



Economia Aziendale Online

Economia Aziendale Online

**Business and Management Sciences
International Quarterly Review**

**La Manutenzione: Funzione Vitale per le
Imprese. La Total Productive Maintenance**

Piero Mella

Pavia, June 30, 2021
Volume 12 - N. 2/2021

www.ea2000.it
www.economiaaziendale.it



PaviaUniversityPress

Electronic ISSN 2038-5498
Reg. Trib. Pavia n. 685/2007 R.S.P.

La Manutenzione: Funzione Vitale per le Imprese. La Total Productive Maintenance

Piero Mella

Full Professor
Department of Economics and
Management. University of Pavia,
Italy

Corresponding Author:

Corresponding Author:
Piero Mella
University of Pavia, Via S. Felice 5,
27100 Pavia, Italy
Email: piero.mella@unipv.it

Cite as:

Mella, P. (2021). La Manutenzione:
Funzione Vitale per le Imprese. La
Total Productive Maintenance.
Economia Aziendale Online, 12(2),
205-223.

Section: *Refereed Paper*

Received: March 2021
Published: 30/06/2021

ABSTRACT

I costi di manutenzione e di mantenimento dell'efficienza degli impianti giocano un ruolo importante per garantire l'economicità delle aziende e delle istituzioni. Gli impianti sottoposti a scarsa manutenzione diventano inefficienti e riducono la qualità progettuale dei prodotti, aumentando i costi, diretti e indiretti, di non conformità del prodotto. Aumentano, parallelamente, anche i costi delle attrezzature e riducono la produttività della "forza lavoro" funzionale agli impianti stessi; lievitano i costi di prevenzione e ispezione dei difetti; e, soprattutto, si accresce il rischio che vengano fabbricati prodotti difettosi che dovranno essere riparati o sostituiti e il rischio che si generino scarti di produzione non "riprocessabili". Macchinari con scarsa manutenzione possono comportare tempi di fermo macchina più o meno prolungati che costringono altre unità produttive, sia a monte che a valle, ad arrestarsi, con conseguenti costi significativi per manodopera improduttiva, mancato rispetto dei termini di consegna, penali, perdita di immagine e persino una perdita di clienti. Per evitare tutti questi inconvenienti non bastano *riparazioni ex post* per ripristinare la funzionalità di impianti inefficienti. L'azienda invece deve attuare una *politica di prevenzione* che, per quanto possibile, eviti l'insorgere di difetti o il funzionamento anomalo delle macchine. Nel mondo odierno della produzione altamente informatizzata e automatizzata, con un sempre più ampio uso di macchinari automatici e di robot che funzionano collegati in serie e in parallelo, la moderna manutenzione non è più una reazione episodica a guasti e malfunzionamenti, ma un'attività che deve essere concepita come un nuovo servizio aziendale le cui caratteristiche si estendono sempre più a tutta l'organizzazione. Questa nuova funzione di manutenzione è denominata Total Productive Maintenance (TPM). TPM combina il "metodo occidentale" di manutenzione preventiva con il metodo "giapponese" di Total Quality Management, che coinvolge personale ad ogni livello aziendale. In questo breve studio esaminerò le diverse tipologie di manutenzione e la nuova politica aziendale della "TPM", che prevede che il "controllo" dell'efficienza dei macchinari e degli impianti non sia funzione di un singolo Ufficio specializzato ma venga attuata dall'intera organizzazione.

Maintenance and plant efficiency costs play an important role to ensure the economy of companies and institutions. Poorly maintained plants become inefficient and reduce design quality, thereby increasing product non-compliance costs. They also increase equipment costs and reduce the productivity of the functional labor force at the plants themselves; increase the costs of preventing and inspecting defects; and, above all, increase the risk that defective products will be manufactured which will need to be repaired or replaced and that non-reprocessable production waste will be produced. Machinery with

poor maintenance can result in more or less prolonged downtimes that force other production units, both upstream and downstream, to shut down, resulting in significant costs for unproductive manpower, a failure to meet the terms of delivery, penalty payments, a loss of image, and even a loss of customers. To avoid all these inconveniences, repairs ex post to restore the functionality of inefficient plants is not enough. The company instead must implement a *policy of prevention* that, as much as possible, avoids the emergence of defects or abnormal functioning of the machines. In today's world of highly computerized and automated production, with an ever wider use of automatic machinery and robots that work connected *in series* and *in parallel*, modern maintenance is no longer an episodic reaction to failures and malfunctions, but an activity that must be conceived of as a new business service whose features increasingly extend throughout the organization. This new maintenance function is called Total Productive Maintenance (TPM). TPM combines the "Western method" of preventive maintenance with the "Japanese" method of Total Quality Management, which involves personnel at every business level. In this short study I will examine the different types of maintenance and the new company policy of "Total Productive Maintenance" (TPM), which provides that the "control" of the efficiency of machinery and systems is not the function of a single specialized office but is implemented by entire organization. In this short study I will examine the different types of maintenance and the new company policy of "TPM", which provides that the control of the efficiency of machinery and systems is not the function of a single specialized office but is implemented by entire organization.

Keywords: produttività; qualità; manutenzione; costi di manutenzione; costi di non conformità; tipologie di manutenzione; manutenzione ordinaria; manutenzione migliorativa; o manutenzione preventiva; manutenzione condizionata; manutenzione "predittiva"; Computerized maintenance management system; norme ISO; norme UNI e UNI EN; Total Productive Maintenance; TPM; logica delle "5S" ; gli 8 PILLARS della TPM.

1 – Introduzione. La Manutenzione incide sulla *qualità* e sulla *produttività*

L'economia moderna può essere interpretata come un sistema unitario di aziende che produce *progresso collettivo* come conseguenza degli sforzi di *miglioramento individuale* da parte delle unità produttive (Mella, 2017). Com'è noto, o facilmente dimostrabile, *qualità* e *produttività* sono variabili fondamentali da cui dipende il *progresso collettivo* e sono necessarie, a livello aziendale individuale, per l'economicità e la produzione di risultato operativo (EBIT), variabili che rendono evidente il *miglioramento individuale*. Su di esse tutte le imprese concentrano i loro sforzi economici e orientano le loro politiche, procedure e routine. Kaizen (Imai 1986; Tanaka 1994), Just-in-time e Quality deployment processes sono un esempio dell'impegno di tutte le imprese nel miglioramento individuale per l'innalzamento dei livelli di qualità e di produttività (Mella, 2021, Chap. 10).

Da un *punto di vista aziendale*, la *qualità* influisce risultato operativo prevalentemente dal lato dei ricavi. Poiché il consumatore percepisce il valore del prodotto in base al rapporto che egli stima tra qualità e prezzo, è logico attendersi che un *aumento* della qualità del prodotto e/o dei servizi associati possa, tra le altre cose, incrementare la quota di mercato e la fedeltà del consumatore, rendendo possibile sia conseguire maggiori volumi di vendite, sia aumentare il prezzo senza ridurre la domanda (Mella, 2018b; Mella, 2019).

La *produttività* condiziona il risultato operativo primariamente dal lato dei costi; dai livelli di produttività dipendono, infatti i consumi dei fattori materiali e della mano d'opera, in quanto un aumento della produttività riduce le quantità unitarie di materie e di mano d'opera, riducendone il costo, a parità di altre circostanze. Una riduzione dei livelli di produttività, al contrario, impone un aumento dei costi dei fattori e del lavoro per ottenere gli stessi volumi di prodotto (Mella, 2018a).

Al controllo di queste due variabili si associano costi *specifici* e costi *indiretti* (Albright & Roth, 1994; Rosenfeld, 2009).

I *costi specifici* della *qualità* sono relativi alle funzioni di controllo e miglioramento della qualità: tra i molti, i costi di ispezione delle materie e delle componenti in ingresso, i costi per

controllo dei processi di fabbricazione o di erogazione dei servizi ai clienti, i costi di richiamo, riparazione e sostituzione delle unità difettose. I costi *indiretti* sono quelli connessi ai reclami dei clienti, con necessità di concedere sconti e abbuoni, nonché quelli conseguenti alla riduzione della quota di mercato e delle vendite nel breve periodo.

I *costi specifici* per controllare la *produttività* sono, tra i molti: quelli relativi ai processi di selezione, aggiornamento e qualificazione di dipendenti, quelli di reengineering e di ristrutturazione di processi produttivi per migliorare le prestazioni dei macchinari e dei collaboratori. I *costi indiretti* per la *produttività* sono quelli relativi all'assenteismo per incidenti di lavoro e malattie professionali e quelli connessi all'impossibilità di ridurre i prezzi di vendita (Mella, 2018b).

Vi è, però, una "classe di costi" comune al mantenimento sia della qualità delle produzioni sia della produttività: sono i costi per il mantenimento dell'efficienza delle macchine e degli impianti e il miglioramento del parco macchinari. Questi costi possono essere denominati, nel loro complesso, *costi di manutenzione* o, più ampiamente, costi di manutenzione, riparazione, miglioramento e incremento della capacità (Dhar & Nandi, 2016).

2 – La manutenzione è una colonna portante della sostenibilità aziendale

I *processi di manutenzione* dei macchinari, degli impianti e delle attrezzature sono indispensabili non solo per evitare inefficiente produttive che riducono la produttività del lavoro, quali i fermi macchina per rotture e altri incidenti, i rallentamenti dei processi di lavorazione, di stoccaggio e di consegna ma sono altrettanto fondamentali per evitare il decadimento nel tempo degli standard qualitativi dei prodotti e dei servizi (qualità progettuale o di processo). In questo senso, la manutenzione costituisce una delle colonne portanti della "sostenibilità" aziendale perché in mancanza una corretta, tempestiva e appropriata manutenzione in tutti i processi aziendali, l'organizzazione rischierebbe di avviarsi verso un periodo di progressivo declino *produttivo* – costi sempre più elevati e produttività in calo – e di *mercato*, poiché la qualità si riduce con diminuzione della soddisfazione del consumatore o dell'utente.

Nel mondo odierno della produzione altamente informatizzata e automatizzata, con un sempre più ampio uso di macchinari automatici e di robot che funzionano collegati in serie e in parallelo, la moderna manutenzione non deve più essere considerata come una reazione episodica a guasti e malfunzionamenti, ma un'attività che deve essere concepita come un nuovo "servizio aziendale" volto non solo al *mantenimento* delle condizioni di vita dell'organizzazione produttiva e di mercato ma anche al *miglioramento* dell'efficienza e della qualità di tutti i processi aziendali.

Per questo, tale nuovo "servizio aziendale" deve essere "pervasivo" e "ubiquo": non deve essere posto a carico di alcuni operatori incaricati, o di un Ufficio specializzato o di un reparto di intervento ma deve estendersi a tutta l'organizzazione e monitorare ogni aspetto di essa che, nel tempo, possa rivelare qualche probabilità di malfunzionamento o qualche forma di "decadimento". Questa nuova caratteristica della manutenzione è denominata "Total Productive Maintenance" (TPM) e può essere considerata una politica aziendale che *integra* il "metodo occidentale" di manutenzione preventiva con il "metodo giapponese" della Total Quality Management, che coinvolge il personale ad ogni livello aziendale (Al-Hassan et al., 2000); ogni membro dell'organizzazione deve acquisire la motivazione al mantenimento e al miglioramento dell'integrità aziendale e deve essere dotato degli opportuni strumenti conoscitivi e operativi (Jostes & Helms, 1994). (Paragrafo 6).

Obiettivo di questo breve articolo è una riflessione sulle basi della TPM, sui suoi fondamenti, con una sintesi dei "pilastri" organizzativi su cui si fonda. Per collocare la TPM in un contesto di riferimento, pur senza entrare negli aspetti tecnici, considererò le differenti, più note, tipologie di manutenzione, fino a introdurre la "Total Productive Maintenance", che ha come sua base fondante il concetto che il controllo dell'efficienza dei macchinari e degli impianti non

debba essere funzione di soli operatori specializzati ma venga attuata dall'intera organizzazione.

La struttura del lavoro è articolata come segue: nei Paragrafi 3 e 4 saranno presentate le nozioni fondamentali, evidenziando i "livelli" e le "tipologie" dei processi di manutenzione, intesi come processi tecnici in senso, per così dire, tradizionale. Per la sua rilevanza ai fini dell'efficienza produttiva, la manutenzione è stata oggetto delle norme UNI e EN, una sintesi delle quali è presentata al Paragrafo 5. I Paragrafi 6 e 7 introducono le origini, la logica, i vantaggi e le tecniche di implementazione della Total Productive Maintenance. I temi collegati alla manutenzione che non si sono potuti approfondire in questo lavoro, sono evidenziati al Paragrafo 8.

3 – Due livelli di Manutenzione

Come punto di partenza, ricordo che, comunque sia interpretato, il processo di manutenzione richiede interventi a diversi livelli che rivestono una particolare importanza per il mantenimento in efficienza degli impianti e ciò comporta costi *specifici* e *generici* spesso di dimensione rilevante.

Equipment maintenance represents a significant component of the operating cost in transportation, utilities, mining, and manufacturing industries. The potential impact of maintenance on the manufacturing performance is substantial. Maintenance is responsible for controlling the cost of manpower, material, tools, and overhead ... (Ahuja and Khamba, 2008, p. 710).

Secondo la normativa UNI, la manutenzione è definita, in generale, come:

Combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenere o a riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta (UNI 13306/2018/2.1).

Per mantenere gli impianti in efficienza occorrono interventi *saltuari* (riparazione e ripristino) e *periodici* (prevenzione e miglioramento) che richiedono mano d'opera, energie, attrezzature dedicate, spesso sofisticate, consumo di materiali e consulenze per conoscenze tecniche, i cui costi sono classificabili proprio come *costi diretti di manutenzione*.

Impianti con scarsa manutenzione diventano inaffidabili e inefficienti e incidono negativamente sull'efficienza dei processi che li utilizzano riducendo la qualità progettuale, facendo sorgere o aumentando i *costi di non conformità* dei prodotti e dei servizi e fanno lievitare i costi di *prevenzione* e di *ispezione* dei difetti (Ebeling 1997); ma, soprattutto, accrescono il rischio di ottenere produzione difettosa da riparare o da sostituire, oltre che aumentare gli scarti di produzione "non riprocessabile". La manutenzione è particolarmente necessaria per "macchinari complessi" (aeromobili, navi, sistemi di assemblaggio, ecc., composti da "parti sistematicamente connesse" (motori, quadri di controllo, impianti di raffreddamento, carrelli, ecc.) che possono subire guasti indipendentemente una dall'altra così che la scarsa manutenzione delle singole parti componenti può provocare *fermi macchina* più o meno prolungati che costringono le altre unità produttive, sia a monte sia a valle, ad arrestare la propria attività, con conseguenti notevoli costi per mano d'opera improduttiva, impossibilità di rispettare i termini di consegna, pagamento di penali, perdita di immagine e anche perdita dei clienti; i *fermi macchina* incrementano, inoltre, i costi e i tempi di attrezzaggio perché rendono necessaria la continua riprogrammazione della produzione con una riduzione della produttività del lavoro (Mella, 2021) (Figura 1).

Per evitare tutti questi inconvenienti non sono sufficienti interventi di riparazione, ex post, per ripristinare la funzionalità degli impianti diventati inefficienti; è necessario, invece, che l'impresa attui una *politica di prevenzione* che, nei limiti del possibile, eviti il manifestarsi di guasti

o di funzionamenti anomali delle macchine, introducendo una specifica funzione aziendale di *Manutenzione sistematica* cui è demandata la *pianificazione della manutenzione*.

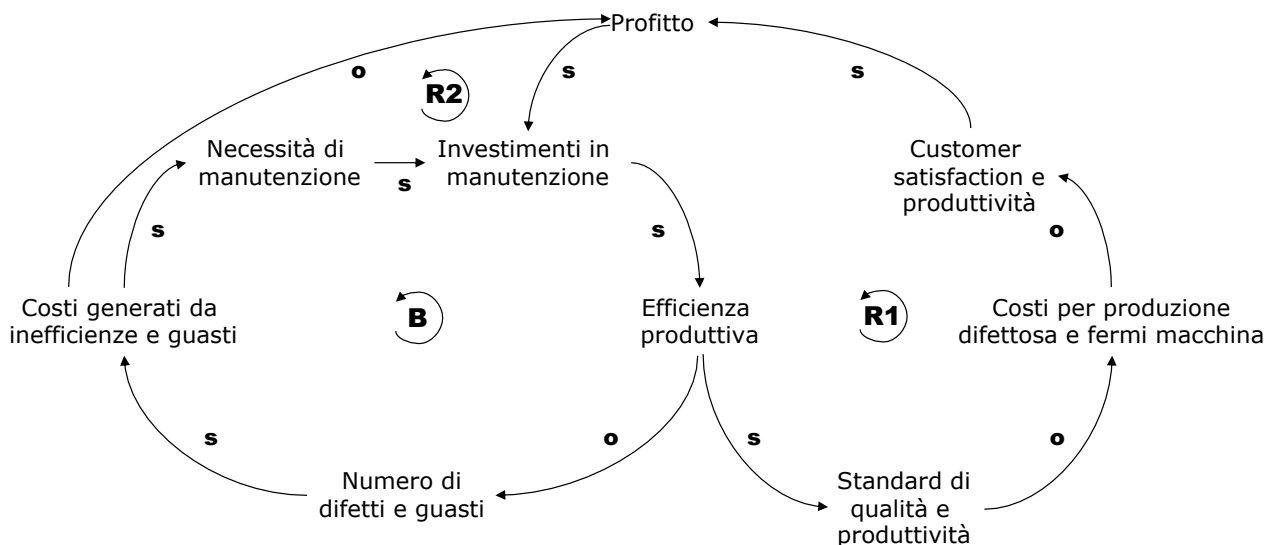


Fig. 1– **Necessità e utilità della manutenzione** (fonte: elaborazione da Mella, 2021, p. 602)

Secondo una prima classificazione, si distingue tra manutenzione *ordinaria* e *straordinaria*, secondo la terminologia tipica delle manutenzioni nell’edilizia, la cui principale differenza risiede proprio nella loro ricorrenza durante l’utilizzo dei macchinari e degli impianti (in generale, “plant” o “impianti”).

a. *Ordinary maintenance* (o *ordinary repair*), o manutenzione ordinaria, comprende prevalentemente la manutenzione di *riparazione*, *ripristino* e *correttiva*, nonché la *manutenzione preventiva di routine* durante il ciclo di vita dell’impianto al fine di:

- mantenere l’integrità originaria del bene;
- mantenere o ripristinare l’efficienza dei bene;
- contenere il normale degrado d’uso;
- garantire la vita utile del bene;
- far fronte ad eventi accidentali;
- ridurre al minimo la durata dei fermi macchina.

b. *Extra-Ordinary maintenance*, o manutenzione straordinaria, comprende le azioni di manutenzione *migliorativa* e la *manutenzione preventiva rilevante*, che comporta revisioni degli impianti per migliorarne l’efficienza a la durata in quanto:

- possono prolungarne la vita utile e/o, in via subordinata, migliorarne l’efficienza, l’affidabilità, la produttività, la manutenibilità e l’ispezionabilità;
- mantengono le caratteristiche originarie (standard di fabbrica, dimensionamento, valori costruttivi, etc.) e la struttura essenziale;
- non comportano variazioni di destinazioni d’uso del bene;
- cercano di ridurre al minimo la frequenza dei fermi macchina e la loro durata.

4 – Tipi di Manutenzione

In una più ampia e articolata visione, si possono ulteriormente distinguere diversi tipi di interventi manutentivi; in particolare:

a) *Ordinary* (or Breakdown maintenance, or Run-to-failure maintenance, or Reaction maintenance) o manutenzione ordinaria di riparazione; è di tipo “reattivo” e viene eseguita

dopo che si è verificato un guasto e cerca di riportare un macchinario, un impianto o una attrezzatura nello stato in cui possano svolgere la funzione richiesta.

Run-to-failure is a maintenance strategy where maintenance is only performed when equipment has failed. Unlike unplanned & reactive maintenance, proper run-to-failure maintenance is a deliberate and considered strategy that is designed to minimize total maintenance costs (Dutschke, 2014, online).

b) *Corrective maintenance*, manutenzione migliorativa, secondo la quale è necessario verificare e migliorare continuamente l'adeguatezza degli impianti a svolgere le loro lavorazioni anche al mutare dei materiali trattati e dei prodotti da ottenere. Per eliminare le inefficienze e la riduzione di produttività di un impianto non adeguato – pure in assenza di guasti – è necessario migliorarne le funzioni ricorrendo a modifiche tecniche appositamente ideate. I principali interventi della Corrective Maintenance sono rivolti anche al miglioramento della affidabilità degli impianti (improving the reliability) già in uso da tempo, e alla semplificazione delle forme di manutenzione (improving equipment maintainability) (Steinbacher and Steinbacher, 1993; Higgins et al., 1995).

The purpose of corrective maintenance is improving equipment reliability, maintainability, and safety; design weaknesses (material, shapes); existing equipment undergoes structural reform; to reduce deterioration and failures, and to aim at maintenance-free equipment (Ahuja and Khamba, 2008, p. 713).

c) *Preventive and Time-Based maintenance*, o manutenzione preventiva; è eseguita prima che un guasto si sia verificato, proprio per evitarne l'accadimento; può essere programmata a intervalli regolari, indipendentemente dallo stato of dell'impianto, o a intervalli decisi sulla base di parametri prestabiliti; fa ampio ricorso a modelli statistici e di ricerca operativa (McCall, 1965; Kyriakidis and Dimitrakos, 2006) e anche alla opinione di esperti (Wang and Zhang, 2008).

[Preventive maintenance is] An equipment maintenance strategy based on replacing, or restoring, an asset at a fixed interval regardless of its condition. Scheduled restoration tasks and replacement tasks are examples of preventive maintenance tasks (Gulati et al. 2010).

Maintenance prevention often functions using the learning from earlier equipment failures, product malfunctioning, feedback from production areas, customers and marketing functions to ensure the hassle free operation for the existing or new production systems (Ahuja and Khamba, 2008, p. 714).

La manutenzione preventive richiede un impegno diffuso nell'organizzazione produttiva perché sono richieste ispezioni quotidiane, controllo dei segnali delle apparecchiature di controllo e immediato ripristino degli impianti quando si verifica un malfunzionamento, al fine di riprendere il loro utilizzo. Nella manutenzione preventiva rientra la *manutenzione programmata* – o *manutenzione sistematica* – che viene svolta a intervalli regolari (Time-based Maintenance), tempificata in modo adeguato al tipo di impianto: giornaliero, settimanale, mensile e anche annuale (lubrificazione, cambio di valvole, cinghie, sensori, chip, lampadine, ecc.) (Sharma et al., 2012, p. 859).

d) *Condition based maintenance* and *Reliability centered maintenance*, o manutenzione correlata alle condizioni e all'affidabilità dell'impianto; rientra tra le forme di manutenzione preventiva a cadenze non regolari e comprende gli interventi di prevenzione subordinati alla verifica di una determinata condizione di un impianto, accertata sulla base di variabili di funzionamento, quali, ad esempio, il chilometraggio, la temperatura media e massima, le vibrazioni, la lubrificazione, il numero di battute pressa, il tempo di attività, etc. (Brook & Foszcz. 1998), evitando gli svantaggi che possono derivare da un eccesso di prevenzione (p. es. evitare di sostituire una componente di un impianto se non viene rilevato una condizione di usura che rende necessario l'intervento).

e) *Predictive maintenance*, o manutenzione “predittiva”, che, facendo uso di tecniche di intelligenza artificiale, analisi dei big data, confronti analogici con altre situazioni, consente di riconoscere la presenza di un’anomalia “in stato di avanzamento” attraverso la scoperta e l’interpretazione di “segnali deboli”, *premonitori* del guasto; questa forma di manutenzione è andata diffondendosi grazie alla capacità di monitoraggio raccolta e analisi dei dati “emessi” dalla macchina, e alla capacità di sviluppare strumenti tecnologici in grado di apprendere e fornire nuove informazioni elaborando i dati ottenuti (Yam *et al.* 2001). Il monitoraggio è reso possibile grazie a una sofisticata “sensoristica” che rileva in ogni istante e in tempo reale le condizioni dell’impianto consentendo di attuare un intervento manutentivo soltanto alla presenza di un’avaria potenziale, indipendentemente dai piani di manutenzione programmata.

Predictive maintenance (PdM) is maintenance that monitors the performance and condition of equipment during normal operation to reduce the likelihood of failures. Also known as condition-based maintenance, predictive maintenance has been utilized in the industrial world since the 1990s (Reliable Plant, 2021, online).

The biggest application for predictive maintenance is in the manufacturing sector. As manufacturing plants continue to face demand to increase productivity, several maintenance strategies have been created and implemented. However, a majority of these have been reactive. Many facilities possess a mindset of “if it’s not broke, don’t fix it.” Unfortunately, this mindset contributes to unplanned maintenance and downtime (ibidem).

Le diverse forme di manutenzione si possono applicare in diversi contesti produttivi e operativi; è utile distinguere tra:

1. *manutenzione individuale* che viene attuata per singoli impianti e macchinari che presentano ritmi di usura loro propri in quanto adibiti ad una specifica funzione (singolo tornio, singolo aeromobile, singola nave, singolo motore, ecc.);

2. *manutenzione collettiva* che ha per oggetto una “popolazione” di impianti simili che svolgono analoghe lavorazioni e sono disposti, normalmente, “in parallelo” (macchinari del reparto presse, tutti gli impianti di assemblaggio, il parco dei mezzi di trasporto, le scialuppe di salvataggio di una nave da crociera, ecc.); quando gli impianti funzionano in parallelo formano sistemi denominati “ridondanti” in quanto il malfunzionamento di uno o pochi impianti non compromettono l’operatività del sistema;

3. *manutenzione sistemica* che riguarda impianti anche dissimili che, però, operano contemporaneamente (congiuntamente), formando un unico *sistema produttivo/operativo* – denominato “non ridondante” – che nel suo complesso, garantisce servizi unitari (impianti operanti nella catena di assemblaggio in una fabbrica, impianti che garantiscono il servizio di trasporto ferroviario o aereo a navale, il sistema di illuminazione, di fornitura dell’acqua, dei punti di illuminazione, ecc.). In queste situazioni, per garantire la funzionalità/funzionamento dell’intero sistema, è necessario prevedere una manutenzione che intervenga su tutti gli impianti contemporaneamente operanti, per evitare che il malfunzionamento di uno abbia come conseguenza, l’arresto del sistema stesso (il malfunzionamento di una pressa blocca le lavorazioni successive dei materiali che derivano dalla sua attività, un danno ad un macchinario in una sala operatoria compromette un intervento, il malfunzionamento dell’elica, oppure delle caldaie o dell’impianto elettrico può bloccare l’operatività di una nave intera, ecc.).

Per lo sviluppo di un efficiente metodo di manutenzione, diventa essenziale gestire, spesso in tempo reale, grandi quantità di dati e di informazioni relative agli impianti e alle loro parti componenti, tra le quali: struttura, funzionamento, cronologia delle apparecchiature, attività per le quali gli impianti sono utilizzati, variabili di funzionamento, personale addetto, forme di controllo, programmi di riparazione e loro programmazione, inventari dei pezzi di ricambio e fornitori di servizi di manutenzione. Per questo, nessun sistema di manutenzione può

funzionare in modo efficiente senza l'aiuto offerto da un "sistema computerizzato di gestione della manutenzione" (*Computerised maintenance management system* (CMMS) che appare particolarmente necessario non solo per raccogliere, classificare ed elaborare i dati ma anche per la pianificazione stessa degli interventi di manutenzione: programmare ordini di lavoro, accelerare l'invio di chiamate agli addetti alla manutenzione in caso di guasto e stabilire la priorità degli interventi in caso di guasti multipli contemporanei (Swanson, 1997; Fernandez et al., 2003; Bagadia, 2006).

Computerised Maintenance Management Systems (CMMSs) are vital for the coordination of all activities related to the availability, productivity and maintainability of complex systems. Modern computational facilities have offered a dramatic scope for improved effectiveness and efficiency in, for example, maintenance. Computerised maintenance management systems (CMMSs) have existed, in one form or another, for several decades (Labib, 2008, p. 1).

Nel caso di *manutenzione migliorativa*, il sistema computerizzato è indispensabile per elaborare la programmazione temporale con le tecniche di programmazione reticolare, per es. PERT, CPM, Gantt, etc. (Mella, 2021), che consentono di ridurre al minimo i fermi macchina, determinando le "attività più urgenti" e quelle che possono ammettere "slittamenti" nelle date di inizio o variazioni nella durata (Kelley e Walker, 1959; Woolf 2007; Pinedo 2009) I CMMS sono necessari anche per calcolare e controllare i costi dei progetti di miglioramento e ampliamento degli impianti e dei macchinari.

5 – Norme internazionali e nazionali (Cenni)

Anche le norme internazionali ISO – sviluppate dall'organizzazione internazionale per la normalizzazione (ISO, (International Organization for Standardization) – considerano i processi di manutenzione, anche se tali norme sono inserite in contesti più ampi. In particolare, nella ISO 9000 (UNI EN ISO 9000:2000) vengono definiti i requisiti per la realizzazione, in un'organizzazione, di un "sistema di gestione della qualità", al fine di regolare i processi aziendali, migliorare l'efficacia e l'efficienza nella realizzazione del prodotto e nell'erogazione del servizio con il fine di incrementare la "soddisfazione del cliente". La norma ISO 9000 specifica il lessico per le norme ISO 9001 e 9004. Il cliente e la sua soddisfazione sono al centro della ISO 9001, emessa nel 2000 e revisionata nel 2005 e in *step* successivi. L'edizione corrente è applicabile ad ogni tipo di organizzazione e prevede la definizione delle procedure e delle rilevazioni per ogni singolo processo e macro-processo identificato all'interno di ogni area dell'organizzazione: direzione aziendale, pianificazione, commerciale, marketing, progettazione, approvvigionamento, produzione, vendita/installazione/erogazione del prodotto/servizio offerto.

La *manutenzione* è richiamata dalla ISO 9000 in quanto considerata strumento per migliorare la qualità e la soddisfazione del cliente. Relativamente ai *processi di manutenzione*, le norme ISO 9000 hanno lo scopo di:

- Fornire un insieme organico di procedure per
 - l'attuazione e la documentazione delle operazioni di manutenzione correttiva e preventiva,
 - la gestione delle attrezzature e delle loro scorte,
 - la formazione del personale produttivo addetto a operazioni di manutenzione fino al 3° livello.
- Gestire
 - gli interventi di ripristino della funzionalità (manutenzione correttiva),
 - i controlli periodici atti a prevenire l'insorgenza di guasti sistematici di cui si ha conoscenza storica, nell'ottica di aumentare la disponibilità operativa delle macchine coinvolte nel processo produttivo.

- Introdurre metodologie di formazione per la ricerca ed analisi del guasto da parte del personale manutentivo e produttivo, nell'ottica di introduzione della manutenzione produttiva-ispettiva e della manutenzione predittiva (su condizione).
- Ridurre i costi di esercizio, snellire le operazioni e migliorare la qualità e l'organizzazione del lavoro.

La manutenzione è esaminata, in modo più ampio e dettagliato, in norme europee, EN (laborate dal CEN, Comité Européen de Normalisation) unitamente a norme nazionali, UNI, che offrono le definizioni delle diverse tipologie di manutenzione, come indicato nella sintesi che segue.

Manutenzione (UNI 9910, UNI 10147, UNI EN 13306/2018/2.1)

Combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un'entità, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un'entità in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta. *Nota.* Le azioni di manutenzione tecnica comprendono osservazione e analisi dello stato dell'entità (per esempio ispezione, monitoraggio, collaudo, diagnosi, prognosi, ecc.) e azioni di manutenzione attiva (per esempio riparazione, ricondizionamento)

Manutenzione a guasto o correttiva (UNI 9910, UNI EN 13306/2018/7.5)

La manutenzione eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare un'entità nello stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta.

Manutenzione ciclica (UNI 10147)

Manutenzione preventiva periodica in base a cicli di utilizzo predeterminati.

Manutenzione migliorativa (UNI 10147)

Insieme delle azioni di miglioramento o piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale del bene.

Manutenzione predittiva (UNI EN 13306)

Manutenzione preventiva effettuata a seguito dell'individuazione e della misurazione di uno o più parametri e dell'extrapolazione secondo i modelli appropriati del tempo residuo prima del guasto.

Manutenzione preventiva (UNI EN 13306, UNI 9910)

Manutenzione eseguita a intervalli predeterminati o in accordo a criteri prescritti e volta a ridurre la probabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un'entità.

Manutenzione secondo condizione (vedere UNI EN 13306)

Manutenzione preventiva subordinata al raggiungimento di un valore limite predeterminato.

6 – Verso la “Total Productive Maintenance”

Se consideriamo la manutenzione come una forma di controllo dell'efficienza di un impianto – funzionale per garantire i necessari livelli di produttività e di qualità – possiamo rappresentare la *strategia di controllo dell'efficienza degli impianti* con il modello di Figura 2 che considera, contemporaneamente, le varie forme di manutenzione come *leve di controllo* e che introduce la Total Productive Maintenance (Shirose, 1996; Sharma & Kodali 2008).

Nella realtà produttiva altamente informatizzata e automatizzata – che si avvale di impianti e macchinari automatici sofisticati, a guida elettronica – per innalzare gli standard di qualità e i livelli di produttività del lavoro (Bhadury, 2000), la manutenzione moderna, non è più un fatto episodico di reazione ai guasti e ai malfunzionamenti, ma deve essere concepita come un nuovo

servizio aziendale, con caratteristiche sempre più esteso in tutta l'organizzazione, le cui caratteristiche possono essere così delineate:

- Il lavoro di manutenzione si trasforma in lavoro programmabile;
- La funzione di manutenzione si trasforma in unità responsabile.
- La manutenzione è chiamata a programmare, coordinare e controllare;
- La formazione del personale assume un ruolo fondamentale.
- La moderna manutenzione è chiamata anche a migliorare e conservare i dispositivi per la sicurezza e la salute del lavoratore. È necessaria un'opera di responsabilizzazione.

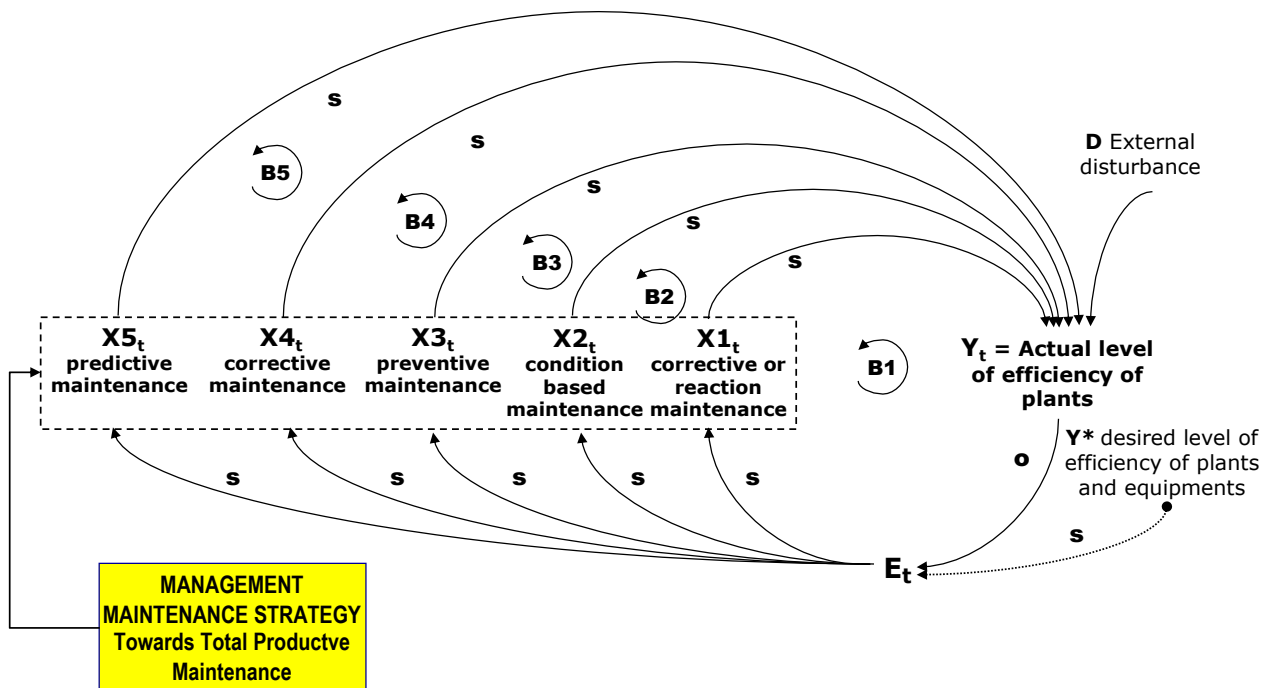


Fig. 2 – Maintenance strategy, Towards Total Productive Maintenance (fonte, Mella, 2021, p. 604)

Questo nuovo ruolo della manutenzione è denominato Total Productive Maintenance (TPM).

TPM is a unique Japanese philosophy, which has been developed based on the Productive Maintenance concepts and methodologies. This concept was first introduced by M/s Nippon Denso Co. Ltd. of Japan, a supplier of M/s Toyota Motor Company, Japan in the year 1971. Total Productive Maintenance is an innovative approach to maintenance that optimizes equipment effectiveness, eliminates breakdowns and promotes autonomous maintenance by operators through day-to-day activities involving total workforce ... (Ahuja and Khamba, 2008, p. 715).

[TPM] can be considered as the medical science of machines. Total Productive Maintenance (TPM) is a maintenance program which involves a newly defined concept for maintaining plants and equipment. The goal of the TPM program is to markedly increase production while, at the same time, increasing employee morale and job satisfaction (Venkatesh, 2007, p. 3).

The TPM concept is used to maintain the equipment in optimum condition to prevent unexpected breakdowns, speed losses and quality defects occurring from process activities. Zero defects, zero accidents and zero breakdowns are the three ultimate goals of TPM (Jain et al., p. 298).

TPM was introduced to achieve the following objectives. The important ones are listed below.

- Avoid wastage in a quickly changing economic environment.
- Producing goods without reducing product quality.
- Reduce cost.
- Produce a low batch quantity at the earliest possible time.
- Goods sent to the customers must be non defective (ibidem).

La TPM, che si sta diffondendo in tutti i paesi industrializzati (Hartmann, 1992; Willmott, 1994; Raouf & Ben-Daya, 1995), combina il “metodo occidentale” della manutenzione preventiva con quello “giapponese” del Total Quality Management (Miyake & Enkawa, 1999), che prevede il coinvolgimento degli operatori a qualsiasi livello aziendale. L’aggettivo “total” assume, infatti, tre significati:

- a. Efficienza totale: indica la ricerca di efficienza produttiva, ma anche economica e finanziaria;
- b. Sistema totale di manutenzione: include la manutenzione reattiva, quella correttiva, quella preventiva e quella proattiva;
- c. Partecipazione di tutti i dipendenti e prevede la manutenzione autonoma, eseguita dagli operatori in piccoli gruppi.

Secondo lo Japan Institute of Plant Maintenance, la TPM è caratterizzata da cinque finalità fondamentali (Nakajima, 1988, 1989; Jain et al., 2014):

1. Massimizzare l’efficacia complessiva degli impianti;
2. Stabilire un accurato sistema di manutenzione preventiva per l’intera vita dell’impianto;
3. Responsabilizzare tutte le funzioni della fabbrica;
4. Coinvolgere tutto il personale;
5. Promuovere la manutenzione produttiva attraverso una “gestione motivante”, con l’attività svolta da piccoli gruppi autonomi.

Lo sviluppo di un sistema di TPM si fonda su otto “pilastri” (8 PILLARS), cioè sull’adozione sistematica di pratiche di gestione della manutenzione.

The basic practices of TPM are often called the pillars or elements of TPM. The entire edifice of TPM is built and stands, on eight pillars (Sangameshwaran and Jagannathan, 2002). TPM paves way for excellent planning, organizing, monitoring and controlling practices through its unique eight-pillar methodology (Ahuja & Khamba, 2008, p. 720).

The core TPM initiatives classified into eight TPM pillars or activities for accomplishing the manufacturing performance improvements include Autonomous Maintenance; Focused Maintenance; Planned Maintenance; Quality Maintenance; Education and Training; Office TPM; Development Management; and Safety, Health and Environment (ibidem, p. 721).

7 – Implementare la Total Productive Maintenance. Gli 8 PILLARS e le “5S”

Tra i vari strumenti gestionali per rilevare guasti e difetti nei macchinari, fondamentali per la realizzazione degli 8 PILLARS, particolarmente rilevante è quello indicato come primo PILLAR e denominato “5S PILLAR” – il cui nome deriva dalle iniziali di cinque termini giapponesi (con equivalenti in lingua inglese) – già considerati fondamentali nell’ambito del *Lean-thinking* e del *Lean-Kaizen* (Suárez-Barraza & Ramis-Pujol, 2012). Secondo il “5S PILLAR” è necessario, prima di tutto percepire e descrivere i problemi di manutenzione, problemi che non possono essere percepiti chiaramente in mancanza di organizzazione e di ordine dei posti di lavoro e degli operatori che li occupano (Productivity, 1999; Park et al., 2012). Pulire e organizzare il posto di

lavoro aiuta gli operatori a scoprire i problemi; rendere visibili i problemi rappresenta, pertanto, il primo passo per migliorare la manutenzione e l'efficienza dei macchinari e degli impianti (Ireland e Dale, 2001; Jain et al 2014).

Il significato delle "5S PILLAR" può essere sintetizzato nella colonna destra della Tabella 1.

5S – TERMINI GIAPPONESI	5S – TERMINI INGLESI EQUIVALENTI	TRADUZIONE IN ITALIANO	CONTENUTO
Seiri	<i>Sort</i>	Organizzazione	Per una diffusa <i>maintenance policy</i> , è necessario catalogare, ordinare e organizzare gli strumenti (articoli o items) da tenere sotto osservazione come articoli critici, articoli importanti, usati di frequente, articoli inutili e articoli che non sono necessari in quel momento. Gli items inutili o indesiderati possono essere recuperati ad altro uso. Gli elementi critici devono essere conservati per l'uso nelle vicinanze; gli strumenti che non verranno utilizzati in un prossimo futuro, dovrebbero essere conservati in qualche luogo. Come conseguenza del Sort, il tempo di ricerca dei vari strumenti viene ridotto. Per questo passaggio, il valore di ogni <i>item</i> dovrebbe essere deciso in base all'utilità e non al costo.
Seiton	<i>Systematise</i>	Ordine	Per "ordine" si intende che "Ogni oggetto ha una sua collocazione e una sola". Gli articoli dovrebbero essere riposti dopo l'uso nello stesso posto. Per identificare facilmente gli articoli, devono essere utilizzate targhette e cartellini colorati. A tale scopo è possibile utilizzare cremagliere verticali disponendo sul fondo gli oggetti pesanti.
Seiso	<i>Sweep</i>	Pulizia	Deve sempre essere effettuata la pulizia del luogo di lavoro senza sbavature, grasso, olio, rifiuti, rottami, ecc. Non lasciare cavi allentati, fili appesi o perdite d'olio dalle macchine.
Seiketsu	<i>Standardise</i>	Standardizzazione	I dipendenti devono discutere insieme e decidere gli standard per mantenere pulito il posto di lavoro, le Macchine e i percorsi. Questi standard sono implementati per l'intera organizzazione e vengono testati/ispezionati in modo casuale.
Shitsuke	<i>Self - Discipline</i>	Autodisciplina	Considerare le "5S" come uno stile di vita che deve portare all'autodisciplina tra i dipendenti di organizzazione. Ciò include indossare badge, seguire le procedure di lavoro, puntualità, dedizione all'organizzazione ecc.

Tab. 1 – La logica delle "5S" su cui si basa la TPM (fonte: elaborazione da Ventkatesh, 2005, online, p. 7)

Gli altri PILLAR su cui si fonda la TPM, che la rendono non solo una tecnica ma anche una "filosofia gestionale", sono indicati in Figura 3 (ci sono diverse versioni degli 8 pillars; vedi: Jain et al., 2014; Rodrigues & Hatakeyama, 2006; Ahuja & Khamba, 2008).

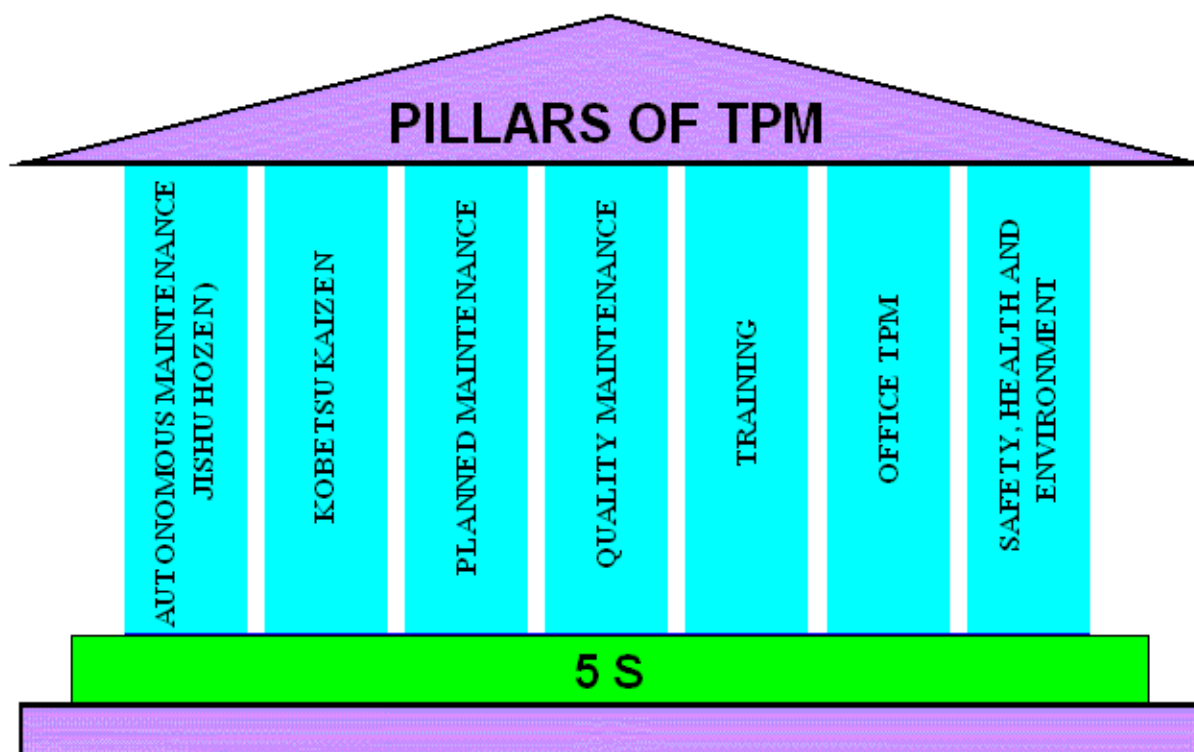


Fig. 3 – Gli 8 PILLARS su cui si basa la TPM (Fonte: Venkatesh, 2015, online)

Assunto come base il PILLAR 1, delle “5S”, gli altri 7 pilastri possono essere così sintetizzati:

PILLAR 2 – AUTONOMOUS MAINTENANCE.

Tutti gli operatori devono sviluppare competenze minime per essere in grado di occuparsi di piccoli compiti di manutenzione, alleggerendo il compito delle maestranze qualificate per la manutenzione che possono dedicare più tempo ad attività a valore aggiunto e a riparazioni tecniche di una certa complessità. Gli operatori devono poter essere responsabili della manutenzione della propria attrezzatura per evitarne il deterioramento.

PILLAR 3 – KAIZEN.

Anche nella manutenzione tutte le persone nell'organizzazione devono applicare la logica del Kaizen (Barrazza et al., 2009) cioè del *cambiamento continuo per piccoli miglioramenti*. Il principio alla base del Kaizen è che – salvo casi eccezionali – piccoli miglioramenti diffusi e in numero molto elevato sono più efficaci di quanto non lo siano pochi miglioramenti di grande costo. Le tecniche del Kaizen non sono limitate alle aree di produzione ma possono essere implementate anche nelle aree amministrative.

PILLAR 4 – PLANNED MAINTENANCE.

Occorre un programma di manutenzione dettagliato che consenta di avere macchine e attrezzature in efficienza, senza problemi di affidabilità, che producono prodotti privi di difetti per la totale soddisfazione del cliente.

PILLAR 5 – QUALITY MAINTENANCE.

Occorre puntare sempre alla massima qualità progettuale, per garantire la *soddisfazione del cliente* attuando una produzione priva di difetti. Le non conformità dei prodotti devono essere eliminate in modo sistematico cercando di comprendere quali parti degli impianti e delle attrezzature influiscano sulla qualità del prodotto; una volta rese chiare le fonti di difettosità, si

inizia con eliminare i problemi di qualità attuali, per poi passare allo studio e alla previsione dei problemi potenziali di qualità. Occorre, in altre parole abituare il personale ad un comportamento proattivo (garanzia della qualità) e non solo reattivo (controllo di qualità). La Quality Maintenance consiste nel definire le condizioni delle apparecchiature che eliminino i difetti di qualità, mantenendo ogni attrezzatura sempre efficiente per mantenere la perfetta qualità dei prodotti. Si possono impiegare le tecniche delle carte di controllo che rilevino l'andamento dei parametri di qualità in tempo reale.

PILLAR 6 – TRAINING.

Occorre avere dipendenti motivati e multi-qualificati il cui morale sia alto e che accettino di svolgere in modo efficace e indipendente tutte le funzioni richieste. Gli operatori tecnici devono arrivare a conoscere non solo il "Know-How", ma anche il "Know-why" e, con l'esperienza acquisire anche il "Know-How". Appare, pertanto necessario un addestramento per apprendere il "Know-why". L'obiettivo è creare, se possibile una fabbrica di operatori esperti.

PILLAR 7 – OFFICE TPM.

Occorre estendere la TPM anche ai reparti amministrativi e di supporto della produzione (Office TPM), perché per migliorare la produttività, identificare ed eliminare le perdite, l'efficienza nelle funzioni amministrative è determinante. Ciò impone l'analisi dei processi e delle procedure per una maggiore automazione dell'ufficio.

PILLAR 8 – SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT.

Questo PILLAR si pone l'obiettivo di creare un luogo di lavoro sicuro e un ambiente circostante che non sia danneggiata dal processo produttivo e dalle procedure tecniche. L'obiettivo è di avere:

1. Zero incidenti,
2. Zero danni alla salute
3. Zero incendi.

Questo pilastro svolge un ruolo attivo in ciascuno degli altri pilastri. Per questo occorre istituire un comitato che comprenda rappresentanti dei dirigenti e dei lavoratori.

La TPM considera fondamentale anche la *manutenzione predittiva* e per questo pone l'enfasi sulla funzione fondamentale del *monitoraggio*, che appare indispensabile per la realizzazione di una manutenzione *predittiva*, ma anche *su condizione*, efficace ed efficiente. L'applicazione del TPM, che coinvolge tutta l'organizzazione, rende necessaria la diffusione della *cultura manutentiva* a tutti i livelli: dall'operatore di macchina al manager del processo, che diventa anche capo della manutenzione; l'operatore diventa esecutore della Manutenzione Autonoma che trasferisce le attività di manutenzione preventiva di primo livello o routinarie (ispezioni, pulizie, controlli, sostituzioni, smontaggi, piccole riparazioni ecc.) agli stessi addetti alla produzione. La verifica dello stato della Manutenzione Autonoma viene effettuata mediante check-lists di controllo e confronto predisposte nell'ambito della TPM.

Jain et al. (2014, p. 299) indicano numerosi benefici, diretti e indiretti, derivanti all'impresa dall'adozione della logica del TPM; mi limito a elencarli in quanto di significato evidente:

1. Benefici diretti della TPM

- la produttività e l'efficienza complessiva dell'impianto aumentano da 1,5 a 2 volte;
- riduce i costi di produzione del 30%;
- riduce gli incidenti;
- rettifica i reclami dei clienti;
- soddisfa in larga misura le esigenze dei clienti;

- segue misure di controllo dell'inquinamento;
- migliora la qualità del prodotto; e
- aumenta la consistenza;

2. Benefici indiretti della TPM

- aumenta il livello di fiducia tra i dipendenti;
- i lavoratori si sentono titolari della macchina;
- il posto di lavoro è sempre ordinato, pulito e attraente;
- viene modificato l'atteggiamento degli operatori a favore dell'azienda;
- le conoscenze e le esperienze sono condivise tra tutti i dipendenti;
- tutti i dipendenti lavorano insieme per raggiungere gli obiettivi organizzativi;
- diffusione orizzontale di un nuovo concetto in tutte le aree dell'organizzazione.

8 – Conclusioni e prospettive per approfondimenti

La situazione ideale che ipotizza che un impianto possa rimanere esente da avarie e guasti nel corso di tutta la sua vita utile sembra irraggiungibile; tuttavia, l'esigenza di ridurre al minimo l'indisponibilità pro tempore del macchinario e i costi che derivano sia dal malfunzionamento sia dagli interventi di riparazione rende necessaria e urgente l'adozione di politiche e tecniche di manutenzione sempre più sofisticate e integrate sia nell'ambito della stessa funzione di manutenzione che dell'intera azienda. La manutenzione, quindi, non è sinonimo di "riparare" ma deve intendersi come un "processo" finalizzato, innanzitutto, a capire le cause tecniche e umane che producono i guasti e, di conseguenza, a decidere e programmare le azioni per prevenire i guasti stessi e massimizzare l'efficienza e l'efficacia economica globale del sistema produttivo.

Pertanto, notevole importanza sta assumendo l'aspetto del personale non solo a livello di preparazione ma di spirito di squadra. Infatti, nella manutenzione è necessario combattere l'individualismo che non consente né la crescita collettiva né lo sviluppo. Questo problema si può risolvere attraverso una maggiore comunicatività e maggiore coinvolgimento nei processi che governano l'impresa. Questa è proprio la logica del TPM che viene illustrata, nelle sue linee fondamentali, in questo paper.

Mi sembra utile per il Lettore osservare che questo lavoro non ha potuto considerare altri aspetti connessi, seppure indirettamente, alla manutenzione, che potrebbero rappresentare la base per ulteriori studi.

a. Non vengono considerati analiticamente i metodi di determinazione dei "costi di manutenzione", la cui conoscenza è necessaria per un calcolo economico che stabilisca la convenienza della manutenzione stessa confrontando tali costi con quelli derivanti dai fermi macchina e dal degrado della qualità e della produttività;

b. Non viene considerato, inoltre, il problema di decidere *fino a quando* l'impresa debba "insistere" con la manutenzione; c'è una generale correlazione tra durata in uso di un impianto e l'ammontare dei costi di manutenzione perché, con l'invecchiamento dell'impianto, gli interventi manutentivi diventeranno sempre più frequenti, invasivi e costosi. "Fino a quando occorre prolungare la durata di utilizzo di un impianto?". Una prima risposta, che meriterebbe ulteriori approfondimenti, è che quando i costi di manutenzione, crescenti nel tempo, superano il *valore residuo del bene*, che decresce nel tempo per deterioramento e per obsolescenza, la manutenzione non si rivela più economicamente conveniente e l'impianto dovrebbe essere dismesso e sostituito. Occorre, tuttavia, considerare la necessità di mantenere l'utilizzo

dell'impianto "a qualunque costo" quando si tratti di impianti unici, progettati per un unico compito, difficili da sostituire, per prestazioni specifiche indispensabili.

c. Non si è considerato come possa avvenire, concretamente, il *processo di dismissione*, o *decommissioning*, dell'impianto inefficiente che si è deciso di eliminare (Hewlett, 1991; Gervasio & Montani, 2015). È un problema tecnico ma, in generale, ritengo utile ricordare che l'eliminazione di un macchinario, di un impianto e di una intera fabbrica può essere attuata nelle seguenti forme, valutabili nelle concrete situazioni:

- Eliminazione definitiva dell'intero impianto, senza recupero. Invio in fonderia, affondamento, etc
- Disassemblaggio ed eliminazione di parti separate ancora utilizzabili. Motori, impianti di raffreddamento, etc.
- Eliminazione dell'impianto usato con la sua cessione ad utilizzatori che si accontentino di minore efficienza: Tram, Treni, Aerei, navi, ecc.
- Conservazione dell'impianto come *impianto di riserva* da utilizzare in caso di guasto o fermo macchina dell'impianto principale.

d. Occorrerebbe, infine, ampliare i calcoli di convenienza tra le alternative di mantenere l'impianto in funzione per un ulteriore anno oppure procedere al suo rinnovo, mediante acquisizione di un impianto più efficiente. Questi calcoli di convenienza presentano qualche complessità ma si basano su una osservazione generale semplice da comprendere: indipendentemente dai processi di manutenzione che mantengono gli impianti in efficienza, non si può prolungare la vita utile di questi al di là di un certo limite temporale; anche se non si riducono le prestazioni tecniche, gli impianti subiscono un inevitabile processo di *obsolescenza* tecnica ed economica. Impianti nuovi che svolgono le stesse funzioni ma con vantaggi di qualità e di costo, rendono prima o poi necessario il rinnovo di quelli in funzione. Occorre, pertanto, controllare, utilizzando procedimenti finanziari e tecnici, quando si raggiunge il "tempo" ottimale di *sostituzione* dell'impianto in funzione con uno nuovo. Questa forma di controllo è nota come *the renewal problem* che determina la data ottimale per la sostituzione degli impianti e delle attrezzature industriali (Connor & Evans, 1972; Fabrycky *et al.*, 1972). Il calcolo di tale data non risulta semplice in quanto, nel caso di rinnovo, occorre considerare all'impianto come parte di una catena di rinnovi nella quale il rinnovo di un impianto incide sul rinnovo di tutti i *successivi impianti sostitutivi*. Ritardare il rinnovo significa, da un lato, prolungare la vita dell'impianto che presenta efficienze svantaggi in termini di rendimenti tecnici, economici decrescenti e dall'altro lato, ritardare l'immissione del nuovo impianto, rinunciando ai vantaggi che esso produrrebbe. Queste considerazioni rendono evidente che la scelta dell'anno di sostituzione dell'impianto in uso, condiziona i calcoli di convenienza per il nuovo impianto e, di conseguenza, anche quelli per la sostituzione di questo in futuro. Apposite tecniche e formule che si applicano *ogni anno*, rendono il calcolo possibile, pure in presenza di dati previsionali.

Nel 1949 il "Machinery Allied Production Institute" di Washington istituì un comitato di studio presieduto da George Terborgh per elaborare un nuovo sistema di valutazione degli investimenti finalizzati al problema della sostituzione delle apparecchiature, che portò a una regola generale, solitamente ricordata come formula MAPI (Terborgh, 1949; 1956; 1958), che consente di determinare, al termine di ogni anno, la convenienza di sostituire un impianto esistente, il *defender plant*, con un nuovo impianto entrato sul mercato, denominato *challenger plant*, o impianto *potenziale sfidante*.

Essentially, it provides a quick test of current replaceability on the basis of a prefabricated structure of assumptions and projections into which the analyst can insert the necessary stipulations and estimates for the case in hand (the amount of the investment, the income tax rate, the interest rate, the service life, the terminal salvage ratio, etc.). It is an elaborate gadget to simplify an otherwise almost insoluble problem (Terborgh, 1956: p. 138).

The analyst has to choose between more capital cost with less imperfection [more efficiency] or less capital cost with more imperfection [less efficiency]. Now when we have alternative magnitudes, each of which is adverse, the best we can do is to find the proportion or combination of the two which minimizes the sum. This proportion is the key to correct equipment policy. It is the policy that minimizes the time adjusted sum or combined average of capital cost, and operating inferiority. This brings us to the concept of adverse minimum" (*ibidem*).

Mi auguro che i lettori possano trovare stimoli per ulteriori approfondimenti sul tema fondamentale della *manutenzione*, non ancora pienamente affrontato nella letteratura aziendale italiana.

9 – References

- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International journal of quality & reliability management*, 25(7), 709-756.
- Al-Hassan, K., Chan, J.F.L., & Metcalfe, A.V. (2000). The role of total productive maintenance in business excellence. *Total Quality Management & Business Excellence*, 11(4/5/6), S596-S601.
- Albright T. L., & Roth H. P. (1994). The Measurement of Quality Costs. *Accounting Horizons*, 6(2), 15-27.
- Bagadia, K. (2006). *Computerized Maintenance Management Systems Made Easy: How to Evaluate, Select, and Manage CMMS: How to Evaluate, Select, and Manage CMMS*. McGraw Hill Professional.
- Barraza, M. F. S., Smith, T., & Dahlgaard-Park, S. M. (2009). Lean-kaizen public service: an empirical approach in Spanish local governments. *The TQM Journal*, 21(2), 143-167.
- Bhadury, B. (2000). Management of productivity through TPM. *Productivity*, 41(2), 240-251.
- Brook, R., & Foszcz, J. L. (1998). Total predictive maintenance cuts plant costs. *Plant Engineering*, 52(4), 93-95.
- Connor, J., & Evans, J. B. (1972). *Replacement investment: a guide to management decisions on plant renewal*. Gower Publishing Company, Limited.
- Dhar, S., & Nandi, S. (2016). A Quantitative Approach to Measure Effectiveness of Defect Prevention Process. *IJIRCCE*, 4(8), 15301-15310.
- Dutschke, J. (2014). *Run to failure: make it part of your maintenance planning*. <https://www.fiixsoftware.com/blog/run-failure-make-part-maintenance-planning/#:~:text=Run%20to%20failure%20is%20a,to%20minimize%20total%20maintenance%20costs>.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Boston, New York: McGraw-Hill.
- Fabrycky, W. J., Ghare, P. M., & Torgersen, P. E., (1972). *Industrial Operations Research*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Fernandez, O., Labib, A. W. Walmsley, R. & Petty, D. J. (2003), A decision support maintenance management system: Development and implementation. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 20, 965-979.
- Gervasio, D. & Montani, D. (2015). Il Principio della Trasparenza nella Contabilizzazione dei Costi di Decommissioning e Bonifica del Comparto Eolico. Il Contributo del Conceptual Framework. *Economia Aziendale online*, 6(3), 141-161.
- Gulati, R., Kahn, J., & Baldwin, R. (2010). *The professional's guide to maintenance and reliability terminology*. Reliabilityweb. com Incorporated.
- Hartmann, E. H. (1992). *Successfully Installing TPM in a Non-Japanese Plant*. TPM Press, Inc., New York.
- Hewlett, J. G. (1991). Financial Implications of Early Decommissioning. *Energy Journal*, 12 (special issue), 279-292.

- Higgins, L. R., Brautigam, D. P. & Mobley, R. K. (1995). *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill Inc., New York, NY.
- Imai, M. (1986). *Kaizen, the key to Japan's competitive success*. New York: McGraw-Hill.
- Ireland, F. and Dale, B.G. (2001), A study of total productive maintenance implementation, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(3), 183-192.
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014). Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293-323. https://www.researchgate.net/profile/Harwinder-Singh-6/publication/265969860_Total_productive_maintenance_TPM_implementation_practice/links/54ed4c6d0cf27fbfd77249e3/Total-productive-maintenance-TPM-implementation-practice.pdf
- Jostes, R. S. & Helms, M. M. (1994). Total productive maintenance and its link to total quality management. *Work Study*, 43(7), 18-20.
- Kelley, J. E. Jr., & Walker, M. R. (1959). *Critical-path planning and scheduling*. Proceedings of the eastern joint computer conference, Boston, 160–173.
- Kyriakidis, E. G., & Dimitrakos, T. D. (2006). Optimal preventive maintenance of a production system with an intermediate buffer. *European journal of operational research*, 168(1), 86-99.
- Labib, A. (2008). *Computerised maintenance management systems*. In *Complex System Maintenance Handbook* (pp. 417-435). Springer, Berlin.
- McCall, J. J. (1965). Maintenance policies for stochastically failing equipment: a survey. *Management science*, 11(5), 493-524.
- Mella P. (2019). The ghost in the production machine: the laws of production networks. *Kybernetes*, 48(6), 1301-1329.
- Mella, P. (2017). *The Combinatory Systems Theory. Understanding, Modeling and Simulating Collective Phenomena*. Springer International Publishing.
- Mella, P. (2018a). The law of increasing productivity. *Int. J. Markets and Business Systems*, 3(4), 297-316.
- Mella P. (2018b). Quality a Key Value Driver in Value Based Management. *Economia Aziendale Online*, 9(4), 439-462.
- Mella, P. (2021, 1st ed.,2014). *The magic ring. Systems Thinking Approach to Control Systems*. New York, NY and Berlin: Springer Verlag
- Miyake, D.I. & Enkawa, T. (1999). Matching the promotion of total quality control and total productive maintenance: an emerging pattern for nurturing of well-balanced manufactures. *Total Quality Management & Business Excellence*, 10(2), 243-69.
- Nakajima, S. (1988). *Total Productive Maintenance*. Productivity Press, Illinois
- Nakajima, S. (1989). *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*. Portland, OR: Productivity Press.
- Park, S. C., Lee, S. C., Suárez-Barraza, M. F., & Ramis-Pujol, J. (2012). An exploratory study of 5S: a multiple case study of multinational organizations in Mexico. *Asian Journal on Quality*, 13(1), 77-99.
- Pinedo, M. L. (2009). *Planning and scheduling in manufacturing and services*. New York: Springer.
- Productivity, Inc. (1999), *5S for TPM – Supporting and Maintaining Total Productive Maintenance: Participant Guide*. Productivity Inc., Portland, OR.
- Raouf, A. and Ben-Daya, M. (1995). Total maintenance management: a systematic approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(1), 6-14.
- Reliable Plant. (2021, online). <https://www.reliableplant.com/Read/12495/preventive-predictive-maintenance>
- Rodrigues, M., & Hatakeyama, K. (2006). Analysis of the fall of TPM in companies. *Journal of Materials Processing Technology*, 179(1-3), 276-279.

- Rosenfeld, Y. (2009). Cost of quality versus cost of non-quality in construction: the crucial balance. *Construction Management and Economics*, 27(1), 107-117.
- Sharma, A. K., & Shudhanshu, A. B. (2012). Manufacturing performance and evolution of TPM. *International journal of engineering science and technology*, 4(03), 854-866.
- Sharma, M., & Kodali, R. (2008). TQM implementation elements for manufacturing excellence. *The TQM Journal*, 20(6), 599-621.
- Shirose, K. (1996). *Total Productive Maintenance: New Implementation Program in Fabrication and Assembly Industries*. Japan Institute of Plant Maintenance, Tokyo.
- Steinbacher, H. R., & Steinbacher, N. L. (1993). *TPM for America*. Productivity Press, Portland, OR.
- Suárez-Barraza, M.F. and Ramis-Pujol, J. (2012). An exploratory study of 5S: a multiple case study of multinational organizations in Mexico. *Asian Journal on Quality*, 13(1), 77-99.
- Swanson, L. (1997). Computerized Maintenance Management Systems: A study of system design and use. *Production and Inventory Management Journal*, Second Quarter, 11-14.
- Tanaka, T. (1994). Kaizen budgeting: Toyota's cost-control system under TQC. *Journal of Cost Management for the Manufacturing Industry*, (Fall), 56-62.
- Terborgh, G. W. (1949). *Dynamic Equipment Policy*. New York: McGraw Hill.
- Terborgh, G. W. (1956). Some Comments on the Dean-Smith Article on the Mapi Formula. *The Journal of Business*, 29(2), 138-140.
- Terborgh, G. W. (1958). *Business Investment Policy, A MAPI Study and Manual*. Washington. Machinery and Allied Products Institute and Council.
- UNI 10147. (2013). *Manutenzione - Termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni*. <http://store.uni.com/catalogo/uni-10147-2013>
- UNI 9910. (1991). *Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio*. <http://store.uni.com/catalogo/uni-9910-1991>
- UNI EN 13306. (2018). *Manutenzione - Terminologia di manutenzione*. <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-13306-2018>
- UNI EN ISO 9000:2000 (2005). *Sistemi di gestione per la qualità - Fondamenti e terminologia*. <https://www.iso.org/standard/21823.html>
- Venkatesh, J. (2015 online) *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml
- Wang, W., & Zhang, W. (2008). An asset residual life prediction model based on expert judgments. *European Journal of operational research*, 188(2), 496-505.
- Willmott, P. (1994), *Total Productive Maintenance. The Western Way*. Butterworth Heinemann Ltd., Oxford
- Wolf, M. B. (2007). *Faster construction projects with CPM scheduling*. New York, NY, McGraw-Hill.
- Yam, R. C. M., Tse, P. W., Li, L., & Tu, P. (2001). Intelligent predictive decision support system for condition-based maintenance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17(5), 383-391.