



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Sequential Functional Chart (SFC) - Parte 2

Automazione I

10/12/2013

Vincenzo Suraci



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Corso di Laurea: INGEGNERIA  
Insegnamento: AUTOMAZIONE I  
Docente: DR. VINCENZO SURACI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INFORMATICA AUTOMATICA E GESTIONALE ANTONIO RUBERTI

## STRUTTURA DEL NUCLEO TEMATICO

- STRUTTURE DI COLLEGAMENTO



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Corso di Laurea: INGEGNERIA  
Insegnamento: AUTOMAZIONE I  
Docente: DR. VINCENZO SURACI

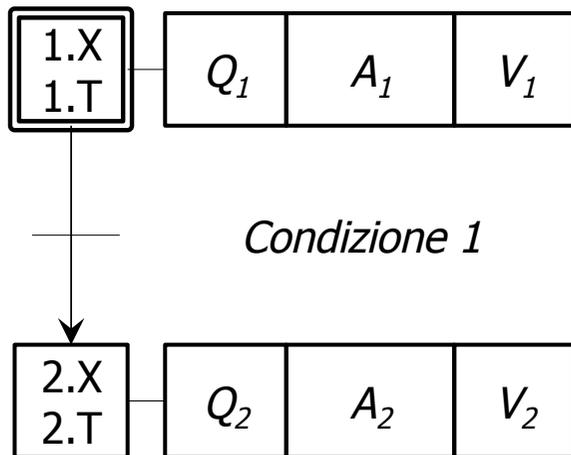
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INFORMATICA AUTOMATICA E GESTIONALE ANTONIO RUBERTI

# STRUTTURE DI COLLEGAMENTO



## INTRODUZIONE

Abbiamo visto la STRUTTURA DI BASE del linguaggio SFC.



- $n.X$  – **TIMER** – DURATA dell'intervallo di ATTIVAZIONE.
- $n.T$  – **MARKER** – TRUE se lo stato è ATTIVO;

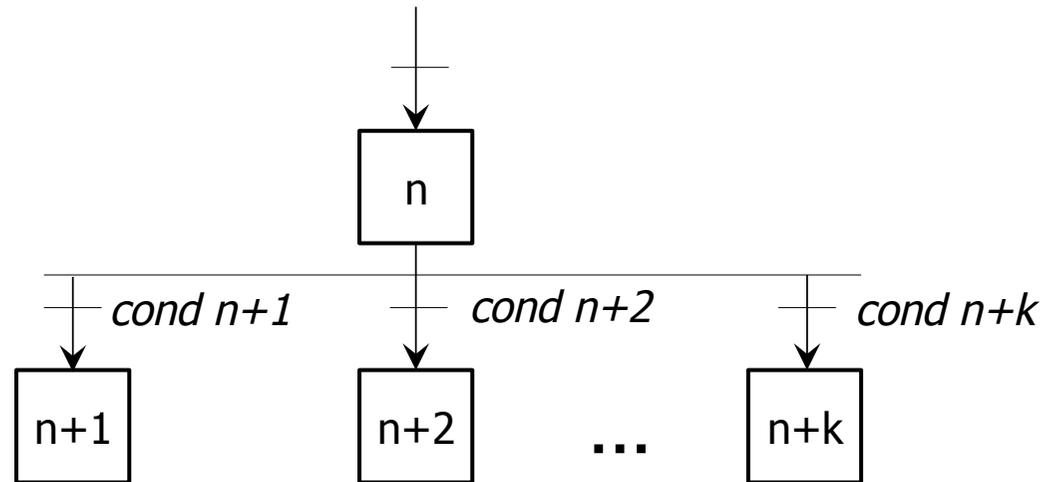
- $A_m$  – **IDENTIFICATORE** (UNIVOCO) della azione;
- $Q_m$  – **QUALIFICATORE** della tipologia di azione;
- $V_m$  – **VARIABILE** TRUE se l'azione è stata terminata;

Passiamo ora a studiare le STRUTTURE DI COLLEGAMENTO tra i diversi STATI.



## SCELTA o DIVERGENZA

La prima STRUTTURA DI COLLEGAMENTO è la **SCELTA** o **DIVERGENZA** tra due o più stati successivi.



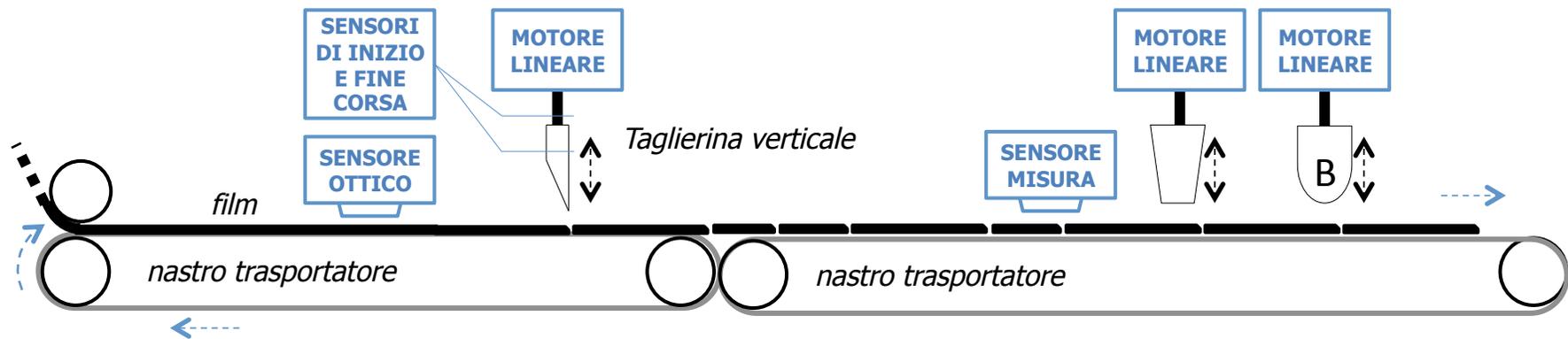
Quando lo STATO  $n$  è ATTIVO, le CONDIZIONI A VALLE sono ABILITATE. Per decidere quale sarà lo stato SUCCESSIVO, è necessario verificare quale delle condizioni abilitate è TRUE.



## SCELTA o DIVERGENZA

### ESEMPIO

Riprendendo L'ESEMPIO DALLA TAGLIERINA, supponiamo che **A VALLE** del dispositivo di taglio vi sia un **SENSORE DI MISURA** che IN BASE ALLA MISURAZIONE del pezzo tagliato esegue **DUE STAMPI DIFFERENTI**.

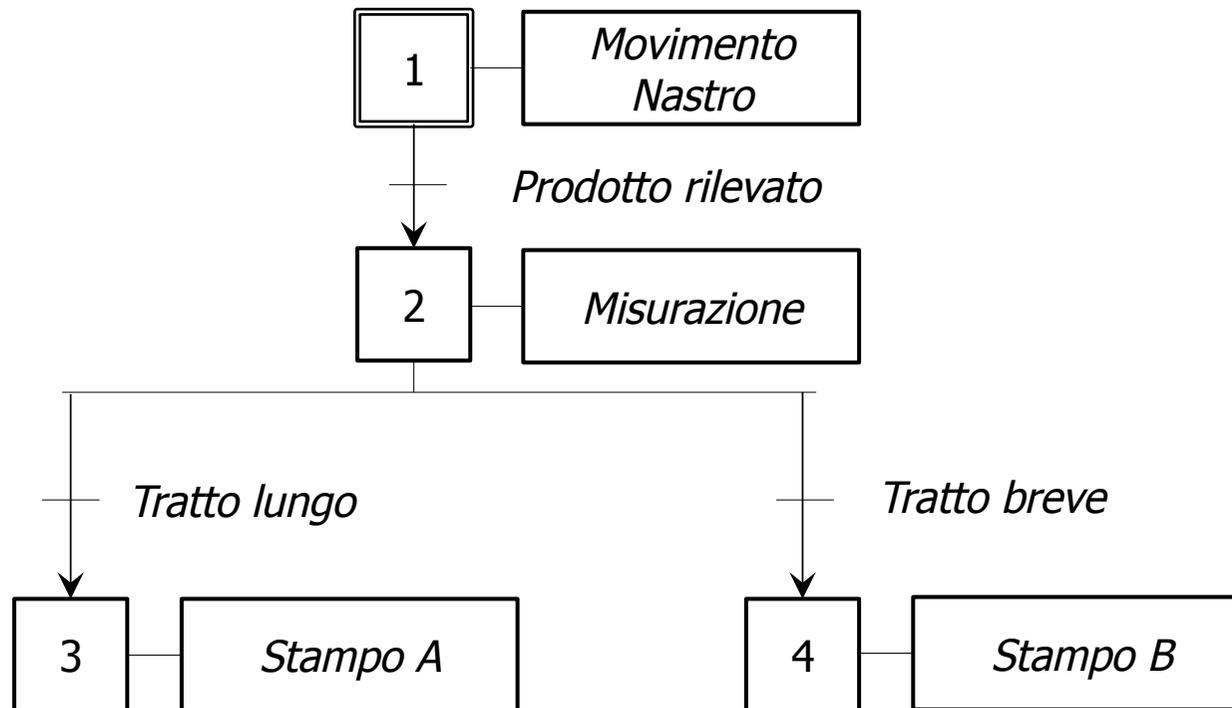


È evidente che per un corretto funzionamento è necessario che le **AZIONI DI STAMPO** siano **MUTAMENTE ESCLUSIVE**.



## SCELTA o DIVERGENZA

Tracciando il diagramma SFC avremo:

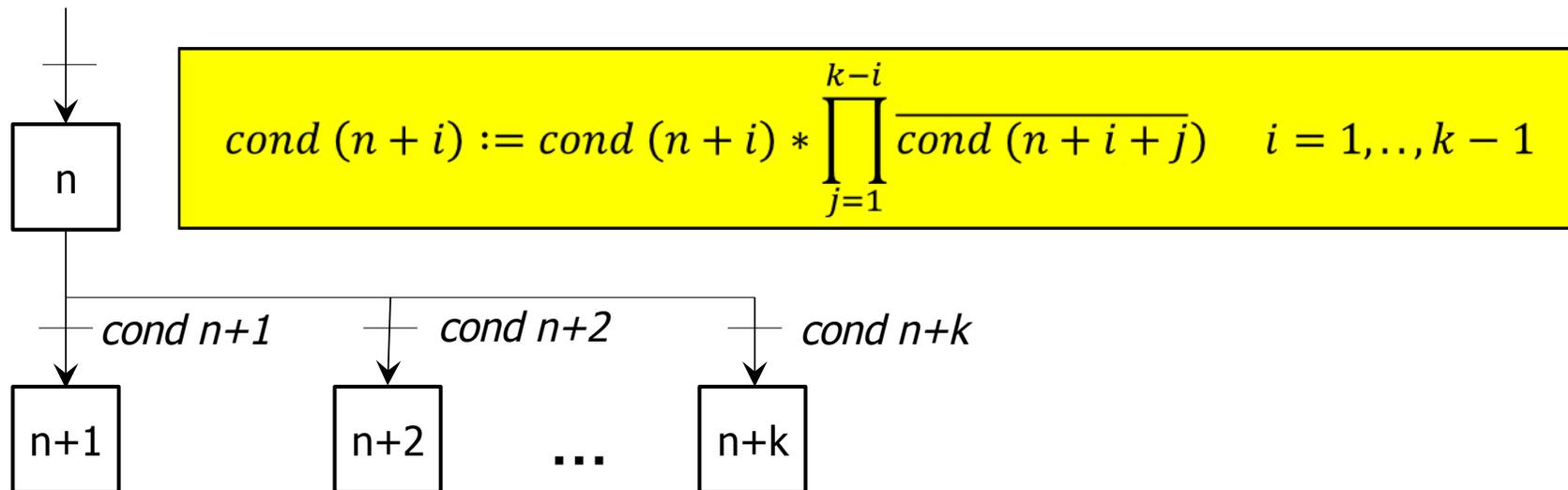




## SCELTA o DIVERGENZA

### PROPRIETÀ DI MUTUA ESCLUSIONE

Lo standard IEC 61131-3 richiede che la STRUTTURA DI COLLEGAMENTO di tipo **SCELTA** o **DIVERGENZA** soddisfi il vincolo di **MUTUA ESCLUSIONE** delle scelte.

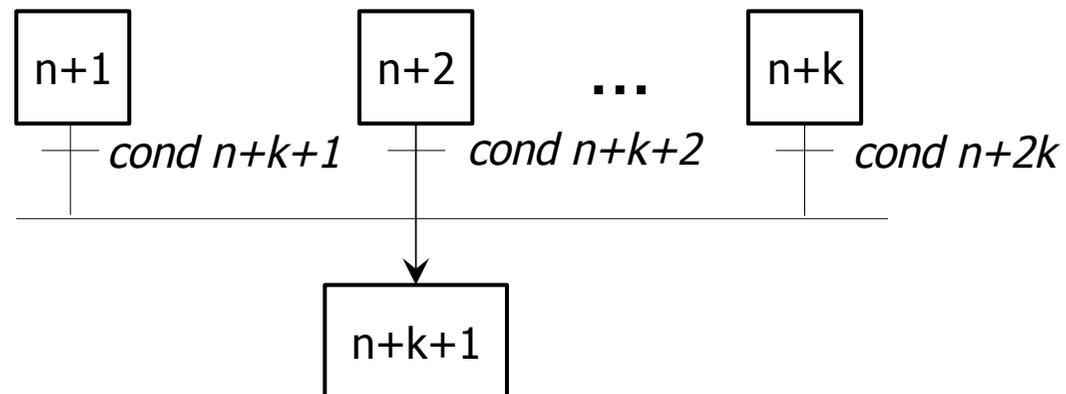


Per IMPORRE tale vincolo, viene aggiunto alle condizioni di scelta **l'AND LOGICO** di tutte le **CONDIZIONI** successive **NEGATE**.



## CONVERGENZA

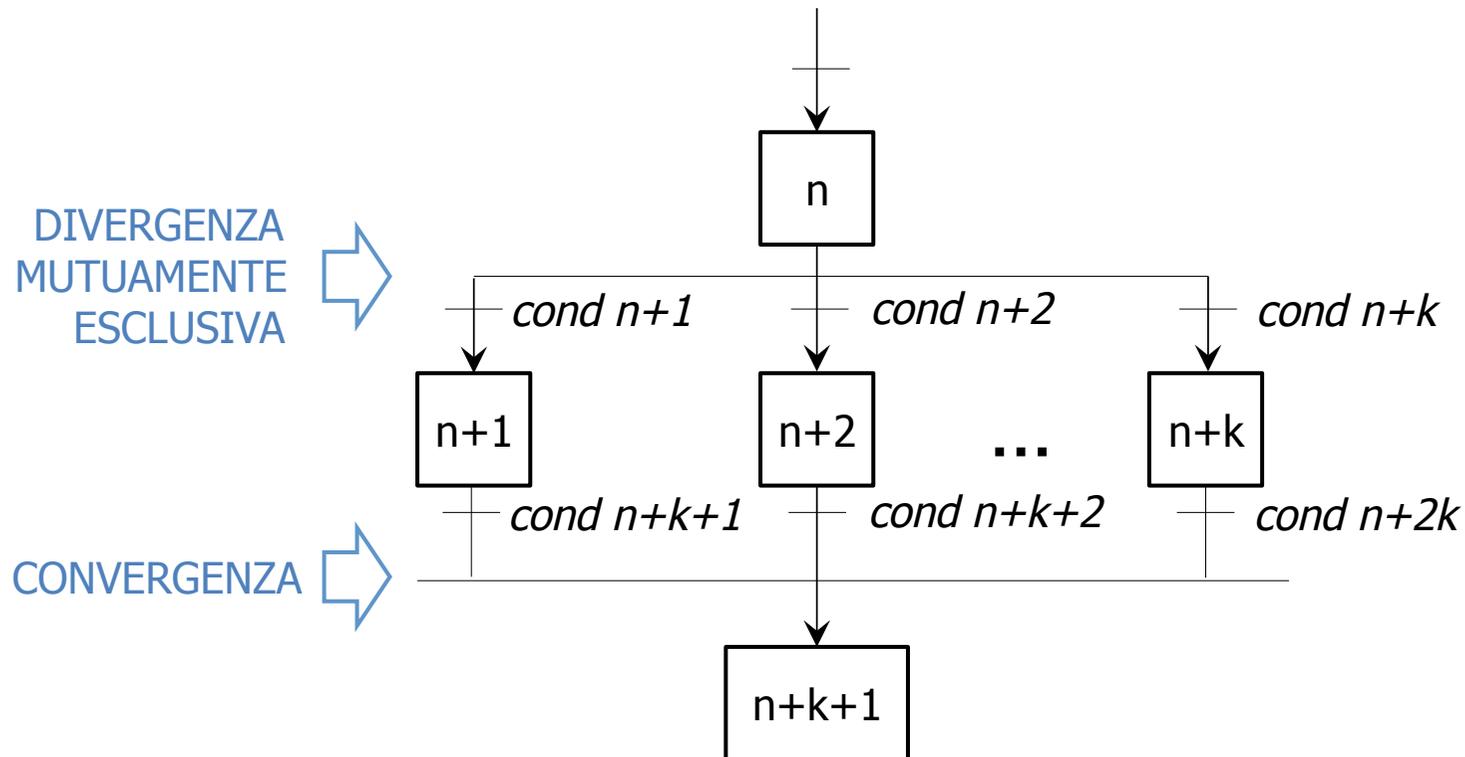
La STRUTTURA DI COLLEGAMENTO che vede **TERMINARE PIÙ SEQUENZE** in un **MEDESIMO STATO** attraverso **DIFFERENTI TRANSIZIONI**, è la **CONVERGENZA**.





## CONVERGENZA

La CONVERGENZA è la logica TERMINAZIONE di una DIVERGENZA MUTUAMENTE ESCLUSIVA.

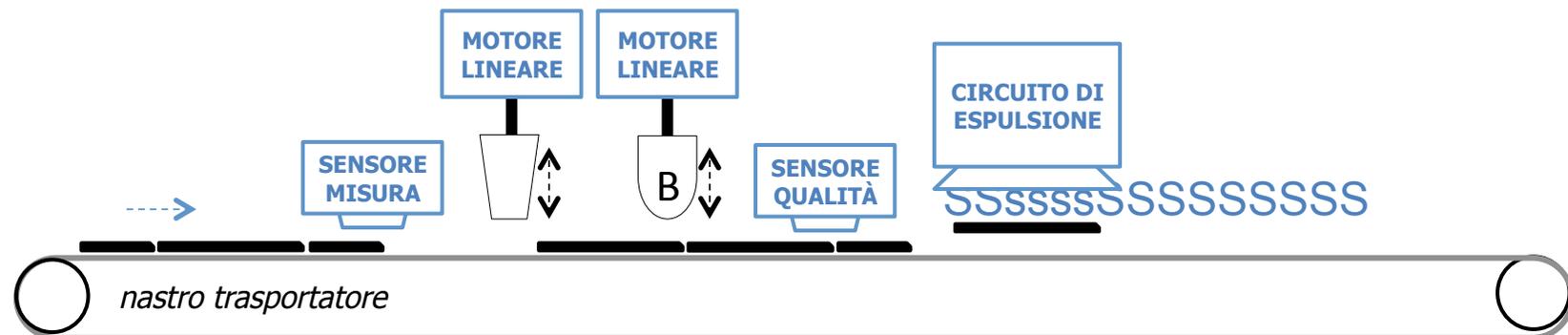




## CONVERGENZA

### ESEMPIO

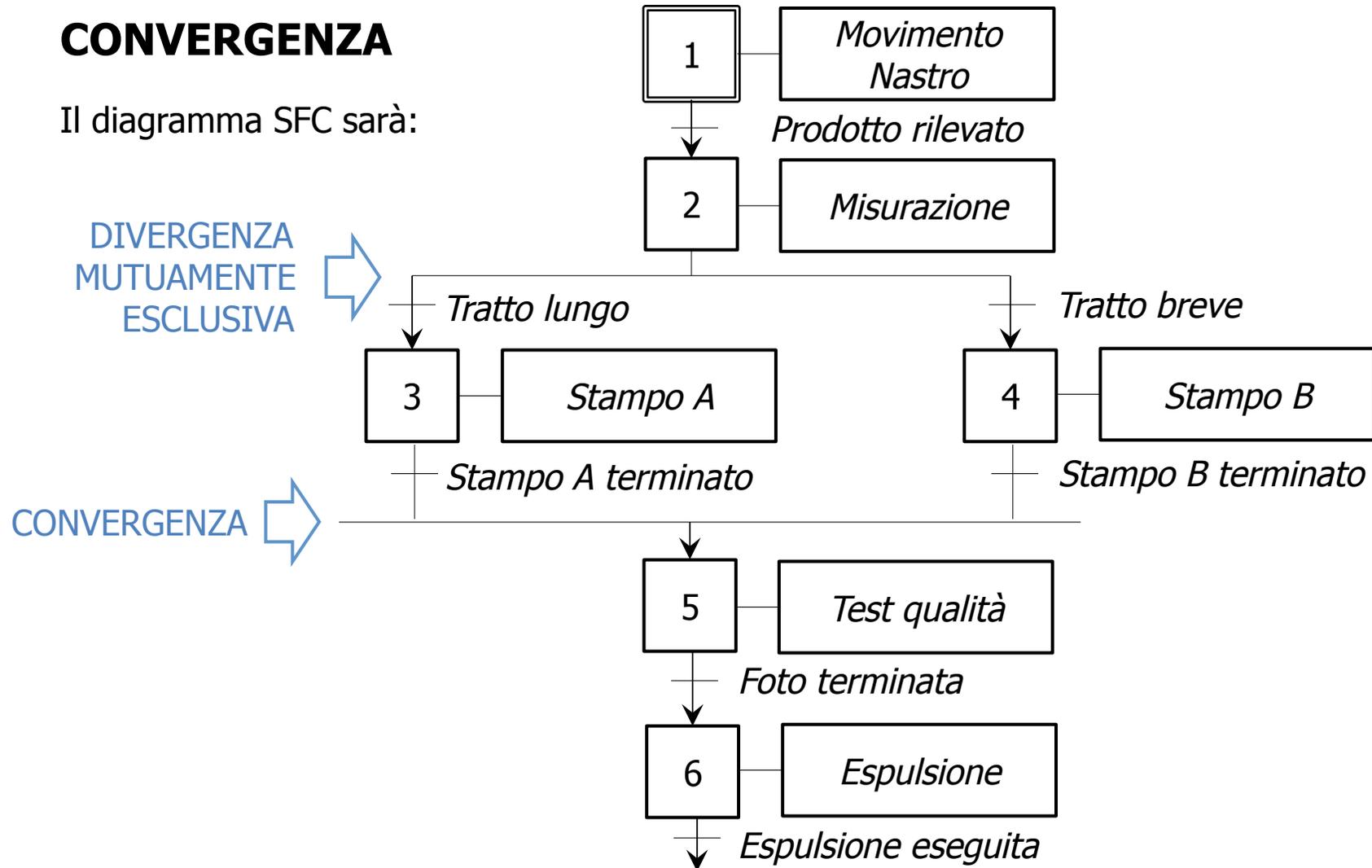
Riprendendo L'ESEMPIO di prima, supponiamo che A VALLE del dispositivo di stampo vi sia un SENSORE DI QUALITÀ che FOTOGRAFA il pezzo e quindi un circuito di espulsione del pezzo.





## CONVERGENZA

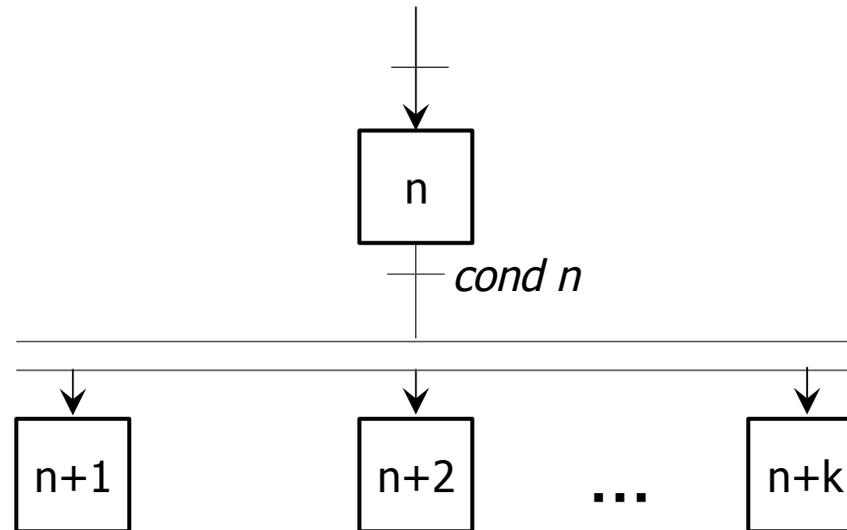
Il diagramma SFC sarà:





## PARALLELISMO

La STRUTTURA DI COLLEGAMENTO che permette l'attivazione di SEQUENZE PARALLELE a partire da una singola TRANSIZIONE, è il **PARALLELISMO**.



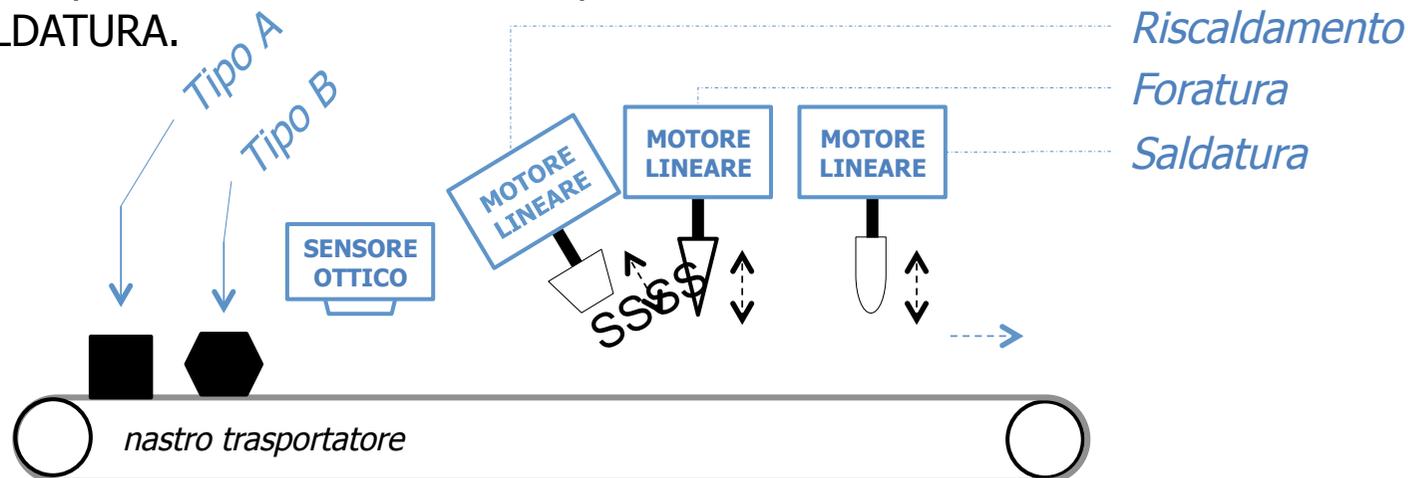
Quando la TRANSIZIONE viene ATTIVATA, TUTTI gli STATI A VALLE vengono ATTIVATI.



## PARALLELISMO

### ESEMPIO

Si consideri un sistema di lavorazione di due ELEMENTI METALLICI (TIPO A e TIPO B) composto da un NASTRO TRASPORTATORE, un SENSORE OTTICO per la rilevazione del tipo di pezzo e tre azionamenti deputati al RISCALDAMENTO, alla FORATURA e alla SALDATURA.

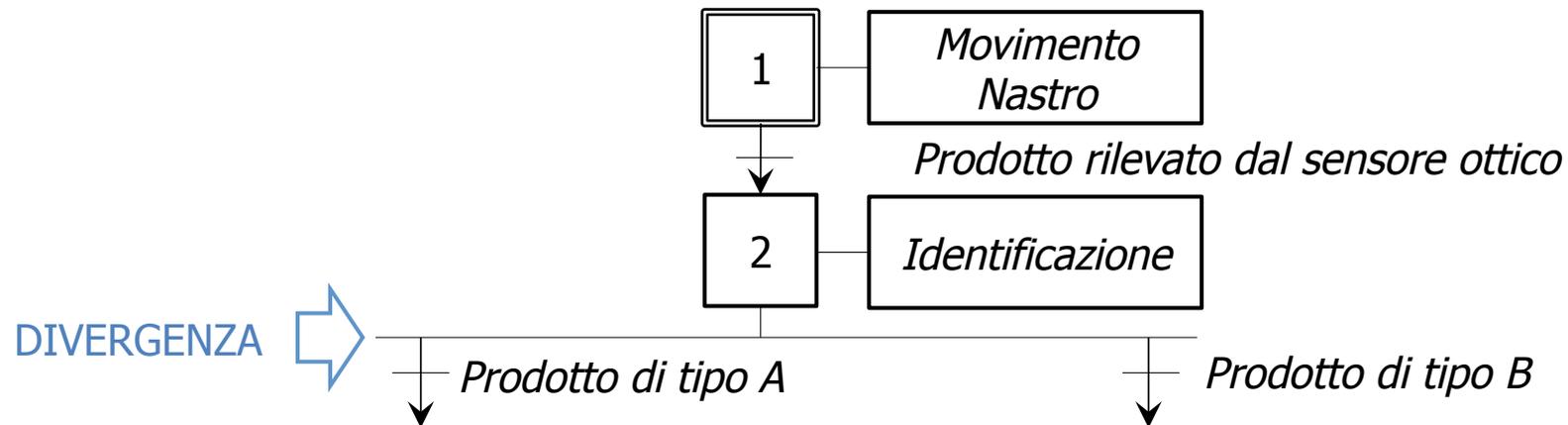


- Se il pezzo da lavorare è di TIPO A, deve essere CONTEMPORANEAMENTE RISCALDATO ad una temperatura prefissata e FORATO;
- Se il pezzo da lavorare è di TIPO B, deve essere RISCALDATO e FORATO e in seguito RISCALDATO e SALDATO.



## PARALLELISMO

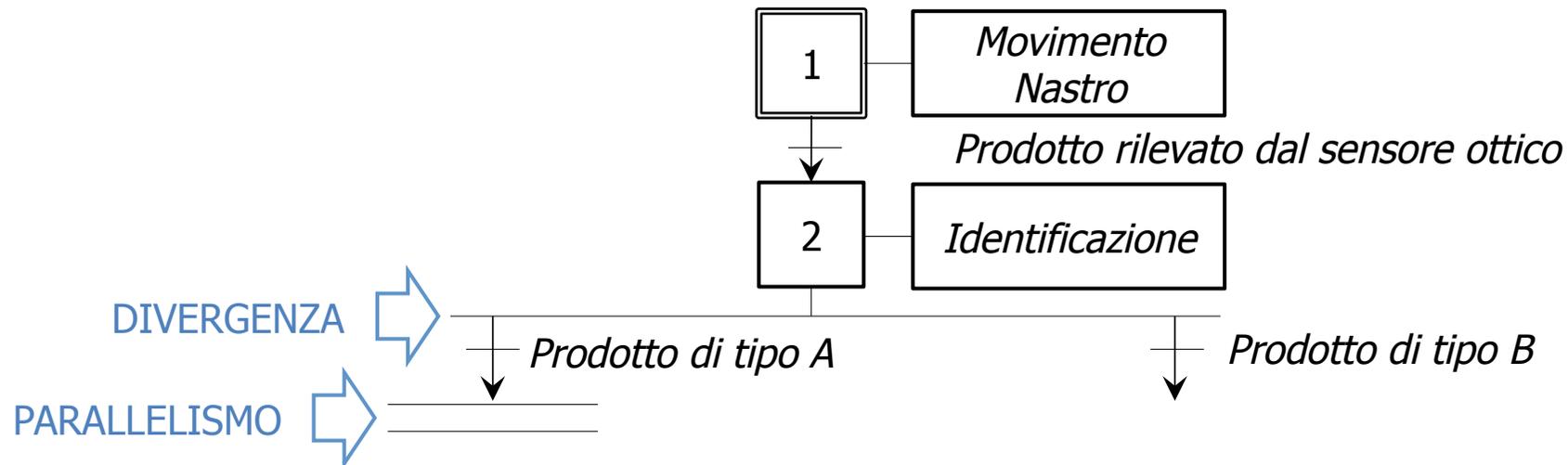
Progettiamo la logica di controllo tramite diagrammi SFC. Innanzitutto AZIONIAMO IL NASTRO TRASPORTATORE ed IDENTIFICHIAMO IL PEZZO DA LAVORARE usando una DIVERGENZA:





## PARALLELISMO

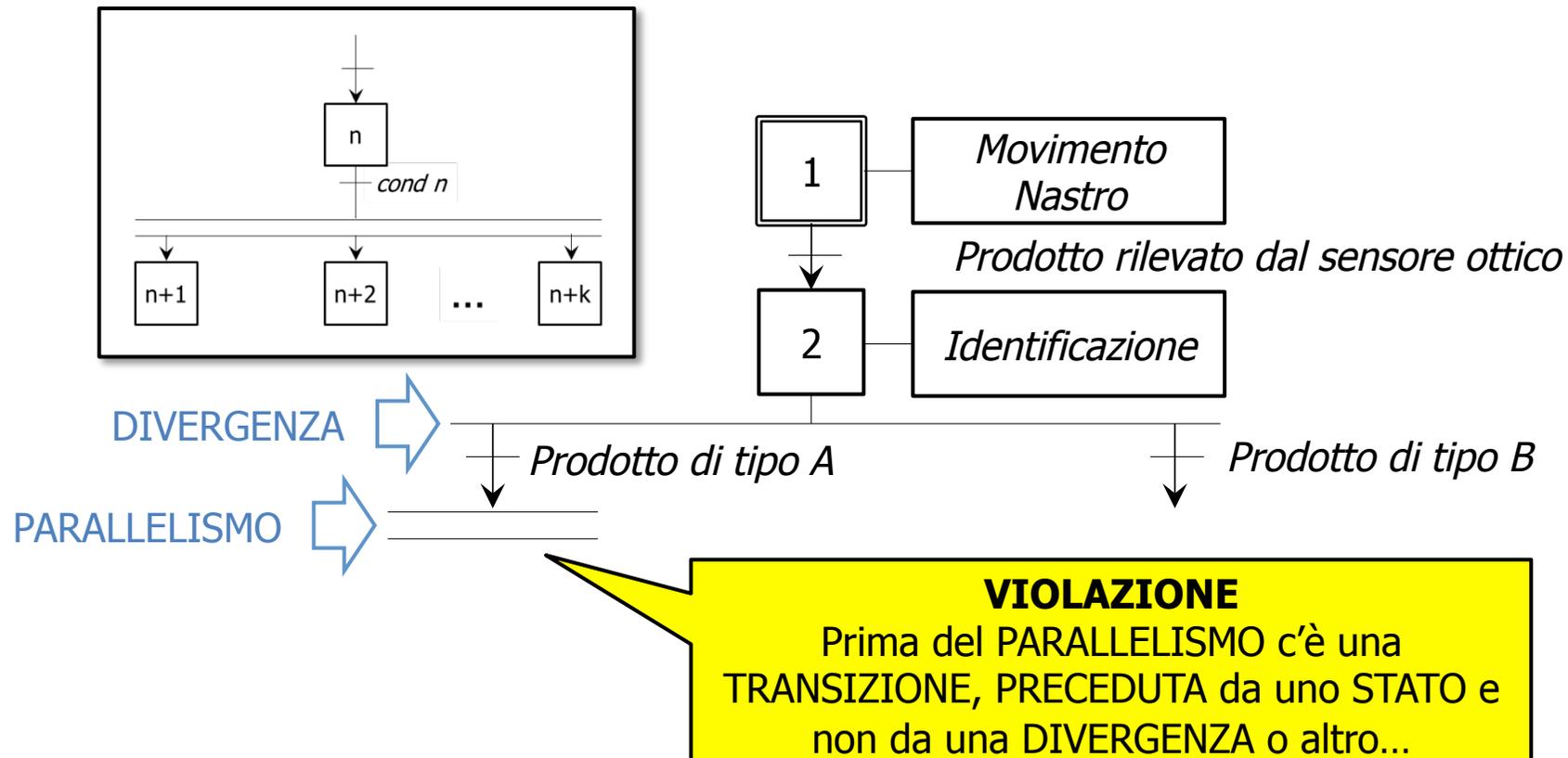
Considerando il ramo a sinistra (Prodotto di tipo A), dovremmo utilizzare un PARALLELISMO per attuare RISCALDAMENTO e FORATURA come da specifica.





## PARALLELISMO

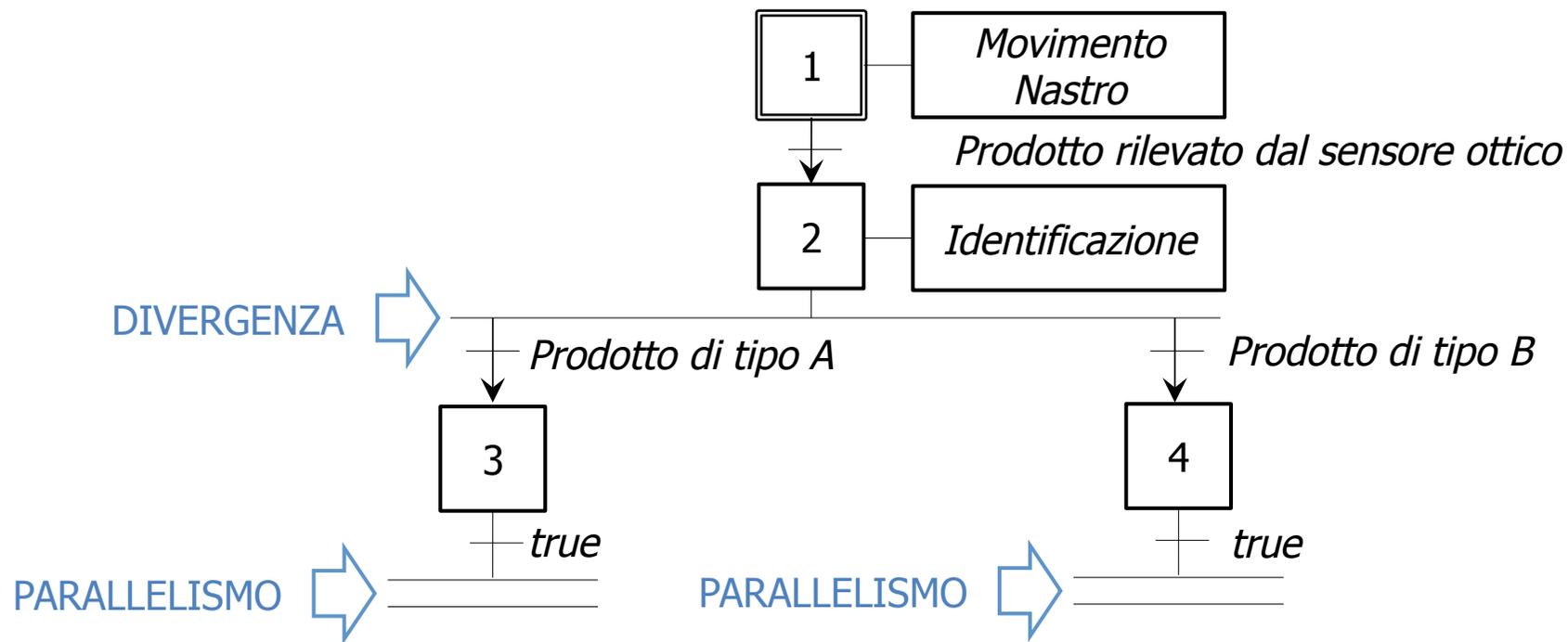
Ma questa rappresentazione VIOLA il FORMALISMO dei DIAGRAMMI SFC.





## PARALLELISMO

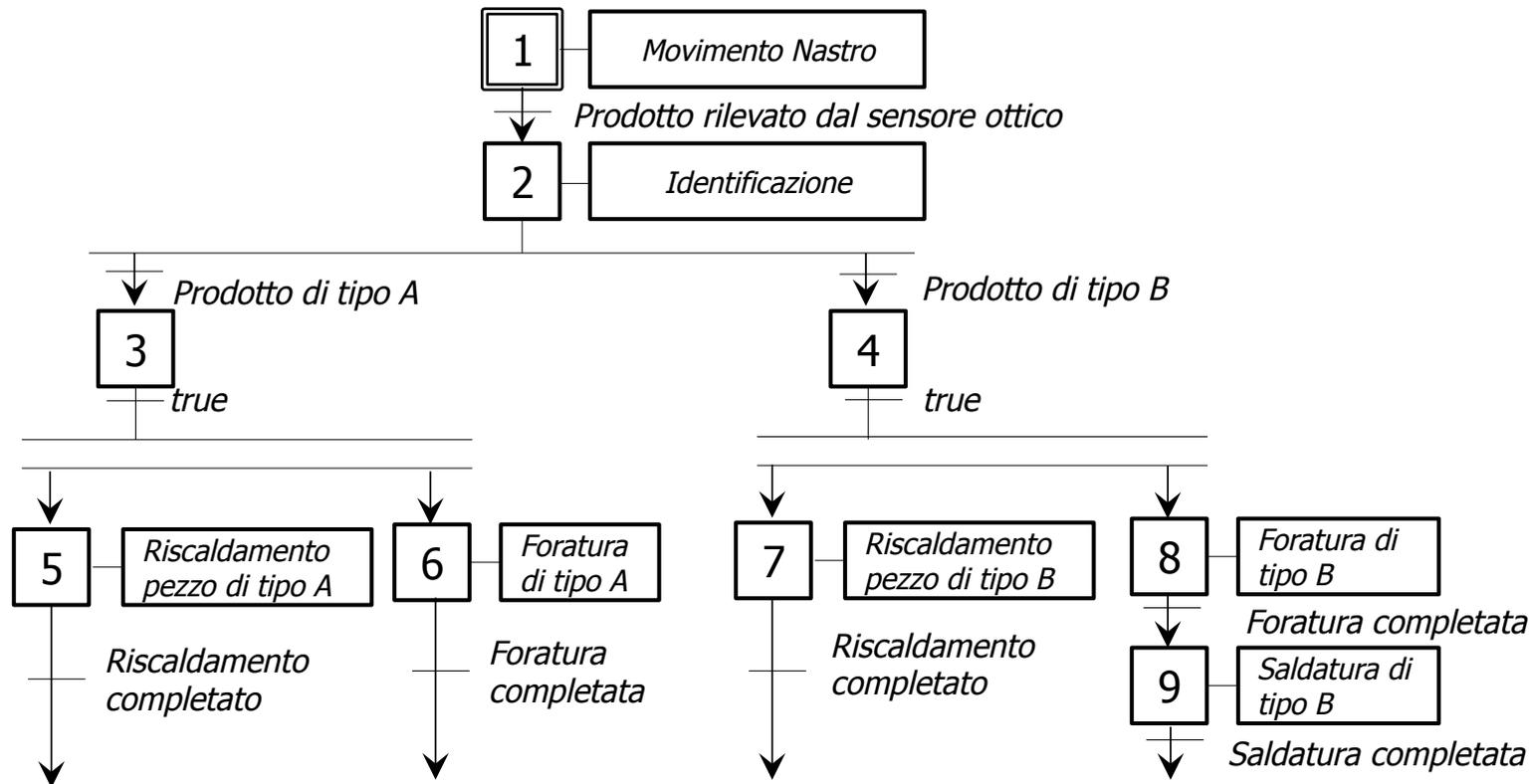
La soluzione è quella di introdurre uno STATO DUMMY, che non fa NULLA, la cui TRANSIZIONE è sempre TRUE. L'utilità degli stati dummy è quella di conservare la CORRETTEZZA FORMALE del diagramma SFC.





## PARALLELISMO

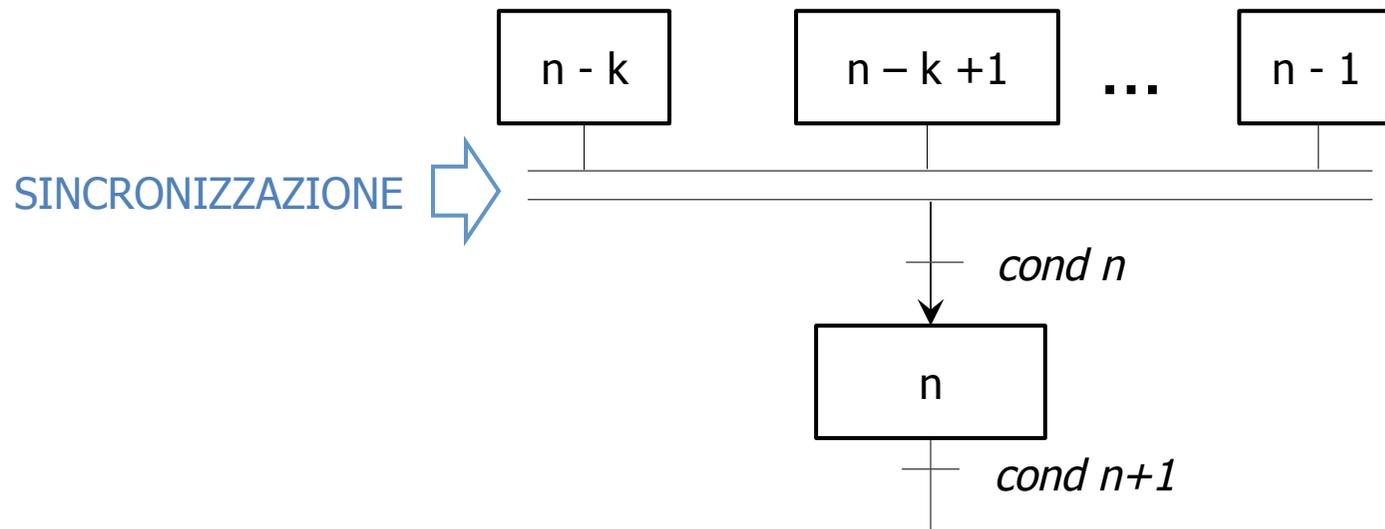
Terminiamo quindi l'esempio, riportando le azioni degli stati da eseguire in parallelo.





## SINCRONIZZAZIONE

La STRUTTURA DI COLLEGAMENTO duale al parallelismo è la SINCRONIZZAZIONE. Essa è data da una TRANSIZIONE con più STATI A MONTE.



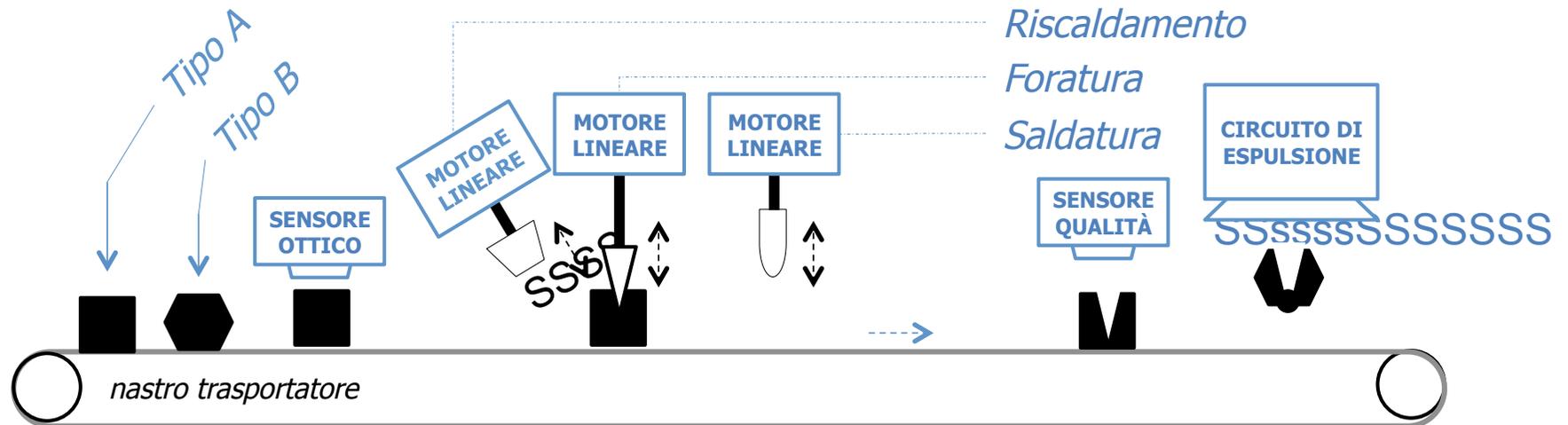
La TRANSIZIONE viene ABILITATA solo quando TUTTI gli STATI A MONTE vengono ATTIVATI.



## SINCRONIZZAZIONE

### ESEMPIO

Si consideri il sistema dell'esempio precedente. A valle di esso ci sono un **SENSORE DI QUALITÀ** che fotografa il pezzo e un **CIRCUITO DI ESPULSIONE**.

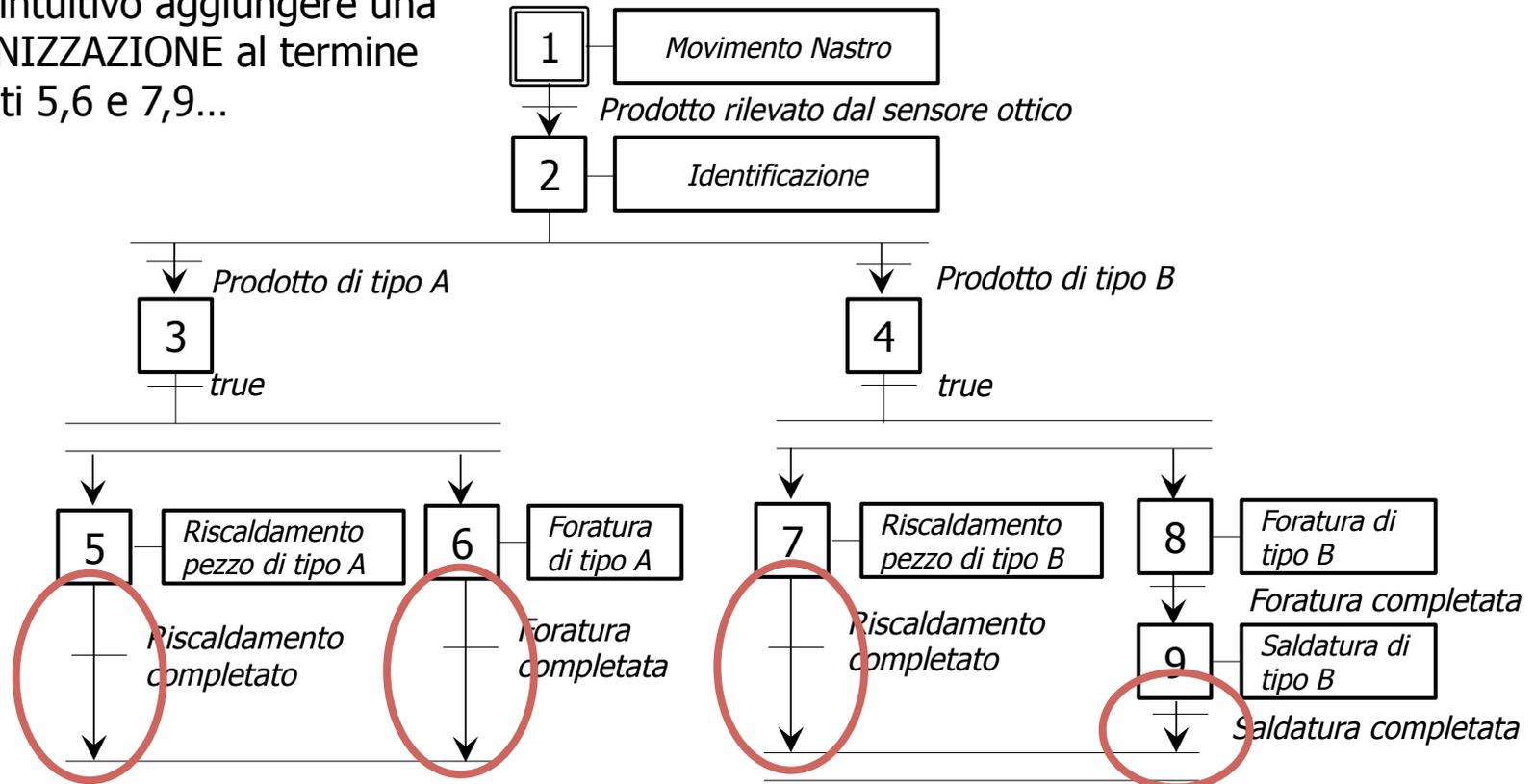


Tracciamo i DIAGRAMMI SFC del processo industriale completo.



## SINCRONIZZAZIONE

Sembra intuitivo aggiungere una SINCRONIZZAZIONE al termine degli stati 5,6 e 7,9...

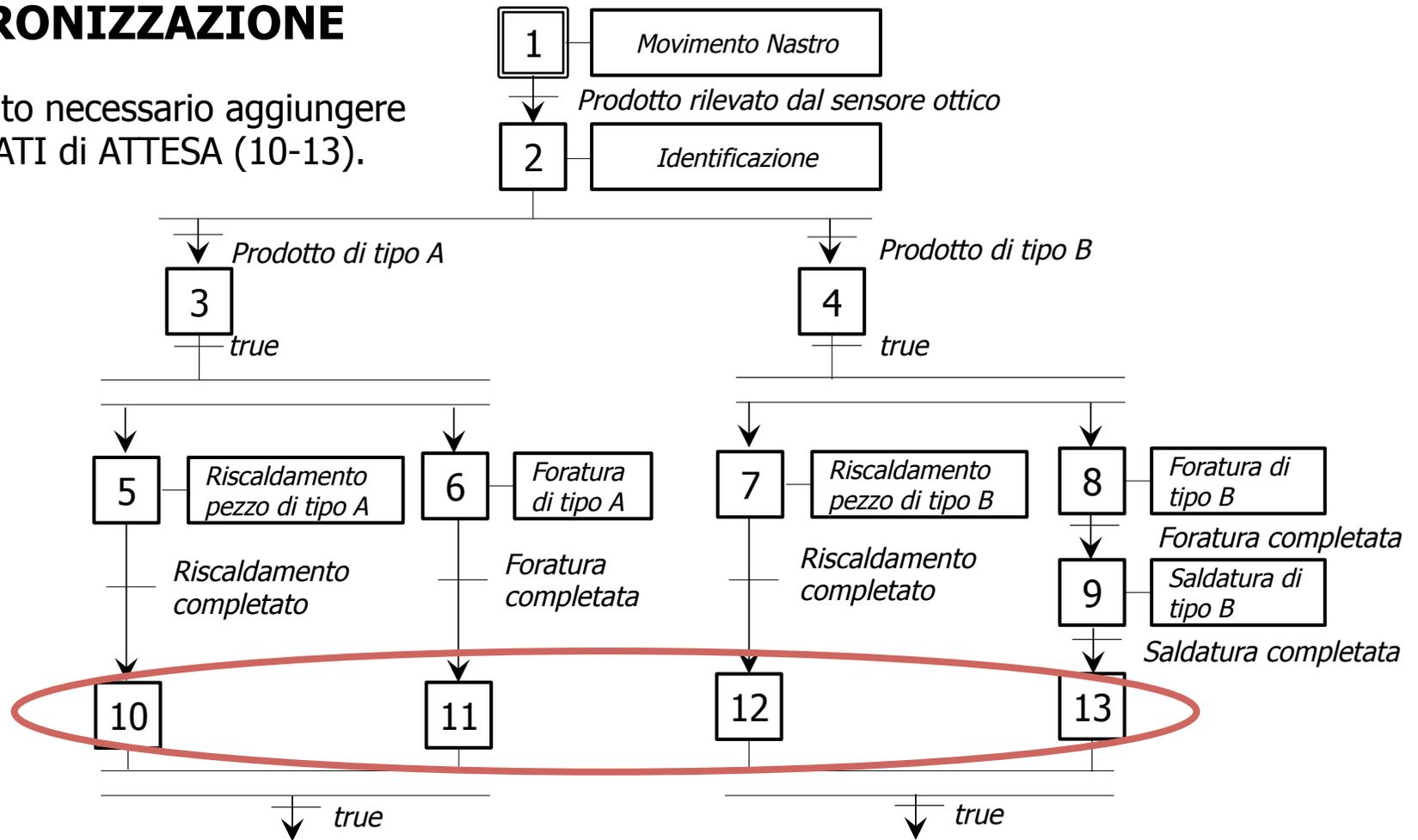


**VIOLAZIONE** - Prima della SINCRONIZZAZIONE NON ci sono TRANSIZIONI, ma STATI...



## SINCRONIZZAZIONE

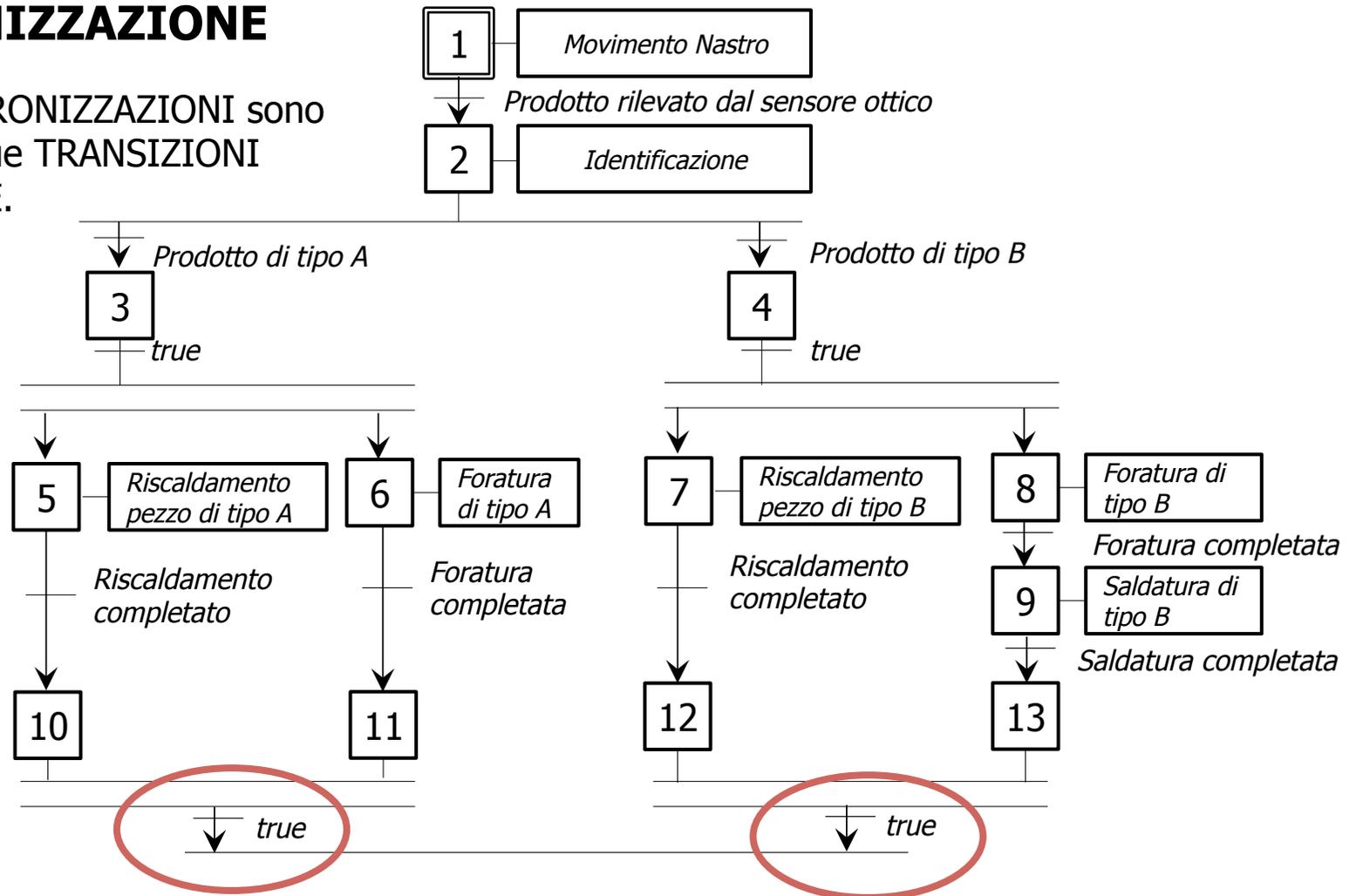
È pertanto necessario aggiungere degli STATI di ATTESA (10-13).





## SINCRONIZZAZIONE

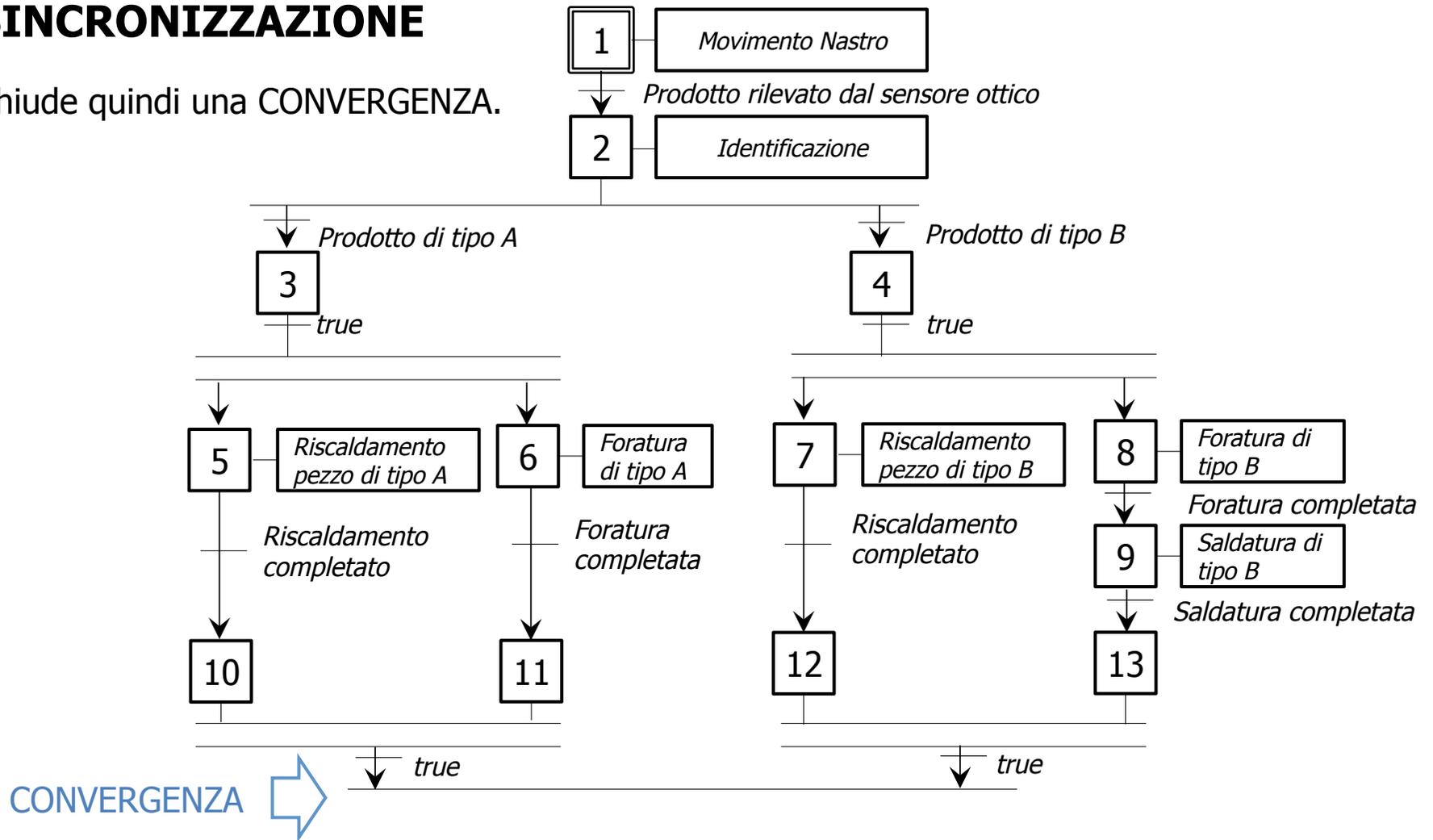
Le due SINCRONIZZAZIONI sono seguite da due TRANSIZIONI poste a TRUE.





# SINCRONIZZAZIONE

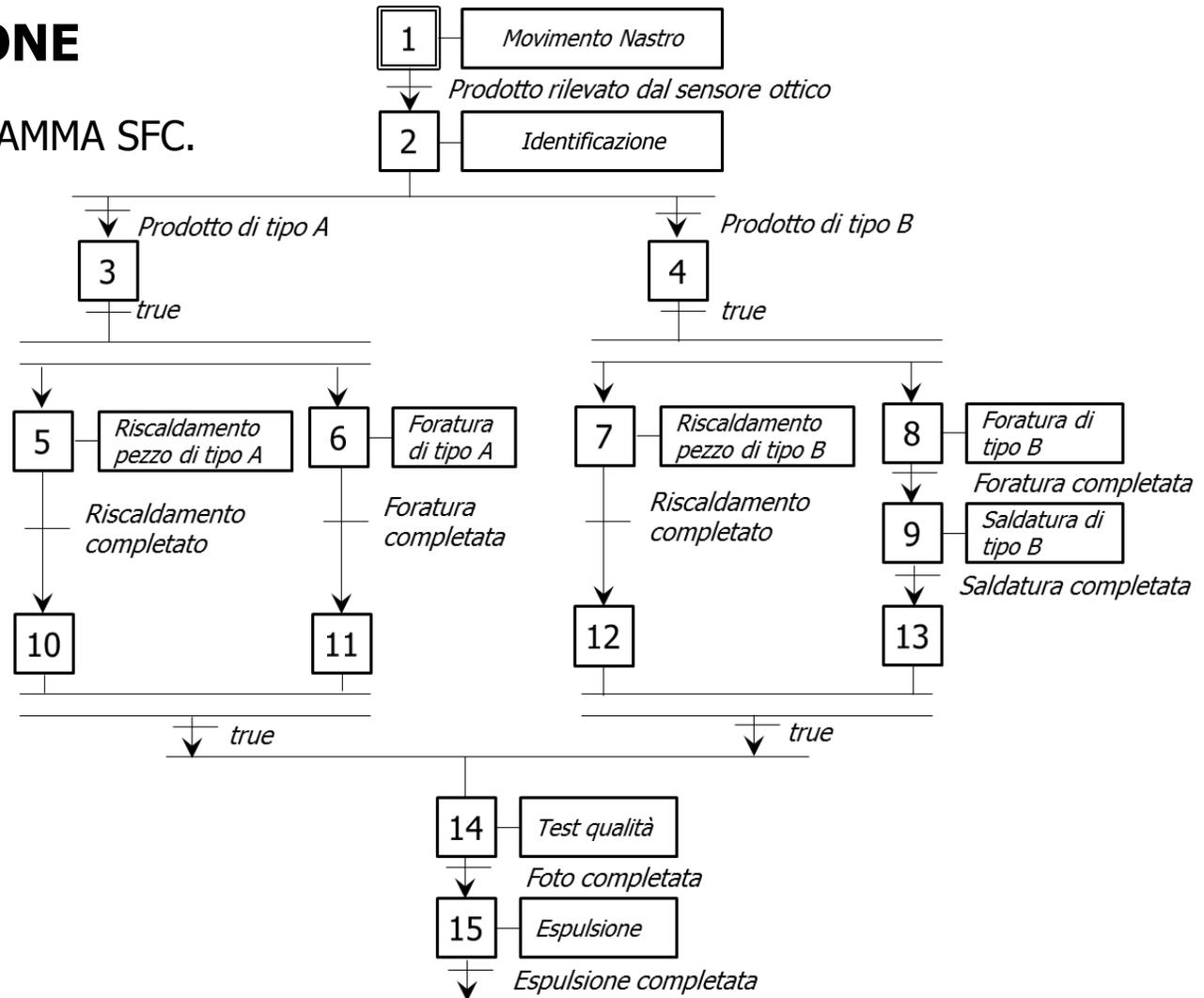
Chiude quindi una CONVERGENZA.





# SINCRONIZZAZIONE

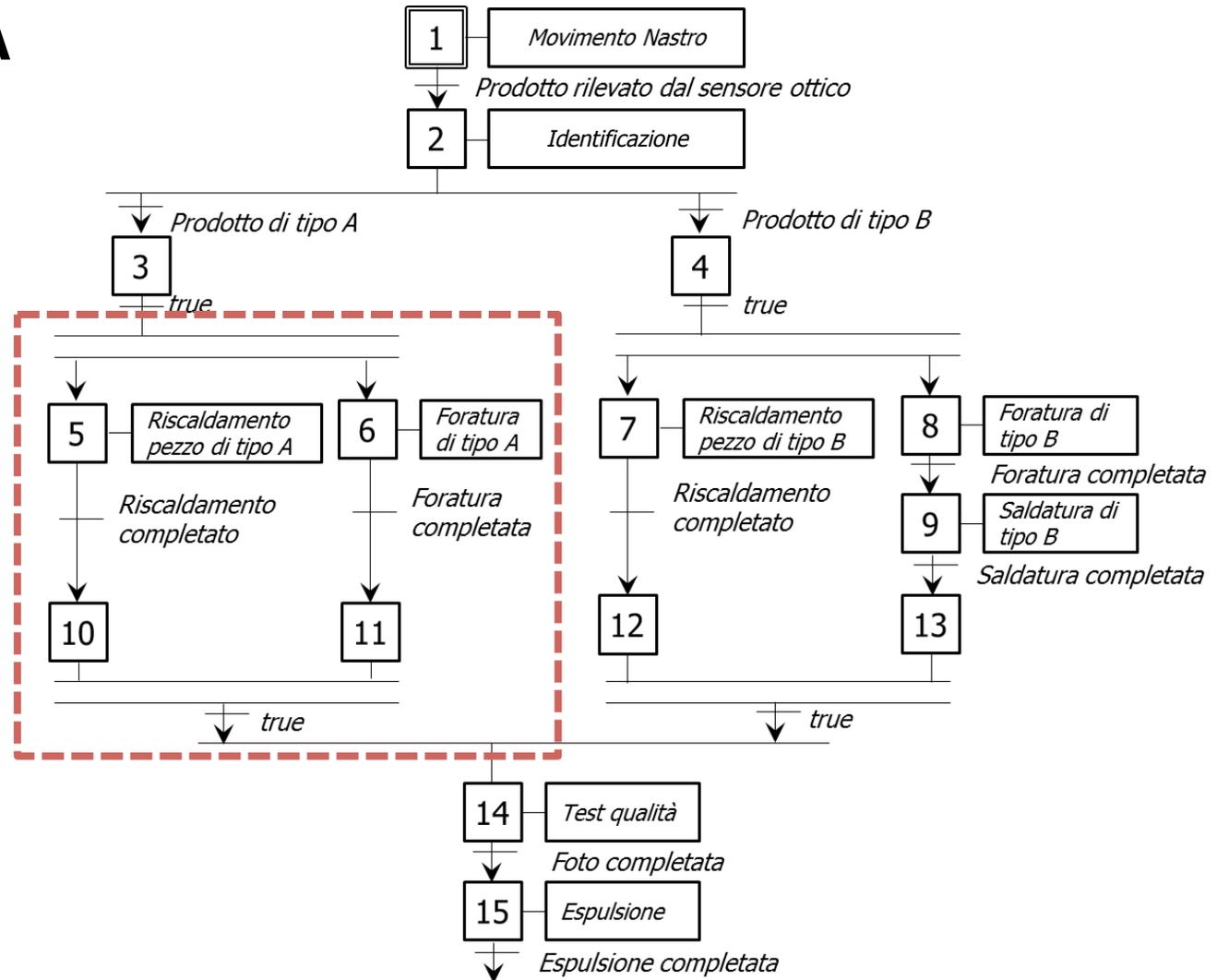
Si chiude quindi il DIAGRAMMA SFC.





## STATI di ATTESA

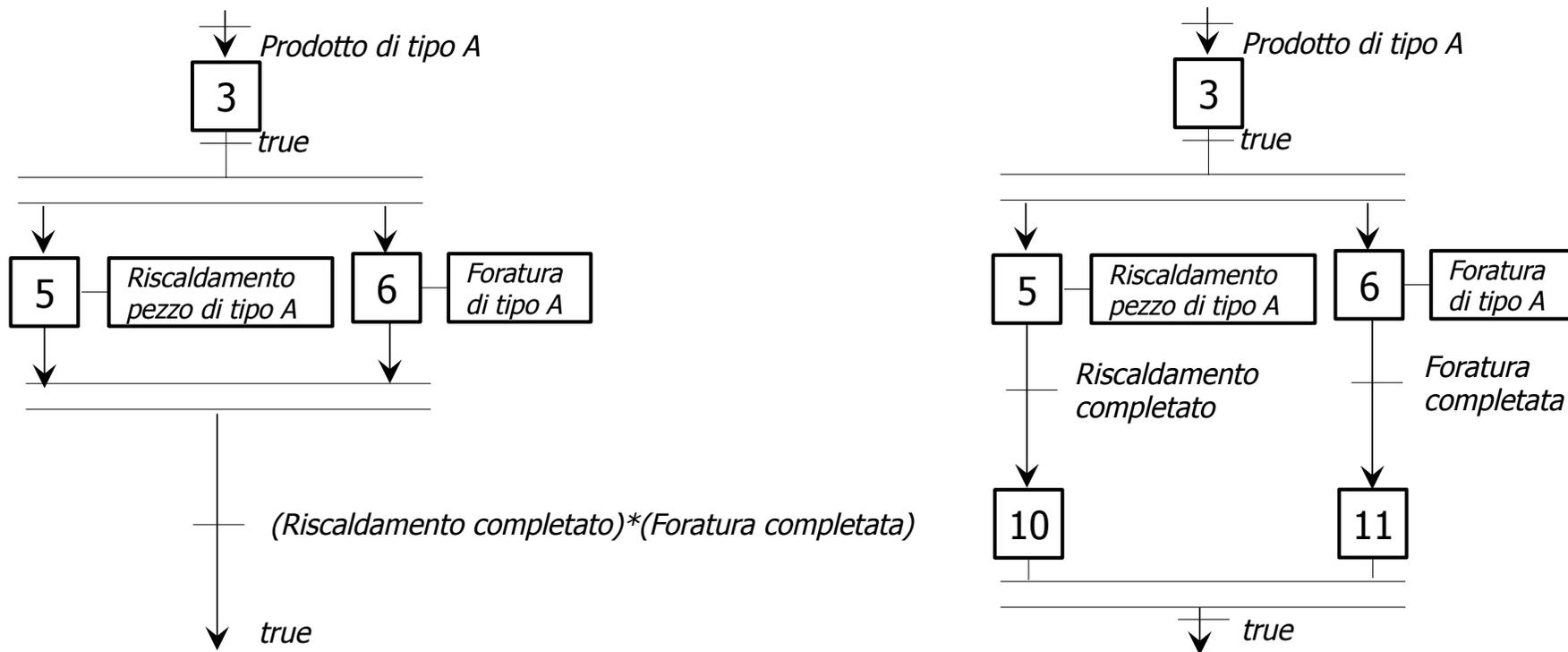
L'inserimento degli STATI di ATTESA serve a far TERMINARE gli stati operativi INDIPENDENTEMENTE l'uno dall'altro.





## STATI di ATTESA

Nel diagramma SFC a SINISTRA, gli stati 5 e 6 devono RIMANERE ENTRAMBI ATTIVI fino a quando il più lento dei due stati termina. Nel diagramma SFC a DESTRA, gli stati 5 e 6 possono DIVENTARE INATTIVI INDIPENDENTEMENTE L'UNO DALL'ALTRO.

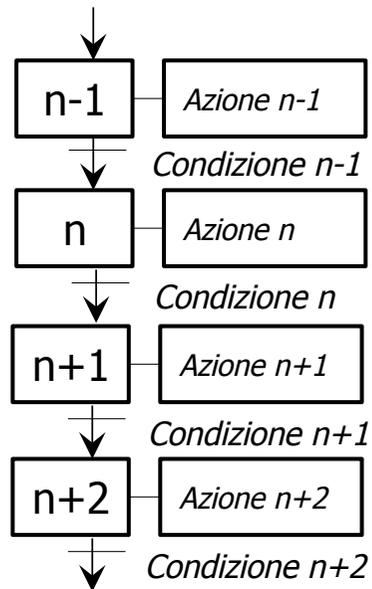




## MUTUA ESCLUSIONE

Cosa succede se due SEQUENZE INDIPENDENTI devono accedere ad una RISORSA CONDIVISA, MUTUAMENTE ESCLUSIVA, del sistema da automatizzare?

### Sequenza n

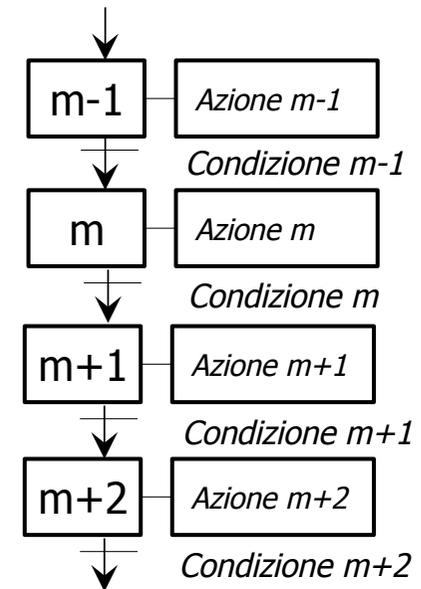


### Risorsa condivisa mutuamente esclusiva



manipolatore

### Sequenza m





## MUTUA ESCLUSIONE

Supponiamo che gli STATI  $n$  ed  $n+1$  della SEQUENZA  $n$  e gli STATI  $m$  ed  $m+1$  della SEQUENZA  $m$  ACCEDANO CONCORRENTEMENTE alla STESSA RISORSA CONDIVISA.

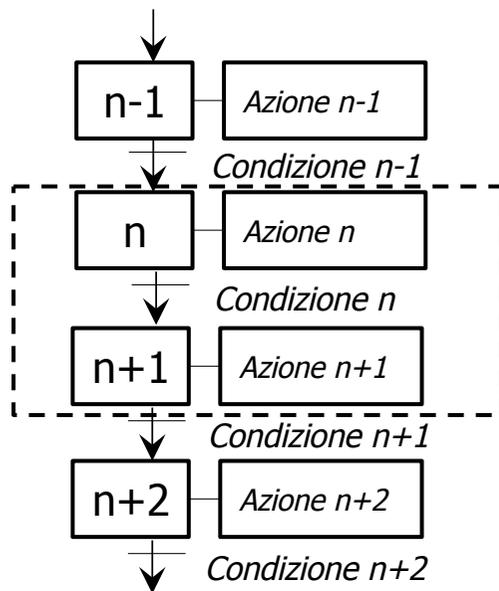




## MUTUA ESCLUSIONE

È necessario EVITARE che gli stati  $n$  o  $n+1$  siano ATTIVI CONTEMPORANEAMENTE con gli stati  $m$  o  $m+1$ .

### Sequenza $n$

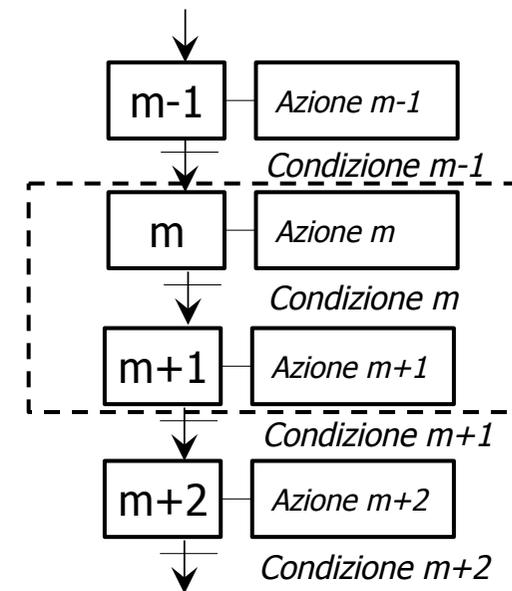


### Risorsa condivisa mutuamente esclusiva



manipolatore

### Sequenza $m$



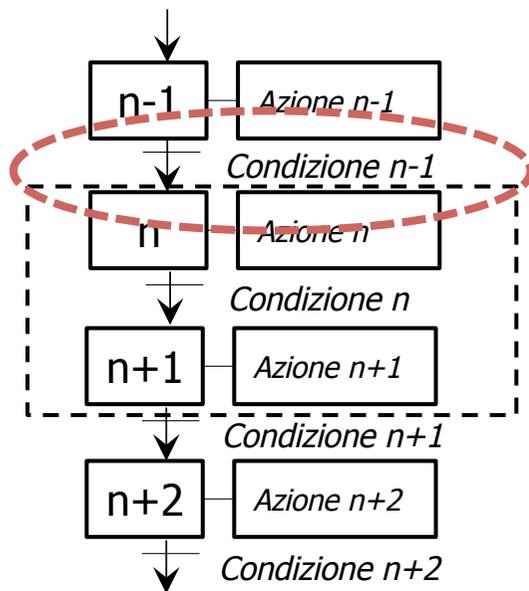


# MUTUA ESCLUSIONE

## OSSERVAZIONE

PROVIAMO ad imporre una condizione di MUTUA ESCLUSIONE sulle CONDIZIONI...

*Sequenza n*

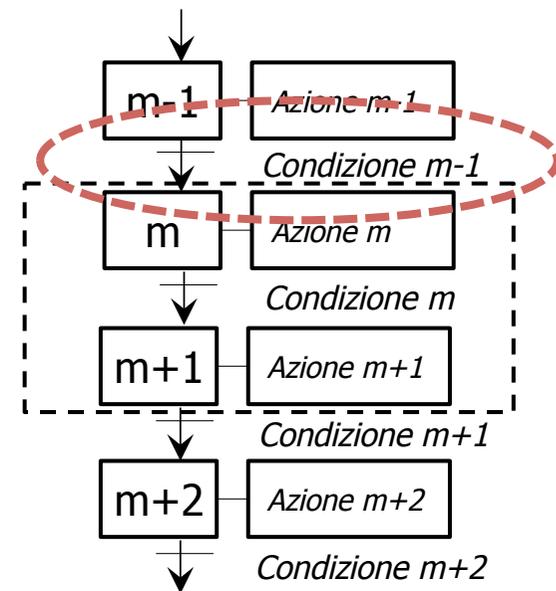


*Risorsa condivisa  
mutuamente esclusiva*



manipolatore

*Sequenza m*



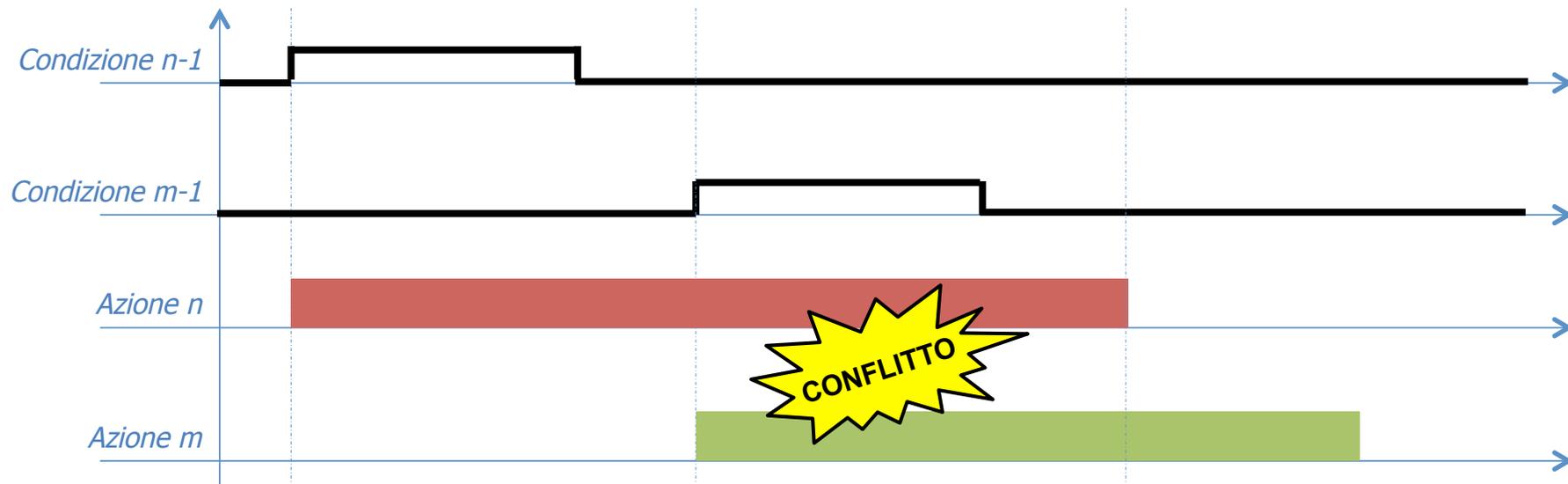
$$\text{Condizione } m-1 := (\text{Condizione } m-1) * (\text{not Condizione } n-1)$$



## MUTUA ESCLUSIONE

### OSSERVAZIONE

PROVIAMO ad imporre una condizione di MUTUA ESCLUSIONE sulle CONDIZIONI...  
...Ma tale soluzione NON GARANTISCE la MUTUA ESCLUSIONE !!!



**$Condizione\ m-1 := (Condizione\ m-1) * (not\ Condizione\ n-1)$**

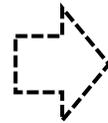


## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

### DEFINIZIONE

Si definisce SEMAFORO uno STATO associato ad una RISORSA CONDIVISA MUTUAMENTE ESCLUSIVA. Un SEMAFORO È ATTIVO SE E SOLO SE LA RISORSA È DISPONIBILE.

*Risorsa condivisa  
mutuamente esclusiva*



**Semaforo**

$S.X = 1 \leftarrow \rightarrow$  *risorsa disponibile*

### OSSERVAZIONE

In generale per indicare che all'avvio del controllo logico sequenziale una risorsa è disponibile, il SEMAFORO è rappresentato da uno STATO INIZIALE.

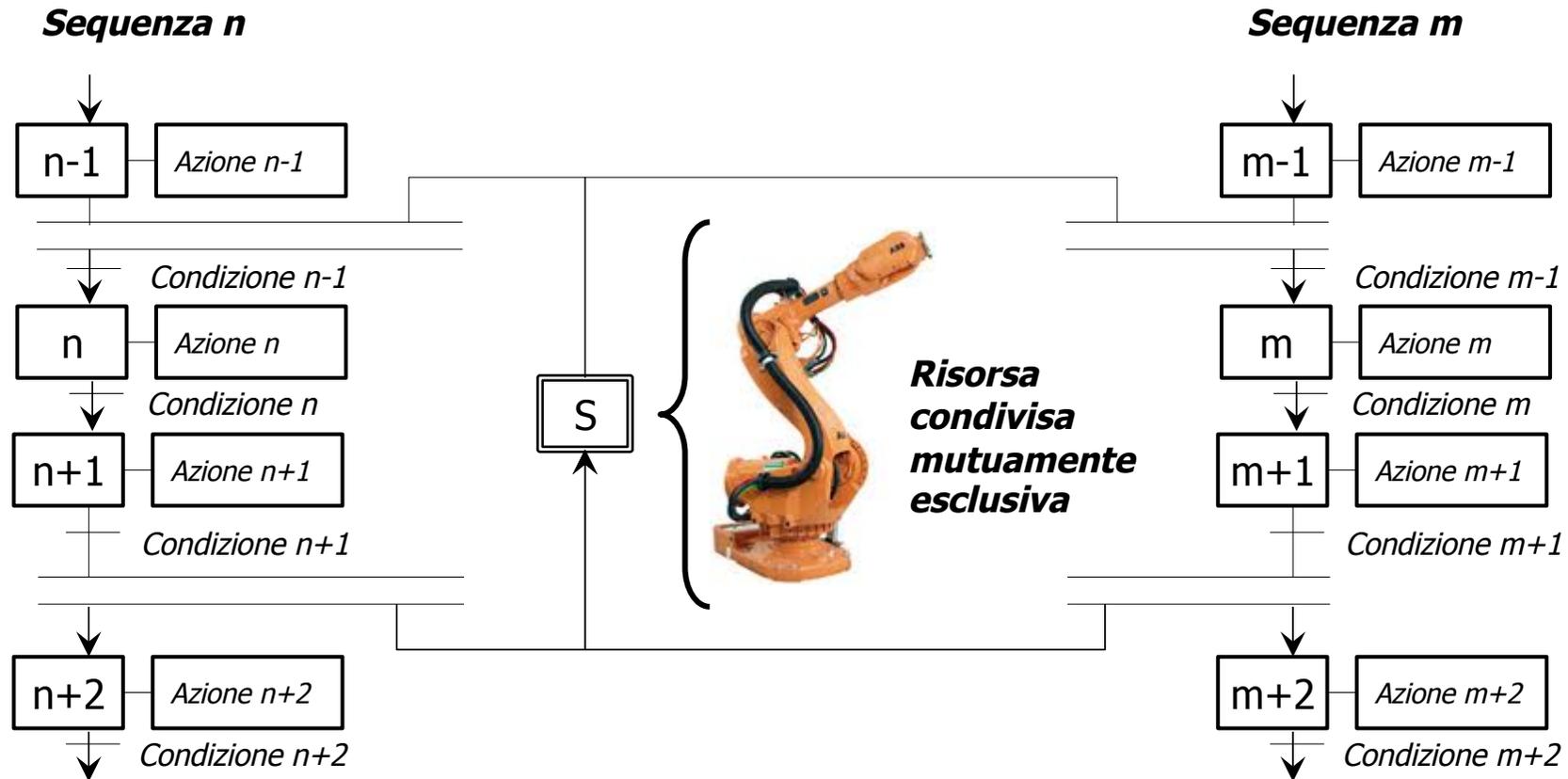


**Semaforo**



## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

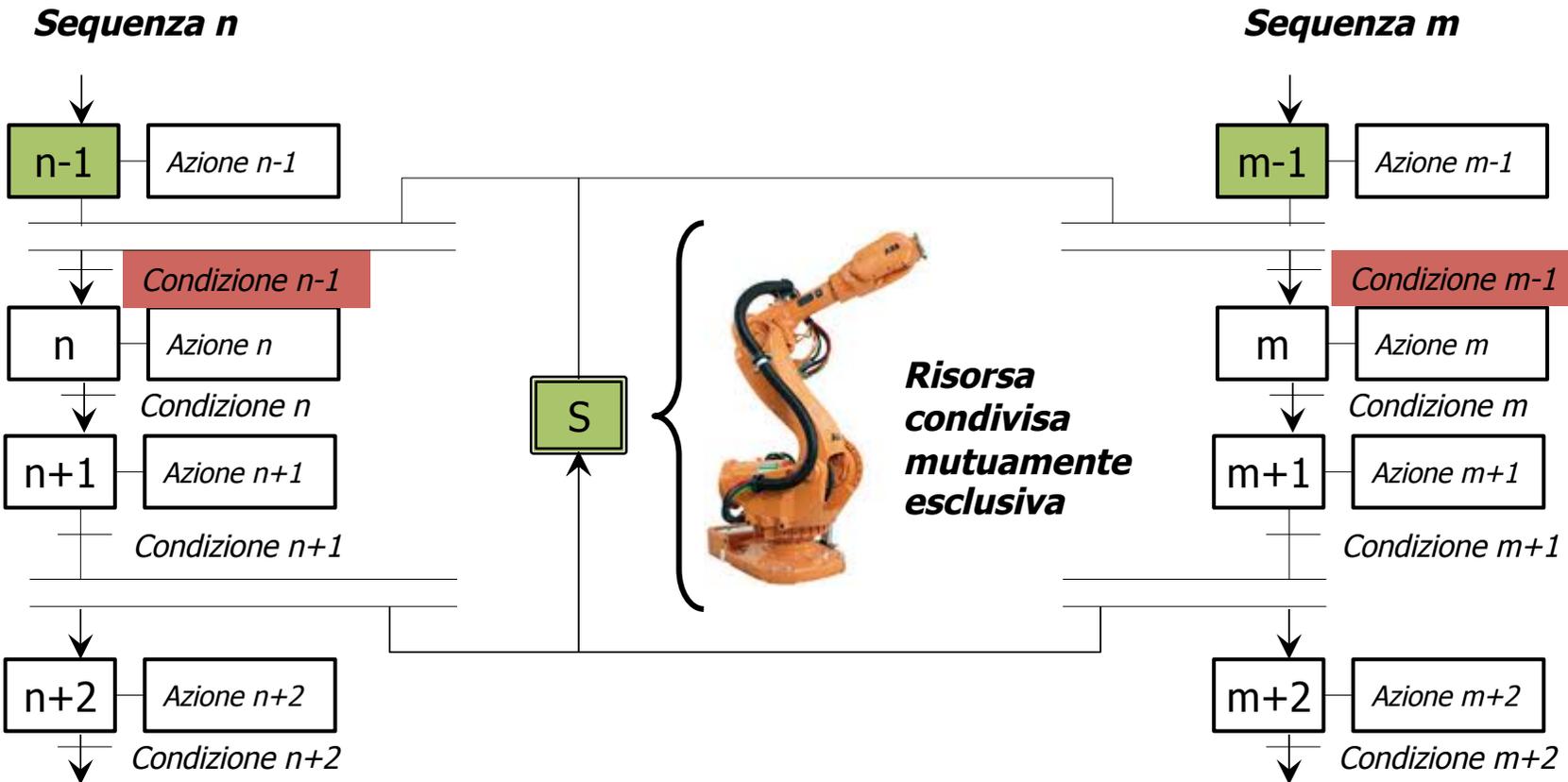
Usiamo il SEMAFORO, il PARALLELISMO e la SINCRONIZZAZIONE per risolvere il problema di ACCESSO CONCORRENTE ad una RISORSA CONDIVISA MUTUAMENTE ESCLUSIVA.





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

Supponiamo che gli STATI  $n-1$ ,  $m-1$  sono ATTIVI. Supponiamo che la risorsa condivisa sia LIBERA. Supponiamo che le Condizioni  $n-1$  ed  $m-1$  NON SIANO VERIFICATE.



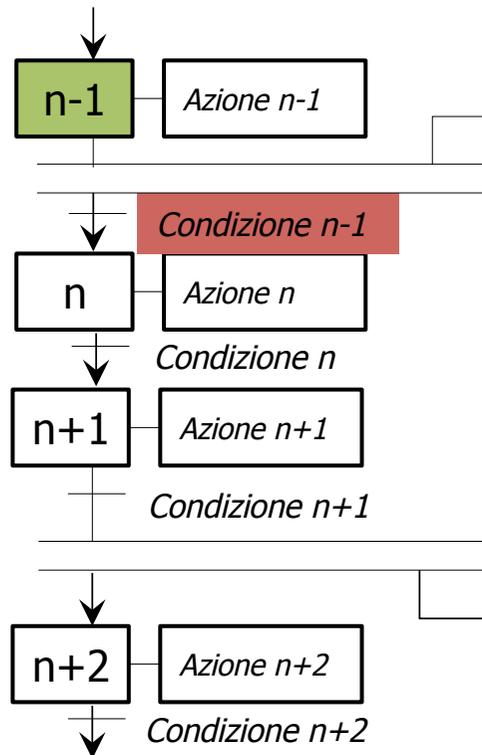


## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

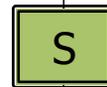
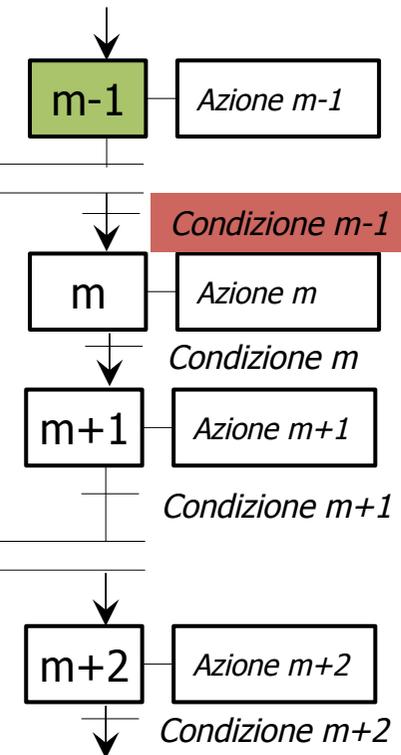
Dato che gli STATI  $n-1$  ed  $S$  sono ATTIVI, la Transizione  $n-1$  è ABILITATA.

Dato che gli STATI  $m-1$  ed  $S$  sono ATTIVI, la Transizione  $m-1$  è ABILITATA.

### Sequenza $n$



### Sequenza $m$



**Risorsa  
condivisa  
mutuamente  
esclusiva**



## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

Supponiamo che ad un Istante di Tempo  $t$ , la Condizione  $n-1$  sia VERIFICATA...





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

Conseguentemente la Sequenza n può passare allo stato n e BLOCCARE la RISORSA CONDIVISA ( $S.X = 0$ ).





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

Supponiamo ora che la Condizione  $m-1$  sia VERIFICATA... Essendo lo STATO  $S$  INATTIVO, la TRANSIZIONE  $m-1$  non è ABILITATA !!!





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

Supponiamo intanto che la Sequenza n proceda. Prima passando allo stato  $n+1$ ...





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

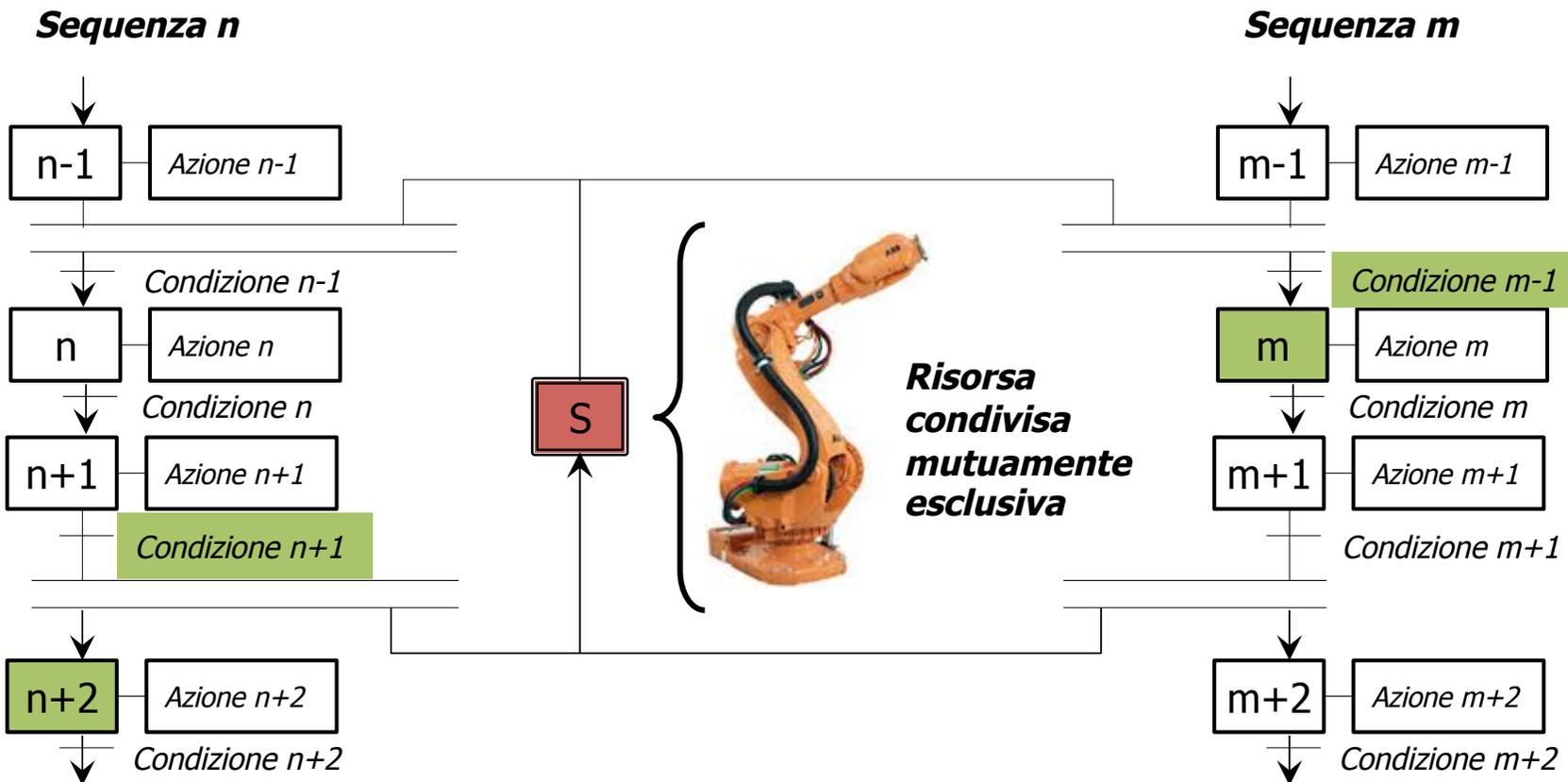
Supponiamo intanto che la Sequenza  $n$  proceda. Prima passando allo stato  $n+1$ ...  
...Quindi allo stato  $n+2$  che LIBERA LA RISORSA CONDIVISA...





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

...Appena la risorsa condivisa si libera, la TRANSIZIONE  $m-1$  è ATTIVATA e quindi l'azione  $m$  viene ESEGUITA, occupando nuovamente la risorsa condivisa.





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

### OSSERVAZIONE

Dato lo stato in figura, cosa succede se le condizioni  $n-1$  e  $m-1$  si attivano assieme?





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

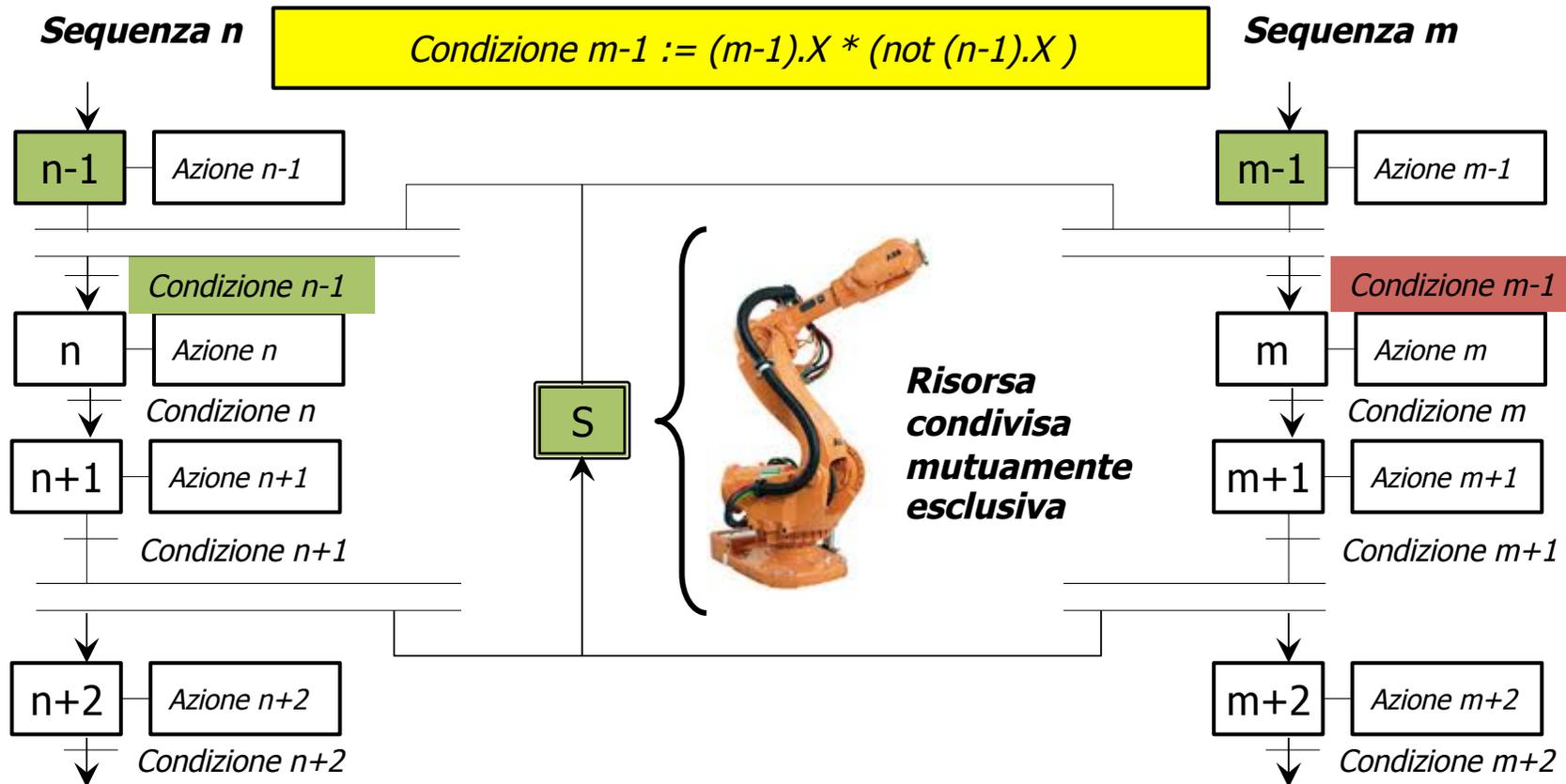
Si corre il rischio di ATTIVARE ENTRAMBI GLI STATI che ACCEDONO IN MANIERA CONCORRENTE ALLA RISORSA CONDIVISA, generando così un CONFLITTO...





## SEMAFORO PER LA MUTUA ESCLUSIONE

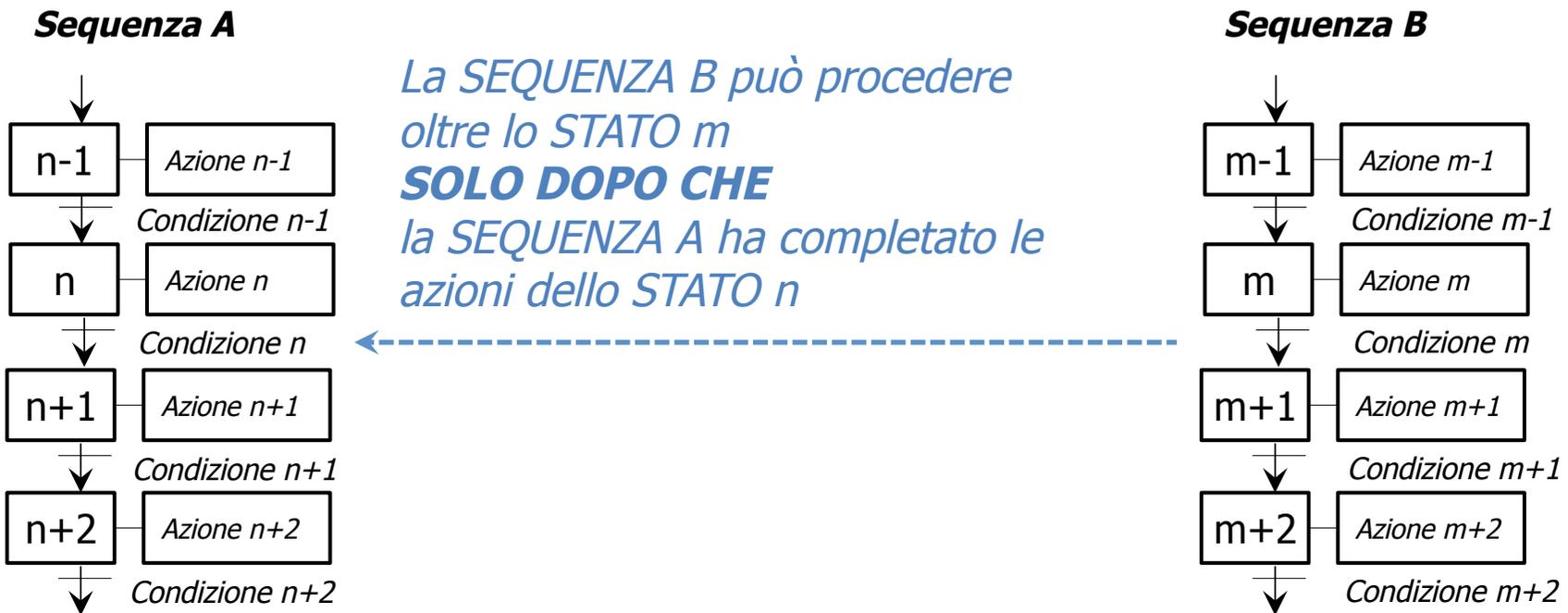
La SOLUZIONE consiste nell'evitare questa possibile AMBIGUITÀ, ASSEGNANDO UNA PRIORITÀ alle CONDIZIONI. Ad esempio:





## SINCRONIZZAZIONE DI SEQUENZE

Cosa succede se due SEQUENZE PARALLELE sono DIPENDENTI l'una dall'altra?

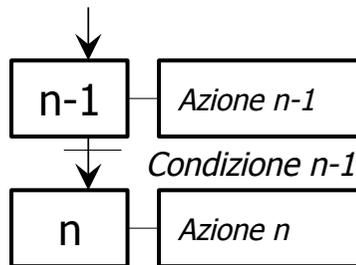




## SINCRONIZZAZIONE DI SEQUENZE

Una soluzione basata sull'uso di SINCRONIZZAZIONE e PARALLELISMO non va bene.

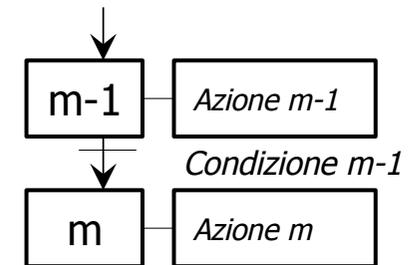
### Sequenza A



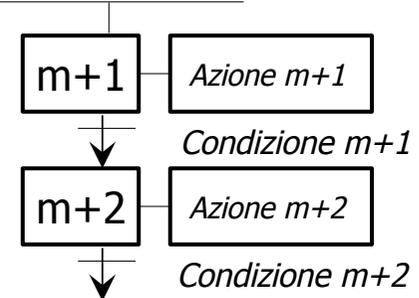
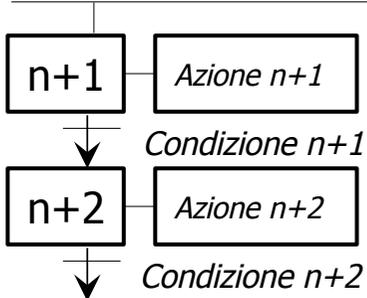
Tale soluzione IMPONE una DIPENDENZA anche allo STATO n.

Lo STATO n NON PUÒ PROSEGUIRE se lo STATO m non può transire nello STATO m +1...

### Sequenza B



$(\text{Condizione } n) * (\text{Condizione } m)$

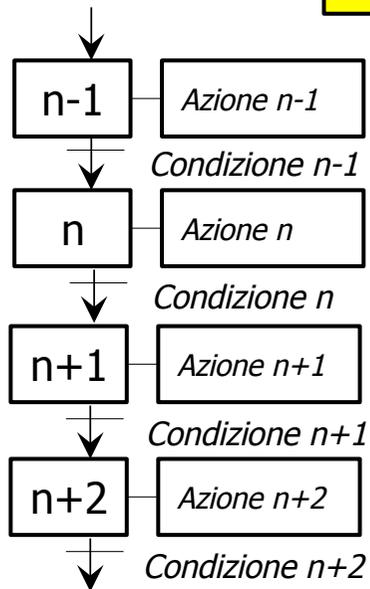




## SINCRONIZZAZIONE DI SEQUENZE

Una soluzione basata sull'imposizione di determinate CONDIZIONI è anch'essa destinata a FALLIRE.

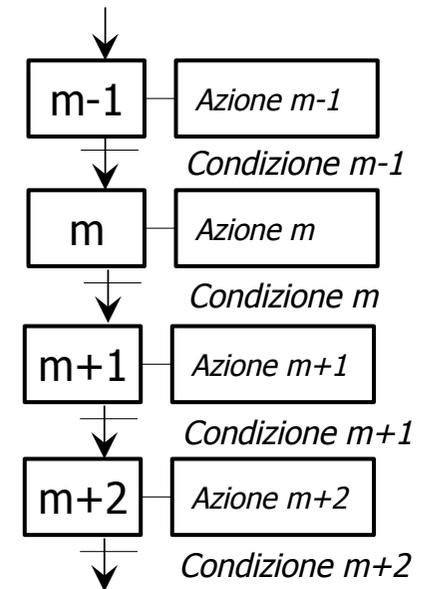
### Sequenza A



$$\text{Condizione } m := (\text{Condizione } m) * (\text{Condizione } n)$$

La **condizione m** può ESSERE VERIFICATA INDIPENDENTEMENTE se le **azioni dello STATO n** sono state eseguite o meno.

### Sequenza B

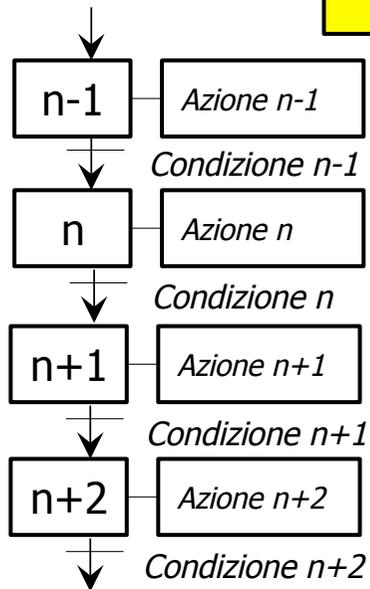




## SINCRONIZZAZIONE DI SEQUENZE

Una soluzione basata sull'imposizione di determinate CONDIZIONI è anch'essa destinata a FALLIRE.

### Sequenza A

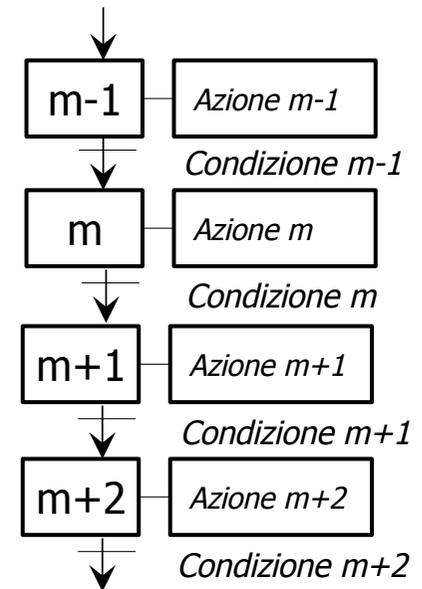


*Condizione m :=  
(Condizione m) \* (Condizione n) \* (n.X)*

In questo caso NON SI HA MEMORIA che lo STATO n sia stato eseguito.

Pertanto se la Condizione m è VERIFICATA DOPO CHE lo STATO n viene terminato (n.X = 0) la TRANSIZIONE m non si ATTIVA mai...

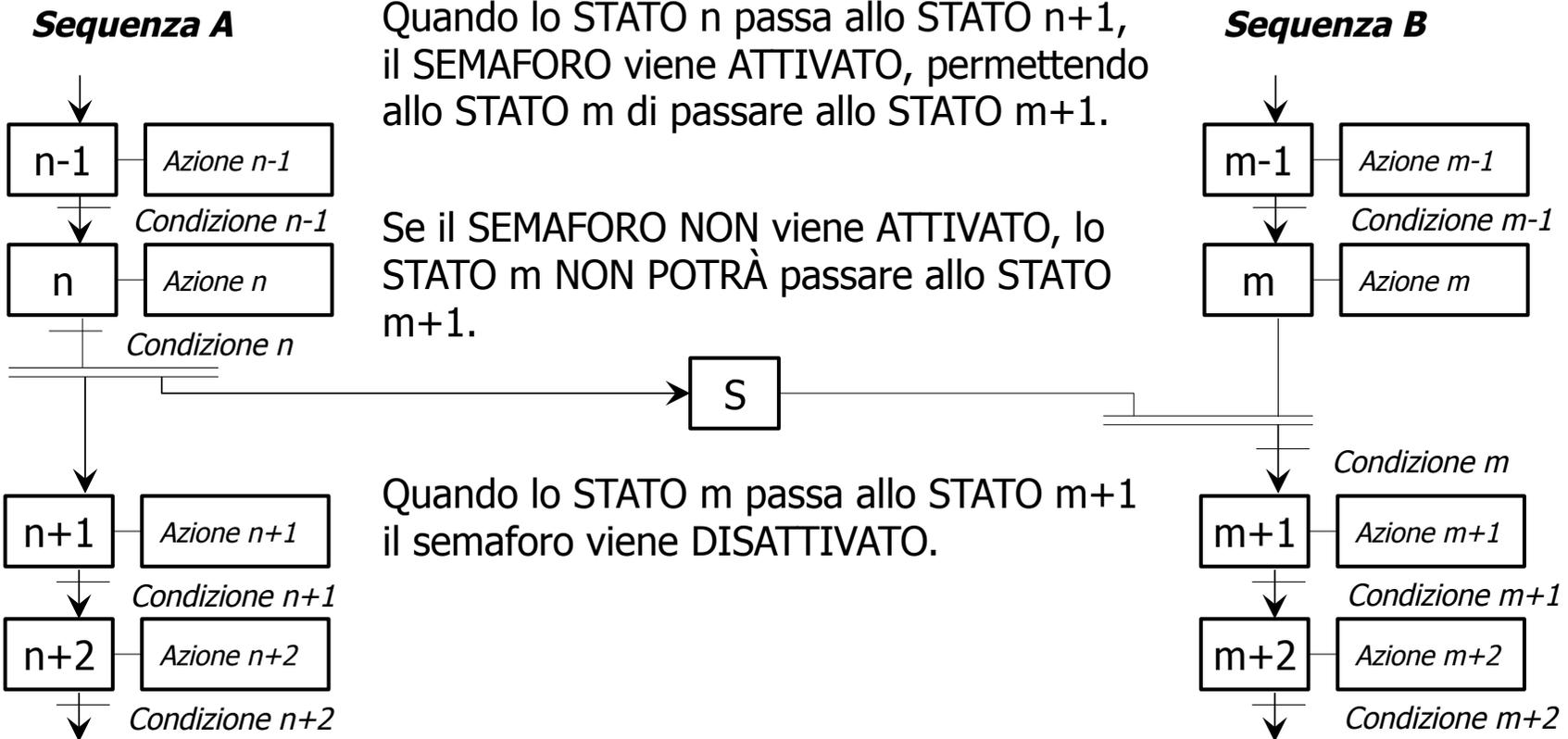
### Sequenza B





## SEMAFORO PER LA SINCRONIZZAZIONE

Per superare alla mancanza di MEMORIA è necessario usare un SEMAFORO per la SINCRONIZZAZIONE di SEQUENZE PARALLELE.





## BIBLIOGRAFIA

### Sezione 7.3



#### TITOLO

**Sistemi di automazione industriale  
Architetture e controllo**

#### AUTORI

Claudio Bonivento  
Luca Gentili  
Andrea Paoli

#### EDITORE

McGraw-Hill