Sistemi Elettronici Tecnologie e Misure

DSO: prime misure

Modalità di campionamento

Sonda oscilloscopio

Banda e tempo di salita

Testo di riferimento:

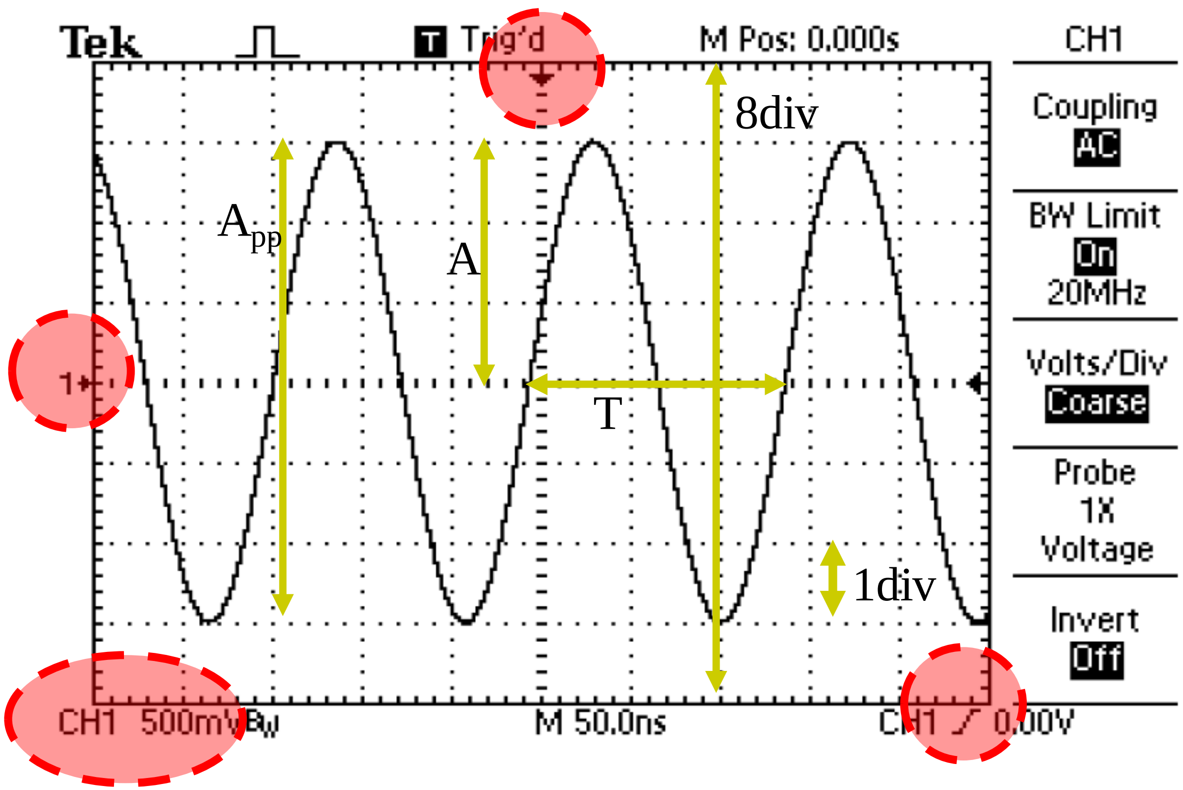
Fondamenti di misure e strumentazione elettronica

Carullo-Pisani-Vallan, CLUT-2006

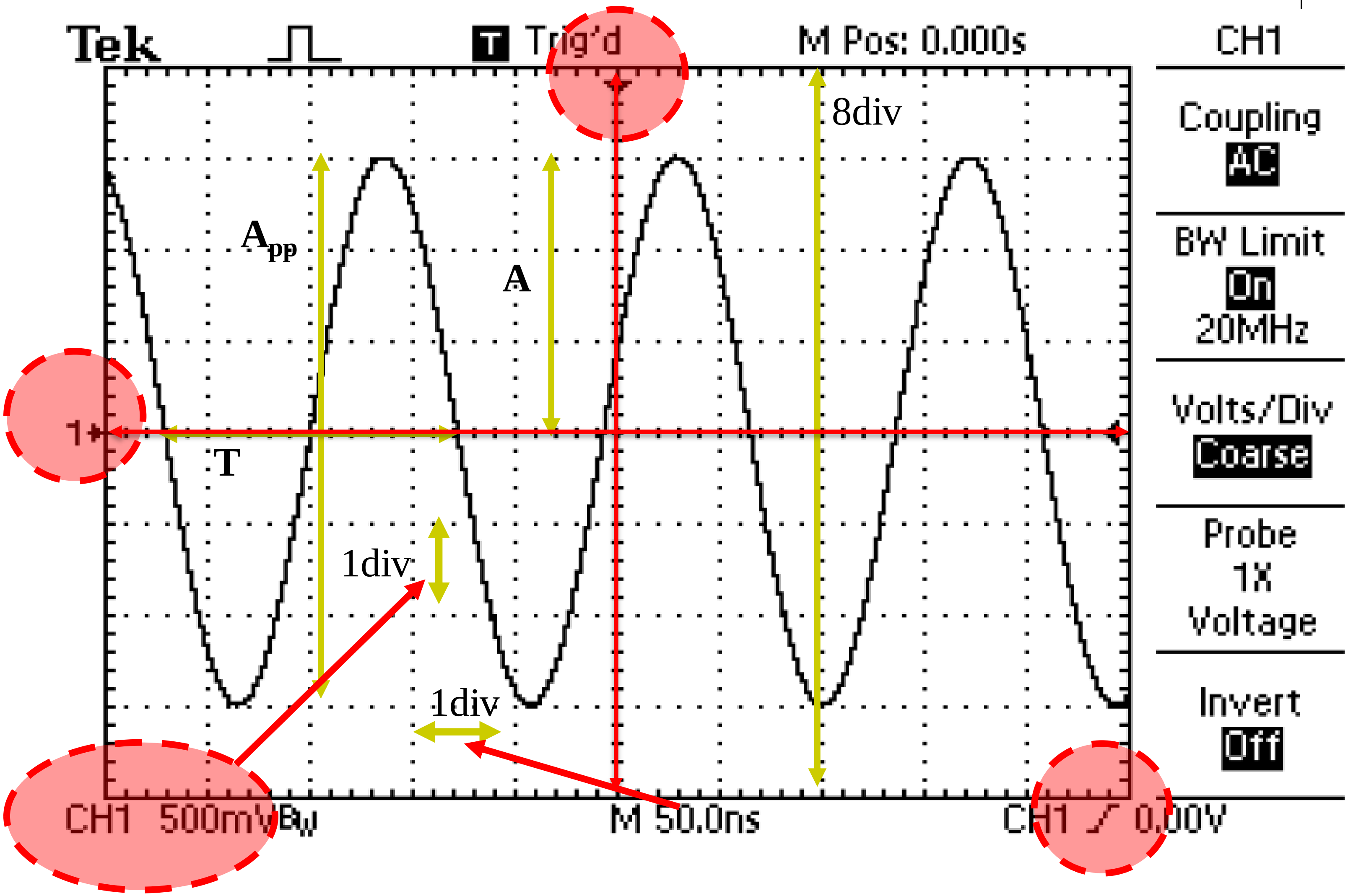
Online consultate: http://home.deib.polimi.it/svelto/didattica/materiale_didattico.html

Acquisizione dati:digitalizzazione di segnali analogici

Diamo un'occhiata all'immagine rappresentata in un DSO al cui ingresso è presente un generico segnale sinusoidale $s(t) = A \cdot \sin(\frac{2\pi}{T} t)$

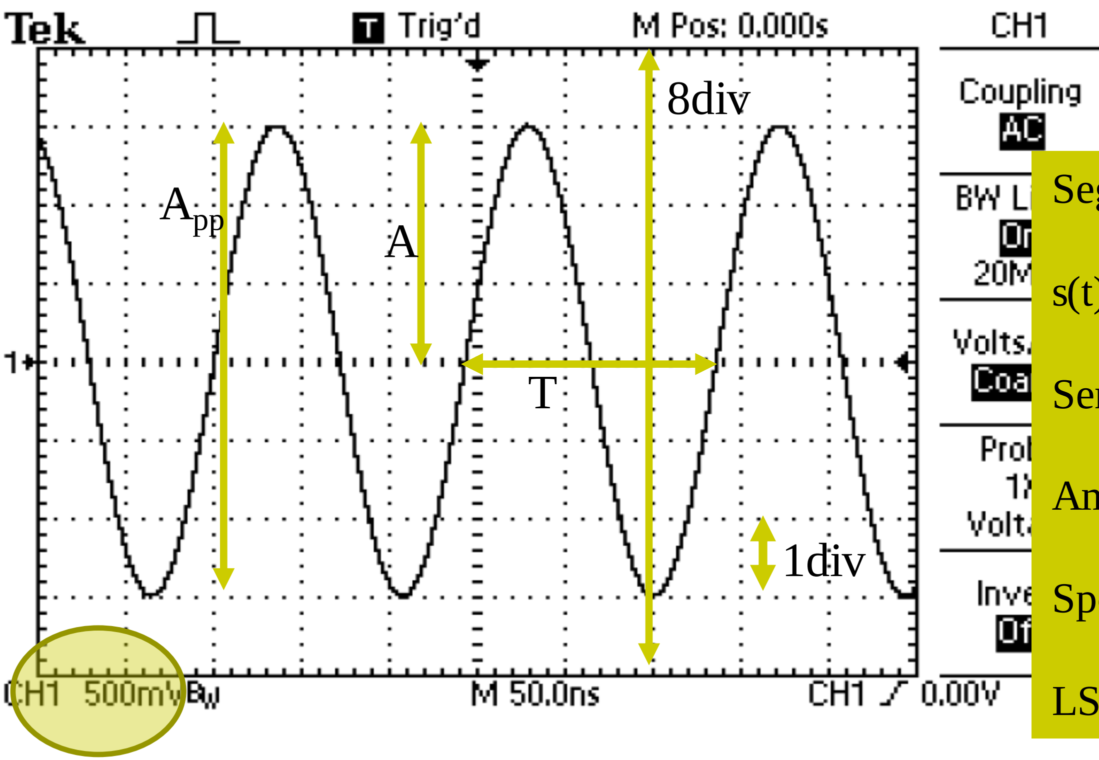


Acquisizione dati:digitalizzazione di segnali analogici



Acquisizione dati:digitalizzazione di segnali analogici

Risoluzione dell'ADC: in generale con convertitore ad 8 bit l'incertezza di quantizzazione è sufficientemente piccola per gli scopi di misura in un DSO



Segnale sinusoidale

s(t)=A sin (2π/T·t) ; f=1/T

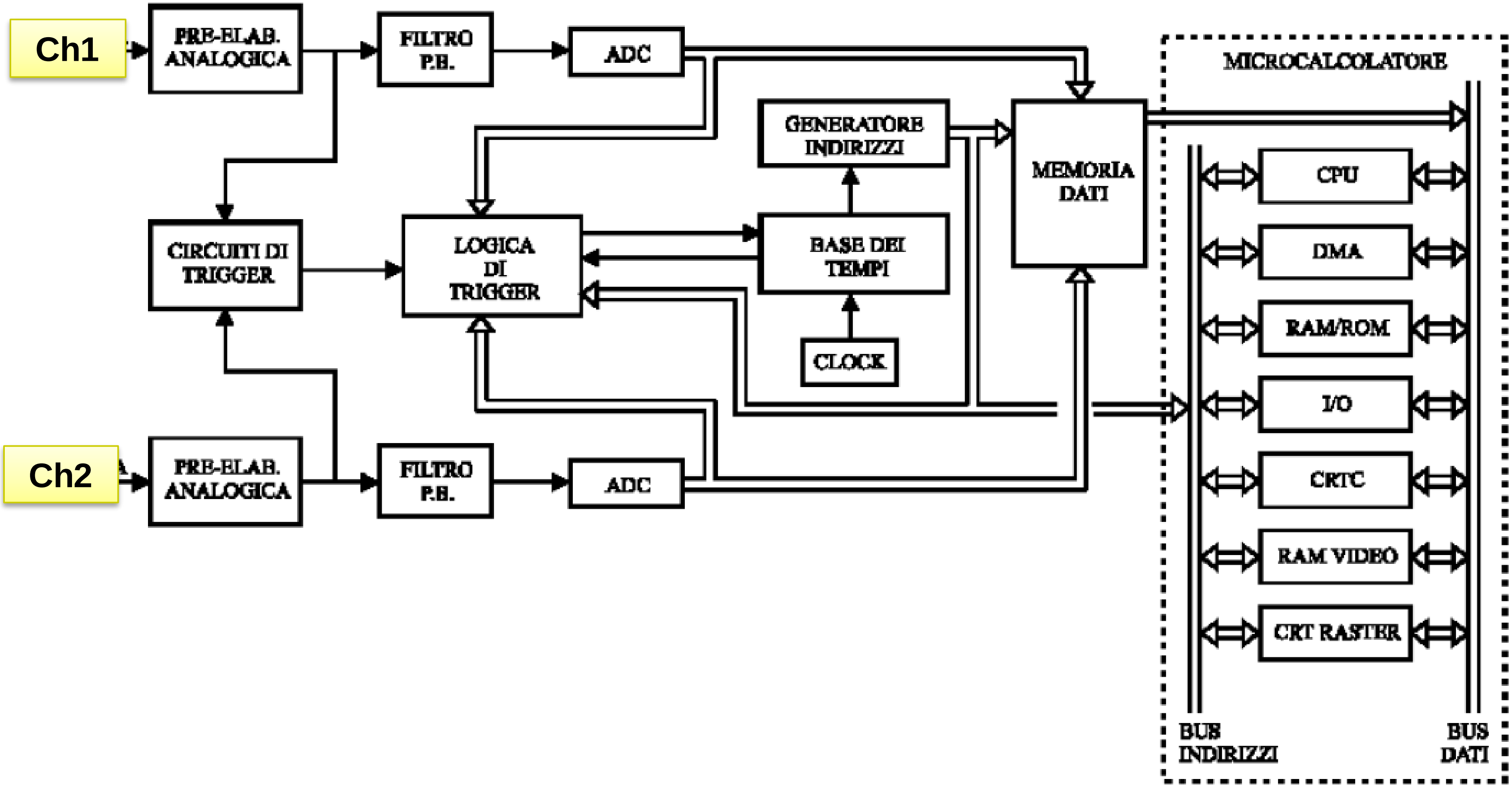
Sensibilità verticale=S_v=500mV/div

Ampiezza=A=3div·S_v=1.5V

Spessore traccia~1/20 div =0.05 div

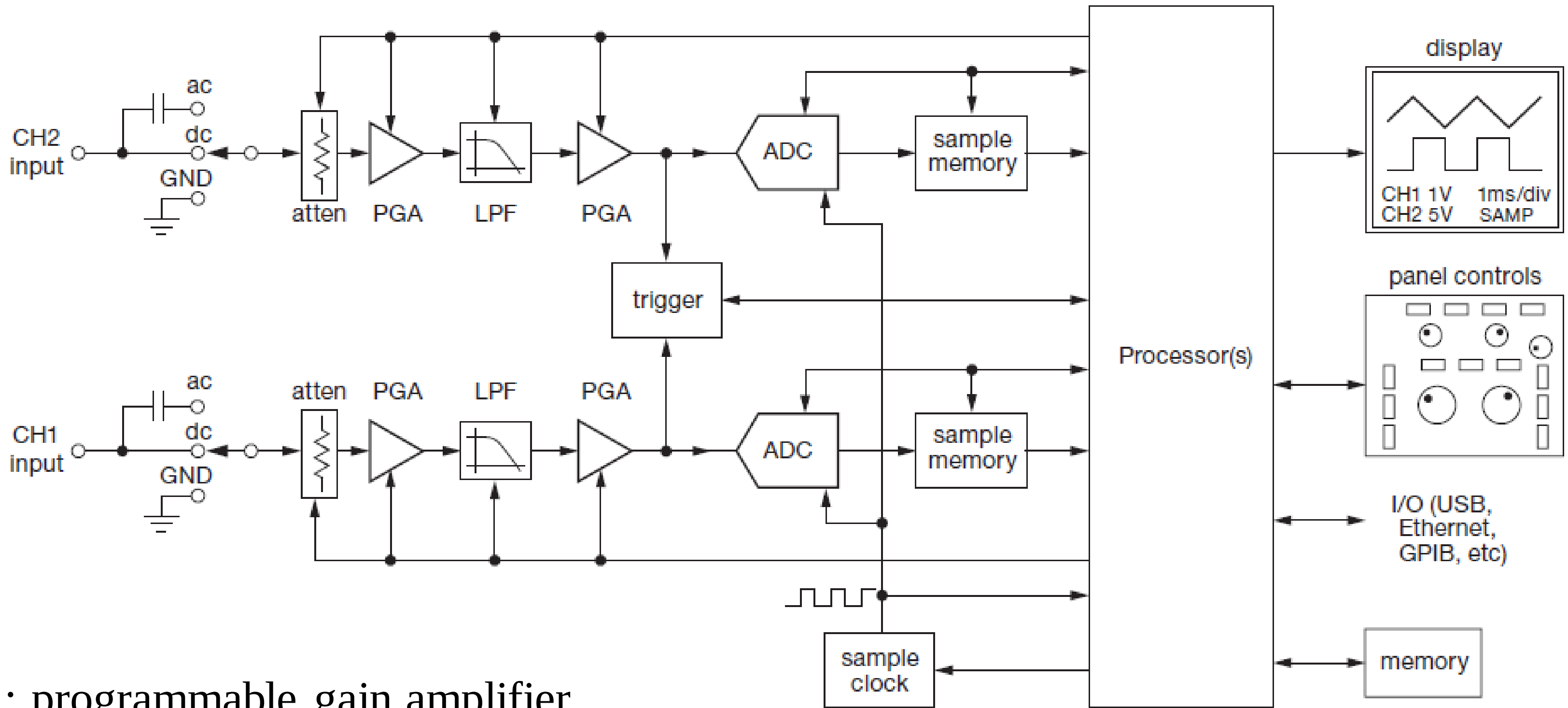
LSB = 8 div : 2^8 ~ 0.03 div

L'Oscilloscopio Digitale: schema di massima



Vedere in http://home.dei.polimi.it/svelto/...

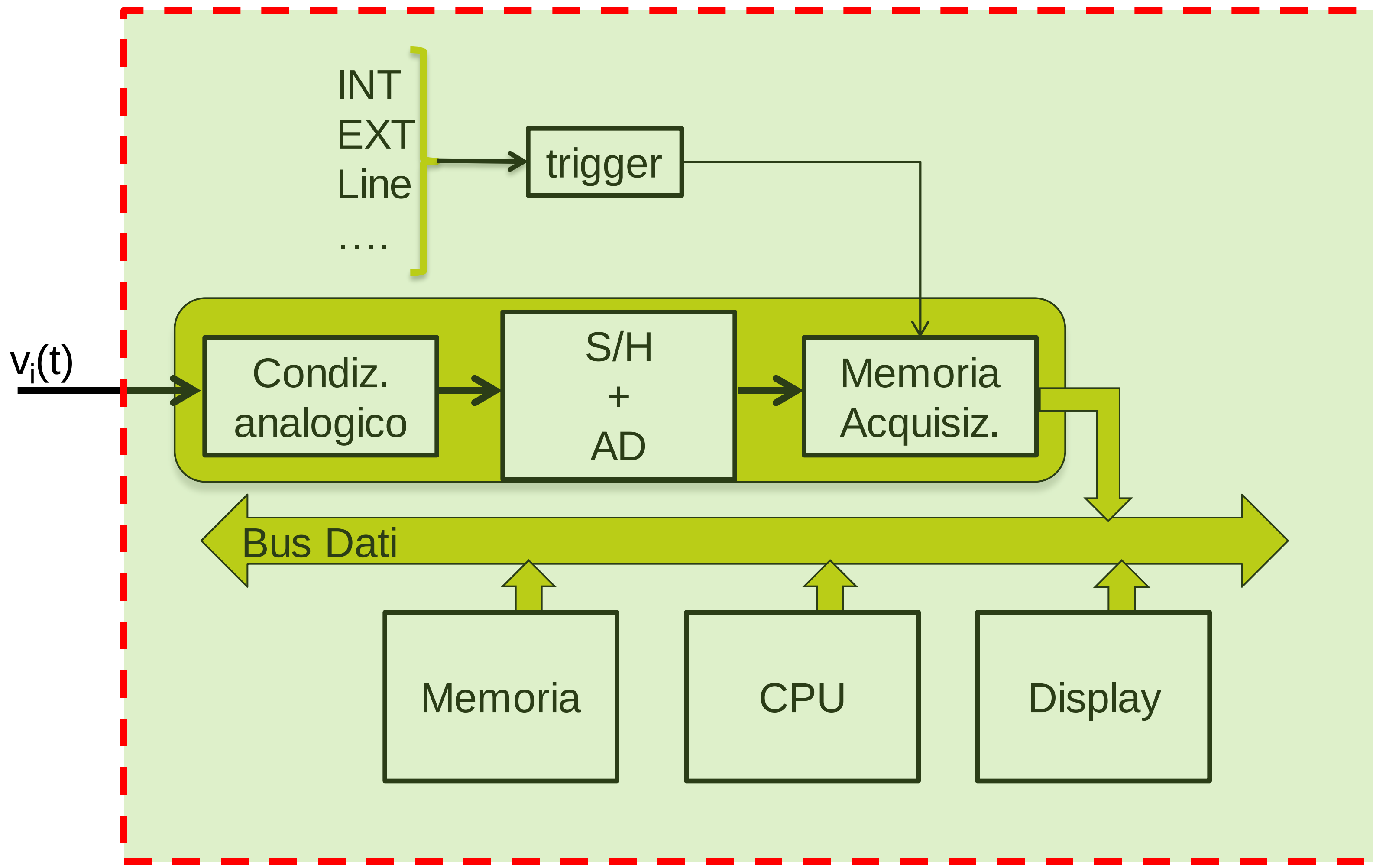
L'Oscilloscopio Digitale: schema di massima



PGA: programmable gain amplifier

Vedere: P. Horowitz, W. Hill, *The art of electronics*, CUP, 2015

L'Oscilloscopio Digitale: schema di massima



L'Oscilloscopio Digitale: modalità di campionamento

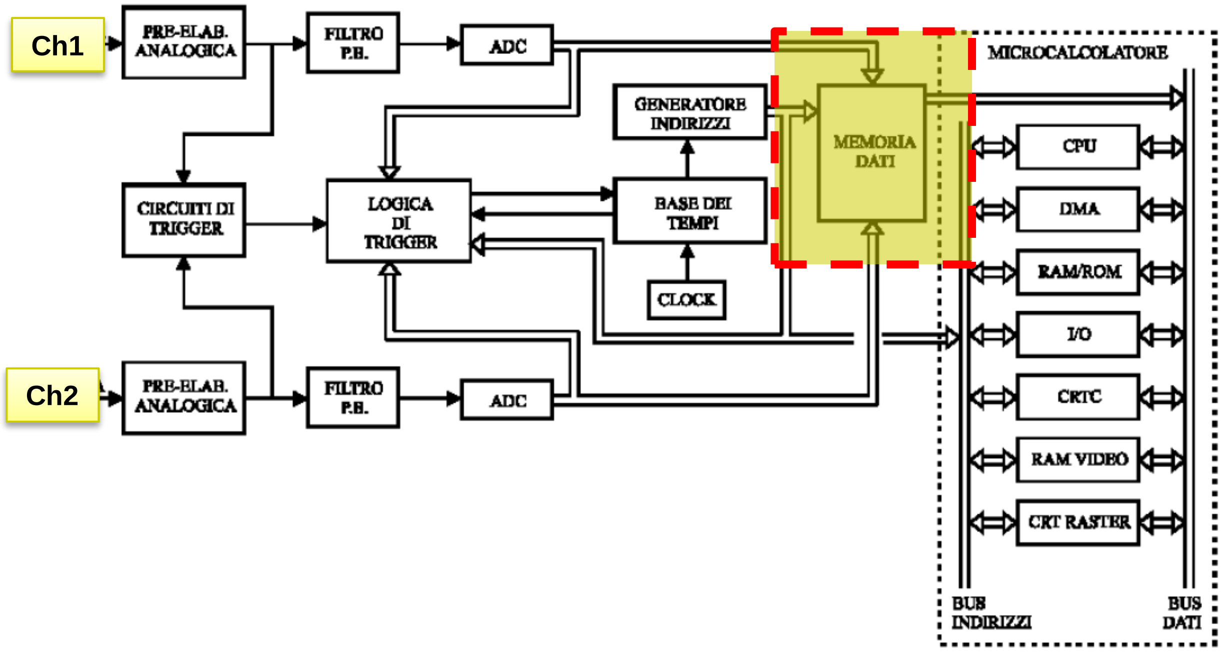
Tipicamente si hanno tre modalità di campionamento:

- In tempo reale (single shot)
- Campionamento sequenziale in tempo equivalente
- Campionamento casuale in tempo equivalente

La prima modalità è applicabile ad ogni segnale mentre le altre due solo a segnali periodici

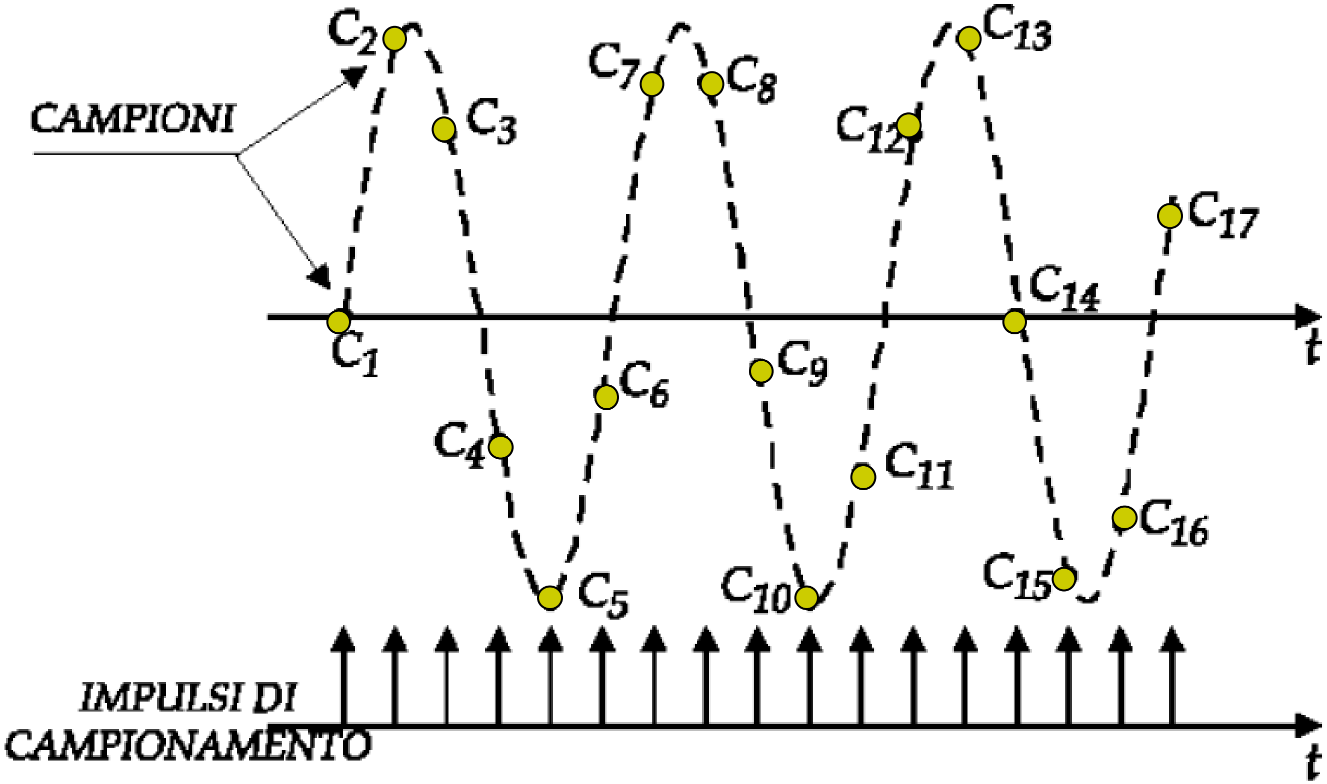
L'Oscilloscopio Digitale: campionamento in tempo reale

I campioni sono prelevati continuamente fino al completo riempimento della memoria di acquisizione (memoria dati) del DSO



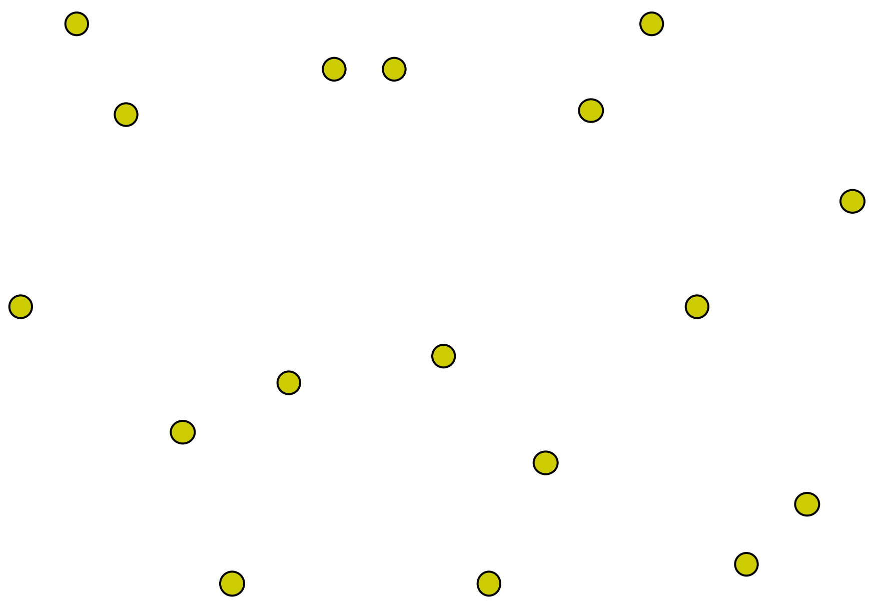
L'Oscilloscopio Digitale: campionamento in tempo reale

- Esempio: campionamento di una sinusoide (NB: 6 campioni ogni periodo)

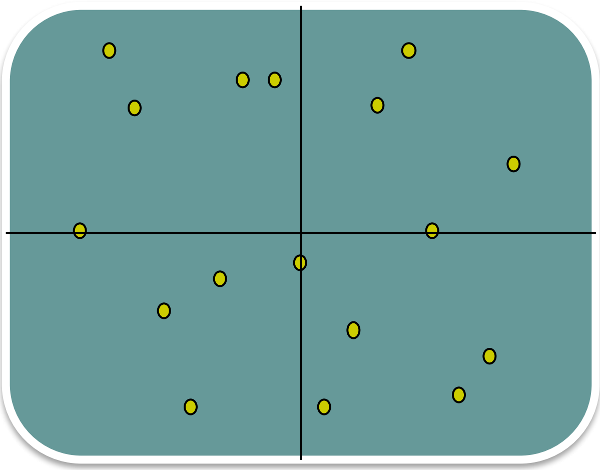


L'Oscilloscopio Digitale: campionamento in tempo reale

- Esempio: campionamento di una sinusoide (NB: 6 campioni ogni periodo)

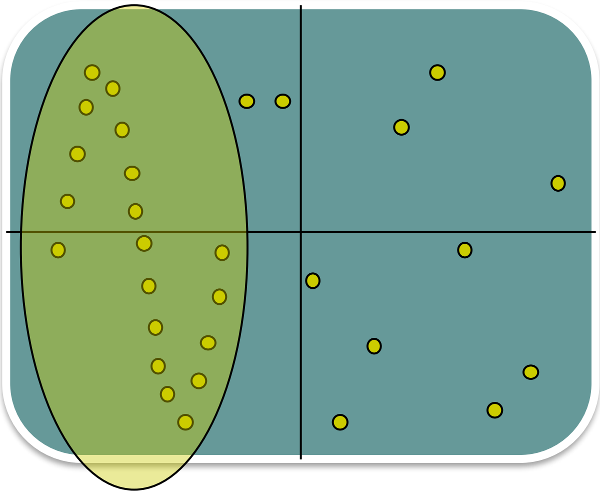


L'Oscilloscopio Digitale: campionamento in tempo reale



Risultato visivo:

In generale risulta più adeguato effettuare un campionamento in modo tale da ottenere almeno 20-25 campioni ogni



L'Oscilloscopio Digitale: algoritmi interpolatori

- Negli oscilloscopi digitali esistono algoritmi interpolatori che permettono di avere una rappresentazione migliore del segnale

- Interpolatore lineare: con circa 10 punti la rappresentazione del segnale "è accettabile"

- Alcuni oscilloscopi utilizzano filtri ricostruttori (tipo $\sin(x)\,/x$) per mezzo dei quali con circa 3 punti si ha già una comprensibile rappresentazione del segnale

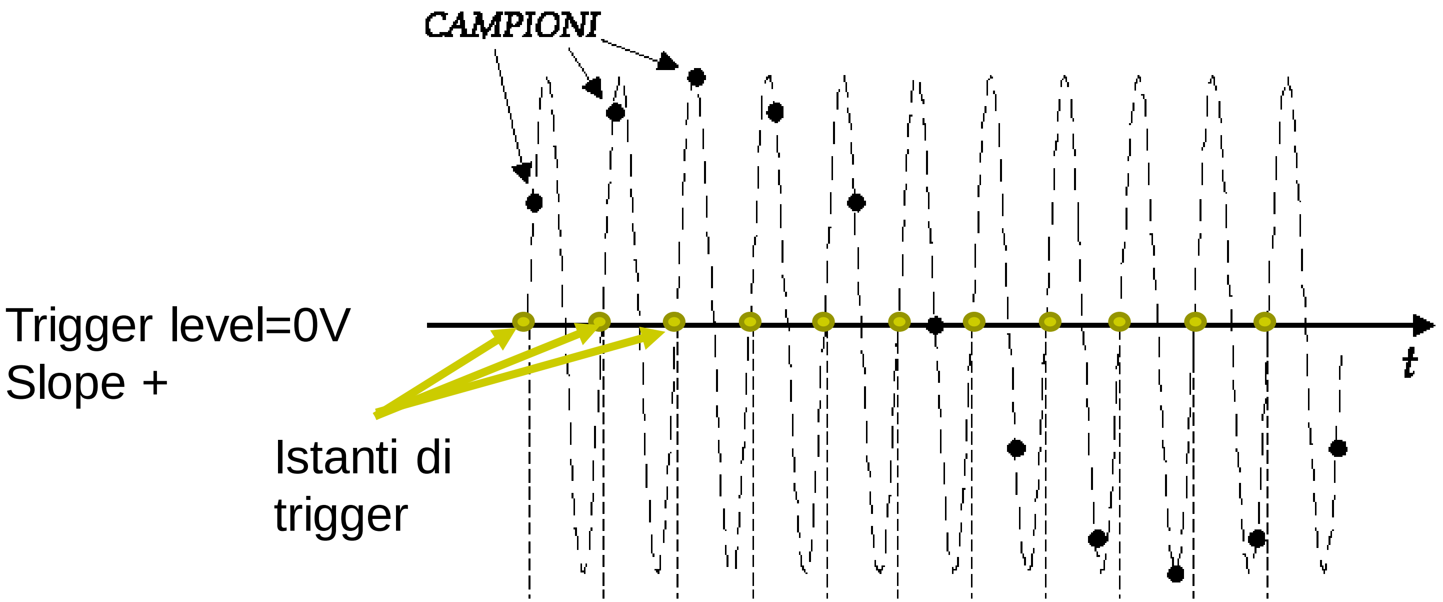
L'Oscilloscopio Digitale:
campionamento sequenziale in tempo equivalente

Il campionamento sequenziale in tempo equivalente è un "trucco" per poter campionare segnali periodici con frequenza di campionamento che non rispetta il criterio di Nyquist

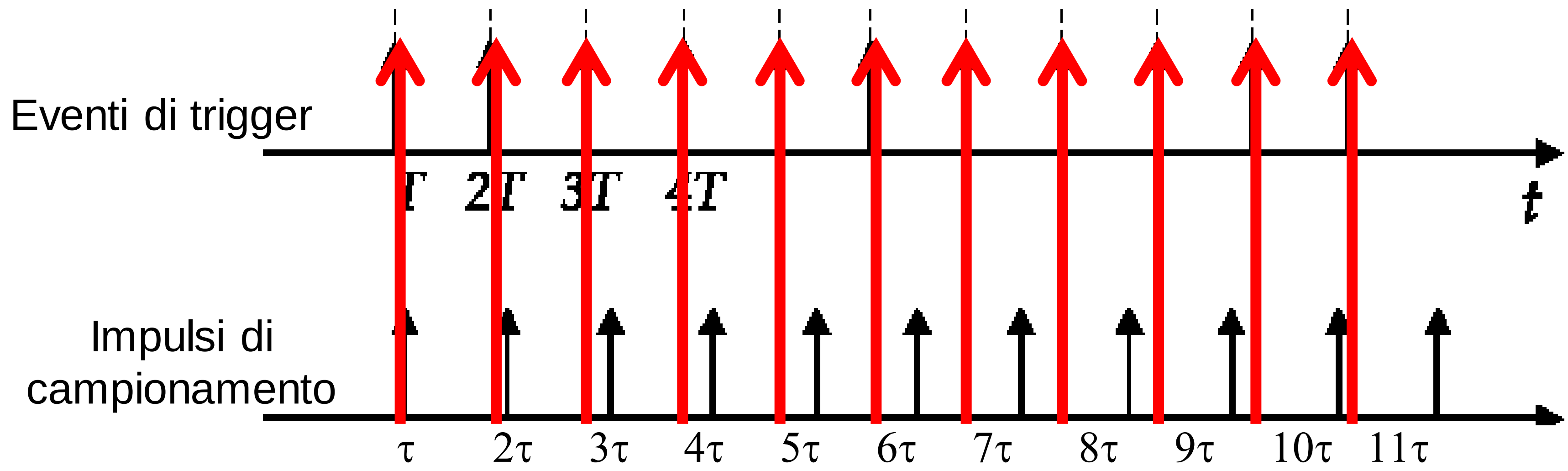
- Il primo passo consiste nell'individuare un istante di trigger univoco definendo il trigger level e lo slope
- Individuato l'istante di trigger, sincrono con il segnale, si acquisiscono campioni del segnale con un ritardo rispetto all'istante di trigger pari a τ, 2τ, 3τ, 4τ, ...

L’Oscilloscopio Digitale:
campionamento sequenziale in tempo equivalente

Gli istanti di campionamento avvengono dopo l’evento di trigger e sono ritardati da esso di τ, 2τ, 3τ, 4τ, 5τ, 6τ...



L'Oscilloscopio Digitale:
campionamento sequenziale in tempo equivalente



Sfruttando la periodicità T del segnale i campioni all'istante τ e τ+nT sono uguali

L'Oscilloscopio Digitale:
campionamento sequenziale in tempo equivalente

- L'istante in cui si campiona il segnale avviene in corrispondenza dell'evento di trigger ritardato di un intervallo di tempo τ, 2τ, 3τ, …

- La periodicità del campionamento è pari a

$$T_c = T + \tau$$

- È possibile anche "saltare" opportunamente nT prima di prelevare un nuovo campione ottenendo una periodicità del campionamento pari a $T_c = nT + \tau$ con evidenti vantaggi sulle specifiche di velocità del convertitore AD ottenedo una frequenza di campionamento pari a:

$$f_c = \frac{1}{nT + \tau}$$

L’Oscilloscopio Digitale:

campionamento sequenziale in tempo equivalente

- Tanto minore è τ tanto maggiore risulta la frequenza di campionamento equivalente ottenuta

- Il limite inferiore di τ è legato alla risoluzione temporale con cui il DSO può gestire il ritardo fra l’evento di trigger e l’impulso di campionamento (in alcuni DSO di elevata qualità si ottengono anche risoluzioni di alcuni ps)

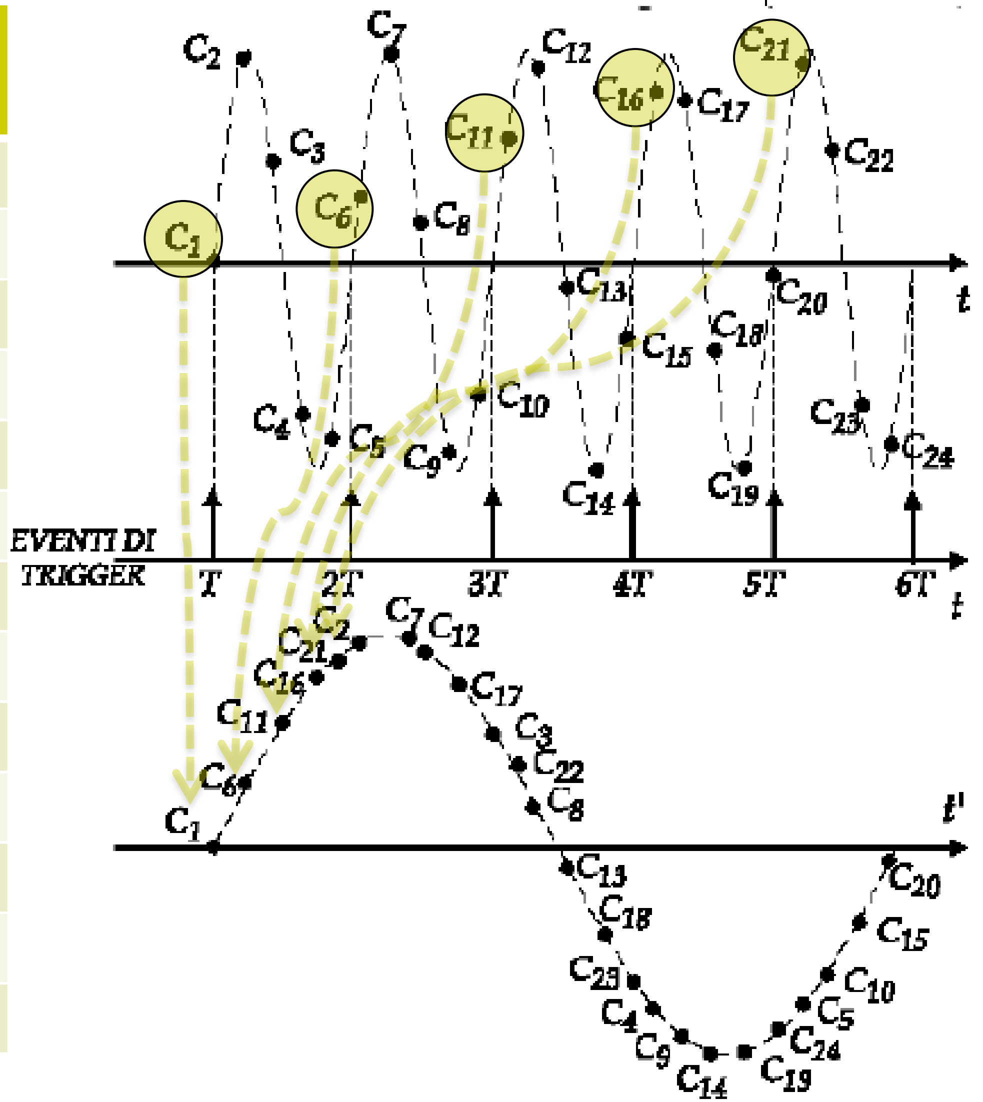
L’Oscilloscopio Digitale:
campionamento casuale in tempo equivalente

Il metodo del campionamento casuale in tempo equivalente prevede:

- L’acquisizione del campione in un istante assolutamente casuale rispetto l’evento di trigger
- Per ogni campione acquisito si misura l’intervallo di tempo Δt_i fra l’evento di trigger e l’istante di acquisizione del campione i-esimo C_i
- La rappresentazione sullo schermo avviene ricostruendo il segnale ordinando i campioni a partire dall’istante di trigger che segna l’origine della scala tempo del DSO

L'Oscilloscopio Digitale:
campionamento casuale in tempo equivalente

Campione	Δt_i /ns	Valore /mV
C_1	0.0	0
C_2	2.4	95
C_3	3.7	50
C_4	6.2	…
C_5	8.0	…
C_6	1.0 (dopo 2T)	…
C_7	2.5 (dopo 2T)	…
C_8	3.8 (dopo 2T)	…
C_9	7.0 (dopo 2T)	…
…		
C_{16}	2.2 (dopo 4T)	….
…		
C_{21}	2.3 (dopo 5T)	…

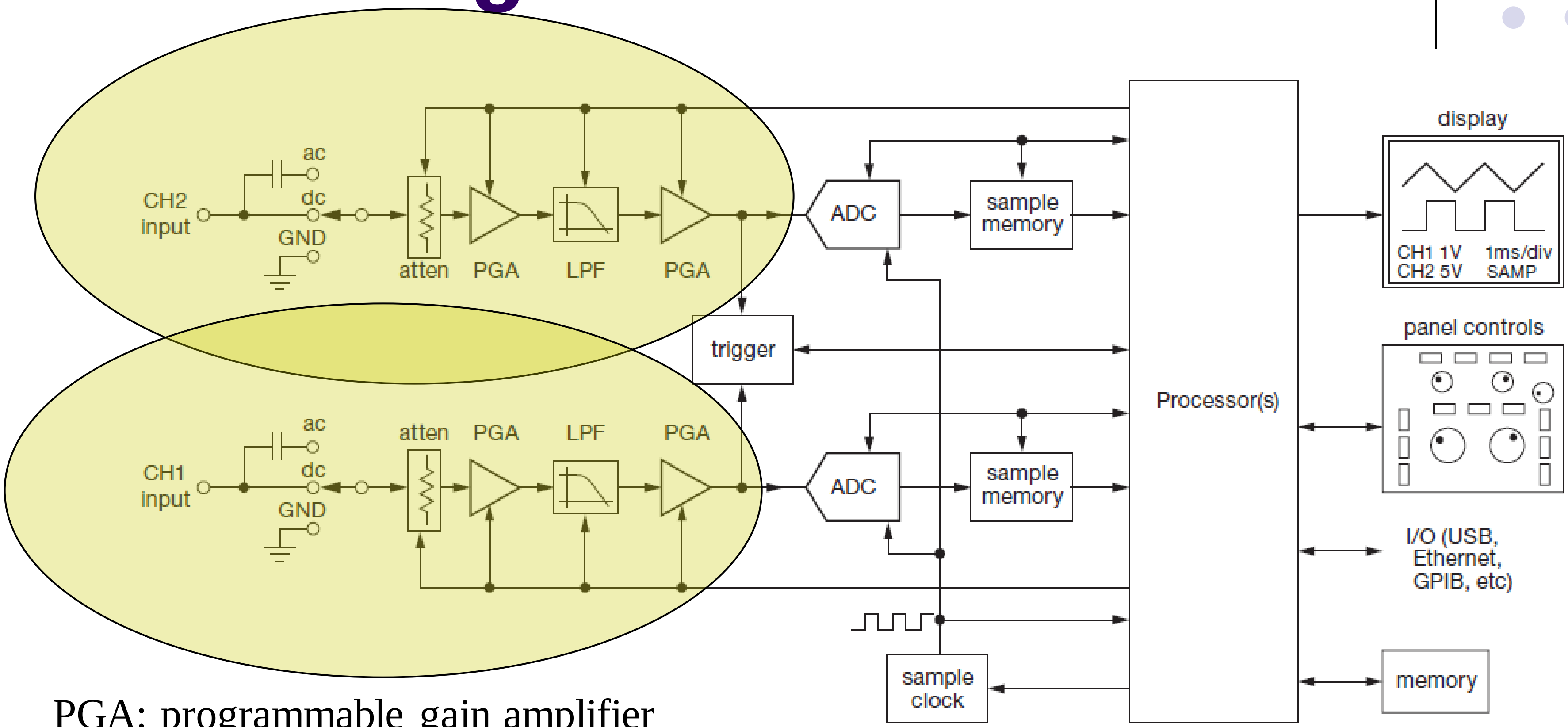


L’Oscilloscopio Digitale:
campionamento casuale in tempo equivalente

- Una unità di elaborazione avrà il compito del riordino temporale e assegnazione della posizione sullo schermo del campione C_i

- La risoluzione del tempo di misura dell’intervallo di tempo Δt_i è di alcune decine di ps

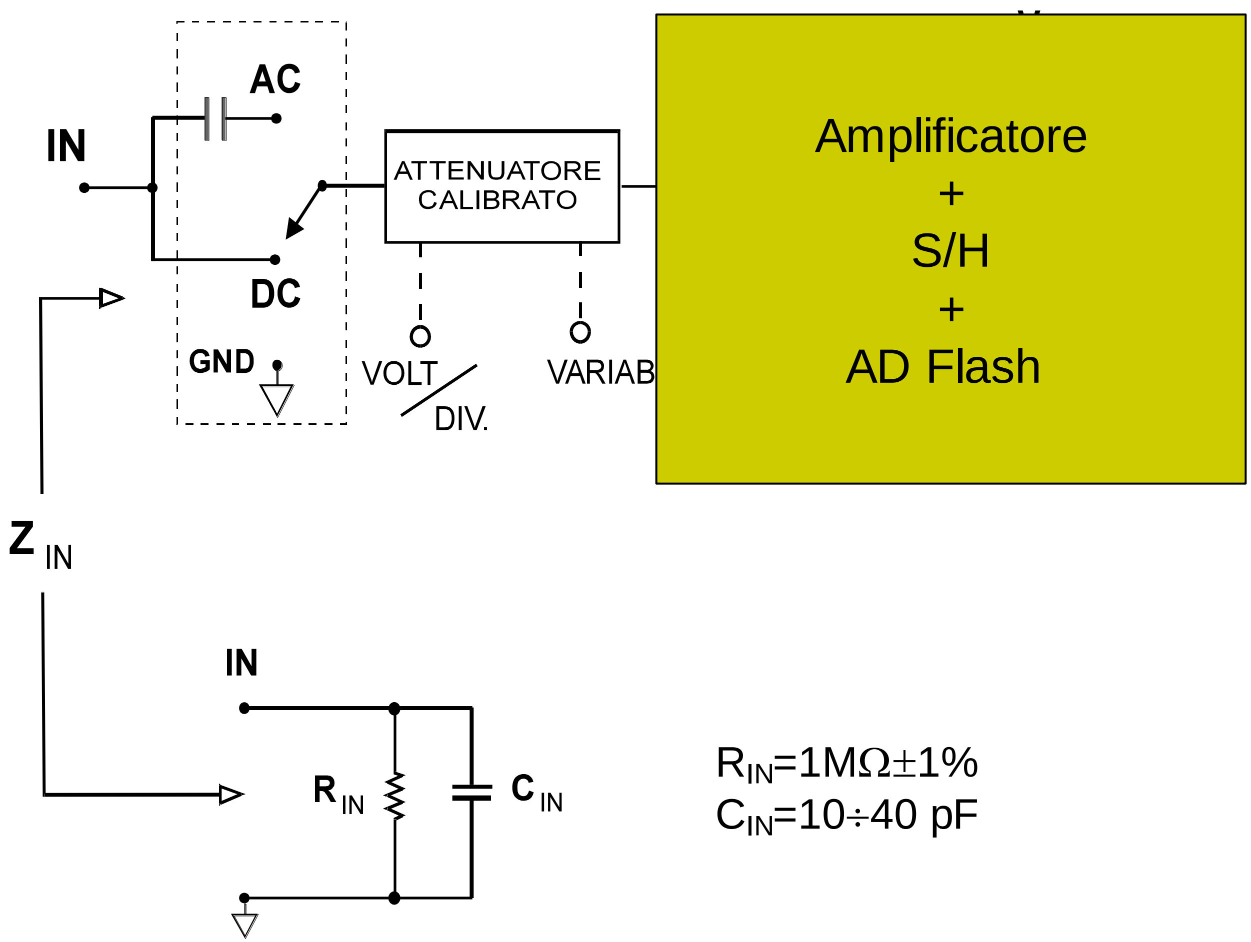
L'Oscilloscopio Digitale: Canale ingresso



PGA: programmable gain amplifier

Vedere: P. Horowitz, W. Hill, *The art of electronics*, CUP, 2015

L’Oscilloscopio Digitale: Canale ingresso

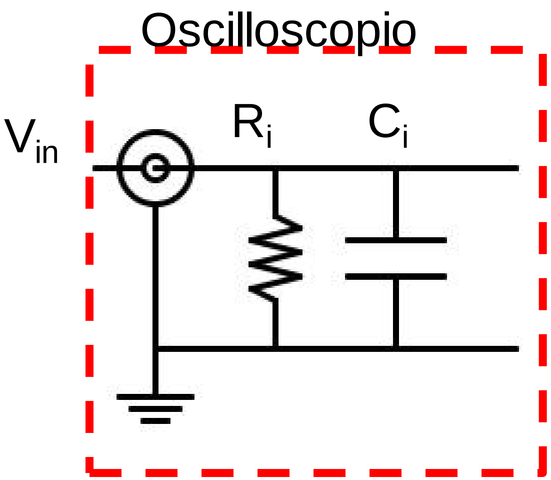


$R_{IN}=1M\Omega\pm1\%$
$C_{IN}=10\div40$ pF

L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Il circuito di ingresso di un oscilloscopio presenta una impedenza di ingresso costituita da:

- Una resistenza di ingresso di 1MΩ
- Una capacità di qualche decina di pF



Inoltre:

- La resistenza di ingresso ha un valore standard di 1MΩ (a volte, per particolari esigenze, può essere impostabile a 50Ω)
- La capacità di ingresso, in parallelo alla R_i, varia da pochi pF ad alcune decine di pF
- A valle del circuito di ingresso è presente un attenuatore variabile e uno stadio amplificatore

L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Teorema di Thevenin:

- In generale un qualunque circuito lineare, per quanto complesso esso sia, può essere ricondotto ad un circuito equivalente costituito da un generatore equivalente V_g ed una resistenza equivalente R_g

- Una volta scelti i nodi A e B a capo dei quali misurare la tensione di interesse, è possibile ricondurre il circuito ad un equivalente di Thevenin e rappresentarlo con due parametri elettrici rappresentativi: V_g e R_g

L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Cosa succede se colleghiamo due nodi A e B del nostro circuito all'ingresso dell'oscilloscopio?

- Il nodo collegato alla parte esterna del connettore BNC dell'oscilloscopio viene collegato al potenziale di terra (0V) !!!   PERICOLO PER IL CIRCUITO !!!
- Nell'ipotesi che il collegamento con il potenziale di terra non danneggi o modifichi il funzionamento del circuito allora dobbiamo domandarci:

ABBIAMO DEI LIMITI DI BANDA?

CHI LIMITA LA BANDA DEL SEGNALE?

L’ Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

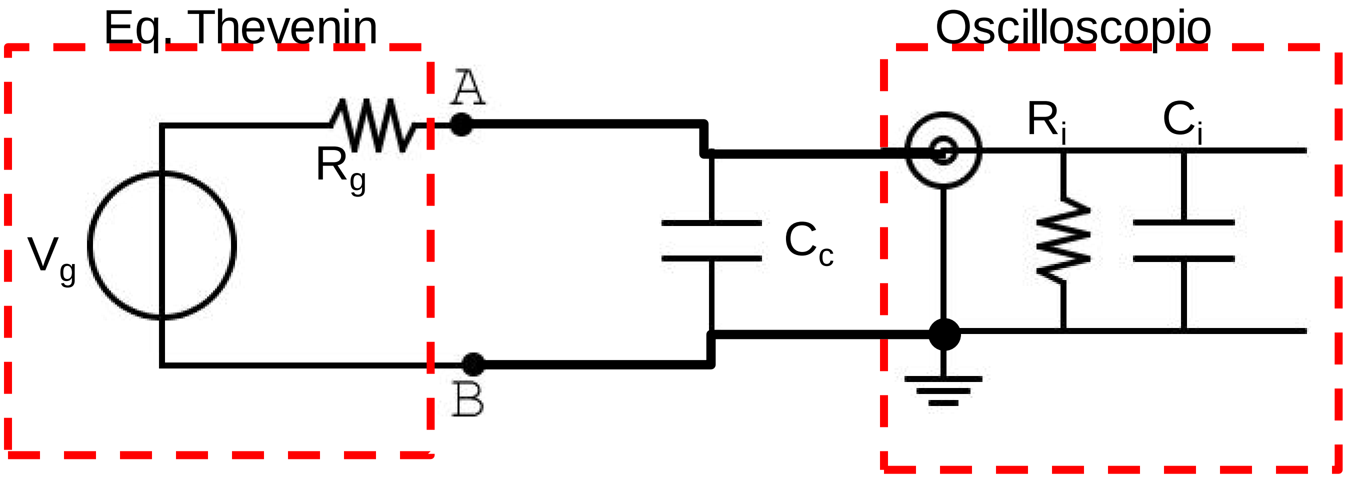
- In effetti il collegamento tra circuito e DSO potrebbe introdurre una limitazione di banda che non mi permetta di misurare correttamente il segnale V_g dell’ equivalente di Thevenin

- Il collegamento tra DSO e il nostro circuito avviene sempre per mezzo di cavi coassiali

- I cavi coassiali hanno una capacità di circa 80÷100 pF per ogni metro di cavo

L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

- Il circuito da studiare è dunque il seguente

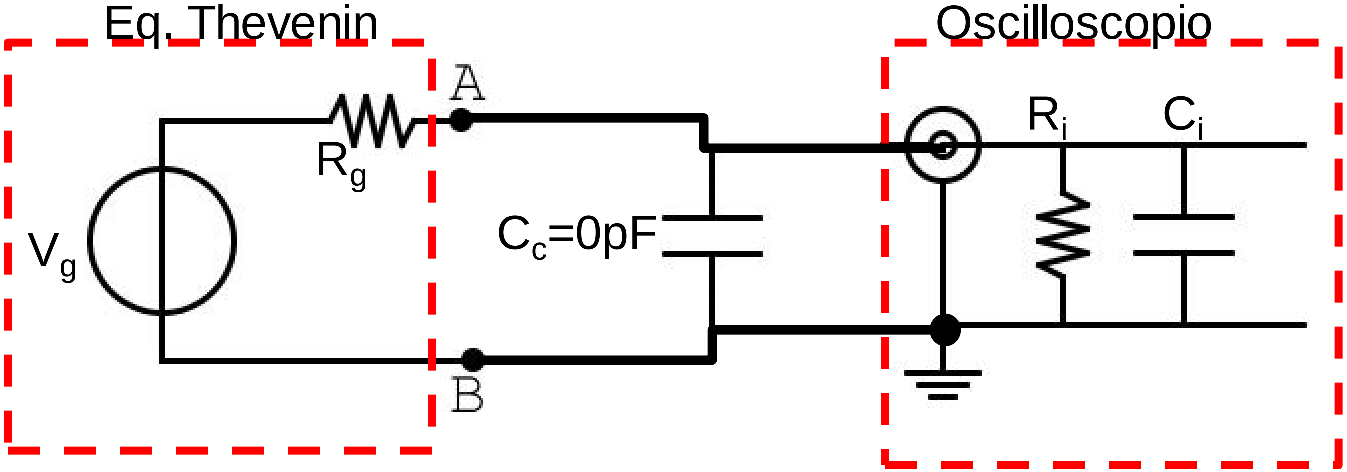


- A valle del circuito di ingresso del DSO (costituito dal parallelo di R_i e C_i) ipotizziamo che non ci siano limitazioni di banda dovute all'attenuatore variabile e all'amplificatore

L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Ipotesi semplificativa iniziale

- il cavo coassiale non introduce nessuna capacità aggiuntiva in parallelo al circuito di ingresso del DSO quindi C_c = 0 pF



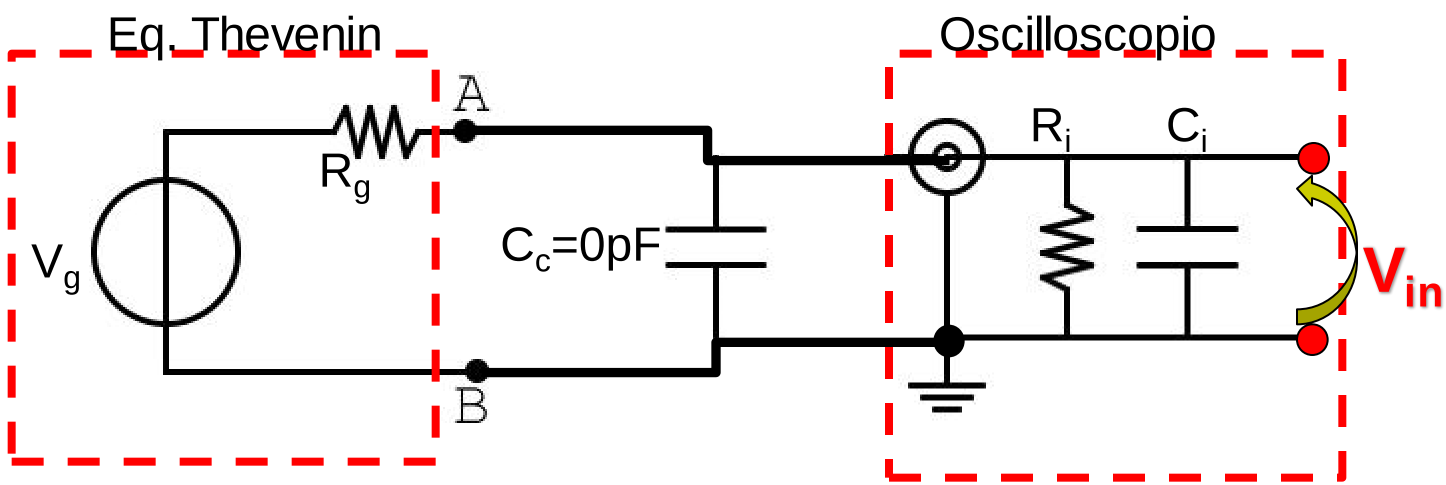
L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Calcolo della funzione di trasferimento $\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right|$:

$\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{Z_i}{Z_i+R_g}$ dove $Z_i = R_i \parallel \frac{1}{SC_i} = \frac{R_i}{1+sR_iC_i}$

Z_i è l'impedenza di ingresso del DSO

da cui: $\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{R_i}{R_i+R_g} \cdot \frac{1}{1+S\,(R_i \parallel R_g)C_i}$ se $R_i \gg R_g$ allora $\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{1}{1+S\,R_gC_i}$



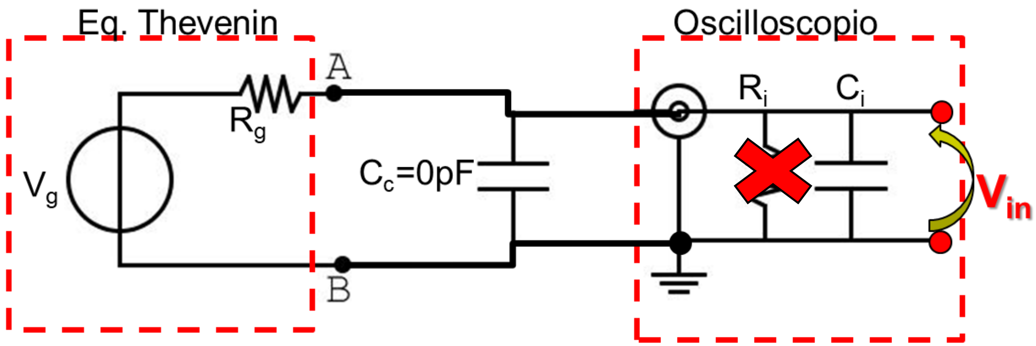
L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

La frequenza di taglio del filtro passa basso corrispondente vale:

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_p C_i} \text{ dove } R_p = R_i \parallel R_g = \frac{R_g R_i}{R_g + R_i}$$

- Se $R_i \gg R_g$ allora $R_p \approx R_g$ e $\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{1}{1+S\,R_g C_i}$ e dunque R_i non compare nell'equazione della frequenza di taglio

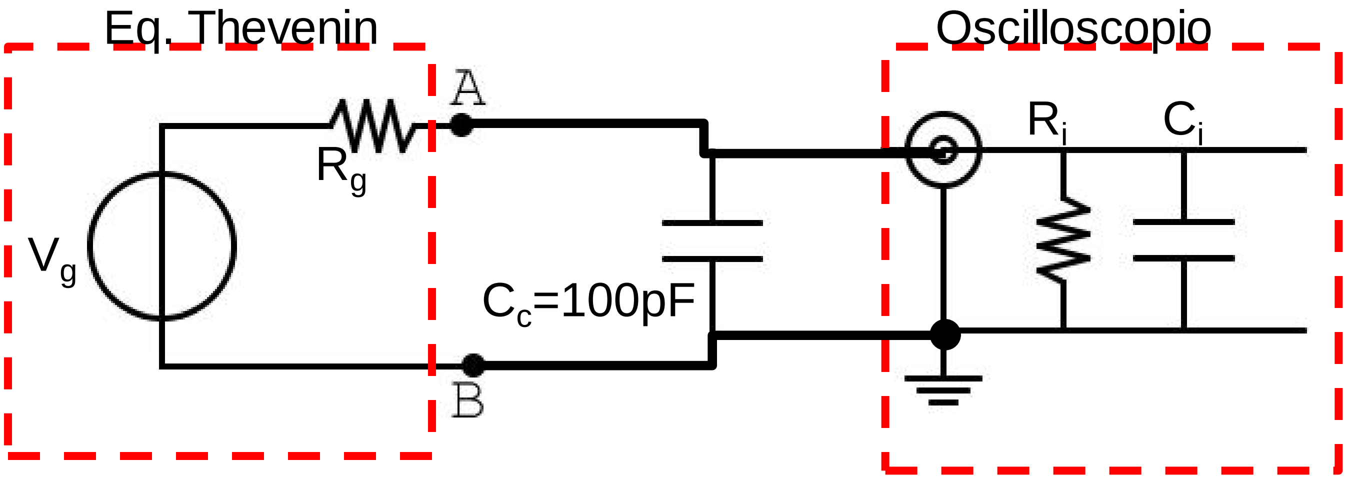
- Esempio, prendiamo C_i=20pF per determinare la frequenza del polo
  - Con R_g=50Ω → f_p =160 MHz
  - Con R_g=600Ω → f_p = 13 MHz



L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Tuttavia

- il cavo di collegamento utilizzato è tipicamente un coassiale con capacità, per unità di lunghezza, pari a 80-100pF/m
- il circuito equivalente presenterà una frequenza di taglio che sarà ancora più bassa a causa di C_c



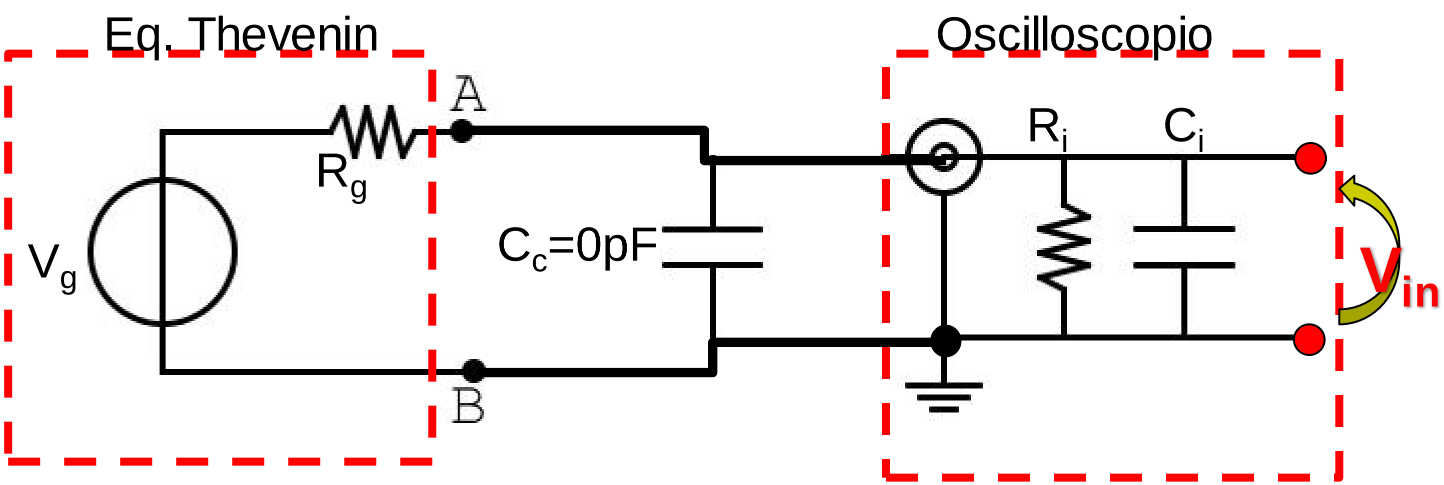
L' Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Calcolo della funzione di trasferimento $\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right|$:

$\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{Z_i}{Z_i+R_g}$ con $Z_i = R_i \parallel \frac{1}{SC_i} = \frac{R_i}{1+sR_iC_{TOT}}$ con $C_{TOT} = C_c+C_i$

da cui:

$$\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{R_i}{R_i + R_g} \cdot \frac{1}{1 + S\left(R_i \parallel R_g\right)C_{TOT}} = \frac{R_i}{R_i + R_g} \cdot \frac{1}{1 + S\left(R_i \parallel R_g\right)(C_c+C_i)}$$



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

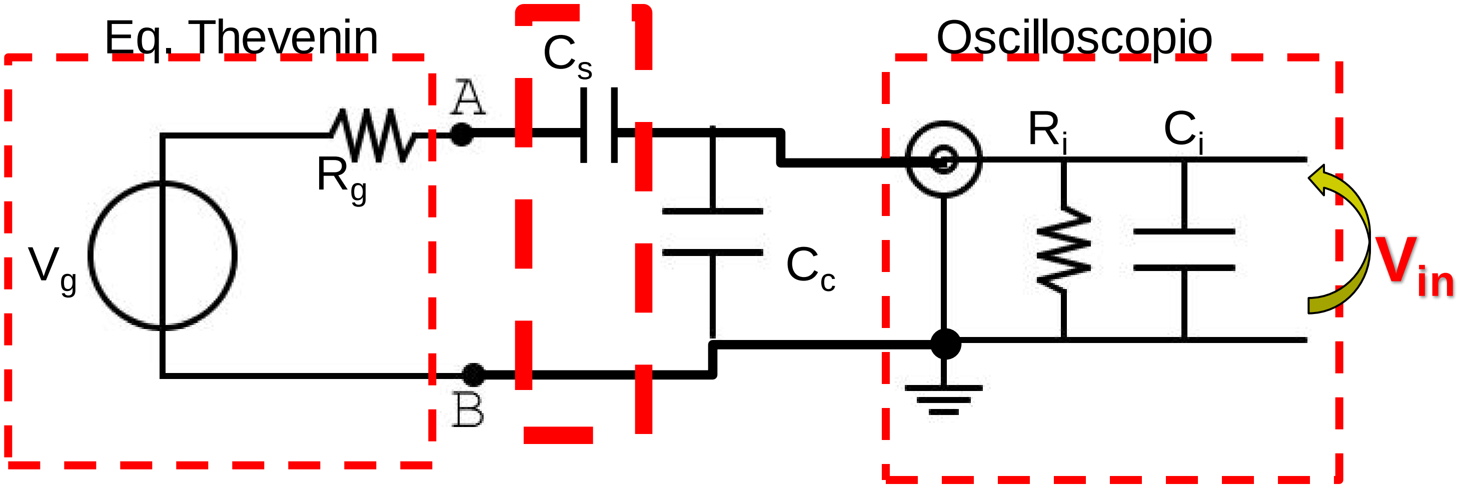
In conclusione:

- il collegamento con uno strumento per mezzo di un cavo limita la banda a causa soprattutto della capacità stessa del cavo
- La riduzione di banda dovuta al parallelo di R_i e R_g è in realtà dovuta solo ed esclusivamente a R_g se $R_g << R_i$

Per ridurre la capacità totale (C_i+C_c), che rappresenta la principale causa di limitazione di banda, come possiamo fare?

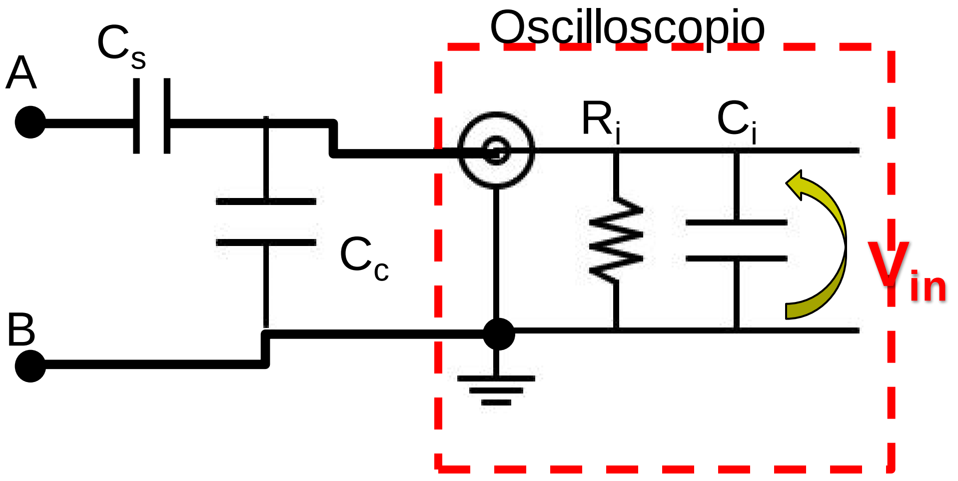
L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Per ridurra la capacità totale vista fra i nodi A e B inserisco un condensatore $C_s \ll (C_c + C_i)$



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Ai capi dei nodi A-B quale impedenza ottengo?



- R_i la trascuro perché andrà in parallelo ad R_g
- $C_{eq} = \frac{C_s(C_c+C_i)}{C_s+C_c+C_i} \ll C_c + C_i$

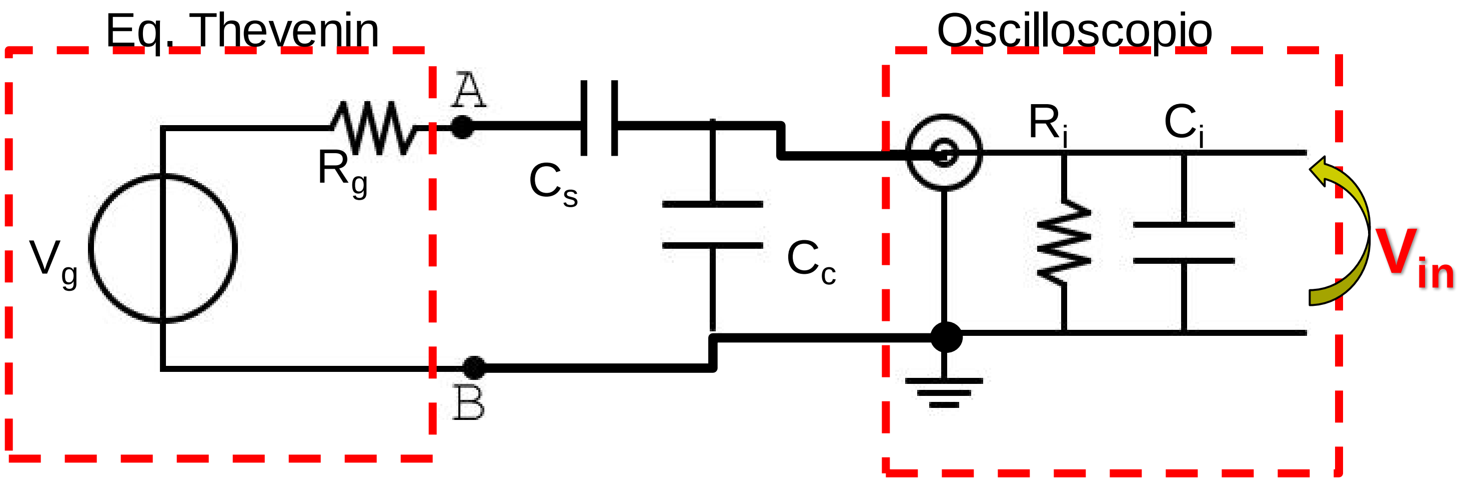
Inserendo C_s ottengo un aumento della banda del circuito grazie alla riduzione della capacità equivalente vista ai nodi A e B!!!

Esempio: se C_c+C_i=90pF
Ponendo C_s=10pF → C_{eq}=9pF

L’Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

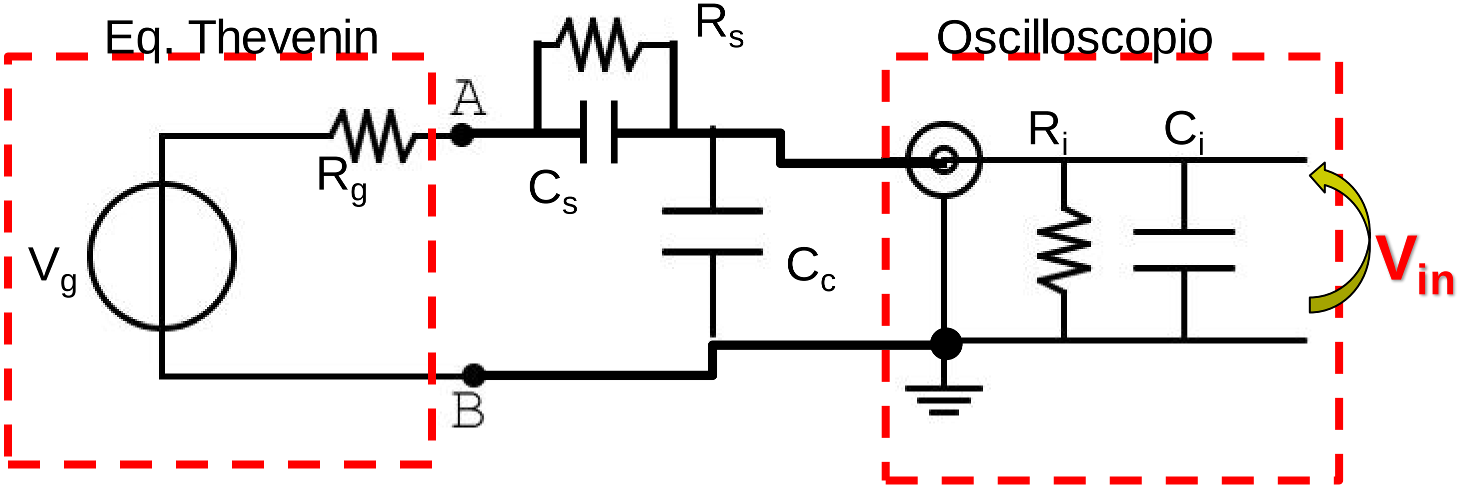
Attenzione!!! Aggiungendo un condensatore in serie il circuito è accoppiato in AC!

L’eventuale tensione continua dell’eq. di Th. non è misurabile !



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Soluzione: inserisco in parallelo a C_s una resistenza R_s formando un partitore resistivo-capacitivo

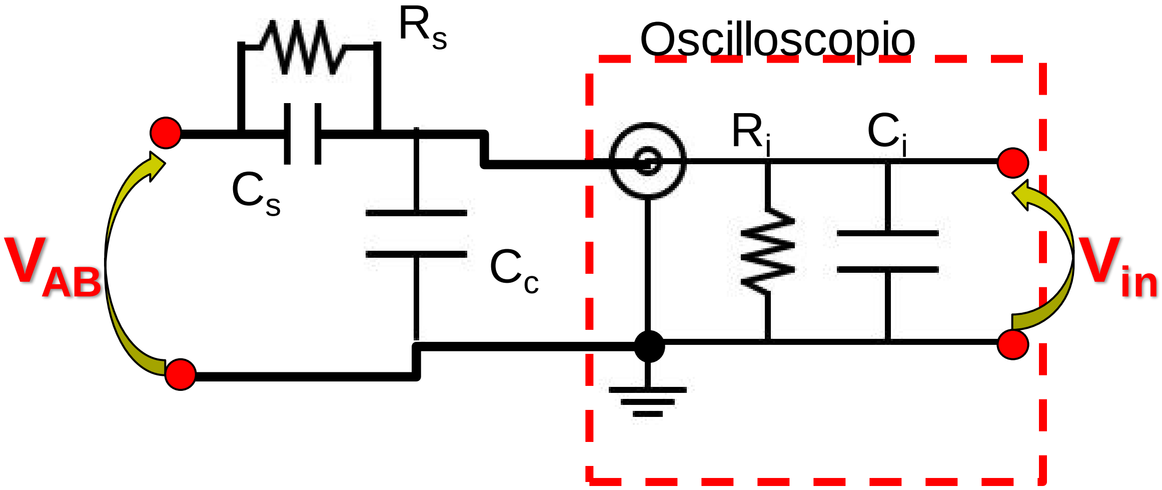


L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Prendiamo in considerazione la fdt $\left|\frac{V_{in}}{V_{AB}}\right|$

Polo in $f_p = \frac{1}{2\pi(R_s \| R_i)(C_s + C_c + C_i)}$

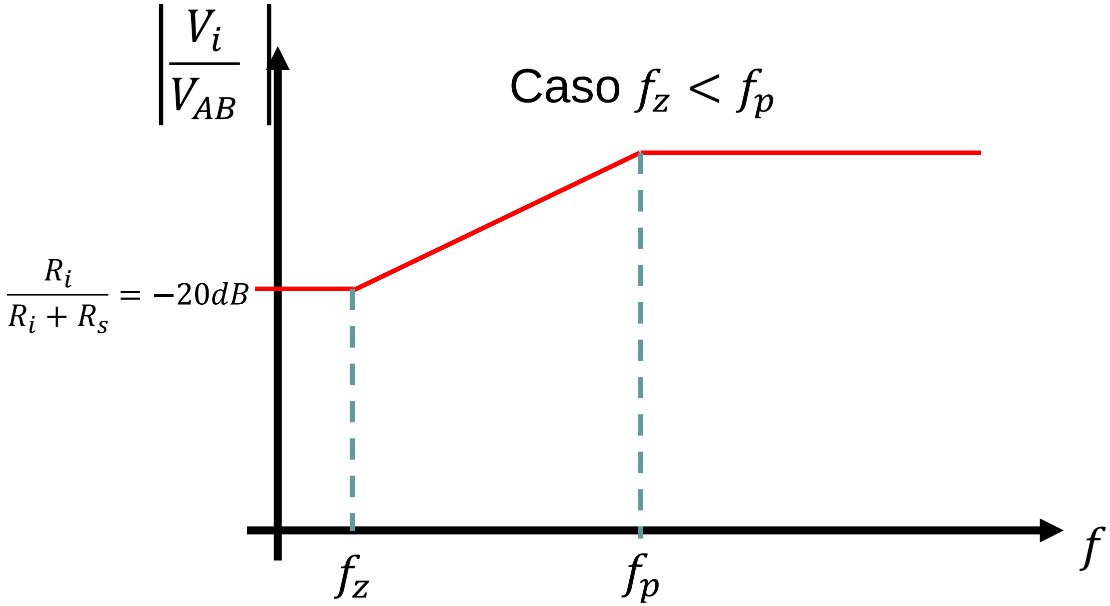
Zero in $f_z = \frac{1}{2\pi R_s C_s}$



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Dal momento che ho un polo ed uno zero allora posso avere 3 possibili casi:

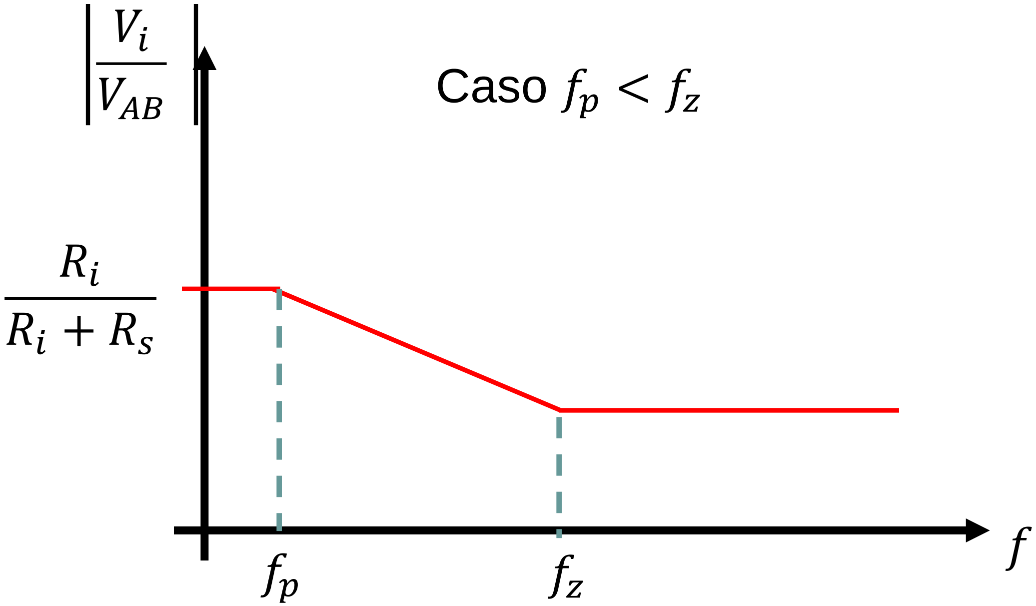
1) $f_z < f_p$
2) $f_z > f_p$
3) $f_z = f_p$



L’Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Dal momento che ho un polo ed uno zero allora posso avere 3 possibili casi

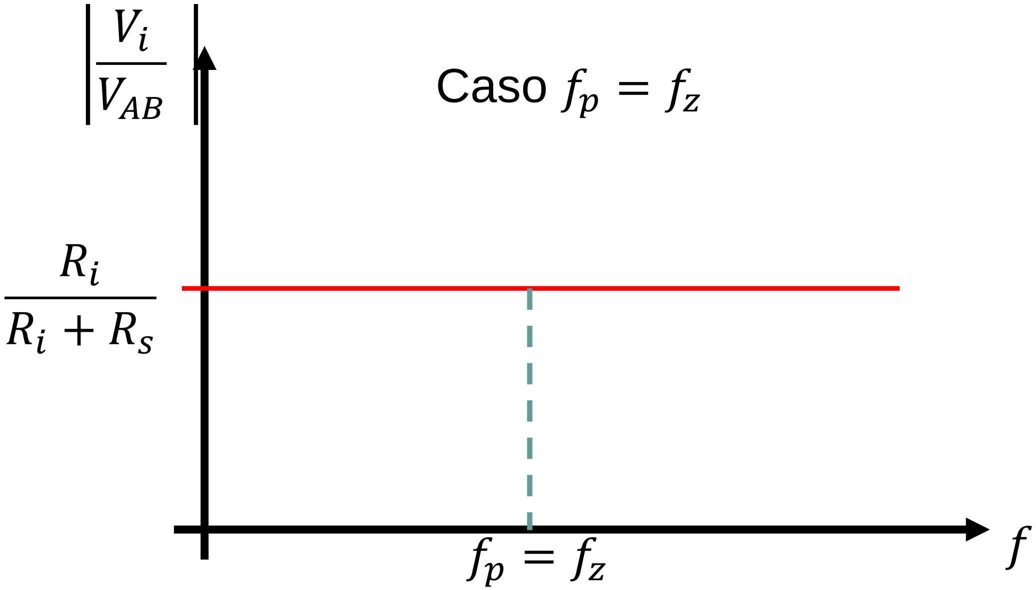
1) $f_z < f_p$
2) $f_z > f_p$
3) $f_z = f_p$



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Dal momento che ho un polo ed uno zero allora posso avere 3 possibili casi

1) $f_z < f_p$
2) $f_z > f_p$
3) $f_z = f_p$



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

$$f_p = \frac{1}{2\pi(R_s \parallel R_i)(C_s + C_c + C_i)} = f_z = \frac{1}{2\pi R_s C_s}$$

- $R_s C_s = R_i(C_c + C_i)$ che è chiamata **condizione di compensazione della sonda**
- Se la sonda è compensata $\left|\frac{V_{in}}{V_{AB}}\right| = \frac{R_i}{R_i + R_s}\ \forall f$
- Attenzione: ho allargato la banda del circuito con ingresso V_{in} ed uscita V_{AB} non del circuito con ingresso V_g ed uscita V_{AB}

L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Scelte di progetto convenzionali nei DSO:

- il punto di partenza è: devo avere $C_s \ll C_c + C_i$
  - si sceglie $C_s = \frac{1}{9}(C_c + C_i)$
  - di conseguenza $R_s = 9\ R_i$
  - $\left|\frac{V_{in}}{V_{AB}}\right| = \frac{R_i}{R_i + R_s} = \frac{1}{10}$
- le sonde compensate attenuano di un fattore 10

L’Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Scelte di progetto **convenzionali**:

- il punto di partenza è: devo avere $C_s \ll C_c + C_i$
  - si è scelto $C_s = \frac{1}{9}(C_c + C_i)$
  - di conseguenza $R_s = 9\ R_i$
  - $\left|\frac{V_{in}}{V_{AB}}\right| = \frac{R_i}{R_i+R_s} = \frac{1}{10}$

Non dipende dalla frequenza !!!

- Le sonde compensate attenuano di un fattore 10!!!

L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Quando il partitore risulta compensato

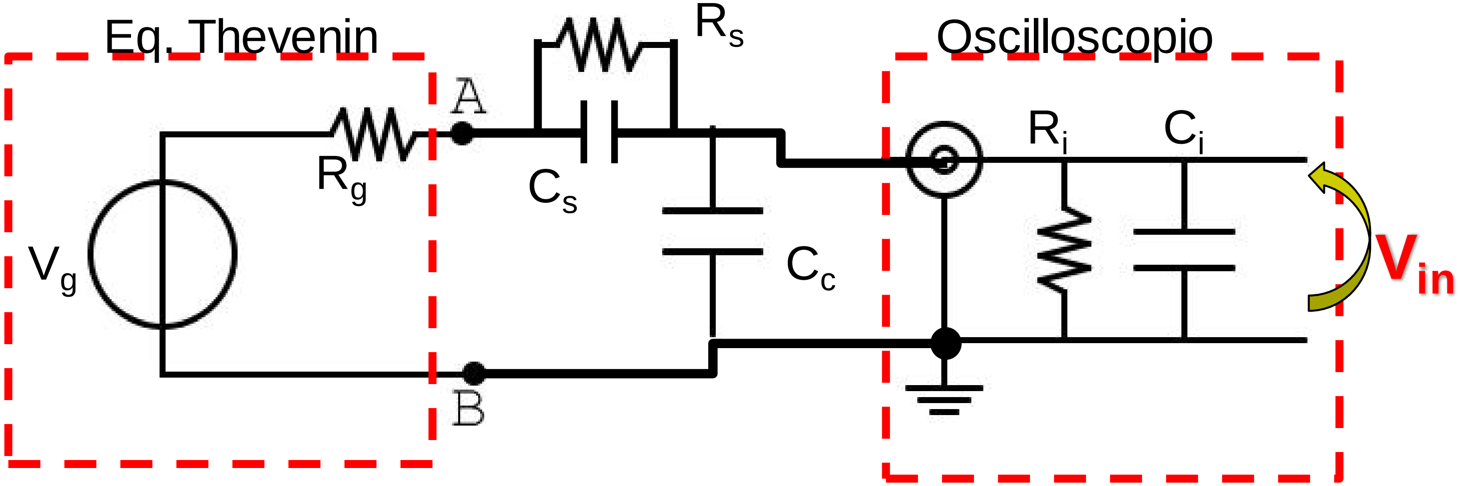
$$\left|\frac{V_{in}}{V_{AB}}\right| = \frac{R_i}{R_i + R_s} = \frac{1}{10}$$

NON DIPENDE DALLA FREQUENZA !!!

Ciò non vuol dire che la banda del sistema diventa infinita perché abbiamo calcolato $\left|\frac{V_{in}}{V_{AB}}\right|$ e non $\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right|$

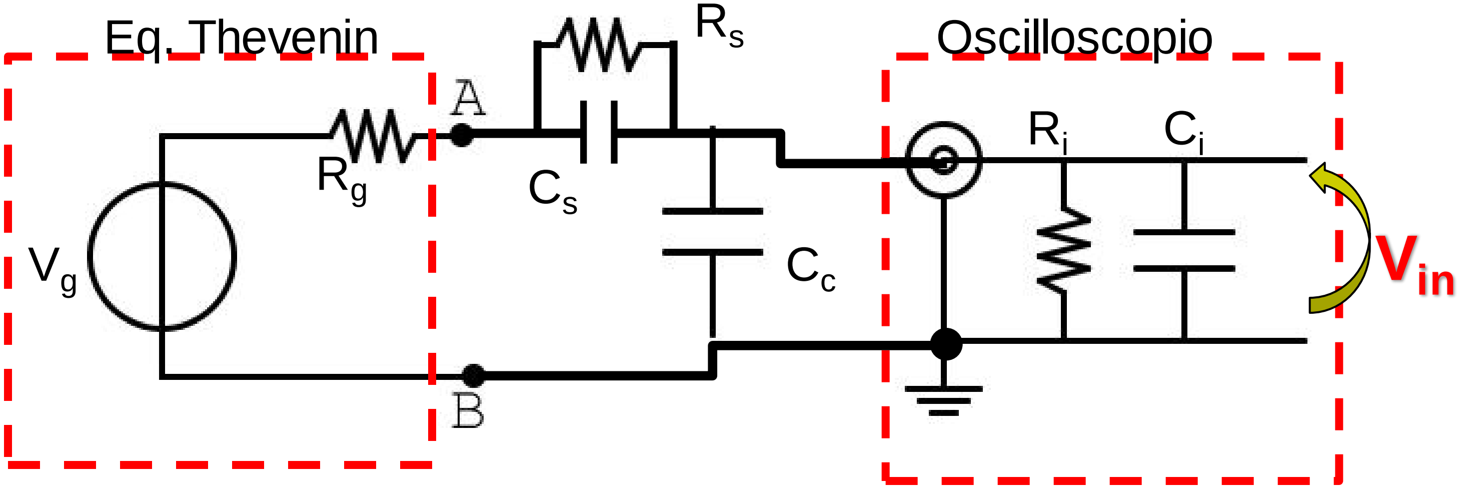
L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Valutiamo quindi $\left|\dfrac{V_{in}}{V_g}\right|$



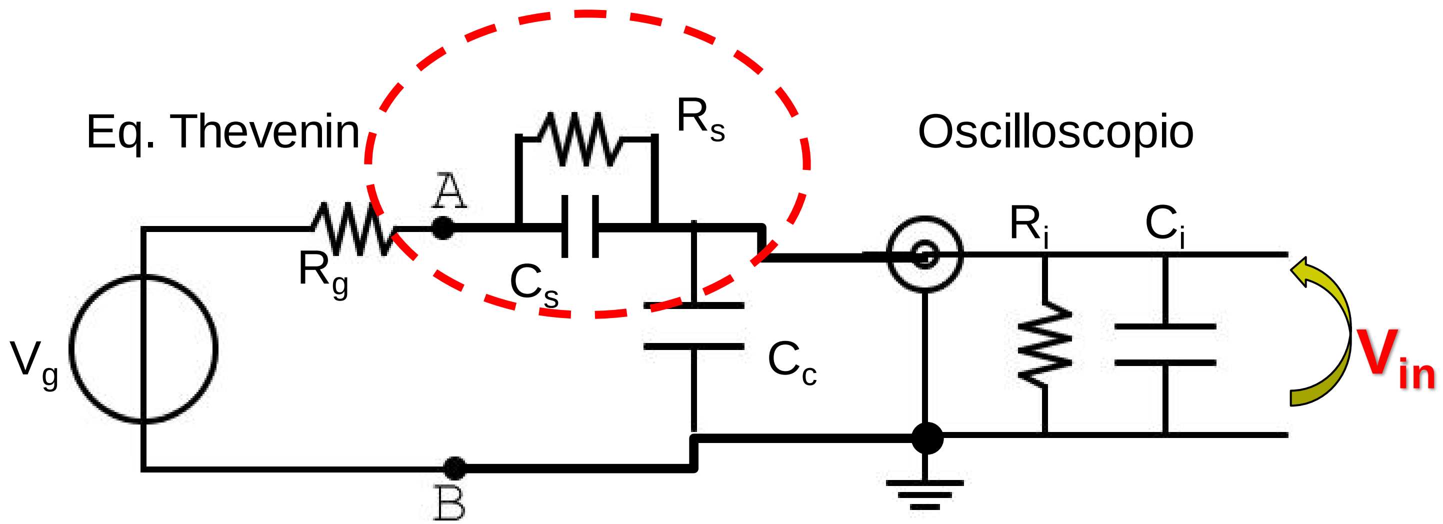
L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Facciamo delle semplificazioni...valutando il circuito equivalente in alta frequenza (per esempio @ 100 MHz)



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

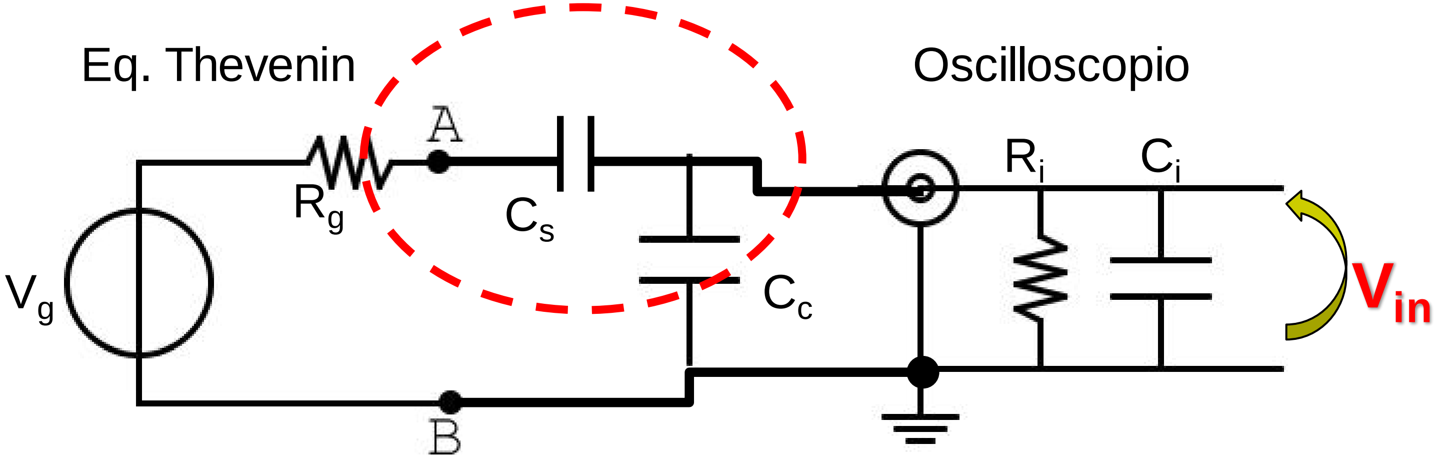
A 100 MHz $R_s \gg \left|\frac{1}{2\pi 10^8 \cdot C_s}\right|$ infatti $9M\Omega \gg 160\Omega$



NB: ho usato C_s=10pF e C_c+C_i=90pF

L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

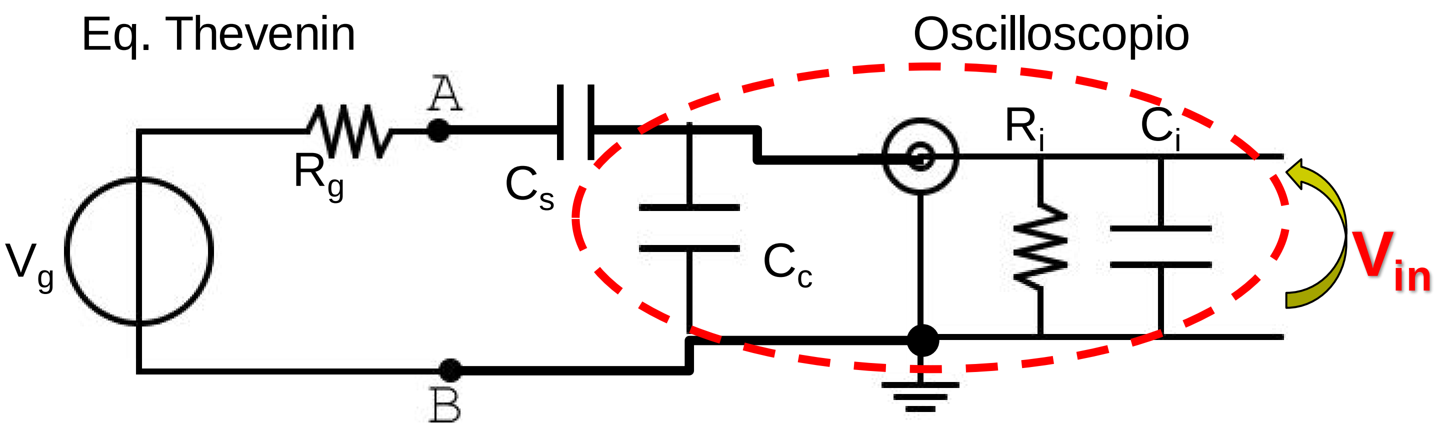
A 100 MHz R_s può essere eliminato



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

A 100 MHz $R_i \gg \left|\frac{1}{2\pi 10^8 \cdot (C_i + C_c)}\right|$

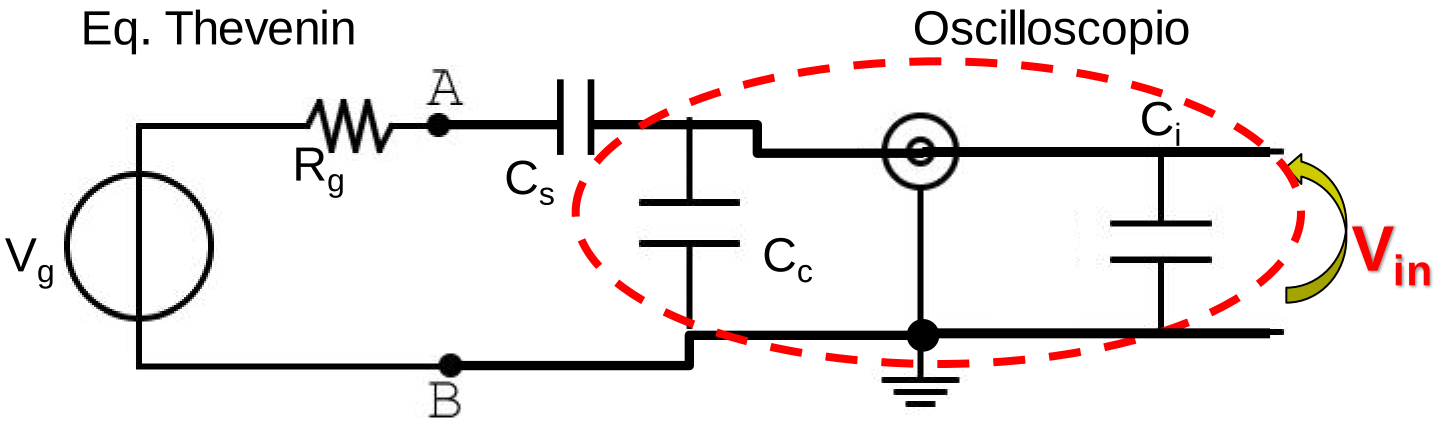
infatti $1M\Omega \gg 18\Omega$



NB: ho usato C_s=10pF e C_c+C_i=90pF

L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

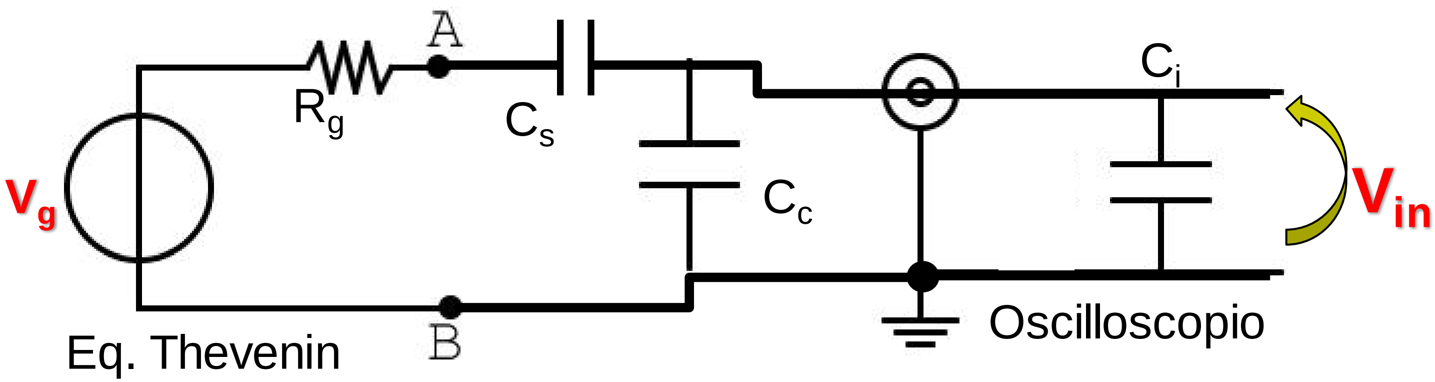
A 100 MHz R_i può essere eliminato



L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

A questo punto la f_t del filtro ottenuto può essere facilmente calcolata:

$$\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{\frac{1}{s(C_c+C_i)}}{\frac{1}{s(C_c+C_i)} + \left(R_g + \frac{1}{sC_s}\right)}$$

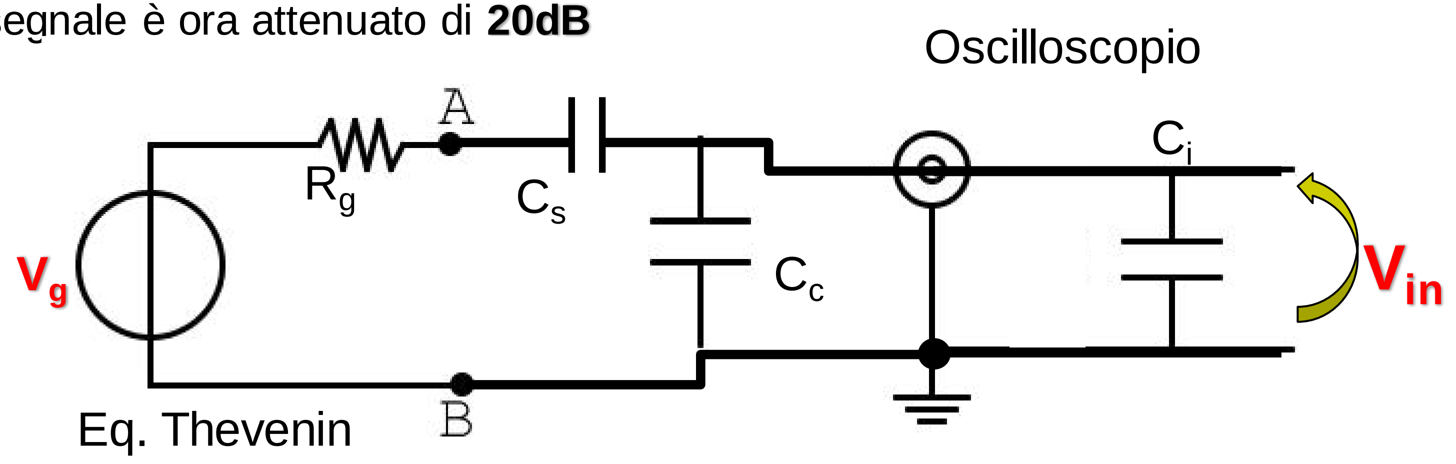


L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

$$\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = \frac{\frac{1}{s(C_c+C_i)}}{\frac{1}{s(C_c+C_i)} + \left(R_g + \frac{1}{sC_s}\right)} == \frac{\frac{1}{s(C_c+C_i)}}{\frac{1}{s(C_c+C_i)} + \left(R_g + \frac{1}{s(C_c+C_i)/9}\right)} =$$

$$= \cdots = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{10}} \cdot \frac{1}{1+s\left(R_g(C_c+C_i)/10\right)} \rightarrow f_t = \frac{1}{2\pi R_g(C_c+C_i)/\mathbf{10}}$$

- La frequenza di taglio è aumentata di un fattore **10** rispetto al caso senza sonda compensata ed inoltre la $\left|\frac{V_{in}}{V_g}\right| = (@f = 0Hz) = \frac{1}{10}$
- Il segnale è ora attenuato di **20dB**

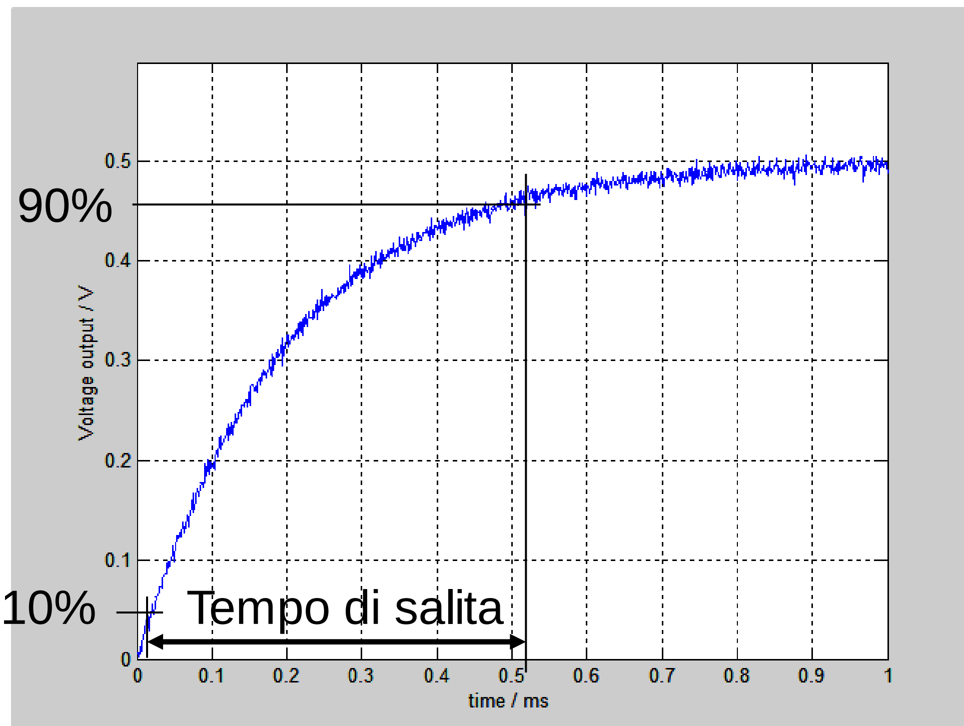


L'Oscilloscopio digitale: la sonda ed il suo utilizzo

Esiste un trimmer sulla sonda per effettuare la compensazione

L'Oscilloscopio digitale: legame tra banda e tempo di salita

Definizione di tempo di salita:



L'Oscilloscopio analogico: legame tra banda e tempo di salita

- In un filtro passa basso (tipo RC) esiste una relazione "semplice" fra banda del filtro e tempo di salita (v. dimostrazione):

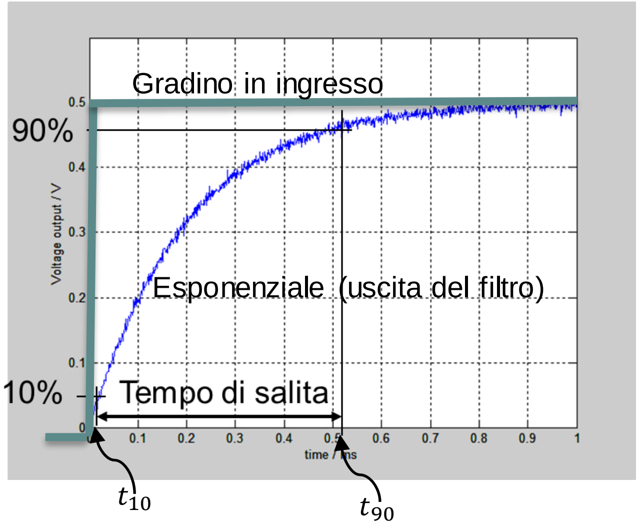
$$B \cdot t_s = 0.35$$

- Negli oscilloscopi digitali in generale la relazione "banda per tempo di salita" vale

$$B \cdot t_s = 0.35 \div 0.5$$

- Questa relazione varia a seconda dell'oscilloscopio utilizzato (consultate il manuale del DSO utilizzato) in quanto possono essere utilizzati filtri non necessariamente del primo ordine

Dimostrazione



$$V_{out}(t) = V_M(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_{out}(t_{10}) = 0.1\,V_M = V_M\left(1 - e^{-t_{10}/\tau}\right) \rightarrow e^{-t_{10}/\tau} = 0.9$$

$$V_{out}(t_{90}) = 0.9\,V_M = V_M(1 - e^{-t_{90}/\tau}) \rightarrow e^{-t_{90}/\tau} = 0.1$$

$$\frac{t_{10}}{\tau} = -\ln(0.9)\ ,\ \ \frac{t_{90}}{\tau} = -\ln(0.1)$$

$$tempo\ di\ salita\ (definizione) = t_{90} - t_{10} = t_s = \tau(\ln(0.9)\text{-}\ln(0.1)) = 2.2\tau$$

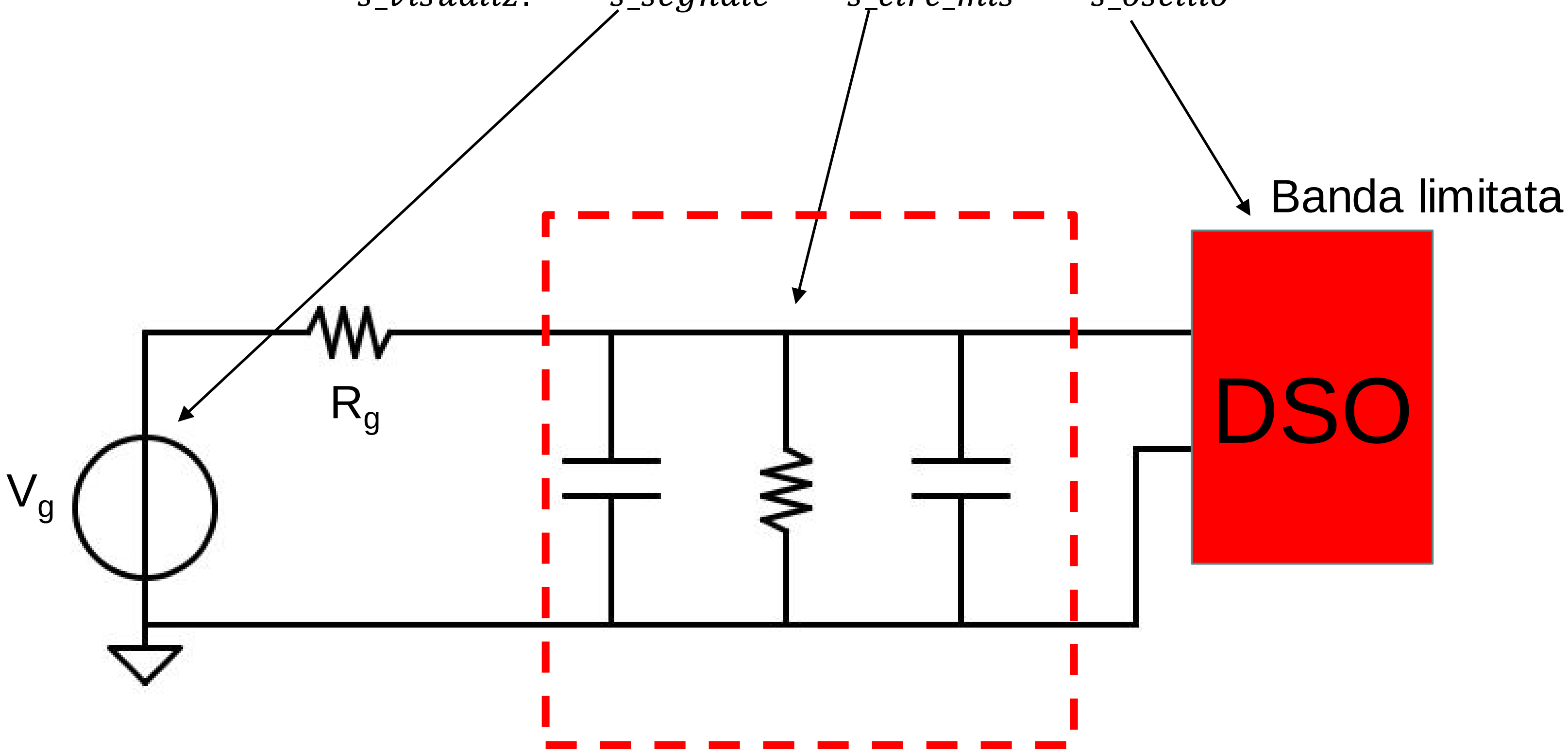
$$t_s = 2.2 \cdot \tau = 2.2 \cdot RC = 2.2 \cdot \frac{1}{2\pi f_t} = 2.2 \cdot \frac{1}{2\pi f_t}$$

poiché $f_t = B$ ottengo $t_s = \frac{0.35}{B}$ da cui $\boldsymbol{B \cdot t_s = 0.35}$

L'Oscilloscopio analogico: legame tra banda e tempo di salita

Inoltre vale la relazione (no dim.): il tempo di salita visualizzato $t_{s\_visualiz.}$ in un DSO vale

$$t^2_{s\_visualiz.} = t^2_{s\_segnale} + t^2_{s\_circ\_mis} + t^2_{s\_oscillo}$$



L'Oscilloscopio digitale: legame tra banda e tempo di salita

Il tempo di salita visualizzato, al quadrato, è pari alla somma dei quadrati del tempo di salita del segnale, dell'oscilloscopio e del circuito di collegamento fra oscilloscopio e generatore di segnali

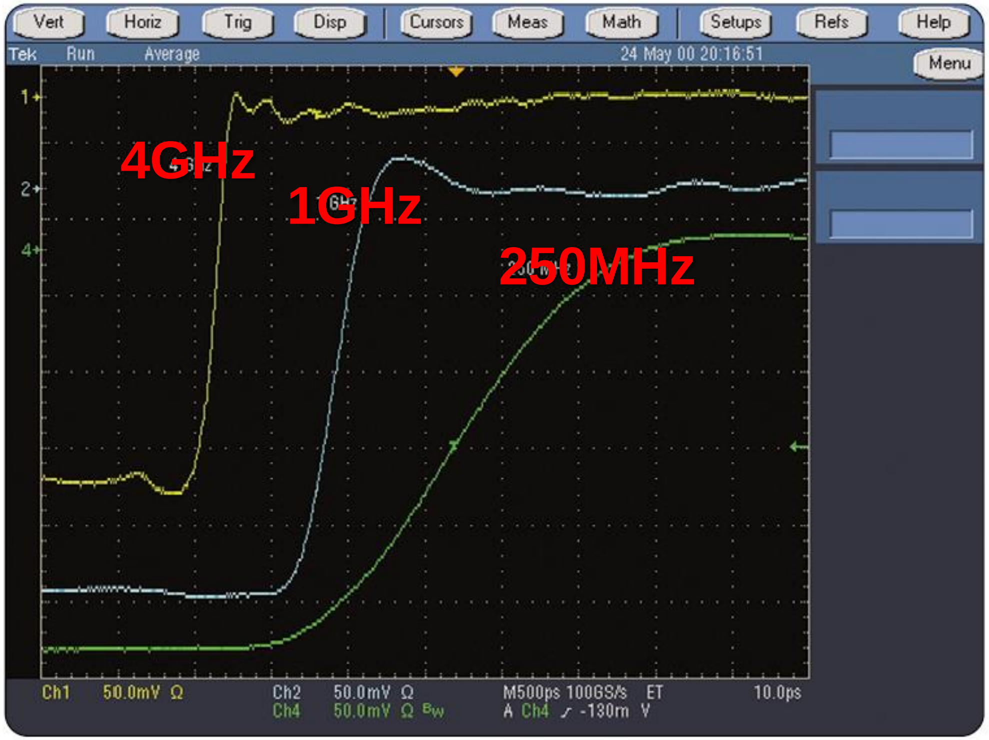
$$t^2_{s\_visualiz.} = t^2_{s\_segnale} + t^2_{s\_circ\_mis} + t^2_{s\_oscillo}$$

- Esempio: il circuito di collegamento fra generatore e DSO ha un tempo di salita $t_{s\_circ\_mis}$ trascurabile
  - Generatore di segnale con banda 30MHz→t_{salita}=11.6ns
  - Oscilloscopio analogico di banda 60MHz→t_{salita}=5.8ns
  - Tempo di salita t_{sv} visualizzato sullo schermo→ 13.0ns

$$t_{sv} = \sqrt{(11.6\ ns)^2 + (5.8\ ns)^2} = 13\ ns$$

L'Oscilloscopio digitale: legame tra banda e tempo di salita

- Se la banda dell'oscilloscopio aumenta allora è possibile visualizzare fronti di salita del segnale più ripidi
- La banda del DSO deve essere adeguatamente ampia se si vogliono vedere fronti di salita ripidi



From: https://www.tek.com/

Esercizio

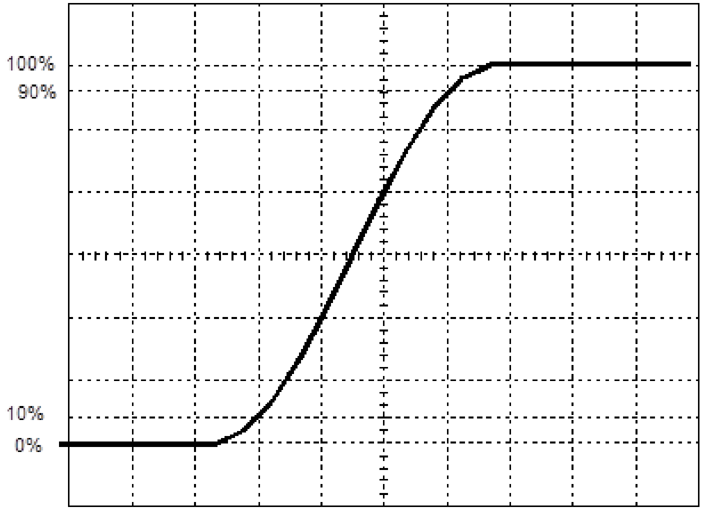
Si vuole misurare il tempo di salita di un segnale fornito da un generatore avente resistenza interna $R_g = 50\ \Omega \pm 5\%$ con un oscilloscopio con le seguenti caratteristiche:

$R_{in} = 1\ \mathrm{M}\Omega, \pm 1\%$

$C_{in} = 20$ pF, ± 5%

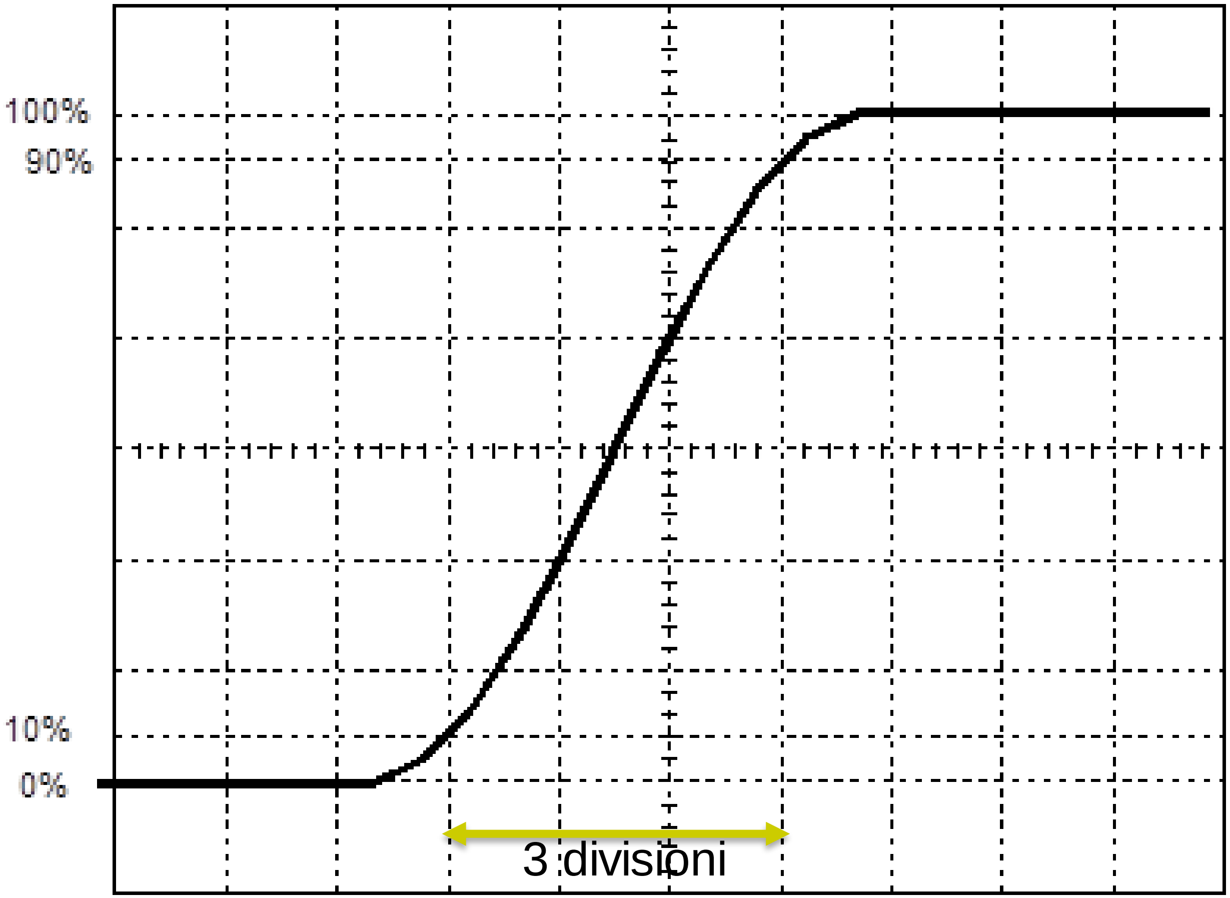
$B = 200$ MHz, ± 5%

Collegando il generatore all'oscilloscopio mediante un cavo coassiale avente capacità distribuita C_d pari a 100 pF, ± 5% e impostando il fattore di deflessione orizzontale al valore $K_X = 10$ ns/div (incertezza ± 0.01%), lo schermo dell'oscilloscopio visualizza l'immagine riportata in figura:



Stimare la misura del tempo di salita t_x del segnale

Soluzione



Tempo di salita = 3 div · 10ns/div = 30ns

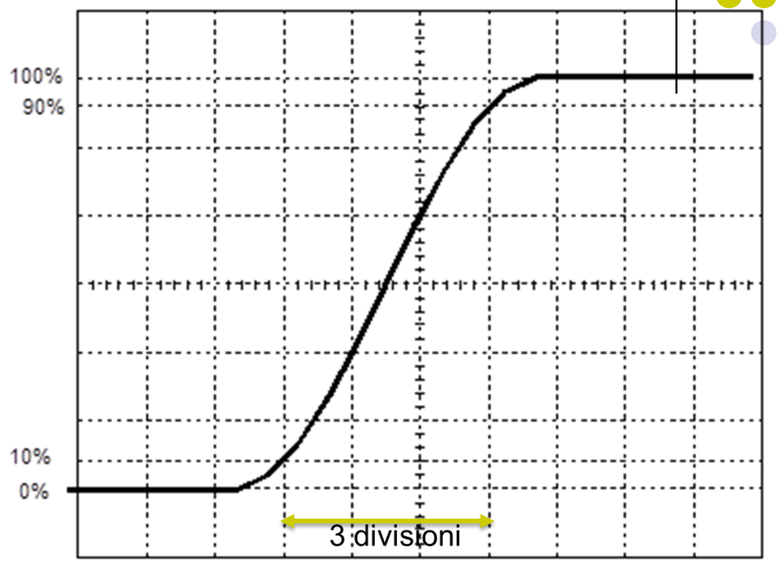
Soluzione

Inoltre

$t^2_{visualiz.} = t^2_{s\_segnale} + t^2_{s\_oscillo} + t^2_{s\_circuito\_misura}$

dai dati del problema il tempo di salita dell'oscilloscopio è:

$$t_{s\_oscillo} = \frac{0.35}{B} = \frac{0.35}{2 \cdot 10^8} = 1.75ns$$



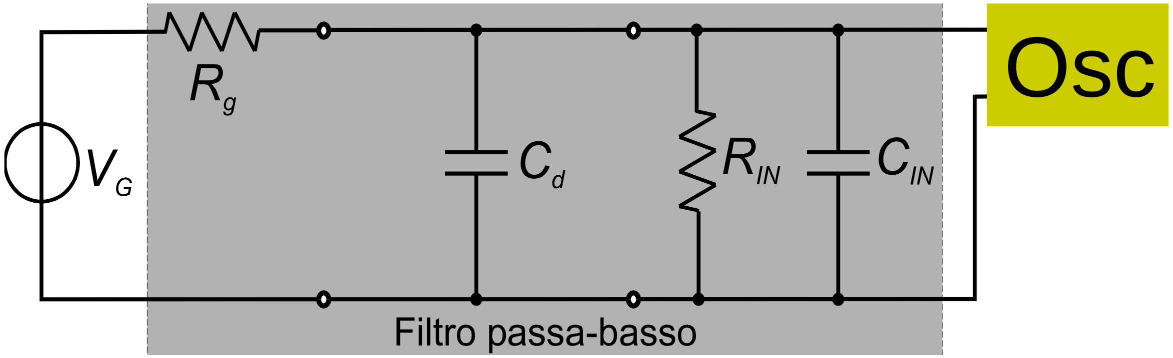
Tempo di salita = 3 div · 10ns/div = 30ns

Inoltre il circuito utilizzato è del tipo in figura la cui frequenza di taglio può essere calcolata con la teoria svolta per la sonda dell'oscilloscopio: $f_t \approx \frac{1}{2\pi \cdot R_G \cdot (C_d + C_{in})}$

$$t_{s\_circuito\_misura} = \frac{0.35}{f_t} = 13.2ns$$

Si tenga presente che

$R_G \ // R_{in} \approx R_G$



Soluzione

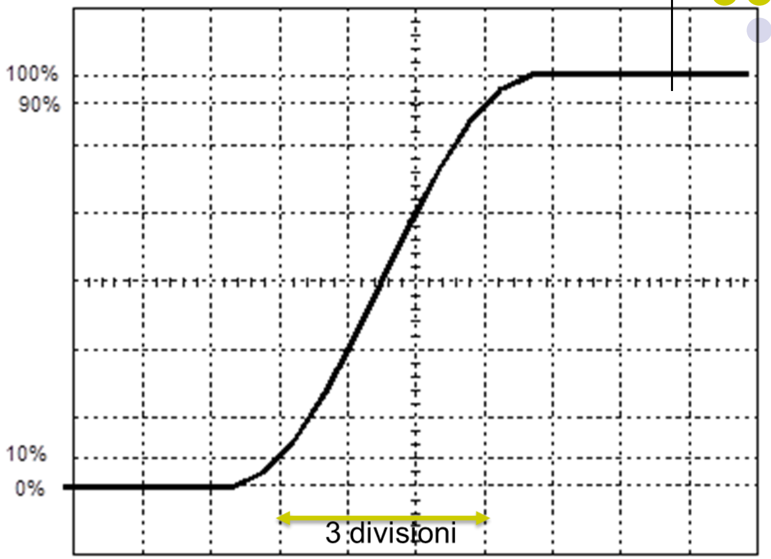
Infine:

$$t_{segnale} = \\ = \sqrt{t^2_{s\_visualizzato} - t^2_{s\_oscillo} - t^2_{s\_circuito\_misura}} \approx \\ \approx 26.9ns$$

Quindi il tempo di salita visualizzato è di 30ns, se tolgo i contributi sistematici di oscilloscopio e circuito di ingresso, ho un valore di 26.9ns

Osservando che il tempo di salita dell'oscilloscopio introduce un tempo di salita trascurabile posso considerare come modello matematico il seguente:

$$t_{segnale} = \\ = \sqrt{t^2_{s\_visualizzato} - t^2_{s\_circuito\_misura}} = \\ = \sqrt{(L_{ts}K_x)^2 - (0.35 \cdot 2\pi \cdot R_g(C_d + C_{in}))^2}$$



Tempo di salita = 3 div · 10ns/div = 30ns

Soluzione

$$t_{segnale} = \sqrt{t^2_{s\_visualizzato} - t^2_{s\_circuito\_misura}} = \sqrt{(L_{ts}K_x)^2 - (0.35 \cdot 2\pi \cdot R_g(C_d + C_{in}))^2}$$

Questo è il modello matematico con il quale effettuare il calcolo dell'incertezza con il metodo deterministico:

$$\delta t_{segnale} = \left|\frac{\partial t_{segnale}}{\partial L_{ts}}\right| \cdot \delta L_{ts} + \left|\frac{\partial t_{segnale}}{\partial K_x}\right| \cdot \delta K_x + \left|\frac{\partial t_{segnale}}{\partial R_g}\right| \cdot \delta R_g + \left|\frac{\partial t_{segnale}}{\partial C_d}\right| \cdot \delta C_d +$$

$$+ \left|\frac{\partial t_{segnale}}{\partial C_{IN}}\right| \cdot \delta C_{IN}$$

Effettuando i calcoli si ottiene → $\delta t_{segnale} = 2.4ns$

Risultato finale della misura: $t_{segnale} = (26.9 \pm 2.4)ns$