

VHDL cheatsheet

Lorenzo Rossi

Anno Accademico 2019/2020

Email: lorenzo14.rossi@mail.polimi.it

GitHub: <https://github.com/lorossi/appunti-vhdl>

Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione

Non commerciale 4.0 Internazionale 

Indice

1	Sintassi base	1
1.1	Case sensitivity	1
1.2	Assegnazioni	1
1.2.1	Assegnazioni di Signal	1
1.2.2	Assegnazioni di Variable	1
1.2.3	Slicing di vettori	1
1.3	Operatori	1
1.3.1	Uso degli operatori	1
1.3.2	Operatori logici	1
1.3.3	Shift	1
1.3.4	Operatori relazionali	2
1.3.5	Operatori aritmetici	2
1.3.6	Operatori miscellanei	2
2	Modeling Styles	3
3	Librerie	3
4	Tipi di dato	4
4.1	Integer	4
4.2	Natural e Positive	4
4.3	Std_Ulogic	4
4.4	Std_Logic	5
4.5	Std_Logic_Vector	5
4.6	Signed/Unsigned	5
4.7	Conversioni tra tipi di dato	6
5	Basic statements	7
5.1	Entity	7
5.2	Architecture	7
5.3	Modes	8
5.4	Signal	8
5.5	Component	9
5.6	Generic	10
5.7	Attributes	10
5.8	Aggregate	11
5.9	When/Else	11
5.10	With/Select	12
6	Generate statement	13
6.1	If ... Generate	13
6.2	For ... Generate	13

7	Process	15
7.1	Struttura di un process	15
7.1.1	Infinite loop	15
7.1.2	Wait statement	15
7.1.3	Sensitivity list	16
7.1.4	Declaration region	16
7.1.5	Sequential Statement Region	16
7.2	Sequential statements	17
7.2.1	If statement	17
7.2.2	Case statement	18
7.2.3	Loop statement	19
7.3	Commit	19
7.3.1	Signal commit	19
7.3.2	Variable commit	19
8	Custom types	20
8.1	Sottotipi	20
8.2	Tipi	20
8.2.1	Tipi enumerati	20
8.2.2	Tipi record	21
8.2.3	Tipi array	21

1 Sintassi base

1.1 Case sensitivity

Il VHDL è *case insensitive*, ovvero non fa differenza tra lettere maiuscole e minuscole **in nessun caso**.

1.2 Assegnazioni

1.2.1 Assegnazioni di Signal

```
SIGNAL_NAME <= EXPRESSION;
```

1.2.2 Assegnazioni di Variable

```
VARIABLE NAME := EXPRESSION;
```

1.2.3 Slicing di vettori

SIGNAL_0 e *SIGNAL_1* sono segnali di tipo *std_logic_vector*

```
SIGNAL_1 <= SIGNAL_0(RANGE);  
SIGNAL_1 <= SIGNAL_0(N downto M);  
SIGNAL_1 <= SIGNAL_0(M to N);
```

1.3 Operatori

1.3.1 Uso degli operatori

```
SIGNAL_1 <= SIGNAL_2 operatore SIGNAL_3;
```

1.3.2 Operatori logici

- not *operazione di negazione*
- and *operazione di moltiplicazione logica*
- or *operazione di addizione logica*
- nor *operazione di somma negata*
- nand *operazione di moltiplicazione negata*
- xor *or esclusivo*
- xnor *or esclusivo negato*

1.3.3 Shift

- SLL *Shift left, i bit più a destra sono rimpiazzati da zeri*
- SRL *Shift right, i bit più a sinistra sono rimpiazzati da zeri*
- SLA *Shift left aritmetico*
- SRA *Shift right aritmetico*

- ROL *Rotate left*
- ROR *Rotate right*

1.3.4 Operatori relazionali

- = *uguale*
- / = *non uguale, diverso*
- < *minore*
- > *maggiore*
- <= *minore uguale*
- >= *maggiore uguale*

1.3.5 Operatori aritmetici

- ** *elevazione a potenza*
- rem *resto*
- mod *modulo*
- / *divisione*
- * *moltiplicazione*
- + *somma*
- abs *valore assoluto*

Per incrementare di 1 una variabile non si può usare l'operatore ++ ma bisogna usare l'espressione

```
SIGNAL <= SIGNAL + 1;
```

E analogamente bisognerà comportarsi con sottrazione e altri operatori aritmetici.

1.3.6 Operatori miscelanei

- & *operazione di concatenazione*
- -- *commento in linea*
- Others *si riferisce a tutti gli elementi di un signal che non sono già stati menzionati*
- array(i) *accesso all'i-esimo elemento dell'array*
- array(i, j) *accesso al j-esimo elemento dell'i-esimo elemento dell'array - nested 2D array*
- array := (Others => (Others => '0')) *inizializzazione di un nested 1D array*

2 Modeling Styles

- Structural modeling
 - Implementazione come unione di porte/strutture
 - Technology dependent
- Dataflow Modeling
 - Implementazione come descrizione combinatoria tramite porte logiche di base
 - Technology independent
- Behavioral modeling
 - Implementazione come descrizione del comportamento che ha l'entity
 - Non riflette direttamente l'implementazione
- Mixed Modeling
 - Combinazione delle precedenti

3 Librerie

- Definiscono i tipi base o il comportamento delle funzioni elementari
- Tutte le librerie devono essere dichiarate manualmente, tranne la libreria *standard* che contiene informazione base e direttive date all'analizzatore (es. *boolean*)
- Librerie fondamentali:
 - *std_logic_1164.all* enhanced signal types
 - *numeric_std.all* numerical computation
 - *math_real.all* mathematical operations

4 Tipi di dato

Il linguaggio VHDL contiene diversi tipi di dato che possono caratterizzare *signal* e *variables*

4.1 Integer

- Definito nella libreria *std_logic_1164.all*
- Contiene gli interi da $-2^{31} - 1$ a $2^{31} - 1$
- Non ci si può affidare al *roll-up* o all'*overflow*
- Si può specificare la larghezza massima dell'intero. **Tuttavia in tal caso non ci si potrà affidare al *roll-over*.**

```
my_num INTEGER range 0 to 64
```

4.2 Natural e Positive

- Sono *subtype* di *INTEGER*
- Non sono di 32 bit
 - Il *natural* contiene gli interi da 0 a $2^{31} - 1$

```
subtype NATURAL is INTEGER range 0 to INTEGER'HIGH
```
 - Il *positive* contiene gli interi da 1 a $2^{31} - 1$

```
subtype POSITIVE is INTEGER range 1 to INTEGER'HIGH
```

4.3 Std_Ulogic

- Definito nella libreria *std_logic_1164*
- Definisce qualsiasi stato di un elemento ad 1 bit
 - 'U' *forcing uninitialized*
 - 'X' *forcing unknown*
 - '0' *forcing 0*
 - '1' *forcing 1*
 - 'Z' *high impedance*
 - 'W' *WEAK unknown*
 - 'L' *WEAK low*
 - 'H' *WEAL high*
 - '-' *don't care*

4.4 Std_Logic

- Definito nella libreria *standard*
- È un *subtype* del tipo *std_ulogic*
- Ovvia automaticamente al problema che sorge quando due signal diversi vengono connessi tra di loro (ad esempio, all'uscita di due buffer)
- Il segnale viene automaticamente *risolto* (assegnato) tramite una *tabella di risoluzione*

Tabella di risoluzione									
	U	X	0	1	Z	W	L	H	-
U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
X	U	X	X	X	X	X	X	X	X
0	U	X	0	X	0	0	0	0	X
1	U	X	X	1	1	1	1	1	X
Z	U	X	0	1	Z	W	L	H	X
W	U	X	0	1	W	W	W	W	X
L	U	X	0	1	L	W	L	W	X
H	U	X	0	1	H	W	W	H	X
-	U	X	X	X	X	X	X	X	X

4.5 Std_Logic_Vector

- Estensione di *std_logic* sotto forma di vettore

```
STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0)
STD_LOGIC_VECTOR(0 to 15)
```

4.6 Signed/Unsigned

- Definiti nella libreria *numeric_std*
- Array di *signed* or *unsigned* con tutte le loro operazioni definite
- Non c'è limite alla dimensione che possono assumere
- Si può fare affidamento al *roll-up* o all'*overflow*
- C'è controllo sulla rappresentazione numerica

```
type UNSIGNED is ARRAY (NATURAL range <>) OF std_logic
type SIGNED is ARRAY (NATURAL range <>) OF std_logic
```


4.7 Conversioni tra tipi di dato

- Categorizzazione dei tipi
 - *Integer* → numero
 - *Signed*, *Unsigned*, *Std_logic_vector* → vettori di bit
- Conversione dei tipi
 - Da *Integer* a:
 - * *Signed* → *to_signed(integer, signed'LENGTH)*
 - * *Unsigned* → *to_unsigned(integer, unsigned'LENGTH)*
 - Da *Signed* a:
 - * *Integer* → *to_integer(signed)*
 - * *Std_logic_vector* → *std_logic_vector(signed)*
 - Da *Unsigned* a:
 - * *Integer* → *to_integer(unsigned)*
 - * *std_logic_vector* → *std_logic_vector(unsigned)*
 - Da *Std_logic_vector* a:
 - * *Signed* → *signed(std_logic_vector)*
 - * *Unsigned* → *unsigned(std_logic_vector)*

5 Basic statements

5.1 Entity

- Una *entity* è la descrizione dell'interfaccia tra il design e l'ambiente esterno
- Può indicare le *declarations* e gli *statements* che sono parte del design
- Una *entity* può essere condivisa tra più elementi del *design*, ognuno con la sua differente architettura
- Struttura di una *entity*

```
entity ENTITY_NAME is
    port (
        PORT_NAME : PORT_MODE PORT_TYPE;
        PORT_NAME : PORT_MODE PORT_TYPE
        ...
    );
end ENTITY_NAME;
```

- Non ci vuole il *punto e virgola* nella dichiarazione dell'ultima porta
- Esempio di una *entity*

```
entity or2 is
    port (
        a : in std_logic;
        b : in std_logic;
        c : out std_logic
    );
end or;
```

- Si dichiarano prima della *architecture*

5.2 Architecture

- Dentro la *architecture* viene descritto il comportamento di uno o più componenti istanziati
- Si possono usare più *architecture* per *entity*, scritte in forme diverse, per poi scegliere l'implementazione che si desidera
- Struttura di una *architecture*

```
architecture ARCHITECTURE_NAME of ENTITY_NAME is
    Begin
        ...
    End ARCHITECTURE_NAME
```

- Esempio di una *architecture*

```
architecture or2_a of or2 is
Begin
    c <= a or b;
End or2_a;
```

5.3 Modes

- Il modo di una porta definisce la direzione dei segnali che la attraversano
- Tipi di modi:
 - IN *ingresso, può solo essere letta*
 - OUT *uscita, può solo essere scritta*
 - INOUT *sia ingresso che uscita*
 - BUFFER *porta di uscita che può essere usata anche per leggere il valore scritto in precedenza*
 - LINKAGE *porta speciale, crea collegamento diretto senza buffer*

5.4 Signal

- Oggetti primari per la creazione di un sistema hardware
- Ad ogni segnale è associato un nome, un tipo ed un valore iniziale (*facoltativamente*)
 - Un segnale non inizializzato avrà valore indefinito *U*
- Possono essere utilizzati per memorizzare valori o per connettere entità
- Struttura di un *signal*

```
signal SIGNAL_NAME : SIGNAL_TYPE := INITIAL_VALUE;
signal SIGNAL_NAME : SIGNAL_TYPE;
```

- Esempio di un *signal*

```
signal s1 : std_logic := '1';
signal s2 : std_logic;
```

- Il *signal* si dichiara all'interno dell'*architecture*, prima del *begin*

5.5 Component

- Per utilizzare i moduli all'interno del design, questi devono essere prima *dichiarati* e poi *istanziati*
 - La *dichiarazione* deve avvenire all'interno dell'*architecture*
 - L'*istanziamento* deve avvenire dopo il *begin*

- Struttura di una *dichiarazione* :

```
component ENTITY NAME is
port (
    PORT_NAME : PORT_MODE PORT_TYPE;
    PORT_NAME : PORT_MODE PORT_TYPE
    ...
);
end component;
```

- Non ci vuole il *punto e virgola* nella dichiarazione dell'ultima porta
- La struttura delle porte del *componente dichiarato* deve essere identica a quella *dell'entity originale*.
- Struttura di un *istanziamento*:

```
INSTANTIATION_NAME : INSTANTIATED_NAME
port map (
    PORT_NAME => SIGNAL,
    ...
);
```

- Non ci vuole la *virgola* nel map dell'ultima porta
- Esempio di una *dichiarazione*:

```
component or2 is
port (
    a : in std_logic;
    b : in std_logic;
    c : out std_logic
);
end component;
```

- Esempio di un *istanziamento*:

```
or2_inst1 : or2
port map (
    a => a1,
    b => a0,
    c => n1
);
```

5.6 Generic

- I *generic* servono a passare informazioni all'*entity*
- Non possono essere modificati durante l'esecuzione
- Specificano parametri, ad esempio larghezza di vettori
- Si usano per rendere scalabile un sistema
- Possono essere considerate come *costanti*
- Struttura di un *generic*

```
Generic(  
    GENERIC_NAME : GENERIC_TYPE := INITIAL_VALUE;  
    ...  
);
```

- Esempio di un *generic*

```
entity my_entity is  
Generic (  
    VECTOR_WIDTH : integer := 16;  
    XOR_CHECK : boolean := false  
);  
Port (  
    a : in std_logic_vector(VECTOR_WIDTH-1 downto 0);  
    b : out std_logic_vector(VECTOR_WIDTH-1 downto 0)  
);  
end my_entity;
```

- Vanno usati nella *entity* prima della funzione *port*

5.7 Attributes

- Permettono di ricavare informazioni su oggetti del nostro sistema
- *Attributes* più usati:
 - LEFT/RIGHT
 - HIGH/LOW
 - LENGTH
 - RANGE/REVERSE_RANGE
- Struttura di un *attribute*

```
object'attribute_name
```

- Esempi di *attribute*

```

signal vect : std_logic_vector(4 to 16);
vect'LEFT => 4
vect'RIGHT => 4
vect'HIGH => 16
vect'LOW => 4
vect'LENGTH => 13
vect'RANGE => (4 to 16)
vect'REVERSE_RANGE => (16 downto 4)

```

5.8 Aggregate

- Definisce un vettore tramite composizione
- A differenza della concatenazione, la lunghezza del vettore non è definita a priori
- Esempi di *aggregate*

```

signal vect_1 : std_logic_vector(7 downto 0);
signal vect_2 : std_logic_vector(7 downto 0);

vect1 <= (7 => '0', 6 => vect2(3), 3|4|2 => '1', Others => '0');
vect1 <= (vect2(3 downto 0), vect2(7 downto 4));
vect1 <= (Others => '0');
vect1 <= (7 downto 4 => '0', 3 downto 0 => '1');

```

5.9 When/Else

- Assegna il valore ad un *signal* condizionatamente ad un altro *signal*, **ma solo al di fuori di un process**
- Tutte le possibili condizioni vanno esplicitate, usando la *keyword else*
- Non bisogna usare le virgole dopo gli else
- Struttura di un *when/else*

```

SIGNAL_1 <= VALUE when SIGNAL_2 = VALUE else
    ...
    else VALUE;

```

- Esempio di *when/else*

```

a, b signals
b <= "1000" when a = "00" else
    "0100" when a = "01" else
    "0010" when a = "10" else

```

```

        "0001" when a = "11";

b <= "1000" when a = "00" else
    "0100" when a = "01" else
    "0000";

```

5.10 With/Select

- Assegna il valore ad un *signal* condizionatamente ad un altro *signal*, **ma solo al di fuori di un process**
- Tutte le possibili condizioni vanno esplicitate, usando la *keyword else*
- Servono le virgole a fine riga
- Struttura di un *with/select*

```

with SIGNAL_1 select SIGNAL_2 <= VALUE when VALUE;
...

```

- Esempio di *with/select*

```

a, b signals
with a select b <= "1000" when "00";
                "0100" when "01";
                "0010" when "10";
                "0001" when "11";

with a select b <= "1000" when "00";
                "0100" when "01";
                "0000" when Others;

```

6 Generate statement

- Servono ad istanziare un numero di componenti non definito staticamente
- Il numero di *component* istanziati può essere in funzione dei *generic*
- I *generate statements* possono essere annidati
- Vanno usati dentro l'*architecture*, dopo il *begin*

6.1 If ... Generate

- Tramite il costrutto *If ... Generate* è possibile includere determinate dichiarazioni in funzione del valore assunto da *generic* o *costanti*
- Il costrutto *If ... Generate* non ha il costrutto *else*
- Struttura di un *If ... Generate*

```
LABEL : if GENERIC == VALUE generate
      STATEMENT
end generate;
```

- Esempio di un *If ... Generate*

```
architecture Behavioral of test is
begin
  NULL_GEN : if NULL_VALUE = true generate
    c <= (Others => '0');
  end generate;

  NO_NULL_GEN : if NULL_VALUE = false generate
    c <= a;
  end generate;
end Behavioral;
```

6.2 For ... Generate

- Tramite il costrutto *For ... Generate* è possibile includere determinate dichiarazioni ricorsivamente, come in un ciclo *for*
- Struttura di un *For ... Generate*

```
LABEL : for VARIABLE in RANGE generate
      STATEMENT
end generate;
```


- Esempio di un *For ... Generate*

```
architecture Behavioral of test is
begin
    LOOP_GEN_1 : for I in 0 to 3 generate
        c(I) <= a(0);
    end generate;

    LOOP_GEN_2 : for I in 4 to 7 generate
        c(I) <= a(1);
    end generate;
end Behavioral;
```

7 Process

- Il *process* in VHDL è una struttura particolare usata per descrivere il comportamento di un aparte di circuito
- Il comportamento è diverso da un linguaggio di programmazione classico
- Durante la simulazione, un *process* viene letto ed eseguito sequenzialmente dal simulatore
- I *process* vanno messi all'interno del *begin*
- Differenza tra *sintesi* e *simulazione*
 - Sintesi: *il process viene sintetizzato per ottenere un Hardware con le stesse proprietà*
 - Simulazione: *il process viene letto da una macchina temporale che valuta riga per riga*
- Struttura di un *process*

```
PROCESS_NAME process (SENSITIVITY_LIST)
    TYPE_DECLARATIONS
    CONSTANT_DECLARATIONS
    VARIABLE_DECLARATIONS
    SUBPROGRAM_DECLARATIONS
begin
    SEQUENTIAL_STATEMENTS
end process PROCESS_NAME;
```

7.1 Struttura di un process

7.1.1 Infinite loop

- In un *process* il codice viene letto sequenzialmente.
- Quando il *process* raggiunge l'ultima riga, riparte dall'inizio
- Senza nessun tipo di interruzione si crea un *infinite loop process*
 - È normalmente un comportamento non voluto

7.1.2 Wait statement

- Il *wait statement* temporizza il circuito, fermandone l'esecuzione in determinate condizioni
- Struttura di un *wait statement*

```
LABEL wait SENSITIVITY_CLAUSE CONDITION_CLAUSE;
```

- Esempio di un *wait statement*

```

wait for 10 ns;           -- Specifica un tempo di timeout
wait until clk='1';       -- Condizione booleana
wait until A>B and S1 or S2; -- Condizione booleana
wait on sig1, sig2;       -- Sensitivity clause, qualsiasi cambio
                           -- in uno dei segnali ferma la pausa
wait;                     -- Pausa per sempre

```

7.1.3 Sensitivity list

- La *sensitivity list*, insieme agli *wait statements*, serve a controllare il flusso del programma
- Funge da *lista di attivazione* del processo, poiché questo rimane dormiente finché un segnale non lo risveglia cambiando di valore
- Nella *sensitivity list* vanno aggiunti tutti i segnali presenti nella parte destra delle assegnazioni dei vari costrutti condizionali

7.1.4 Declaration region

- All'interno di un *process* sono visibili tutte le dichiarazioni presenti nella *entity* e *architecture*, come *signals* e *begin*
- La *declaration region* è nell'area compresa tra *process* e *begin*
- Dentro la *declaration region* è possibile dichiarare nuove risorse (le *variabili*). Non esistono *signals* locali
- Esempio di *declaration region*

```

process(clk, reset)
    variable local_count : count'base
begin
    ...
end process;

```

7.1.5 Sequential Statement Region

- Nella regione di *sequential statement* viene inserita tutta la descrizione del comportamento del *process*
- La lettura del codice avviene in maniera *sequenziale*

- Esempio di *sequential statement region*

```

process (...)
    ...
begin
    local_count := count;
    if reset = '1' then
        local_count <= 0;
    elsif rising_edge(clk) then
        local_count <= local_count + 1;
    end if;
    count <= local_count;
end process;

```

7.2 Sequential statements

- Questi *statements* sono usati nei *process*
- Lista di *statements*

- wait statement
- assertion statement
- report statement
- signal assignment statement
- procedure call statement
- if statement
- case statement
- loop statement
- next statement
- exit statement
- return statement
- null statement

7.2.1 If statement

- Struttura dell'*if statement*

```

LABEL if CONDITION1 then
    ...
elsif CONDITION2 then
    ...
else
    ...
end if LABEL;

```

- Esempio di *if statement*

```

if a=b then
    c := a;
elsif b<c then
    d := b;
    b := c;
else
    c := 0;
end if;

```

7.2.2 Case statement

- É necessario specificare **sempre** il caso *Others*
- Struttura dell'*Case statement*

```

LABEL case EXPRESSION is
    when choice1 =>
        ...
    when choice2 =>
        ...
    when others =>
        ...
end case LABEL

```

- Esempio di *case statement*

```

case my_val is
    when 1 =>
        a:=b;
    when 3 =>
        c:=d;
    when Others =>
        b:=c;
end case

```

7.2.3 Loop statement

- Struttura dell'*Loop statement*

```
LABEL loop
    ... --use exit statement to get out
end loop LABEL;
```

```
LABEL for VARIABLE in RANGE loop
    ...
end loop LABEL;
```

```
LABEL while CONDITION loop
    ...
end loop LABEL;
```

- Esempio di *loop statement*

```
loop
    input_something;
    exit when end_file;
end loop;
```

```
for I in 1 to 10 loop
    AA(I) := 0;
end loop;
```

```
while not end_file loop
    input_something;
end loop;
```

7.3 Commit

- Il *commit* indica quando il valore delli *signals* e delle *variables* vengono aggiornati nel sistema

7.3.1 Signal commit

Nei *process* i segnali hanno un comportamento particolare

- Il valore dei segnali rimane invariato tra due *wait statement*
- Il valore scritto nei segnali viene aggiornato solo quando il flusso raggiunge uno *wait statement*

7.3.2 Variable commit

- Le *variables* hanno visibilità ristretta nel *process* che le ha dichiarate
- Le *variables* vengono aggiornate istantaneamente
- L'assegnazione delle *variables* avviene con `=`:

8 Custom types

- Nel VHDL sono disponibili molti tipi di dato base. Per creare nuovi tipi di dato personalizzati si usano le seguenti keywords
 - Type *tipi*
 - Subtype *sottotipi*
- Si usano nell'architecture prima del *begin*

8.1 Sottotipi

- Un *subtype* è un sottoinsieme di un tipo già esistente (*per esempio, integer o std_logic_vector*)
- I nuovi tipi creati possono essere assegnati anche al tipo originale
- Struttura di un *subtype*

```
subtype SUBTYPE_NAME TYPE STATEMENTS;
```

- Esempi di *subtypes*

```
subtype short integer range 0 to 255;

subtype nib is std_logic_vector(3 downto 0);
subtype byte is std_logic_vector(7 downto 0);

signal myByte : byte;
signal myVect : std_logic_vector(7 downto 0);

myVect <= mybyte;
```

8.2 Tipi

8.2.1 Tipi enumerati

- *Tipi* di dato che rappresentano un set finito di stati diversi
- Struttura di un *tipo enumerato*

```
type TYPE_NAME is (ELEMENT, ELEMENT, ...);
```

- Esempi di *tipi enumerati*

```
type MyBit_type is (L, H);
type MyState_type is (init, waiting, working, done);
```

8.2.2 Tipi record

- *Tipi* di dato composto da diversi sotto oggetti
- Struttura di un *tipo record*

```
type TYPE_NAME is record
  ELEMENT_NAME : element type;
  ...
end record TYPE_NAME;
```

- Esempi di *tipi record*

```
type Operation is record
  OpCode : Bit_Vector(3 downto 0);
  Op1, Op2, Res : RegName;
end record;
```

8.2.3 Tipi array

- *Tipi* di dato composto da multipli elementi dello stesso tipo
- Struttura di un *tipo array*

```
type TYPE_NAME is array (RANGE) of ELEMENT_TYPE;
```

- Esempi di *tipi record*

```
type nibble is array (3 downto 0) of std_ulogic;
type RAM is array (0 to 31) of integer range 0 to 255;
```

Array 1D

- *Array* in cui è definito un singolo range
- È possibile creare *nested 1D array* in cui ogni elemento di ogni cella è a sua volta un array
- Struttura di un *array 1D*

```
type TYPE_NAME is array (RANGE) of ANOTHER_TYPE;
```

- Esempi di *array 1D*

```
type MyNestedArray is array (0 to 10) of std_logic_vector(7 downto 0);
signal ciao : MyNestedArray := (Others => (Others => '0'));
ciao(0)(0) <= '1';
ciao(0) <= "01010101";
```


Array multidimensionali

- *Array* con più indici
- Utili quando la grandezza da rappresentare è a sua volta a più dimensioni (es. *immagini RGB*)
- Struttura di un *array multidimensionale*

```
type ARRAY_TYPE is array (RANGE, RANGE, ...) of ANOTHER TYPE
```

- Esempio di *array multidimensionale*

```
type RGB_Type is record
    r_ch : unsigned(7 downto 0);
    g_ch : unsigned(7 downto 0);
    b_ch : unsigned(7 downto 0);
end record;

type img_type is array (0 to 15, 0 to 15) of RGB_Type;

signal immagine : img_type := (Others => (Others => (
    r_ch => to_unsigned(100, 8),
    g_ch => to_unsigned(100, 8),
    b_ch => to_unsigned(100, 8)
)));

immagine(0, 0) <= (
    r_ch => to_unsigned(100, 8),
    g_ch => to_unsigned(100, 8),
    b_ch => to_unsigned(100, 8)
);
```

Constrained array

- *Tipo di array* in cui è definita la dimensione in fase di definizione
- Ogni segnale dichiarato con questo tipo sarà della stessa dimensione
- Può essere anche un *subtype*
- Struttura di un *constrained array*

```
type TYPE_NAME is array (RANGE) of ANOTHER_TYPE;
```

- Esempi di *constrained array*

```
type MySimpleArray is array (0 to 10) of Another_type;

type img_type is array (0 to 15, 0 to 15) of RGB_Type;
subtype byte_type is std_logic_vector(7 downto 0);
```

Unconstrained array

- *Tipo di array* in cui **non** è definita la dimensione in fase di definizione
- Ogni segnale dichiarato con questo tipo potrà avere una dimensione diversa
- Può essere anche un *subtype*
- Nel momento in cui si dichiara il segnale si deve specificare un *range* per definirne la grandezza. Il *range* può non essere un *integer* ma anche un *natural*

```
type TYPE_NAME is array (TYPE range<>, TYPE range<>, ...) of ANOTHER_TYPE;
```

- Esempi di *unconstrained array*

```
type my1DArray_type is array (integer range <>, integer range <>)
  of std_logic_vector(7 downto 0);
```

```
signal my1DArray : my1DArray_type(1 to 3);
```

```
type my2DArray_type is array (integer range<>, integer range<>)
  of std_logic_vector(7 downto 0);
```

```
signal my2DArray : my2DArray_type(1 to 3, 5 downto 0);
```