

## Misura di Tempo e Frequenza

Prof. Mario Luiso

Dipartimento di Ingegneria

Via Roma, 29 – 81031 Aversa (CE)

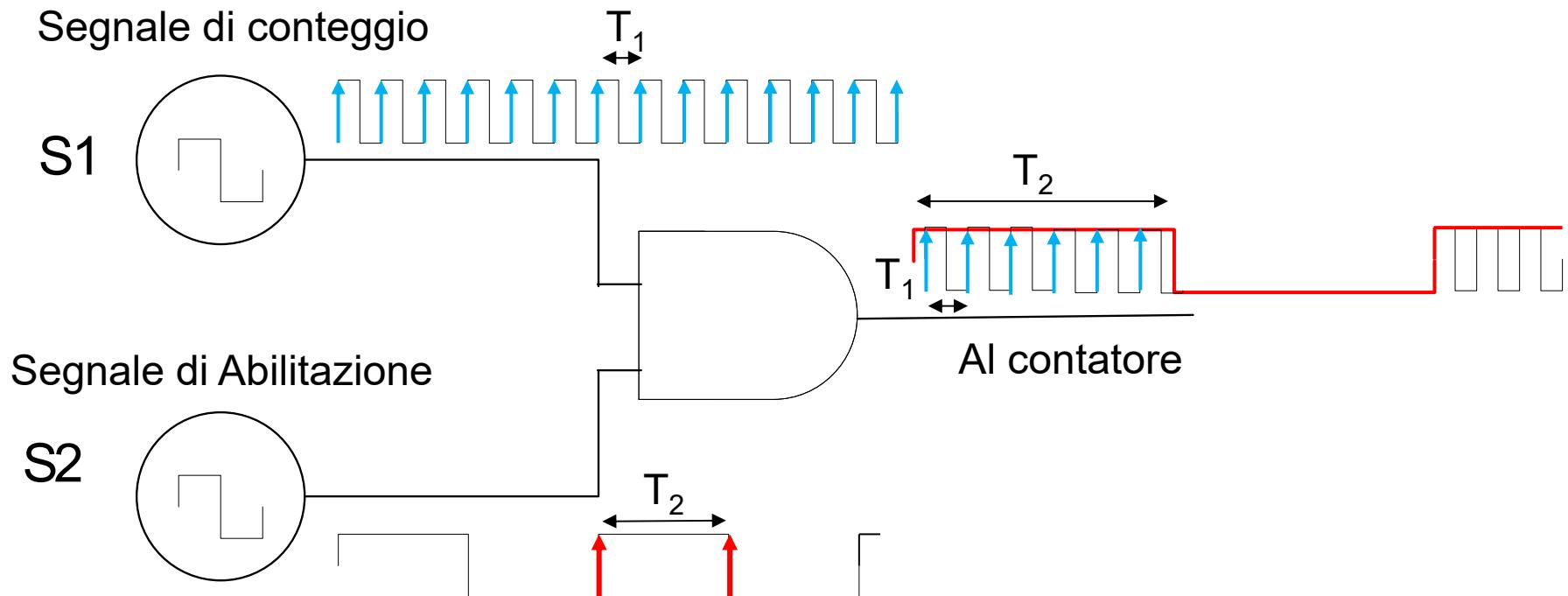
[mario.luiso@unicampania.it](mailto:mario.luiso@unicampania.it)

**[www.ingegneria.unicampania.it](http://www.ingegneria.unicampania.it)**

Metodo per la misura di intervalli di  
tempo, di frequenza ecc.

STRUMENTO: Contatore numerico, che accetta segnali di tensione (quindi altri segnali varranno convertiti con dei sensori)

# Principio generale di Misura



- Tutte le misure vengono effettuate contando quanti fronti di salita o discesa del segnale di conteggio si verificano tra mentre il segnale di abilitazione assume un valore «alto».
- Cambiando le sorgenti di segnale di conteggio e di abilitazione si ottengono misure, di frequenza, etc.
- Una buona accuratezza richiede che  $T_2 \gg T_1$  ovvero  $f_1 \gg f_2$

Controllare numero di colpi degli impulsi.

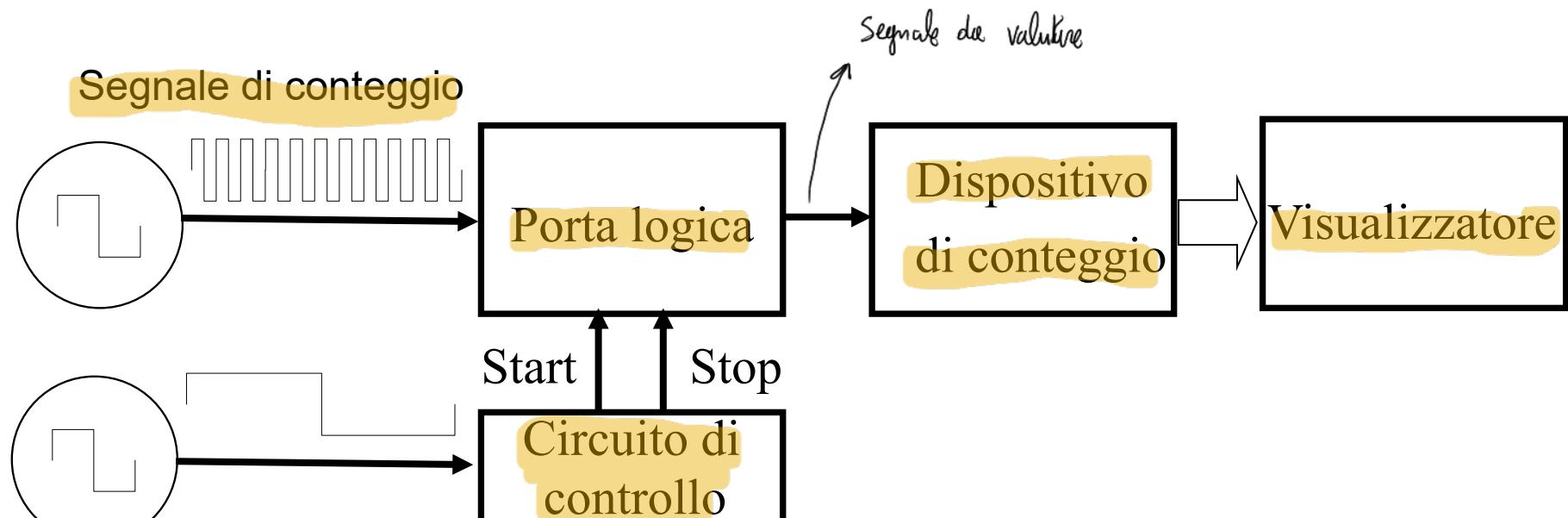
Segnale diabilità: dice quanto deve contenere gli impulsi (l'intervallo di tempo).

Il tutto entra in AND, così ho il segnale di uscita solo se A è alto. Ho quanti impulsi che devo contare.

Per una buona accuratezza,  $T_2 \gg T_1$ , altrimenti non ho una risposta temporale abbastanza grande.

# Schema generale di misura

NOTA: qui sto lavorando solo con segnali digitali e circuiti digitali



$$T_{ON} = N \cdot T_{cont}$$

intervalle di tempo durante cui l'abilitazione è alto  
periodo del segnale di conteggio

$$\Delta T = T_{cont}$$

Risoluzione: più piccola variazione dell'ingresso che mi fa cambiare l'uscita.  
Il simbolo impulso è la risoluzione, che vale 1 periodo del segnale di conteggio.

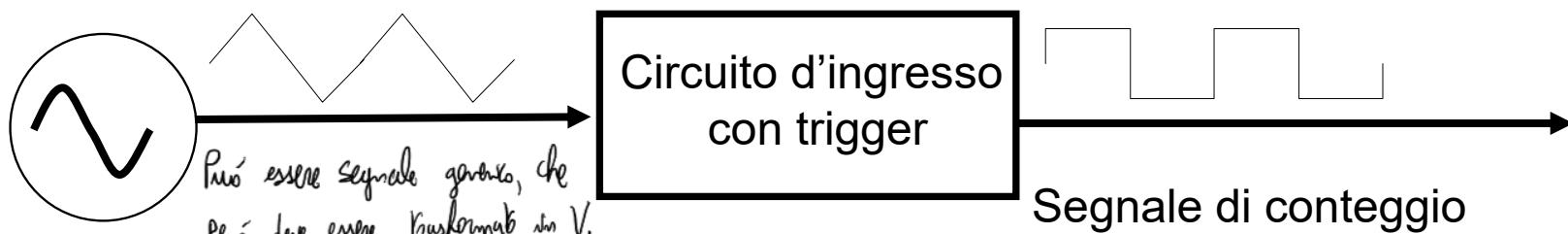
**Misura** = misura  $T_{ON}$ .

**Risoluzione** =  
**Tolleranza di misura**

# Misure di Frequenza

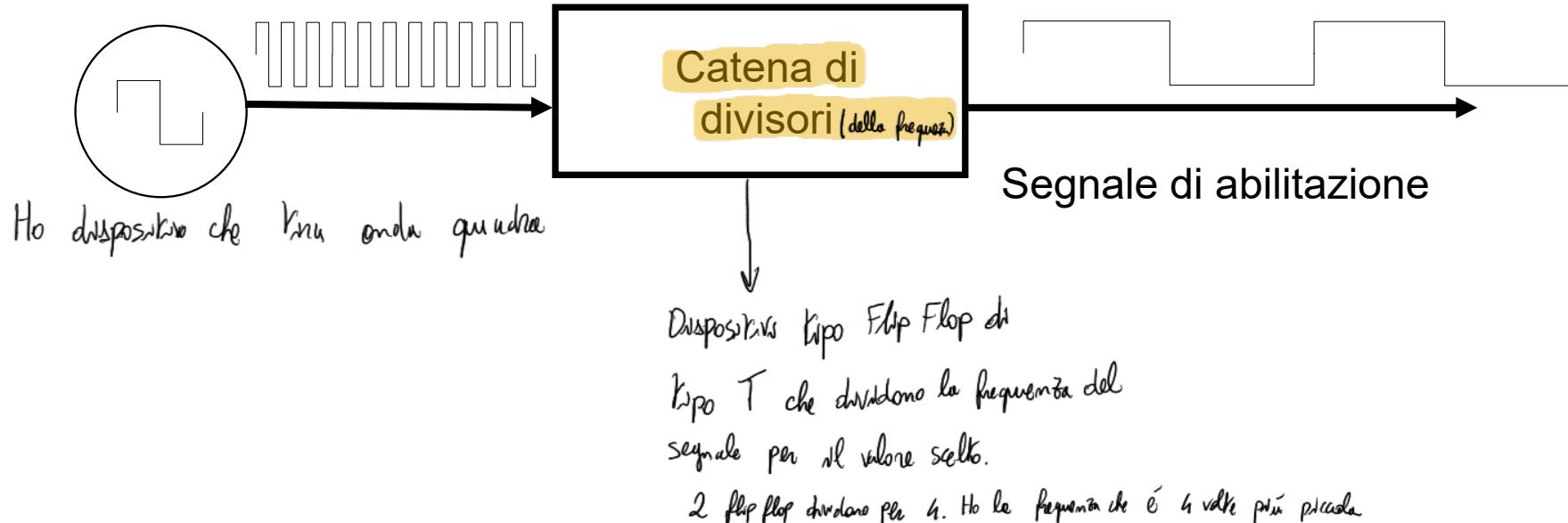
②

Segnale di ingresso



①

Oscillatore



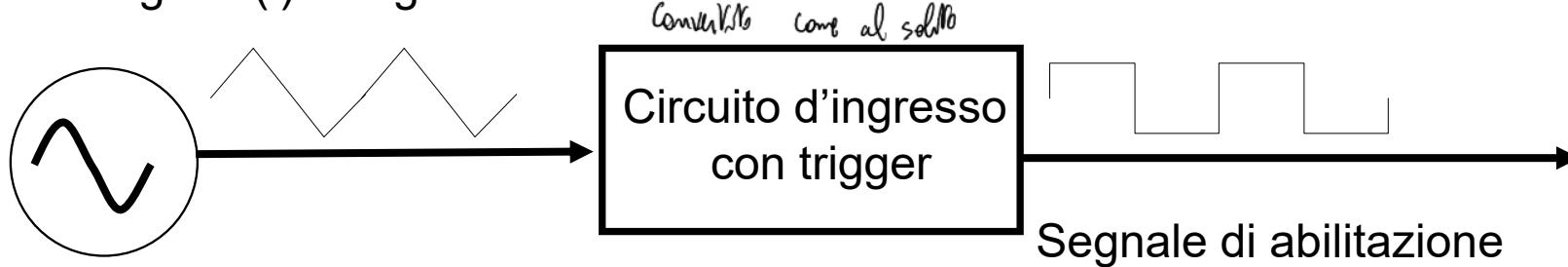
# Misure di Intervallo di Tempo

Ruoli scambiabili:

Oscillatore



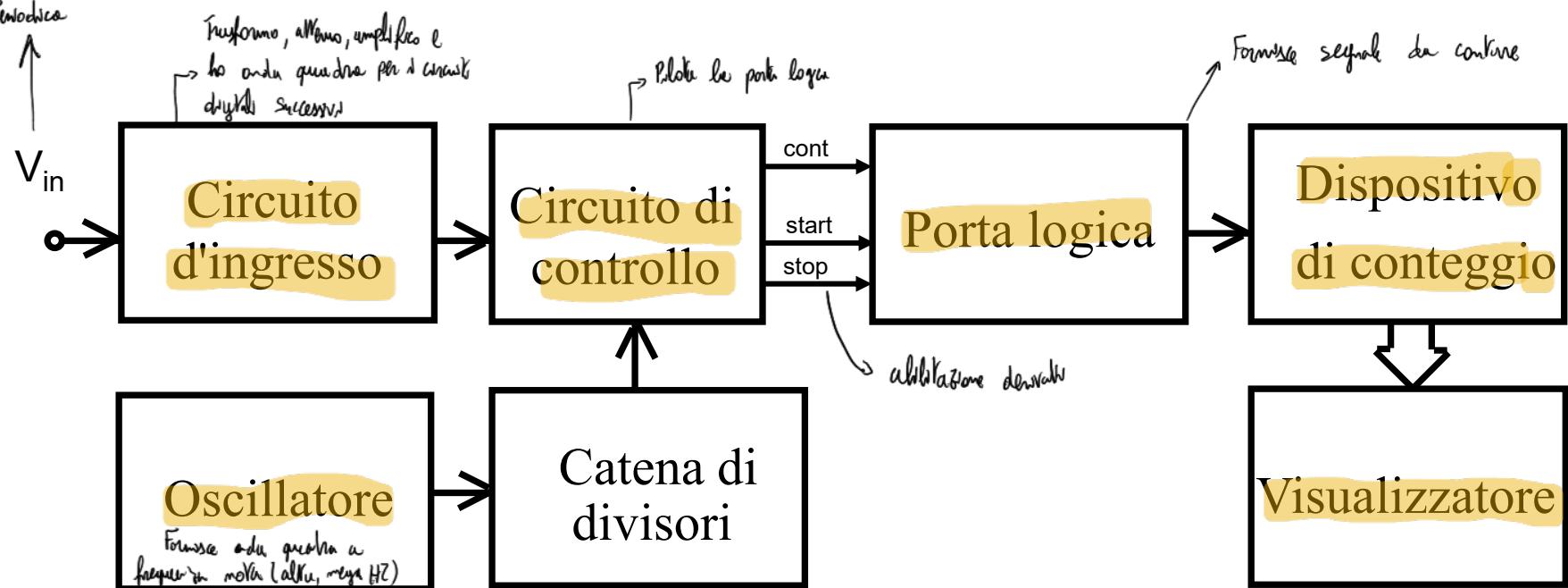
Segnale(i) di ingresso



# Contatori Numerici

Com'è fatto?

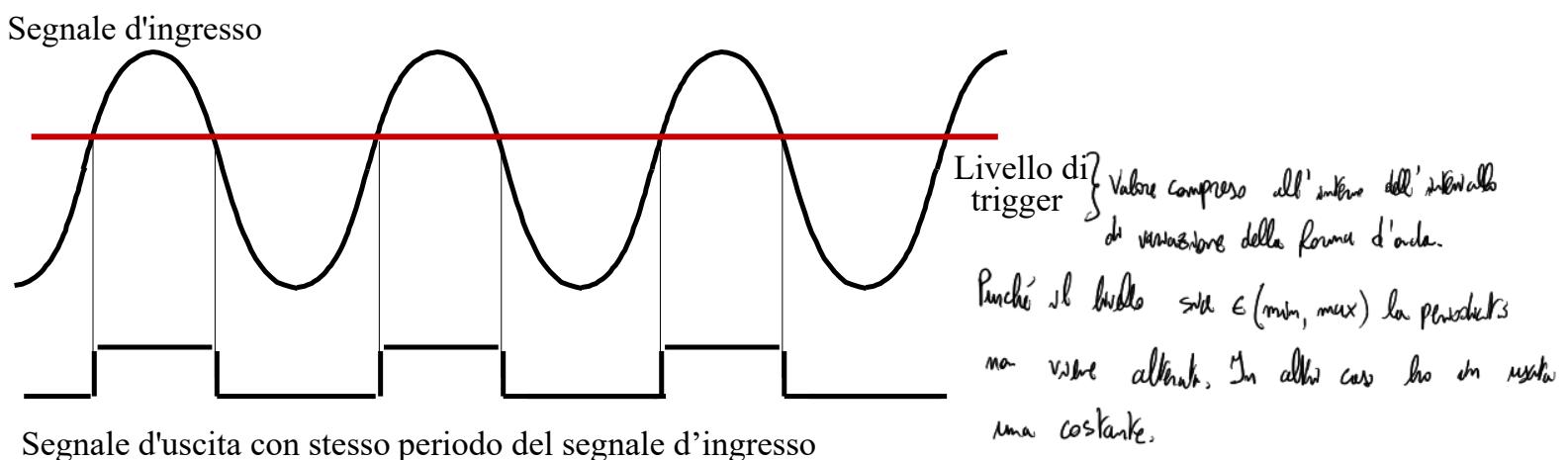
- Tensione
- Periodica



Es. tensione di 230V effettivi come li gestisco?

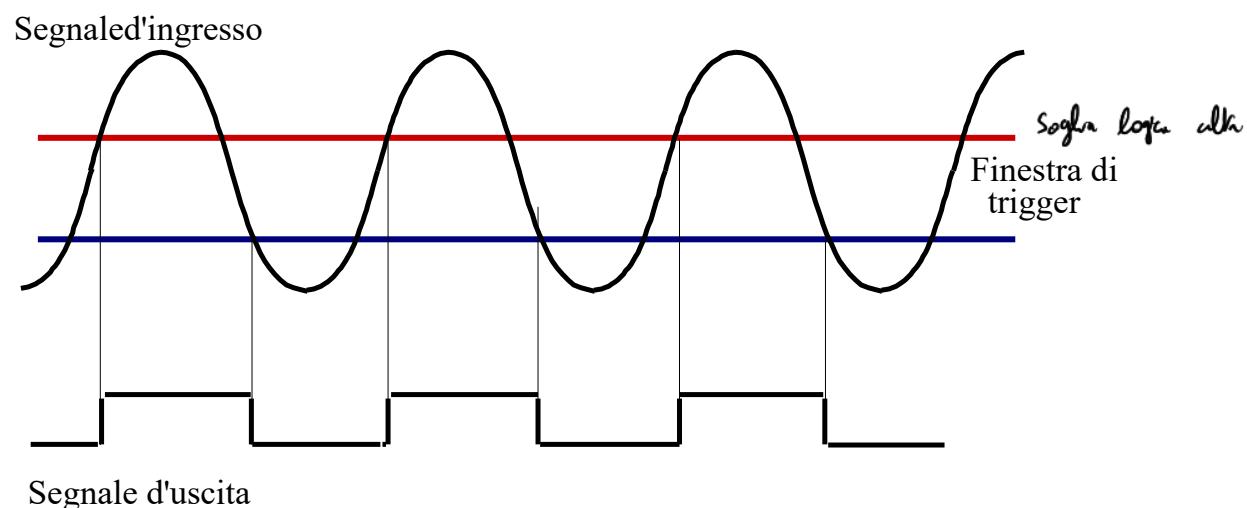
# Circuito di ingresso

- Condiziona il segnale di ingresso per renderlo adatto a essere trattato dai blocchi successivi
- L'uscita è un segnale ad onda quadra con lo stesso periodo del segnale in ingresso
- Si potrebbe utilizzare un **livello trigger** rispetto al quale **commutare** l'uscita a seconda del valore del segnale d'ingresso (es. i passaggi per lo zero)



# Finestra d trigger:

- Utilizzando semplicemente un livello di trigger per determinare la commutazione si incorre in commutazioni spurie dovute alla presenza di rumore sul segnale: si preferisce utilizzare una finestra di trigger
- Si fissano due soglie di trigger (finestra di trigger)
- L'uscita commuta al livello alto quando l'ingresso supera in salita la soglia più alta e commuta in discesa quando l'ingresso supera in discesa la soglia più bassa

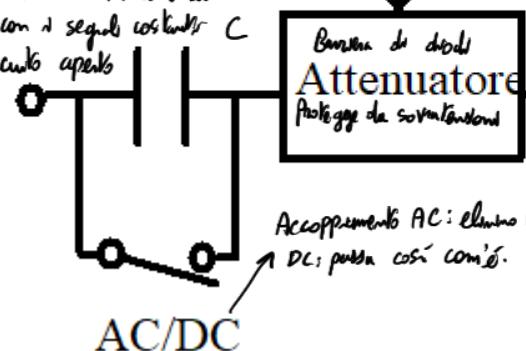


# Circuito di ingresso

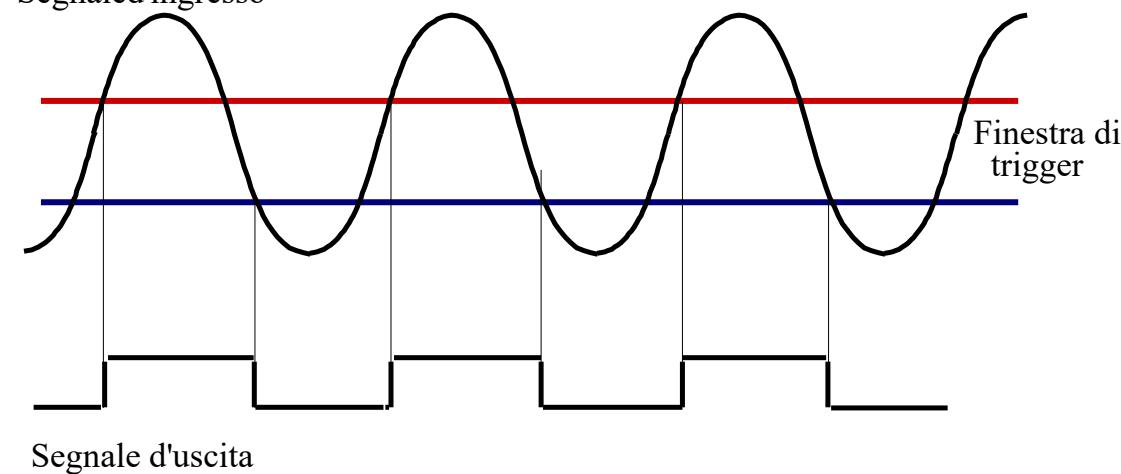
Circuito di accoppiamento:

Segnale può oscillare intorno a zero.  
Posso vedere rimanere il valore medio del segnale: se chiudo lo switch metto un corto al condensatore. Allora non

lo lascio alto, e con i segnali costanti C si comporta come circuito aperto.



Segnale d'ingresso



Automatic gain control: regola rapporto di attenuaz./fattore di amplificazione per avere un segnale al punto un'ampiezza coerente col trigger.

Retraszione

Impedenza  
d'ingresso

Può amplificare

Controllo  
del livello  
del trigger

Trigger di  
Schmitt

Pendenza  
trigger

Potrei scegliere pertanto: com'è in alto  
quale super livello un salto o discesa?  
Non cambia frequenza.

Mi dà 2 onde complementari

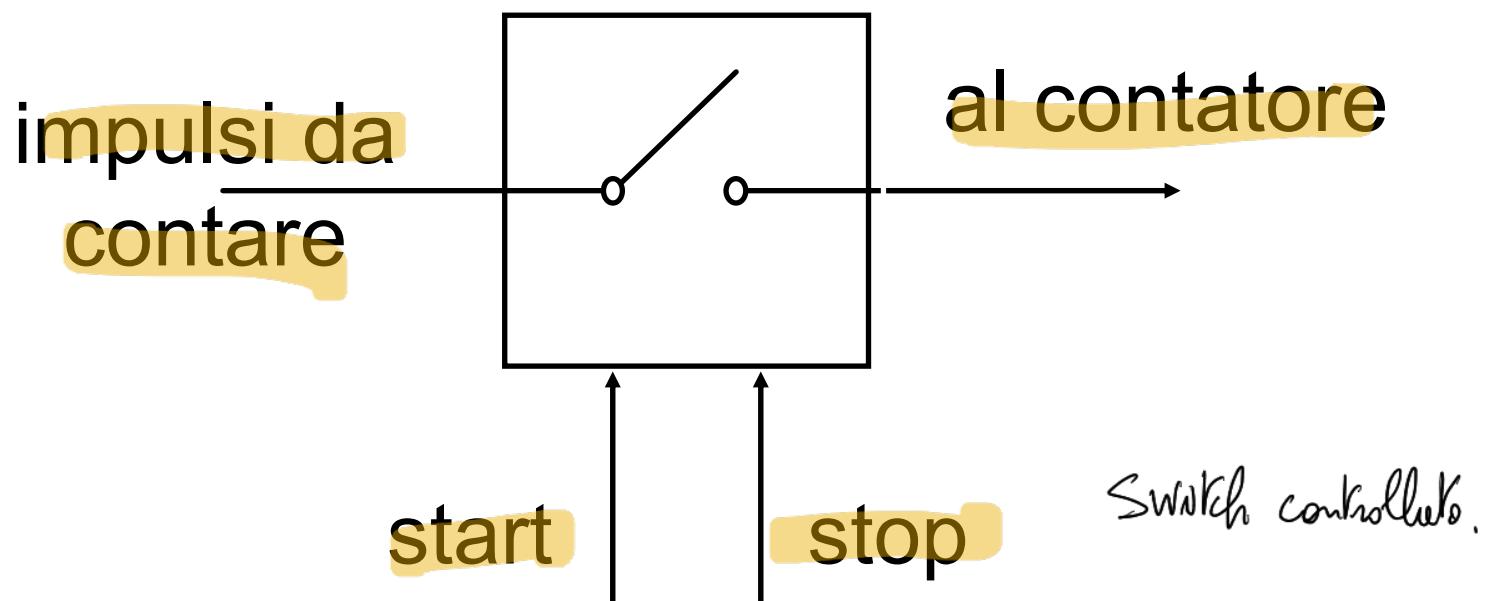


# Porta logica o gate

Fun passano o no impulsi per il conteggio

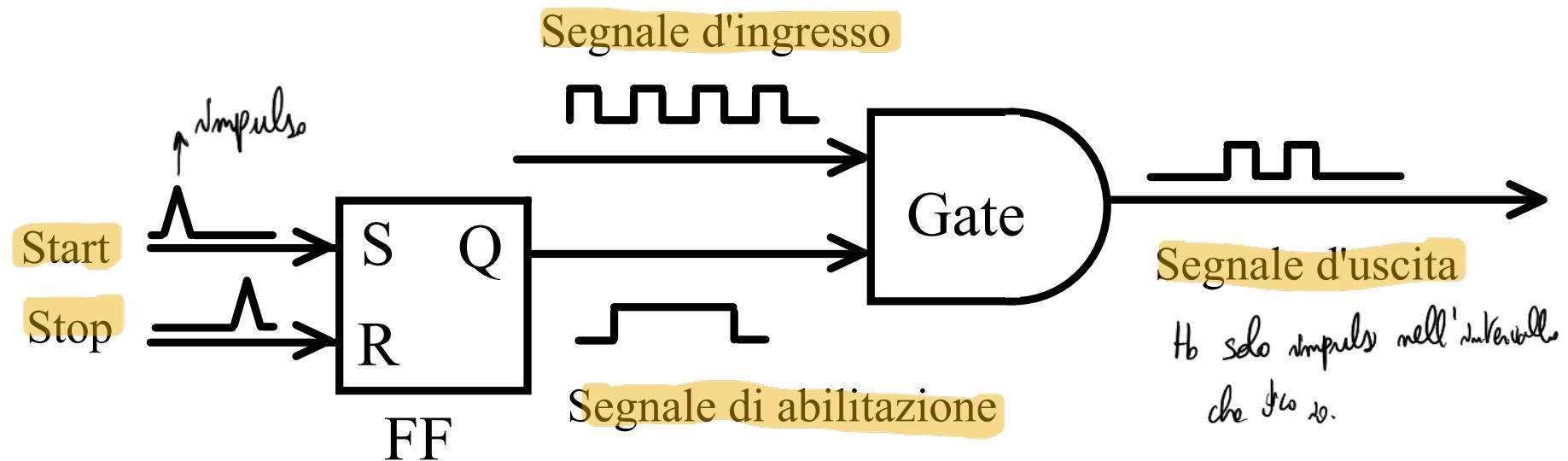
- ingresso per il segnale formato dagli impulsi da contare
- ingressi di comando
- gli impulsi passano o vengono bloccati in funzione dei segnali di comando
  - inizio conteggio: Start
    - apertura della porta
    - passaggio degli impulsi
  - fine conteggio: Stop
    - chiusura della porta
    - uscita gate nulla

# Gate: schema logico



start: chiusura interruttore  
stop: apertura interruttore

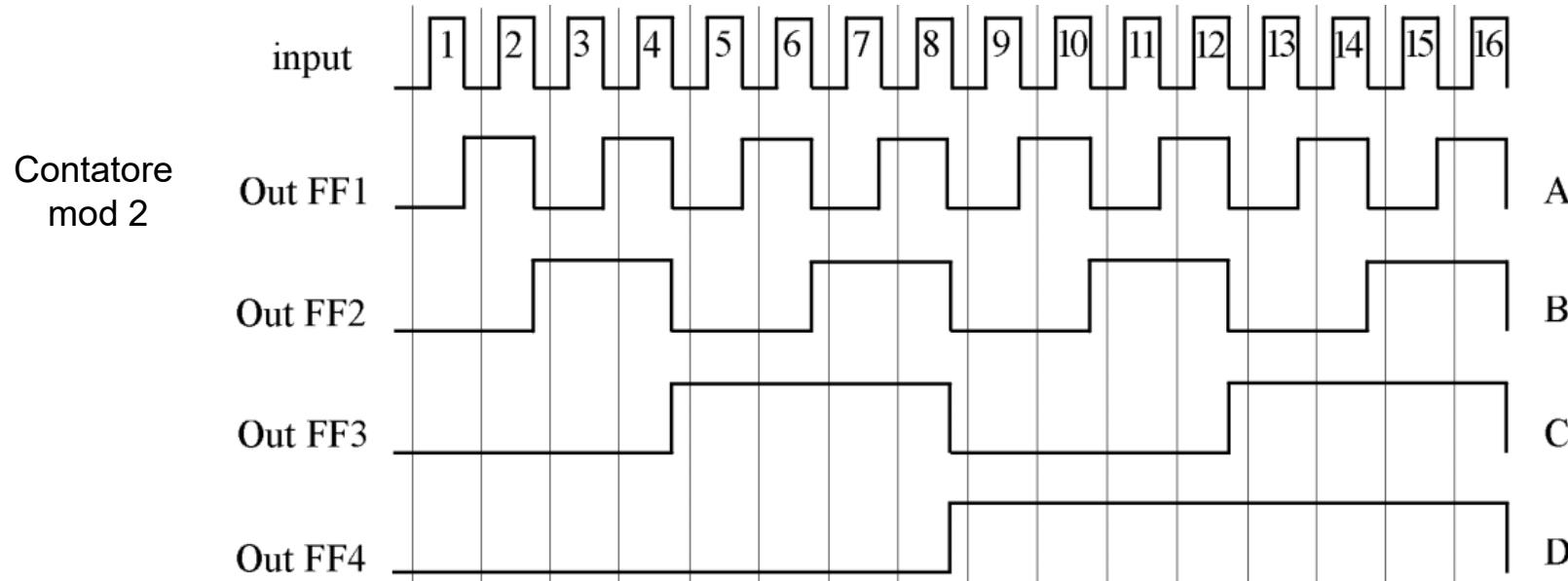
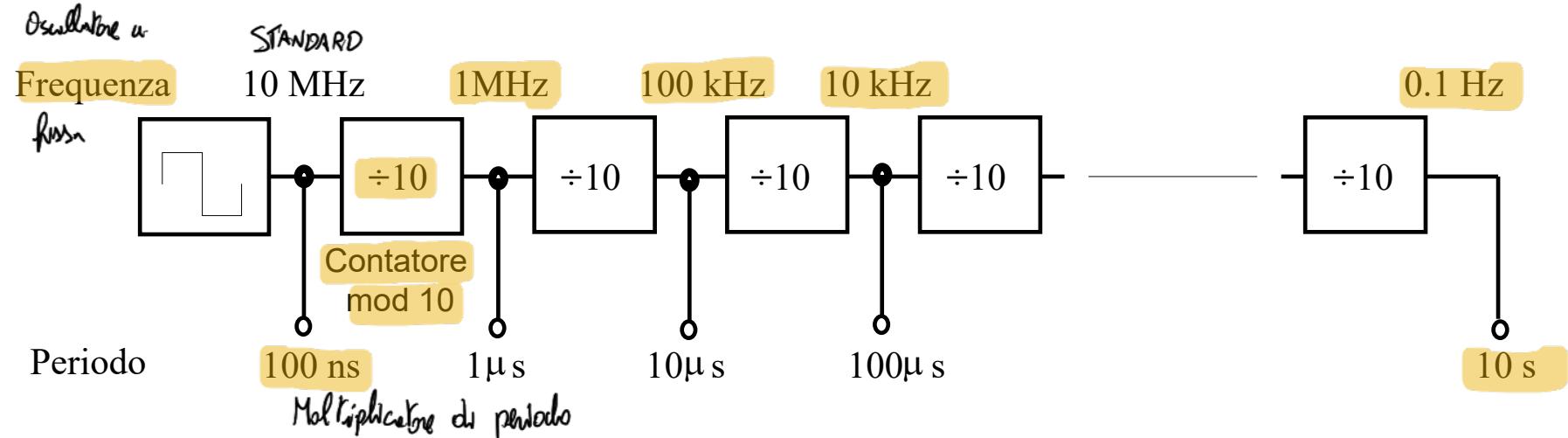
# Implementazione Porta Logica



# Base dei tempi

- Riferimento temporale interno allo strumento  
(campione di tempo)
- Oscillatore al quarzo di frequenza  $F_c$
- Generazione multipli e/o sottomultipli di  $F_c$ 
  - divisione di frequenza semplice
  - moltiplicazione di frequenza gravosa [Si può fare con certi circuiti non accanitissimi]

# Base dei tempi: divisori



Appena modifico la prima frequenza perdo un po' di frequenza.

# Precisione del contatore

10MHz accanata a  $10^{-12}$ : accanita  
all'ordine di  $10 \cdot 10^{-12} \text{ MHz}$ .

Devo avere frequenza sempre di 10 MHz  
↑

- fortemente dipendente dalla stabilità dell'oscillatore interno al quarzo
- frequenza di oscillazione compresa tra 1 e 10 MHz
- angoli di taglio rispetto agli assi cristallografici del quarzo e termostatazione (regolazione termica) per minimizzare l'influenza della temperatura

# Unità di conteggio

- esegue il conteggio degli impulsi che vengono trasmessi dalla gate (quelli compresi tra il segnale di Start quello di Stop)
- conteggio eseguito nella base più conveniente per la struttura elettronica adottata (tipicamente base 10)
- Dopo l'esecuzione di una misurazione viene resettato

# Unità di visualizzazione

- decodifica il valore del conteggio
- presenta il risultato su un display alfanumerico
  - 4 - 10 cifre decimali
  - numero di cifre dipende dal tipo e dalle prestazioni dello strumento

# Tolleranza di conteggio

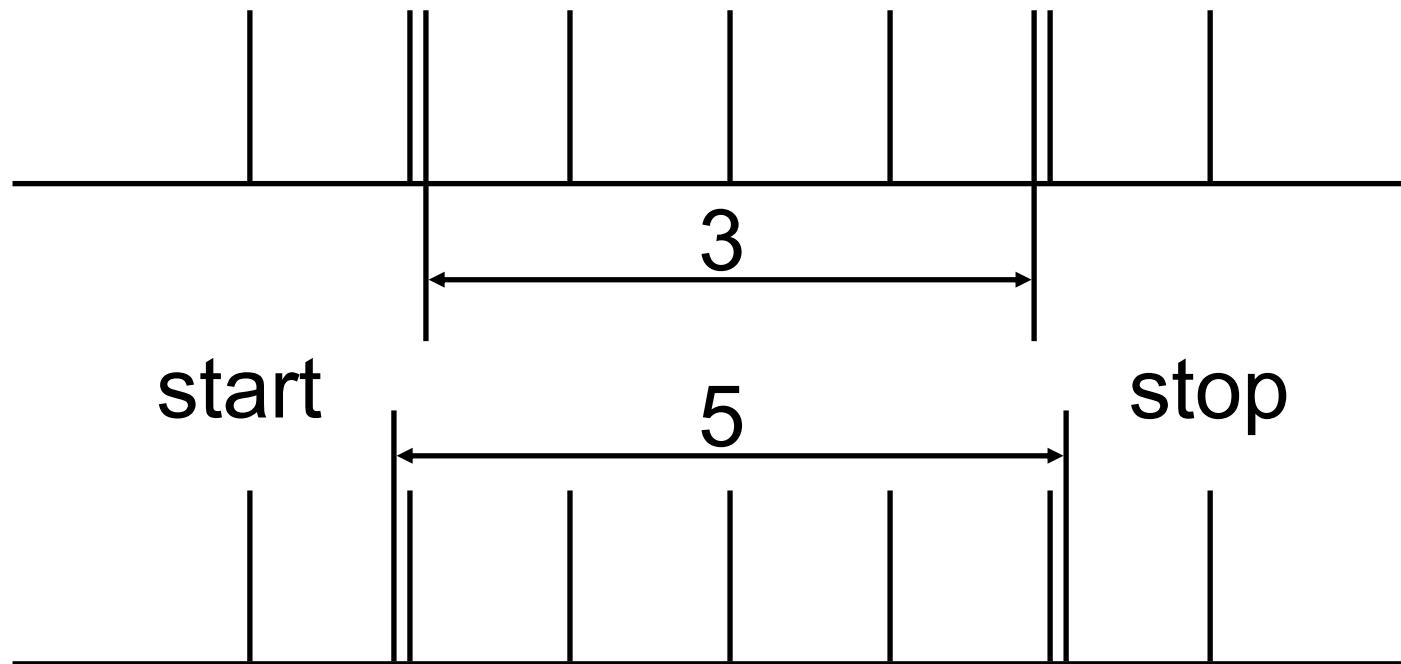
Frequenza max che dell'onda  
buon punto della sua acanotizza

- La desincronizzazione tra la durata dell'intervalle di abilitazione e quello del periodo del segnale di conteggio e la desincronizzazione tra i fronti di salita/discesa dei due segnali rendono «non esatta» la quantificazione dell'intervallo sottoforma di un numero intero
- Il segnale di abilitazione non è detto che sia esattamente un numero intero di periodi del segnale di conteggio ed in più non è detto che i fronti siano allineati
- La valutazione avviene con una tolleranza di pari a  $\pm 1$  di conteggio

# Tolleranza di conteggio

Uso segnale estero per determinare  
istante di start e stop.

impulsi da contare



$$\text{intervalli temporali} = 4 \pm 1$$

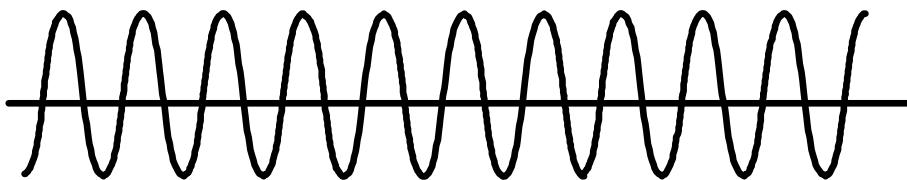
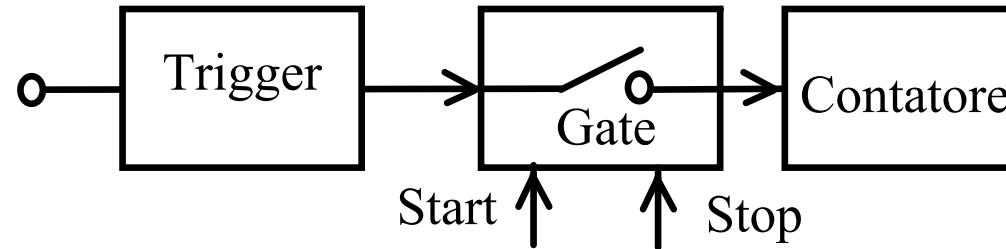
Segnale di partenza è poco differente

↳ Generalmente: da ogni conteggio, la tolleranza è  $\pm 1$ . Peso della tolleranza dipende dal numero dei conteggi

# Contatore numerico: Applicazioni

- Conteggio di impulsi
- Misure di frequenza
  - Misura di frequenza
  - Misura di rapporto di frequenza 2 segnali
- Misure di Intervallo di tempo
  - Misura di periodo
  - Misura di periodo medio
  - Misura di durata di un impulso
  - Misura di Ritardo di fase

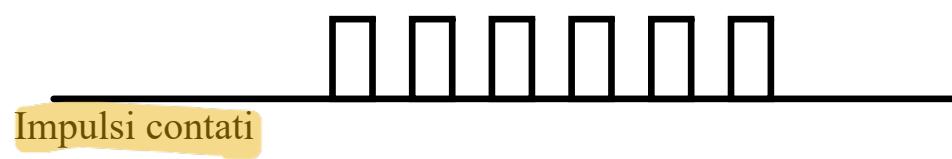
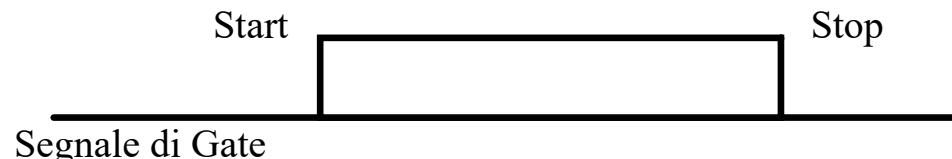
# Conteggio di impulsi



Segnale d'ingresso ~~generico~~ → con circuito di trigger;



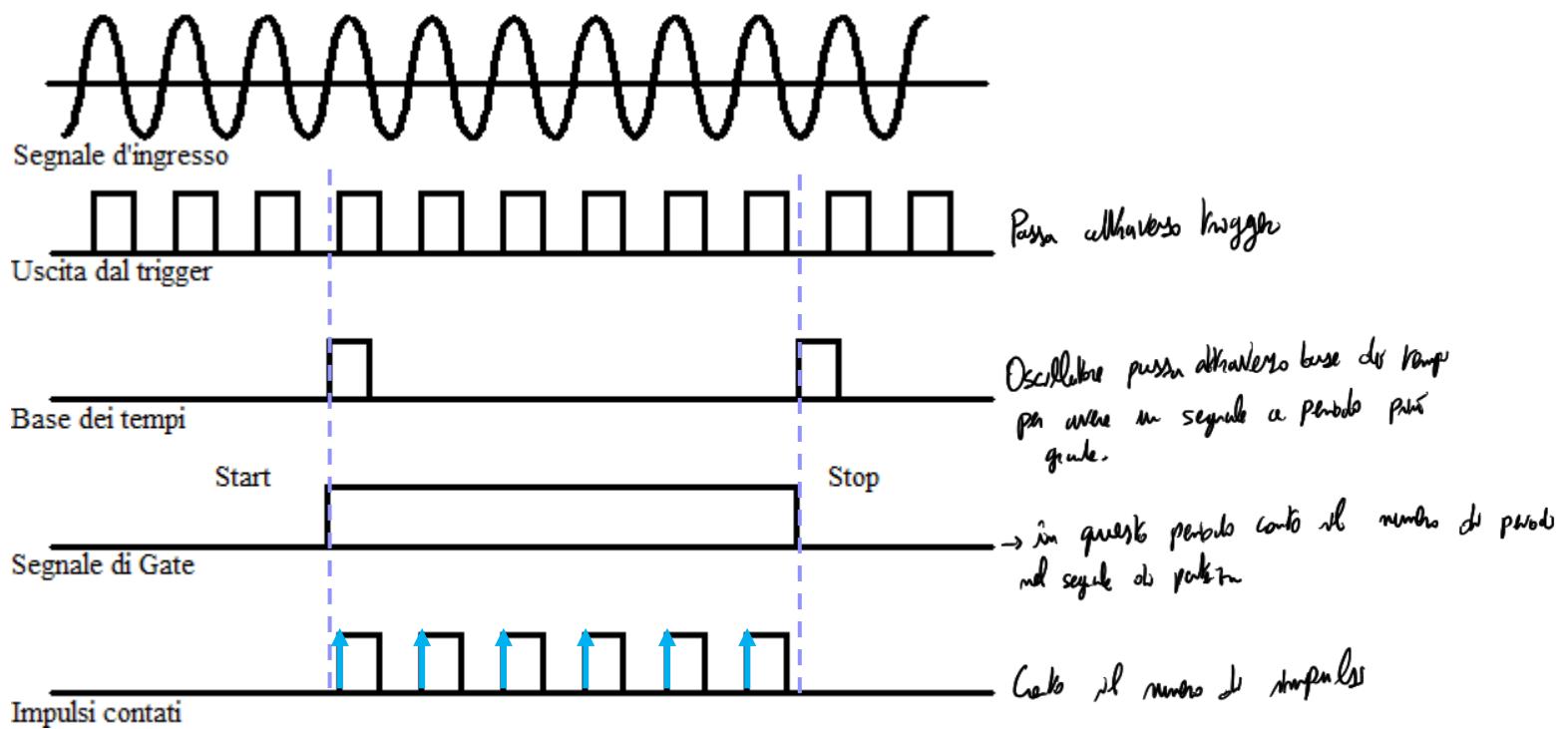
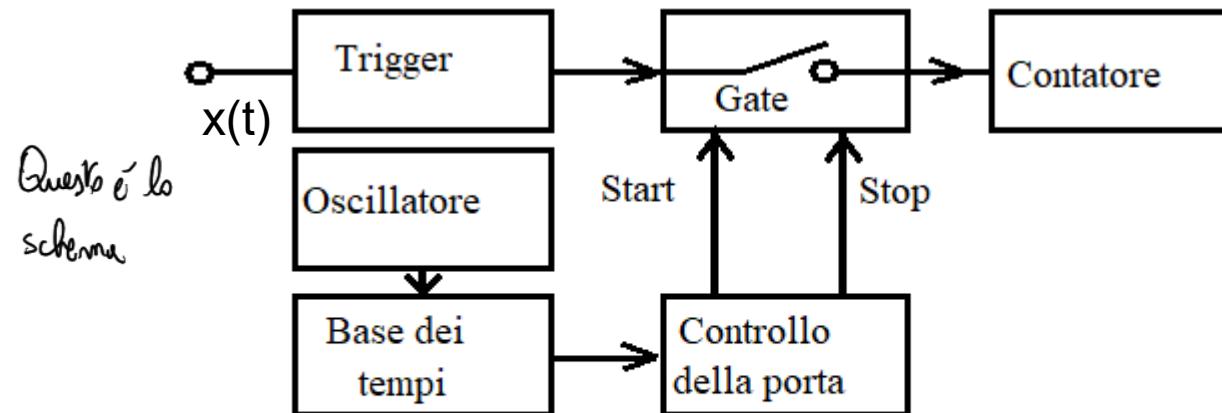
Uscita dal trigger → Scelgo ora un intervallo di misurazione per il numero di impulsi



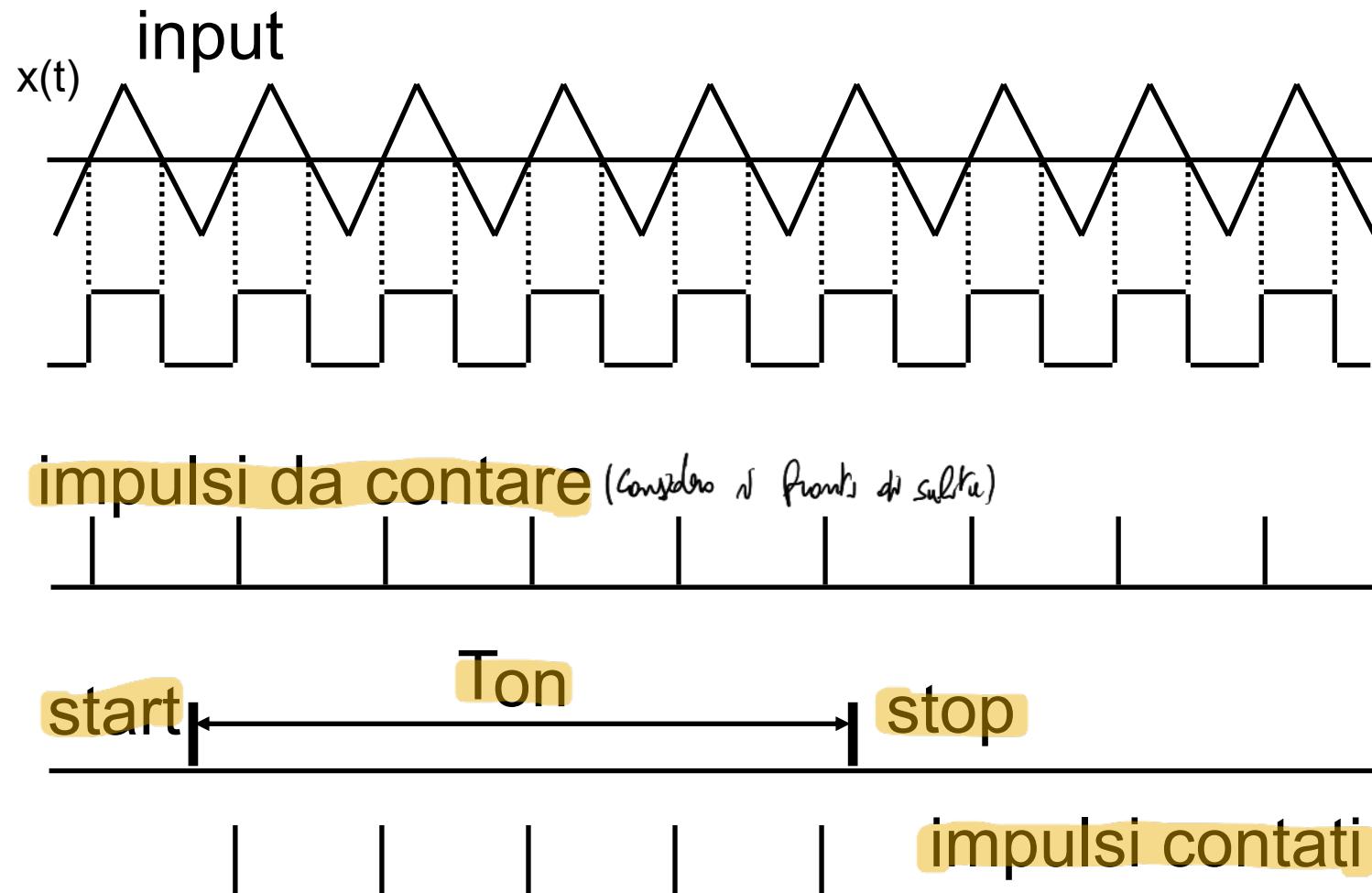
# Misurazione di frequenza

- frequenza di un segnale periodico: rapporto tra il numero di ripetizioni e l'intervallo di tempo nel quale esse si sono verificate *del fenomeno periodico*
- se il tempo è 1 s, il valore di conteggio esprime direttamente la frequenza in Hz

# Misurazione di frequenza



# Misurazione di frequenza



# Misurazione di frequenza

- $T_x$  = periodo del segnale di ingresso
- $N_x$  = numero di periodi contati
- $N_c$  = fattore di divisore del clock

$$N_c T_c = T_{on} \approx N_x T_x \rightarrow \text{Ho contato } N_x \text{ impulsos. Cuscinio che dura } T_x.$$

↓  
 Periodo del clock post divisione

↑  
 Ton derivato da oscillaTon, lo composo con oscillazione

- frequenza  $F_x$

$$F_x = 1/T_x \approx N_x / T_{on} = N_x / (N_c T_c)$$

↑  
 Convegno dei periodi contenuti nra  $T_{on}$ .

- Risoluzione – tolleranza

$$\Delta F = 1/T_{on}$$

# Misurazione di frequenza

$$\Delta F = 1/T_{on}$$

- Risoluzione relativa:

$$\Gamma_F = \Delta F / F_x = 1 / (T_{on} F_x) = 1 / N_x$$

- inversamente proporzionale al numero  $N_x$  di periodi contati

esempio

$$T_{on} = 1 \text{ s} \quad F_x \approx 1 \text{ MHz} \quad N_x \approx 10^6$$

$\pm 1$  incertezza di conteggio sulla sesta cifra decimale

Se messi frequenti errori, con notevole frequenza

# Misurazione di frequenza

$$\Gamma_F = \frac{1}{N_x}$$

$$T_{on} = \frac{N_x}{F_x}$$

Il numero di impulsi  
è fisso

- fissato  $\Gamma_F$
- il tempo di misura  $T_{on}$  è inversamente proporzionale alla frequenza  $F_x$
- per valori di  $F_x$  bassi  $\Rightarrow T_{on}$  elevato

$\rightarrow$  Risoluz. preda che sceglie n. Non è cosa con freq. predef.

$$\Gamma_F = 0.1 \% \quad N_x = 1 / \Gamma_F = 1000$$

$$F_x \sim \text{MHz}$$

$$\square T_{on} = N_x / F_x = 10^3 / 10^6 = 1 \text{ ms}$$

$$\blacksquare F_x \sim \text{Hz}$$

$$\blacksquare T_{on} \sim 17 \text{ minuti}$$

Per frequenze  
basse conviene  
misurare il periodo

# Misura di Rapporto di frequenze

Ma se al posto del clock uso un altro segnale esterno?

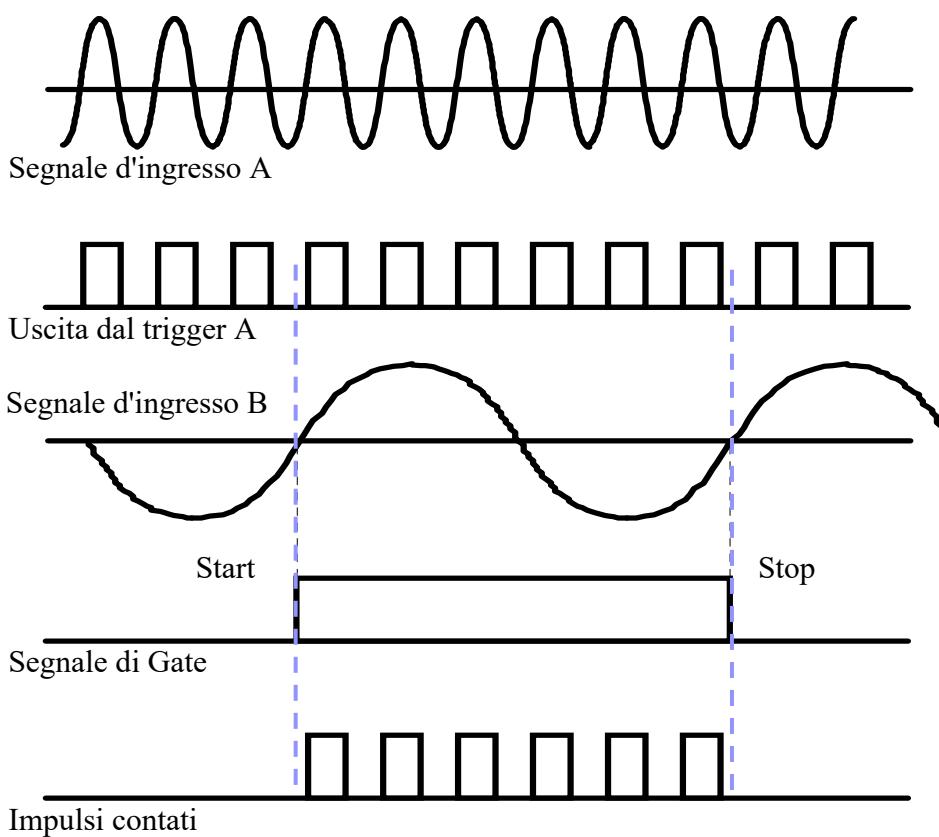
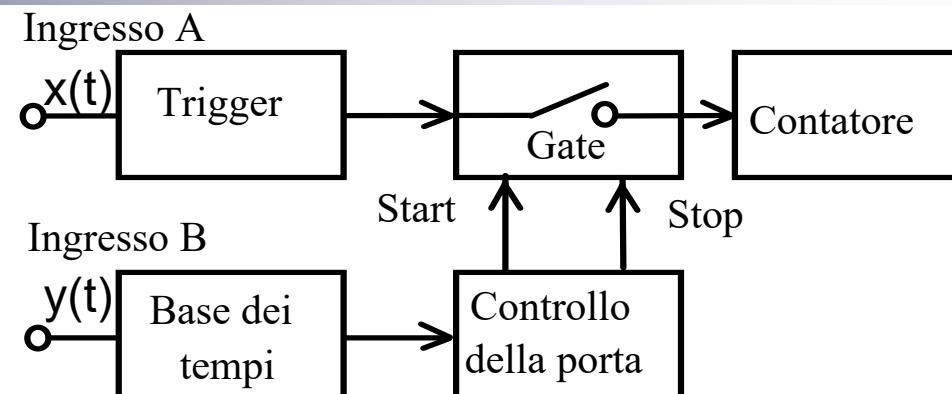
Uso sempre trigger ed eventualmente dividendo la sua frequenza → Conto numeri di pulsanti del segnale A contando nel periodo di segnale B.

$$T_{on} \underset{\downarrow}{\cong} T_A N_A = T_B \underbrace{N_B}_{\text{un giro fa un numero intero di Periodi di B.}}$$

$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{N_B}{N_A}$$

*T<sub>on</sub> = T<sub>B</sub>N<sub>B</sub> regreso*

$$\frac{f_B}{f_A} = \frac{N_B}{N_A}$$



# Misurazione del periodo

- Periodo

Intervallo di tempo fra due punti in cui il segnale è segnale e passa con la pendenza segnale.

- intervallo di tempo corrispondente al passaggio del segnale di ingresso per lo stesso livello e con la stessa pendenza

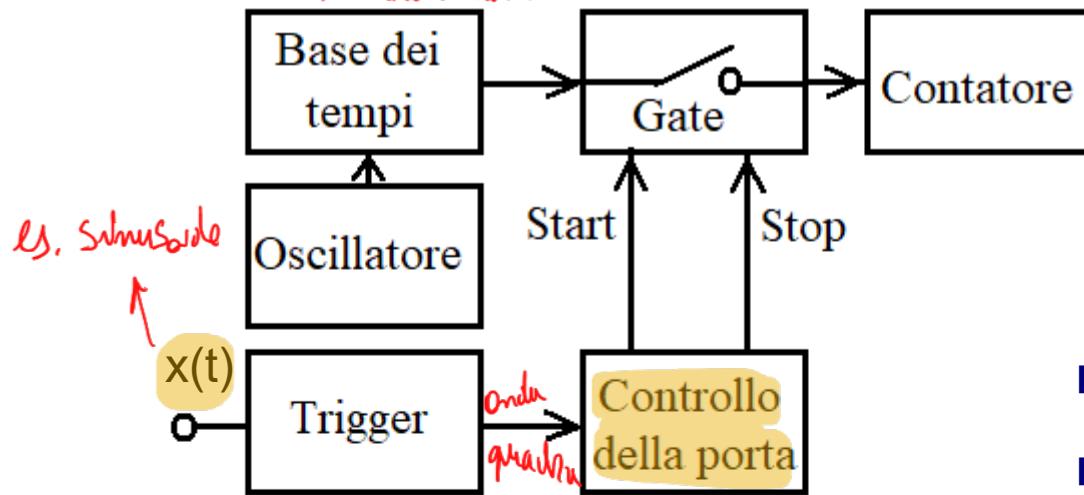
- apertura della porta per un periodo del segnale di ingresso

↗ Attre la porta in corrispondenza dell'inizio e della fine di un periodo.

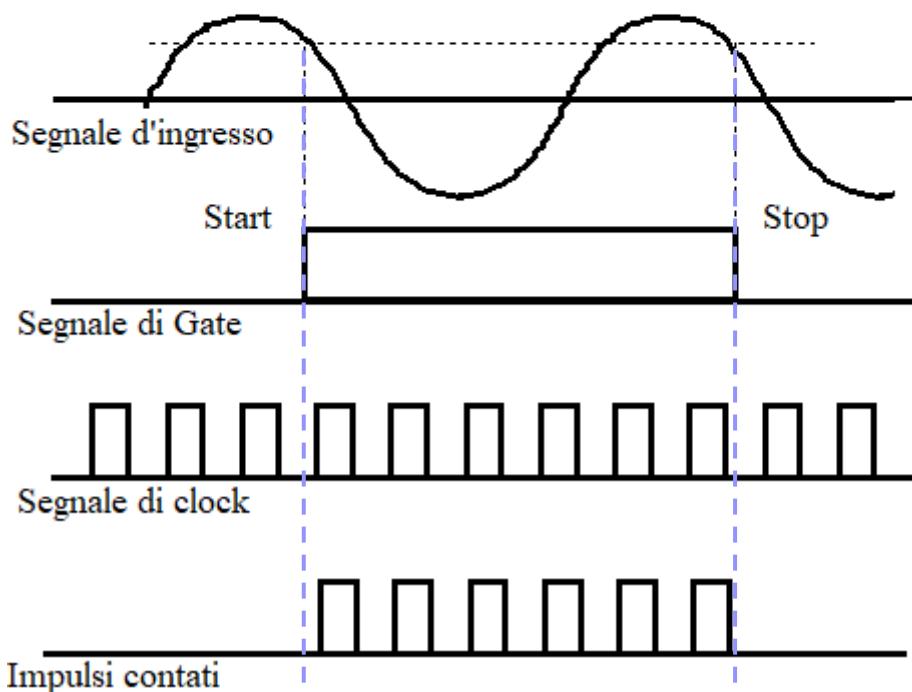
- impulsi di conteggio periodici forniti dalla base dei tempi

# Misurazione del periodo

*eventualmente dritta su Jm*



*Eg. sinusoido*



- $T_x$  periodo incognito
- $T_c$  periodo del clock

$$T_x = T_{on} \cong N_c \cdot T_c$$

*M<sub>n</sub>* 1 periodo del segnale non ci sta un numero intero di periodi del clock

*Uguaglianza rigorosa*  
Non è estremamente rigorosa  
Perché circuiti analogici non sono perfetti.  
Ma sicuramente è più rigorosa  
di quella a destra.

# Misurazione del periodo

$$T_x = N_c T_c$$

$$\Delta_T = T_c$$

Tolleranza e risoluzione  $\Rightarrow$  Se voglio risoluzione migliore devo aumentare la frequenza del clock

- $\Gamma_T = \Delta_T / T_x = T_c / (N_c \cdot T_c) = 1 / N_c$
- Risoluzione relativa  $\Gamma_T$  inversamente proporzionale al numero di conteggi
- periodo  $T_x$  sufficientemente maggiore di  $T_c \Rightarrow N_c$  elevato
  - effetto tolleranza di conteggio trascurabile
- comportamento duale rispetto alla misurazione della frequenza

Quanto più grande è il periodo, migliore sarà la risoluzione

# Misurazione del periodo

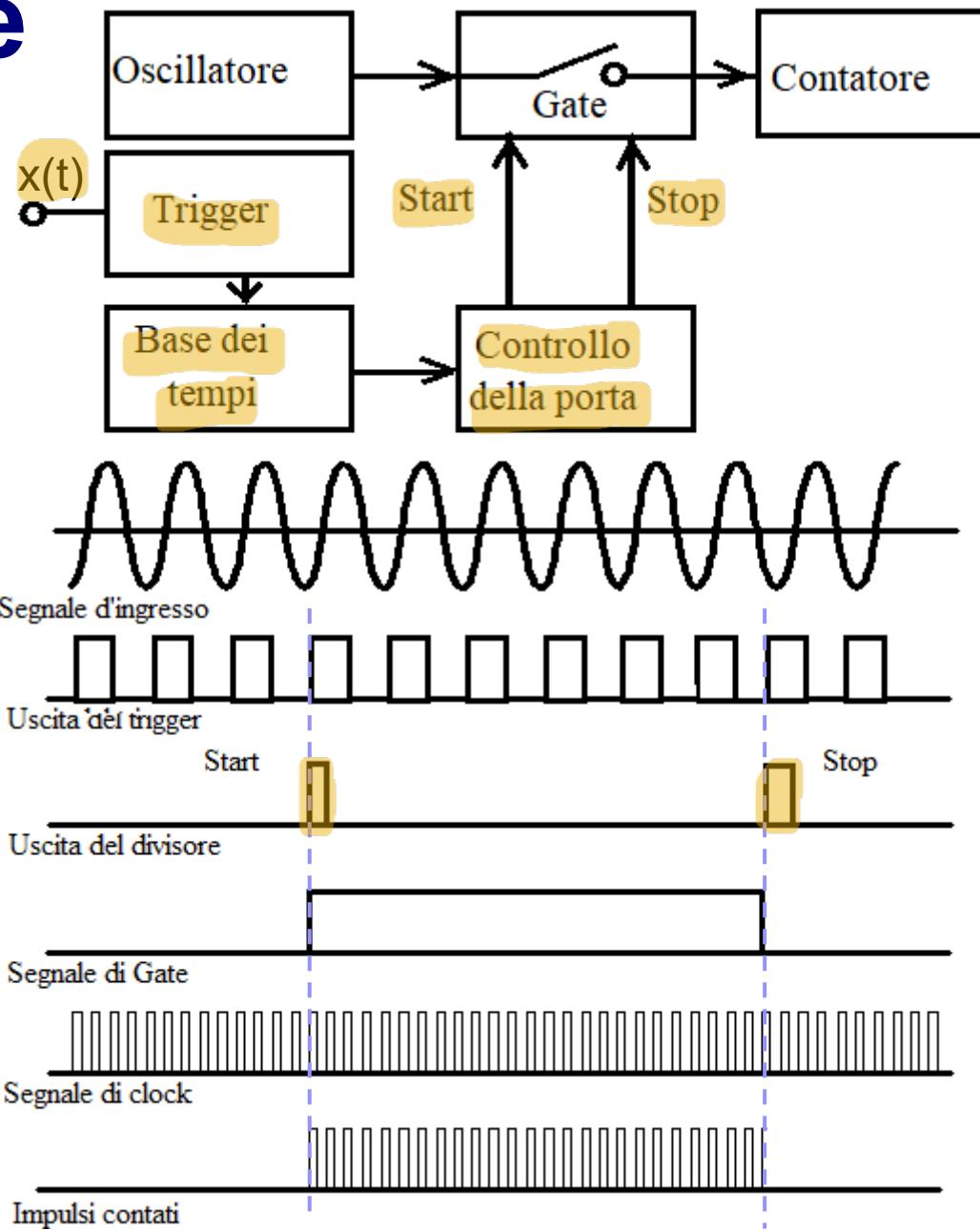
- accorgimento per migliorare la accuratezza nella misura di periodo
  - contare impulsi di clock per  $N_p$  periodi del segnale
- si aumenta il tempo di misura
$$T_{on} = N_p \cdot T_x$$
- si misura un periodo medio

*Cambia la risoluzione relativa, non quella assoluta.*

*Può capitare che il segnale cambia e ha un periodo che oscilla*

# Misurazione periodo medio

Note: Passo segnale nella base dei tempi:  
 dividendo la frequenza del segnale, moltiplicando  
 il periodo. Dividendo la frequenza per il  
 numero di periodi che voglio contare,  
 così per  $N_p$ , perché così dividendo  
 non buso alla risoluzione relativa  
 quindi ho utilizzazione ogni  $N_p$  periodi



# Misurazione periodo medio

$$N_p T_x = T_{on} \cong N' c \cdot T_c$$

↑ numero di impulsi più alto  
 ↳ non necessariamente un multiplo di  $N_c$

$$T_x = T_{on} / N_p = N' c \cdot T_c / N_p$$

- $N_p$  numero di periodi  $\Rightarrow$  incertezza trascurabile  $\Rightarrow$  non rientra nella risoluzione assoluta

- risoluzione:  $\Delta_T = T_c / N_p$       minima variazione nel misurando  $1 - \frac{T_c}{N_p}$

- risoluzione relativa

$$\Gamma_T = \Delta_T / T_x = T_c / N_p \cdot T_x = 1 / N' c$$

Come se avessi moltiplicato la frequenza di clock di  $N_p$ .

Ho solo allungato periodo di misura.

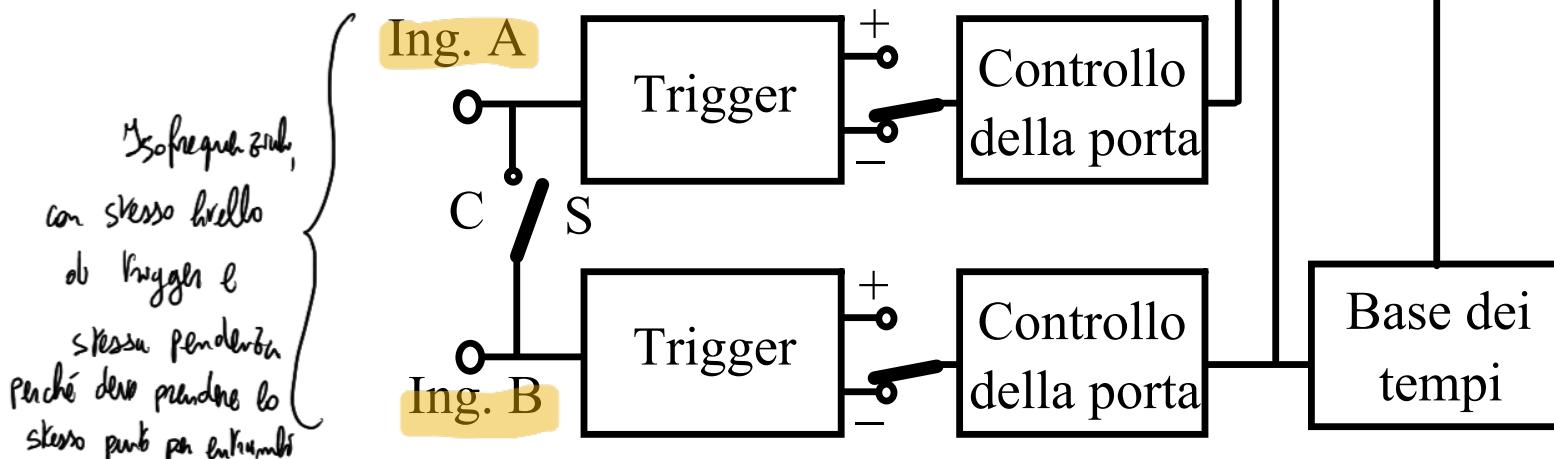
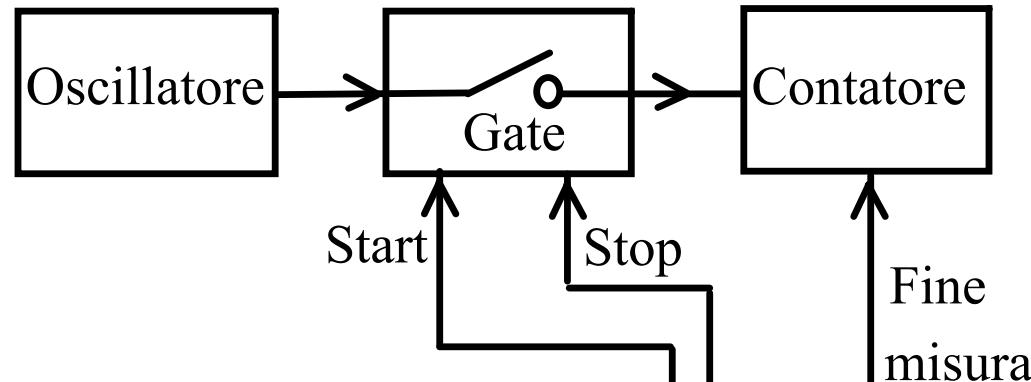
Questo con  $H_p$  per cui periodo rimane costante: nell'overclock non è richiesto.  $H_p$  non fortissima comunque, soprattutto se  $N_p$  grande.

# Misurazione periodo

- un periodo:  $N_c = T_x / T_c$
- periodo medio:  $N'_c = N_p \cdot T_x / T_c$   
 $\Gamma_T = 1 / N_c$
- esempio
- $N_c = 100$
- $N_p = 10$
- $N'_c = 1000$

# Intervallo di Tempo Multiplo

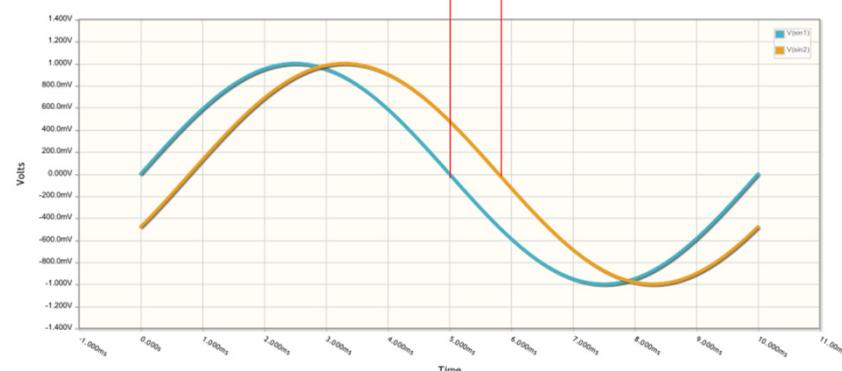
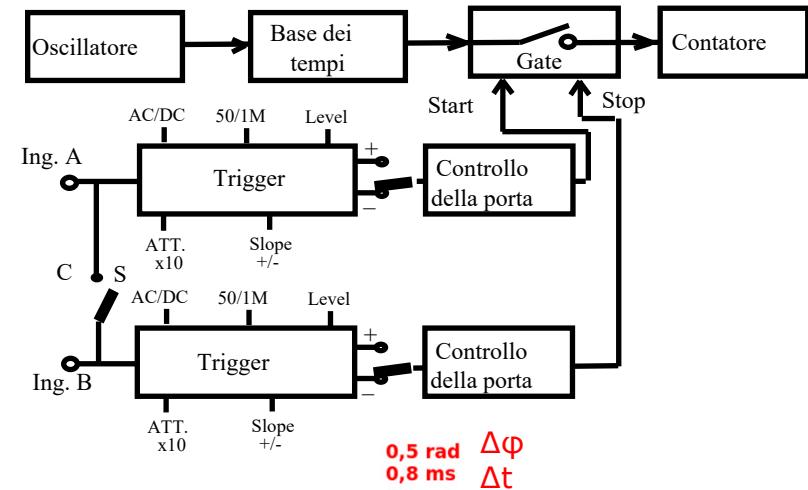
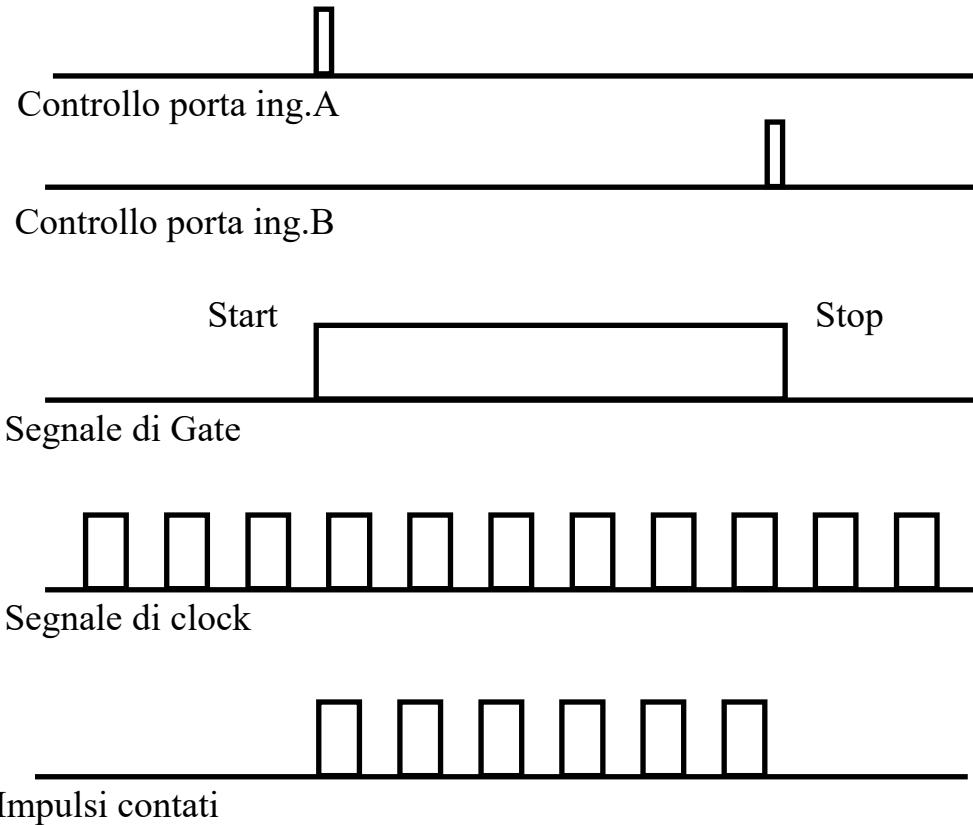
Misura  $\Delta t$  tra  
2 segnali diversi:  
es: misuraz. di ritardo di fase.



Questa configurazione si può utilizzare anche per migliorare le misure di **ritardo di fase**

Misuriamo l'intervallo nel cui la porta è aperta come al punto prima.

# Misurazione intervallo di Tempo



Per la misura di ritardo di fase è necessaria anche la misurazione del periodo dei segnali,  $T$

*Nota: per poter fare misure multiple: bisogna aprire e chiudere un certo numero di volte.*

$$\Delta\phi : 2\pi = \Delta t : T$$

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{\Delta t}{T}$$

*Ritardo di fase, intervallo di tempo  
Nota: i segnali devono essere iso frequenziali*

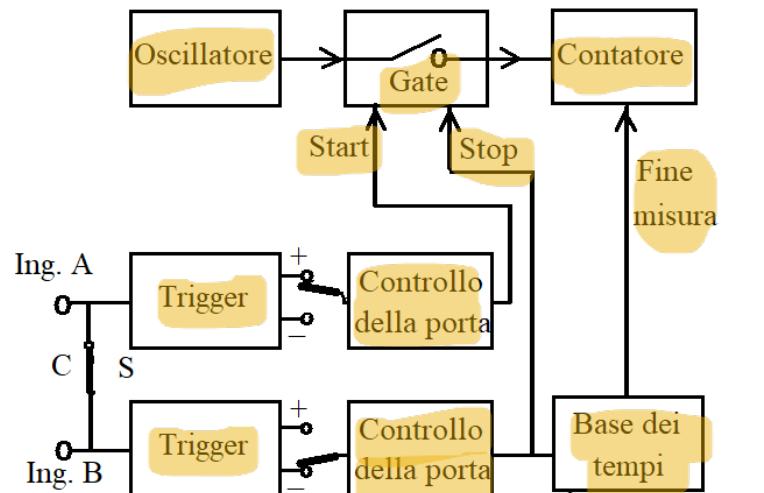
# Misura durata di Impulso

Intervallo che intercorre fra l'istante in cui fronte di salita tocca il 50%

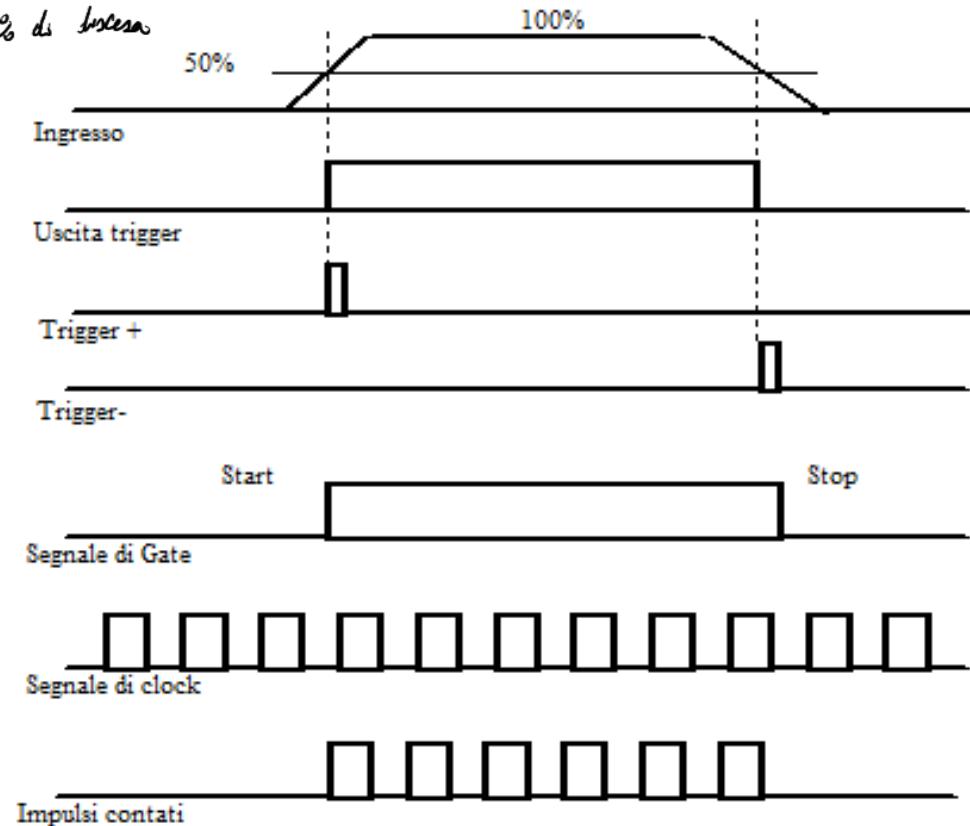
dell'escursione e istante in cui fronte di discesa tocca il 50% dell'escursione

uso il circuito di prima, con circuito di trigger che ha stesso livello,  
ma perdeci ritardo: uno dà impulso al 50% di salita, uno al 50% di discesa

Esempio: impulso modellato così:



Secondo impulso  
può essere rilevato  
per effettuare misure  
multiple



# Contatore reciproco

Decide <sup>↓</sup> la misura quale effettuare in base all'intervallo  
di misura scelto (fisso  $T_{av}$ )

Misura la frequenza ha limite;  
Frequenza bassa ha misura scarsa.  
Convene di più misure parallele. Ma  
Se non conosco  $m$ ?

- misurazione di periodo o di frequenza scelta in modo automatico
  
- display  
indicata sempre la grandezza richiesta dall'operatore

# Contatore reciproco

Fissata la durata  $T_{on}$  della misurazione

- misurazione della frequenza

$$\Gamma_F = \Delta_F / f_x = 1 / (T_{on} f_x) \text{ fissato}$$

- misurazione del periodo (medio)

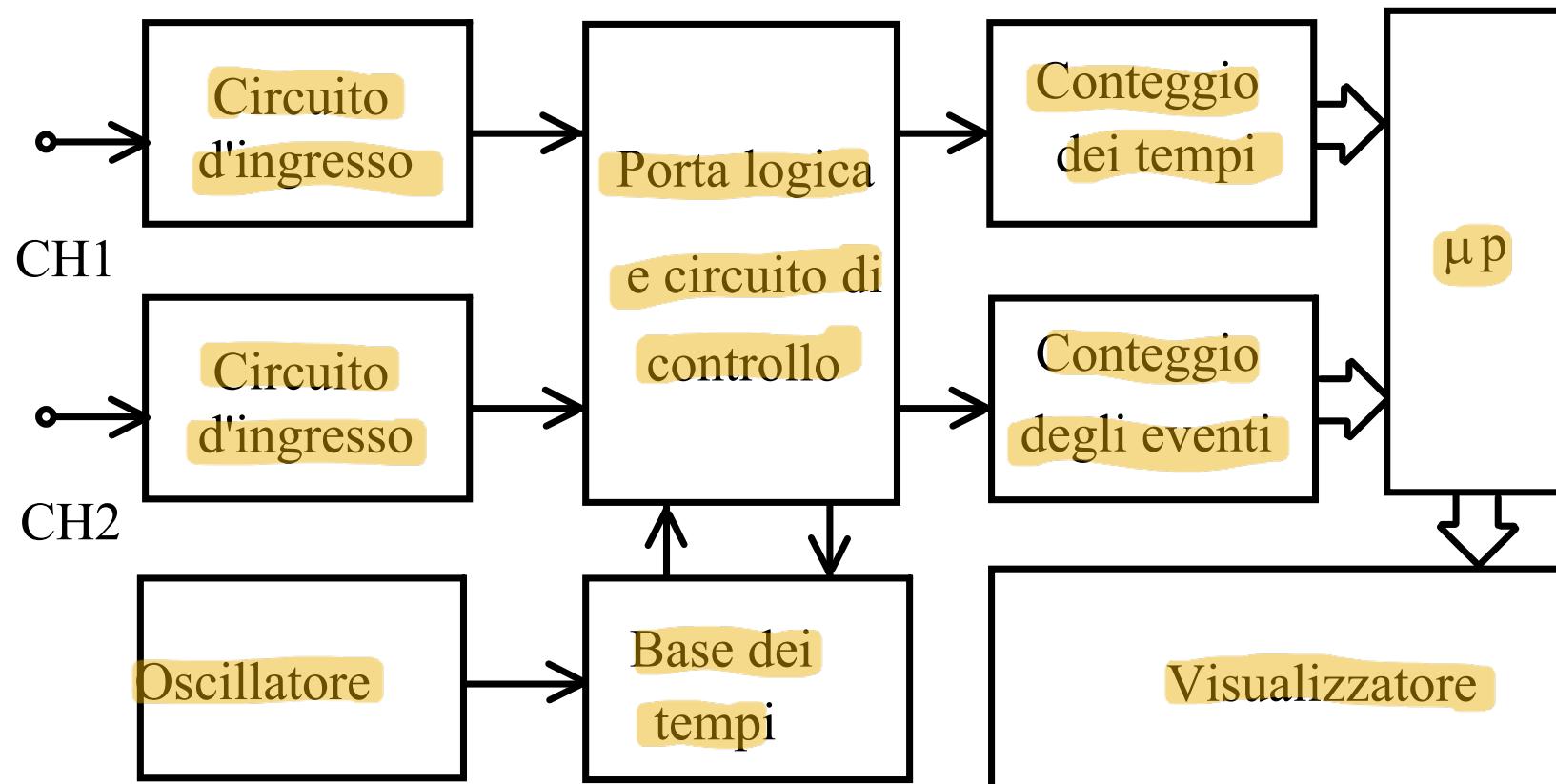
$$\Gamma_T = \Delta_T / T_x = T_c / T_{on} = 1 / (T_{on} F_c)$$

Uno dipende dalla frequenza  
del segnale, uno no.

$T_c$  = periodo del clock

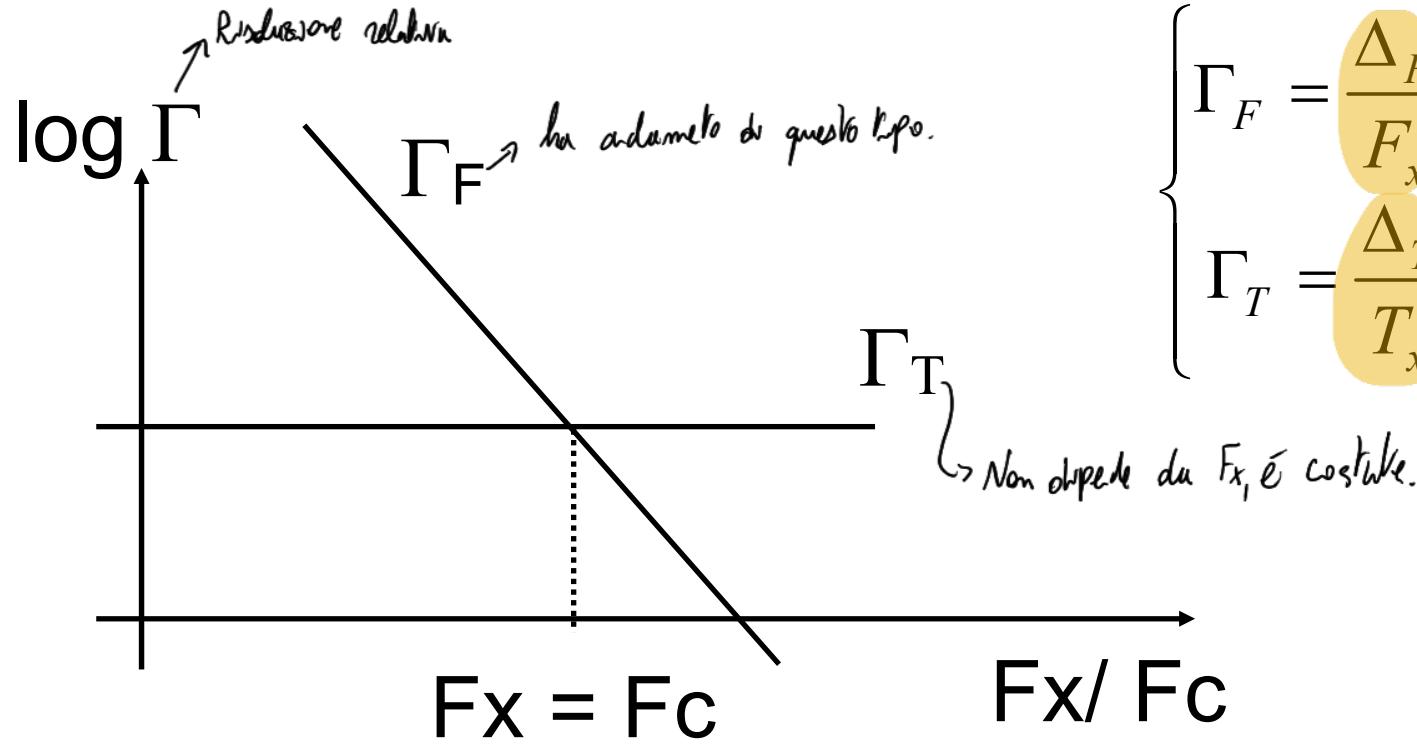
Contatore misura entrambe e restituisce quella che ho deciso:

# Contatore reciproco



Contatore può rendere conto che una scelta è migliore, capendo qual è quell'che più accorta e restituendo quella o ne farà il reciproco. Decide in base alla misura, relativa

# Contatore reciproco



$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_F = \frac{\Delta_F}{F_x} = \frac{1}{T_{on} F_x} \\ \Gamma_T = \frac{\Delta_T}{T_x} = \frac{T_c}{T_{on}} \end{array} \right.$$

Quando, se  $\Gamma_T < \Gamma_F$   
è più conveniente misura  
il periodo.

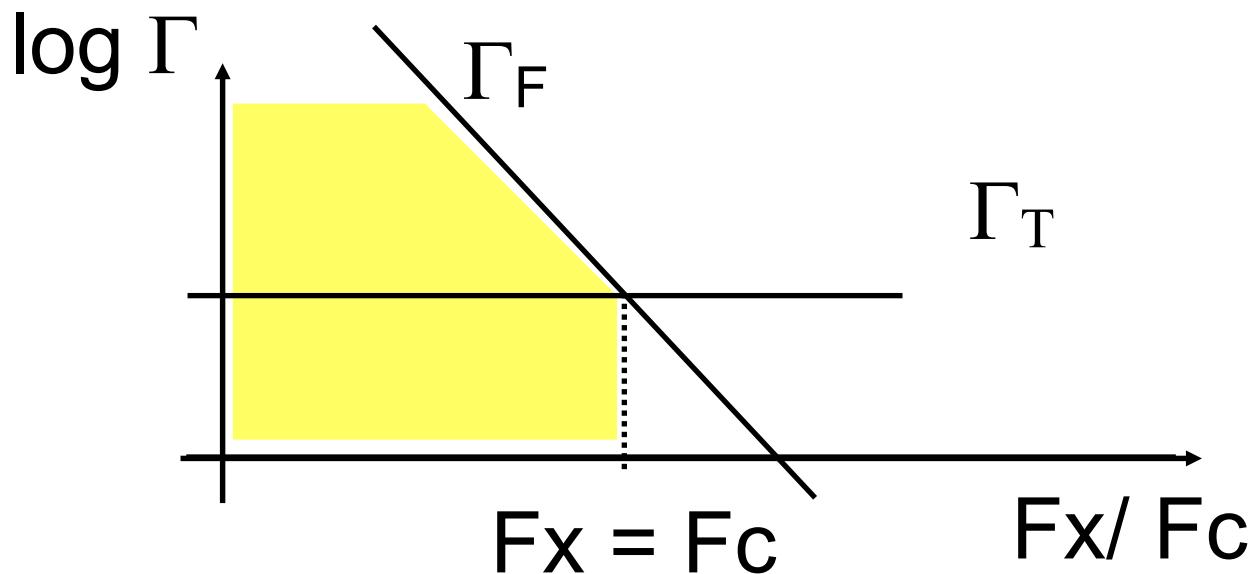
$$\Gamma_F = \Gamma_T$$

$$\frac{1}{T_{on} f_x} = \frac{T_c}{T_{on}}$$

$$f_x = \frac{1}{T_c} = f_c$$

Potendo che  $F_c$  convenga minimizzare il periodo  $\Rightarrow F_c$  quella su cui baso la misurazione

# Contatore reciproco



- se  $F_x < F_c$   $\rightarrow \Gamma_T < \Gamma_F$

Misura più accurata: quella che ha ragione relativa minore.