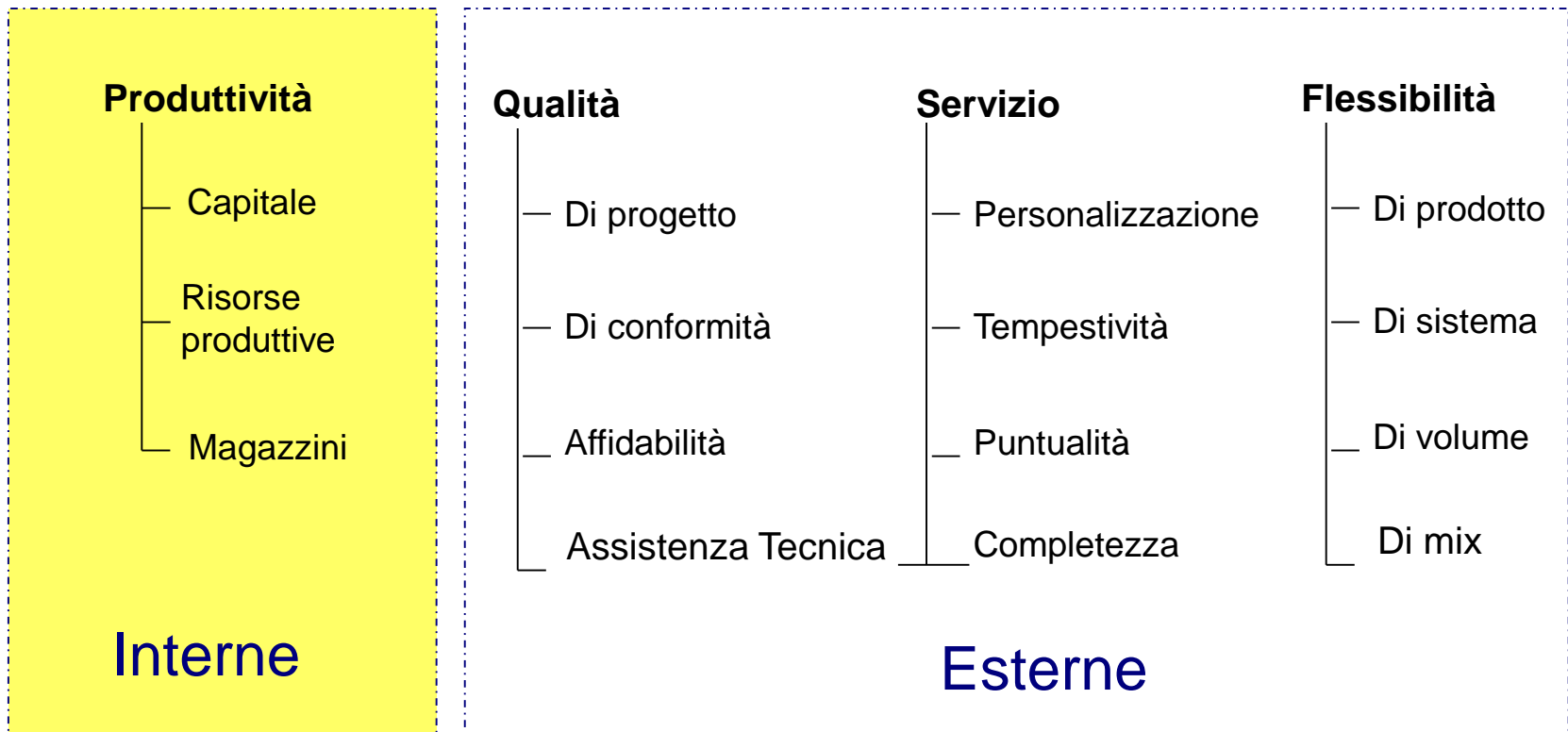


Analisi delle prestazioni dei sistemi produttivi – metodi per l'analisi di affidabilità e disponibilità

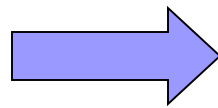
Il quadro delle prestazioni



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 di funzionamento programmato
- Non misura invece la capacità di utilizzare tutta la potenzialità teorica, essendo infatti esclusi i tempi non programmati, quando cioè 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

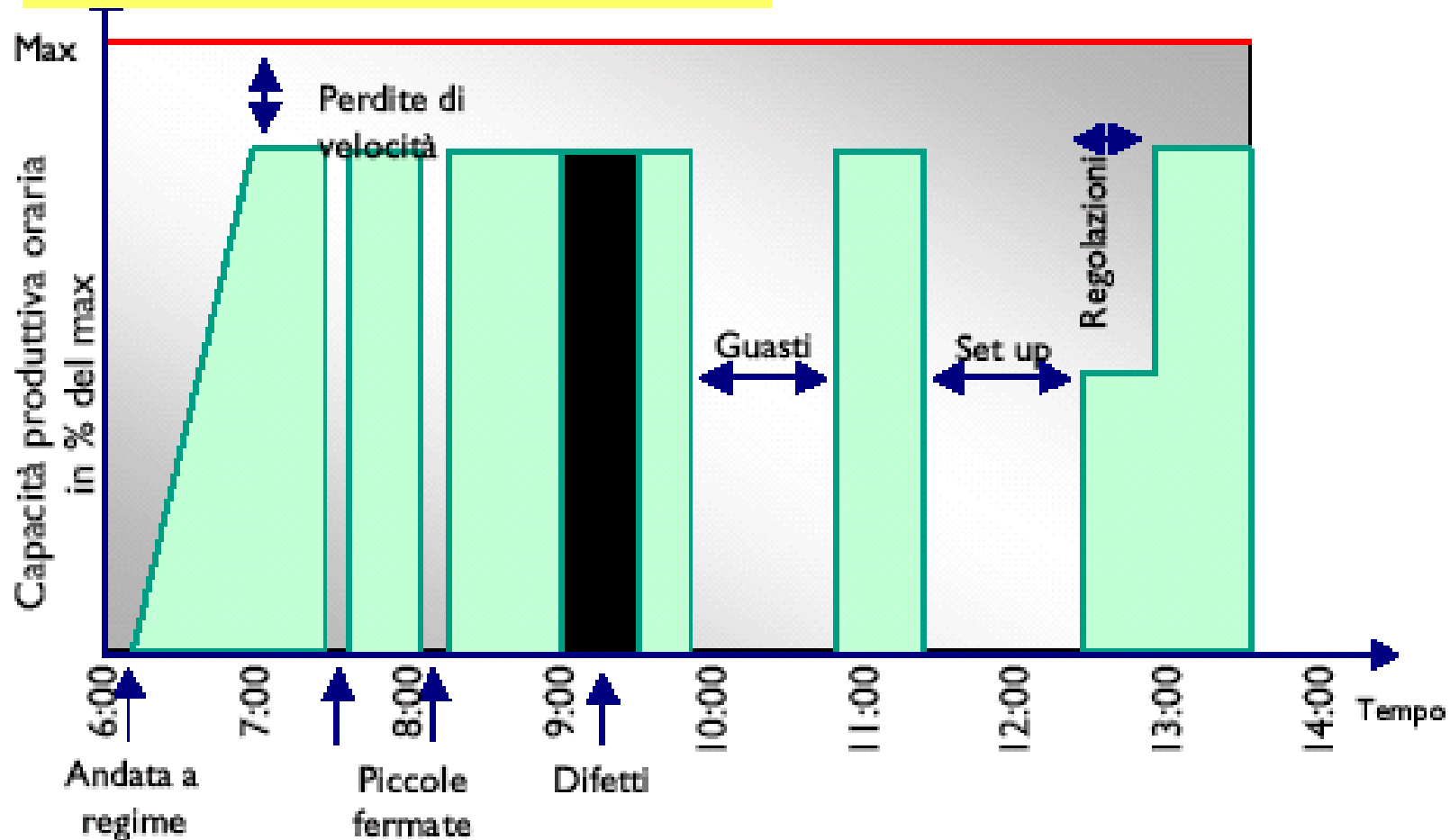
OEE



Produzione buona effettiva

Produzione teoricamente realizzabile

OEE = Area verde / Area totale



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)

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

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 esprimendola con riferimento alle grandezze statistiche tipiche della manutenzione

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

ovvero

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

Nota: esistono due «grandi» convenzioni per MTBF/MTTF; utilizziamo la convenzione che considera TTF (Time to Failure) per entità/componenti non riparabili e TBF (Time Between Failure) per entità/componenti riparabili

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
- **MDT:** *mean down time*, tempo medio di fermata dell'impianto
- **MTBM:** *mean time between maintenance*, tempo medio tra due interventi di manutenzione (preventiva, correttiva)
- **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 (in base a tempo/uso) compiendo tutte le operazioni programmate
- **Su condizione:** si interviene a intervalli programmati compiendo le operazioni solo se ritenuto necessario (in base alle condizioni)
 - **Predittiva:** su condizione, ma con capacità predittiva
- **Migliorativa (produttiva):** normalmente svolta per aggiornare le caratteristiche tecniche del sistema (per migliorare l'affidabilità e manutenibilità)

Fidatezza di 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/componenti di *backup* che ne possono garantire il funzionamento anche se uno o più elementi sono guasti. Nel caso di parallelo con ridondanza totale è sufficiente 1 elemento/componente per garantire il funzionamento del sistema.

Fidatezza di funzionamento

- Nel caso del parallelo, si possono distinguere diverse casistiche
 - Ridondanza parziale (es. 2 pompe su 3 installate)
 - Ridondanza totale (es. 1 pompa su 3 installate)
 - Standby (es. 1 pompa funzionante e 1 in standby nel caso la pompa che normalmente funziona è in manutenzione)
- Un caso specifico è il caso del frazionamento di capacità (o capacità di riserva). In questo caso, il guasto di un componente porta all'impatto di riduzione parziale della capacità produttiva del sistema.



Tecnica di modellazione per l'analisi di affidabilità/disponibilità di sistema

Il metodo Reliability Block Diagram (RBD) è uno strumento per descrivere l'effetto di un guasto di componente in un sistema complesso – l'impianto industriale – composto da tanti componenti impiantistici.

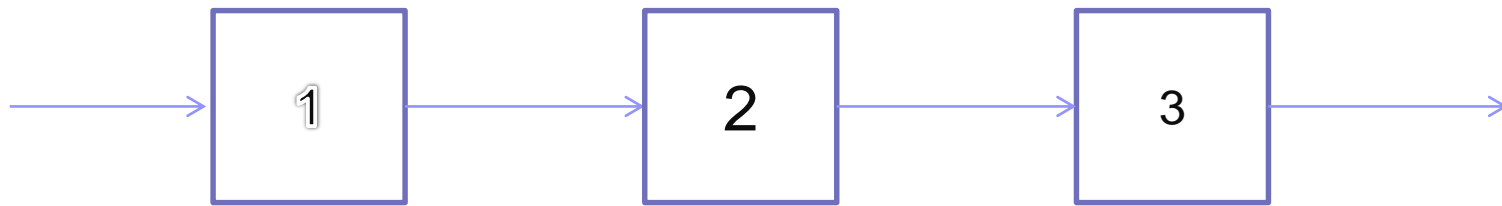
Permette di schematizzare le relazioni logico-funzionali, tenendo in conto la configurazione dei componenti nel sistema.

Il metodo si sviluppa in due passi:

- **Analisi logico funzionale della configurazione del sistema**
- **Calcolo dell'affidabilità (disponibilità) di sistema**

Per il calcolo è necessario conoscere il livello di affidabilità/disponibilità dei componenti.

Disponibilità/affidabilità di un sistema con elementi in serie



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

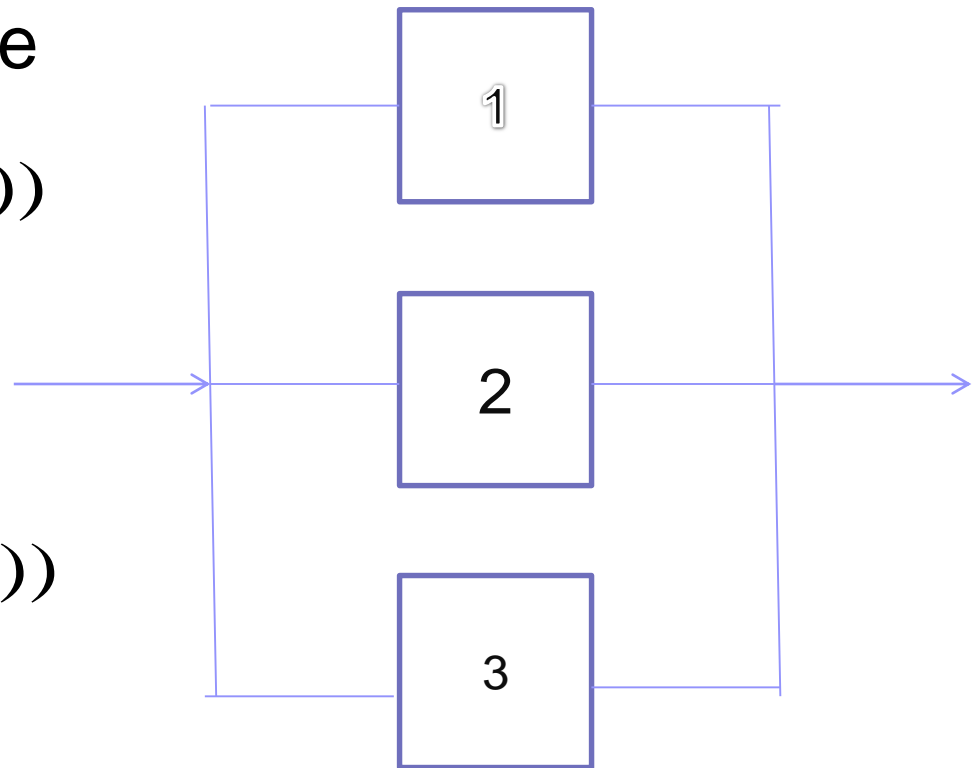
$$R_s = \prod_{i=1}^n R(i)$$

Disponibilità/affidabilità di un sistema con elementi in parallelo

Caso ridondanza totale

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

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



Disponibilità/affidabilità di un sistema con elementi in parallelo

Caso ridondanza parziale

(con componenti con stessa affidabilità/disponibilità)

$$R_{S,k_out_of_n}(T) = \sum_{j=k}^n \left(\binom{n}{j} R_{component}^j (1 - R_{component})^{n-j} \right)$$

with $R_{component_i} = R_{component}$; $\forall i$

dove: $\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$.

Disponibilità/affidabilità di sistemi serie/parallelo


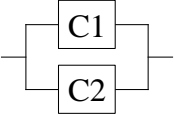
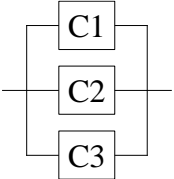
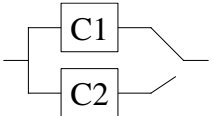
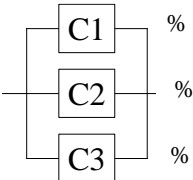
La disponibilità/affidabilità di un sistema composto da elementi collegati in serie è inferiore alla disponibilità/affidabilità dell'elemento meno affidabile/disponibile.

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

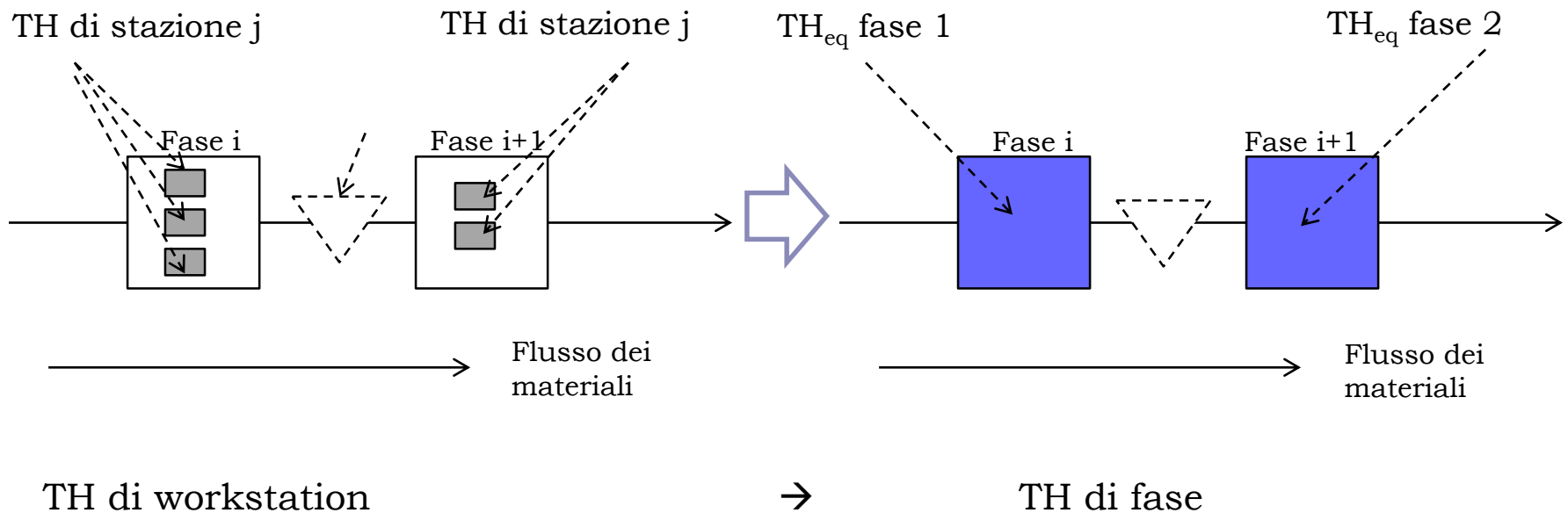
Disponibilità/affidabilità di sistemi serie/parallelo

Un sistema complesso è normalmente un sistema in serie. Nel sistema possono tuttavia trovarsi anche sottoassiemi con componenti collegati in parallelo. Lo scopo è quello di creare ridondanze nei punti più critici del sistema per aumentarne la disponibilità/affidabilità complessiva

Disponibilità/affidabilità di sistemi – sommario dei vari collegamenti

RBD Model	RBD	Semantics
RBD series		Components C1 and C2 are connected in series
RBD parallel (total redundancy)		Components C1 and C2 are connected in parallel, in total redundancy
RBD parallel (partial redundancy)		Components C1 ...Cn are connected in parallel, in partial redundancy (k over n components are required for system to work)
RBD parallel (standby)		Components C1 and C2 are connected in parallel, in total redundancy, with component C2 hold in stand-by
RBD parallel multi state (fractioning)		Components C1, C2 and C3 are connected in parallel and they have different capacity, therefore a component's failure involves a loss of capacity corresponding to the impact factor % of the failed component.

Analisi di throughput (potenzialità produttiva) del sistema produttivo



Per una prima analisi grezza

- TH fase i = Somma delle TH stazione j nella fase i (es. con 2 stazioni in "parallelo" che hanno stessa potenzialità produttiva, il TH di fase è 2 volte il TH stazione)

Per l'analisi della fidatezza di funzionamento

- è necessario fare l'analisi logico-funzionale (schema RBD)

Analisi di throughput (potenzialità produttiva) del sistema produttivo

Performance measure

Dall'analisi di throughput, è possibile:

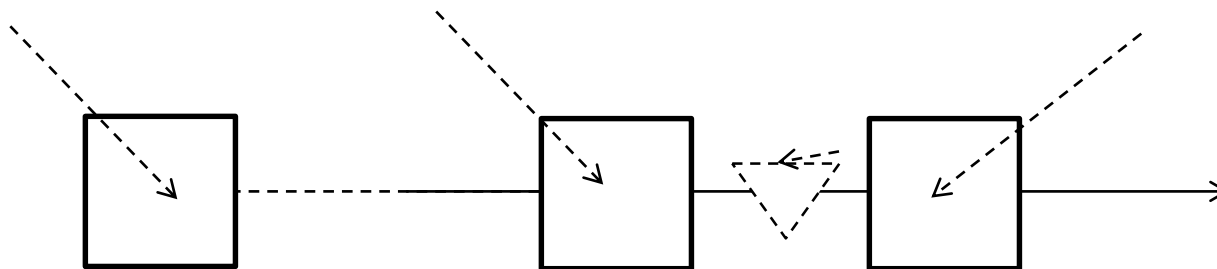
- 1) identificare il collo di bottiglia (risorsa/fase che limita la capacità produttiva);
- 2) calcolare l'utilizzazione delle risorse componenti del sistema produttivo (i.e. le stazioni installate per fase).

$$UT_i = \frac{\min_i TH_i}{TH_i}$$

Tasso di arrivo
 $\lambda = TH_0$

UT stazione in fase 1 = UT_1

UT stazione in fase 2 = UT_2



Dove TH_i può essere sia nominale sia effettiva (effettiva quando si tengono in considerazione le perdite per es. per guasto)

Caso produzione del cemento

Compito:

Analizzare la capacità produttiva del sistema tenuto conto della necessità di valutare la fidatezza di funzionamento.

1- Identificare il numero di impianti necessari in ogni fase del processo

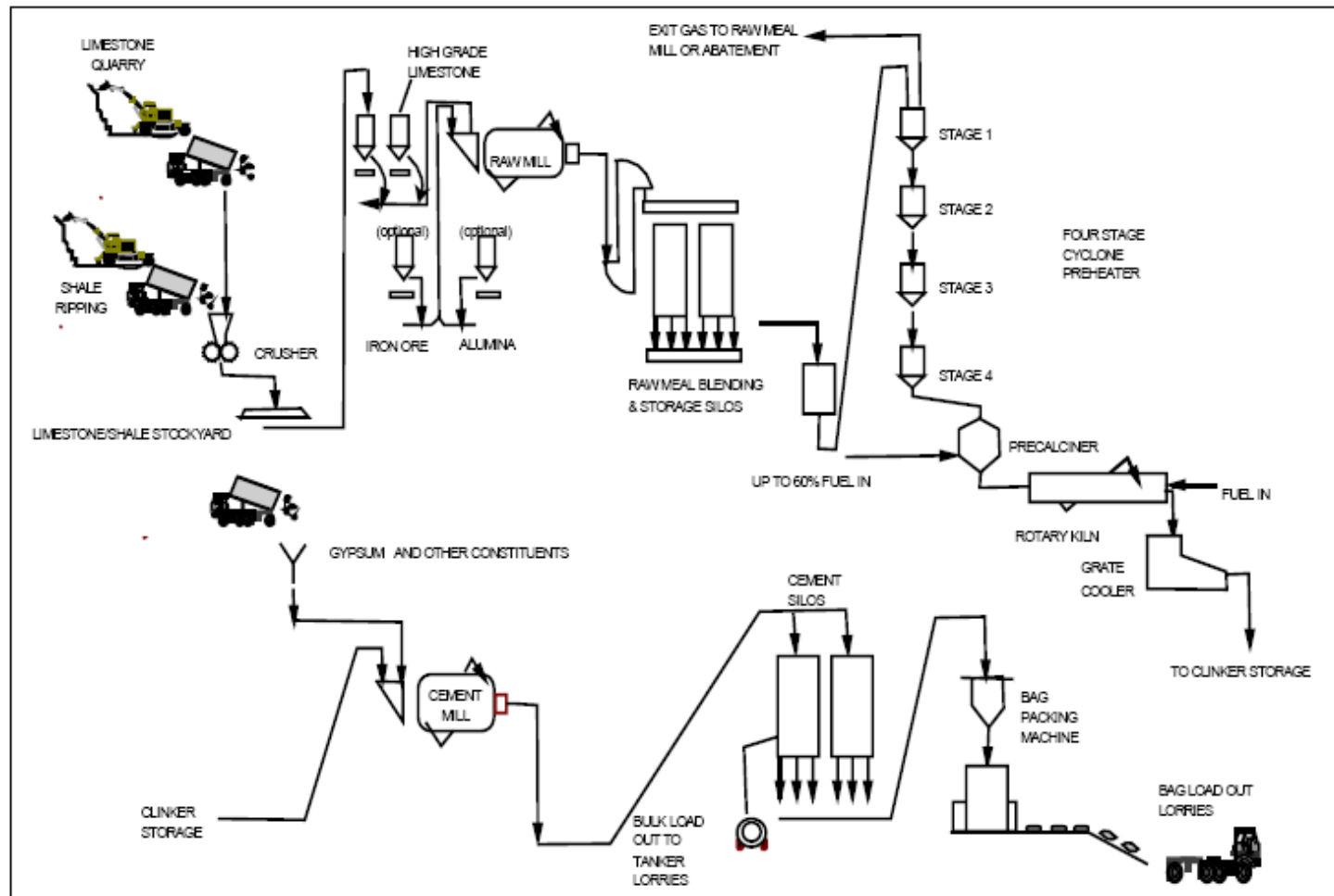
2- Valutare la capacità produttiva del sistema e l'utilizzazione di ciascun impianto/fase del processo produttivo

Metodi (per analisi tecnica):

- Analisi RBD
- Analisi Throughput

Caso produzione del cemento

Input:



Caso produzione del cemento

Input:

- Tempo di apertura impianto: 320 days/year
- Throughput nominale (potenzialità produttiva)

	Nominal Throughput	
Raw Mill	4.500	t raw meal / day
Rotary Kiln	4.000	t clinker / day
Cement mill	3.500	t cement / day
Bag packing machine	80.000	cement bags / day

- Bill of material: 0,88 t clinker / t cement
1 t raw meal / t clinker
- Packaging: 50 kg / cement bag
- Key performance indicator di manutenzione

	MTBM	MDTp+c
Raw Mill	35	3
Rotary Kiln	30	2
Cement mill	40	2
Bag packing machine	50	1