

Affidabilità e disponibilità di componenti isolati

Lucidi per gli allievi del corso di Gestione della
Produzione Industriale del II° anno

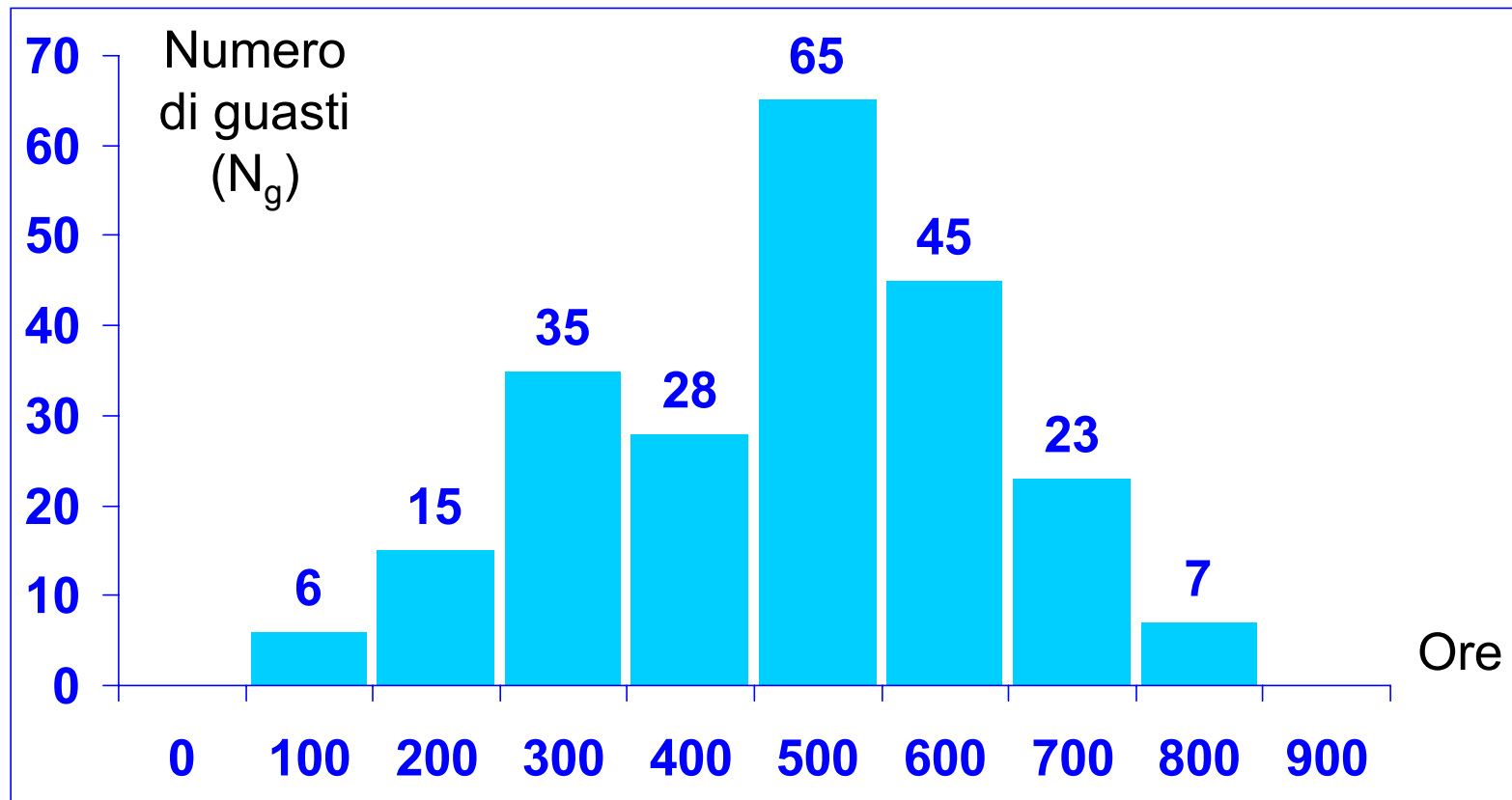
Affidabilità e disponibilità di componenti isolati

- Le principali grandezze affidabilistiche e il loro calcolo
- Il tasso di guasto e il suo andamento nel tempo
- Gli indicatori di affidabilità e manutenibilità
- La disponibilità: significato e misura

Affidabilità

- Per “affidabilità” si intende quella parte della statistica che studia le leggi di guasto di componenti, macchine, sistemi al fine di stimare o ottimizzare:
 - la durata di vita
 - la disponibilità operativa
 - il costo del ciclo di vita

Esempio di istogramma di frequenza dei guasti



Probabilità di guasto (f)

- Probabilità che il componente o sistema si guasti ad un istante prefissato (ora, giorno, ...) a partire dall'istante di inizio servizio ('as good as new')

Età (h)	N_g	f
0-100	0	0,000
100-200	6	0,027
200-300	15	0,067
300-400	35	0,156
400-500	28	0,125
500-600	65	0,290
600-700	45	0,201
700-800	23	0,103
800-900	7	0,031
Totale	224	1,000

Probabilità cumulata di guasto (F)

- Probabilità che il componente o sistema si guasti entro un istante prefissato cioè non sopravviva in funzionamento corretto fino a quell'istante

Età (h)	N _g	f	F
0-100	0	0,000	0,000
100-200	6	0,027	0,027
200-300	15	0,067	0,094
300-400	35	0,156	0,250
400-500	28	0,125	0,375
500-600	65	0,290	0,665
600-700	45	0,201	0,866
700-800	23	0,103	0,969
800-900	7	0,031	1,000
Totale	224	1,000	

Affidabilità (Reliability)

- Probabilità che il componente o sistema funzioni correttamente senza guastarsi:
 - per un periodo di tempo assegnato
 - in predeterminate condizioni ambientali.
- E' il complemento a 1 della probabilità cumulata di guasto:

$$R = 1 - F$$

Età (h)	Ng	f	F	R
0-100	0	0,000	0,000	1,000
100-200	6	0,027	0,027	0,973
200-300	15	0,067	0,094	0,906
300-400	35	0,156	0,250	0,750
400-500	28	0,125	0,375	0,625
500-600	65	0,290	0,665	0,335
600-700	45	0,201	0,866	0,134
700-800	23	0,103	0,969	0,031
800-900	7	0,031	1,000	0,000
Totale	224	1,000		

Tasso di guasto (failure rate λ)

- Probabilità che il componente o sistema, **che abbia funzionato fino ad un istante prefissato**, si guasti nel periodo di tempo (ora, giorno) immediatamente successivo.
- Il tasso di guasto è una misura del rischio immediato di guasto di un componente o sistema che ha già 'vissuto' per un determinato tempo.

Calcolo del tasso di guasto (λ)

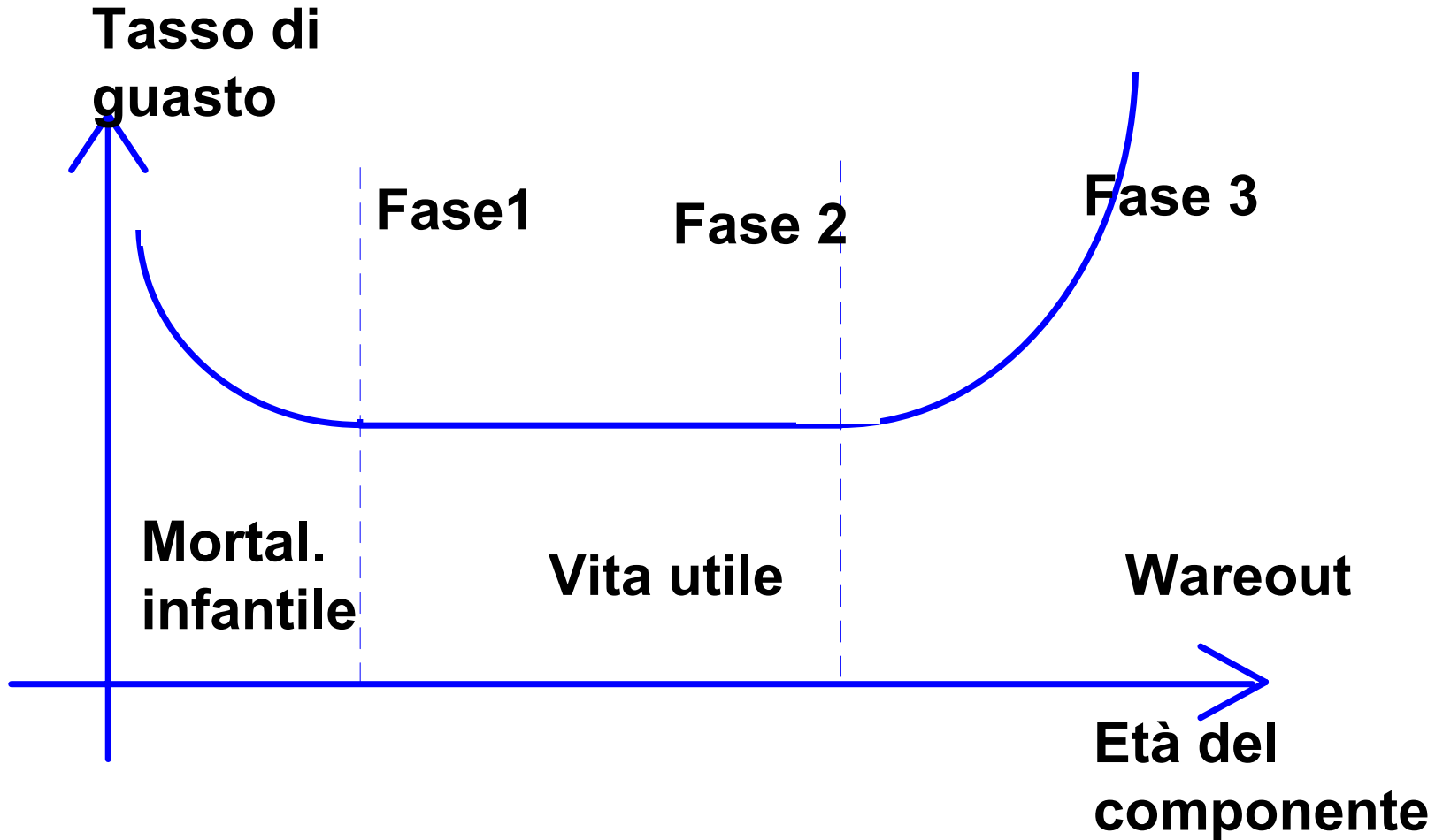
- Il tasso di guasto si calcola come rapporto tra il numero di guasti in un intervallo di tempo e il numero degli individui ancora funzionanti all'inizio del periodo considerato:

$$\lambda (t_1--t_2) = \frac{Ng (t_1, t_2)}{Nt * R} = \frac{F (t_2) - F (t_1)}{R(t_1)}$$

Grandezze affidabilistiche principali e loro calcolo

Età (h)	N_g	f	F	R	λ
0-100	0	0,000	0,000	1,000	0,000
100-200	6	0,027	0,027	0,973	0,027
200-300	15	0,067	0,094	0,906	0,069
300-400	35	0,156	0,250	0,750	0,172
400-500	28	0,125	0,375	0,625	0,167
500-600	65	0,290	0,665	0,335	0,464
600-700	45	0,201	0,866	0,134	0,600
700-800	23	0,103	0,969	0,031	0,767
800-900	7	0,031	1,000	0,000	1,000
Totale	224	1,000			

Andamento del tasso di guasto nel tempo



Indicatori di affidabilità

- Tempo medio di funzionamento tra due guasti successivi: **MTBF** (Mean Time Between Failure)
- Tempo medio di funzionamento tra due interventi successivi di manutenzione: **MTBM** (Mean Time Between Maintenance)
- Tempo medio tecnico di intervento di manutenzione: **MTTR** (Mean Time To Repair)
- Tempo medio totale di fuori servizio, somma del MTTR e dei tempi di preparazione e di attesa (logistici): **MDT** (Mean Down Time)

Disponibilità (Availability)

- Rapporto tra il tempo per cui il componente o sistema può funzionare e il tempo totale per cui è richiesto il servizio:

$$A = \text{UpTime} / (\text{UpTime} + \text{DownTime})$$

- Quando è prevalente il costo del guasto “in sé” (sostituzione di componenti, danni,) è più significativa l'**AFFIDABILITÀ**
- Quando è prevalente il costo “connesso” col guasto (mancata produzione, mancato servizio, ...) è più significativa la **DISPONIBILITÀ**

La disponibilità intrinseca (Inherent Availability)

$$A_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTRg})$$

- dove:
 - MTBF è il tempo medio tra i guasti
 - MTTRg è il tempo medio di manutenzione correttiva

La disponibilità raggiunta (Achieved Availability)

$$AA = MTBM / (MTBM + MTTR)$$

- dove:
 - MTBM è il tempo medio tra gli interventi di manutenzione (correttiva+preventiva)
 - MTTR è il tempo tecnico medio di intervento di manutenzione (correttiva+preventiva) = $MTTR_g + MTTR_p$
 - $MTTR_p$ = tempo tecnico di intervento per manutenzione preventiva

La disponibilità operativa (Operational Availability)

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

- dove:
 - MTBM è il tempo medio tra gli interventi di manutenzione (correttiva+preventiva)
 - MDT è il tempo medio di indisponibilità

Affidabilità e manutenibilità

- Affidabilità (MTBF): Attitudine del sistema a funzionare senza guasti
- Manutenibilità (MTTR): Attitudine del sistema ad essere riportato e mantenuto in condizioni di corretto funzionamento

Esempio numerico

$$\text{MTBF} = 900 \text{ h} \quad \text{MTTR}_g = 20 \text{ h} \quad \text{MTTR}_p = 10 \text{ h}$$

$$\text{MTBM} = 750 \text{ h} \quad N_g = 30 \quad N_p = 70$$

$$\text{Tempo di preparazione} = 7 \text{ h} \quad \text{Tempo logistico} = 5 \text{ h}$$

$$\text{MTTR (medio)} = \frac{20 \times 30 + 10 \times 70}{100} = 13 \text{ h}$$

$$\text{MDT} = 13 + 7 + 5 = 25 \text{ h}$$

Esempio numerico

$$A_i = \frac{900}{900 + 20} = 0,978$$

$$A_a = \frac{750}{750 + 13} = 0,982$$

$$A_o = \frac{750}{750 + 25} = 0,968$$

Affidabilità e disponibilità di sistemi

Lucidi per gli allievi del corso di Gestione della
Produzione Industriale del II° anno

Affidabilità e disponibilità di sistemi

- Classificazione dei sistemi
- Sistemi di tipo serie
- Sistemi parallelo e ridondanti
- Sistemi riparabili

I sistemi affidabilistici

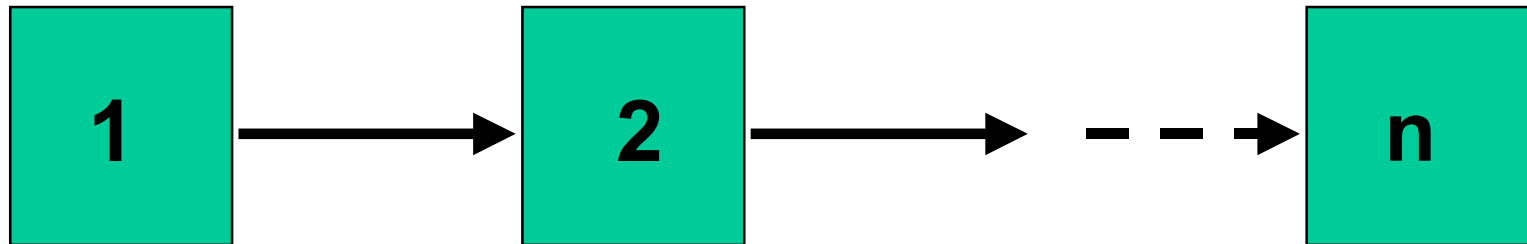
- In generale si dice SISTEMA (affidabilistico) un oggetto composto da altri oggetti.
- La definizione dipende dal grado di aggregazione:
- Es.1: Un tornio è componente di una linea
- Es. 2: Lo stesso tornio può essere visto come un sistema (bancale, slitta, mandrino ecc.)

Classificazione dei sistemi

- In base alla RIDONDANZA, cioè alla presenza di uno o più componenti in grado di sopperire al funzionamento del componente principale in caso di guasto
- In base alla RIPARABILITÀ, cioè alla possibilità che le caratteristiche di un sistema possano essere ripristinate (del tutto o in parte)

I sistemi di tipo serie

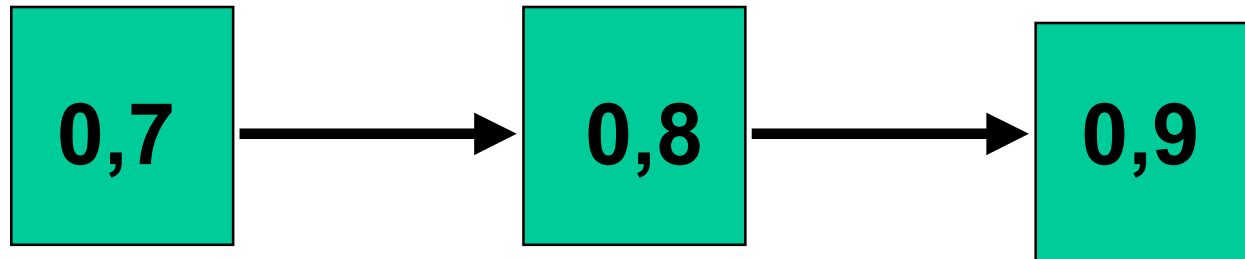
Se un elemento qualsiasi non funziona, l'intero sistema non funziona



$R_{\text{serie}}(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t)$ e, in generale:

$$R_{\text{serie}}(t) = \prod_i R_i(t)$$

Esempio di sistema serie



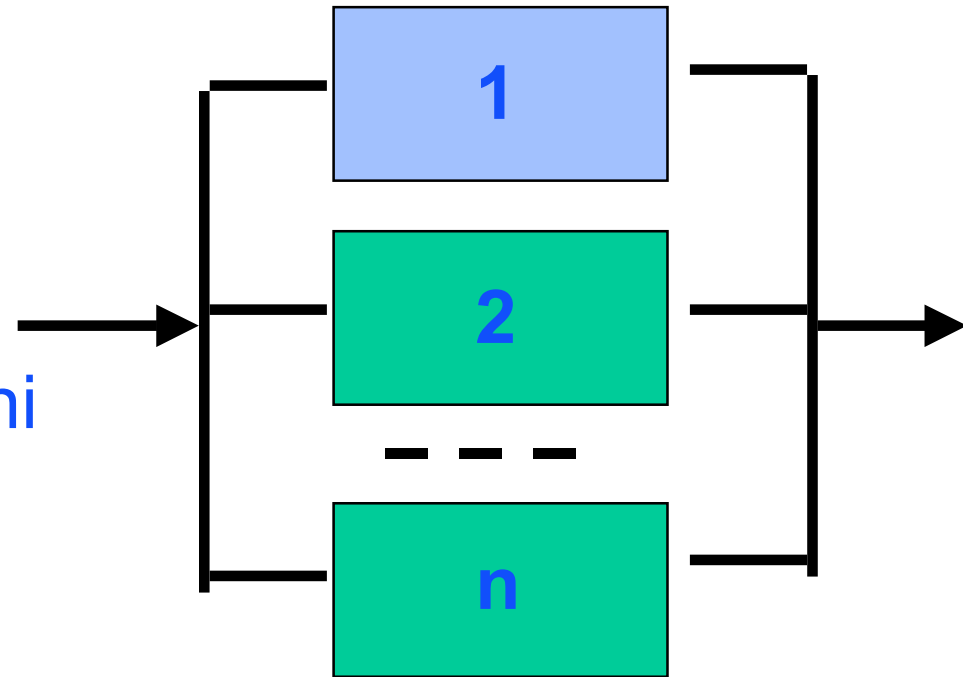
$$R_{\text{serie}}(t) = 0,7 \times 0,8 \times 0,9 = 0,504$$

L'affidabilità di un sistema serie è sempre minore della minima affidabilità dei suoi componenti:

$$0,504 < 0,7 = \min (0,7; 0,8; 0,9)$$

I sistemi di tipo parallelo

Basta che un solo
elemento funzioni
perché il sistema funzioni

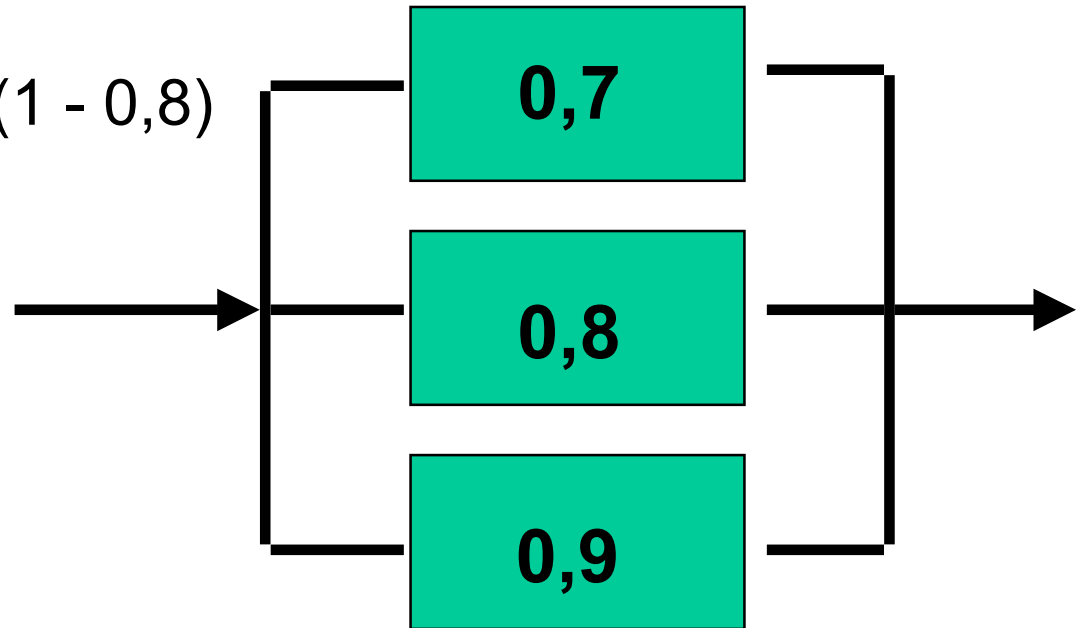


$R_{\text{par.}}(t) = 1 - [1 - R_1(t)] \times [1 - R_2(t)] \times \dots \times [1 - R_n(t)]$
e, in generale:

$$R_{\text{par.}}(t) = 1 - \prod_i [1 - R_i(t)]$$

Esempio di sistema parallelo

$$R_{\text{par.}}(t) = 1 - (1 - 0,7) \times (1 - 0,8) \times (1 - 0,9) = 0,994$$



L'affidabilità di un sistema parallelo è sempre maggiore della massima affidabilità dei suoi componenti:

$$0,994 > 0,9 = \max(0,7; 0,8; 0,9)$$

Sistemi riparabili

- Occorre considerare in questo caso anche il tempo tecnico di intervento e le altre componenti del DownTime
- Le prestazioni di un sistema riparabile sono esprimibili anche in termini di disponibilità.

Esempio numerico di sistemi riparabili

- 2 pompe uguali in parallelo
- potenzialità (1 pompa) = 50 mc/h
- costo (1 pompa) = 30 M£
- disponibilità (1 pompa) = 0,9
- servizio parzializzabile = 100 o 50 mc/h
- costo del disservizio = 450 £/mc
- funzionamento continuo
- Conviene aggiungere una terza pompa ?

Esempio sistemi riparabili (segue)

(A): Analisi della situazione iniziale

Stato del sistema		Probabilità	Portata	Portata Persa
P1	P2	di stato	Persa	Attesa
up	up	$0,9^2=0,81$	0	0
up	down	$0,9 \times 0,1=0,09$	50	4,5
down	up	$0,1 \times 0,9=0,09$	50	4,5
down	down	$0,1^2=0,01$	100	1
Totale		1,00		10

Esempio sistemi riparabili (segue)

(B): Aggiunta della nuova pompa

Stato del sist.	Probabilità di stato	Portata Persa	Portata Persa Attesa
P1P2 P3 up up up	$0,9^3=0,729$	0	0
up up d	$0,9^2 \times 0,1=0,081$	0	0
up d up	$0,9 \times 0,1 \times 0,9=0,081$	0	0
d up up	$0,1 \times 0,9 \times 0,9=0,081$	0	0
up d d	$0,9 \times 0,1^2=0,009$	50	0,45
d up d	$0,1 \times 0,9 \times 0,1=0,009$	50	0,45
d d up	$0,1^2 \times 0,9=0,009$	50	0,45
d d d	$0,1^3=0,001$	100	0,1
Totale	1,00		1,45

Esempio sistemi riparabili (segue)

(C): Valutazione economica

- costo di disservizio risparmiato:
 $(10-1,45) \times 450 \times 24 \times 365 = 34.1 \text{ M£/anno}$
[mc/h]x[£/mc]x[h/gg]x[gg/anno]
- costo della nuova pompa: 30 M£

Conclusione:

poiché l'installazione della nuova pompa si ripaga in meno di 1 anno, conviene installarla.

La funzione manutenzione: obiettivi e politiche

Lucidi per gli allievi del corso di Gestione della
Produzione Industriale del II° anno

Sommario degli argomenti

- La funzione manutenzione: contenuti ed evoluzione
- Impatto economico
- Classificazione delle politiche di manutenzione
- Scelta della politica di manutenzione: aree di fattibilità e opportunità

Definizione di manutenzione

- Delibera OCSE 1963 :E' quella funzione aziendale che ha come scopo il mantenimento in efficienza delle macchine e delle attrezzature
- UNI 9910 (1992): E' la combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o riportare un'entità in uno stato in cui possa svolgere la funzione richiesta

Evoluzione della manutenzione

- Approccio basato su una globalità di azioni
- Applicabile a beni per i quali esista una aspettativa di funzione, non solo alle macchine
- Ripristino delle funzionalità a seguito di degrado o crescita del livello di prestazione

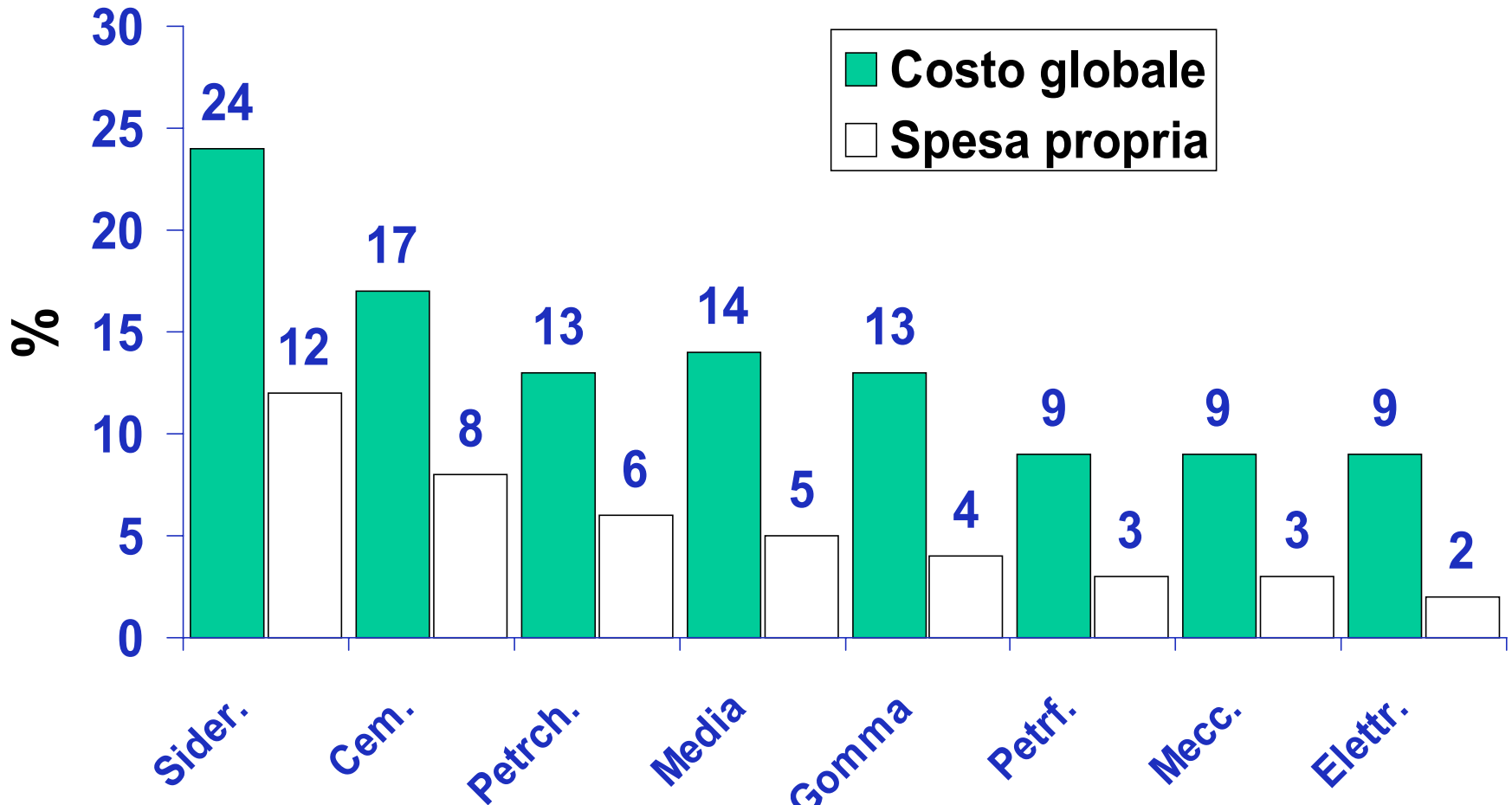
DA: RIPARAZIONE A: PREVENZIONE E MIGLIORAMENTO

- La manutenzione si offre come opportunità tecnica di miglioramento delle prestazioni di un mezzo produttivo
- In relazione a questa evoluzione si hanno forme organizzative e modalità operative molto differenti tra loro

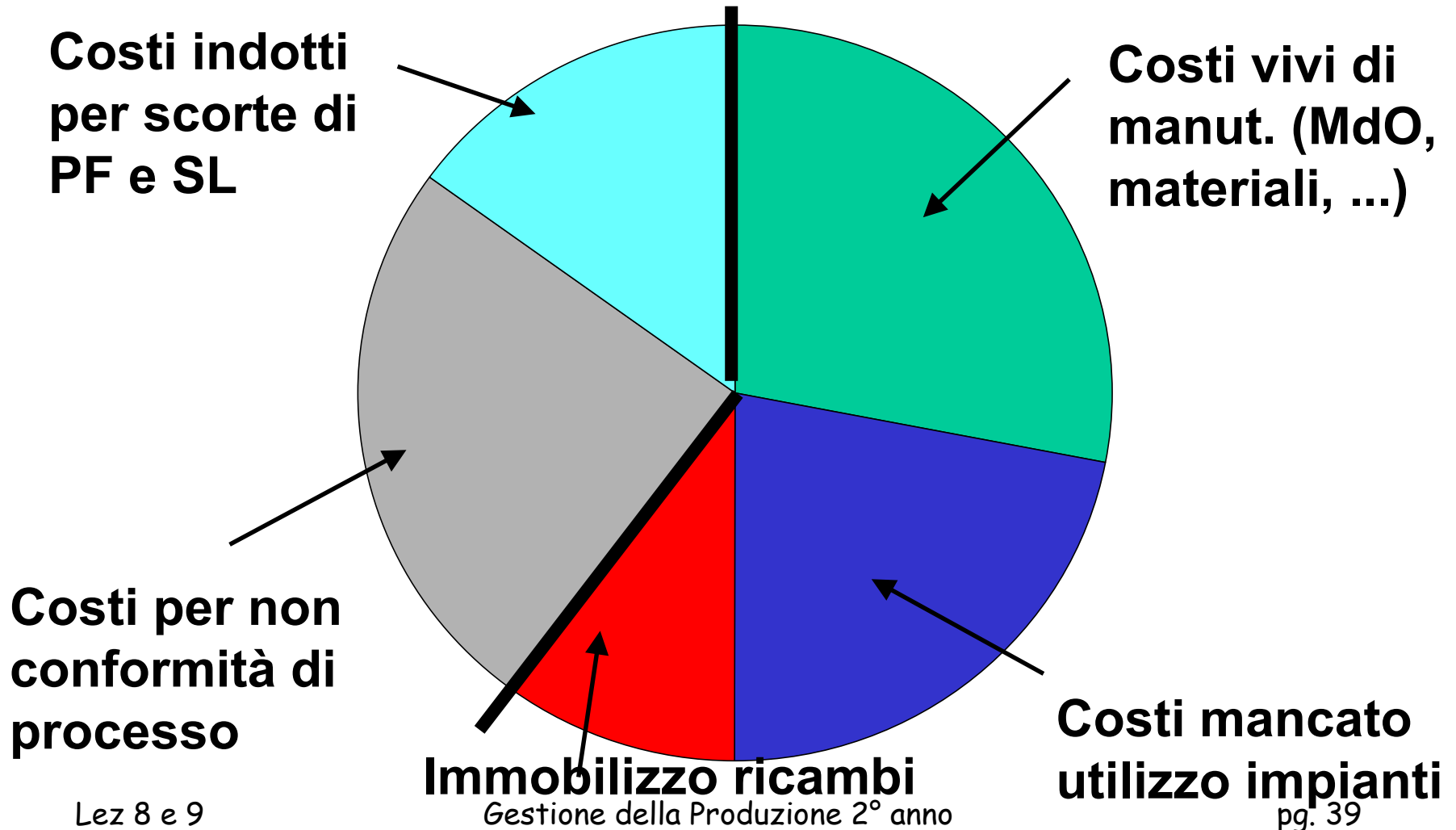
Tematiche della manutenzione

- Scelta e valutazione delle politiche
- Definizione della struttura organizzativa
- Progetto del sistema informativo
- Gestione dei ricambi
- Procedure operative
- Valutazione dell'efficienza globale

Incidenza dei costi di manutenzione sul fatturato



Costi globali di manutenzione



Politiche di manutenzione

- A guasto
- Preventiva
 - Ciclica
 - Secondo condizione
 - Predittiva
- Migliorativa
- Produttiva

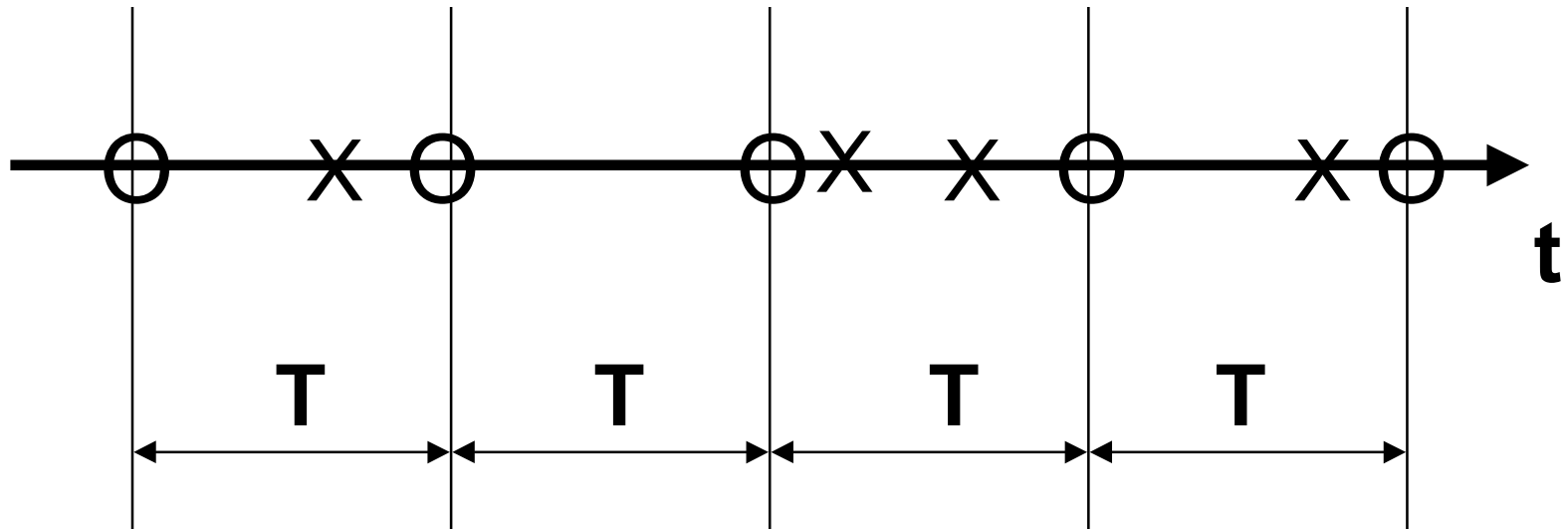
Manutenzione a guasto (correttiva, accidentale, incidentale)

- E' la forma più antica di manutenzione
- L'azione manutentiva è innescata esclusivamente dall'evento di guasto
- Sono esaltate le capacità tecniche individuali
- Scarsi: controllo dei costi, livello di servizio e capacità organizzativa

Manutenzione preventiva ciclica (a tempo)

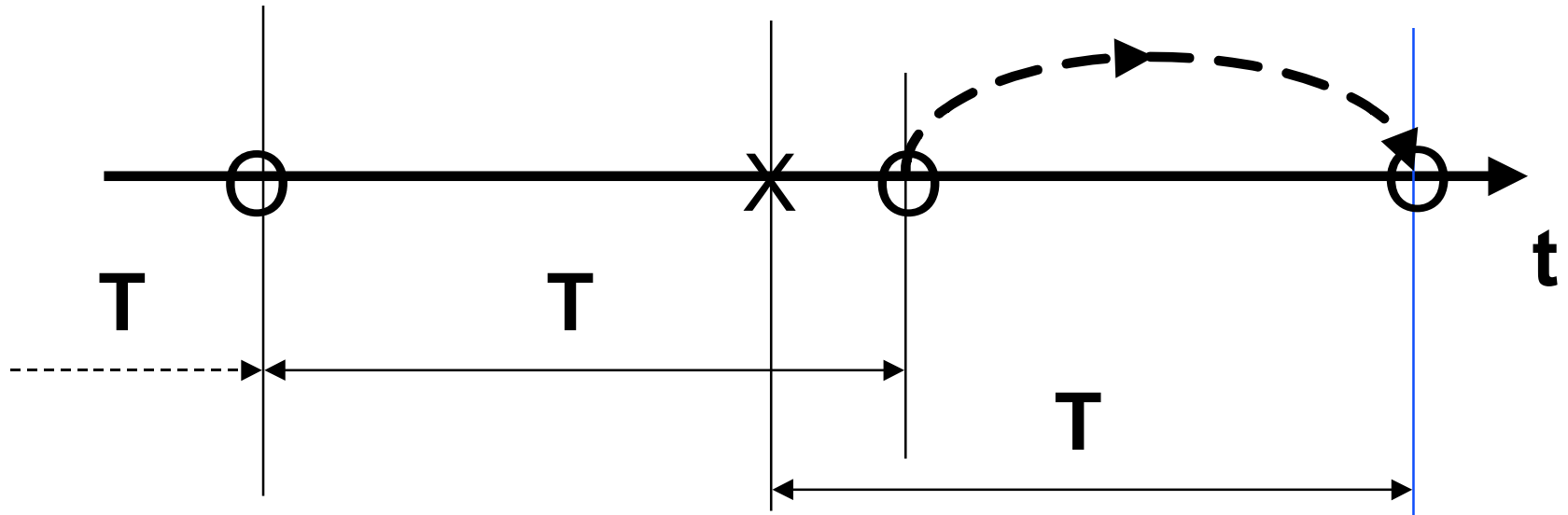
- Conoscenza statistica del fenomeno di guasto
- Il momento dell'intervento è definito in funzione della vita residua attesa
- E' la forma prevalente negli anni '70
- Segna una crescita culturale e organizzativa (proattività)

Manutenzione preventiva ciclica a data costante



O : sostituzioni preventive
X : sostituzioni a guasto

Manutenzione preventiva ciclica a età costante



O : interventi preventivi
X : interventi a guasto

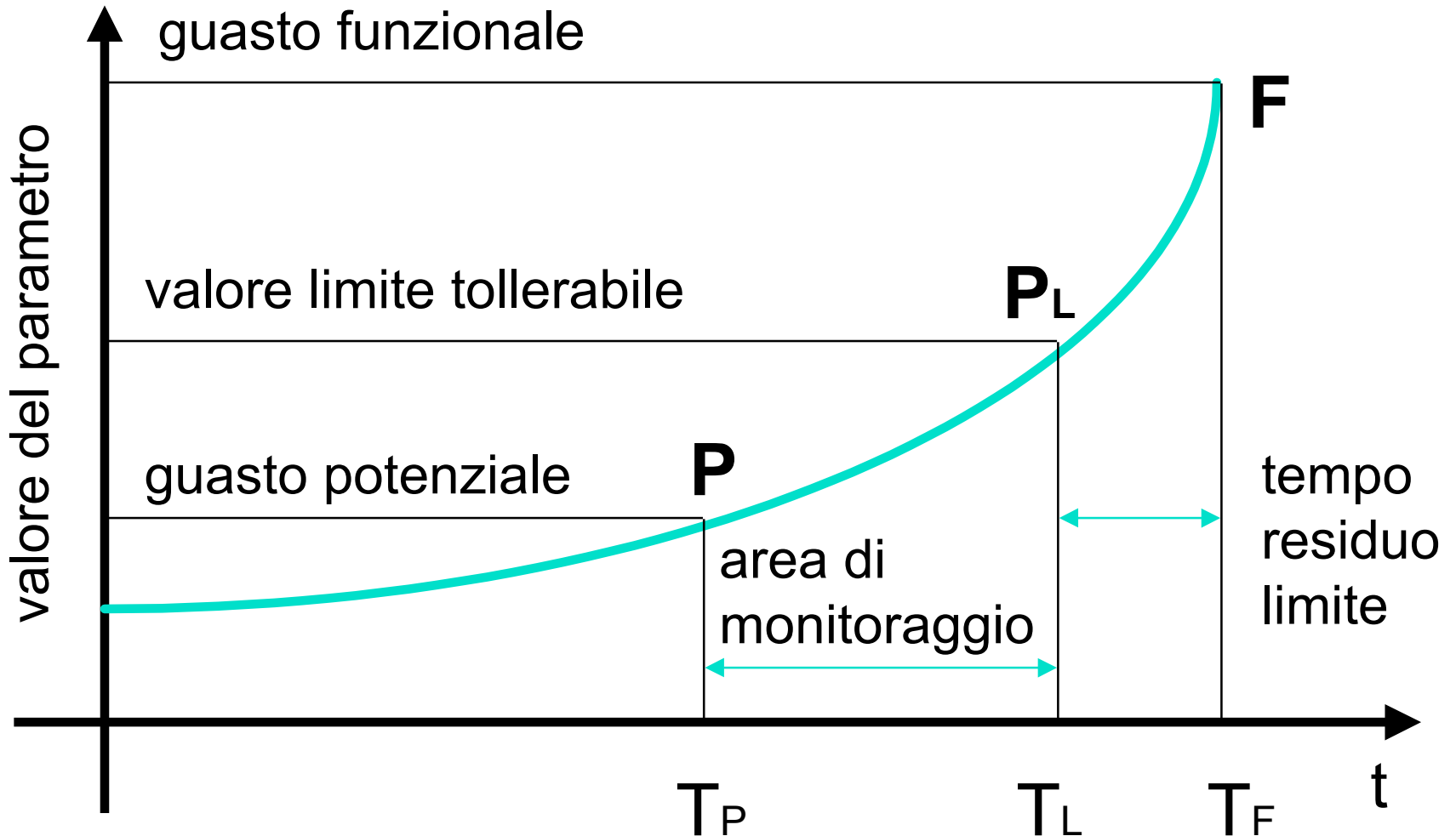
Condizioni di applicabilità della manutenzione preventiva ciclica

- Tasso di guasto crescente (guasti per usura)
- Costo globale dell'intervento preventivo minore del costo globale dell'intervento a guasto
 $C_p < C_g$

Manutenzione preventiva secondo condizione

- Si basa sulla misura di segnali deboli emessi e sulla conseguente interpretazione dello stato di degrado
- Si assume come discriminante, per decidere l'intervento, il superamento di uno o più valori di soglia della variabile controllata

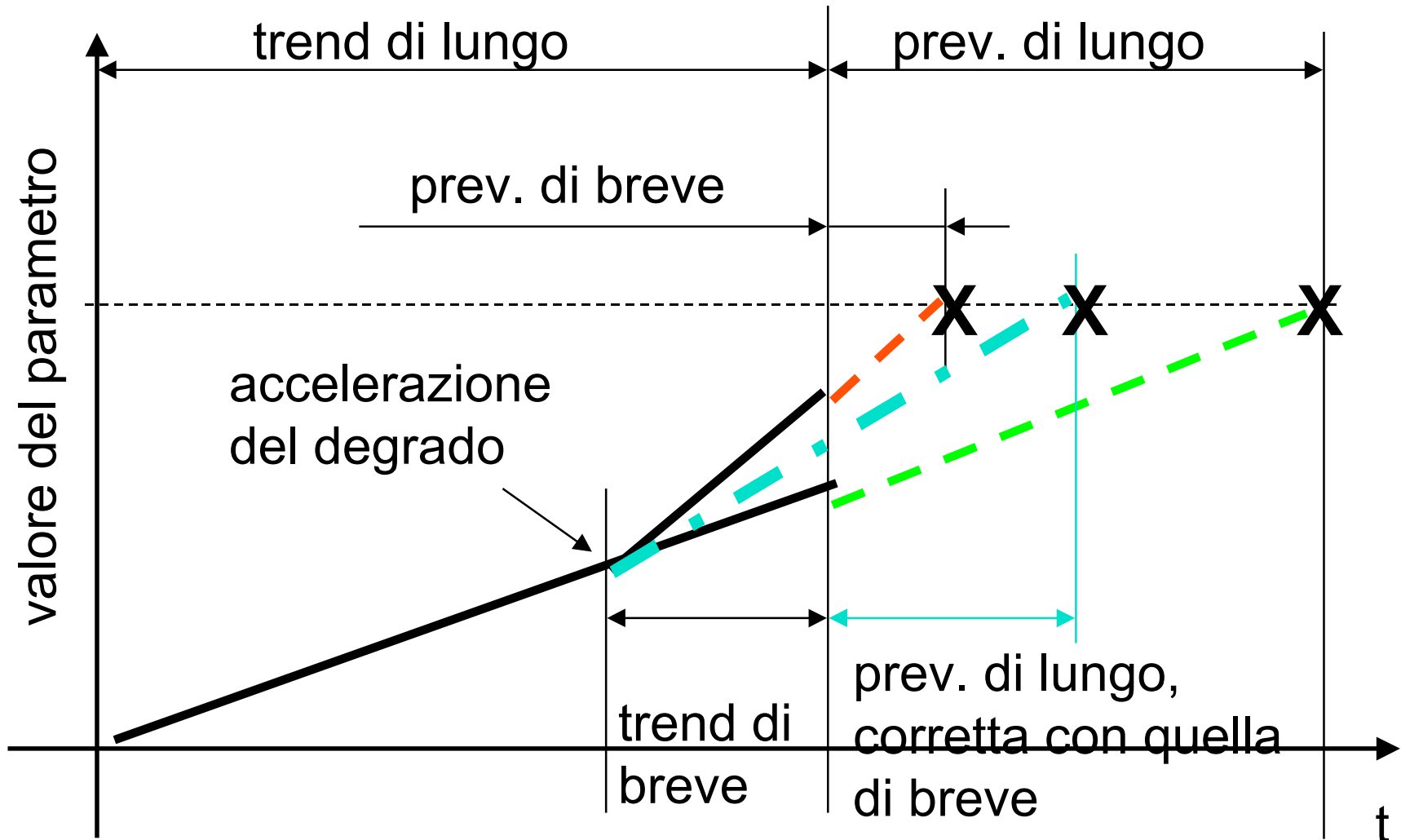
MSC: segnale premonitore e monitoraggio



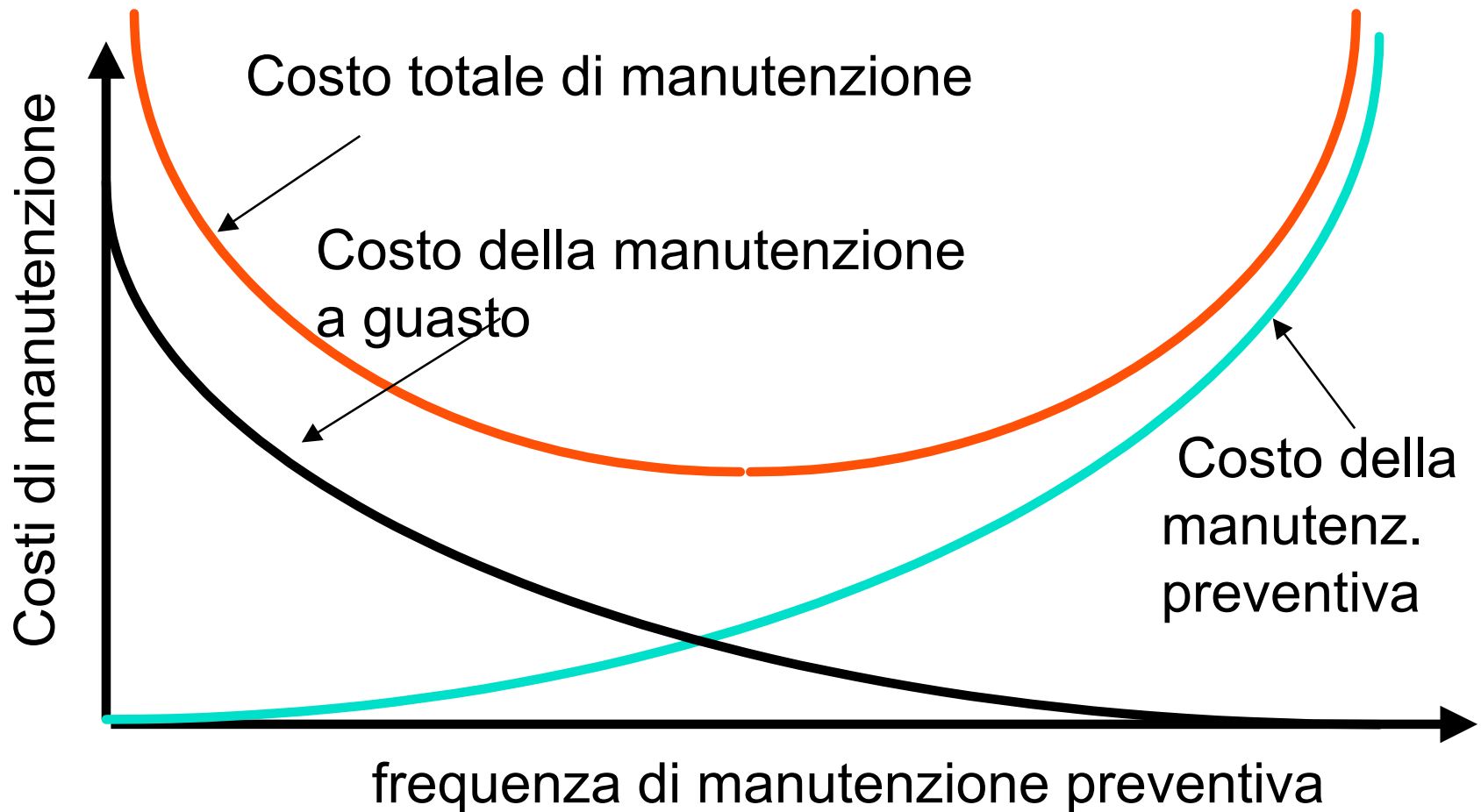
Manutenzione preventiva predittiva

- E' analoga alla MSC
- Si basa sulla misura strumentale dei segnali deboli
- Presuppone l'esistenza di un legame pseudo-deterministico tra il valore del segnale emesso e la vita residua del componente

Manutenzione predittiva



Costi di manutenzione preventiva vs. a guasto

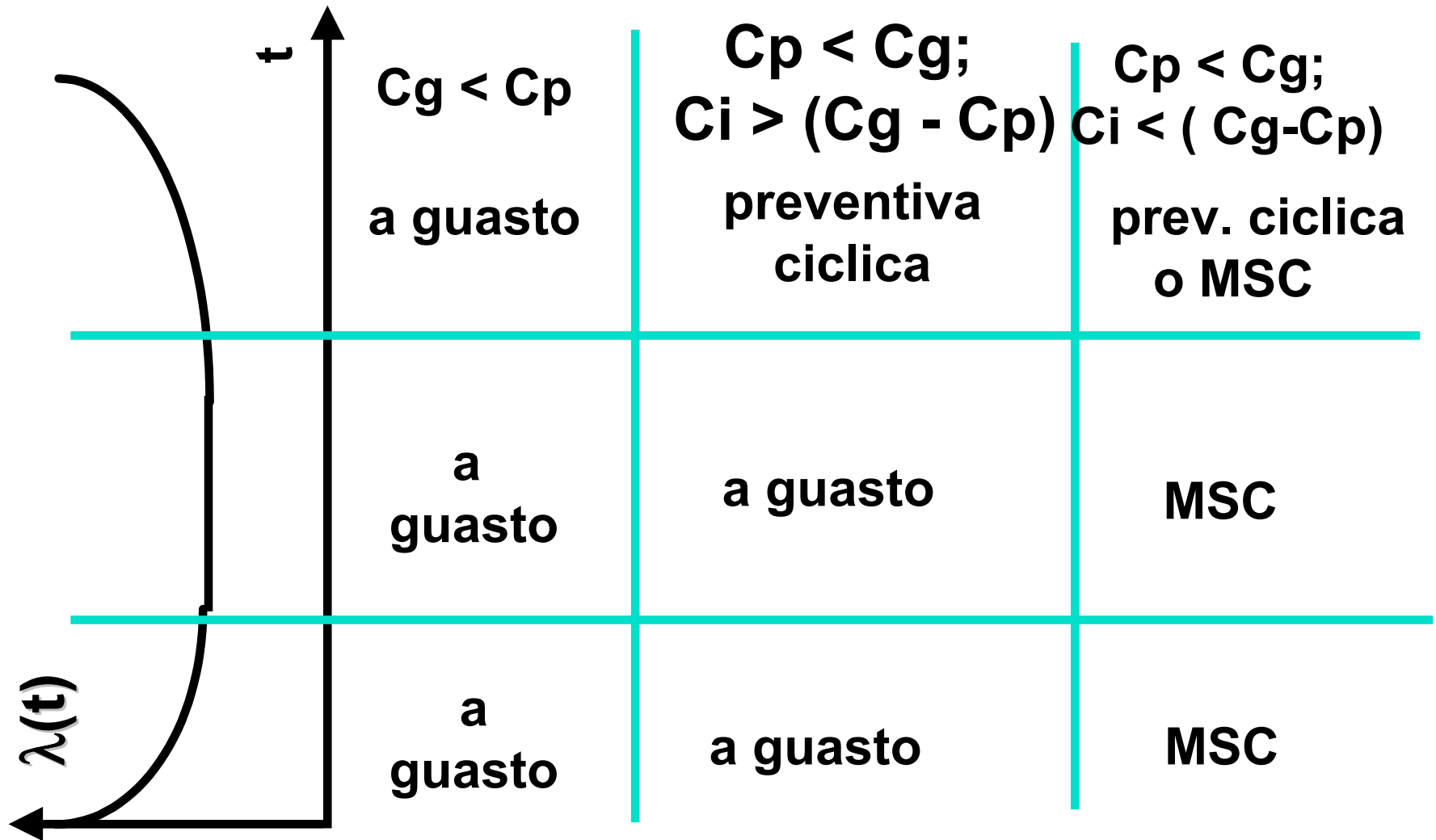


Condizioni di applicabilità della manutenzione secondo condizione

1. $C_i < C_p$
2. $C_p < C_g$
3. $C_i < C_g - C_p$

- C_i = costo della singola ispezione
- C_g = costo globale del guasto
- C_p = costo globale dell'intervento preventivo

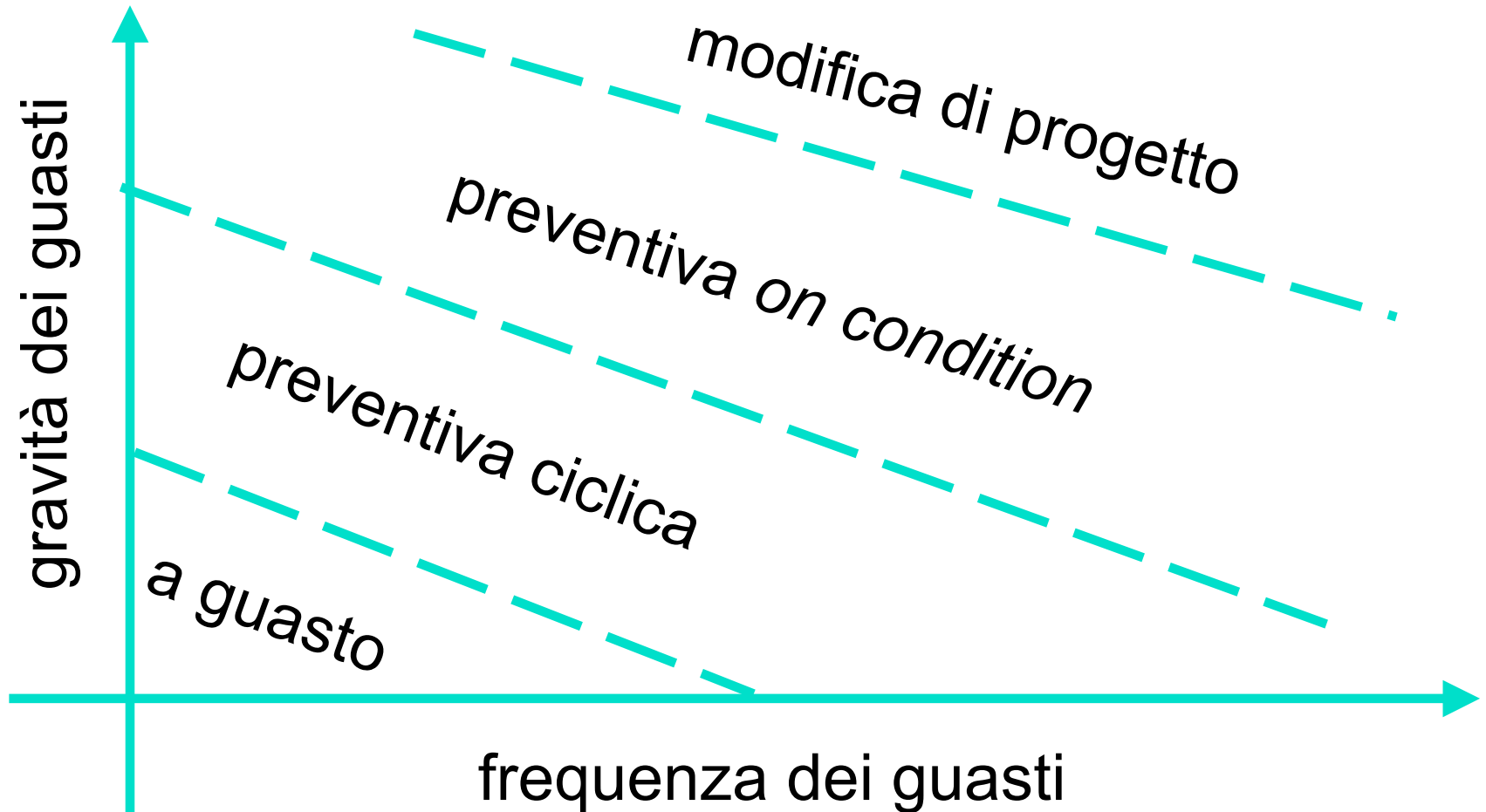
I costi e le politiche manutentive



Manutenzione migliorativa

- Insieme delle azioni di miglioramento o piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale
- Superamento della concezione della manutenzione intesa solo come ripristino e/o prevenzione del guasto
- Incremento della proattività e tensione verso il miglioramento continuo
- Sviluppo di una funzione di 'ingegneria' di manutenzione

Indirizzi di scelta della politica manutentiva



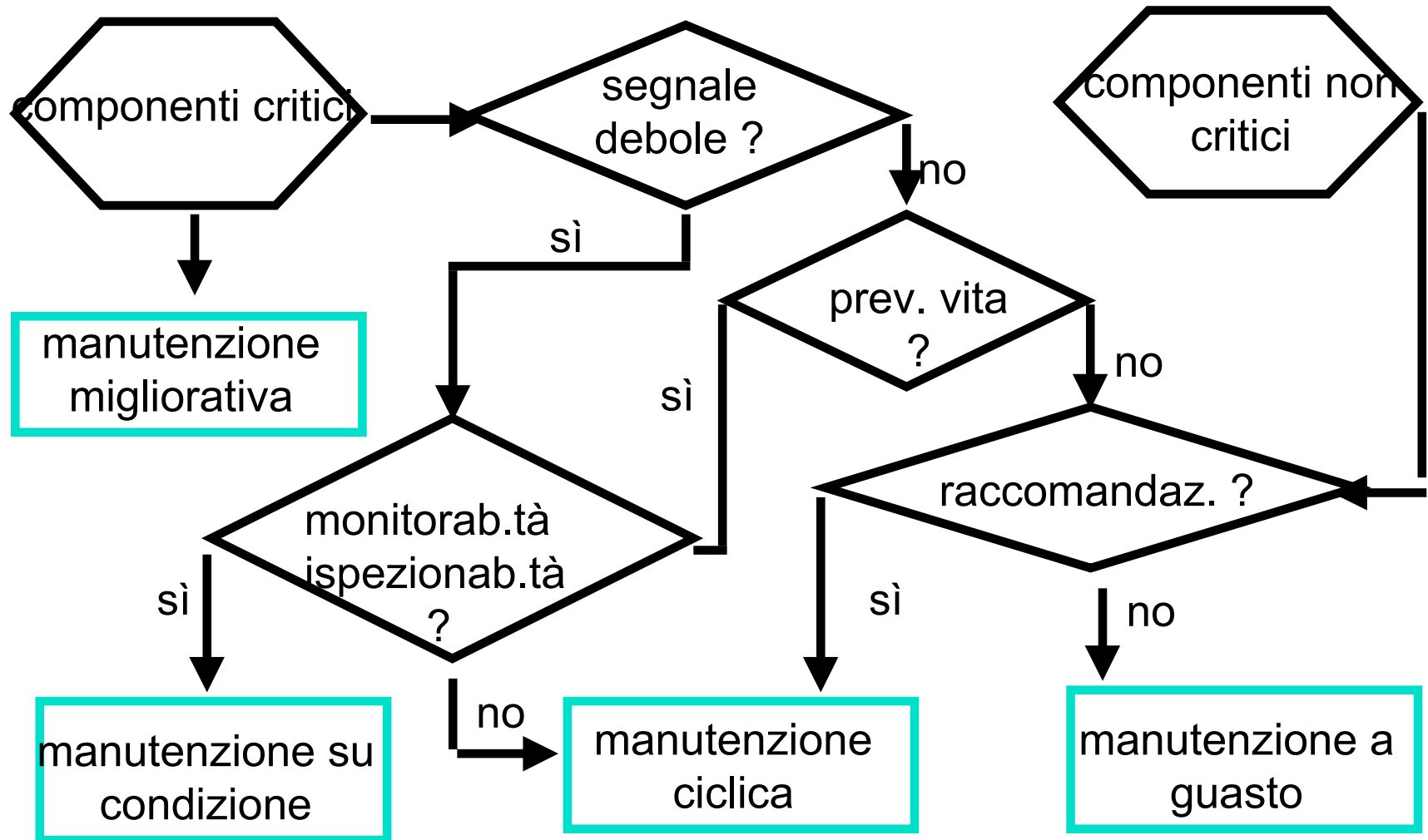
Tecnica FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analysis)

- Obiettivi:
 - individuare le aree critiche del sistema (macchina o linea);
 - individuare i componenti critici il cui guasto può avere conseguenze gravi (danneggiamenti, sicurezza, funzionalità);
 - fornire indicazioni per sviluppare programmi di manutenzione preventiva.

I passi principali della FMECA

- Scomposizione del sistema nelle sue parti funzionali e preparazione di una griglia di valutazione della criticità
- Identificazione ed analisi dei modi tipici di guasto di ogni singola parte
- Valutazione della gravità degli effetti del guasto e della frequenza
- Ricerca delle cause e dei sintomi premonitori (segnale debole) dei guasti
- Formulazione di un piano di intervento preventivo o migliorativo

Scelta delle politiche manutentive



Manutenzione produttiva

- Insieme di azioni volte alla prevenzione, al miglioramento continuo ed al trasferimento di funzioni elementari di manutenzione al conduttore della macchina, avvalendosi del rilevamento sistematico di dati e della diagnostica precoce.
- E' il punto più avanzato dello sviluppo della manutenzione
- Soluzioni organizzative innovative:
 - prevenzione mediante monitoraggio dei segnali deboli
 - miglioramento continuo
 - manutenzione autonoma (l'operatore ha cura della propria macchina; il manutentore è il 'dottore')
 - gruppi interfunzionali di miglioramento

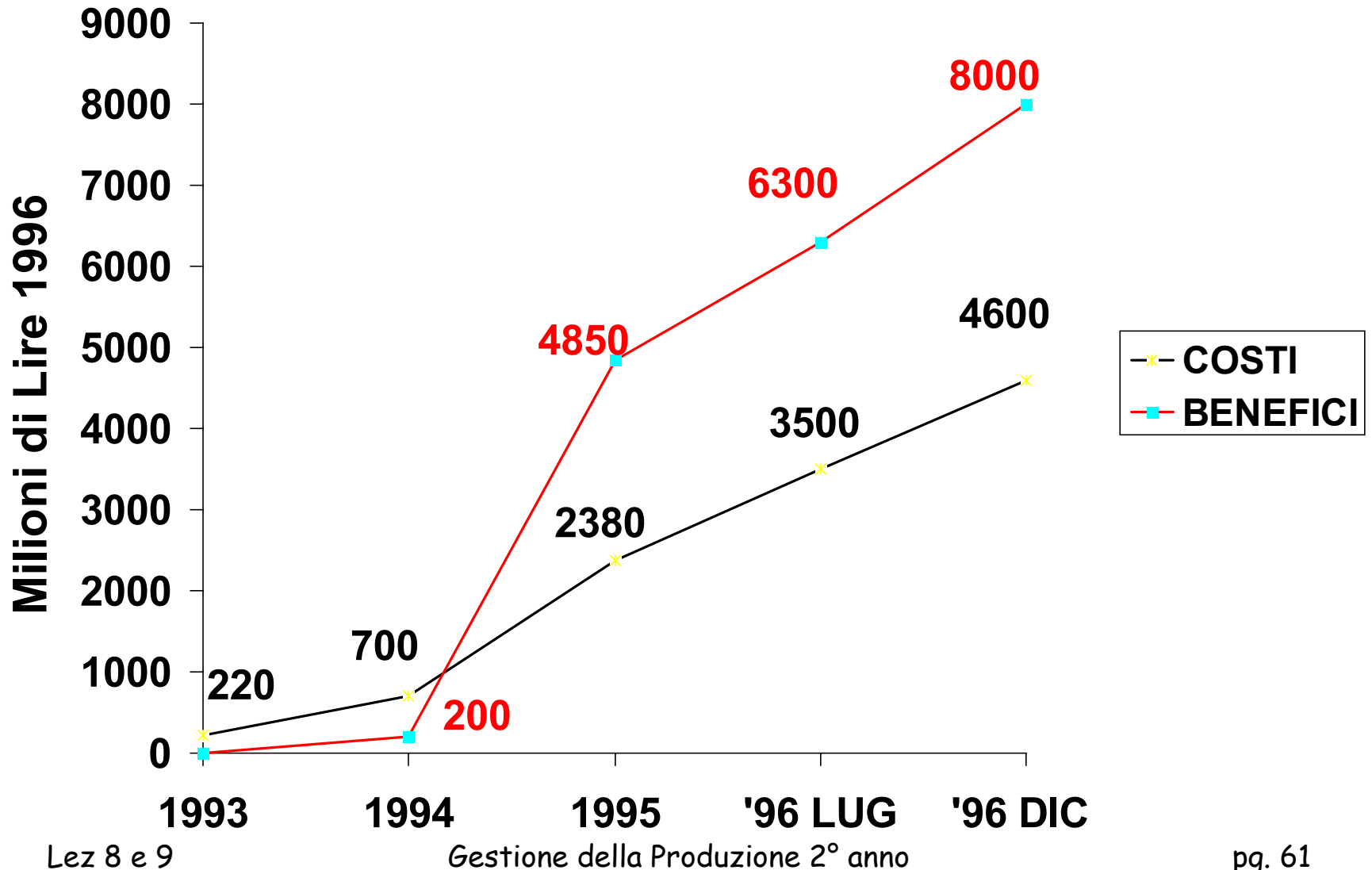
TPM - Total Productive Maintenance

- Mira alla riduzione delle “6 grandi perdite”
 - guasti e manutenzione preventiva
 - setup e regolazioni
 - fermate minori (ripristini, pulizia, ...)
 - riduzione di velocità
 - perdite per riduzione di resa
 - perdite per non conformità

TPM: i 5 pilastri

- Miglioramento focalizzato degli impianti
- Manutenzione autonoma
- Manutenzione programmata
- Manutenzione per la qualità
- Training

Costi-benefici del TPM



Valutazione e scelta delle politiche di manutenzione

Lucidi per gli allievi del corso di Gestione della
Produzione Industriale del II° anno

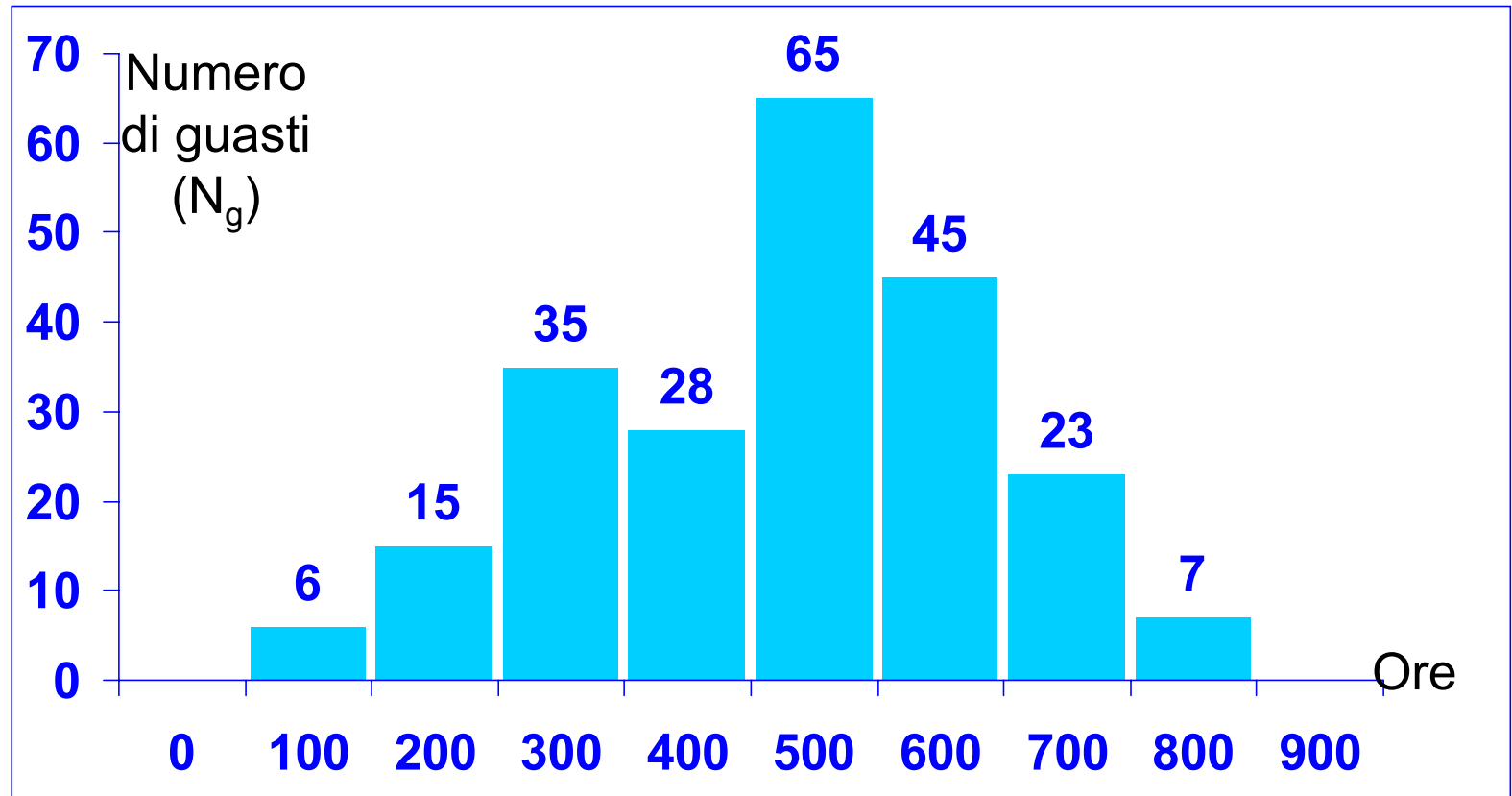
Valutazione e scelta delle politiche di manutenzione

- Analisi del funzionamento delle politiche
- Condizioni di applicabilità
- Valutazione economica delle politiche
- Scelta della politica ottimale

Politiche di manutenzione

- A guasto
- Preventiva
 - Ciclica
 - a data costante
 - a età costante
 - Secondo condizione
 - Predittiva
- Migliorativa
- Produttiva

Scelta della politica di manutenzione: un esempio



Scelta della politica di manutenzione: un esempio (segue)

Età (h)	N_g	f	F	R	λ	
0-100	0	0,000	0,000	1,000	0,000	
100-200		6	0,027	0,027	0,973	0,027
200-300		15	0,067	0,094	0,906	0,069
300-400		35	0,156	0,250	0,750	0,172
400-500		28	0,125	0,375	0,625	0,167
500-600		65	0,290	0,665	0,335	0,464
600-700		45	0,201	0,866	0,134	0,600
700-800		23	0,103	0,969	0,031	0,767
800-900		7	0,031	1,000	0,000	1,000
Totale	224	1,000				

Scelta della politica di manutenzione: un esempio (segue)

- Dati

- Costo di 1 guasto: 3.500.000 £
- Costo di 1 int. prevent.: 2.200.000 £
- Costo di 1 ispezione: 240.000 £
- MTBF: 526 h
- Visibilità di 1 ispezione: 100 h
- Ipotesi di perfetta visibilità

Scelta della politica di manutenzione: un esempio (segue)

- **OBIETTIVO:** determinare la politica manutentiva di minimo costo per unità di tempo di funzionamento tra:
 - Politica a guasto
 - Politica preventiva ciclica
 - Politica ispettiva

Scelta della politica di manutenzione: un esempio (segue)

- Costo della politica a guasto
 - $C_{\text{guasto}} = \text{costo di 1 guasto} / \text{MTBF} = 3.500.000 / 526 = 6.654 \text{ £/h}$
- Costo della politica preventiva ciclica:
 - $C_{\text{prev}} = (C_g \times F(T) + C_p \times R(T)) / \text{MTBM}(T)$

$$\text{MTBM}(T) = \sum_{t \leq T} f(t) \cdot t + T \cdot R(T)$$

- esempio: $\text{MTBM}(T=500) = 150 \times 0,027 + 250 \times 0,067 + 350 \times 0,156 + 450 \times 0,125 + 500 \times 0,625 = 444 \text{ h}$
- $C_{\text{prev}} = (3.500.000 \times 0,375 + 2.200.000 \times 0,625) / 444 = 6050 \text{ £/h}$

Scelta della politica di manutenzione: un esempio (segue)

- Costo della politica ispettiva:
- $C_{isp} = C_i \times n_i + C_g \times P_g + C_p \times (1 - P_g) / MTBM$
- n_i = numero medio di ispezioni fino al primo segnale di guasto incipiente, che avverrà nelle successive 100 ore (circa 5 ispezioni)

Scelta della politica di manutenzione: un esempio (segue)

- Politica ispettiva (segue):
- Poiché possiamo assumere:
- $P_g = 0$
- $MTBM = MTBF$
- $C_{isp} = (C_i \times n_i + C_p) / MTBF = (240.000 \times 5 + 2.200.000) / 526 = 6.464 \text{ £/h}$

Scelta della politica di manutenzione: un esempio (segue)

- CONCLUSIONI:

- | Politica | Costo orario |
|------------------------|--------------|
| • - A guasto | 6.654 £/h |
| • - Preventiva ciclica | 6.050 £/h |
| • - Ispettiva | 6.464 £/h |
- Conviene adottare una politica preventiva ciclica