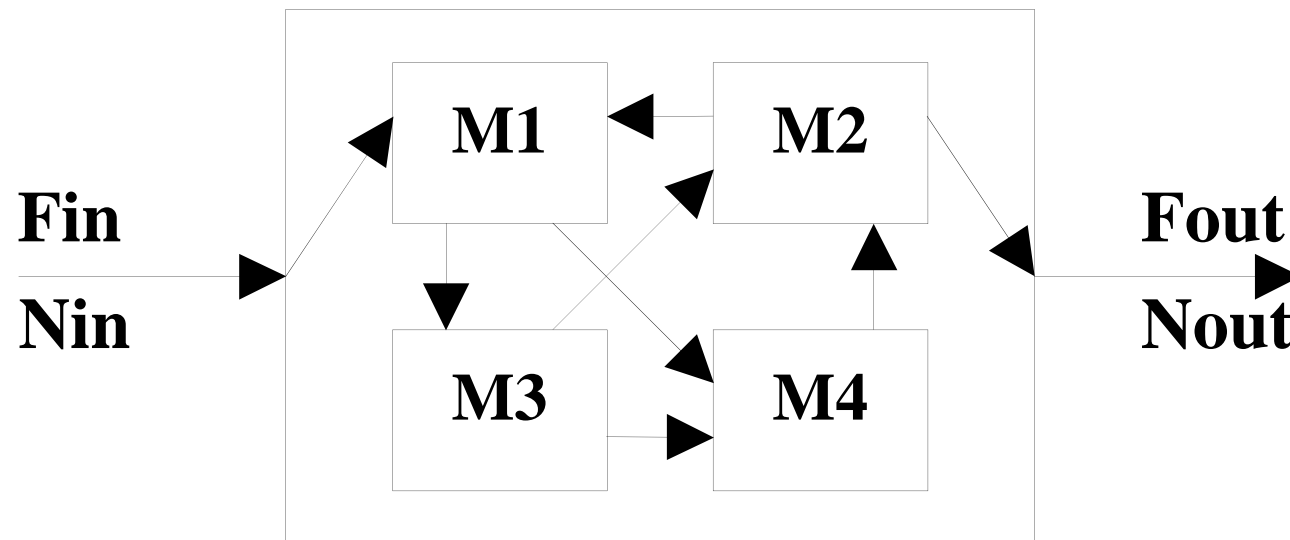


# Analisi della prestazione dei sistemi produttivi – Diagrammi di throughput

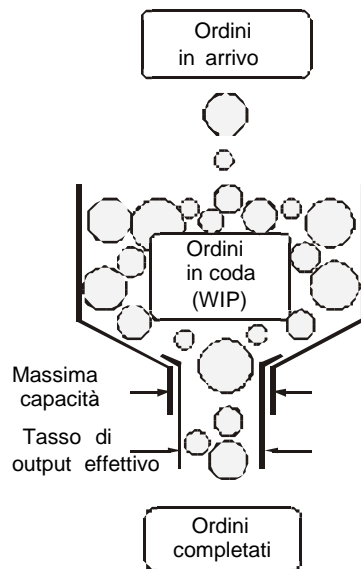
# Sia dato un sistema produttivo

- $F_{in}$ ,  $F_{out}$  frequenza (tasso) di input e output al/dal sistema (pz/g)
- $N_{in}$ ,  $N_{out}$  numero di pezzi in input e output al/dal sistema a partire dall'istante  $t = 0$  (pz)

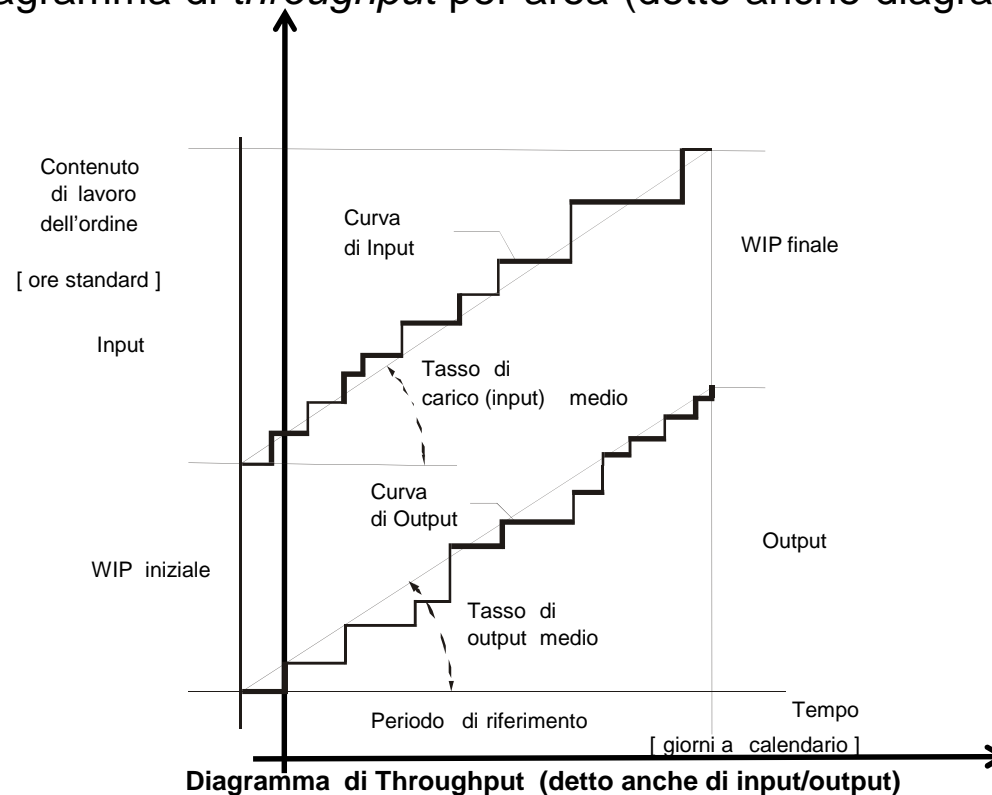


# Funnel Model

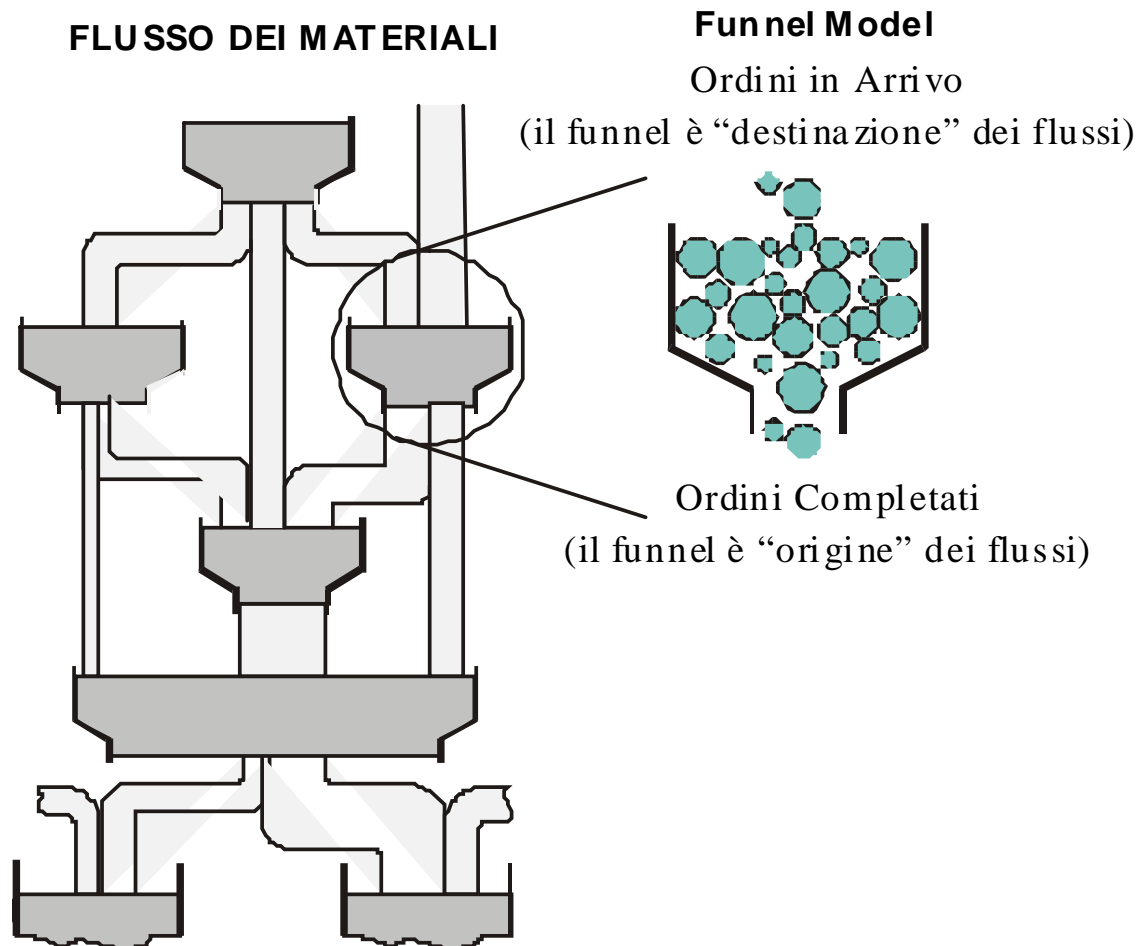
Il diagramma di *throughput* è un modello per monitorare la dinamica del processo che accade nel *funnel* (sistema produttivo sotto esame)  $\Rightarrow$  a partire dagli eventi rilevati al funnel (arrivo, uscita) è possibile costruire un diagramma di *throughput* per area (detto anche diagramma di input/output)



Funnel model



# Funnel Model

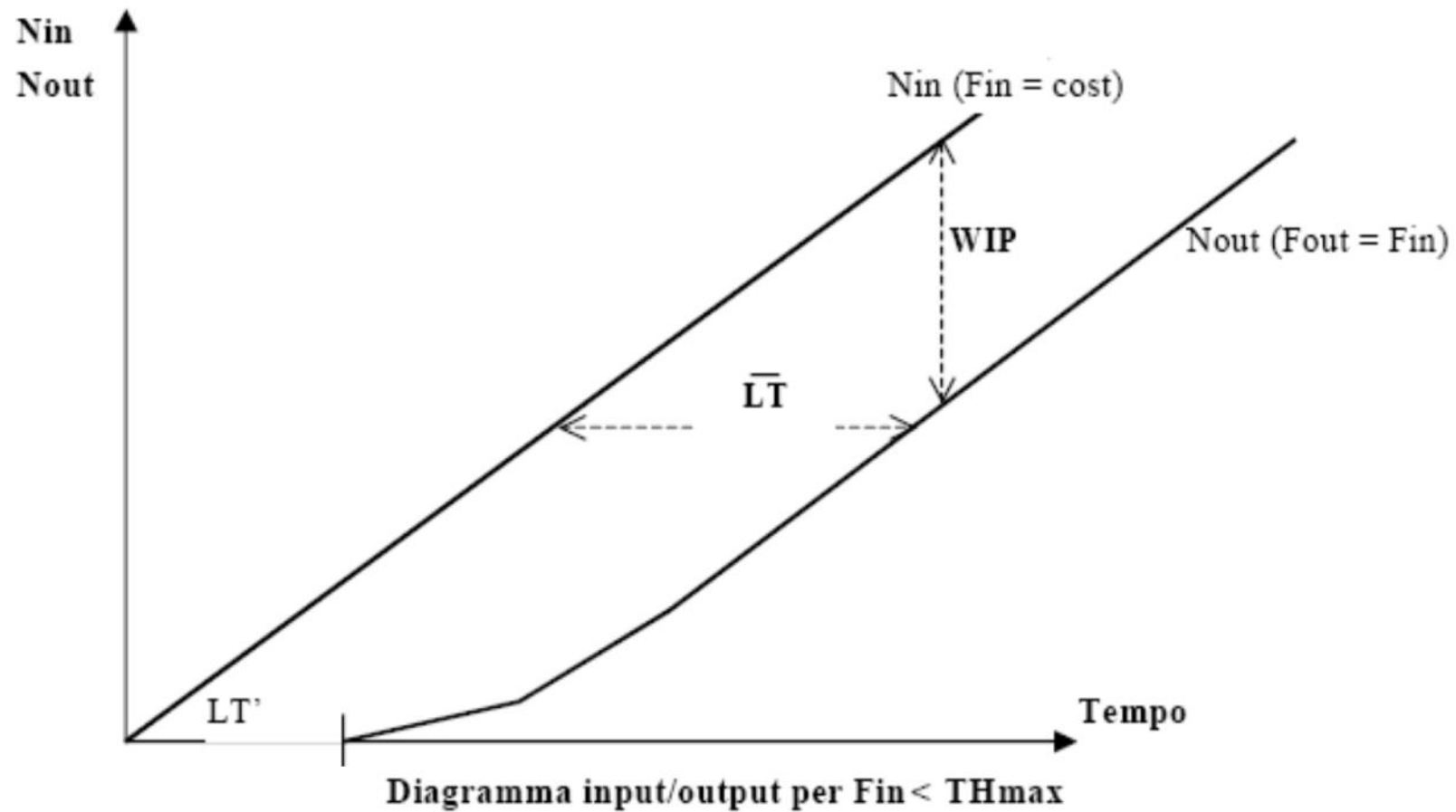




# Diagramma di input/output

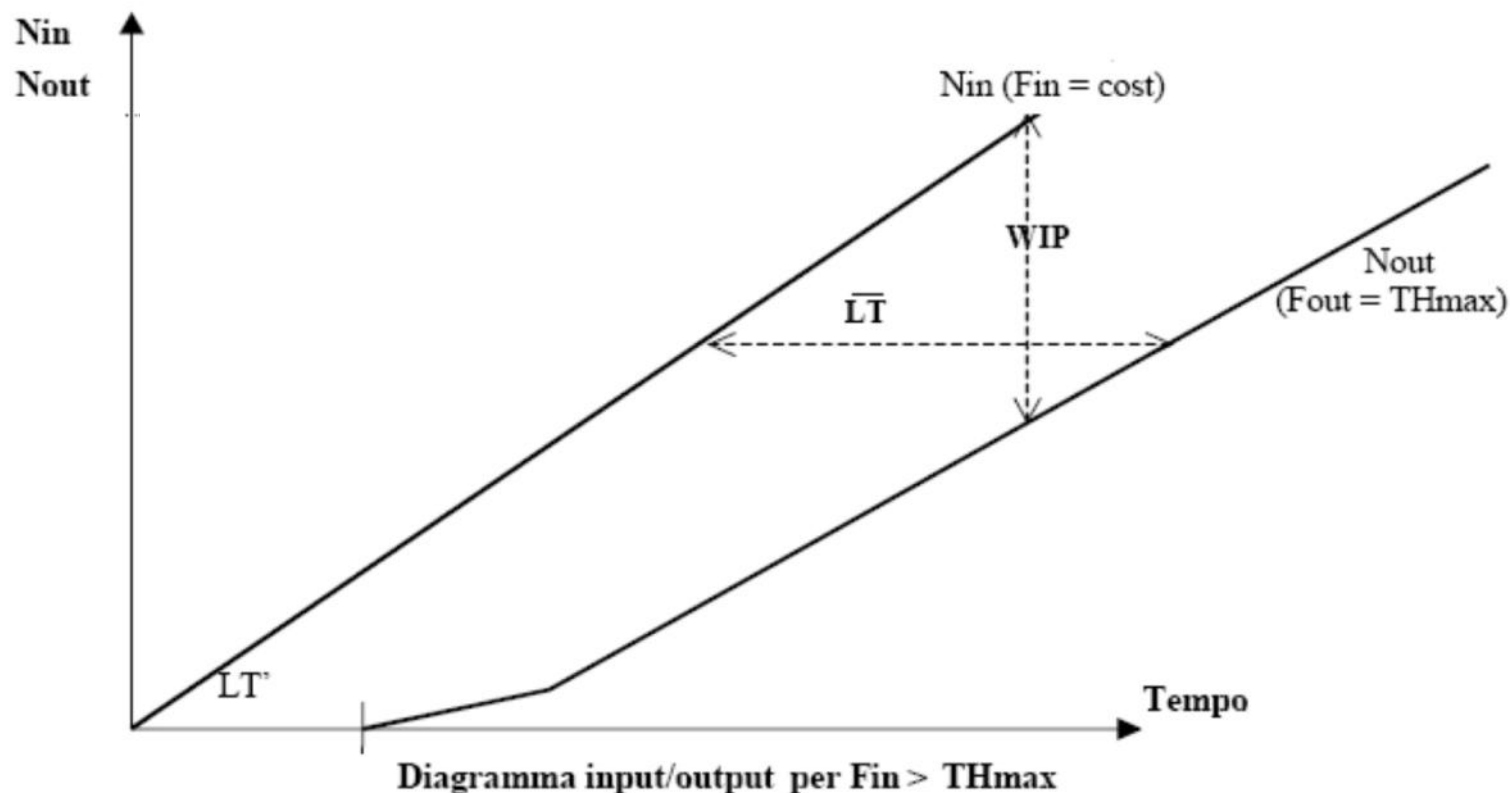
- Si supponga che il sistema sia sottoposto ad un carico stazionario ( $F_{in} = \text{costante}$ )
- In tali condizioni, l'andamento del numero di parti in input  $N_{in}$  è lineare
  - Se il collo di bottiglia del sistema non è saturato ( $F_{in} < TH_{max}$ ), si avrà un analogo andamento, ma spostato nel tempo, per i pezzi/clienti  $N_{out}$  in output dal sistema

# Diagramma di input/output

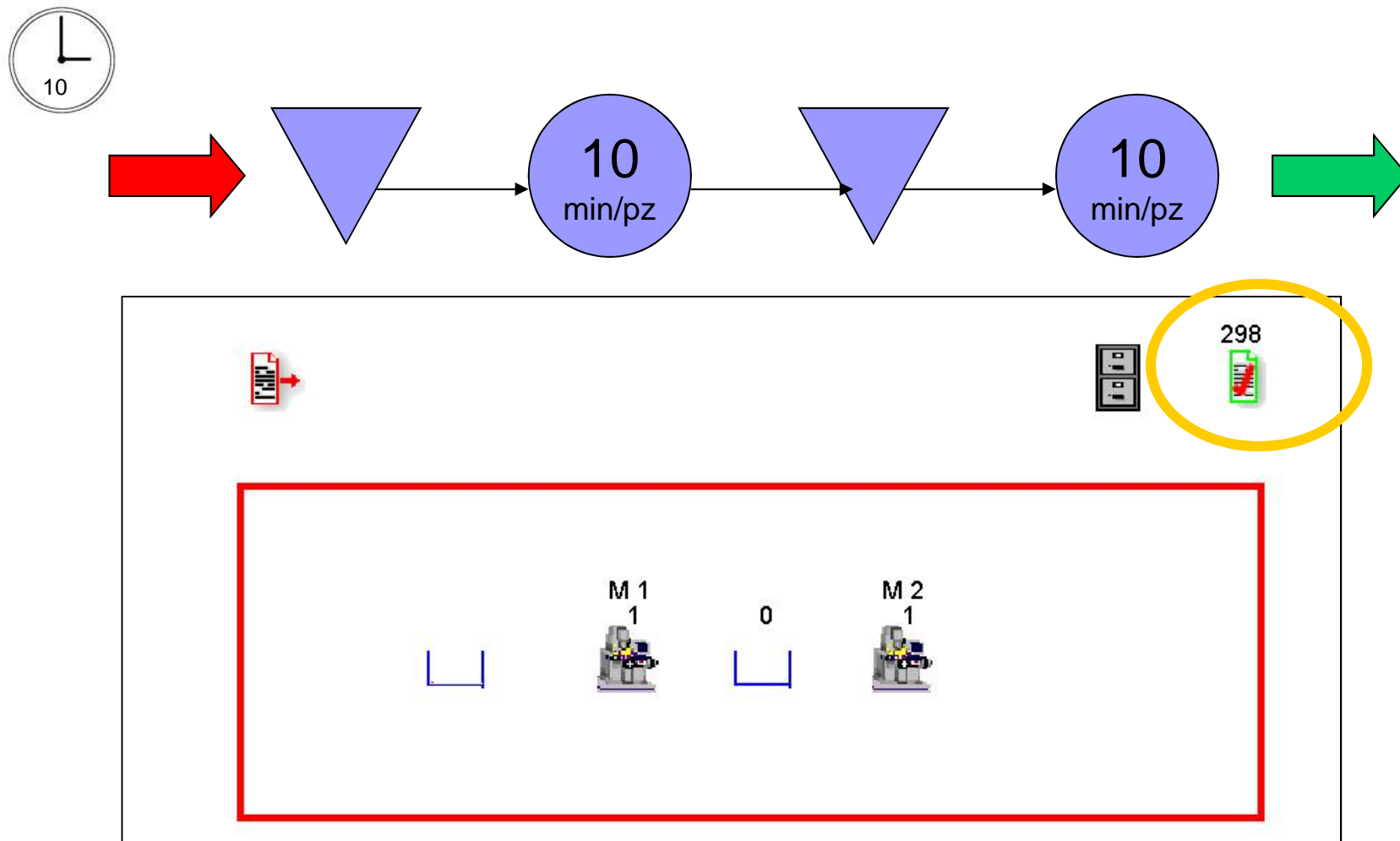


# Diagramma di input/output

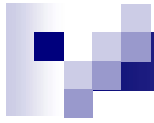
- Quando  $F_{in}$  supera il valore  $TH_{max}$  ( $TH_{cb}$ ), il numero di parti in input non può essere smaltito in uscita, per cui  $WIP$  e  $LT$  continuano ad aumentare



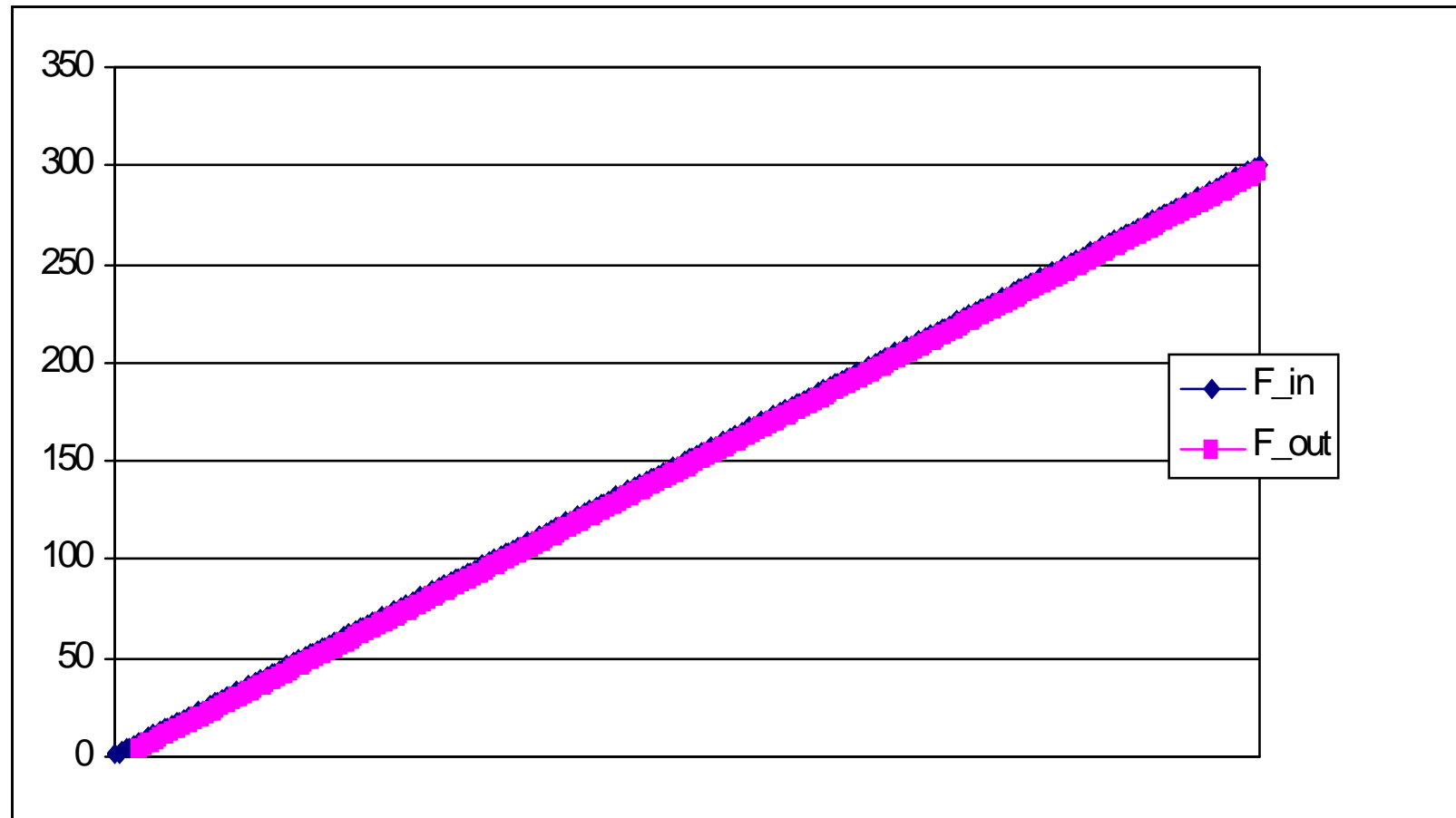
# Diagramma di input/output



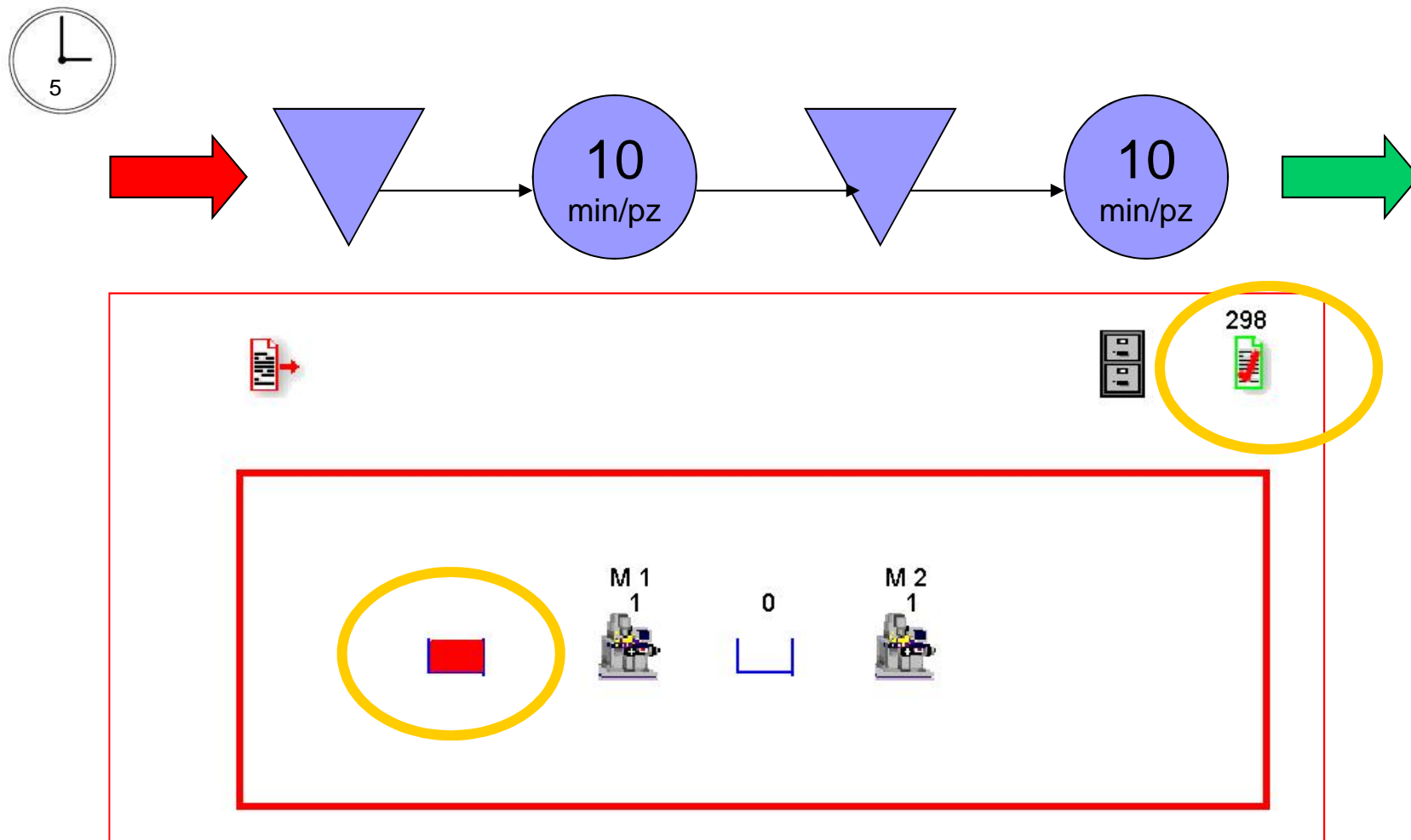




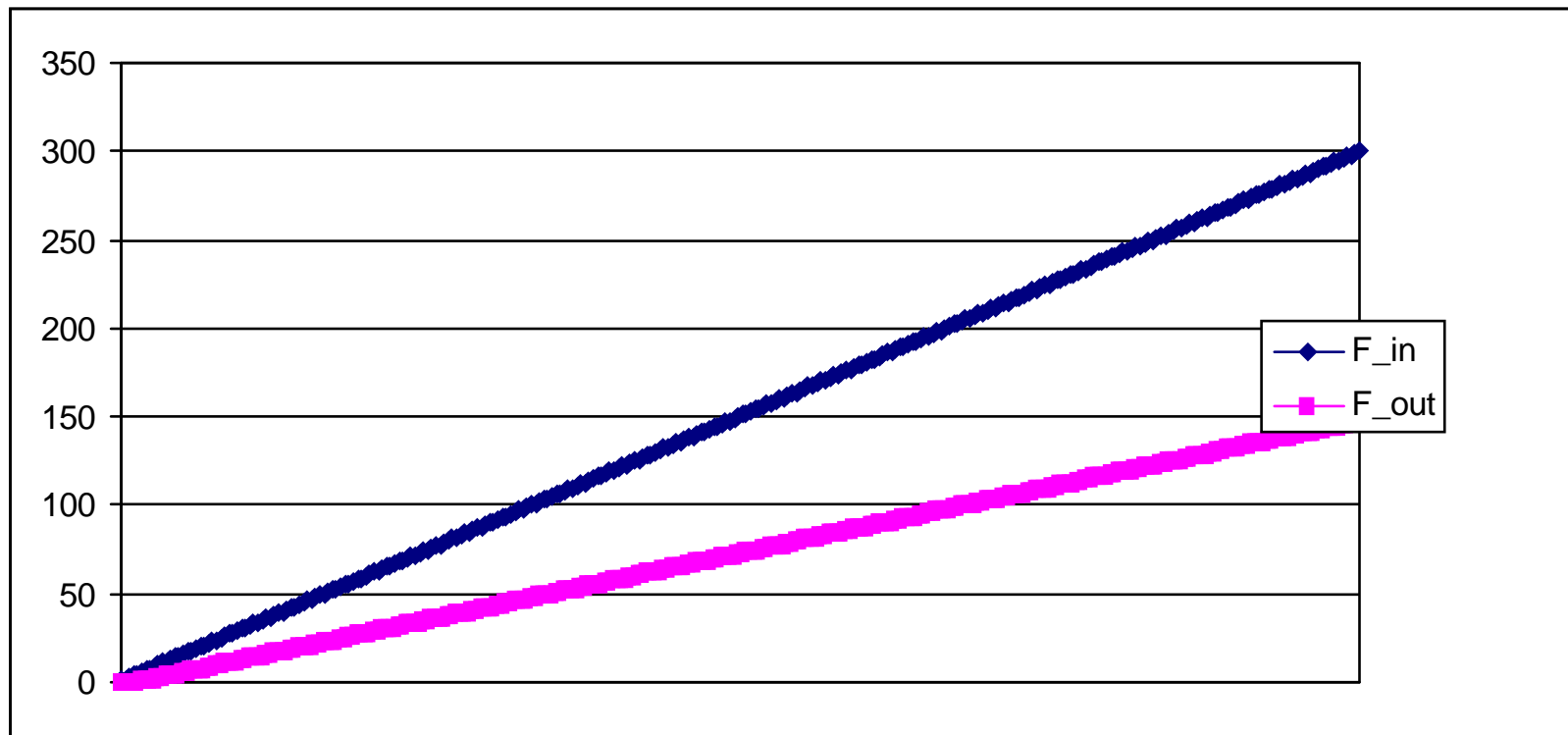
# Diagramma di input/output



# Diagramma di input/output



# Diagramma di input/output





# Costruzione del diagramma in una situazione reale

**Raccolta dati** mediante registro dei dati feedback di produzione

<b>Numero d'ordine</b>	<b>Contenuto di lavoro TO [ore/ordine]</b>	<b>Data input [giorno a calendario]</b>	<b>Data output [giorno a calendario]</b>
1	20	98	100
2	21	94	102
3	19	101	103
4	23	101	105
5	11	102	106
...	...	...	...



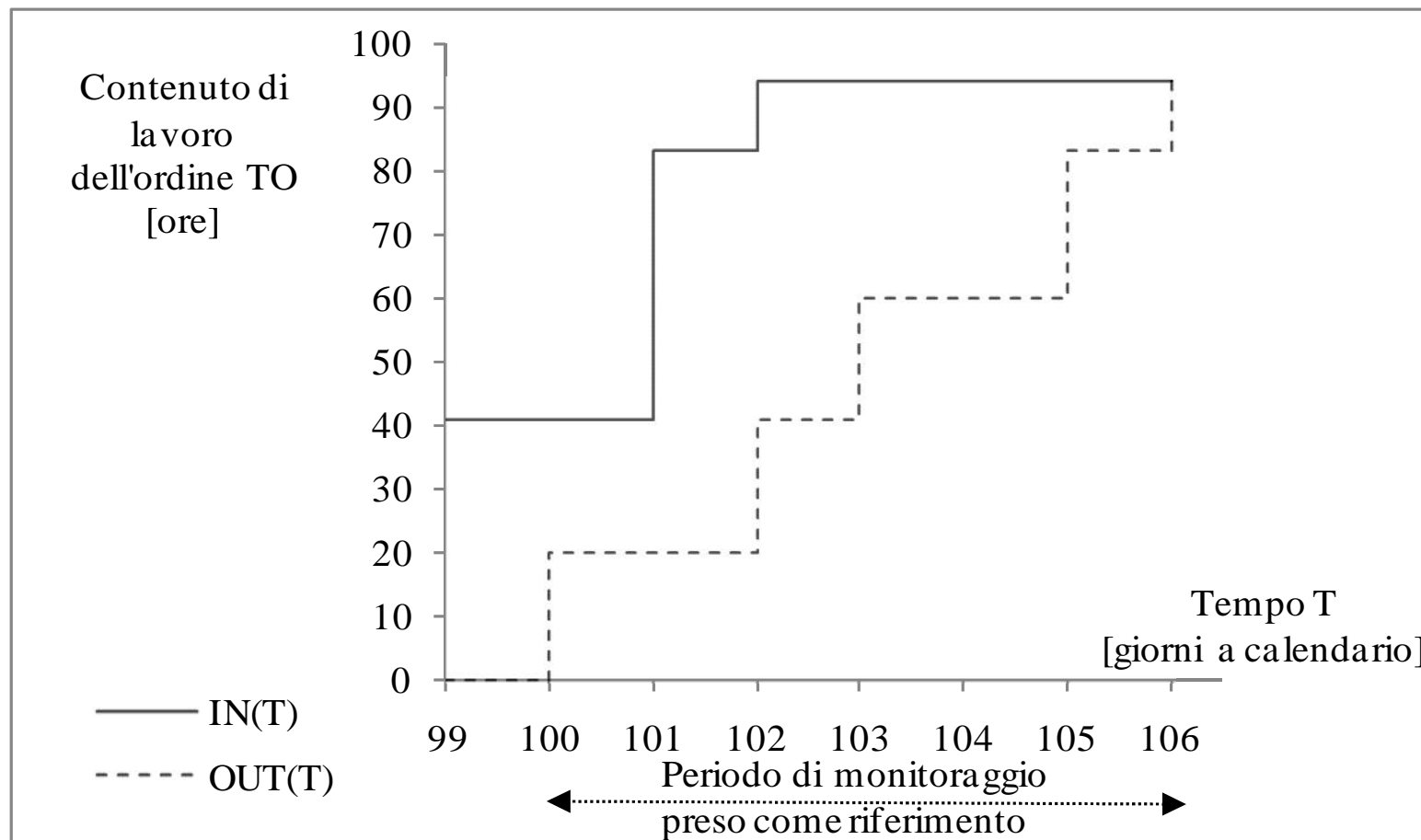
# Contenuto di lavoro degli ordini

- Per contenuto di lavoro di un ordine (TO) si intende la somma del tempo di set up e del tempo di lavorazione (o tempo di processamento) delle parti che compongono un lotto

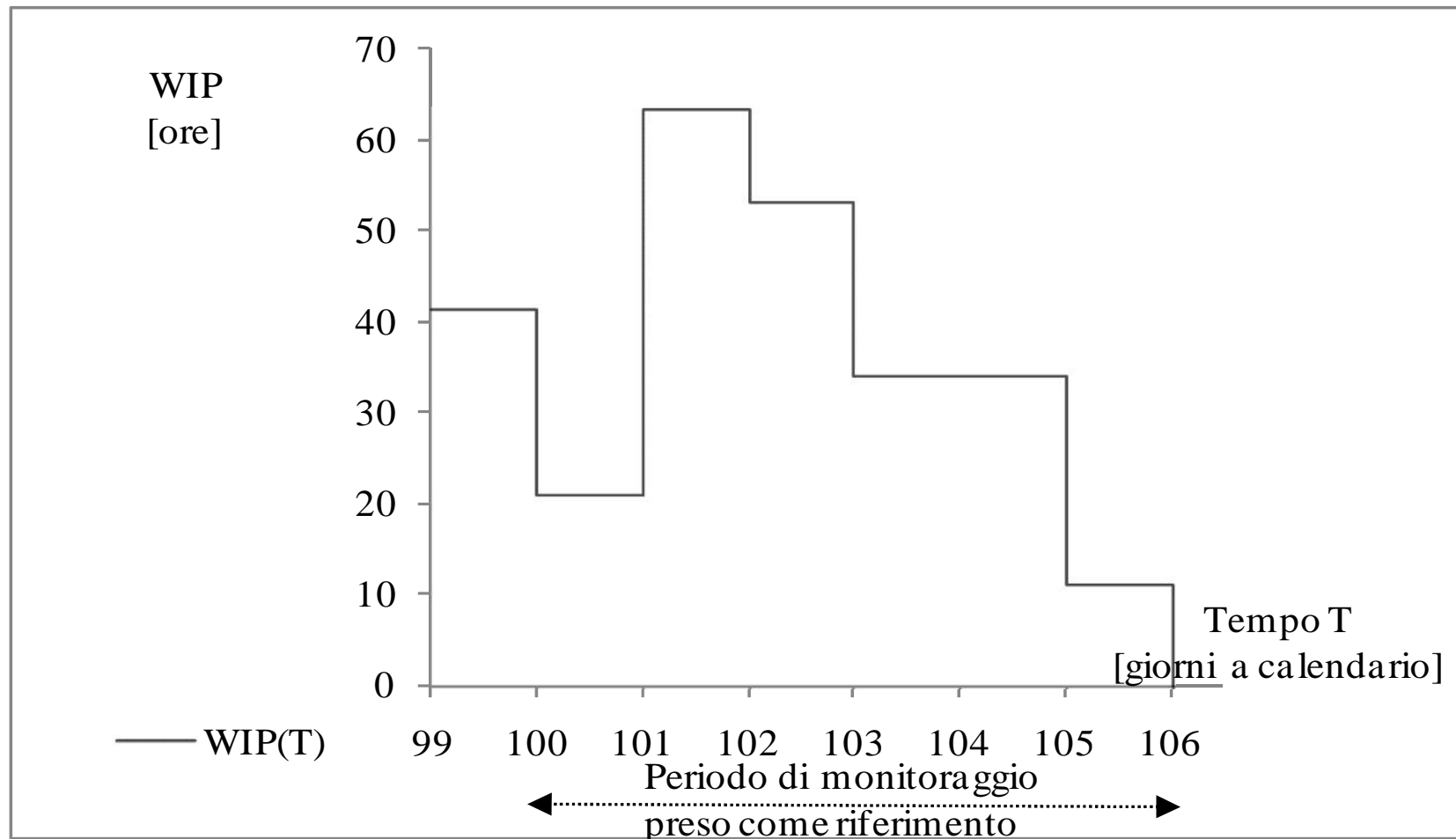
$$TO = \frac{TS + LS \times TP}{60}$$

- Dove
  - TO contenuto di lavoro dell'ordine [ore / ordine]
  - TS tempo (standard) di set up [min / ordine]
  - LS dimensione (standard) del lotto [# parti / ordine]
  - TP tempo (standard) di lavorazione di un singolo pezzo [min / parte]

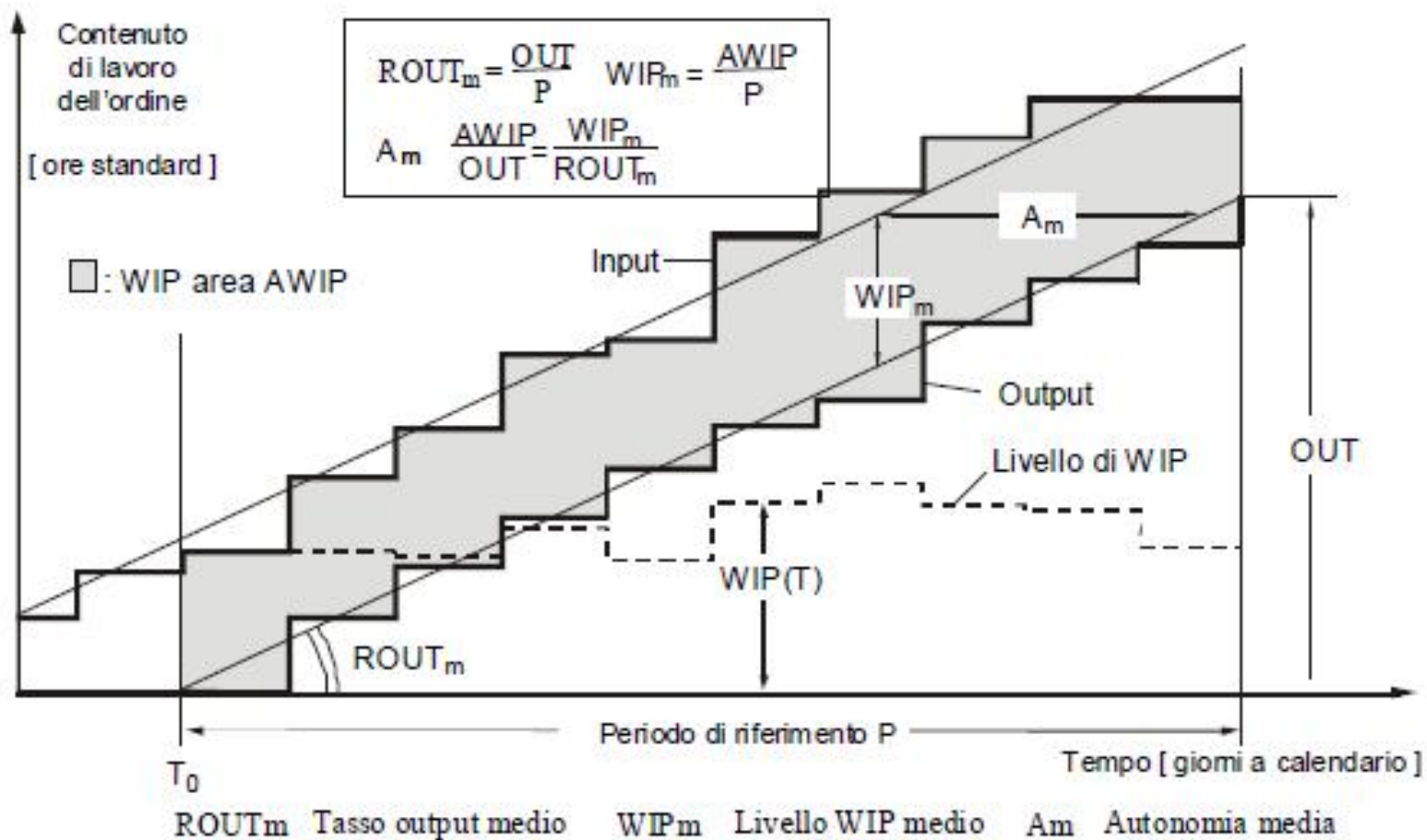
# Curve di input/output



# Curva del livello di WIP



# Indicatori di prestazione







# Indicatori di prestazione

- Distanza verticale

$$WIP(T) = IN(T) - OUT(T)$$

- WIP(T) Livello di WIP all'istante di tempo T
- IN(T) Cumulata dei contenuti di lavoro degli ordini arrivati all'area entro l'istante di tempo T
- OUT(T) Cumulata dei contenuti di lavoro degli ordini completati dall'area entro l'istante di tempo T

# Indicatori di prestazione

- Distanza verticale “media”

$$WIP_m = \frac{\int_{T_0}^{T_1} IN(T) \times dt - \int_{T_0}^{T_1} OUT(T) \times dt}{T_1 - T_0}$$

- WIPm      livello medio di WIP [ore]
- T0          inizio del periodo di monitoraggio [giorni a calendario o SCD – Stock Calendar Days]
- T1          fine del periodo di monitoraggio [SCD]



# Indicatori di prestazione

- Pendenza “media” della curva di Output (ROUTm)
  - ROUTm    tasso medio di output [SCD]
  - TOj       contenuto di lavoro del j-esimo ordine [ore/ordine]
  - nout      numero di ordini completati nel periodo di monitoraggio
  - P         lunghezza del periodo di monitoraggio [SCD]

$$ROUT_m = \frac{\sum_{j=1}^{n_{out}} TO_j}{P}$$

- Il tasso RINm è definito in maniera del tutto analoga, pur di considerare il numero di ordini nin arrivati nel periodo di monitoraggio



# Indicatori di prestazione

- Più è elevato  $RIN_m$ , maggiore è il numero di ore richieste, come impegno di capacità produttiva, dagli ordini giunti nel periodo di monitoraggio preso come riferimento
- Più è elevato  $ROUT_m$ , maggiore è la capacità disponibile per produrre gli ordini giunti nel periodo di monitoraggio
- Un sistema stabile sarà caratterizzato da un  $ROUT_m \cong RIN_m$



# Indicatori di prestazione

- Distanza orizzontale “media”

- L'autonomia operativa  $A_m$  è una misura del tempo che deve trascorrere (a calendario) se non arrivano altri ordini di produzione prima che la stazione in esame si svuoti

$$A_m = \frac{WIP_m}{ROUT_m}$$

- $A_m$  autonomia operativa media [SCD]
  - $WIP_m$  livello medio di WIP [ore]
  - $ROUT_m$  tasso medio di output [ore / SCD]



# Indicatori di prestazione

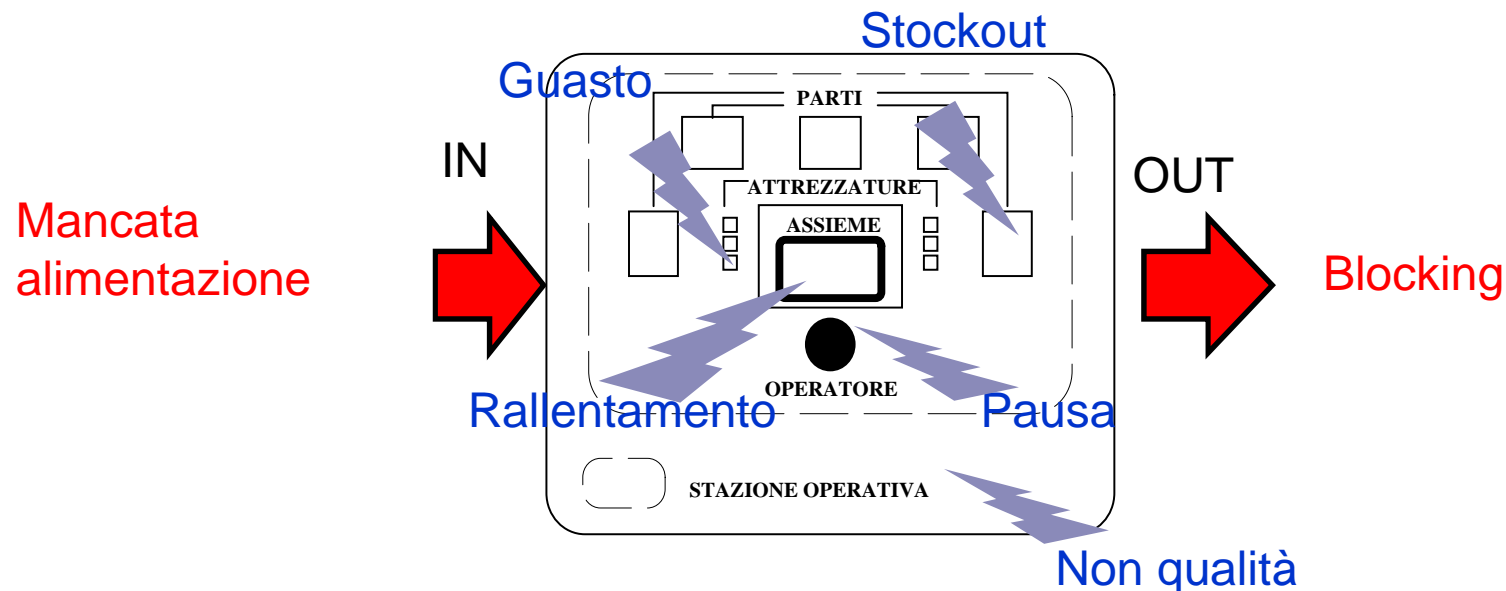
- L'utilizzazione media della capacità produttiva misura quanta capacità produttiva massima disponibile (cioè il ROUTmax) si è effettivamente in grado di utilizzare (ROUTm)

$$UT_m = \frac{ROUT_m}{ROUT_{\max}} \times 100$$

- ☐ UTm      Utilizzazione media
- ☐ ROUTmax = Capacità produttiva massima nominalmente disponibile (standard) in una stazione
- UTm è la misura percentuale delle inefficienze (perdite) dovute sia a cause interne che esterne all'area
- 1-UTm è detto “perdita media” dell'area in esame

# Utilizzo del diagramma

- L'analisi dei dati di feedback di produzione mediante diagramma di throughput aiuta ad evidenziare l'esistenza di perdite di capacità produttiva
- Le perdite possono essere dovute a:
  - **Cause "interne"** alla stazione, localizzate nelle risorse interne alla stazione
  - **Cause "esterne"** alla stazione, localizzate in risorse che operano nel flusso produttivo come fornitori o clienti della stazione in esame



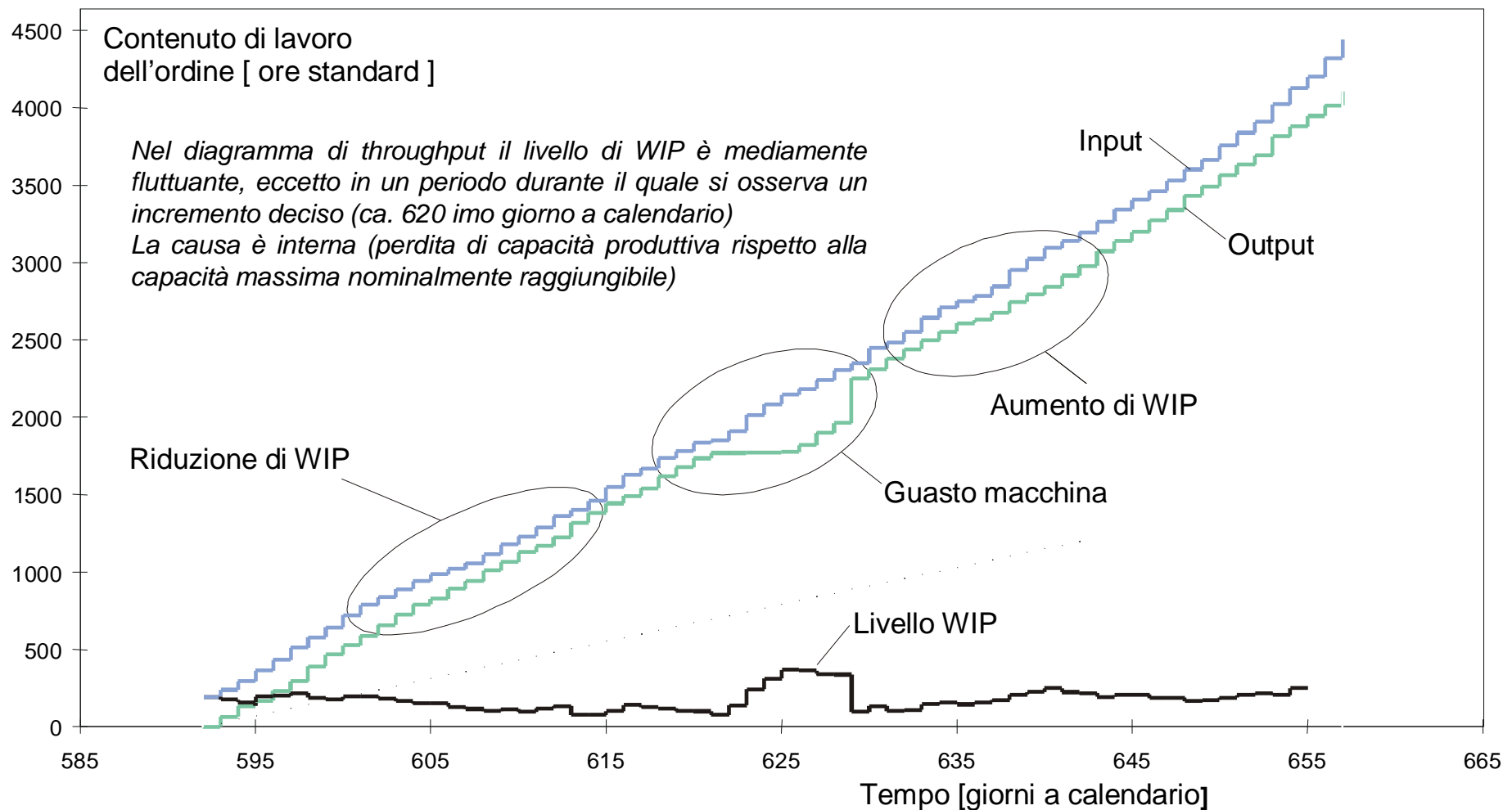


# Utilizzo del diagramma

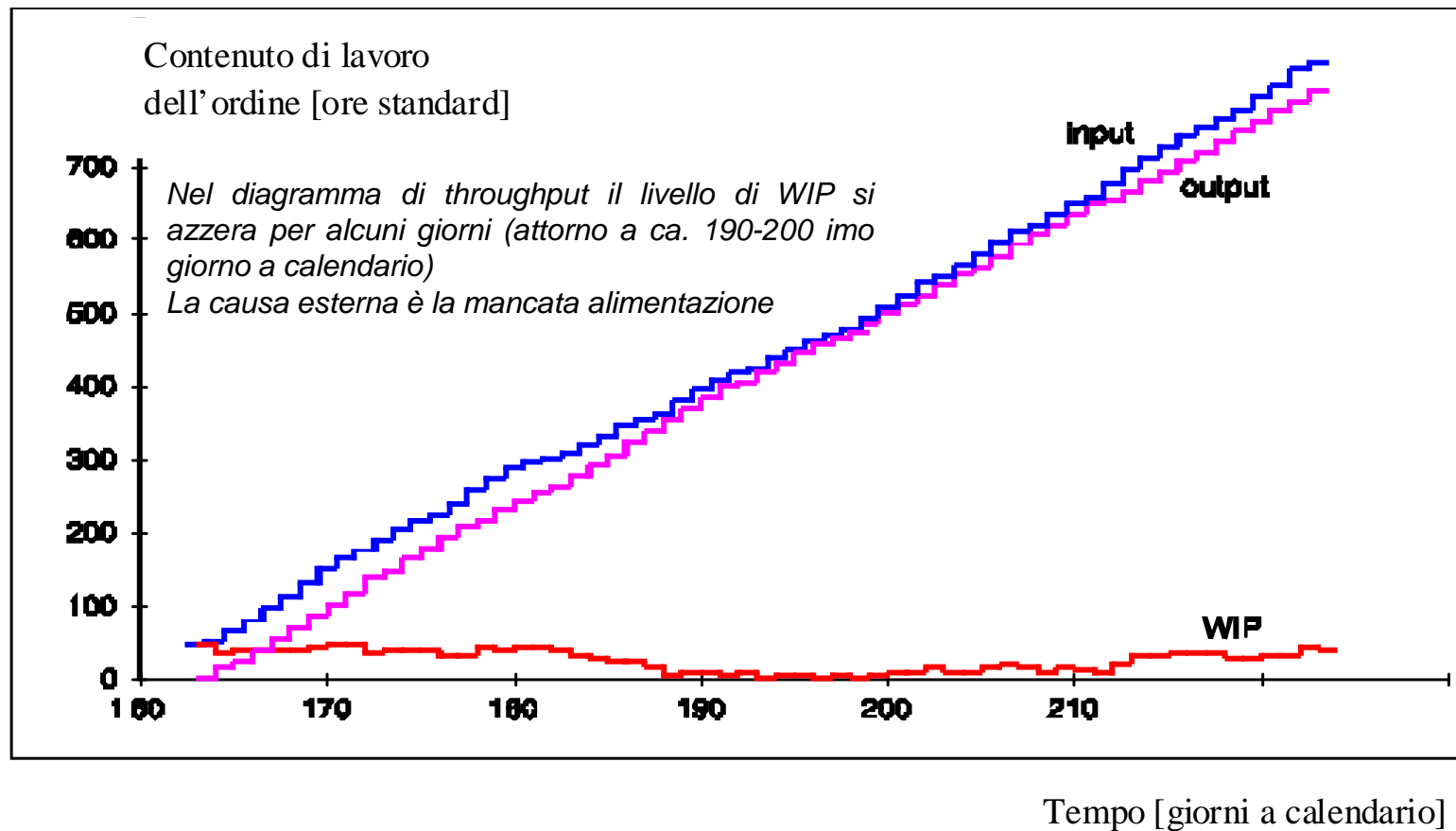
- Le perdite sono caratterizzate da
  - **Cause:** Fenomeni che occorrono all'interno dell'area / stazione (es. guasti, piccole fermate, indisponibilità di operatori)
  - **Sintomi:** La riduzione del tasso di output medio  $ROUTm$  registrata senza evidenti riduzioni del tasso di input medio  $RINm$
- Le perdite “interne” possono dipendere dalle prestazioni di processi di supporto “esterni”
  - Perché la fornitura di materiali è insufficiente, i.e. mancata alimentazione
    - Sintomo: riduzione del tasso di input  $RINm$
  - Perché il reparto a valle non consuma in maniera adeguata il materiale prodotto da quello a monte e si raggiunge l'accumulo massimo possibile nel magazzino interoperazionale (situazione detta di blocking)
    - Sintomo: riduzione del tasso di output  $ROUTm$



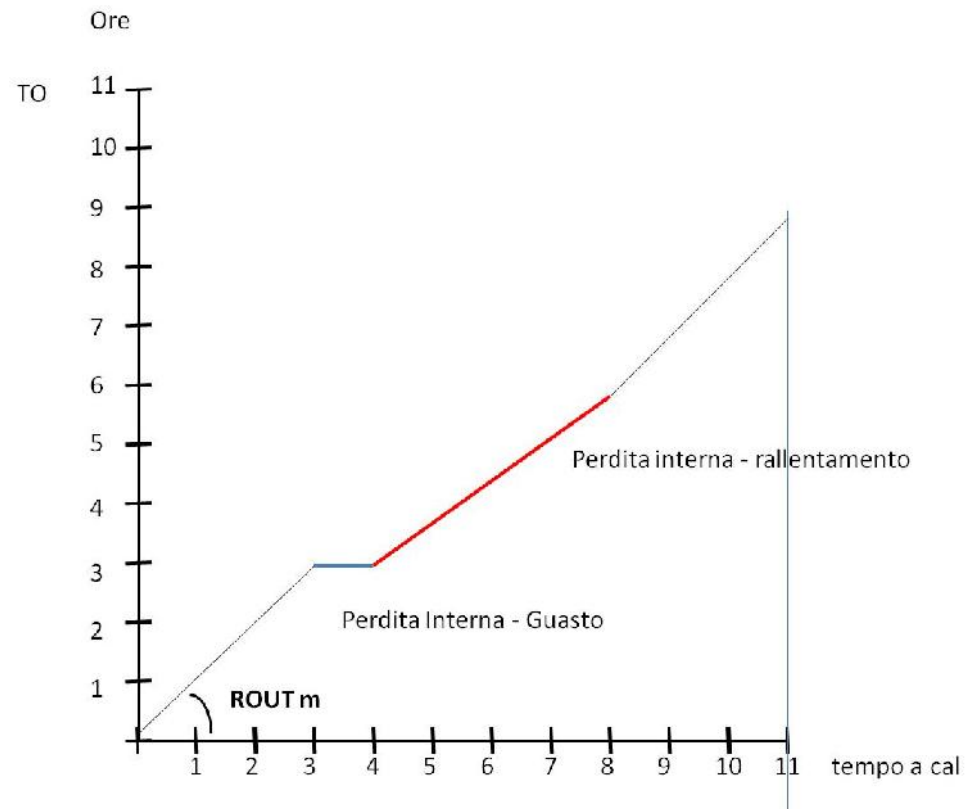
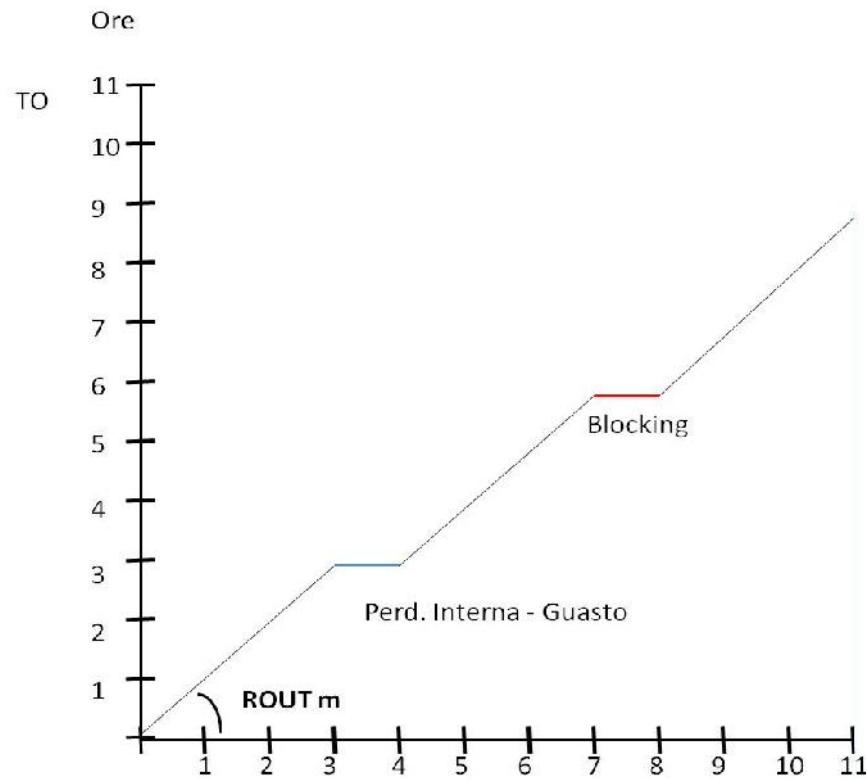
# Utilizzo del diagramma



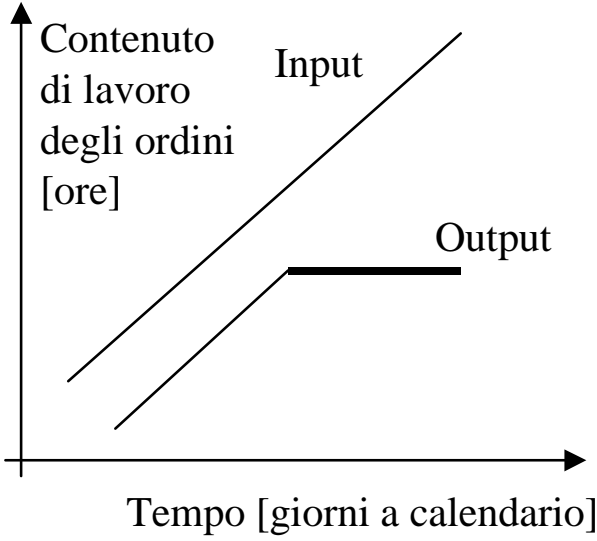
# Utilizzo del diagramma



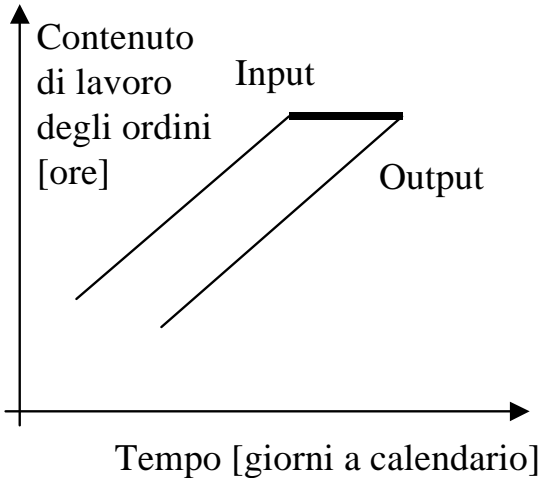
# Utilizzo del diagramma



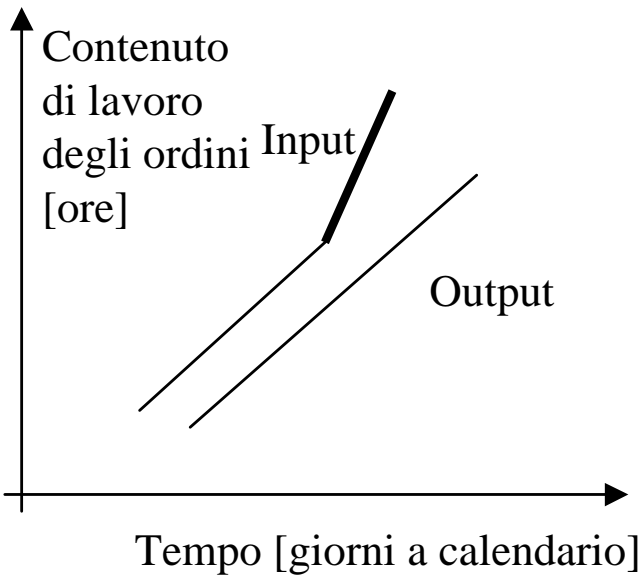
# Utilizzo del diagramma

<b>Dinamica delle curve input / output</b>	<b>Cause di variazione nella dinamica del processo</b>
 <p>Contenuto di lavoro degli ordini [ore]</p> <p>Input</p> <p>Output</p> <p>Tempo [giorni a calendario]</p>	<p>Perdite interne all'area in esame (es. guasti, attesa di risorse ausiliarie, ecc.) o esterne (caso di blocking delle risorse produttive)</p>

# Utilizzo del diagramma

<b>Dinamica delle curve input / output</b>	<b>Cause di variazione nella dinamica del processo</b>
	<p>Perdite esterne in aree a monte, che portano ad una mancata alimentazione dei materiali all'area in esame</p>

# Utilizzo del diagramma

<b>Dinamica delle curve input / output</b>	<b>Cause di variazione nella dinamica del processo</b>
 <p>Contenuto di lavoro degli ordini [ore]</p> <p>Input</p> <p>Output</p> <p>Tempo [giorni a calendario]</p>	<p>Incapacità di adeguare la capacità disponibile nell'area in esame con la capacità richiesta: il tasso di carico degli ordini in input aumenta, non è, però, possibile un aumento corrispondente del tasso di output, dato che è completamente utilizzata la capacità produttiva disponibile</p>