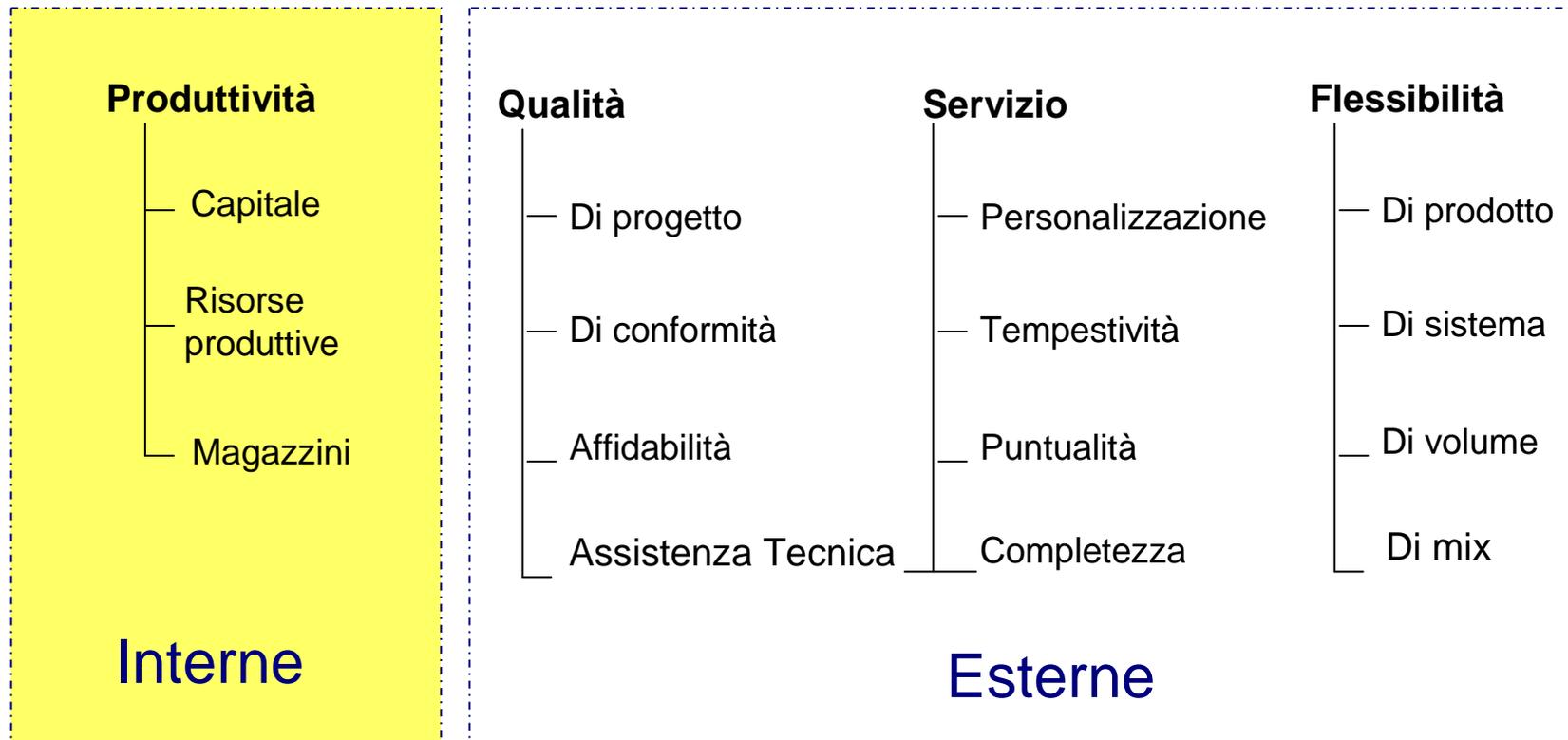




# Le prestazioni interne – Stati di un sistema produttivo

# Il quadro delle prestazioni





# Produttività

- Le misure di produttività sono, in genere, espresse da indicatori di efficienza, del tipo

$$P = \text{Output} / \text{Input}$$

- Tali misure possono essere rilevate con riferimento a macchine singole o insiemi di macchine, a stadi del processo produttivo o al sistema produttivo nel suo complesso



# Produttività Globale

- La Produttività Globale si può quindi esprimere come

$$P = \frac{Q_0}{K + L + M}$$

- $Q_0$  rappresenta l'output del sistema operativo, espresso in unità monetarie;  $K$  è il costo del capitale;  $L$  è il costo del lavoro;  $M$  è il costo dei materiali

- Produttività dei singoli fattori

$$P_K = \frac{Q_0}{K} \quad P_M = \frac{Q_0}{M} \quad P_L = \frac{Q_0}{L}$$

- Tali indicatori monetari sono costruiti su dati di bilancio ed hanno un valore diagnostico assai ridotto



# Le misure di produttività

- di Utilizzo

- Lordo
- netto

- di Resa

- Di velocità
- Quantitativa
- Qualitativa (conformità)



# *Overall Equipment Effectiveness*

- OEE è uno pannello di controllo per monitorare il processo di miglioramento di un sistema produttivo
- Si tratta di un indice delle *performance* operative totali di un componente
- Punta al bisogno di:
  - Eliminare le fermate
  - Aumentare la produttività
  - Migliorare la qualità (minori scarti, rilavorazioni, ecc..)
- È un indice che misura l'efficacia produttiva della macchina nel tempo programmato
- Non misura invece la capacità di utilizzare tutta la potenzialità teorica, essendo infatti esclusi i tempi non programmati, cioè i tempi in cui la macchina non è pianificata per produrre
- Serve quindi:
  - A misurare l'efficacia della macchina (linea, risorsa produttiva)
  - A identificare e quantificare le perdite della macchina

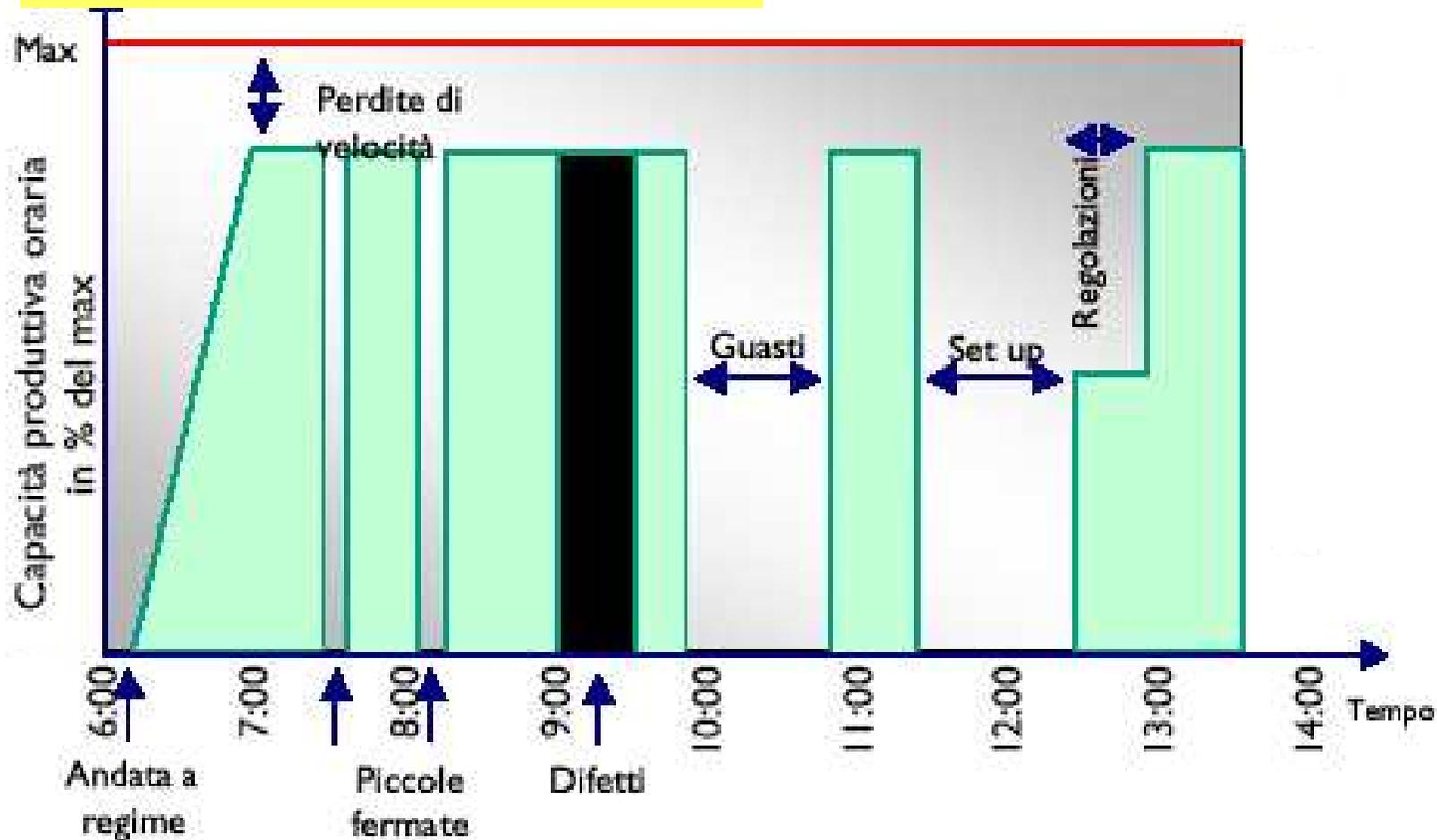
# OEE



Produzione buona effettiva

Produzione teoricamente realizzabile

$$\text{OEE} = \text{Area verde} / \text{Area totale}$$





# *Overall Equipment Effectiveness*

Si calcola moltiplicando gli indici di disponibilità, produttività e qualità della produzione

Indice di disponibilità, A: è dato dal rapporto tra il tempo realmente utilizzato per la produzione e il tempo pianificato per la produzione (vale a dire: (ore disponibili – interruzioni programmate – tempo di fermo)/((ore disponibili – interruzioni programmate)

Indice di produttività, P: è dato dal rapporto la produttività effettiva e la produttività ideale (vale a dire: (volume prodotto/tempo realmente utilizzato per la produzione)/produttività ideale)

Indice di qualità, Q: è dato dal rapporto tra produzione buona e produzione totale (p.e.: numero di pezzi buoni su numero di pezzi prodotti)

$$OEE = A * P * Q$$

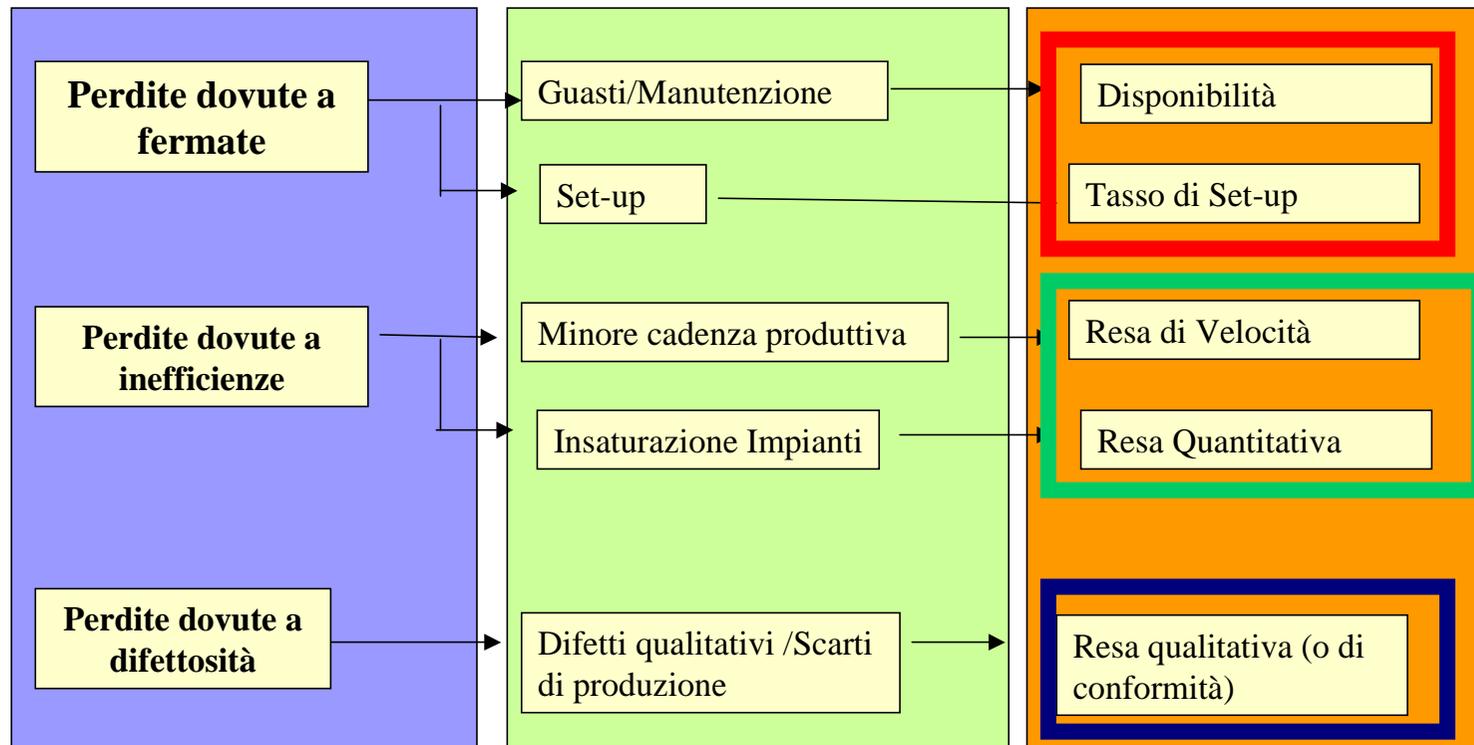
# OEE

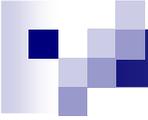
Disponibilità totale del sistema

Qualità totale del sistema

■  $OEE = A * P * Q$

Efficienza totale del sistema





# *Overall Equipment Effectiveness*

Esempio numerico:

Tempo pianificato per la produzione (tpp) = ore disponibili – interruzioni programmate = 16 – 2 = 14

Tempo realmente utilizzato per la produzione (tup) = tpp – tempo di fermo = 14 – 1 = 13

$A = \text{tup}/\text{tpp} = 13/14 = 0,928 = 92,8\%$

Volume prodotto (vp) = pezzi prodotti = 15000 pezzi

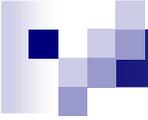
Produttività ideale (pi) = pezzi per ora = 1200 pezzi per ora

$P = (\text{vp}/\text{tup})/\text{pi} = (15000/13)/1200 = 0,961 = 96,1\%$

Pezzi buoni (pb) = vp – pezzi difettosi = 15000 – 500 = 14500

$Q = \text{pb}/\text{vp} = 14500/15000 = 0,967 = 96,7\%$

$\text{OEE} = A * P * Q = 0,928 * 0,961 * 0,967 = 0,862 = 86,2\%$



# *Overall Equipment Effectiveness*

<b>Indice OEE</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
Disponibilità: A	90%	99%
Produttività: P	95%	95%
Qualità: Q	99%	96%
OEE	88,64%	89,32%

Discussione:

L'OEE del secondo caso è migliore di quello del primo caso.

Domanda:

È tollerabile accettare una perdita di tre punti dell'indice Q a fronte di un guadagno di 9 punti dell'indice A?



# Affidabilità

## ■ Affidabilità R

- Considera la probabilità che il sistema si guasti:
  - Si esprime in relazione a una grandezza di riferimento (tempo, numero di chilometri, numero di cicli,...).

Per esempio: Affidabilità di un componente a 10000 ore del 97%,  $R(10000h) = 97\%$  significa che il componente ha il 97% di probabilità di non guastarsi entro le 10000 ore di funzionamento ovvero, su 100 componenti dello stesso tipo 3 si guastano entro le 10000 ore di funzionamento



# Affidabilità

## ■ Affidabilità R

- Si stabilisce sulla base di esperimenti o di comportamenti storici
- Occorre definire chiaramente gli stati di guasto e funzionante
- Può essere condizionata dall'ambiente
- Condiziona la disponibilità



# Disponibilità

## ■ Disponibilità A

- Considera fermate impianto dovute a:
  - Guasti macchina
  - Interventi manutentivi (dipendenti dalla politica di manutenzione adottata)
  - Scarti e difettosità di produzione a seguito di malfunzionamenti dell'impianto

$$A = \frac{UT}{UT + DT}$$

UT: Up time DT: Down time



# Disponibilità

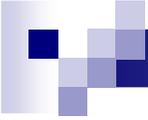
## ■ Disponibilità A

- L'espressione precedente sintetizza, in pratica, quanto un sistema si è reso disponibile nel tempo di riferimento. Tuttavia, la disponibilità di un sistema può essere valutata a priori espressa con riferimento alle grandezze statistiche tipiche della manutenzione

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

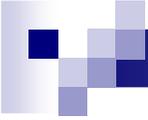
ovvero

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$



# Disponibilità e manutenzione

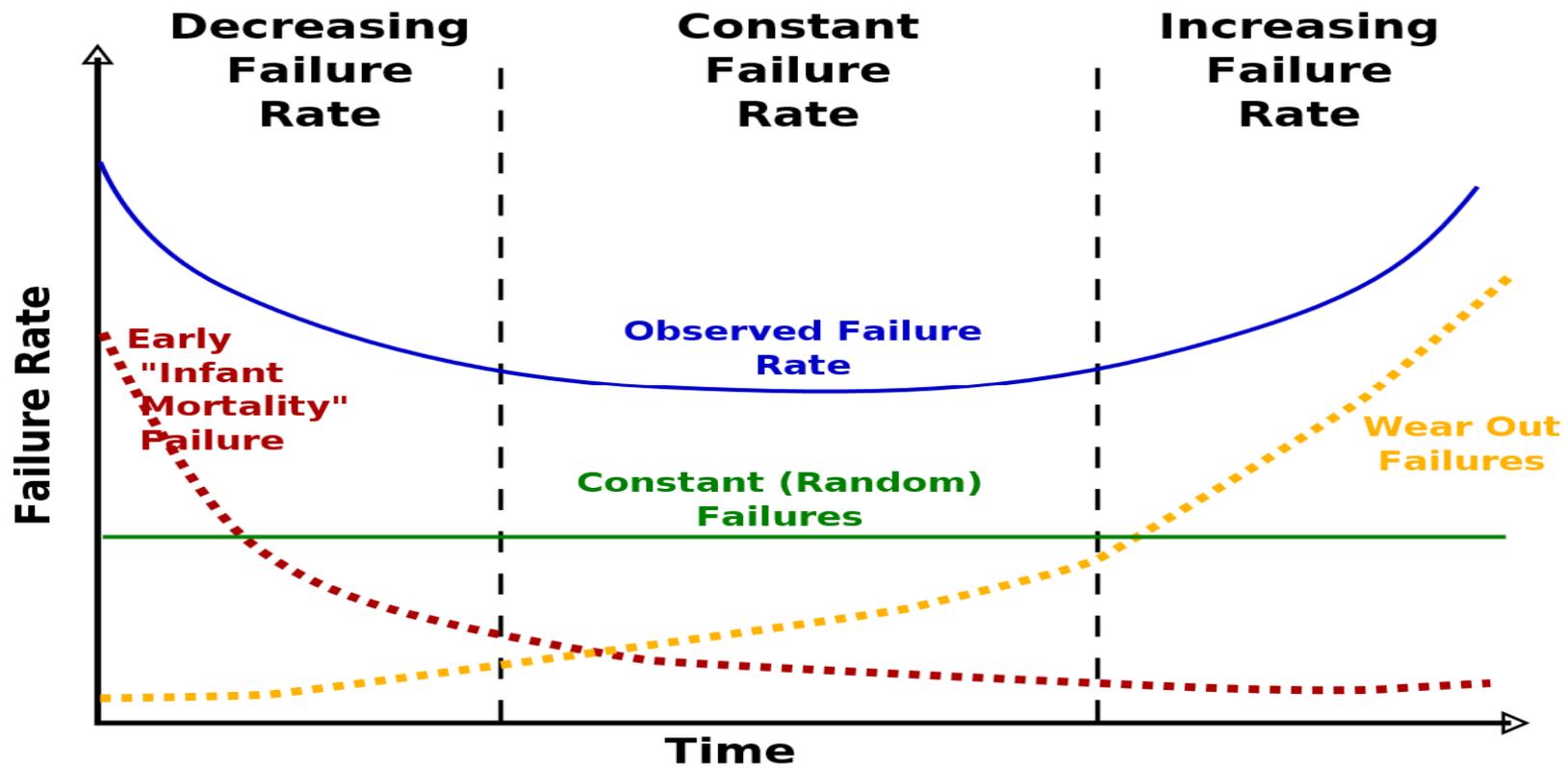
- **MTBF:** *mean time between failures*, tempo medio di funzionamento (regolare) tra due guasti successivi cui si ovvia con una riparazione
- **MTTF:** *mean time to failures*, tempo medio di funzionamento (regolare) fino al guasto cui si ovvia con una sostituzione
- **MTTR:** *mean time to repair*, tempo medio tecnico di intervento di manutenzione
- **MTBO:** *mean time between overhauls*, tempo medio tecnico tra due revisioni generali



# Manutenzione (politiche)

- **Correttiva o a guasto:** si interviene solo al manifestarsi del guasto
- **Preventiva:** si interviene a intervalli programmati compiendo tutte le operazioni programmate
- **Su condizione:** si interviene a intervalli programmati compiendo le operazioni solo se ritenuto necessario
- **Predittiva:** il sistema è monitorato. Si interviene solo se è segnalata un guasto imminente
- **Migliorativa (produttiva):** normalmente svolta cogliendo l'occasione di soste programmate per aggiornare le caratteristiche tecniche del sistema

# Manutenzione





# Manutenzione

Il diagramma della *slide* precedente è noto come **diagramma a vasca da bagno**. Rappresenta praticamente il comportamento di qualsiasi sistema.

Dato il suo andamento, in linea di massima, nel tempo del suo primo tratto (tasso di guasto decrescente) si dovrebbe intervenire solo a guasto.

Per il secondo tratto (tasso di guasto costante), con politica di manutenzione preventiva.

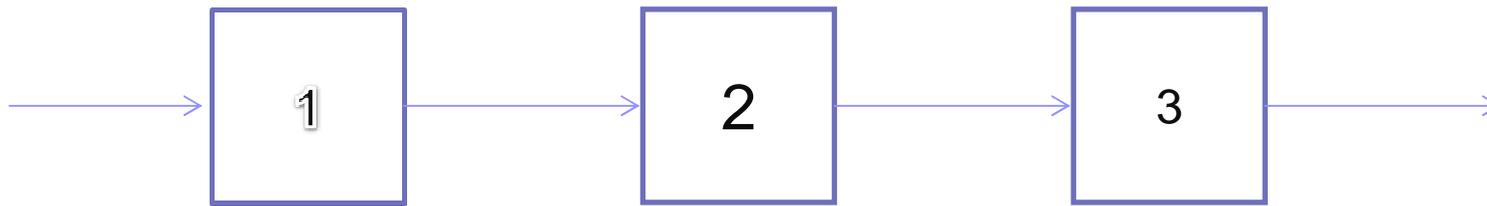
Infine, per il terzo tratto (tasso di guasto crescente) con politica su condizione decidendo di volta in volta, qualora di dovesse presentare la necessità di compiere operazioni, se intervenire o sostituire tutto il sistema.



# Sicurezza al funzionamento

- Collegamenti in serie. Il mancato funzionamento di uno solo degli elementi in serie compromette il funzionamento dell'intero sistema
- Collegamenti in parallelo. Sono presenti nel sistema elementi di *backup* che ne possono garantire il funzionamento anche nel caso di uno o più elementi

# Disponibilità/affidabilità di un sistema con elementi in serie



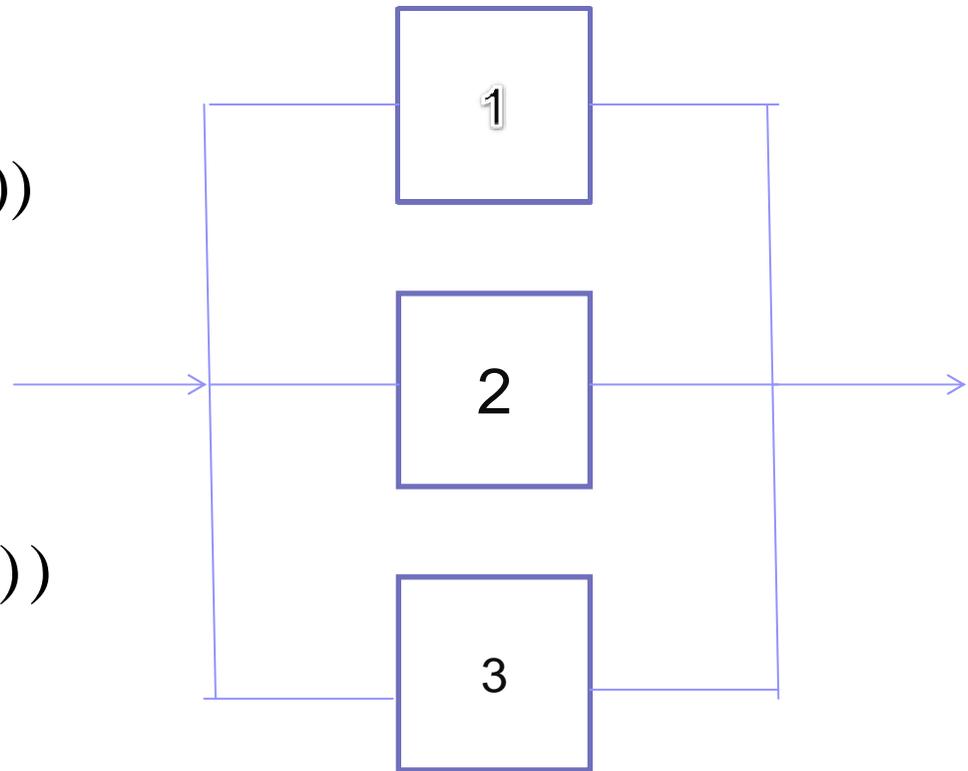
$$A_s = \prod_{i=1}^n A(i)$$

$$R_s = \prod_{i=1}^n R(i)$$

# Disponibilità/affidabilità di un sistema con elementi in parallelo

$$A_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A(i))$$

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R(i))$$





# Disponibilità/affidabilità di sistemi serie/parallelo

La disponibilità/affidabilità di un sistema composta da elementi collegati in serie è inferiore alla disponibilità/affidabilità dell'elemento più disponibile

La disponibilità/affidabilità di un sistema composta da elementi collegati in parallelo è maggiore alla disponibilità/affidabilità dell'elemento più disponibile



# Disponibilità/affidabilità di sistemi serie/parallelo

Un sistema complesso è normalmente un sistema in serie. Può tuttavia essere composto anche con sottoassiemi collegati in parallelo tra loro. Lo scopo è naturalmente quello di creare ridondanze nei punti più critici del sistema per aumentarne la disponibilità/affidabilità complessiva



# Il rinnovo di macchine e impianti

Per decidere riguardo il rinnovo/sostituzione di macchine impianti è utile considerare tre elementi che li caratterizzano nel tempo:

- inadeguatezza**: l'impianto si definisce inadeguato se, a seguito di una variazione costante della domanda, diventa definitivamente sopra o sottodimensionato. È giunto al termine della sua vita **possibile**.

- vetustà**: l'impianto si definisce vetusto quando non è più possibile intervenire efficacemente e convenientemente con la manutenzione. È giunto al termine della sua vita **fisica**.

- obsolescenza**: l'impianto si definisce obsoleto quando la sua sostituzione è imposta dalla crescita tecnologica che offre sul mercato impianti più competitivi. È giunto al termine della sua vita **utile**.



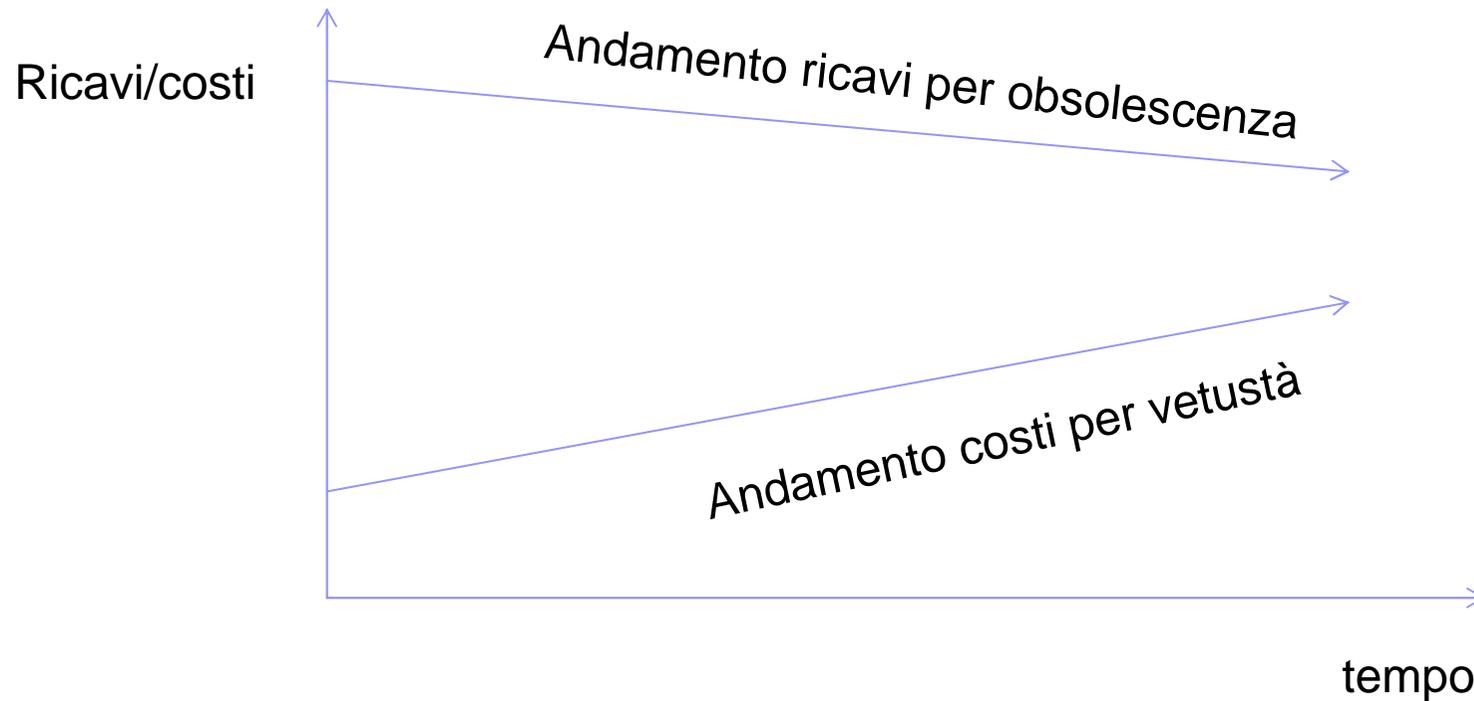
# Il rinnovo di macchine e impianti

Quando l'impianto è inadeguato il problema praticamente non si pone. Occorre prendere decisioni correlate con l'andamento del mercato.

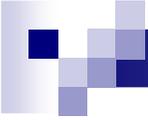
Se invece consideriamo la vetustà nel tempo salgono i costi per mantenere l'impianto in condizioni di funzionamento efficace.

Mentre l'obsolescenza provoca in pratica una riduzione dei ricavi perché costretti dalla concorrenza che può produrre a costi più bassi

# Il rinnovo di macchine e impianti



Andamento di costi e ricavi per vetustà e obsolescenza



# Il rinnovo di macchine e impianti

- Per valutare l'opportunità di alienazione o sostituzione dell'impianto occorre fare un confronto con un impianto alternativo atto alle stesse produzioni
- Per impostare il confronto occorre prendere in considerazione due grandezze associabili a ogni impianto:
  - Il costo totale annuo equivalente (**CTAE**)
  - Il costo tecnico del servizio reso (**CTSR**)



# Il rinnovo di macchine e impianti

## **Costo Tecnico del Servizio**

### **Reso CTSR**

È la somma di tutti i costi di esercizio dell'impianto comprendendo in essi anche i costi delle materie prime e delle manutenzioni. Può essere considerato un indice di invecchiamento dell'impianto e tende ad aumentare nel tempo a parità di volumi di produzione.



# Il rinnovo di macchine e impianti

## **Costo Totale Annuo Equivalente CTAE**

È il costo annuale costante attualizzato da sostenere per tutto il periodo prevedibile di utilizzo di un impianto. Le componenti del CTAE sono il costo di acquisto e i CTSR di tutti gli anni di utilizzo prevedibile. A questi costi può essere tolto quanto recuperato per la sua alienazione al termine del periodo di utilizzo.

# Il rinnovo di macchine e impianti

$$CTAE = \frac{C + \sum_{k=1}^n CTSR_k \cdot \frac{1}{(1+i)^k} - Vr \cdot \frac{1}{(1+i)^n}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}}$$

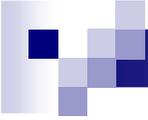
C: valore dell'investimento iniziale

i: tasso di interesse

Vr: valore di recupero

$1/(1+i)^k$ : coefficiente di attualizzazione

n: numero di anni di utilizzo dell'impianto



# Il rinnovo di macchine e impianti

$$Vr = \sum_{k=1}^n (CTAE(B)_k - CTSR(A)_k) \cdot \frac{1}{(1+i)^k}$$

Vr: valore di recupero

B: impianto alternativo

A: impianto in uso

$1/(1+i)^k$ : coefficiente di attualizzazione

n: numero di anni di utilizzo dell'impianto

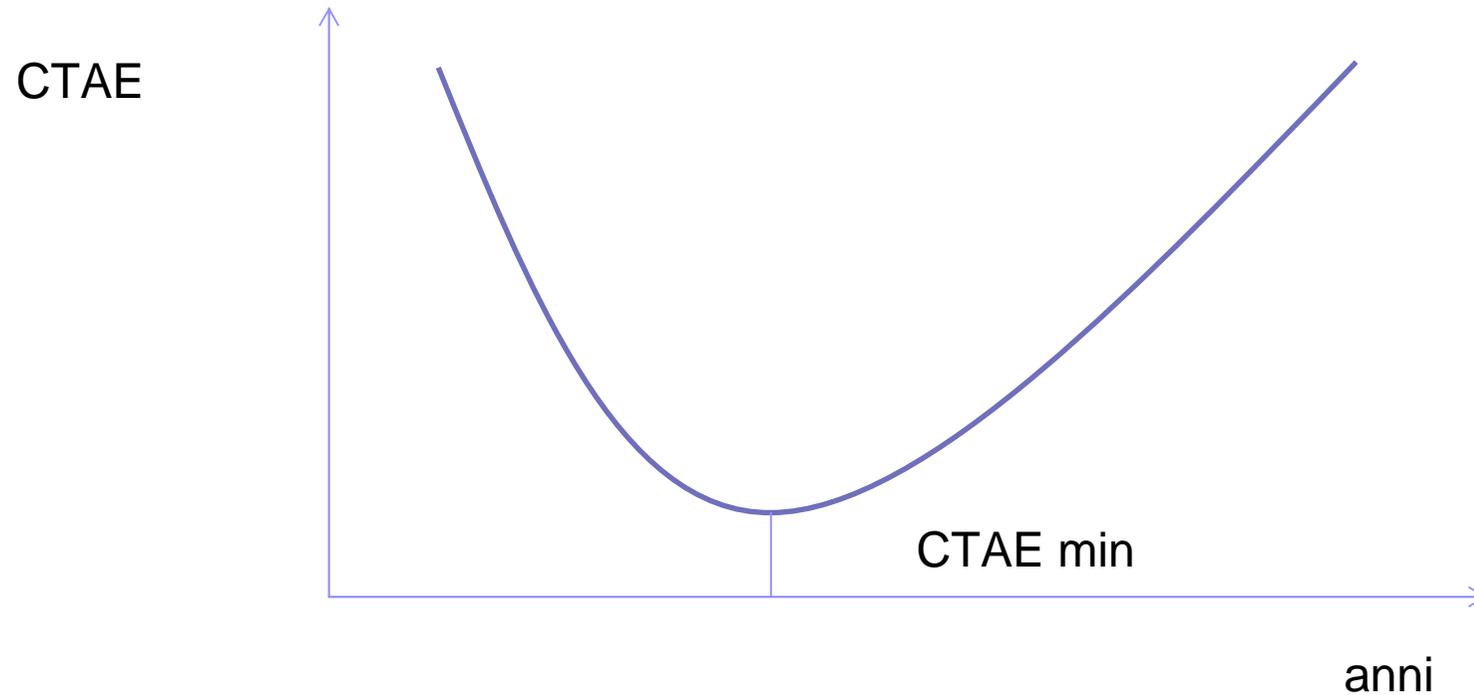


# Il rinnovo di macchine e impianti

## CTAE

Il valore di CTAE varia in funzione del periodo previsto di utilizzo dell'impianto. Tendenzialmente scende per un certo numero di anni, a causa del recupero dell'investimento, per poi risalire a causa della crescita del CTSR. Il numero di anni di impiego corrispondente al CTAE minimo dovrebbe essere quello da tenere in considerazione.

# Il rinnovo di macchine e impianti



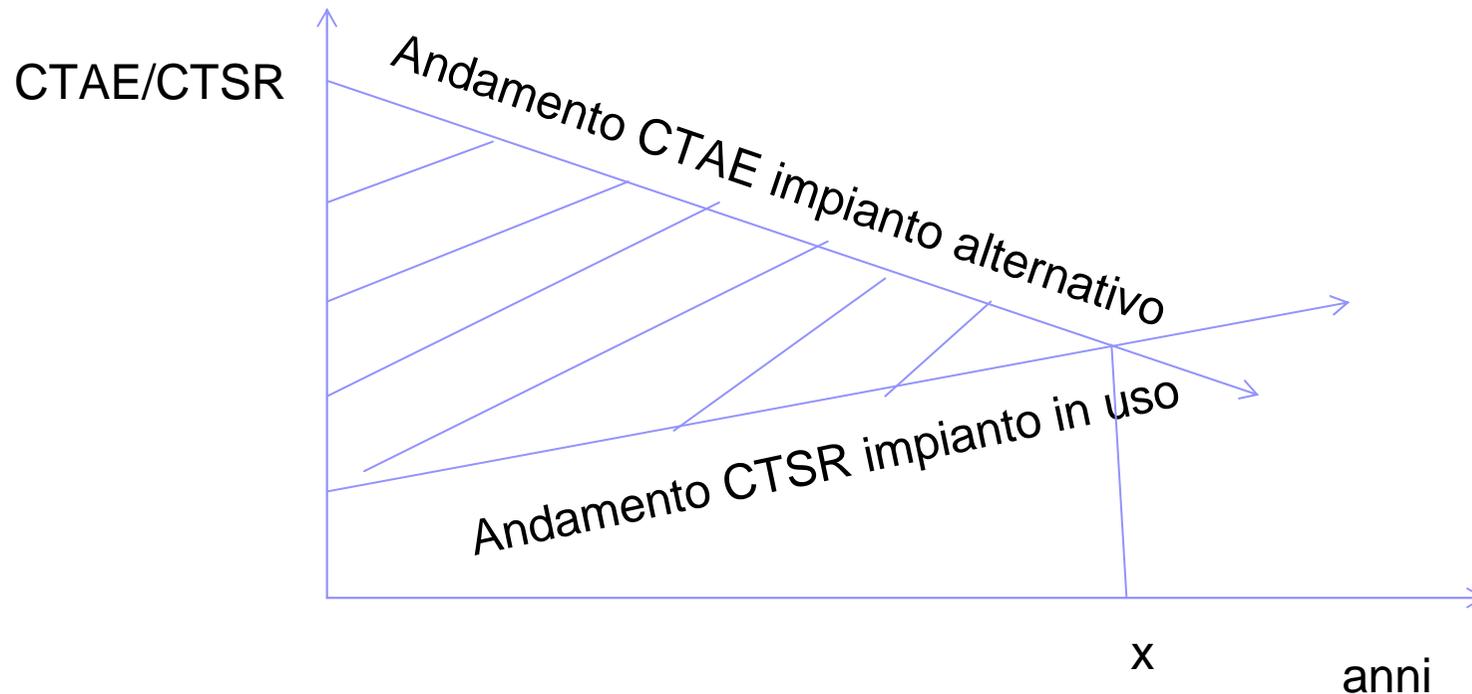
Andamento del CTAE



# Il rinnovo di macchine e impianti

- A questo punto si è nelle condizioni di poter confrontare il CTSR dell'impianto in uso con il CTAE dell'impianto alternativo
- Nell'ipotesi che, col passare degli anni, il primo salga e il secondo cresca, è possibile valutare se e quando potrà essere conveniente sostituire l'impianto

# Il rinnovo di macchine e impianti



Andamento di costi e ricavi per vetustà e obsolescenza  
Nell'anno x diventa conveniente la sostituzione  
L'area tratteggiata è rappresentativa del valore residuo dell'impianto in uso