



POLITECNICO DI MILANO  
V Facoltà di Ingegneria



## LD

### Ladder Diagram

Automazione Industriale

A.A. 2011-2012



### Sommario

Introduzione	Elementi Base	Elementi Dinamici	Temporizzazione	Blocchi Funzioni
--------------	---------------	-------------------	-----------------	------------------

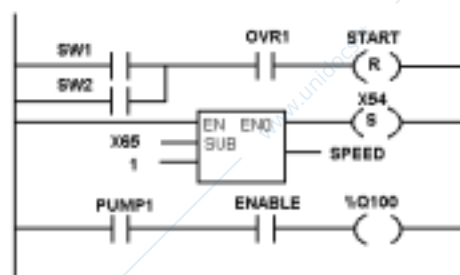
▶ **Introduzione**

▶ **Elementi Base**

▶ **Elementi Dinamici**

▶ **Temporizzazione e Contatori**

▶ **Controllo Programma e Blocchi Funzioni**



## Introduzione

Introduzione

Elementi Base

Elementi Dinamo

Temporizzazione

Blocchi Funzione

### ✓ Ladder Diagram (LD):

- Diagramma a **scala** per via della disposizione grafica dei simboli che richiama la forma di una scala a pioli
- Sinonimi italiani:
  - "Linguaggio a contatti"
  - "Diagramma a relè"



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

3

## Introduzione

Introduzione

Elementi Base

Elementi Dinamo

Temporizzazione

Blocchi Funzione

### ✓ Ladder Diagram (LD):

- Linguaggio grafico
- Si basa sulla **trasposizione di una rete elettrica** molto semplice in logica di programmazione
  - **Contatti**
  - **Bobine**
- Richiamano le vecchie logiche "pre-PLC" realizzate tramite reti elettriche cablate → *Facilitare il passaggio al nuovo*



- Esistono convenzioni sia sulla disposizione grafica che sulla nomenclatura degli oggetti

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

4

## Introduzione - Convenzioni e Aree Dati

Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    Temporizzazione    Blocchi Funzione

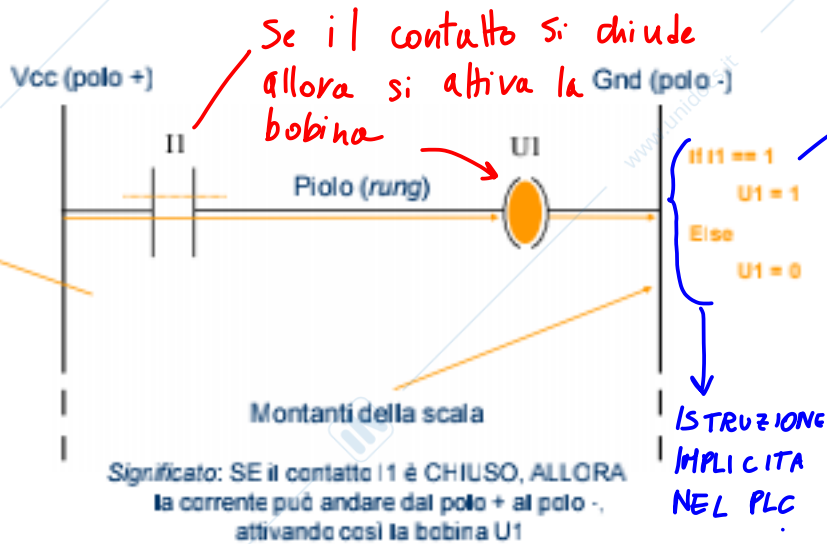
- ✓ Area degli Ingressi
  - $I_x:y$  (Il bit y della word x)
- ✓ Area delle Uscite
  - $U_x:y$  (Il bit y della word x)
- ✓ Area dei Temporizzatori (timer)
  - $T_1...T_n$
- ✓ Area dei Contatori
  - $C_1...C_m$
- ✓ Area PID e Area Utete

NB: convenzioni variano da costruttore a costruttore, nel corso useremo nomi simbolici semplificati!

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

## Elementi Base

Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    Temporizzazione    Blocchi Funzione



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

## Elementi Base - Ingressi

Introduzione **Elementi Base** Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione

✓ Gli ingressi sono inseriti sempre sulla sinistra del piolo

✓ Contatto Normalmente Aperto

- Se il bit associato vale **1**, il contatto si **chiude**
- Se il bit associato vale **0**, il contatto si **apre**



✓ Contatto Normalmente Chiuso

- Se il bit associato vale **1**, il contatto si **apre**
- Se il bit associato vale **0**, il contatto si **chiude**



*Si interpreta al contrario*

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

7

## Elementi Base - Uscite

Introduzione **Elementi Base** Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione

✓ Le uscite sono inserite sempre sulla destra del piolo

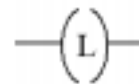
✓ Bobina

- **Si attiva quando passa corrente.**  
Quindi, il bit ad essa associata sale al valore logico 1 (ON) se le condizioni logiche alla sua sinistra sono verificate



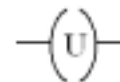
✓ Latch Bobina

- **Mantiene lo stato logico 1 (ON)** anche quando le condizioni di attivazione vengono a mancare (simile al SET di un flip-flop)



✓ Unlatch Bobina

- **Riporta allo stato logico 0 (OFF)** un'uscita (simile al <sup>RESET</sup> di un flip-flop)



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

8

## Elementi Base - Programma

Introduzione **Elementi Base** Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione

✓ Disponendo uno dopo l'altro i pioli (cioè le istruzioni), siamo così in grado di costruire un programma.

- **Attenzione:** il LD è un linguaggio, non una rete elettrica, quindi occorre specificare come vengono interpretati i pioli.

- I pioli vengono scanditi:
  - Dall'alto verso il basso
  - Da sinistra a destra



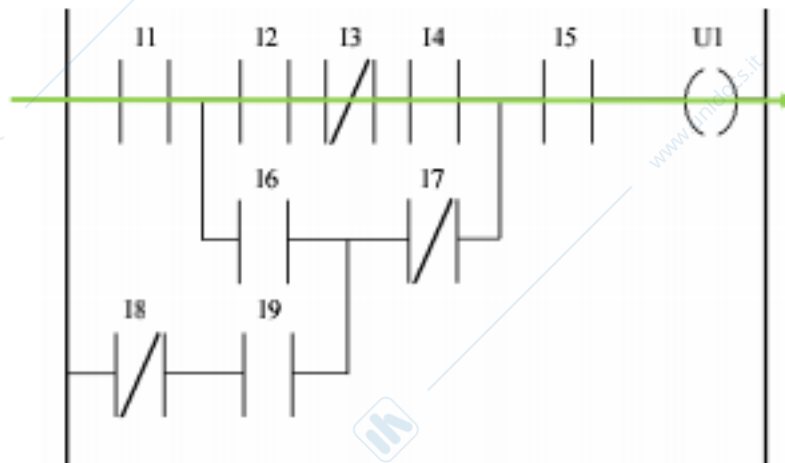
- Quindi, nel singolo piolo, il flusso di energia nei vari dispositivi va solo da sinistra a destra, senza possibilità che questo si inverta.

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

10

## Elementi Base - Regole di scansione dei pioli

Introduzione **Elementi Base** Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione

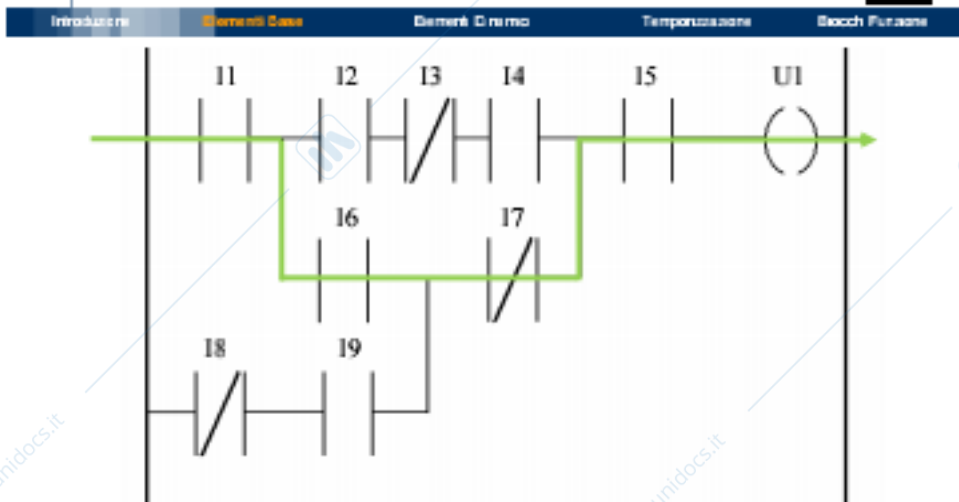


✓ Flusso di energia **solo da sinistra a destra** senza possibilità di inversione

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

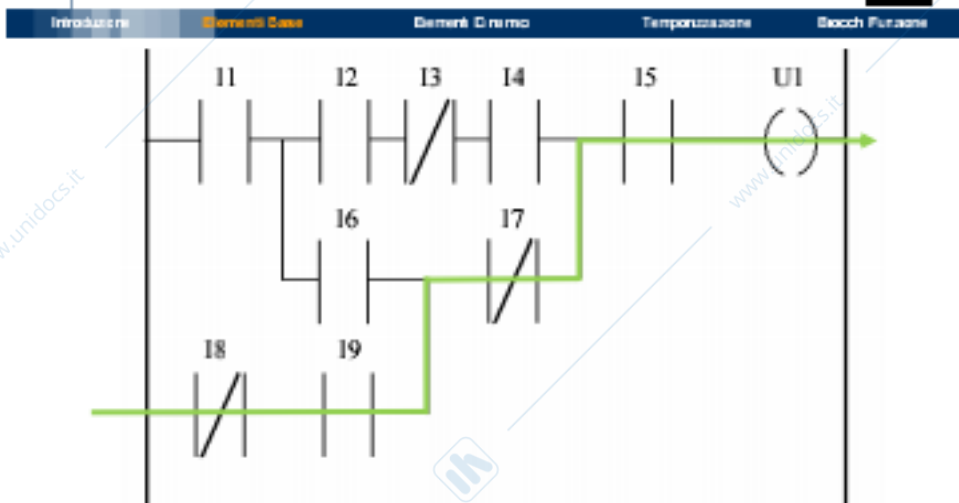
10

## Elementi Base – Regole di scansione dei pioli



✓ Flusso di energia **solo da sinistra a destra** senza possibilità di inversione

## Elementi Base – Regole di scansione dei pioli



✓ Flusso di energia **solo da sinistra a destra** senza possibilità di inversione

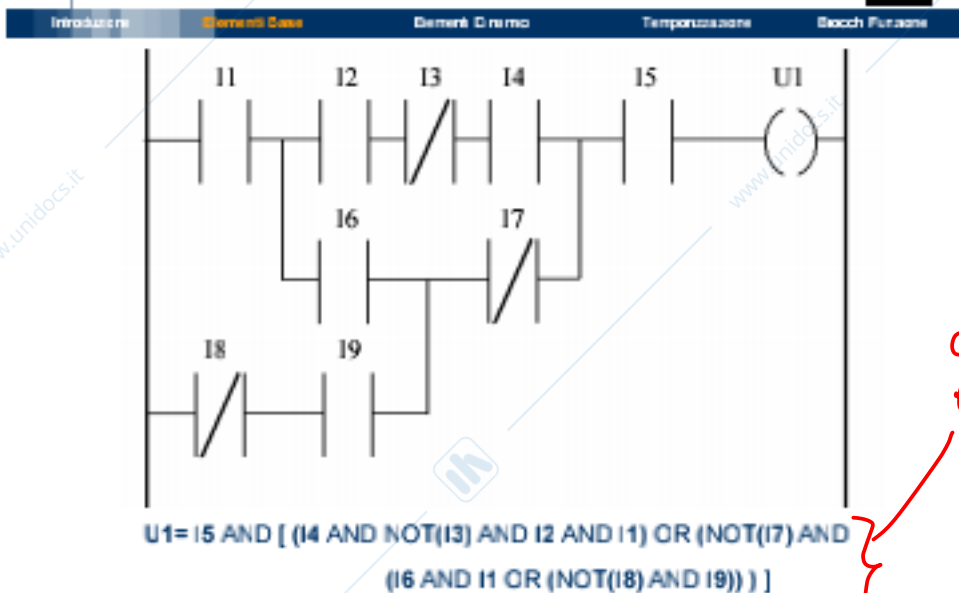
## Elementi Base – Regole di scansione dei pioli



Alessio Dedi: Ladder Diagram – Automazione Industriale A.A. 2011/2012

13

## Elementi Base – Regole di scansione dei pioli



Alessio Dedi: Ladder Diagram – Automazione Industriale A.A. 2011/2012

14

## Esecuzione – Ciclo a Coppia Massiva

Introduzione Elementi Base Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione



Alessio Dedi: Ladder Diagram – Automazione Industriale A.A. 2011/2012

15

## Esecuzione – Sincronizzazione con I/O

Introduzione Elementi Base Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione

- Ogni piolo viene scandito in ogni ciclo (a meno delle istruzioni di salto): pertanto le uscite associate alle bobine normali (senza Latch o Unlatch) vengono scritte ad ogni ciclo.



- Quindi con questo LD ad ogni ciclo scrivo 0 o 1 in U1! Inoltre, il suo valore permane fino alla prossima esecuzione (al ciclo successivo) della stessa istruzione.

Alessio Dedi: Ladder Diagram – Automazione Industriale A.A. 2011/2012

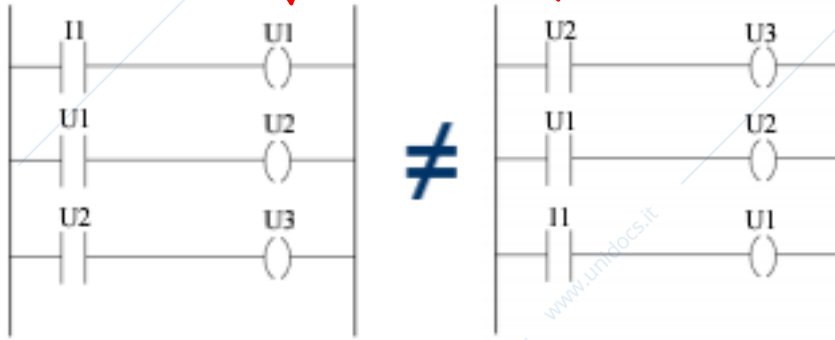
16

## Esecuzione - Sincronizzazione con I/O

Introduzione Elementi Base Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione

- Il valore delle variabili lette in ingresso **rimane costante per tutto ciclo del programma** quindi i seguenti due programmi sono diversi:

*danno risultati diversi*

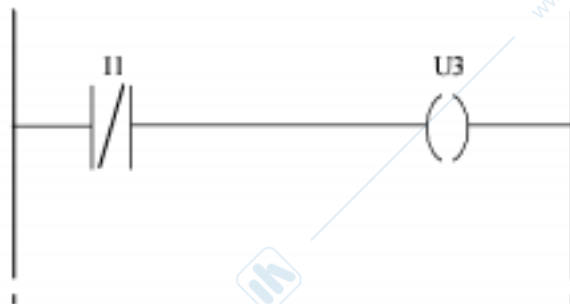


Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

17

## Esempi - Funzione logica NOT

Introduzione Elementi Base Elementi Dinamo Temporizzazione Blocchi Funzione



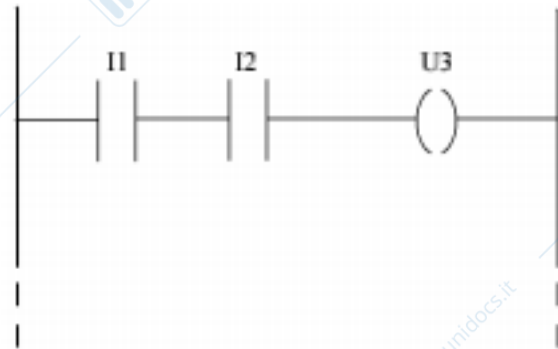
$U3 = \text{NOT}(I1)$

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

18

## Esempi - Funzione logica AND

Introduzione **Elementi Base** Elementi Dinamico Temporizzazione Blocchi Funzione



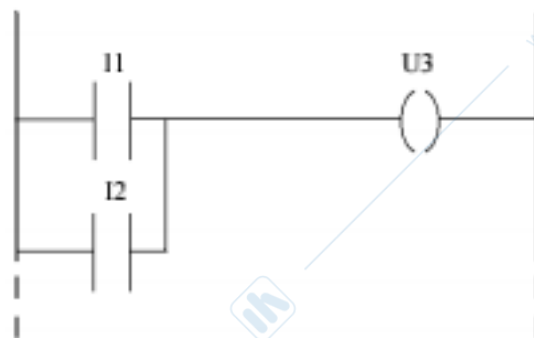
$$U3 = I1 \text{ AND } I2$$

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

19

## Esempi - Funzione logica OR

Introduzione **Elementi Base** Elementi Dinamico Temporizzazione Blocchi Funzione



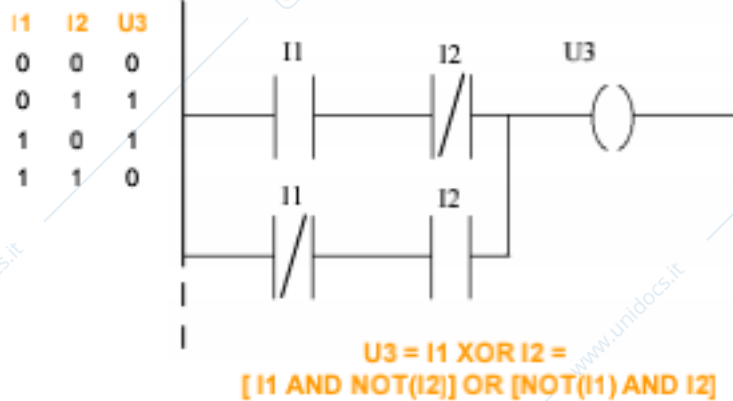
$$U3 = I1 \text{ OR } I2$$

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

20

## Esempi - Funzione logica XOR

Introduzione **Elementi Base** Elementi Dinamici Temporizzazione Blocchi Funzione



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

21

## Elementi Dinamici

Introduzione Elementi Base **Elementi Dinamici** Temporizzazione Blocchi Funzione

### ✓ Elementi Dinamici

- Le istruzioni di base del LD sono "logiche":  
uscita = pura combinazione logica delle variabili associate ai contatti.
- Tuttavia, è possibile in LD associare ad un contatto anche una variabile di uscita.
- Tale possibilità, unita all'esecuzione sequenziale e ciclica di uno schema LD, rende possibile la creazione di elementi dinamici, o con memoria, e l'identificazione di variazioni di una variabile.
- Gli esempi seguenti trascurano il tempo di ciclo.

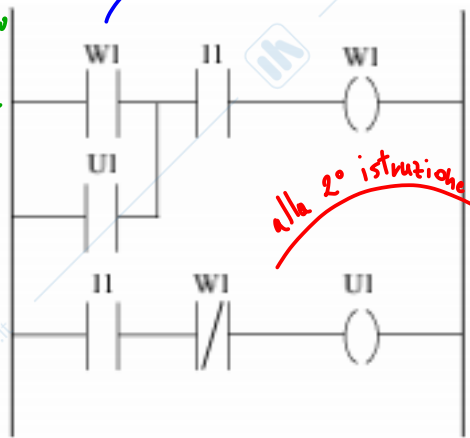
Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

22

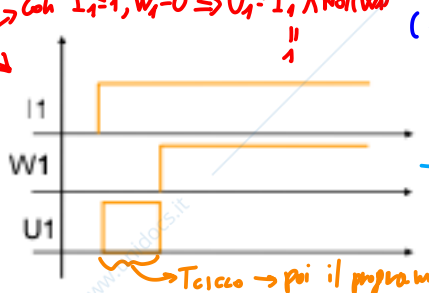
**Elementi di memoria**

Introduzione Elementi Base **Elementi Dinamici** Temporizzazione Blocchi Funzione

→ i calcoli si fanno tenendo conto del fatto che  $W_n$  è una cella di memoria  
 ↓  
 il valore iniziale di  $W_n$  è quello salvato in memoria  
 ↓  
 a sinistra c'è il valore non app.  
 a dx c'è il valore app.



✓ **Monostabile**  
 (genera un impulso di durata un tempo di ciclo dopo un fronte di salita su I1)



$W_n$  è sia ingresso che uscita → è un'uscita che resta dentro il PLC  
 $W_n$  è una variabile temporanea (tipo cella di memoria)

→ dobbiamo sapere il valore di  $W_n$  precedente

**N.B.** IL PLC non può saltare gli ingressi

→ poi il programma ricomincia dalla 1° istruz. con  $I_1=1, U_1=1 \Rightarrow W_1=I_1 \wedge U_1=1$

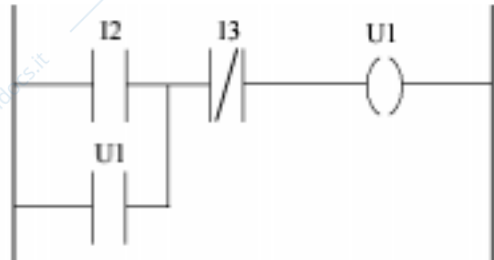
Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012 23

Le uscite del PLC diventano gli ingressi (i comandi) del Plant

questi comportamenti con variabili temp. che conservano il loro valore vengono detti di autoritenuta

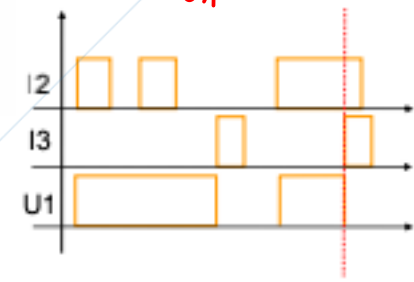
**Elementi di memoria**

Introduzione Elementi Base **Elementi Dinamici** Temporizzazione Blocchi Funzione



→ **SITUAZIONE PARTENZA - ARRESTO**

✓ **Flip-Flop a reset vincente**  
 $I_2$  set →  $U_1$  diventa 1 e continua a essere sempre scritta come 1 finché  $I_3=1$   
 $I_3$  reset  
 ↳  $U_1=0$

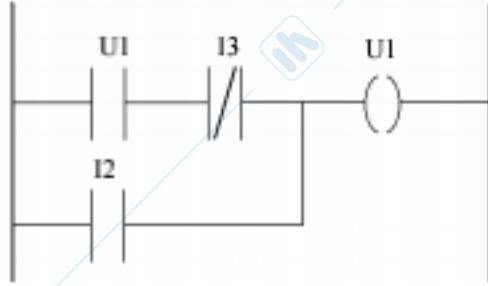


Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012 24

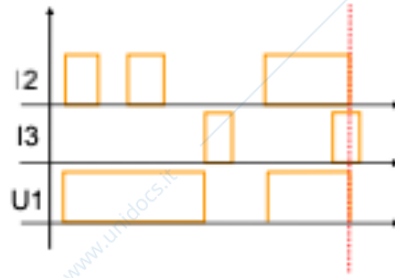


## Elementi di memoria

Introduzione    Elementi Base    **Elementi Dinamici**    Temporizzazione    Blocchi Funzione

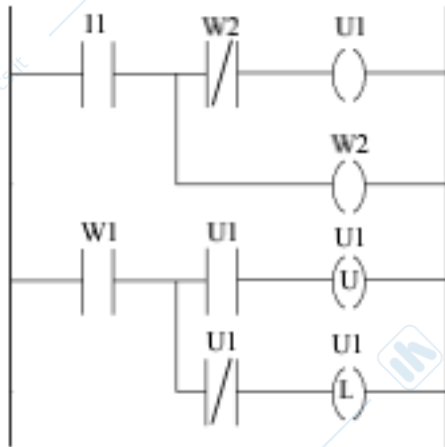


✓ Flip-Flop a set vincente  
 I2 set  
 I3 reset

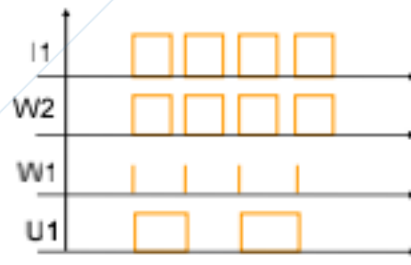


## Elementi di memoria

Introduzione    Elementi Base    **Elementi Dinamici**    Temporizzazione    Blocchi Funzione



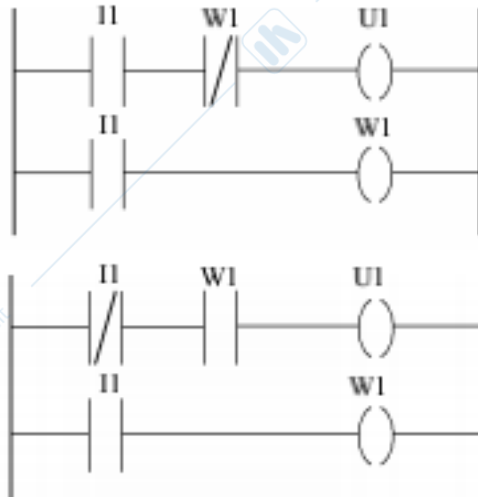
✓ Flip-flop di tipo D  
 (un impulso su I1 fa commutare l'uscita)





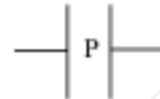
## Riconoscimento di fronti: varianti

Introduzione    Elementi Base    **Elementi Condizionati**    Temporizzazione    Blocchi Funzione



✓ Alcuni ambienti CAD di programmazione di PLC in LD prevedono la presenza di istruzioni avanzate per il riconoscimento dei fronti:

• Positive edge



• Negative edge



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

27



## Istruzioni di Temporizzazione

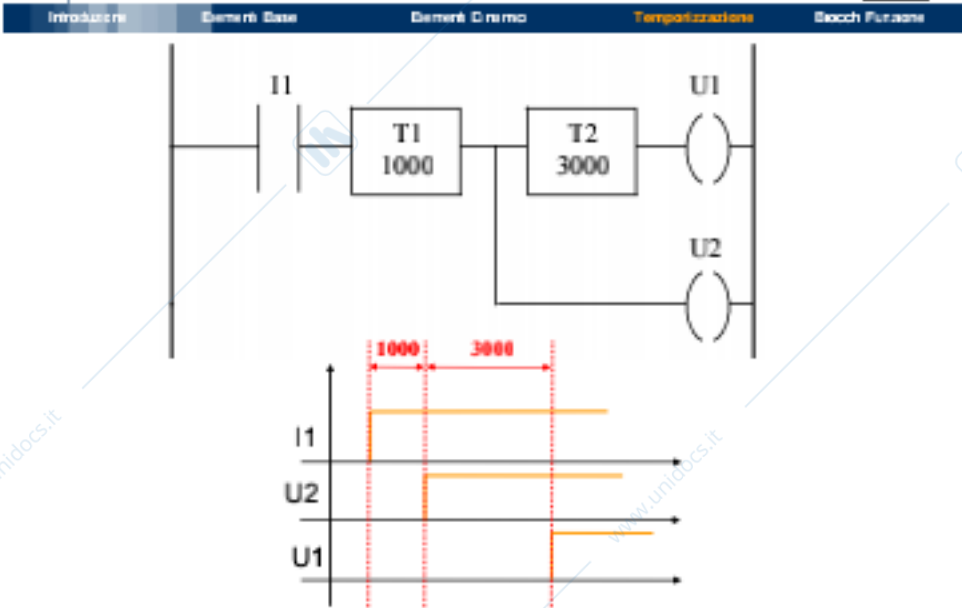
Introduzione    Elementi Base    Elementi Condizionati    **Temporizzazione**    Blocchi Funzione

- ✓ **Temporizzatore** → Tx → uscita del temporizzatore
  - Se il polo che lo contiene consente il fluire della corrente, conta il trascorrere del tempo fino ad un valore preimpostato.
  - Quando tale valore è raggiunto Tx diventa vero.
  - In Tx.acc è possibile leggere il tempo trascorso.
  - Se il polo torna falso prima del completamento del tempo Tx si disattiva.
- ✓ **Temporizzatore a ritenuta** → TxR
  - Continua a contare anche se il polo si disattiva diventa falso.
- ✓ **Reset temporizzatore** → RES
  - Ferma il temporizzatore e lo inizializza a 0.

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

28

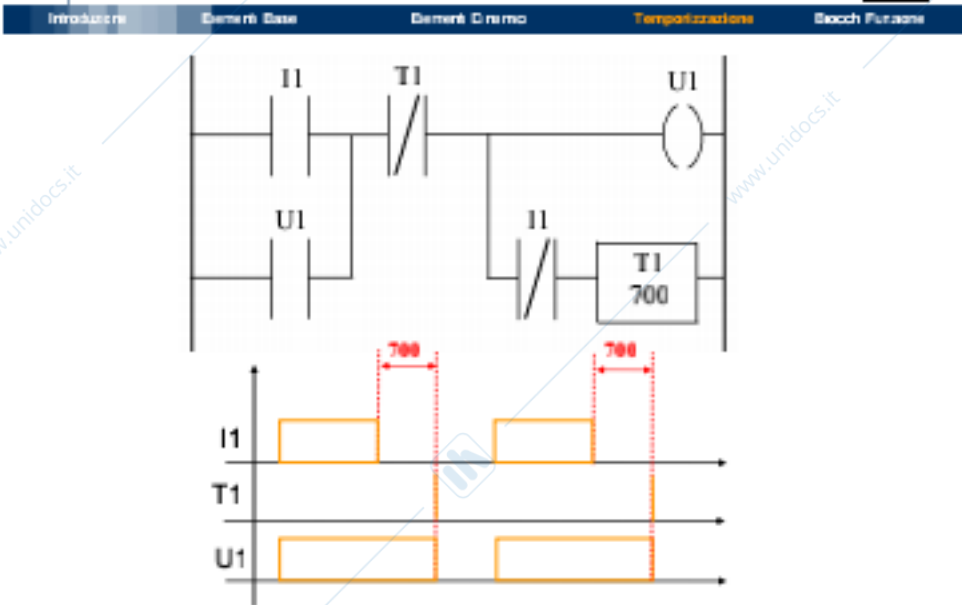
## Istruzioni di Temporizzazione



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

29

## Ritardo di spegnimento

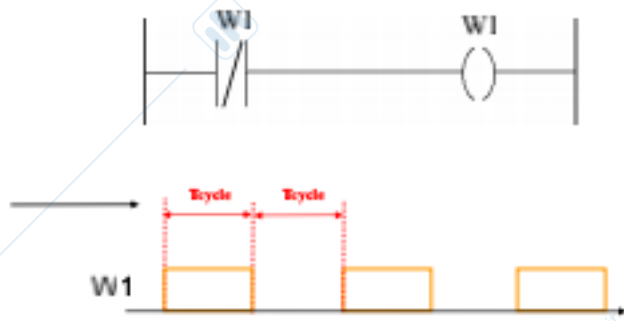


Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

30

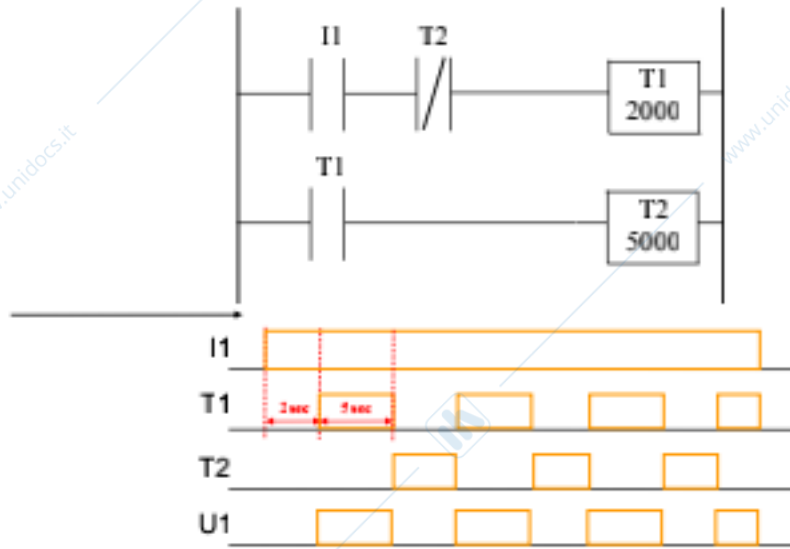
## Oscillatore ad Onda Quadra

Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    **Temporizzazione**    Blocchi Funzione



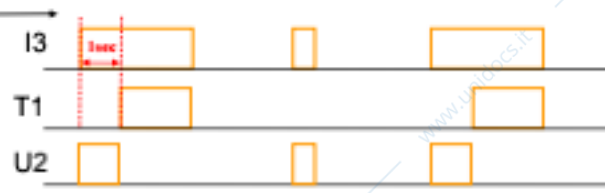
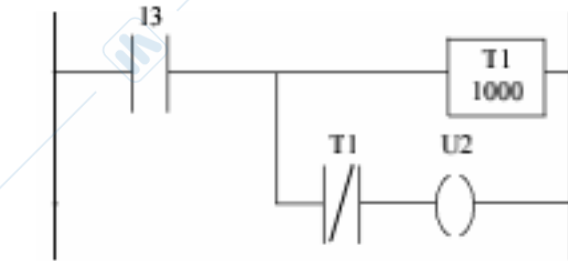
## Oscillatore ad Onda Quadra

Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    **Temporizzazione**    Blocchi Funzione



## Impulso all'Accensione

Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    **Temporizzazione**    Blocchi Funzione

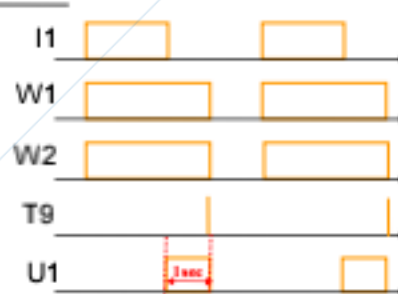
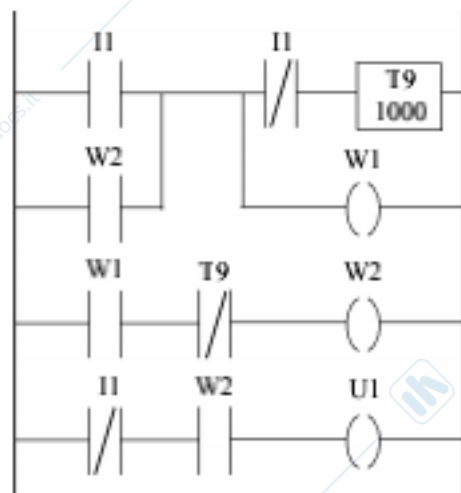


Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

33

## Impulso allo Spegnimento

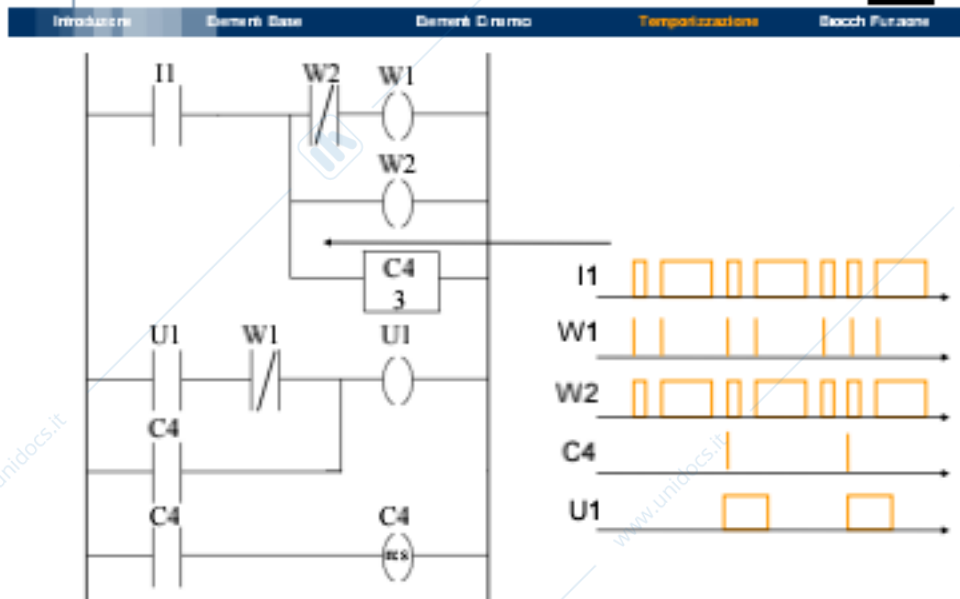
Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    **Temporizzazione**    Blocchi Funzione



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

34

## Conteggio ad Eventi



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

35

## Istruzioni di Conteggio



### ✓ Contatore ad incremento

- Se il polo di attivazione subisce una transizione falso→vero, allora il contatore Cx si incrementa di un'unità
- Cx.acc contiene il valore attuale del contatore
- Cx diventa vero quando il contatore raggiunge il valore preimpostato

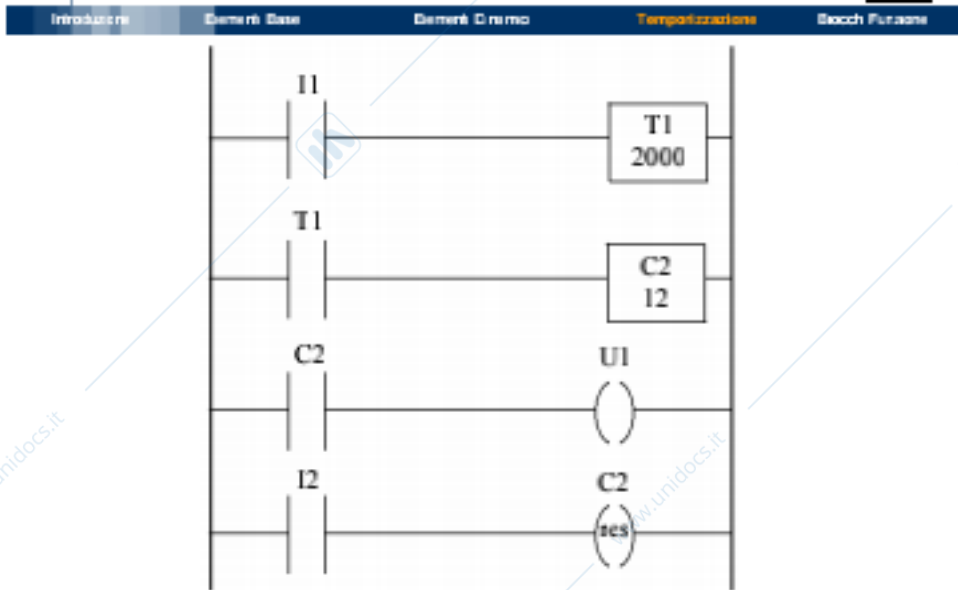
### ✓ Reset contatore

- Riporta a zero il contatore Cx → RES

Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

36

## Istruzioni di Conteggio



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

37

## Controllo del Programma



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

38

### ✓ Etichetta --|LBL|--

- Si usa per effettuare dei "salti" di programma

### ✓ Salto --|JMP|--

- Se il piolo è abilitato il programma passa al piolo con l'etichetta indicata

## Funzioni e blocchi funzione

Introduzione

Elementi Base

Elementi Dinamo

Temporizzazione

Blocchi Funzione

### ✓ Il LD è di più di una pura rete elettrica.

- Funzioni avanzate e più espressive che si ispirano alle istruzioni di un comune linguaggio di programmazione di alto livello, come il C, il Pascal, ecc.
- Le "istruzioni complesse" sono inglobate graficamente in LD in blocchi che vanno collegati con un piolo ed il loro uso è immediato



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

33

## Funzioni e blocchi funzione

Introduzione

Elementi Base

Elementi Dinamo

Temporizzazione

Blocchi Funzione

### ✓ Trasferimento di memoria

- Il contenuto di una word PA1 è trasferito in un'altra word PA2



### ✓ Operazioni Aritmetico/Logiche

- Le istruzioni di comparazione fanno parte delle condizioni di attivazione dei pioli (EQU, NEQ, GEQ, LEQ, GRT, LES)



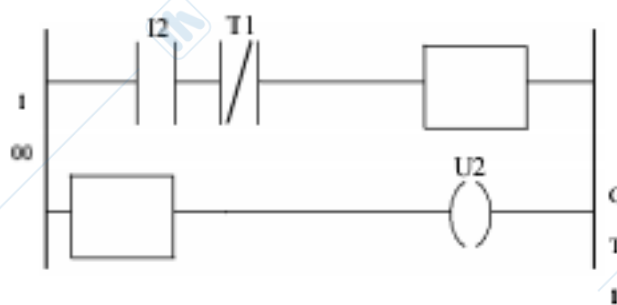
Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

43

## Funzioni e blocchi funzione

Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    Temporizzazione    **Blocchi Funzione**

### ✓ Esempio: Oscillatore



## Funzioni e blocchi funzione

Introduzione    Elementi Base    Elementi Dinamo    Temporizzazione    **Blocchi Funzione**

### ✓ Registro di scorrimento a destra

- Nel caso in cui il polo sia attivato la word W viene spostata (shift) a destra di un bit
- A sinistra entra il bit indicato come secondo operando



## Funzioni e blocchi funzione

Introduzione

Elementi Base

Elementi Dinamo

Temporizzazione

Blocchi Funzione

### ✓ Regolatore Proporzionale Integrale Derivativo

- $K_p$ : guadagno proporzionale
- $K_d$ : guadagno derivativo
- $K_i$ : guadagno integrale
- rif: word del riferimento
- var: variabile da controllare
- con: valore del controllo



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

43

## Funzioni e blocchi funzione

Introduzione

Elementi Base

Elementi Dinamo

Temporizzazione

Blocchi Funzione

### ✓ SEND

- Invia un blocco di word ad un altro PLC connesso in rete
  - num: identificativo del PLC
  - ind: indirizzo di partenza del blocco da spedire
  - lun: lunghezza del blocco



### ✓ GET

- Riceve un blocco di word da un altro PLC connesso in rete



Alessio Dedi: Ladder Diagram - Automazione Industriale A.A. 2011/2012

44