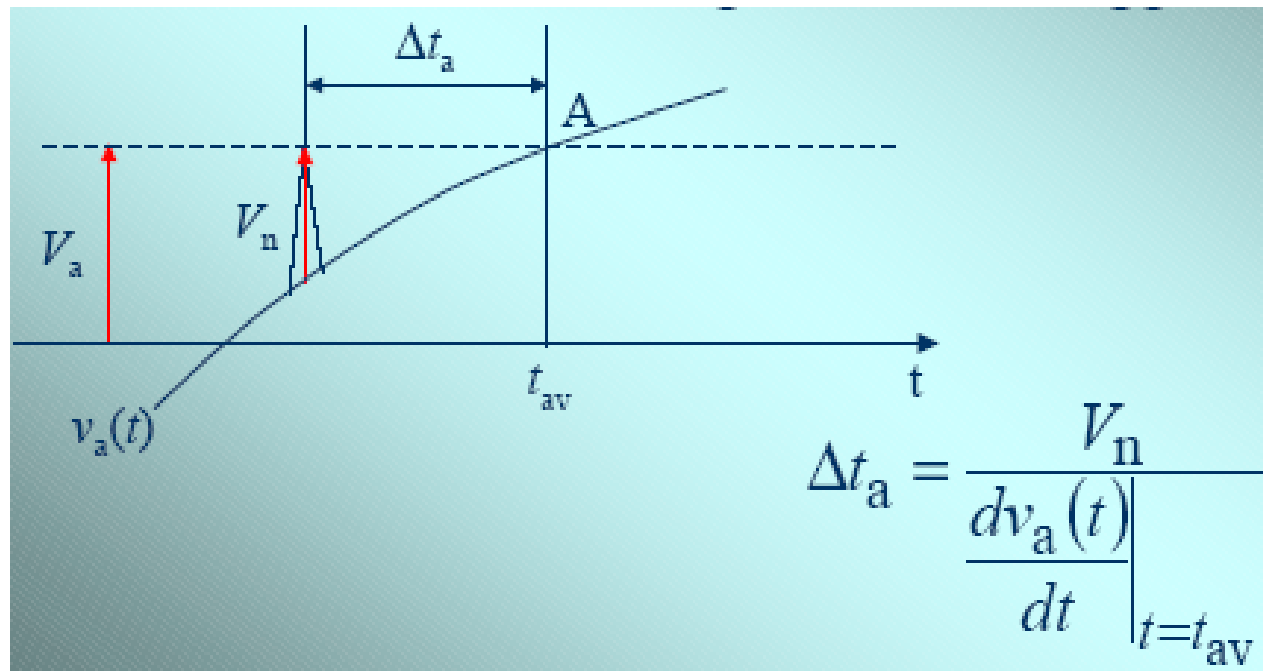
- E' importante conoscere quanto è stabile l'oscillatore al quarzo e come la sua stabilità varia al variare delle grandezze di influenza.
- Il periodo T_c del segnale in uscita dal campione secondario entra in modo diretto in tutte le misure effettuate con in contatore.
- L'incertezza sulla conoscenza di T_c si ripercuote direttamente sulla incertezza di misura.

La stabilità del quarzo

Tipo Influenza	Temp. Amb. Non comp.	Compensato	Con forno on - off	Con forno contr. prop.
	Temperatura 0 C – 50 C	$2.5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
Tensione di rete $\pm 10\%$	10^{-7}	$5 \cdot 10^{-8}$	10^{-9}	10^{-10}
ϵ_{sti} al sec.	$3 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}	10^{-7}	$1.5 \cdot 10^{-8}$
ϵ_{li} al mese	$2 \cdot 10^{-9}$	10^{-9}	$5 \cdot 10^{-10}$	10^{-11}

Incertezze sull'istante di trigger

- La presenza di rumore può introdurre errori nella determinazione degli istanti di trigger



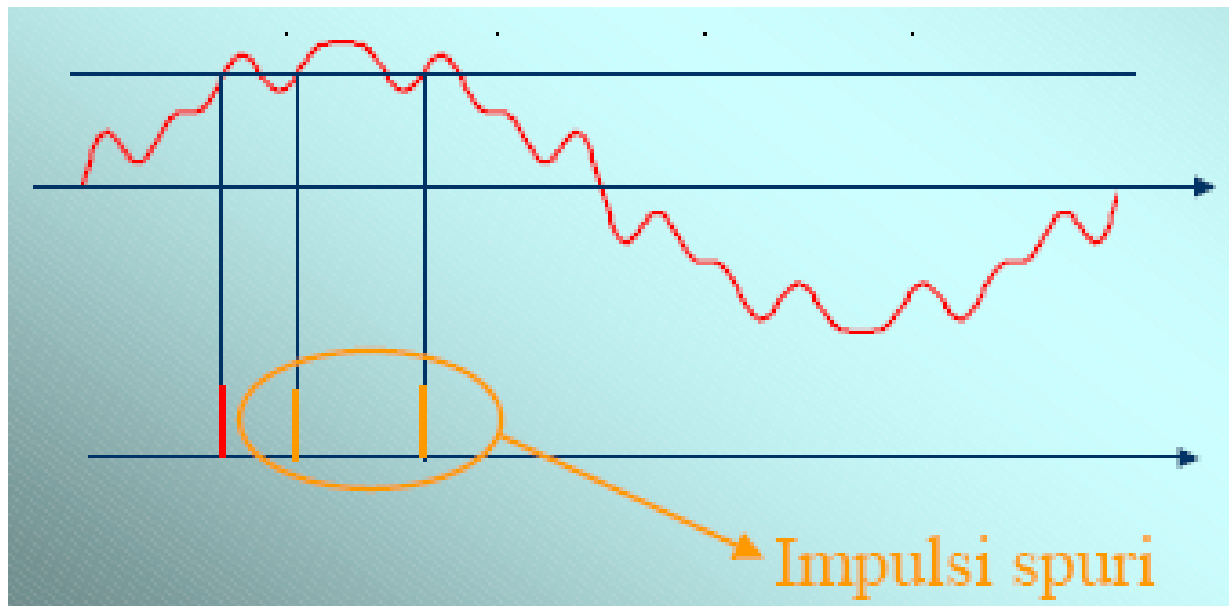
Incertezze sull'istante di trigger

- E' bene posizionare la soglia di trigger nel punto in cui il segnale ha pendenza massima
 - A parità di rumore, è minore l'errore di trigger
- Se l'amplificatore di ingresso ha banda limitata, il fronte di salita del segnale in ingresso risulta meno ripido, e si possono avere maggiori errori di trigger.

$$\Delta t_a = \frac{V_n}{\left. \frac{dv_a(t)}{dt} \right|_{t=t_{av}}}$$

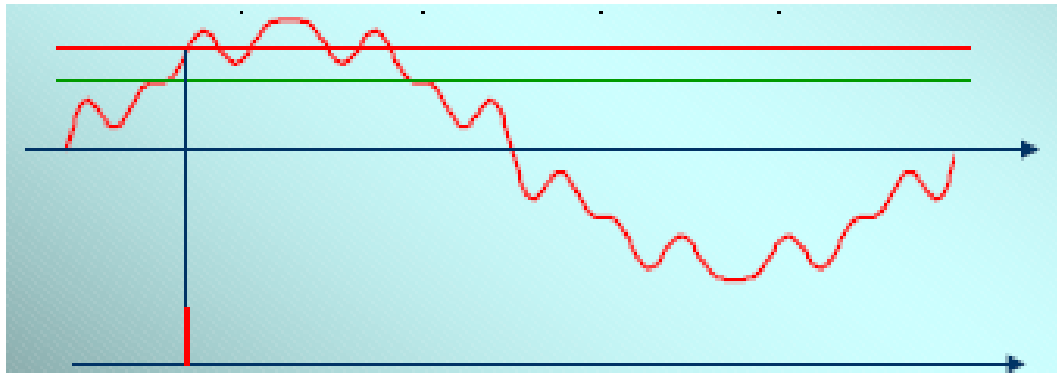
Gli attraversamenti multipli

- Un rumore sovrapposto al segnale in ingresso può causare attraversamenti multipli della soglia di trigger ed errori di trigger.



La finestra di isteresi

- Per ovviare all'inconveniente, si fa in modo
- che il trigger abbia una finestra di isteresi isteresi.
 - Trigger di Schmitt



- Dopo il primo attraversamento della soglia, si abbassa la soglia stessa fino a quando la nuova soglia non è attraversata con derivata opposta.

Impiego della finestra di isteresi

- L'allargamento della finestra di isteresi consente di evitare il problema degli attraversamenti multipli anche in presenza di elevati rumori
- Per contro, l'allargamento della finestra di isteresi riduce la sensibilità del trigger
 - Se l'ampiezza del segnale è minore della ampiezza della finestra non si verifica mai l'attraversamento delle soglie di trigger e non viene eseguita nessuna misura.

Effetto della lunghezza dei cavi

- Il segnale si propaga nei cavi elettrici con velocità finita.
- Se i segnali di start e stop al comando porta arrivano da due sorgenti diverse, e i cavi che collegano le sorgenti allo strumento hanno lunghezza diversa, i segnali arriveranno in tempi diversi
 - Uno dei due comandi sarà ritardato
- Il problema è particolarmente fastidioso quando i segnali in ingresso hanno frequenza elevata.