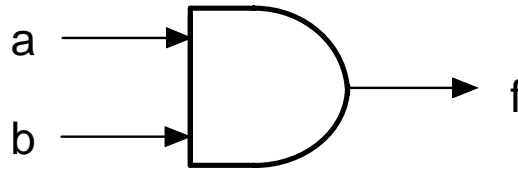


ANALISI TEMPORALE

Caratterizzazione temporale di una porta logica



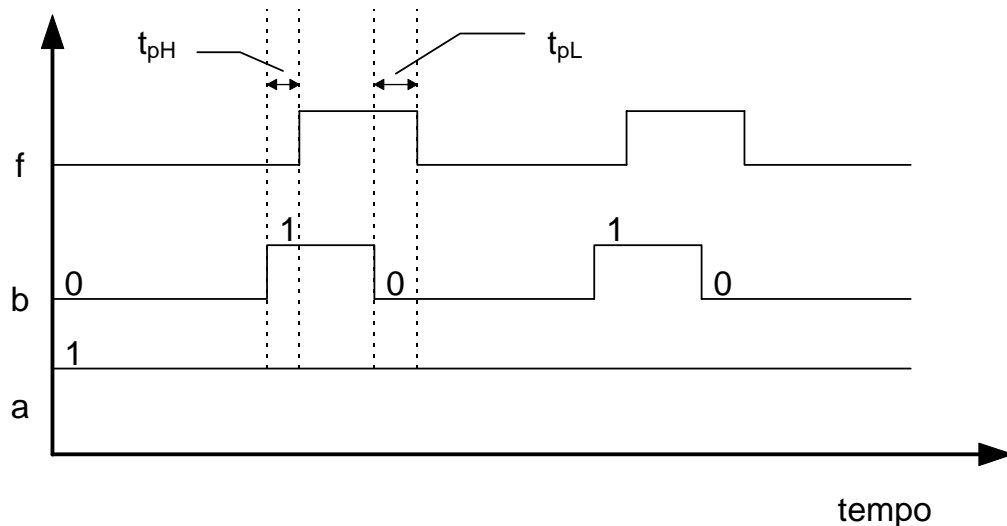
t_p : tempo di propagazione transizione

t_{pH} : tempo di propagazione transizione verso l'alto

t_{pL} : tempo di propagazione transizione verso il basso

$$t_p = \max(t_{pH}, t_{pL})$$

Diagramma temporale



Il comportamento temporale dell'ingresso a coincide con quello dell'ingresso b .

Max. frequenza di commutazione della porta: $f_{\max} = \frac{1}{t_p}$

Tabella dei tempi di propagazione

Porta AND a due ingressi			
	Caso di Funzionamento		
Tempo	Pessimo	Normale	Ottimo
t_p	3 ns	2,1 ns	1 ns
t_{pH}	3 ns	2 ns	0,8 ns
t_{pL}	2,8 ns	2,1 ns	1 ns

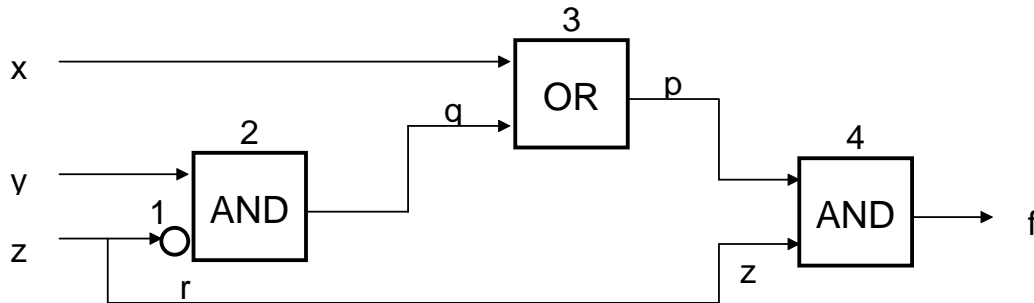
Parametri che distinguono tra caso Pessimo, Normale e Ottimo:

- temperatura di funzionamento
- tensione di alimentazione
- presenza di rumore ambientale
- e altri fattori ancora ...

Si danno tabelle simili per tutti i tipi di porte logiche.

Le tabelle mutano fortemente al variare della tecnologia.

Caratterizzazione temporale di una rete combinatoria



Calcolo dei tempi di propagazione:

- $t_p(x, p, f) = t_p(3) + t_p(4)$
- $t_p(y, q, p, f) = t_p(2) + t_p(3) + t_p(4)$
- $t_p(z, r, q, p, f) = t_p(1) + t_p(2) + t_p(3) + t_p(4)$
- $t_p(z, f) = t_p(4)$

$$t_p = \max(t_p(x, p, f); t_p(y, q, p, f); t_p(z, r, q, p, f); t_p(z, f))$$

Per esempio:

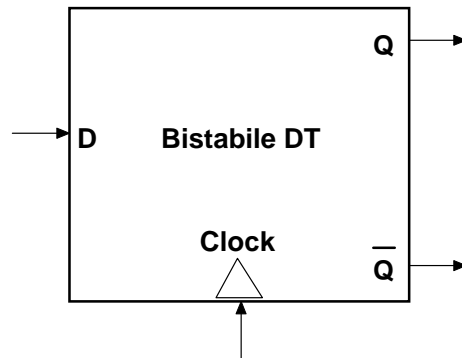
$$t_p(1) = 1 \text{ ns}, \quad t_p(2) = t_p(4) = 2 \text{ ns}, \quad t_p(3) = 2,2 \text{ ns}$$

- $t_p(x, p, f) = 2,2 \text{ ns} + 2 \text{ ns} = 4,2 \text{ ns}$
- $t_p(y, q, p, f) = 2 \text{ ns} + 2,2 \text{ ns} + 2 \text{ ns} = 6,2 \text{ ns}$
- $t_p(z, r, q, p, f) = 1 \text{ ns} + 2 \text{ ns} + 2,2 \text{ ns} + 2 \text{ ns} = 7,2 \text{ ns}$
- $t_p(z, f) = 2 \text{ ns}$

$$t_p = \max(4,2 \text{ ns}; 6,2 \text{ ns}; 7,2 \text{ ns}; 2 \text{ ns}) = 7,2 \text{ ns}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{t_p} = \frac{1}{7,2 \text{ ns}} = 0,138 \text{ GHz} = 138 \text{ MHz}$$

Caratterizzazione temporale di un bistabile



Parametri temporali del bistabile:

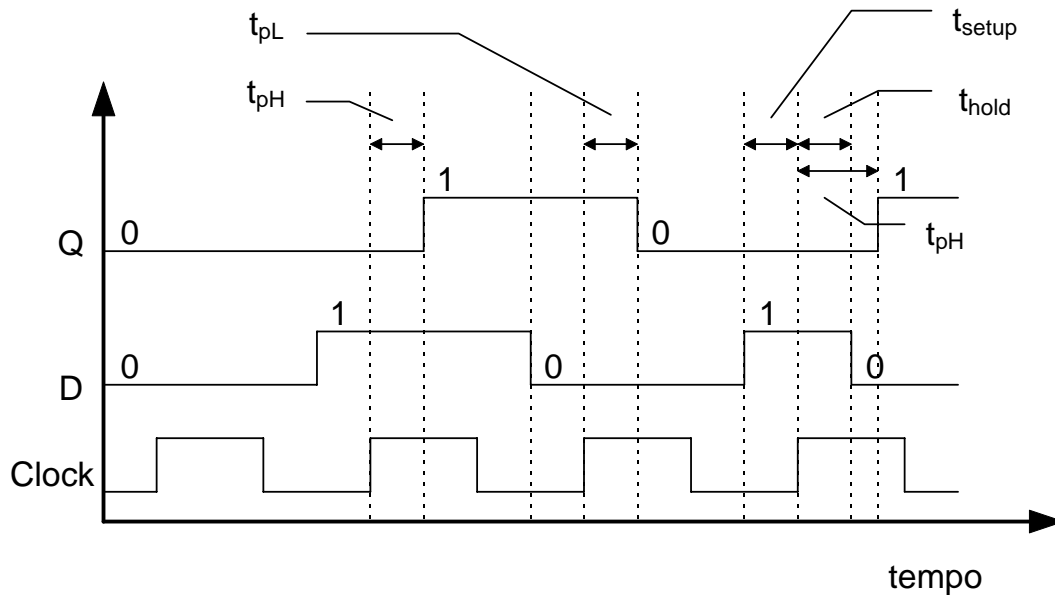
- t_p : tempo di propagazione transizione
- t_{pH} : tempo di propagazione transizione verso l'alto
- t_{pL} : tempo di propagazione transizione verso il basso
- t_{setup} : tempo di preimpostazione dato rispetto al clock
- t_{hold} : tempo di mantenimento dato rispetto al clock

Per definizione si ha

$$t_p = \max(t_{pH}, t_{pL})$$

Caratterizzazione temporale di un bistabile

Bistabile DT a sincronizzazione sul fronte (di salita)



t_{setup} : quanto tempo in anticipo rispetto al fronte attivo del clock il dato D deve essere stabilizzato.

t_{hold} : per quanto tempo dopo il fronte attivo del clock il dato D deve essere mantenuto stabile.

t_p : quanto tempo intercorre tra il fronte attivo del clock e la commutazione dell'uscita.

Massima frequenza di clock del bistabile DT

$$f_{max} = \frac{1}{t_{setup} + \max(t_p, t_{hold})}$$

Normalmente si ha: $t_{hold} < t_p$, pertanto

$$f_{max} \approx \frac{1}{t_{setup} + t_p}$$

Tabella dei tempi

Bistabile DT			
	Caso di Funzionamento		
Tempo	Pessimo	Normale	Ottimo
t_p	0,3 ns	0,2 ns	0,1 ns
t_{pH}	0,3 ns	0,1 ns	0,1 ns
t_{pL}	0,2 ns	0,2 ns	0,1 ns
t_{setup}	0,1 ns	0,07 ns	0,04 ns
t_{hold}	0,1 ns	0,05 ns	0,03 ns

Parametri che distinguono tra caso Pessimo, Normale e Ottimo:

- temperatura di funzionamento
- tensione di alimentazione
- presenza di rumore ambientale
- e altri fattori ancora ...

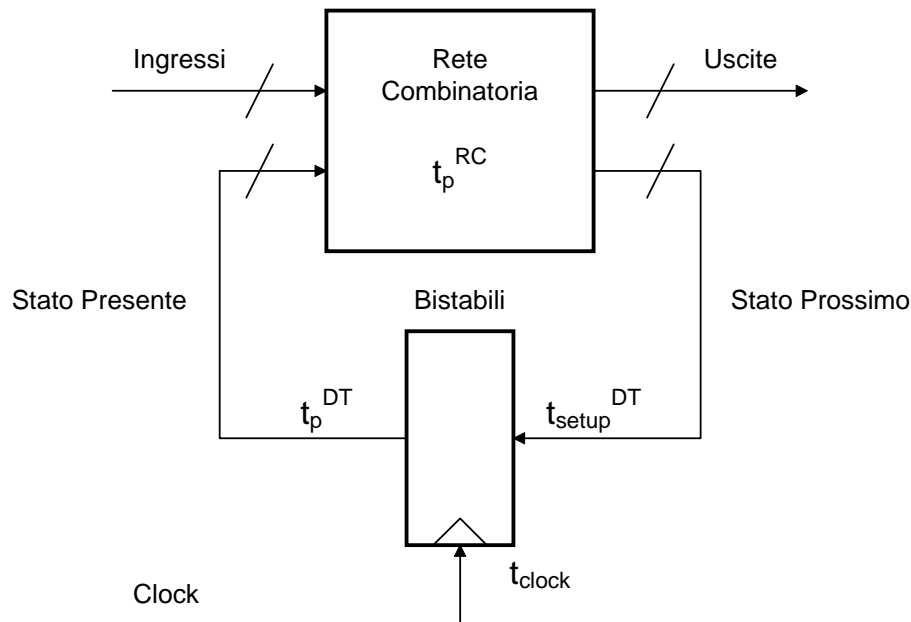
Si danno tabelle simili per tutti i tipi di bistabili; le tabelle mutano fortemente al variare della tecnologia.

Esempio (caso Normale):

$$f_{\max} = \frac{1}{t_{\text{setup}} + \max(t_p, t_{\text{hold}})}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\max} &= \frac{1}{0,07 \text{ ns} + \max(0,2 \text{ ns}; 0,05 \text{ ns})} = \\
 &= \frac{1}{2,07 \text{ ns}} = 0,483 \text{ GHz} = 483 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

Macchina sequenziale - Caratterizzazione temporale



1^a condizione di stabilità

$$t_{clock} \geq t_{setup}^{DT} + \max(t_p^{DT} + t_p^{RC}, t_{hold}^{DT})$$

Normalmente si ha: $t_{hold}^{DT} < t_p^{DT} + t_p^{RC}$, pertanto

$$t_{clock} \geq t_{setup}^{DT} + t_p^{DT} + t_p^{RC}$$

Mimimo periodo di clock della macchina sequenziale

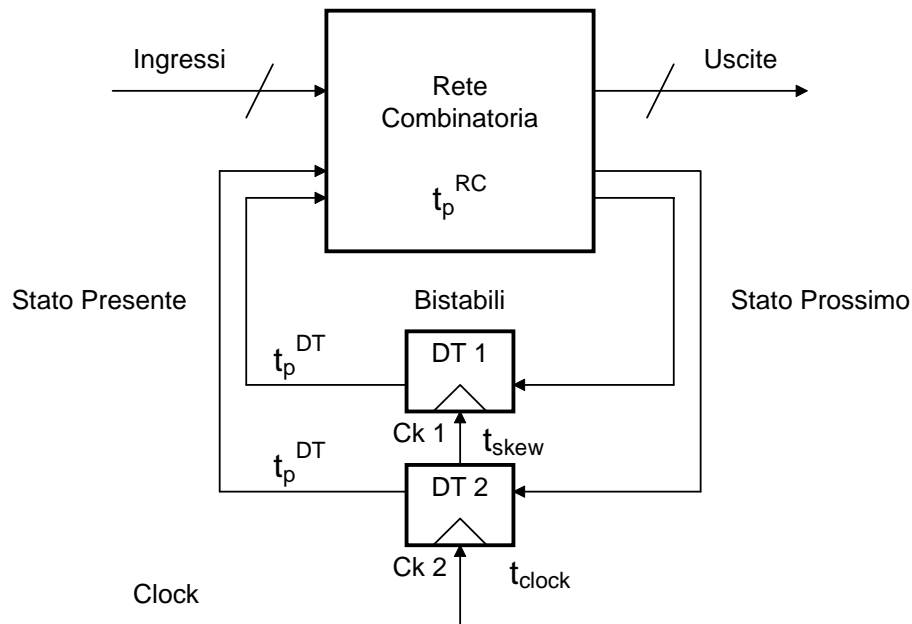
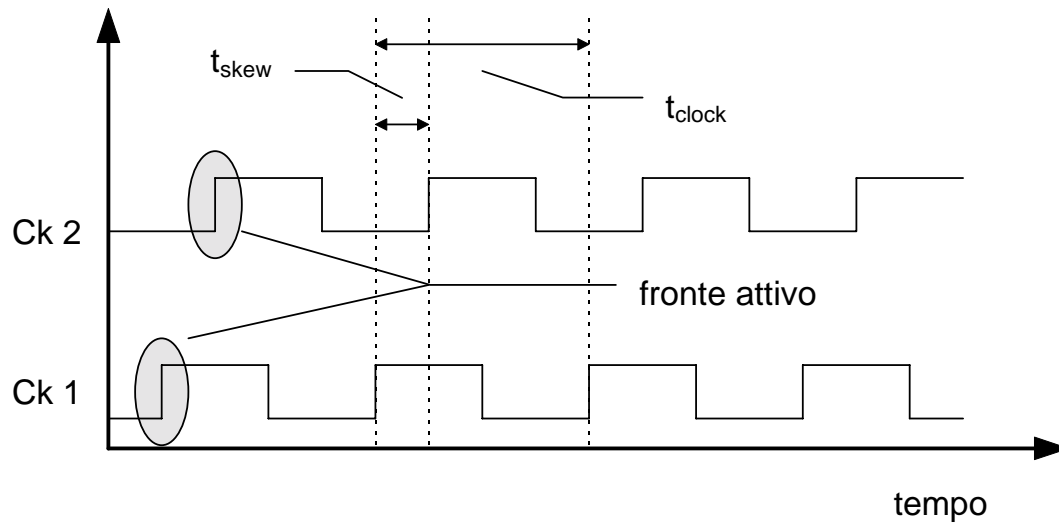
$$t_{clock} \approx t_{setup}^{DT} + t_p^{DT} + t_p^{RC}$$

Massima frequenza di clock della macchina sequenziale

$$f_{max} \approx \frac{1}{t_{clock}}$$

$$f_{max} \approx \frac{1}{t_{setup}^{DT} + t_p^{DT} + t_p^{RC}}$$

Macchina sequenziale - Caratterizzazione temporale



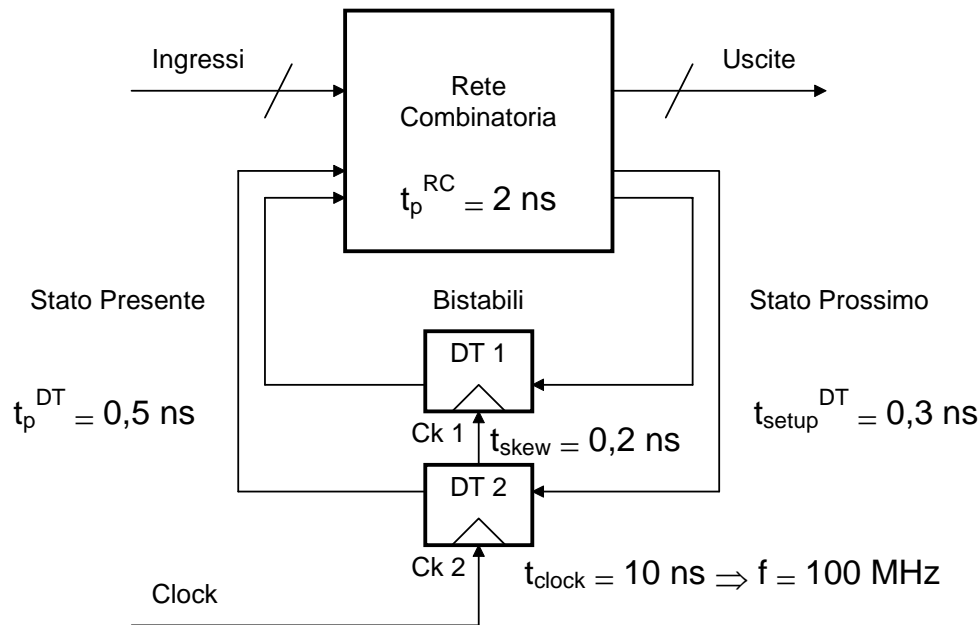
$$t_{skew} = \text{fronte di salita su Ck 2} - \text{fronte di salita su Ck 1}$$

Sfasamento del clock (clock skew): massimo ritardo di arrivo del fronte attivo di clock tra i bistabili.

2^a condizione di stabilità

$$t_{skew} < t_p^{DT} + t_p^{RC}$$

Macchina sequenziale - Caratterizzazione temporale



1^a condizione di stabilità

$$t_{clock} \geq t_{setup}^{DT} + t_p^{DT} + t_p^{RC}$$

$$10 \text{ ns} \geq 2 \text{ ns} + 0,3 \text{ ns} + 0,5 \text{ ns} = 2,8 \text{ ns} \quad \text{è verificata}$$

2^a condizione di stabilità

$$t_{skew} < t_p^{DT} + t_p^{RC}$$

$$0,2 \text{ ns} < 2 \text{ ns} + 0,3 \text{ ns} = 2,3 \text{ ns} \quad \text{è verificata}$$

Massima frequenza di clock raggiungibile

$$f_{max} \approx \frac{1}{t_{setup}^{DT} + t_p^{DT} + t_p^{RC}}$$

$$f_{max} \approx \frac{1}{0,3 \text{ ns} + 0,5 \text{ ns} + 2 \text{ ns}} = \frac{1}{2,8 \text{ ns}} = 0,357 \text{ GHz}$$

$$f_{max} \approx 357 \text{ MHz}$$

Macchine sequenziali - Uso dei bistabili

Quale bistabile sincrono usare per sintetizzare il registro di stato delle macchine sequenziali sincrone?

Latch, Edge-Triggered o Master-Slave?

Non si possono usare bistabili latch, a causa del fenomeno di trasparenza!

Edge-Triggered: è necessario che:

$$t_{\text{hold}}^{\text{DT}} \leq t_p^{\text{DT}} + t_p^{\text{RC}}$$

Master-Slave: nessun problema.