

Raffaele Secchi

LE MISURE DI PRESTAZIONE DEL  
SISTEMA PRODUTTIVO-LOGISTICO  
GLI INDICATORI DI PRODUTTIVITÀ

*Nota didattica*

## **INDICE**

|  |   |
|--|---|
| 1. La misura della produttività.....                       | 3 |
| 2. La determinazione dell'indicatore di produttività ..... | 3 |
| 2.1. L'indicatore di utilizzo .....                        | 4 |
| 2.2. L'indicatore di rendimento .....                      | 5 |
| 2.3. L'indicatore di produttività.....                     | 6 |
| 3. La produttività dei singoli fattori produttivi .....    | 7 |
| 4. La capacità produttiva.....                             | 8 |

## 1. La misura della produttività

Ad un primo livello di osservazione, in termini aggregati per un'unità produttiva o azienda, la misura della produttività può essere determinata secondo i canoni usuali delle analisi di taglio aziendalistico, impiegando i valori desumibili dal bilancio, come riportato nella tabella 1.

*Tabella 1 - Analisi della produttività aziendale.*

---

$$\text{PRODUTTIVITÀ GLOBALE} = \frac{\text{VENDITE} + \Delta\text{MAGAZZINO}_{\text{PF+WIP}}}{\text{LAVORO} + \text{MATERIALI} + \text{CAPITALE} + \text{ALTRI INPUT}}$$

$$\text{PRODUTTIVITÀ DEL LAVORO} = \frac{\text{VENDITE} + \Delta\text{MAGAZZINO}_{\text{PF+WIP}}}{\text{LAVORO}}$$

$$\text{PRODUTTIVITÀ DEI MATERIALI} = \frac{\text{VENDITE} + \Delta\text{MAGAZZINO}_{\text{PF+WIP}}}{\text{MATERIALI}}$$

$$\text{PRODUTTIVITÀ DEL CAPITALE} = \frac{\text{VENDITE} + \Delta\text{MAGAZZINO}_{\text{PF+WIP}}}{\text{CAPITALE}}$$

$$\text{PRODUTTIVITÀ DEGLI ALTRI INPUT} = \frac{\text{VENDITE} + \Delta\text{MAGAZZINO}_{\text{PF+WIP}}}{\text{ALTRI INPUT}}$$

---

Tali indicatori, costruiti su dati contabili e come tali inficiati da eventuali politiche di bilancio, hanno un valore diagnostico molto limitato. Per disporre di dati significativi a supporto del controllo della produttività risulta invece necessario approfondire l'analisi di tale prestazione, scomponendola nelle sue componenti primarie, l'utilizzo e il rendimento, che costituiscono, di fatto, le condizioni operative che determinano la produttività. Nella trattazione che segue si pongono in evidenza le modalità di calcolo dei due indicatori partendo dal caso di un generico impianto. Successivamente, si estenderà l'analisi nella direzione volta a verificare come i singoli fattori produttivi -la manodopera, gli impianti ed i materiali- contribuiscano al raggiungimento di un dato livello di produttività.

## 2. La determinazione dell'indicatore di produttività

Prima di formalizzare le modalità di calcolo della produttività e delle rispettive componenti primarie, è necessario definire gli stati in cui può trovarsi un impianto produttivo. Fissato T come tempo di apertura impianto, porzione di Ts, tempo solare, è possibile enucleare i seguenti tempi, frazioni del tempo T:

TPb = tempo impiegato per la produzione di pezzi apparentemente buoni;

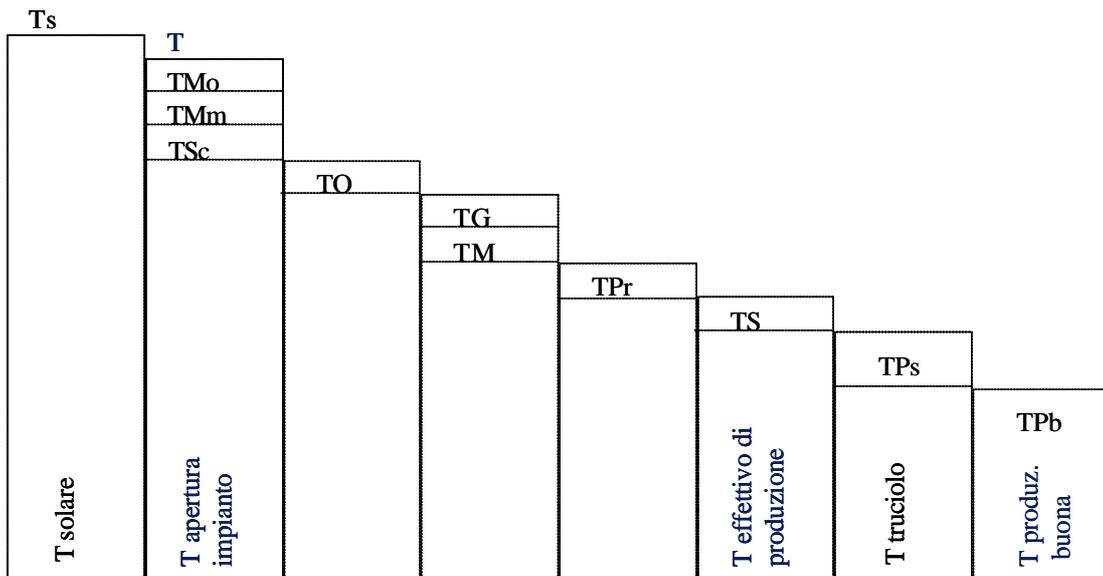
TPs = tempo impiegato per la produzione di pezzi in seguito rivelatisi di scarto;

TS = tempo di mancato funzionamento per riattrezzaggio;

- TPr = tempo impiegato per la produzione di prove e campionature;
- TG = tempo di mancato funzionamento per guasti al macchinario;
- TM = tempo di mancato funzionamento per fermate programmate e manutenzioni;
- TO = tempo di mancato funzionamento per cause organizzative di reparto, quali attese, microassenteismo, etc.
- TMo = tempo di mancato funzionamento per mancanza ordini;
- TMm = tempo di mancato funzionamento per mancanza materiali;
- TSc = tempo di mancato funzionamento per cause sindacali

Il tempo effettivo di produzione, pari al tempo impiegato per realizzare la produzione buona (QB), quella di scarto (QS) ed il connesso tempo di *set up* (TS), risulta pertanto pari al tempo di apertura impianto, al netto dei tempi variamente assorbiti dai diversi stati classificati. In proposito si veda la figura 1.

Figura 1 - Stati possibili di impianto.



Una volta definiti gli stati in cui può trovarsi un impianto, è possibile approfondire l'analisi della produttività mediante la scomposizione del relativo indice nei coefficienti di utilizzo e rendimento.

### 2.1. L'indicatore di utilizzo

Il coefficiente di utilizzo  $U$  può essere generalmente espresso come il rapporto tra due tempi, calcolati al netto e al lordo di intervalli espressivi di particolari stati possibili dell'impianto:

$$U = \frac{\text{Tempo effettivo di produzione}}{\text{Tempo di apertura impianto}}$$

$$U = \frac{T - TMo - TMm - TSc - TO - TG - TM - TP r}{T} \quad [1]$$

ovvero

$$U = \frac{\sum_i [(TPb_i + TPS_i) + TS]}{T} \quad [2]$$

ove il pedice  $i$  esprime l'insieme dei prodotti realizzati nel periodo considerato.

L'esempio racchiuso in tabella 2 permette di evidenziare la sostanziale coincidenza del calcolo dell'indice di utilizzo sulla base delle diverse formule presentate.

Tabella 2 *Dati relativi a un generico impianto per un dato periodo di riferimento*

| Dati generali di impianto | Dati prodotto 1       | Dati prodotto 2       |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| T = 750 ore               | QB1 = 200000 unità    | QB2 = 240000 unità    |
| TS (std) = 20 ore         | QS1 = 4800 unità      | QS2 = 1200 unità      |
| TS (eff) = 21 ore         | RS1 = 800 (unità/ora) | RS2 = 600 (unità/ora) |
| TMo = 14 ore              | TPb1 = 260 ore        | TPb2 = 407 ore        |
| TMm = 4 ore               | TPs1 = 8 ore          | TPs2 = 3 ore          |
| TM = 9 ore                |                       |                       |
| TO = 5 ore                |                       |                       |
| TG = 12 ore               |                       |                       |
| TPr = 7 ore               |                       |                       |

Applicando l'equazione [1]:

$$U = (750 - 51) / 750 = 0,93$$

Applicando, invece, l'equazione [2]:

$$U = [(260 + 8 + 407 + 3) + 21] / 750 = 0,93$$

## 2.2. L'indicatore di rendimento

Il concetto di rendimento si riferisce, invece, al rapporto  $h$  tra la produzione effettivamente versata a magazzino valorizzata in ore standard e le ore effettive di produzione:

$$h = \frac{\text{Produzione effettiva valorizzata in ore std.}}{\text{Tempo effettivo di produzione}}$$

$$h = \frac{\sum_i [(QB_i + QS_i) / RS_i] + \overline{TS}}{\sum_i (TPb_i + TPS_i) + TS} \quad [3]$$

ove il pedice  $i$  esprime l'insieme dei prodotti realizzati nel periodo considerato e  $RS_i$  esprime il *ritmo produttivo standard*<sup>1</sup>, ovvero le unità relative al prodotto  $i$  che possono essere ottenute nell'unità di tempo in condizioni operative normali (per esempio, 30 pezzi/ora).

Riprendendo i dati contenuti nella tabella 2, è possibile calcolare l'indicatore di rendimento secondo quanto espresso nell'equazione 3.

$$h = \frac{(200.000 + 4.800) / 800 + (240.000 + 1.200) / 600 + 20}{260 + 8 + 407 + 3 + 21} = 0,97$$

### 2.3. L'indicatore di produttività

Una volta determinati singolarmente utilizzo e rendimento, è possibile giungere al calcolo dell'indicatore sintetico di produttività inteso come prodotto dei due termini suddetti.

$$P = U \times h = \frac{\text{Tempo effettivo di produzione}}{\text{Tempo di apertura impianto}} \times \frac{\text{Produzione effettiva valorizzata in ore std.}}{\text{Tempo effettivo di produzione}}$$

Appare tuttavia rilevante sottolineare il potenziale diagnostico che emerge dalla scomposizione dell'indice aggregato di produttività: ad esempio, a fronte di un calo di tale prestazione all'interno di una linea produttiva, l'osservazione degli indici di utilizzo e di rendimento può migliorare la lettura e l'interpretazione del fenomeno, aumentando l'efficacia di provvedimenti correttivi. In caso di rendimenti allineati nel tempo e utilizzi decrescenti, è opportuno orientare l'indagine all'interpretazione di cause quali scioperi, assenteismo, mancanza ordini e materiali ed altri elementi di indisponibilità; al contrario, in presenza di coefficienti di utilizzo stabili nel tempo e rendimenti decrescenti, le cause del calo di produttività possono risiedere nelle modalità di incentivazione delle maestranze o nella manifesta inadeguatezza degli standard applicati, talvolta resi rapidamente obsoleti dall'evoluzione delle tecnologie di prodotto e processo.

<sup>1</sup> È possibile definire il ritmo standard unitario per un generico prodotto  $i$  come  $1/TSU_i$  dove  $TSU_i$  è il tempo standard unitario del prodotto  $i$ .

### 3. La produttività dei singoli fattori produttivi

Dopo aver formalizzato il calcolo dell'utilizzo e del rendimento per un generico impianto, può essere opportuno, sotto il profilo diagnostico, scomporre la produttività dei singoli fattori produttivi, come illustrato nella tabella 3.

Tabella 3 - La scomposizione della produttività dei fattori.

| FATTORE    | PRODUTTIVITÀ =  | UTILIZZO   | x   | RENDIMENTO  |   |
|------------|---|--|---|---|---|
| Manodopera | $\frac{\text{Volumi prodotti}}{\text{Numero addetti}}$      | $= \frac{\text{Ore lavorate effettive}}{\text{Ore pagate}}$      | x   | $\frac{\text{Vol. prod. valor. ore std.}}{\text{Ore lavorate effettive}}$ |   |
| Impianti   | $\frac{\text{Volumi prodotti}}{\text{Cap. prod. instal.}}$  | $= \frac{\text{Tempo eff. prod.}}{\text{Tempo apert. impianto}}$ | x   | $\frac{\text{Vol. prod. valor. ore std.}}{\text{Tempo eff. prod.}}$       |   |
|            | RESA  | =  | RESA LORDA  | x   | RENDIMENTO  |
| Materiali  | $\frac{\text{Volumi prodotti}}{\text{Materiali impiegati}}$ | =  | $\frac{\text{Consumi teorici}}{\text{Consumi effettivi}}$ | x   | $\frac{\text{Volumi ottenuti}}{\text{Consumi teorici}}$ |

Per quanto concerne la manodopera, la produttività viene espressa dal rapporto tra volumi prodotti e manodopera impiegata; in tal caso è possibile scomporre l'indicatore aggregato in utilizzo della manodopera, dato dal rapporto tra ore effettivamente lavorate, dichiarate a cartellino, ed ore pagate, e rendimento della stessa, espresso dal rapporto tra volumi prodotti, valorizzati in ore standard, ed ore effettivamente impiegate.

Analoghe considerazioni possono essere svolte per la produttività degli impianti, pari ai volumi prodotti rapportati alla capacità produttiva installata, in cui l'indice di utilizzo confronta le ore macchina (capacità produttiva effettivamente utilizzata) con le ore di apertura impianto (capacità produttiva installata) e l'indice di rendimento esprime il rapporto tra volumi prodotti valorizzati in ore standard e ore macchina effettivamente impiegate.

Lievemente differente appare il calcolo della produttività dei materiali, in cui l'indicatore aggregato, più correttamente definito *resa dei materiali*, è pari al rapporto tra volumi ottenuti e materiali consumati. In tal caso è possibile scomporre l'indicatore in *resa teorica o lorda*, data dal rapporto tra consumi teorici di materiali (a standard) e consumi effettivi, e *rendimento*, dato dal confronto tra volumi ottenuti e consumi teorici, tutti espressi in misure fisiche omogenee. È il caso, per esemplificare, di un calzaturificio che, a fronte di uno standard di consumo assegnato di materiali (pelle), accusi consumi effettivi maggiori, per l'incidenza di *sfridi* superiori al previsto, e ottenga un numero di scarpe inferiore alle attese, per la presenza di scarti in sede di montaggio. In tal caso si sottolinea che il fenomeno degli *sfridi* superiori allo standard, essendo connaturato alle caratteristiche del materiale, evoca il concetto di *resa*

(nell'esempio, inferiore all'unità), mentre il fenomeno degli *scarti*, connesso al più generale processo produttivo, può essere associato al concetto di rendimento.

#### 4. La capacità produttiva

Benché di fatto non costituisca una misura di produttività, la capacità produttiva fornisce significative indicazioni che possono supportare il processo decisionale del management dell'area produttiva. La valutazione di tale misura consente, infatti, di disporre di un dato aggregato relativo ai volumi di produzione ottenuti o attesi da linee, impianti o macchinari specifici.

Prima di entrare nel dettaglio del calcolo della capacità produttiva, occorre premettere la trattazione della misura della *potenzialità produttiva*, che esprime quanto ha prodotto o quanto è in grado di produrre una macchina, uno stadio del processo o il processo intero in una data unità di tempo.

Nel caso si faccia riferimento ad un insieme di prodotti lavorati secondo un mix assegnato, è possibile definire la misura effettiva della potenzialità di mix come:

$$P_{mix} = \frac{\text{quantità totale prodotta}}{\text{ore impiegate per produrre il mix assegnato}}$$

In termini più analitici, la potenzialità effettiva di mix risulta pari a:

$$P_{mix} = \frac{\sum_i (QB_i + QS_i)}{\sum_i (TPb_i + TPS_i) + TS} \quad (\text{unità/ora}) \quad [4]$$

ove  $\sum_i (QB_i + QS_i)$  esprime il numero di unità (o le quantità) buone o di scarto realizzate in un dato periodo in cui l'impianto è stato in funzione e  $\sum_i (TPb_i + TPS_i) + TS$  esprime il tempo dedicato per la produzione del medesimo insieme di prodotti (buoni e di scarto), più il tempo totale di *set up*, impiegato per il riattrezzaggio della macchina nelle alternanze tra i prodotti appartenenti alla famiglia lavorata.

La potenzialità effettiva di mix è un dato che è possibile determinare a consuntivo, una volta completata la produzione di un periodo preso a riferimento. Essa non deve essere confusa con la potenzialità standard di mix, che, stimata ex-ante, indica le quantità di un mix assegnato che un impianto è in grado di produrre nell'unità di tempo. La formulazione analitica della potenzialità standard di mix è la seguente:

$$P_{mix} = \frac{\sum_i (QB_i + QS_i)}{\sum_i [(QB_i + QS_i) / RS_i] + \overline{TS}} \quad (\text{unità/ora}) \quad [3]$$

Trattandosi di una stima effettuata in tempi standard,  $\overline{TS}$  rappresenta il tempo di riattrezzaggio totale standard.

Nella tabella 4 è riportato un esempio di calcolo della potenzialità standard di mix relativo ad un impianto che produce due prodotti.

Tabella 4 - Esempificazione del calcolo della potenzialità standard di mix

| PRODOTTO 1  | PRODOTTO 2  |
|---|---|
| QB1 = 200000 unità<br>QS1 = 4800 unità<br>RS1 = 800 (unità/ora)<br>TPb1 = 250 ore<br>TPs1 = 6 ore | QB2 = 240000 unità<br>QS2 = 1200 unità<br>RS2 = 600 (unità/ora)<br>TPb2 = 400 ore<br>TPs2 = 2 ore |
| $\overline{TS} = 20$ ore  |   |

$$P_{mix} = \frac{200.000 + 4.800 + 240.000 + 1.200}{\frac{200.000 + 4.800}{800} + \frac{240.000 + 1.200}{600} + 20} = 657,82 \quad (\text{unità/ora})$$

La potenzialità standard è espressa in unità di mix (con mix dato e costante); nel caso in cui, invece, si voglia esprimere la potenzialità in unità specifiche di prodotto, diviene necessario ricorrere al calcolo in unità equivalenti, come di seguito illustrato (in unità equivalenti del prodotto 1):

$$P_{mix} = \frac{200.000 + 4.800 + (240.000 + 1.200) \cdot 800 / 600}{\frac{200.000 + 4.800}{800} + \frac{240.000 + 1.200}{600} + 20} = 776,4 \quad (\text{unità/ora})$$

È opportuno osservare che le problematiche di misura della potenzialità produttiva aumentano progressivamente passando dal caso di una macchina singola o di un unico stadio del processo produttivo, ad un insieme di macchine o al sistema produttivo nel suo complesso, in quanto le rilevazioni di stato dell'impianto risultano significative se applicate ad ogni macchina appartenente ad un reparto e non già se affrontate per valori cumulati. Limitandoci ai caratteri distintivi delle due realtà produttive -*job shop* e linee a flusso continuo- poste agli estremi dello spettro potenzialmente osservabile, si rileva che nel *job shop* la potenzialità e gli indici derivati dipendono strettamente dal mix produttivo, in verità amplissimo, e dai criteri ai quali è improntata la programmazione della produzione. La possibilità di processare un mix teoricamente illimitato, secondo criteri di carico macchine vincolati da esigenze di lavorazioni

specifiche, su macchine fortemente sottosature, o dalla presenza di colli di bottiglia significativi, limitano in misura notevole ogni possibile stima di potenzialità attesa, che risulta di fatto misurabile solo con criteri probabilistici, legati a particolari ipotesi di mix e di disponibilità; in proposito si rammenta che nel *job shop* generalmente si assiste ad una netta prevalenza, sotto il profilo della disponibilità, delle ore macchina rispetto alle ore uomo, alle quali, risultando la risorsa scarsa, vanno parametrare le misure di potenzialità attesa.

A tali difficoltà di rilevazione e stima, si contrappone la relativa facilità con cui può, all'occorrenza, essere modificata la potenzialità di una struttura *job shop*: date le sue caratteristiche, infatti, è possibile incrementare con gradualità la potenzialità del sistema, attraverso investimenti di ampliamento in singole macchine o operatori, finalizzati a rimuovere, almeno temporaneamente eventuali strozzature o ipersaturazioni.

Quanto accennato non risulta invece fattibile nelle realtà caratterizzate da linee a flusso, per le quali le potenzialità sono modificabili con incrementi assai onerosi, dipendenti da veri e propri investimenti di ristrutturazione o di ampliamenti in parallelo di linee complete o per significative sezioni di impianto; per contro, in tali casi, la potenzialità attesa e gli indici di utilizzo e rendimento, possono essere calcolati con relativa facilità, operando rilevazioni e stime per linee indipendenti, considerate, in virtù delle caratteristiche di monoliticità e di sostanziale vocazione monoprodotto (o monofamiglia), alla stregua di un singolo macchinario. Le prestazioni di una linea, infine, sono strettamente dipendenti dalle cautele osservate in sede di progetto, dalle modalità di programmazione della produzione e dalla criticità assegnata alle attività di manutenzione; la rilevanza delle economie di scala, infatti, impone per tali fattispecie produttive attese di elevati rendimenti, nonché disponibilità ed utilizzi prossimi ai livelli di saturazione.

In conclusione si sottolinea che, a prescindere dalla tipologia di processo osservata, in presenza di palesi strozzature nel flusso fisico (colli di bottiglia), utili indicazioni gestionali possono derivare operando "per criticità", ovvero limitandosi alla rilevazione e stima delle misure legate alle particolari macchine o fasi interessate dal fenomeno.

Introdotta il concetto di potenzialità, è possibile ora determinare la capacità produttiva di un impianto, definita dal prodotto tra la potenzialità standard di mix, corretta mediante il coefficiente di rendimento, e il tempo di apertura impianto T, ridotto attraverso il coefficiente di utilizzo. Esprimendo il concetto in formule si ha:

$$CPD' = P_{mix} \cdot h \cdot T \cdot U \quad (\text{unità}) \quad [5]$$

Sostituendo infatti U e  $\eta$  e  $P_{mix}$  con le formule [2], [3], [4] e semplificando, si ottengono le quantità buone e di scarto QB+QS; rimane pertanto dimostrato come la [5] indichi, in una logica *ex-post*, la capacità produttiva del periodo, ovvero il volume di produzione ottenuto in base agli stati in cui il sistema produttivo si è trovato ad operare.

È evidente, tuttavia, che tale informazione ha sicuramente un significato maggiore se viene proiettata nel futuro, per effettuare, in un'ottica *ex-ante*, una verifica di adeguatezza della capacità produttiva disponibile a fronte di possibili piani commerciali. In questo caso T rappresenterà il tempo di apertura impianto previsto, mentre per utilizzo e rendimento è possibile far riferimento a dati storici. In tal modo si giunge ad una stima della produzione attesa presumibilmente prossima a quella effettiva perché rettificata con valori di utilizzo e rendimento desunti dal passato; nel caso si prevedano significative variazioni degli stati possibili di impianto è opportuno sostituire tali valori ai dati storici.

#### **BIBLIOGRAFIA**

Grando A. (1995), *Organizzazione e Gestione della Produzione Industriale*, EGEA, Milano