

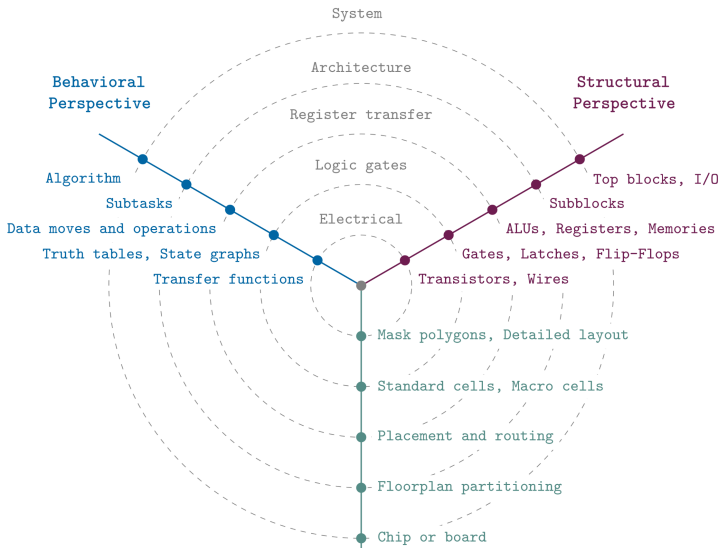


# CheatSheet Digital Design

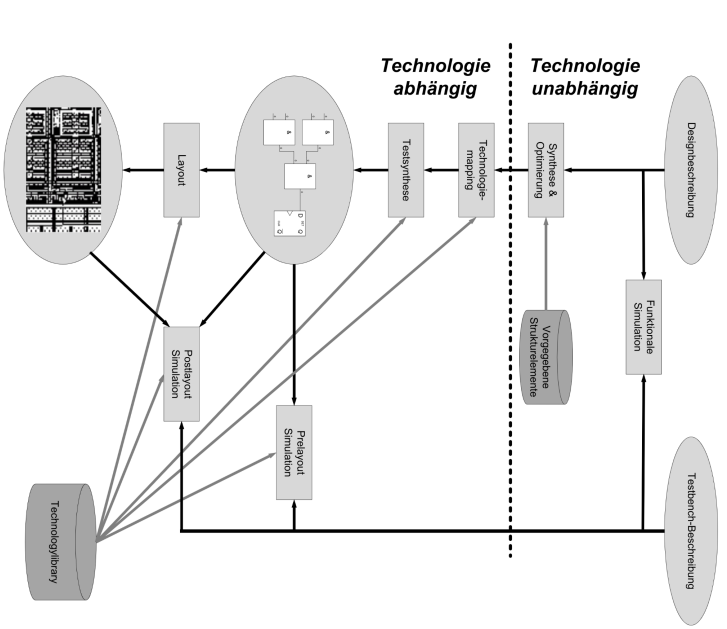
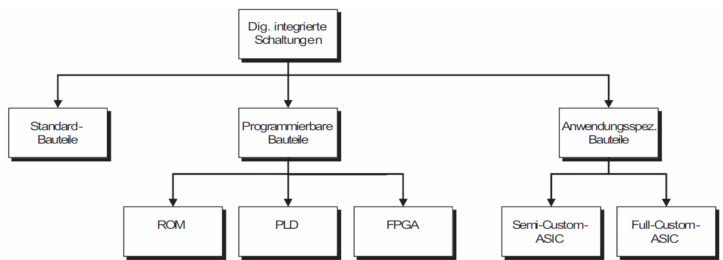
Fs 2025 – Prof. Dr. Paul Zbinden  
Autoren: Ricca Aaron  
<https://github.com/Rin-Ha-n/DigDes>

## 1 Introduzione

### 1.1 Scelta/caratteristiche dei componenti

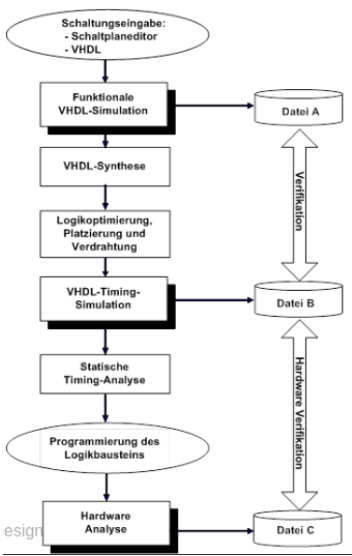


Kriterien	Standard Bauteile	ROM	PLD	FPGA	Semi-Custom	Full-Custom
Machbarkeit	++	--	--	+	+	+++
Zeit Realisierung	+	++	++	++	-	--
Iterationszeit	-	++	++	++	-	--
NRE	++	+	+	+	-	---
Stückpreis	--	+	+	-	+	+++



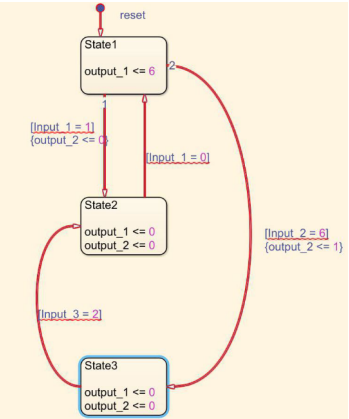
### 1.2 Guida al design

- Design / Entry
- Funktionale Simulation
- Synthese
  - Logikoptimierung
  - Platzierung
  - Verdrahtung
- Implementierung
- Timing Simulation
- Statische Timing Analyse
- Herstellungsdatenerzeugen



### 1.3 Bubble diagram

- Bolle:** Ogni bolla rappresenta uno stato
- Freccie:** Condizione per passare da uno stato all'altro dev'essere scritta accanto alla freccia.
- Moore:** Gli output sono associati agli stati, quindi scritti dentro a quest'ultimi.
- Melay:** Gli output sono associati alle transizioni, quindi scritti accanto alle frecce.



## 2 Programmazione VHDL

### 2.1 Library

Una libreria può contenere componenti e o pacchetti. I componenti sono descrizione di circuiti e realizzazione specifiche, vengono memorizzati nella libreria in modo da poter essere riutilizzati più volte e da più progettisti contemporaneamente. I blocchi di codice di una libreria sono memorizzati in forma compilata, direttamente eseguibile. Contenuto di una libreria: Components, Packages, Functions, Procedures, Declarations.

```
1 library ieee;  
2 use ieee.std_logic_1164.all; -- CPP: using namespace std;  
3 use ieee.numeric_std.all; -- Solo per operazioni aritmetiche per vettori
```

### 2.2 entity dichiarazione

L'entità descrive il componente del progetto. In primo luogo l'entità descrive l'interfaccia (schnittstelle) del componente.

```
1 entity <entity name> is  
2     port (  
3         {<port_name> : <mode> <type>;}  
4     );  
5 end entity <entity name>;
```

L'architettura descrive il comportamento del componente, come funziona e come è realizzato.

### 2.3 architecture

```
1 architecture <architecture_type> of <entity_name> is  
2     [type_declaration]  
3     [component_declaration]  
4     [subtype_declaration]  
5     [constant_declaration]  
6     [signal_declaration]  
  
begin  
    -- codice di architettura  
end <architecture_type>;
```

### 2.4 Port mapping

Il port mapping è utilizzato per collegare le porte dell'entità con i segnali dell'architettura.

```
1 U1: entity_name
2   port map (
3     <port_name> => <signal_name>,
4     <port_name> => <signal_name>
5   );
```

2.4.1 Esempio

```
1 architecture structural of half_adder is
2   component xor2
3     port (
4       in1, in2 : in bit;
5       oup      : out bit
6     );
7   end component;
8
9   component and2
10    port (
11      in1, in2 : in bit;
12      oup      : out bit
13    );
14  end component;
15
16  begin
17    -- instantiation of ocomponents XOR2 and AND2
18    -- Mappatura esplicita
19    U1 : xor2
20      port map (
21        in1 => q,
22        in2 => p,
23        oup => s
24      );
25    -- Mappatura implicita
26    U2 : and2
27      port map (p, q, s) -- L'ordine delle porte segue quello della dichiarazione del
                             ↳ componente!
```

2.5 component

I componenti sono utilizzati per definire le porte di un’entità, in modo da poterla utilizzare in altre entità.

```
1 component <component_name> is
2   port (
3     {<port_name> : <mode> <type>;}
4   );
5 end component <component_name>;
```

2.6 Tipi

- <architecture\_type> = Behavioral | Structural | RTL | Dataflow | Tb | (...)
- <mode> = in | out | inout
- <type> = bit | bit\_vector | std\_u logic | std\_u logic\_vector | integer | boolean

2.6.1 <architecture\_type>

**Behavioral:** si occupa di descrivere il comportamento del circuito, senza preoccuparsi della struttura fisica. Alto livello di astrazione concetto Wahrheitstabelle.

```
1 if rising_edge(clk) then
2   if A = '1' then
3     Y <= B;
4   end if;
5 end if;
```

**Structural:** si occupa di descrivere la struttura fisica del circuito, utilizzando componenti e connessioni tra di essi. Medio livello di astrazione.

```
1 U1: and_gate port map (A => A, B => B, Y => Y1);
2 U2: or_gate  port map (A =1, B => C, Y => Y);
```

**RTL:** si occupa di descrivere il circuito a livello di registro e logica combinatoria, utilizzando registri e porte logiche. Basso livello di astrazione.Concetto Boolsche Ausdrücke.

```
1 if rising_edge(clk) then
2   reg1 <= A and B;
3   reg2 <= reg1 xor C;
4 end if;
```

**Dataflow:** si occupa di descrivere il circuito a livello di flusso di dati, utilizzando porte logiche e segnali. Basso livello di astrazione.

```
1 Y <= (A and B) or (not C);
```

**Tb:** si occupa di descrivere il circuito a livello di testbench, utilizzando segnali di test e componenti di test.

```
1 A <= '0'; wait for 10 ns;
2 A <= '1'; wait for 10 ns;
3 assert (Y = expected_value) report "Test failed" severity error;
```

2.6.2 <type> (dichiarazione: segnali, variabili, ...)

Nella sintesi del codice, é vietato inizializzare i segnali nella dichiarazione!

- bit: rappresenta un singolo bit, con valori '0' e '1'.  
1 signal A : bit;
- bit\_vector: rappresenta un vettore di bit, con valori '0' e '1'.  
1 signal B : bit\_vector(7 downto 0); -- vettore di 8 bit
- std\_logic: rappresenta un singolo bit con valori '0', '1'.  
1 signal C : std\_logic;
- std\_logic\_vector: rappresenta un vettore di std\_logic, con valori '0', '1'.  
1 signal D : std\_logic\_vector(7 downto 0);
- std\_ulogic: rappresenta un singolo bit con valori '0', '1', 'Z' (alta impedenza) e 'X' (indeterminato).  
1 signal E : std\_ulogic;
- std\_ulogic\_vector: rappresenta un vettore di std\_ulogic, con valori '0', '1', 'Z' e 'X'.  
1 signal F : std\_ulogic\_vector(7 downto 0);
- integer: rappresenta un numero intero, con valori compresi tra  $-2^{31}$  e  $2^{31}-1$  (è necessario definire l’intervallo di utilizzo).  
1 signal G : integer range 0 to 255; -- intervallo di utilizzo
- boolean: rappresenta un valore booleano, con valori true e false.  
1 signal H : boolean; -- true or false

2.7 Nebenläufige Signalzuweisungen "y<=x"

2.7.1 Unbedingte Signalzuweisung

L’assegnazione dei segnali é incondizionata, quindi indipendente.

```
1 y <= '0';
2 y <= a and b;
```

2.7.2 Bedingte Signalzuweisung

L’assegnazione dei segnali é eseguita in modo sequenziale, si controlla una condizione e se corretta si assegna il valore, sennó si procede con la prossima condizione.

```
1 y <= '0' when a = '1' else
2   '1' when a = '0';
```

2.7.3 Selektive Signalzuweisung

L’assegnazione dei segnali é eseguita in modo selettivo, viene selezionata il valore in base alla condizione.

```
1 with s seelct y <=
2   '0' when "00",
3   '1' when "01",
4   'Z' when "10",
5   'X' when others;
```

2.7.4 Bedingte Signalzuweisung

L’aggregazione dei segnali permette di aggregare segnali individuali in un unico segnale.

```
1 y <= (a, b, '1', '0'); -- Assegnazione implicita
2 y <= (0 => '0', 1 => '1', 2 => b, others => a); -- Assegnazione esplicita (<
↳ posizione_vettoriale> => <valore>)
```

2.7.5 concatenate

La concatenazione dei segnali permette di concatenare segnali in un unico segnale.

```
1 y <= v_1 & v_2;
```

2.8 Processi

I processi sono sezioni di codice che vengono eseguite ogni volta che un **Segnale sensibile** nella lista sensibile cambia di stato.

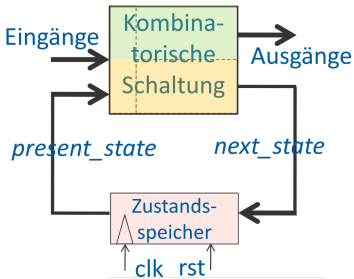
```
1 process (clk, reset)
2   begin
3     if reset = '1' then
4       -- codice di reset
5     elsif rising_edge(clk) then
6       -- codice di clock
7     end if;
8   end process;
```

3 State machine

Le **Finite State Machine** (FSM) sono macchine a base di circuiti logici sequenziali.

Sono in grado quindi di eseguire operazioni logiche e di poterle memorizzare in modo da consegnare in uscita una funzione che non solo è dipendente dagli Input attuali ma anche (o solo) dallo stato attuale (memorizzato con gli input precedenti).

Le tre alternative proposte di seguito sono delle possibilità di incapsulamento standardizzato della funzione desiderata, qualunque essa sia.  
- Cit. Alessio Ciceri



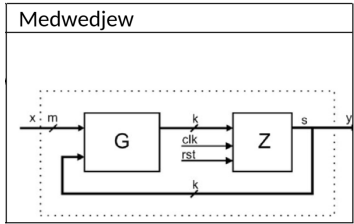
3.1 Medwedjew

Composta da una un blocco di logica combinatoria(G) che risolve la funzione desiderata e da un blocco di memoria(Z) che memorizza gli stati.

=> Gli Input e lo stato attuale della FSM vengono processati da una logica combinatoria(G)

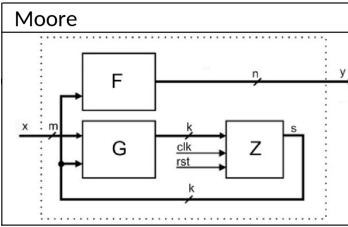
=> Il risultato della logica viene memorizzato nella Zustandspeicher(Z)

=> L’uscita è esattamente la copia di tutti gli stati memorizzati(s).



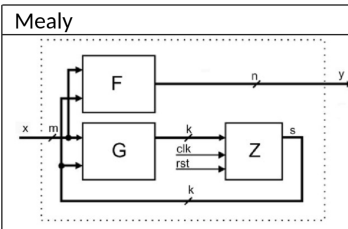
### 3.2 Moore

Come Medwedjew ma con una logica dedicata sul ramo di output(s).  
Tipicamente utile per output più complessi/numerosi rispetto agli stati memorizzati( $k \neq n$ ).  
=> logica combinatoria aggiuntiva sul ramo d'uscita (F)  
=> Più efficiente di Medwedjew per la memorizzazione degli stati



### 3.3 Mealy

Si tratta della Versione Moore dove la logica sul ramo d'uscita è dipendente anche a segnali provenienti direttamente dagli input della FSM  
=> Necessaria se y dipende asincronamente da delle entrate  
=> Più complessa, spesso riducibile a Moore



### 3.4 Codice scheletro FSM (G,Z,F)

```
1
2 G: process(present_state, inputs)
3 begin
4     next_state <= de_fault_state;
5     case present_state is
6         when X_state =>
7             next_state <= Y_state;
8         when others =>
9             next_state <= R_state;
10    end case;
11 end process;
12
13 Z: process(clk)
14 begin
15     if clk'event and clk = '1' then
16         if reset = '1' then
17             present_state <= reset_state;
18         else
19             present_state <= next_state;
20         end if;
21     end if;
22 end process;
23
24 F: process(present_state, )
25 begin
26     oup <= default_value;
27     case present_state is
28         when X_state =>
29             oup <= "1001";
```

```
30         when others =>
31             oup <= "1111";
32     end case;
33 end process;
```

### 3.5 Codifica degli stati (Z-Register)

La dimensione del registro =  $2^n \rightarrow bit$  Gli stati di una FSM possono essere codificati in diversi modi, tra cui:

- **Codifica binaria:** ogni stato è rappresentato da un codice binario unico.
- **Codifica Gray:** simile alla codifica binaria, ma le transizioni tra stati adiacenti cambiano solo un bit alla volta.
- **Codifica one-hot:** ogni stato è rappresentato da un bit attivo, con tutti gli altri bit a zero.
- **Codifica one-cold:** simile alla codifica one-hot, ma solo un bit è a zero e tutti gli altri sono attivi.