

# Misure di Prestazione di Sistemi Produttivi

## 1) Modello di riferimento

Per prestazioni di un sistema produttivo si intendono i risultati direttamente percepibili e misurabili dal cliente oppure dal sistema sovraordinato rispetto al sistema produttivo stesso (la business unit o l'azienda): sono gli elementi che spiegano la soddisfazione o meno del cliente ed il raggiungimento degli obiettivi strategici di livello superiore. E' fondamentale monitorare le prestazioni di un sistema produttivo poiché "non si può migliorare ciò che non si può misurare".

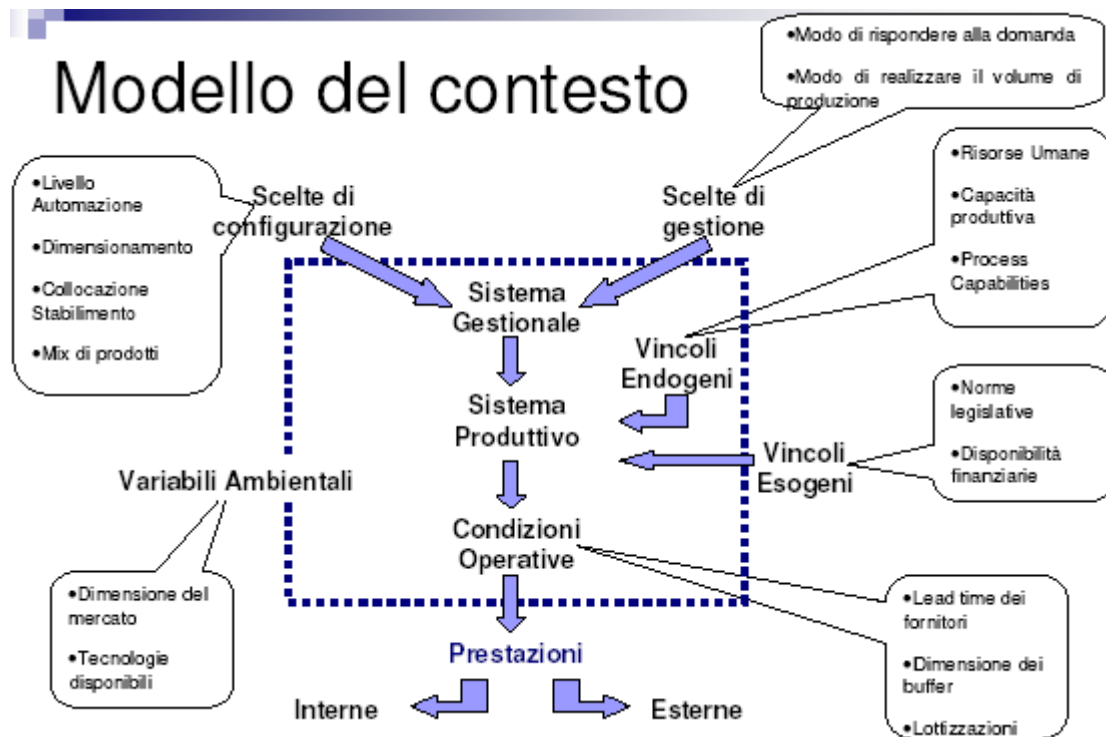


Figura 1: modello di riferimento

In Figura 1 è schematizzato il modello di riferimento rappresentante i diversi fattori che concorrono alla definizioni delle prestazioni di un sistema produttivo. Tale modello suggerisce una visione delle prestazioni in termini di gerarchia degli obiettivi, che distingue tra obiettivi di prestazione del sistema produttivo nel suo complesso e prestazioni che rappresentano proprietà caratteristiche dei singoli fattori produttivi. In base a ciò si possono indicare due gruppi di obiettivi di prestazione:

- ✓ Quello che riguarda in senso ampio la capacità di soddisfare le esigenze dei clienti (*prestazioni esterne*).
- ✓ Quello che valuta la produttività delle risorse (*prestazioni interne*).

## 2) Le prestazioni esterne

Come appena visto, per prestazioni esterne si identifica la capacità del sistema produttivo di soddisfare le esigenze dei clienti. In questa categoria rientra la flessibilità, la qualità ed il servizio.

### 2.1 Flessibilità

La flessibilità è la capacità di rispondere ai cambiamenti esterni (esogeni) ed interni (endogeni) con transitori brevi e poco costosi. Essa è denominata anche efficienza dinamica in contrapposizione alla produttività che rappresenta l'efficienza statica. In Figura 2 sono riassunti i principali fattori che

entrano in gioco nella determinazione della flessibilità di un sistema produttivo. Alla base di questo concetto vi sono due elementi base:

- ✓ Il range, cioè l'insieme di stati o comportamenti che il sistema può assumere.
- ✓ I tempi ed i costi del cambiamento (il passaggio da uno stato all'altro).

La caratteristica fondamentale della flessibilità è che essa è una misura potenziale, che si manifesta a fronte di accadimento di eventi del mercato che possono essere più o meno prevedibili. In un mercato turbolento come quello attuale, essere flessibili costituisce un fattore di competitività chiave per le aziende.

CAMBIAMENTI ESOGENI	CAMBIAMENTI ENDOGENI
<b>PRODOTTO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lancio di nuovi prodotti</li> <li>• Mutamento delle specifiche cliente</li> <li>• Variazione legislativa-normativa</li> </ul>	<b>PROCESSO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Guasti alle macchine</li> <li>• Scarti e rilavorazioni</li> <li>• Variazione tecnologia di processo</li> </ul>
<b>VOLUMI</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiamento dei volumi assorbiti dal mercato</li> </ul>	<b>ORGANIZZAZIONE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilità tempi di lavoro</li> <li>• Assenteismo</li> <li>• Inserimento e Formazione nuovi assunti</li> </ul>
<b>PIANO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifiche nei piani di consegna</li> </ul>	<b>APPROVVIGIONAMENTO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scarti e resi a fornitore</li> <li>• tempi e ritardi di consegna</li> </ul>
<b>Mix</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiamento del mix produttivo</li> </ul>	

**Figura 2: Cambiamenti che intervengono nella definizione della flessibilità di un sistema produttivo**

All'interno della flessibilità esistono ancora diverse dimensioni di essa:

- ✓ *Flessibilità di prodotto*: indica la capacità di introdurre un prodotto in tempi brevi e a basso costo. Riguarda anche la capacità di fare prodotti con specifiche particolari grazie all'abilità di progettazione e produzione ad hoc. Questa dimensione riguarda quindi le caratteristiche intrinseche della progettazione e della produzione. Essa può essere misurata:
  - Numero di codici di prodotti finiti previsto a catalogo
  - Tempo e costo di introduzione di nuovi prodotti. Si definisce Time To Market il tempo che intercorre tra la concezione di un nuovo prodotto espressione di un bisogno del mercato e la commercializzazione dello stesso.
  - Numero di codici prodotti in un dato periodo di tempo.
- ✓ *Flessibilità di mix*: capacità di cambiare il tipo di prodotto fabbricato in tempi brevi e costi bassi ovvero di produrre un mix vario di prodotti. Tale flessibilità consente di rispondere in modo efficiente a variazioni della domanda dei singoli prodotti di una data gamma, pur nel rispetto del vincolo della capacità aggregata. Un indicatore è definito dal numero di prodotti, appartenenti ad una gamma prefissata che può essere efficientemente realizzato nell'orizzonte di pianificazione minimo utilizzato in azienda. Il tempo di riassorbimento gamma è il tempo necessario per mandare in produzione tutta la gamma dei prodotti in catalogo.
- ✓ *Flessibilità di volume (o elasticità)*: capacità di una macchina o di un impianto di cambiare il volume produttivo (per rispondere al mercato) senza sensibili variazioni del costo unitario di produzione. La modalità principale per ottenere la flessibilità di volume è operare per ottenere una sovracapacità produttiva riferita alle condizioni standard. Inoltre, sono fattori critici anche quelli relativi alla flessibilità dell'orario di lavoro. Si definisce potenzialità produttiva come il livello assoluto di output totale che l'impresa è in grado di conseguire per un determinato mix di prodotti.
- ✓ *Flessibilità di piano (gestionale)*: capacità di variare rapidamente il piano di produzione per far fronte a modifiche/urgenze. Un indicatore è, ad esempio, la capacità di rispondere a richieste, da parte del cliente, di variazione nella composizione di ordini già acquisiti e nei tempi di consegna concordati (anticipi o ritardi).

## 2.2 Qualità

La Qualità è l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un determinato prodotto o servizio che gli permettono di soddisfare esigenze esplicite o implicite del cliente..." (Norme ISO-UNI). Juran ad esempio, con qualità intende la capacità del prodotto di rispondere alle esigenze di uso (fitness for use). In questo senso si parla di qualità di prodotto; si può far riferimento anche alla qualità di processo nel senso di conformità. Anche in questo caso ci sono diverse dimensioni della qualità:

- ✓ *Qualità di progetto*: cioè la caratteristica di un progetto di adattarsi in modo ideale alle aspettative del mercato. Va riferita al prodotto ed al processo di sviluppo nuovi prodotti.
- ✓ *Qualità di conformità*: la caratteristica di realizzare prodotti tutti rigorosamente conformi alle specifiche di progetto. Rilevata ad esempio attraverso la percentuale di scarti o le rilavorazioni. Presso il cliente tale qualità viene misurata ad esempio con il numero di interventi in garanzia.
- ✓ *Qualità come affidabilità*: cioè la capacità di un prodotto o processo di mantenere inalterate nel tempo e nello spazio le proprie caratteristiche funzionali, indipendentemente dalla modalità d'uso. Un indicatore ad esempio è il numero di interventi di assistenza post-garanzia.
- ✓ *Qualità come Manutenibilità*: la capacità di un prodotto o processo di recuperare con facilità le caratteristiche di buon funzionamento, dopo averle perse. Si fa riferimento in questo caso a parametri di manutenzioni quali MTTR (Mean Time to Repair) e MTTF (Mean Time to Failure).
- ✓ *Qualità come valore dell'Assistenza tecnica*: la capacità di un sistema operativo di garantire un'efficace servizio tecnico di supporto all'uso ed alla manutenzione dei propri prodotti. Un indicatore potrebbe essere il tempo medio tra chiamata e intervento.

## 2.3 Servizio

Il servizio indica la capacità di un sistema operativo di soddisfare le esigenze del cliente relativamente alle caratteristiche estrinseche del prodotto (tempi, modalità, informazioni, ..). A seconda della tipologia di azienda (produzione su commessa o su magazzino) esistono varie dimensioni del livello di servizio.

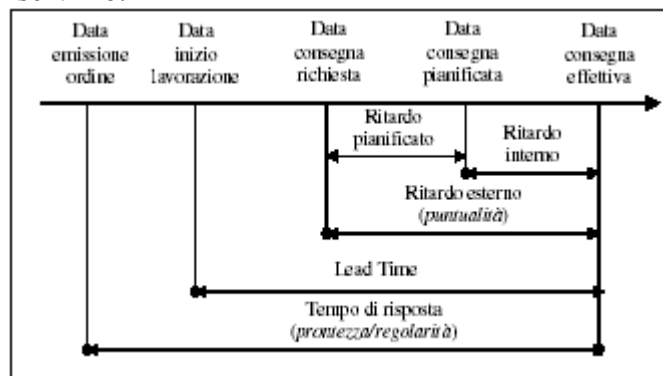


Figura 3: Fasi che determinano l'emissione dell'ordine.

Per esempio nel caso di aziende che producono su commessa, le dimensioni che entrano in gioco nella determinazione del livello di servizio sono:

- ✓ *Prontezza (o tempestività)*: capacità di fornire quanto richiesto in un tempo breve. Indicatori di tale dimensione sono il tempo medio di consegna o la variabilità ammessa degli ordini e anticipo richiesto.
- ✓ *Puntualità*: capacità di minimizzare il numero e l'entità delle commesse consegnate in ritardo (ritardo medio).
- ✓ *Regolarità*: prevedibilità nei tempi di consegna.

✓ *Disponibilità*: capacità di adeguare i propri tempi di consegna alle richieste non ordinarie del cliente; capacità di fornire informazione precise sullo stato di avanzamento dell'ordine.

✓ *Assistenza pre e post-vendita*: tempo medio di intervento.

In casi invece di produzione per il magazzino, la domanda è evasa dal pronto, per cui diventano parametri importanti la completezza e la precisione dell'ordine e la disponibilità delle scorte.

In funzione della dimensione considerata esistono diversi parametri attraverso cui misurare il servizio.

#### **a. Come indice di disponibilità inventariale:**

*nel caso sia registrabile la volontà d'acquisto, ma l'ordine è perso se non evaso entro la data prefissata*

- percentuale di inevasi:  $(\text{numero di ordini inevasi}) / (\text{numero totale ordini nel periodo})$
- percentuale di domanda inevasa:  $(\text{numero di unità inevasi}) / (\text{numero totale di unità nel periodo})$

*nel caso di produzioni su previsione, quando non è possibile registrare il manifestarsi di un ordine*

- frequenza di stock-out:  $(\text{numero periodi con stock-out}) / (\text{numero totale di periodi})$
- entità dello stock-out:  $(\text{giorni cumulati di stock-out}) / (\text{totale giorni del periodo})$

*come indici direttamente legati alle scorte*

- indice di rotazione:  $Ir = (\text{costo della produzione annua}) / (\text{giacenza media a valore})$
- giorni di copertura  $Gc = (\text{giorni lavorativi annui}) / Ir$

#### **b. Come indice di puntualità o affidabilità:**

*nel caso di produzioni su commessa, quando il cliente è comunque disposto ad aspettare*

- percentuale di ordini in ritardo:  $(\text{numero ordini evasi in ritardo}) / (\text{numero totale ordini nel periodo})$
- ritardo medio di consegna:  $(\text{giorni di ritardo cumulati nel periodo}) / (\text{numero totale ordini nel periodo})$

#### **c. Come indice di tempestività o velocità:**

- tempo medio di consegna:  $[(\text{data prima consegna}) - (\text{data ordine})] / \text{numero ordini}$

#### **d. Come indice di flessibilità**

- giorni minimi di anticipo per accettare variazioni d'ordine.

### **3) Prestazioni interne**

#### **3.1 Produttività, capacità produttiva e potenzialità produttiva**

##### **3.1.1 Produttività**

La produttività rappresenta il rapporto tra gli output e le risorse in input impiegate per realizzare quel dato output. Un valore unitario della produttività corrisponde al fatto di avere un completo sfruttamento delle risorse disponibili. La produttività può essere intesa sia in riferimento al sistema produttivo nel suo complesso sia in riferimento ai singoli fattori produttivi. Come è facilmente intuibile, non si ha mai una produttività unitaria. In Figura 4 troviamo una schematizzazione degli indicatori di produttività. Di seguito sono elencate le cause determinanti le perdite di produttività:

- ✓ tempo di non apertura dell'impianto ( $T_{na}$ )
- ✓ tempo di non utilizzo dell'impianto per cause esterne ( $T_{nu}$ )
- ✓ tempo di stand-by (per mancanze materiali, cambio turno, ecc.) ( $T_{sb}$ )
- ✓ tempi fermo macchine/impianti per guasti (compresa la manutenzione preventiva) ( $T_{gm}$ )

- ✓ tempi per set-up e regolazioni (inclusi i tempi per avviamenti ed arresti degli impianti-Tfm) (Tsu+Tfm)
- ✓ tempo perso per periodi di funzionamento a ridotta velocità (Trv)
- ✓ tempo perso per produzione difettosa (inclusa la difettosità di prodotto e le rilavorazioni) (Trc)
- ✓ tempo perso per riduzioni resa quantitativa (Trq)

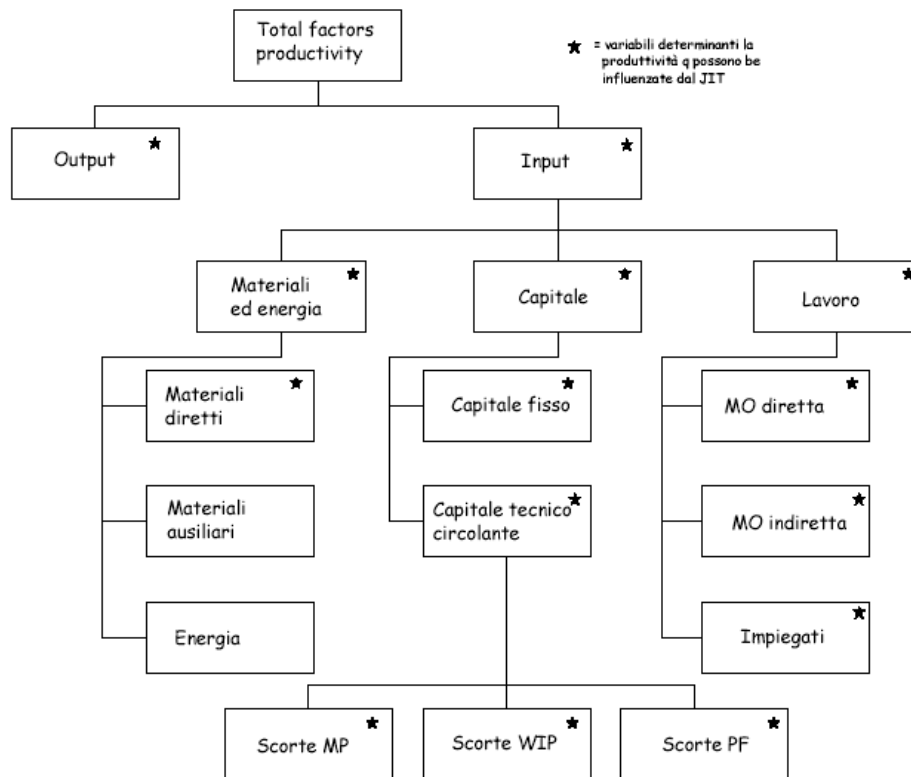


Figura 4: fattori utilizzati per il calcolo della produttività totale

La produttività globale è quindi espressa come  $P = \frac{Q_0}{K + L + M}$  dove con  $Q_0$  abbiamo indicato l'output, con  $K$  il costo del capitale, con  $L$  il costo del lavoro e con  $M$  il costo dei materiali. In riferimento ai singoli fattori produttivi si identifica anche la produttività del capitale ( $Q_0/K$ ), del lavoro ( $Q_0/L$ ) e dei materiali ( $Q_0/M$ ).

### 3.1.2 Capacità produttiva

Esprime la dimensione, considerata su un orizzonte temporale significativo (tipicamente l'anno), dell'output realizzato da un sistema produttivo (pezzi/periodo). Scelte riguardanti la capacità produttiva riguardano il dimensionamento della stessa e le modalità di espansione della capacità. Oltre a ciò bisogna anche definire i relativi meccanismi che consentono di fronteggiare le situazioni della domanda nel breve termine ed i processi di bilanciamento tra i vari stadi del processo produttivo (accumulatore polmone).

$$C_p = \text{Potenzilità produttiva} * \text{Utilizzo} * \text{Resa}$$

$$\frac{\text{pezzi}}{\text{periodo}} = \frac{\text{pezzi}}{\text{ora}} * \frac{\text{Ore utilizzo}}{\text{periodo}} * \%$$

Alla fine del capitolo analizzeremo più in dettaglio la differenza tra la capacità produttiva teorica rispetto a quella effettiva.

### 3.1.3 Potenzialità produttiva

La potenzialità produttiva è uno dei primi concetti di base per l'analisi della struttura produttiva di un'azienda manifatturiera. Essa esprime quanto è in grado di produrre una macchina o un impianto per unità di tempo. Il concetto di potenzialità di un sistema produttivo è assimilabile al concetto di valore massimo atteso dell'output di un sistema. Tuttavia non è possibile dare una definizione operativa di potenzialità produttiva in termini generali, senza riferirsi cioè a una determinata tipologia produttiva. In questo ambito distingueremo due tipi di potenzialità:

- ✓ *Potenzialità di targa*: [unità/ora], è determinato in sede di collaudo all'atto dell'installazione o dopo ogni miglioria significativa. Dovrebbe corrispondere al valore fissato in sede di progetto e garantito dal costruttore dell'impianto. Viene quindi determinata in condizioni ideali per quanto riguarda la manodopera e le materie prime o componenti utilizzati.
- ✓ *Potenzialità di mix*: riporta alle condizioni reali in cui si ha un mix di prodotti mentre la potenzialità di targa fa riferimento ad una produzione monoprodotto. Si definisce potenzialità di mix quella massima ottenibile su periodi medio/lunghi con un mix assegnato di prodotti.

Essa sarà sempre minore rispetto alla potenzialità di targa:  $P_{mix} = \frac{Q_{standard prodotta}}{T_{produzione netto}}$ . Viene calcolata conoscendo i ritmi standard e le percentuali sul volume complessivo di produzione.

### 3.2 Stati di un sistema

Per poter misurare in modo rigoroso la potenzialità produttiva di un singolo impianto, occorre definire preliminarmente gli "stati possibili" dell'impianto stesso, facendo l'ipotesi che sia possibile rilevare il tempo di permanenza dell'impianto nei vari stati. Poiché tali studi di solito sono utili a livello direzionale, le rilevazioni devono essere significative sul medio-lungo termine. In Figura 5 e 6 sono schematizzati gli stati di un impianto. Si deve considerare che quello proposto è solo un modello. In realtà non esiste un modello unico, riconosciuto e utilizzato da tutti ma ogni azienda si crea "l'insieme degli stati possibili".

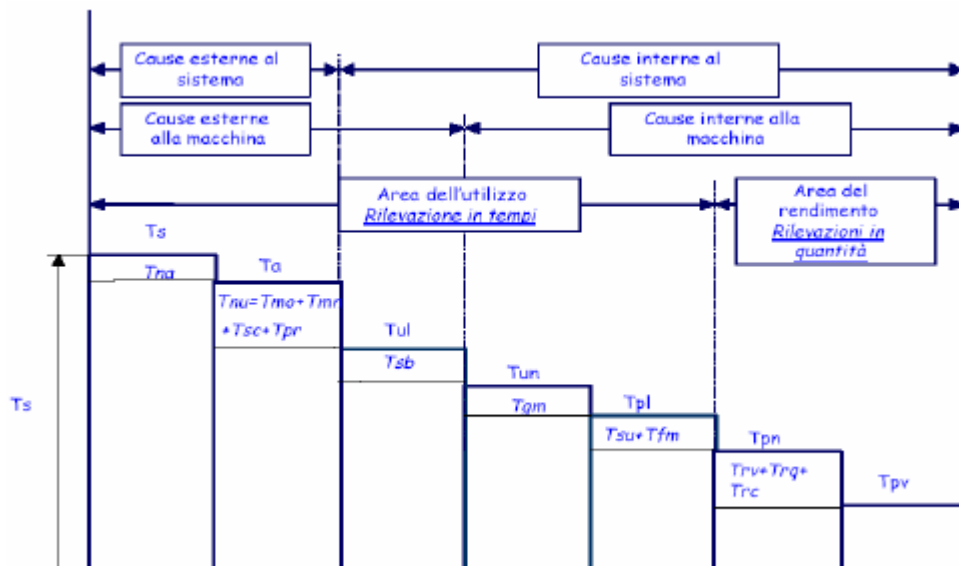


Figura 5: modello rappresentante gli stati possibili di un impianto industriale.

### 3.3 Il concetto di Overall Equipment Effectiveness(OEE)

Si tratta di un indice utilizzato in manutenzione che determina le performance operative totali di un componente. Ha come scopo quello di eliminare le fermate, di aumentare la produttività e di migliorare la qualità in termini di scarti e rilavorazioni ad esempio. Esso è un pannello di controllo per monitorare il processo di miglioramento di un sistema produttivo. È un indice che misura

l'efficacia produttiva della macchina nel tempo programmato, ma 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. Nella Figura 7 sono rappresentate le 16 grandi perdite che determinano il calcolo dell'OEE (riferimento EFESO). Anche questo è solo un modello, in generale n aziende potrebbero utilizzare n modelli diversi anche secondo il grado di complicità desiderato.

Simbolo	Nome	Descrizione	Stato impianto
$T_s$	Tempo solare		
$T_{na}$	Tempo non apertura	Vacanze, festività, eventi imprevisti	Impianto chiuso
$T_a$	Tempo di apertura impianto	L'impianto è aperto ma non necessariamente disponibile. Coincide con il massimo tempo di produzione possibile	Impianto aperto
$T_{nu}$	Tempo di non utilizzo $T_{nu}=t_{mo}+t_{mm}+t_{sc}+t_{pr}$	Connesso a cause esterne: dipende dalla mancanza di ordini ( $t_{mo}$ ), mancanza di materiali ( $t_{mm}$ ), scioperi o assenteismo ( $t_{sc}$ ), prove tecniche, campionature e prove ( $t_{pr}$ ), ecc.	Impianto aperto ma non disponibile per cause esterne; produzione non pianificata
$T_{ul}$	Tempo di utilizzo lordo	L'impianto è aperto e potenzialmente disponibile: le condizioni esterne di produzione sono soddisfatte	Impianto aperto e disponibile
$T_{sb}$	Tempo di stand-by	L'impianto non può essere utilizzato per micro-assenteismo, cambio turno, mancanza materiali a bordo macchina	Impianto aperto e disponibile, ma non utilizzato
$T_{un}$	Tempo di utilizzo netto	L'impianto è aperto e il suo utilizzo è richiesto	
$T_{gm}$	Tempo di Guasto e Manutenzione	L'impianto non può lavorare a causa di guasti e manutenzioni	
$T_{pl}$	Tempo di produzione lordo	E' richiesto l'utilizzo dell'impianto ed esso è disponibile	

Simbolo	Nome	Descrizione	Stato impianto
$T_{su}$	Tempo di set-up	L'impianto non sta producendo a causa di set-up, cambio utensili, pulizia, ecc.	Impianto disponibile ma utilizzato per attività indirette
$T_{fm}$	Tempo per fermate minori	L'impianto è fermo per aggiustamenti minori, piccoli tempi morti	Impianto disponibile ma non operativo
$T_{pn}$	Tempo di produzione netto	L'impianto è utilizzato per produrre a velocità standard di lavoro	Impianto disponibile e utilizzato
$T_{rv}$	Tempo perso per riduzioni di velocità	Perdita di produzione espressa in tempo-macchina dovuta a riduzioni di velocità	
$T_{rq}$	Tempo per riduzione di resa quantitativa (yield)	Perdita di produzione espressa in tempo-macchina dovuta a riduzioni dello yield rispetto allo standard	
$T_{rc}$	Tempo perso per produzioni difettose	Perdita di produzione espressa in tempo-macchina dovuta a scarti o rilavorazioni	
$T_{pv}$	Tempo produzione vendibile	L'impianto opera a velocità standard, producendo prodotti buoni (vendibili) senza scarti	

Figura 6: in riferimento al modello di Figura 5 vengono qui elencate tutte le causali di fermo impianto.

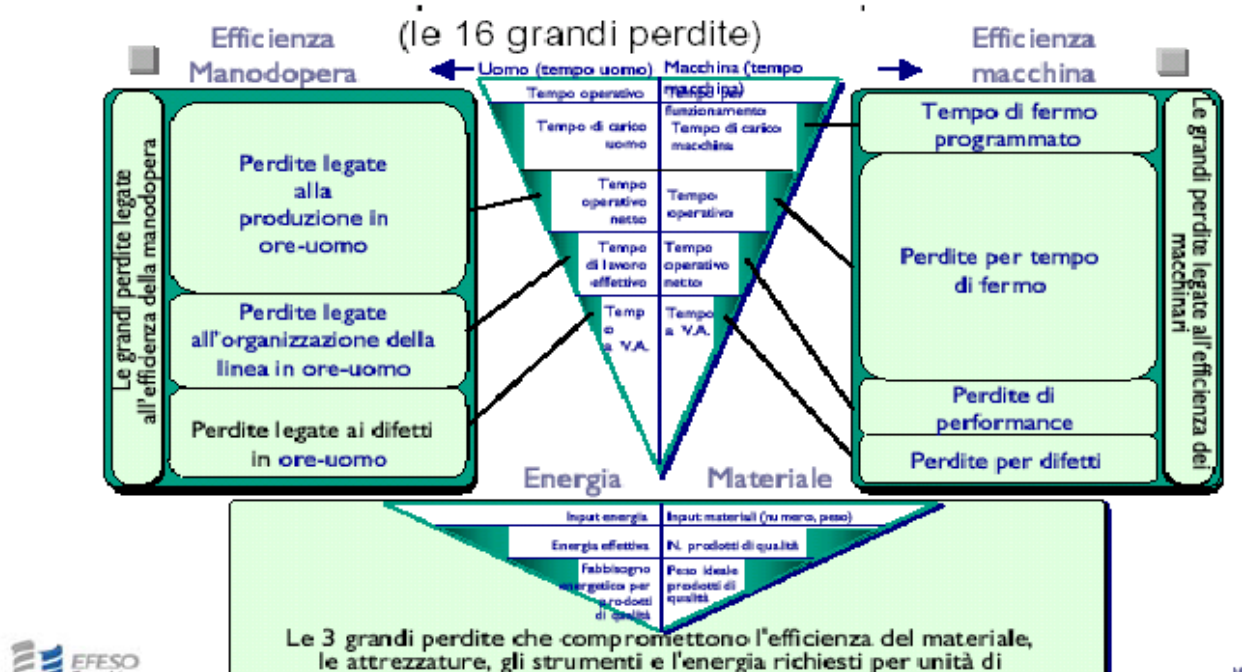


Figura 7: le perdite dell'OEE

La formulazione generale per il calcolo dell'OEE è la seguente:

$$OEE = (A \cdot S) \cdot (R_v \cdot R_q) \cdot R_c$$

Valutiamo ora i singoli fattori che intervengono nel calcolo dell'OEE.

**$(A \cdot S)$**  Questo primo termine indica la disponibilità totale del sistema. La disponibilità  $A$  è data dal rapporto tra il tempo di utilizzo netto sul tempo di utilizzo lordo. Rappresenta quindi un fattore che tiene conto delle perdite dovute a guasti delle macchine presenti anche in caso di manutenzione predittiva, a interventi di manutenzione dipendenti dalle politiche attuate dall'azienda e a scarti nella fase di avvio della produzione a seguito di malfunzionamento.  $S$  invece rappresenta il tasso di saturazione (o setup) definito come il rapporto tra il tempo di produzione netto sul tempo di produzione lordo. Esso fa quindi riferimento a perdite di tempo per setup (l'impianto non funziona per cambio utensili, riattrezzaggi, pulizia,...) e perdite per fermate minori. Nella saturazione sono anche considerati gli scarti e le difettosità di produzione a seguito di un riattrezzaggio dell'impianto.

**$R_v$**  Resa di velocità. Riduzione percentuale della capacità teorica dovuta a rallentamenti, perdite di cadenza dell'impianto. Essa si manifesta tipicamente nei centri che lavorano a flusso ed è un dato dell'andamento della produzione in un periodo.  $R_v = \frac{T_{pn} - T_{rv}}{T_{pn}}$

**$R_q$**  Resa quantitativa. Si manifesta tipicamente come minore saturazione volumetrica di macchine che funzionano per cariche come forni, autoclavi, reattori chimici. Anche questo è un dato dell'andamento della produzione in un periodo.  $R_q = \frac{T_{pn} - T_{rv} - T_{rq}}{T_{pn} - T_{rv}}$

$R_c$  Resa di conformità o resa qualitativa. Essa misura quanto è stato ottenuto in rapporto a quanto si sarebbe potuto ottenere eliminando tutte le cause di non conformità. È dovuta alla presenza di rilavorazioni, scarti, prodotti difettosi ( $Q_s$ ) non vendibile come produzione buona ( $Q_b$ ).

$$R_c = \frac{T_{pn} - T_{rv} - T_{rq} - T_{rc}}{T_{pn} - T_{rv} - T_{rq}}$$

$$R_c = \frac{Q_b}{Q_b + Q_s}$$

Definiti tali parametri (affidabilità, tasso di setup e fattori di resa) riassunti in Figura 8, è ora possibile determinare la capacità produttiva effettiva. Come visto precedentemente, la capacità produttiva teorica è:  $C_{p\text{ teorica}} = P_{mix} \cdot T_a$ . In questo caso si fa riferimento a condizioni teoriche e quindi non si considera la presenza di riduzioni di ritmo, di quantità e di qualità della produzione. Rimanendo ancorati alla realtà e utilizzando i coefficienti definiti precedentemente, si ricava invece la seguente espressione della capacità produttiva teorica:  $C_{p\text{ teorica}} = P_{mix} \cdot (T_{un} \cdot A \cdot S) \cdot R_v \cdot R_q \cdot R_c$ .

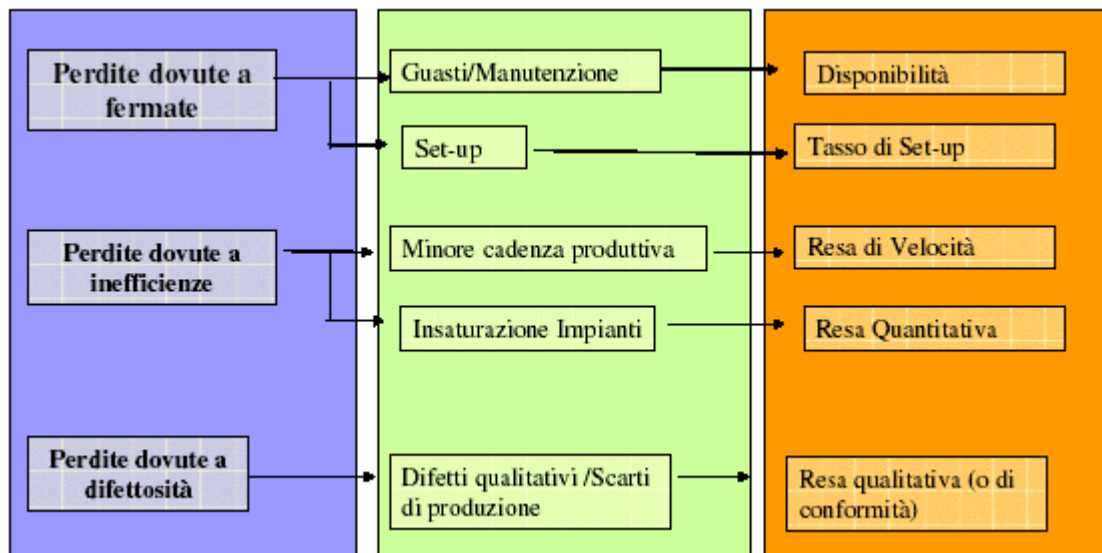


Figura 8: misurazione del grado di efficienza di un impianto.