



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di laurea in ingegneria meccanica

Tesi di laurea

**Analisi ed utilizzo di soluzioni di manutenzione
preventiva ed on-condition**

**Analysis and use of preventive and on-condition
maintenance solutions**

Relatore: **Chiar.mo Prof. Filippo Emanuele Ciarapica**

Tesi di laurea di: **Federico Longo**

A.A. 2018-2019

INDICE

1- INTRODUZIONE ALLA MANUTENZIONE	5
1.1- CENNI STORICI	6
1.2- DEFINIZIONI.....	8
1.3- MISSION DELLA MANUTENZIONE	11
2- FOUNDAMENTAL CONCEPTS	12
2.1- DESIGNING FOR RELIABILITY.....	12
2.2- DESIGNING FOR AVAILABILITY.....	15
2.3- DESIGNING FOR MANINTAINABILITY	17
2.4- DESIGNING FOR SAFETY	21
3- POLITICHE DI MANUTENZIONE	22
3.1- MANUTENZIONE AUTONOMA.....	23
3.2- MANUTENZIONE A GUASTO(CORRETTIVA)	24
3.3- MANUTENZIONE PROGRAMMATA.....	24
3.4- MANUTENZIONE MIGLIORATIVA	25
3.5- MANUTENZIONE PREVENTIVA	26
4- PIANIFICAZIONE DELLA MANUTENZIONE	28
4.1- BUSINESS PLAN DI MANUTENZIONE (BPM)	29

4.2- PROGRAMMAZIONE AGGREGATA.....	30
4.3- PROGRAMMAZIONE OPERATIVA (SCHEDULING)	32
4.4- INTERVENTO	36
5- GESTIONE DEI MATERIALI DI MANUTENZIONE E DEI RICAMBI	37
5.1- PROSPETTIVE DI GESTIONE DEI MATERIALI	39
5.2- FASI DECISIONALI NELLA GESTIONE DEI MATERIALI	40
5.3- CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI	42
6- ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE.....	44
6.1-CRITERI DI PROGETTAZIONE DELL'ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE	46
7- OTTIMIZZAZIONE DEL CICLO DI VITA DEI BENI INDUSTRIALI.....	51
7.1- OBSOLESCENZA E PROGRESSO	53
8- BUDGET DELLA MANUTENZIONE.....	56
9- MISURA E CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI DI MANUTENZIONE	60
9.1- CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE DI PRESTAZIONE	61
9.2- ORGANIZZAZIONE DELLE MISURE DI PRESTAZIONE	62
9.3- MISURA DELLE PRESTAZIONI DELLA MANUTENZIONE	65

9.4- MISURE DELL'ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE	68
9.5- MISURA DEI RISULTATI DEL SERVIZIO DI MANUTENZIONE.....	70
9.6- BENCHMARKING DELLA MANUTENZIONE.....	71
10- GESTIONE E NORMATIVE DEL CONTRATTO DI MANUTENZIONE	74
10.1- FASI PRELIMINARI.....	74
10.2- PARTE GIURIDICA	76
10.3- TIPOLOGIE DI CONTRATTO.....	78
10.4- NORMATIVE	80
CONCLUSIONI.....	83
BIBLIOGRAFIA	85
SITOGRAFIA.....	86

1- INTRODUZIONE ALLA MANUTENZIONE

Ai giorni d'oggi è chiaro che nell'economia globale regna la competitività, ed è sempre più palese che le nazioni che sono più all'avanguardia nel mercato della tecnologia guideranno il mondo.

Nella tecnologia possiamo includere oltre a ricerca, sviluppo e produzione anche voci molto importanti come manutenzione, manutenibilità, affidabilità e sicurezza.

Molti studi indicano che per vari sistemi e prodotti sofisticati, i costi di manutenzione rappresentano circa il 60-75% dei loro costi del ciclo di vita, quindi la manutenzione e l'affidabilità di tali sistemi sono diventate questioni di primaria importanza.

La concorrenza globale sta costringendo i produttori e l'industria in generale a proporre prodotti che dal punto di vista ingegneristico siano: sofisticati, ma soprattutto altamente affidabili e facilmente gestibili. Questo significa che per un'azienda globalizzata con impianti produttivi importanti è un'esigenza cercare di standardizzare i processi manutentivi, allo scopo di stabilire dei meccanismi e delle logiche facilmente trasmissibili da operatore ad operatore.

Stabilire i processi manutentivi in precedenza e con precisione, ci permette di evitare rischi di fraintendimenti, che in un ambiente dove la qualità del prodotto, la sicurezza dell'operatore e gli sprechi possono disturbare non solo la produttività, ma anche l'immagine dell'azienda.

Quindi si potrebbe dire che oltre alle prestazioni di un impianto, il fattore umano gioca un ruolo importante.

Solo dotando i tecnici di manutenzione, a qualsiasi livello dall'operatore all'ingegnere di manutenzione, di conoscenze tecniche ed economiche, e rendendoli consapevoli della loro indispensabilità alle funzioni aziendali si possono raggiungere risultati di eccellenza che un'azienda industriale si pone come obiettivo.

1.1- CENNI STORICI

La manutenzione è un'attività antica, essa nasce con il bisogno da parte dell'uomo di creare nuovi strumenti atti ad accrescere il proprio benessere, andando nella stessa direzione dell'evoluzione della civiltà.

Nelle prime forme di manutenzione era l'artigiano stesso a mettere in pratica gli interventi di manutenzione ai propri attrezzi, andando così a svolgere una doppia mansione, cioè essere sia utilizzatore che manutentore.

Il passare del tempo e l'accrescersi della tecnologia e della complessità degli attrezzi ha portato alla formazione di nuove figure professionali, quelle di persone specializzate nell'eseguire interventi di manutenzione e riparazione.

Con il sopraggiungere della rivoluzione industriale, si introdussero nuovi metodi di produzione, che passano da produzione artigianale ad una produzione di massa molto più industrializzata.

Lo scopo principale di questo nuovo tipo di produzione era quello di fare in modo che l'impianto producesse sempre al massimo della propria capacità produttiva. Questo portò alla creazione di figure professionali non esistenti fino a quel punto come quelle di: progettisti, esperti di fabbricazione e proprio quella dei manutentori, che avevano il compito di preservare il funzionamento delle macchine.

All'inizio il controllo della qualità veniva fatto solamente sul prodotto finale del ciclo produttivo, questo però portava a parecchie complicazioni e di conseguenza molti sprechi, solo in seguito queste operazioni vennero inserite all'interno del ciclo produttivo per rilanciare e valorizzare le figure professionali addette. Questo rende evidente la connessione tra qualità e manutenzione.

Riassumendo l'evoluzione storica:

- **1950 – 1970:** manutenzione a guasto. Si procedeva ad interventi solo in presenza di interruzioni di servizio apportando soluzioni tampone o sostituendo il componente;
- **1970 – 1980:** nascita di una filosofia manutentiva mirata alla prevenzione di avarie di sistema. Tale metodologia si esplicava attraverso ispezioni cicliche e diagnostica tecnica tramite sensoristica di processo;

- **1980:** la manutenzione diviene una funzione del processo produttivo. Diviene attrice del miglioramento continuo del processo e quindi implementabile tramite le procedure di miglioramento continuo della Qualità (trasferimento delle risorse manutentive nei reparti);
- **1990:** Outsourcing della funzione manutenzione, nascita del Global Service di Manutenzione. Nella nuova filosofia di azienda network, tutto ciò che non è core business viene terziarizzato, con lo scopo di ridurre la complessità e aumentare la flessibilità.

1.2- DEFINIZIONI

Manutenibilità: la probabilità che un articolo fallito venga ripristinato ad uno stato operativo soddisfacente;

Manutenzione: tutte le azioni necessarie per conservare o ripristinare in un articolo o un'attrezzatura, una condizione specificata;

Affidabilità: la probabilità che un oggetto esegua le missioni assegnate in modo soddisfacente per il periodo di tempo indicato quando viene utilizzato secondo le specifiche condizioni;

Disponibilità: la probabilità che un articolo sia disponibile per l'uso quando richiesto;

Tempo di missione: il momento in cui l'elemento sta portando a termine la sua missione assegnata

I tempi di inattività: il tempo totale durante il quale l'articolo non è in stato operativo soddisfacente;

Tempo logistico: la porzione di tempo di inattività occupata dall'attesa per una parte o uno strumento richiesti;

Fallimento: l'incapacità di un oggetto di operare all'interno delle linee guida definite;

Facilità di manutenzione: il grado di facilità o difficoltà con cui un oggetto può essere ancorato alla sua condizione di lavoro;

Ridondanza: l'esistenza di più di un mezzo per realizzare la funzione assegnata;

Modalità fallimento: l'anomalia delle prestazioni di un elemento che causa la mancata considerazione dell'oggetto;

Affidabilità umana: la probabilità di portare a termine con successo un compito da parte degli umani in qualsiasi fase richiesta nel funzionamento del sistema con un determinato limite di tempo minimo (se viene indicato il requisito temporale);

Vita utile: il periodo di tempo in cui un prodotto opera entro un livello tollerabile di tasso di guasto;

Concetto di manutenzione: una specificazione del concetto generale o della politica del prodotto che controlla il tipo di azioni di manutenzione da intraprendere per il prodotto in esame;

Manutenzione correttiva: la riparazione o la manutenzione non programmata per restituire gli articoli o le attrezzature a uno stato specifico, viene eseguita perché il personale di manutenzione nota carenze o guasti;

Errore umano: la mancata esecuzione di un compito specifico (o l'esecuzione di un'azione proibita) che potrebbe comportare l'interruzione delle operazioni programmate o danni a beni o attrezzature;

Tempo di riparazione attivo: il periodo di inattività quando il personale di riparazione è attivo per effettuare una riparazione;

Ispezione: l'osservazione qualitativa delle condizioni o delle prestazioni di un oggetto;

Revisione: un'ispezione completa e il ripristino di un pezzo di equipaggiamento o di un oggetto ad un livello accettabile di utilizzo e tempo di durata.

1.3- MISSION DELLA MANUTENZIONE

Conservazione del patrimonio impiantistico: la mancanza di una manutenzione con interventi tempestivi porta ad un graduale deterioramento del patrimonio immobiliare aziendale;

Miglioramento delle prestazioni: la manutenzione deve realizzare tutte quelle piccole modifiche e miglioramenti utili alla funzione produttiva compatibilmente con i budget aziendali;

Riduzione dei costi: interventi mirati in modo da evitare il lievitare di costi connessi ad interventi sbagliati o a sostituzione di beni ancora ripristinabili.

2- FUNDAMENTAL CONCEPTS

2.1- DESIGNING FOR RELIABILITY

Designing for reliability at the systems level includes all aspects of the ability of a system to perform. When assemblies are configured together in a system, the system gains a collective identity with multiple functions, each function identified by the collective result of the duties of each assembly.

Preliminary design considerations describe these functions at the system level and, as the design process progresses, the required duties at the assembly level are identified, in effect constituting the collective performance of components that are defined at the detail design stage.

In process systems, no difference is made between performance and reliability at the component level. When components are configured together in an assembly, the assembly gains a collective identity with designated duties.

Performance is the ability of such an assembly of components to carry out its duties, while reliability at the component level is determined by the ability of each of the components to resist failure.

Unacceptable performance is considered from the point of view of the assembly not being able to meet a specific performance variable or designated duty, by an evaluation of the effects of failure of the inherent components on

the duties of the assembly. Designing for reliability at the preliminary design stage would be to maximise the reliability of a system by ensuring that there are no 'weak links' (i.e. assemblies) resulting in failure of the system to perform its required functions.

For example, in a mechanical system, a pump is an assembly of components that performs specific duties that can be measured in terms of performance variables such as pressure, flow rate, efficiency and power consumption. However, if a pump continues to operate but does not deliver the correct flow rate at the right pressure, then it should be regarded as having failed because it does not fulfil its prescribed duty.

It is incorrect to describe a pump as 'reliable' if the rates of failure of its components are low, yet it does not perform a specific duty required of it. Similarly, in a hydraulic system, a particular assembly may appear to be 'reliable' if the rates of failure of its components are low, yet it may fail to perform a specific duty required of it.

Numerous examples can be listed in systems pertaining to the various engineering disciplines (i.e. chemical, civil, electrical, electronic, industrial, mechanical, process, etc.).

The intention of designing for reliability is thus to design integrated systems with assemblies that effectively fulfil all their required duties.

The design for reliability method thus integrates functional failure as well as functional performance criteria so that a maximum safety margin is achieved with respect to acceptable limits of performance.

The objective is to produce a design that has the highest possible safety margin with respect to all constraints.

The choice of limits of performance for such an approach is generally made with respect to the consequences of failure and reliability expectations. If the consequences of failure are high, then limits of acceptable performance with high safety margins that are well clear of failure criteria are chosen. Similarly, if failure criteria are imprecise, then high safety margins are adopted.

The knowledge gathered during the schematic design phase is incorporated in a knowledge base that is utilised in an artificial intelligence-based blackboard system for detail design. In the case where data are sparse or non-existent for evaluating the performance and reliability of engineering designs, information integration technology (IIT) is applied.

This multidisciplinary methodology is particularly considered where complex integrations of engineering systems and their interactions make it difficult and even impossible to gather meaningful statistical data.

2.2- DESIGNING FOR AVAILABILITY

Designing for availability, as it is applied to an item of equipment, includes the aspects of utility and time. Designing for availability is concerned with equipment usage or application over a period of time.

This relates directly to the equipment (i.e. assembly or component) being able to perform a specific function or duty within a given time frame, as indicated by the following definition: Availability can be simply defined as “the item’s capability of being used over a period of time”, and the measure of an item’s availability can be defined as “that period in which the item is in a usable state”.

Calling respectively Up Time the time in which the system is actually available for use and Down Time the time in which the machine is stopped (for failure or repair), the basic relationship model for availability is:

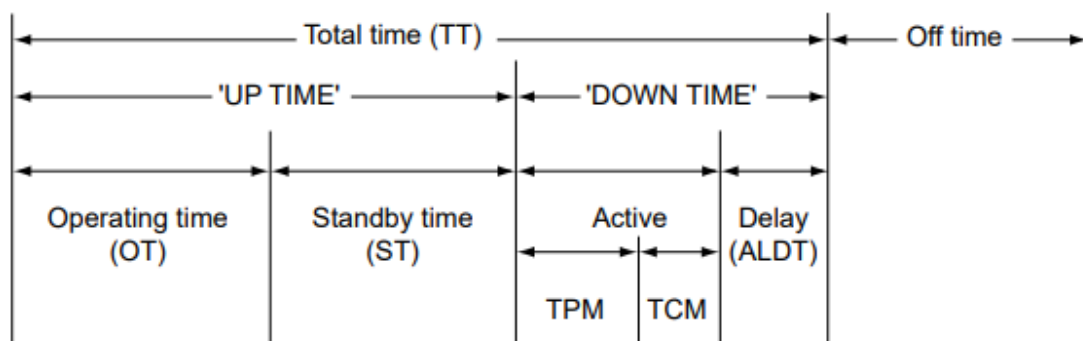
$$Availability = \frac{Up\ Time}{Total\ Time} = \frac{Up\ Time}{Up\ Time + Down\ Time}$$

Performance variables relating availability to reliability and maintainability are concerned with the measures of time that are subject to equipment failure.

These measures are mean time between failures (MTBF), and mean downtime (MDT) or mean time to repair (MTTR). As with designing for reliability, which includes all aspects of the ability of a system to perform, designing for availability includes reliability and maintainability considerations that are integrated with the performance variables related to the measures of time that are subject to equipment failure.

Designing for availability thus incorporates an assessment of expected performance with respect to the performance measures of MTBF, MDT or MTTR, in relation to the performance capabilities of the equipment. In the case of MTBF and MTTR, there are no limits of capability. Instead, prediction of the performance of equipment considers the effects of failure for each of the measures of MTBF and MTTR.

System availability implies the ability to perform within prescribed limits quantified by defining constraints on acceptable performance that is identified by considering the consequences of failure of each identified performance variable.



ALDT = administrative and logistics downtime, TPM = total preventive maintenance and TCM = total corrective maintenance.

Designing for availability during the preliminary or schematic design phase of the engineering design process includes intelligent computer automated methodology based on Petri nets (PN).

Petri nets are useful for modelling complex systems in the context of systems performance, in designing for availability subject to preventive maintenance strategies that include complex interactions such as component renewal.

Such interactions are time related and dependent upon component age and estimated residual life of the components.

2.3- DESIGNING FOR MANINTAINABILITY

Maintainability is that aspect of maintenance that takes downtime into account, and can be defined as “the probability that a failed item can be restored to an operational effective condition within a given period of time”.

This restoration of a failed item to an operational effective condition is usually when repair action, or corrective maintenance action, is performed in accordance with prescribed standard procedures. The item’s operational

effective condition in this context is also considered to be the item's repairable condition.

Corrective maintenance action is the action to rectify or set right defects in the item's operational and physical conditions, on which its functions depend, in accordance with a standard.

Maintainability is thus the probability that an item can be restored to a repairable condition through corrective action, in accordance with prescribed standard procedures within a given period of time. It is significant to note that maintainability is achieved not only through restorative corrective maintenance action, or repair action, in accordance with prescribed standard procedures, but also within a given period of time.

This repair action is in fact determined by the mean time to repair (MTTR), which is a measure of the performance of maintainability.

Designing for maintainability fundamentally makes use of maintainability prediction techniques as well as specific quantitative maintainability analysis models relating to the operational requirements of the design. Maintainability predictions of the operational requirements of a design during the conceptual design phase can aid in design decisions where several design options need to be considered.

Designing for maintainability basically entails a consideration of design criteria. Here are 8 factors to consider when designing a system that will require maintenance:

1. Standardization: select from the smallest set of parts (one screw instead of 10 different types of screws) with as much compatibility as possible. Minimize spare parts inventory is just one benefit. Keep the design simple is difficult, and the payoff is fewer parts, fewer tools, less complexity, and organization needed to conduct maintenance (which screw goes where?).

2. Modularization: create a set of standard sizes, shapes, modular units. If we expect to different models with different features, using a standard structure allows the interchange of compatible parts to alter functionally without changing the majority of the product. A good example is light bulbs. You can select the functional bulbs (brightness, intensity, color, etc.) and they will fit in the same socket.

3. Functional packaging: gather all the required elements to complete a maintenance task in one kit. If I need washers, o-rings, and pumper's grease to complete a faucet repair, having all the items in one package helps me complete the task quickly.

4. Interchangeability: Select parts that are useful for a range of products or applications. Manage and control the dimensional and functional design tolerances.

5. Accessibility: If an item requires replacement or adjustment as part of the expected maintenance, then it should permit access. Consider tools, lighting, environment, and experience of a maintenance crew. Providing access panels is one factor, safety another.

6. Malfunction annunciation: A key step in performing maintenance is to know what caused the problem or which parts are damaged and require replacement. Minimizing the need for inspection tools and diagnostic tasks minimizes the time/cost of the corrective maintenance tasks.

7. Fault isolation: there are two parts to this factor. One, make the system as informative as possible such that it not only signals a failure mode, it also narrows down the possible failure mechanisms. Second, a failure in one part of a system can cause failure of other elements in the system. When possible, contain the damage to minimize the amount of damage caused by a failure of one item.

8. Identification: name the parts with unique identifiers. This streamlines documentation, procedures, and maintenance tasks. Be consistent and provide meaningful or memorable naming conventions to avoid confusion.

These criteria need to be verified through maintainability design reviews, conducted during the various design phases.

The performance variable used in the determination of maintainability that is concerned with the measure of time subject to equipment failure is the mean time to repair (MTTR). Designing for maintainability during the preliminary design phase would be to minimise the MTTR of a system by ensuring that failure of an inherent assembly to perform a specific duty can be restored to its expected performance over a period of time.

2.4- DESIGNING FOR SAFETY

Traditionally, assessments of the risk of failure are made on the basis of allowable factors of safety obtained from previous failure experiences, or from empirical knowledge of similar systems operating in similar anticipated environments. Conventionally, the factor of safety has been calculated as the ratio of what are assumed to be nominal values of demand and capacity.

In this context, demand is the resultant of many uncertain variables of the system under consideration, such as loading stress, pressures and temperatures. Similarly, capacity depends on the properties of materials strength, physical dimensions, constructability, etc. The nominal values of both demand and capacity cannot be determined with certainty and, hence, their ratio, giving the conventional factor of safety, is a random variable.

A convenient way of assessing this probability of failure is to consider the difference between the demand and capacity functions, termed the safety margin, a random variable with its own probability distribution.

Designing for safety furthermore includes analytic techniques such as genetic algorithms and/or artificial neural networks (ANN) to perform multi-objective optimisations of engineering design problems.

3- POLITICHE DI MANUTENZIONE

La manutenzione per realizzare i propri scopi di disponibilità operativa facendo attenzione a contenere i costi deve essere ben pensata.

Bisogna quindi adottare un progetto di manutenzione che stabilisca quali sono i modi più congrui, sia dal punto di vista tecnico che organizzativo, da adottare caso per caso.

Bisogna quindi definire:

- Quando utilizzare operazioni di riparazione in seguito ad un guasto.
- Quando è preferibile prevenire i guasti con interventi di prevenzione.
- Quando è necessario ricercare soluzioni per migliorare la situazione esistente.

Progettare le politiche di manutenzione da applicare, significa stabilire in anticipo le modalità di manutenzione da svolgere, queste saranno scelte in base alle risposte a delle domande strategiche:

- Tenendo conto della possibilità di ispezionare il funzionamento dell'entità, quale è il comportamento a guasto di essa e quale la forma di manutenzione più adatta da adottare?
- In termini di costi è più conveniente intraprendere una manutenzione a guasto o una preventiva?

- Quali sono i benefici ed i costi di un miglioramento delle operazioni di manutenzione?

Le risposte a queste domande ci forniscono i tipi di politiche di manutenzione.

3.1- MANUTENZIONE AUTONOMA

Sono tutte quelle piccole azioni di ispezione e manutenzione (come pulizia, lubrificazione, serraggio bulloni, sostituzione filtri, controllo tolleranze, ecc.) svolte dall'operatore di macchina o di linea per prolungare il funzionamento dell'unità. Questo tipo di manutenzione non si applica a impianti di grandi dimensioni, poiché non possono essere delegati ad un numero limitato di addetti.

Per applicare la manutenzione autonoma serve:

- Predisporre i tempi di fermo macchina necessari alle attività di manutenzione.
- Essere ordinati ed avere a disposizione, sul posto di lavoro, tutta la dotazione di attrezzi per l'eventuale manutenzione.
- Reperire facilmente e in maniera veloce pezzi di ricambio.

3.2- MANUTENZIONE A GUASTO(CORRETTIVA)

Si compone di tutte le attività necessarie a ristabilire, in seguito a guasti e malfunzionamenti, il normale funzionamento del sistema.

Si applica nelle realtà industriali dove molti macchinari lavorano per la produzione complessiva, quindi un malfunzionamento implica la perdita solamente di una parte della capacità produttiva totale.

Condizioni importanti per questo tipo di manutenzione sono:

- Macchinari robusti e con tasso di guasto costante.
- Tecnologia nota per facilitare la reperibilità delle parti di ricambio.
- Addetti alla manutenzione qualificati.
- Limitate condizioni di usura che possono favorire la nascita di nuovi guasti.

3.3- MANUTENZIONE PROGRAMMATA

Si realizza quando in un impianto o in un macchinario, dopo uno stabilito numero di ore di esercizio, chilometri percorsi o pezzi prodotti, è opportuno un periodo di fermo per svolgere gli opportuni interventi di manutenzione.

Le caratteristiche che rendono applicabile tale manutenzione sono:

- Tempi di intervento periodici e ben stabiliti.
- Interventi efficaci e mirati a coprire tutte le parti delle macchine.
- Check-list di controllo.

3.4- MANUTENZIONE MIGLIORATIVA

È costituita da tutte le azioni e gli accorgimenti aventi lo scopo di migliorare l'affidabilità e la manutenibilità.

Le attività di manutenzione sono rivolte a miglioramenti tecnici con l'obiettivo di permettere il mantenimento delle prestazioni prefissate in sede di progetto di un impianto. Questo aumenta la possibilità di un impianto di raggiungere i limiti di disponibilità fissati in precedenza.

Le condizioni necessarie affinché si possa applicare la manutenzione migliorativa sono:

- Ottima conoscenza dei macchinari e dei componenti.
- Creazione di una raccolta statistica dei guasti che ci permette di organizzare degli interventi migliorativi dopo aver valutato costi e benefici.
- Capacità di localizzazione dei gruppi e delle funzioni svolte per cercare soluzioni alle situazioni più comuni senza dover riprogettare dall'inizio la macchina intera.

- Conoscenza delle nuove tecnologie per individuare subito le parti obsolete di un impianto e quali modifiche applicare per migliorarne le prestazioni.

3.5- MANUTENZIONE PREVENTIVA

È la manutenzione eseguita ad intervalli determinati in precedenza o in accordo a criteri prescritti e volta a ridurre la probabilità di guasto o il degrado del funzionamento di una macchina. Questa manutenzione si applica a tutti i macchinari che richiedono certezza e continuità di servizio, essendo insostituibili nelle operazioni di produzione.

In questi casi risulta più conveniente riparare o sostituire mezzi non ancora del tutto guasti o usurati, piuttosto che attendere delle rotture che creerebbero perdite molto più grandi e costose. Tale manutenzione comprende anche operazioni di ispezione che servono ad individuare i segni di un possibile degrado o di una riduzione di prestazioni da parte della macchina o dell'impianto.

Le caratteristiche necessarie per applicare la manutenzione preventiva sono:

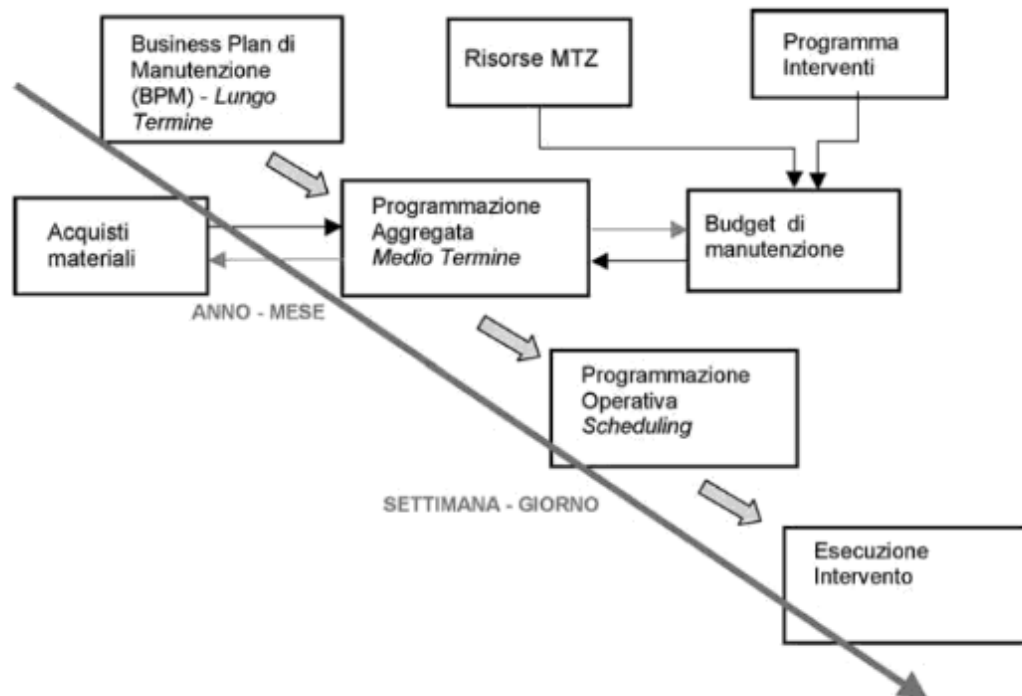
- La disponibilità di dati storici per monitorare la affidabilità dei componenti e la loro vita utile.

- La presenza di sensori e trasduttori che segnalano tempestivamente la nascita di un malfunzionamento.
- La disponibilità delle parti di ricambio.

4- PIANIFICAZIONE DELLA MANUTENZIONE

Esattamente come per ogni altro ambito aziendale, l'organizzazione del sistema di manutenzione deve essere in linea con una pianificazione a lungo termine in funzione di risorse e budget disponibili.

Il processo di pianificazione segue i seguenti passi:



- Business Plan di Manutenzione, BPM (lungo termine)
- Programmazione aggregata (medio termine)
- Programmazione operativa (scheduling)
- Intervento

Le informazioni necessarie alla pianificazione del processo di manutenzione oltre al budget e alle risorse disponibili, sono il programma degli interventi, i tempi tecnici e gli standard di lavoro affinché gli interventi vengano svolti in maniera ottimale.

4.1- BUSINESS PLAN DI MANUTENZIONE (BPM)

L'organizzazione pluriennale si attua tramite la stesura del Business Plan di Manutenzione, che è una parte importante del business plan aziendale e alla cui realizzazione prende parte tutto il management dell'azienda.

Il Business Plan di Manutenzione illustra:

- Le linee del management rispetto alle strategie competitive e a livello di unità produttive elementari e dell'eventuale fabbisogno di rinnovamento dell'esistente.
- Le scelte da intraprendere per il raggiungimento degli obiettivi strategici.
- I fattori di rischio da considerare rispetto agli obiettivi definiti.
- L'evoluzione dei risultati attesi.

Il business plan ci permette di dirigere al meglio i piani di azione e quindi di ottimizzare la performance dell'azienda in ambito manutentivo.

I requisiti del business plan sono:

- La sostenibilità finanziaria.
- La coerenza delle azioni predisposte.

Importante nel business plan è una dichiarazione di risultati che siano ragionevoli e ottenibili.

4.2- PROGRAMMAZIONE AGGREGATA

La programmazione aggregata ha durata annuale, l'obiettivo è quello di stabilire il piano degli interventi manutentivi e di organizzarlo nel rispetto dei vincoli tecnico-economico.

Lo studio del piano aggregato può avvalersi di strumenti informatici di supporto, per verificare attraverso la simulazione diverse alternative, corrispondenti a differenti opzioni tecnico-organizzative, e quindi a diversi livelli di capacità del sistema.

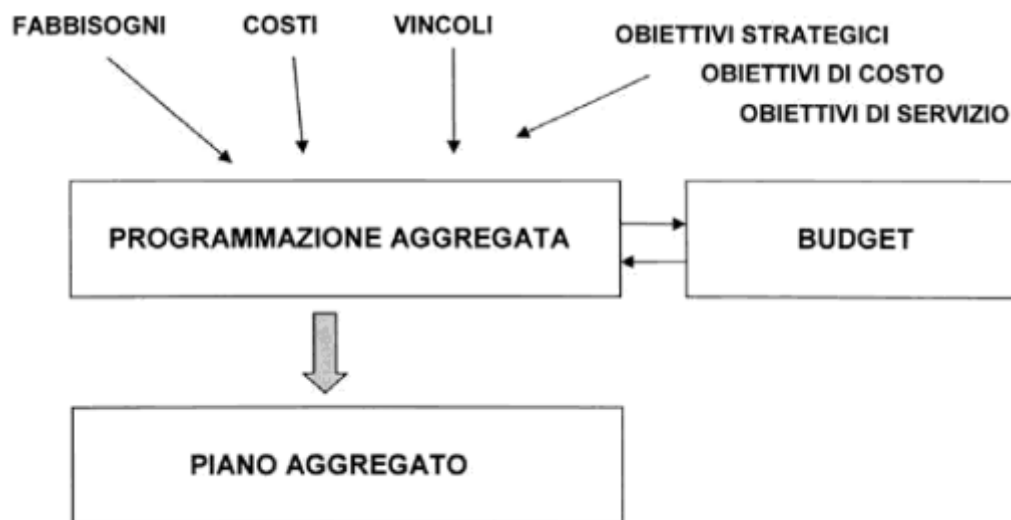
I concetti principali di pianificazione cui bisogna rispondere con il piano aggregato sono:

- La predisposizione immediata delle risorse necessarie per soddisfare la domanda di manutenzione al minimo costo.
- L'organizzazione delle scadenze non compatibili con le risorse disponibili.

La linea che si trova alla base della programmazione è l'analisi delle risorse, dei tempi di attivazione e la coordinazione delle attività per garantire il servizio finale.

La programmazione aggregata è sostenuta da molteplici processi aziendali che devono sempre essere attuati tenendo presente i costi come:

- Variabili manutentive
- Mantenimento a scorta dei ricambi
- Fornitori e materiali



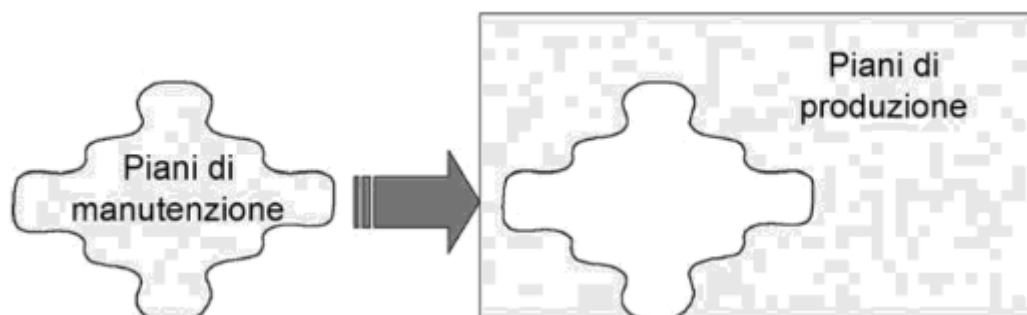
4.3- PROGRAMMAZIONE OPERATIVA (SCHEDULING)

La programmazione operativa delle operazioni di manutenzione viene effettuata allo scopo di coordinare i vari lavori nel rispetto delle esigenze di disponibilità e di priorità, in modo da massimizzare il servizio e interferire il meno possibile con il piano di produzione, in pratica si vuole assegnare una data d'inizio agli ordini di manutenzione.

In una programmazione periodica troveranno spazio sia fermate periodiche per manutenzione che i programmi a breve scadenza.

Stabilito ciò l'obiettivo è quello di sfruttare al meglio gli spazi lasciati liberi dalla programmazione della produzione per le attività di manutenzione.

Questo obiettivo però spesso nella pratica non può essere raggiunto, in questo caso il rapporto con la programmazione della produzione è fondamentale per raggiungere un buon compromesso fra le relative esigenze.

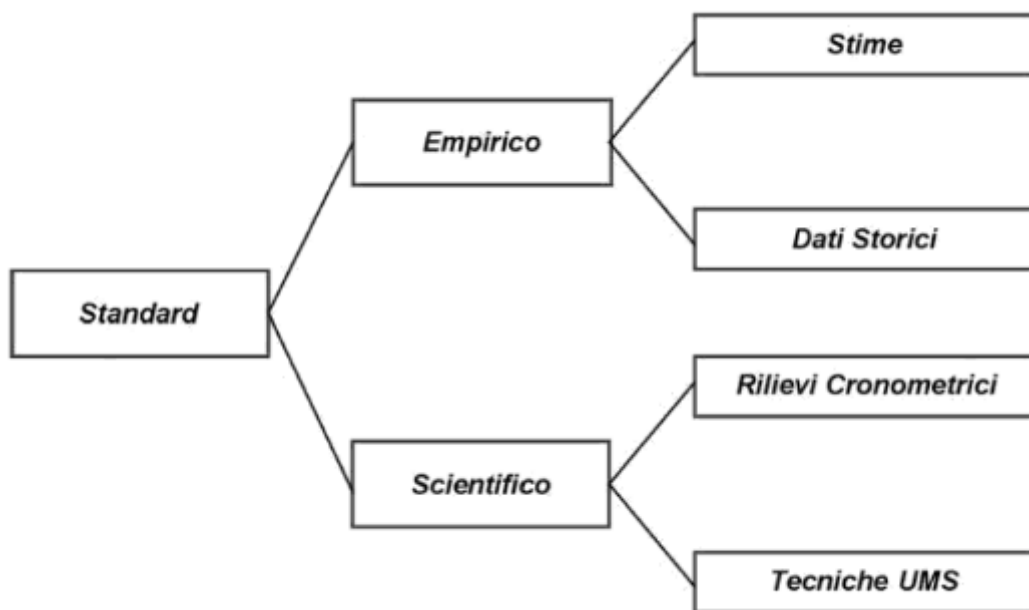


La normalizzazione e la fissazione di standard per l'impiego delle risorse, uomini, mezzi e materiali è la base fondamentale per rendere efficiente il servizio di manutenzione.

La programmazione operativa richiede la disponibilità dei dati sulle attività di preparazione dei lavori. Cioè tutte quelle informazioni sulle attività necessarie allo svolgimento di un intervento di manutenzione, in particolare:

- I mestieri coinvolti
- Il numero di operatori richiesti
- Le ore necessarie

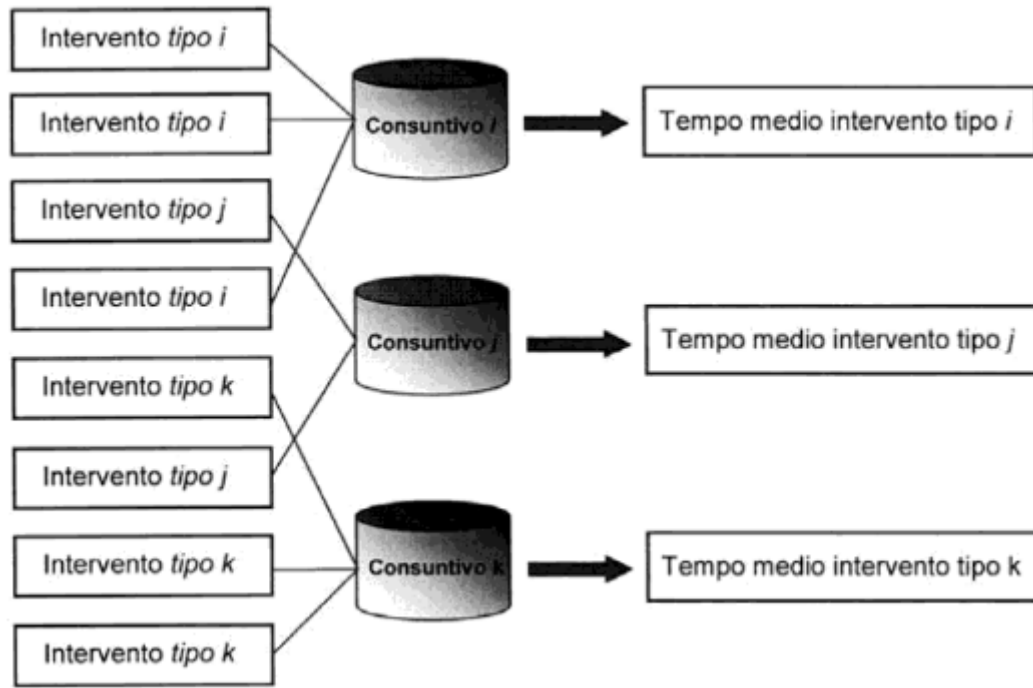
Per preventivare i tempi di esecuzione dei lavori è necessario disporre di un campione di riferimento (standard). I campioni possono essere empirici, dedotti da stime di lavori simili eseguiti in passato, o scientifici basati sulla misura del lavoro.



Metodo della stima: è quello comunemente più usato, si basa sulla stima fatta da personale qualificato, che può essere definita come il tempo presumibilmente necessario per svolgere il lavoro di manutenzione sulla base dell'esperienza degli operatori che procedono alla stima. Affidarsi ad una stima significa accettare una continua fluttuazione nella determinazione dei tempi per lavori simili, con una conseguente difficoltà nell'effettuare misure ottimali.

Metodo dei dati storici: si basa sull'impiego di tempi e metodi raccolti nel corso degli anni e rappresenta un miglioramento rispetto al metodo della stima. Questo metodo consiste nell'analisi a consuntivo dei processi, unendo gli interventi in categorie di lavoro simili, in modo tale da ottenere un tempo medio di esecuzione da utilizzare per interventi simili.

Qui è schematizzato il concetto:



Un problema di questo metodo è la necessità di molto tempo per la raccolta dati in modo tale da avere un database appropriato.

Metodo cronometrico: è un metodo molto semplice che necessita della scomposizione in elementi semplici dei movimenti da analizzare e la successiva misurazione cronometrica dei singoli elementi analizzati.

Metodo UMS: L'Universal Maintenance Standard è una tecnica di preventivazione dei lavori basata sulla valorizzazione dei contenuti dei lavori, mediante l'applicazione di tempi precedentemente determinati calcolati con il metodo MTM (Motion Time Measurement).

4.4- INTERVENTO

Sono le fasi finali del progetto di pianificazione e hanno come linea temporale di riferimento l'istante di tempo in cui l'intervento di manutenzione si svolge.

L'intervento di manutenzione può essere svolto da:

- Personale di produzione: meglio nota come automanutenzione e rappresenta una parte importante del TPM (Total Productive Maintenance). Si affida all'operatore macchina la facoltà di svolgere piccoli interventi di manutenzione come ispezioni, pulizie, piccole riparazioni e tarature.
- Personale di manutenzione: gli interventi di manutenzione vengono affidati a specialisti capaci di risolvere anche casi complessi.

Un intervento di manutenzione importante deve seguire diversi step:

- Diagnosi
 - Assegnazione intervento
 - Prelievo dei materiali
 - Realizzazione intervento
 - Controllo avanzamento
 - Valutazione finale
- Imprese eterne: è un modo di gestire gli interventi che consente all'azienda di ottenere una maggiore disponibilità della manodopera che può meglio soddisfare le variazioni di capacità richieste.

5- GESTIONE DEI MATERIALI DI MANUTENZIONE E DEI RICAMBI

La gestione dei ricambi e dei materiali per la manutenzione in aziende con impianti molto grandi è importante, poiché il costo dei materiali è compreso tra il 20% e il 30% del costo totale della manutenzione.

Quindi avere in magazzino delle scorte di materiali, pronte all'uso in caso di bisogno porta ad un costo di immobilizzo causato dal costo del materiale in sé.

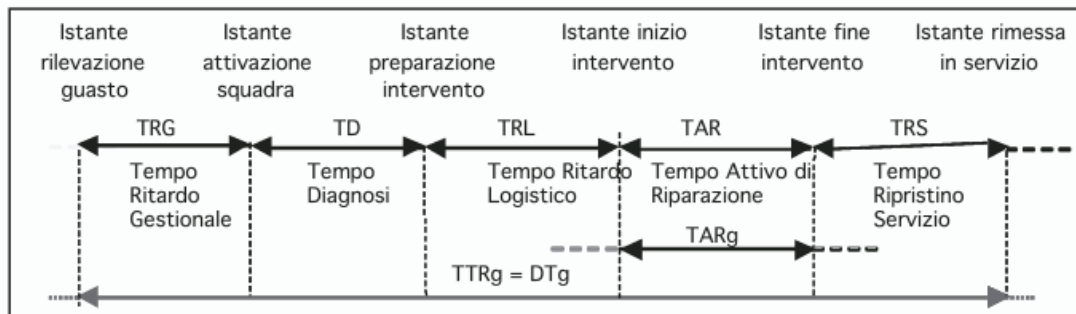
In base alla frequenza e alla quantità della richiesta di materiale, si hanno quattro tipi di domanda:

- Domanda continua, quando non vi sono periodi evidenti in cui non vi è richiesta di materiale e questa richiesta è pressoché invariata per quanto riguarda la quantità.
- Domanda intermittente, quando ci sono lunghi periodi senza alcuna domanda.
- Domanda irregolare, quando a variare molto è la quantità richiesta.

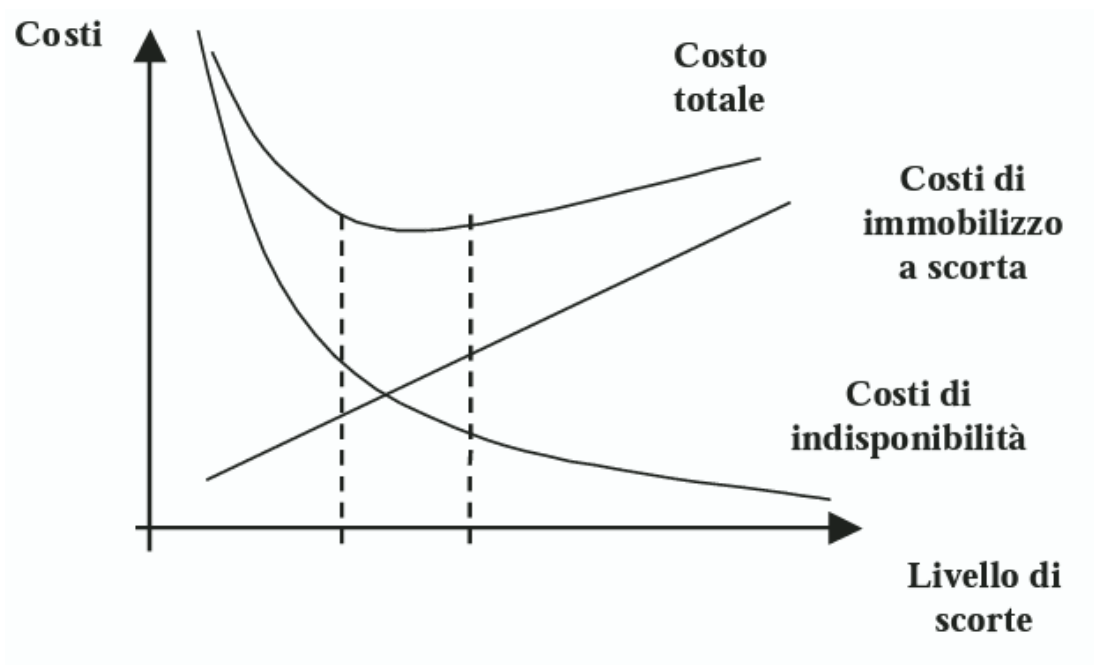
Un altro fattore che influenza il costo di immobilizzo dei materiali, è l'obsolescenza. Questa è la causa che porta alla messa fuori servizio e al termine della vita utile di un impianto, un macchinario o un'attrezzatura ed è dovuta all'introduzione di nuove attrezzature e nuove tecnologie.

L'obsolescenza è la conseguenza di due fenomeni, ovvero l'avanzare dell'invecchiamento dell'impianto e il progredire tecnologico.

Insieme ai costi di acquisto e di immobilizzo, bisogna stabilire il livello di scorte più appropriato perché la mancanza di un materiale nel magazzino delle scorte può portare ad un lungo stop dell'attività produttiva del macchinario (downtime), con pesanti conseguenze sui ricavi dell'azienda.



Il giusto equilibrio tra manutenzione, finanza e logistica è schematizzato nell'immagine seguente



5.1- PROSPETTIVE DI GESTIONE DEI MATERIALI

La gestione dei materiali la si può vedere da diverse prospettive al variare del ruolo del gestore.

- Nel caso di gestore di impianti di proprietà ci si può trovare nel caso di:
 - Manutenzione di sito: l'azienda svolge attività di manutenzione su siti di proprietà, le scorte servono per i macchinari di ogni sito. Quindi la gestione dei materiali è indipendente da sito a sito.
 - Manutenzione centralizzata: l'azienda attua la manutenzione sui siti di proprietà, ma decide di creare dei magazzini per il materiale condivisi tra più siti in modo che le scorte possono essere utilizzate per attrezzature comuni a più siti.

- Nel caso in cui a gestire la manutenzione sia un'azienda esterna può essere il caso di:
 - Manutenzione artigianale: una piccola azienda possiede le proprie scorte di materiale e fornisce servizi di manutenzione per aziende più grandi.

Un'altra soluzione al problema delle scorte può essere quella in cui più aziende collaborano alla formazione di un magazzino per il materiale di scorta condiviso per rispondere prontamente al bisogno di quest'ultimo limitando le spese.

5.2- FASI DECISIONALI NELLA GESTIONE DEI MATERIALI

Codifica dei materiali: la codifica è un'attività importante per la gestione degli ordini di materiali e per l'organizzazione del magazzino, in generale il sistema di codifica dovrebbe aiutarci a comprendere subito quali sono le caratteristiche del materiale.

Classificazione dei materiali: dato il grande numero di materiali, con le rispettive caratteristiche, in uso di solito per le attività di manutenzione è utile l'utilizzo di un sistema di classificazione per gestire meglio l'elevato numero di codici. La classificazione serve a dare una serie di informazioni utili per quanto riguarda la criticità dei materiali.

Strategie di supporto logistico: il supporto logistico scelto è molto importante, ci sono varie scelte da fare come quella di mantenere il materiale a scorta o prenderlo quando c'è il bisogno, un'altra scelta è quella riguardante la forma di gestione delle scorte (centralizzata o decentralizzata).

Previsione della domanda: la previsione della domanda del materiale è un'azione complessa poiché la domanda spesso è intermittente, questa è soggetta a molte variabili. Per la previsione dei consumi dei diversi materiali sono state proposte diverse tecniche, le principali sono due. Le tecniche basate sull'affidabilità da utilizzare quando sono noti il numero di installazioni e le condizioni operative, e le tecniche basate sull'uso dei dati storici dei consumi dei materiali e delle attività di manutenzione mentre non si hanno informazioni riguardo l'affidabilità.

Dimensionamento delle scorte: in base alla previsione del bisogno di materiali e quindi della domanda, si deve effettuare il dimensionamento delle scorte. Il dimensionamento si deve fare in modo da permettere il mantenimento di un certo livello da tenere a magazzino per ogni materiale per il quale si deve adottare una scorta. Spesso come sostegno al dimensionamento si utilizza l'inventario.

Test delle politiche: come fase finale del progetto si svolge un test dei risultati ottenuti con le pratiche precedenti. A tal proposito si procede con delle simulazioni capaci di verificare l'efficienza delle gestioni fatte.

5.3- CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI

La classificazione dei materiali di manutenzione ci aiuta a rispondere a delle domande come: “quali materiali è necessario avere in magazzino?”, “quali invece si possono rifornire secondo la necessità?”.

La classificazione inoltre è utile poiché riduce in maniera rilevante il numero di materiali, permettendoci di passare da un numero elevato di codici ad uno più ristretto di classi.

Storicamente la classificazione veniva effettuata attraverso dei criteri di buon senso acquisiti tramite l’esperienza, questi criteri ci aiutano a capire il grado di criticità dei materiali e quindi di quali è necessario avere una scorta in magazzino.

La criticità è un concetto fondamentale per gestire i materiali di manutenzione, questa può essere:

- Criticità di processo: viene definita in base alle conseguenze del guasto sul processo.
- Criticità di controllo: dipende dalla possibilità di controllare o meno la catena di fornitura.

Un metodo abbastanza utilizzato per classificare i materiali e stabilirne la criticità è quello che si basa sulla loro destinazione di utilizzo:

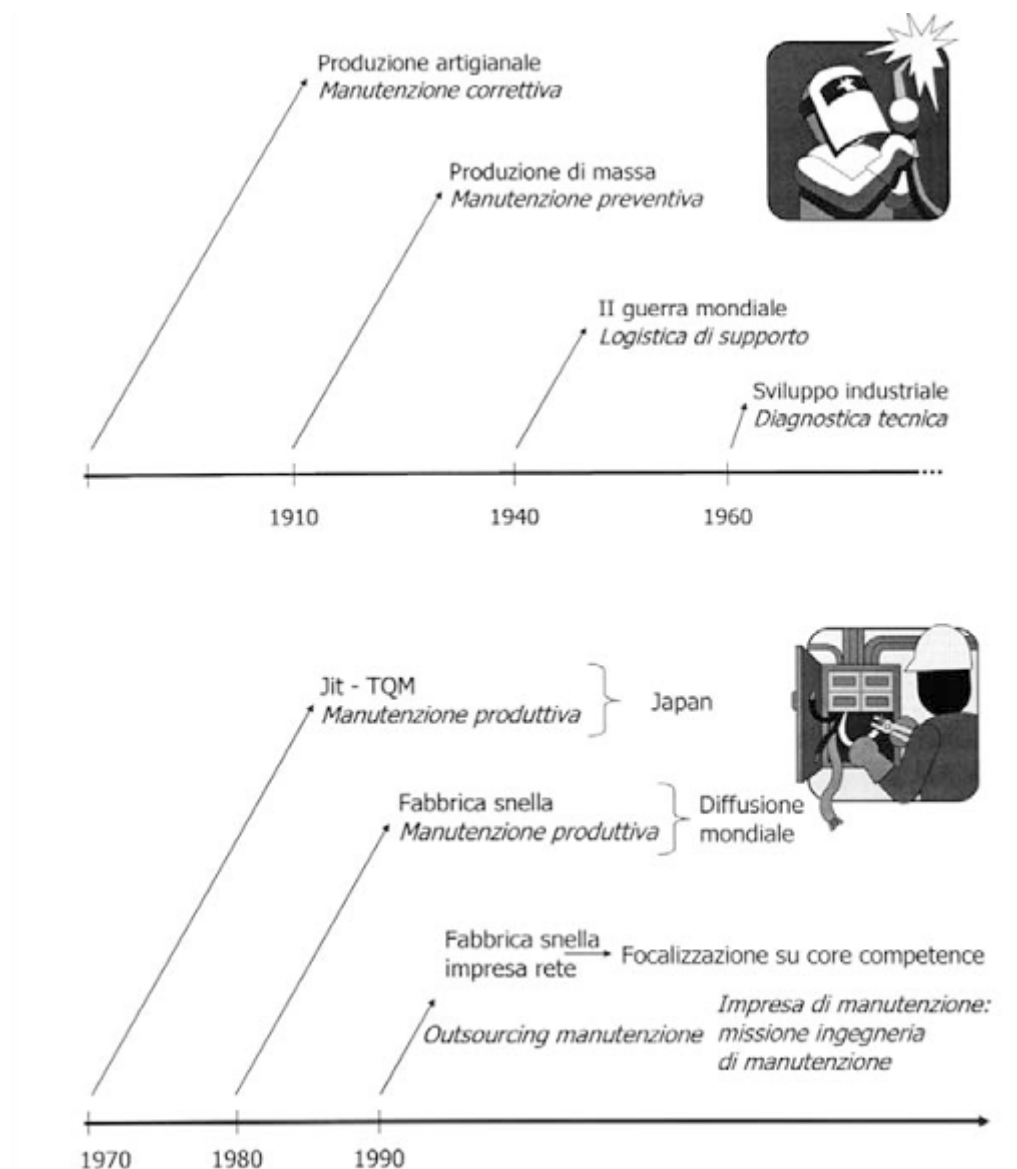
- Classe 1: materiali di consumo e ausiliari, sono materiali che hanno un tasso di consumo continuo e stabile, facilmente reperibili presso molti fornitori. Fanno parte di questa classe sia quelli utili per il funzionamento delle macchine che quelli utilizzati per attività manutentive (olio, filtri, guanti, stracci, ecc.).
- Classe 2: ricambi generici, sono dei ricambi che possono essere utilizzati per svariati macchinari e quindi sono facilmente reperibili sul mercato (cuscinetti, luci, valvole, sensori di prossimità, ecc.).
- Classe 3: ricambi specifici, sono specifici di una particolare macchina, possono essere fatti su misura, e quindi sono disponibili solo presso dei rivenditori specializzati.
- Classe 4: ricambi strategici, sono dei ricambi specifici il cui tempo di usura è difficilmente prevedibile e il cui costo è elevato. Di solito la loro domanda è abbastanza sporadica.

La criticità dei materiali la si può considerare crescente dalla classe 1 alla 4 e può essere classificata anche in altri modi:

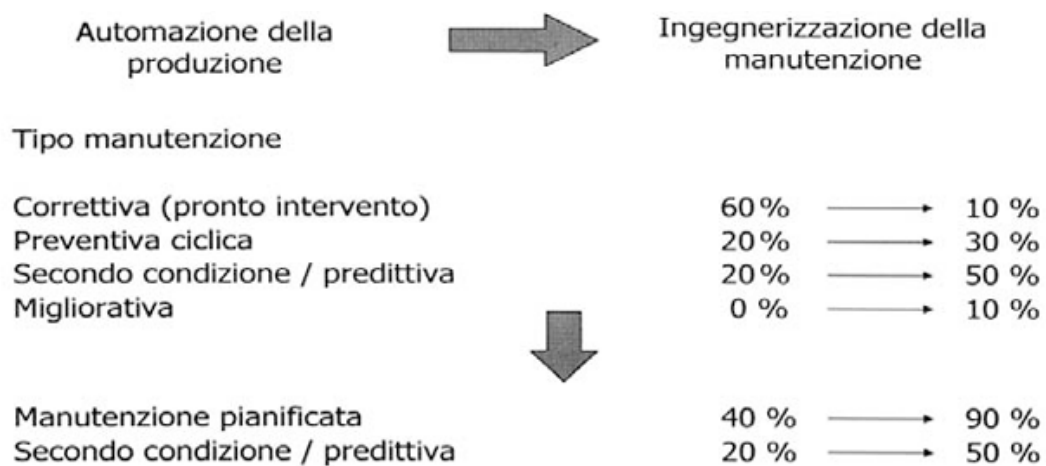
- Metodi quantitativi, che utilizzano criteri basati su valori numerici oggettivi come la domanda media annua.
- Metodi qualitativi, che si basano su valutazioni descrittive.

6- ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE

Nell'arco degli anni sia la manutenzione che la sua organizzazione hanno subito dei cambiamenti e delle evoluzioni.



Lo sviluppo della manutenzione è legato alla crescente ingegnerizzazione del processo produttivo che è caratterizzato dalla prevenzione, dall'affidabilità e dall'ottimizzazione del ciclo di vita. L'ingegnerizzazione è in crescita costante ed è in linea con la crescita dell'automazione degli impianti e con l'evoluzione dei modelli organizzativi.

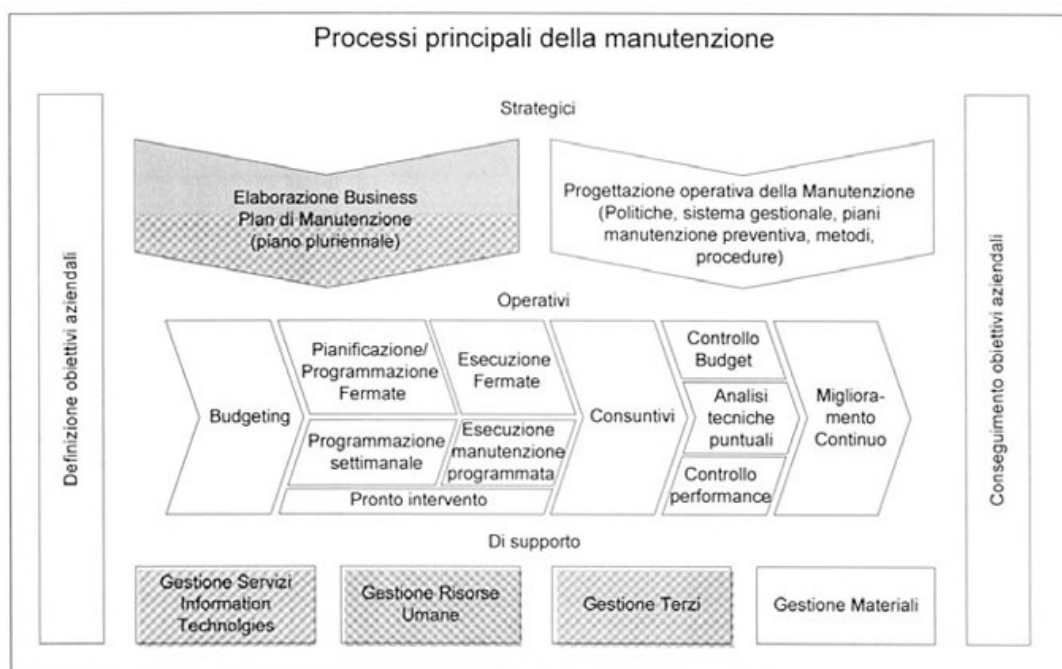


Questo progredire ha portato ad avere un approccio innovativo, non più basato sulla velocità di intervento e sulla capacità tecnica, ma bensì basato sull'aspetto tecnico e quantitativo.

Questo progresso ha colpito anche la figura dell'operatore della manutenzione che ora è una figura manageriale dotata di capacità tecniche e gestionali.

6.1-CRITERI DI PROGETTAZIONE DELL'ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE

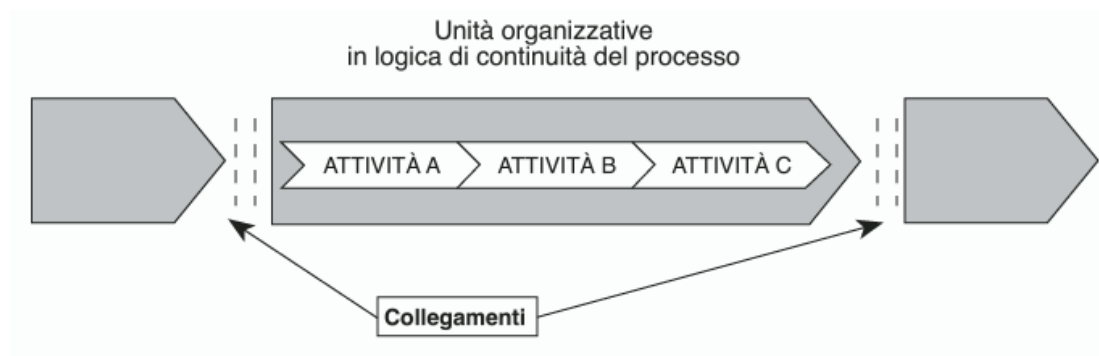
Per definire la forma organizzativa corretta parto dai processi:



Alcuni processi come il business plan, la gestione dei servizi information technologies, la gestione delle risorse umane e la gestione dei terzi sono sì connessi al processo di manutenzione ma dipendono da altre funzioni aziendali, tutti gli altri processi invece fanno riferimento alla manutenzione come soggetto organizzativo.

La progettazione dell'organizzazione manutentiva si attua analizzando le attività dei processi definendo delle cellule/contenitori dell'organizzazione in base a dei criteri derivanti da strategie aziendali:

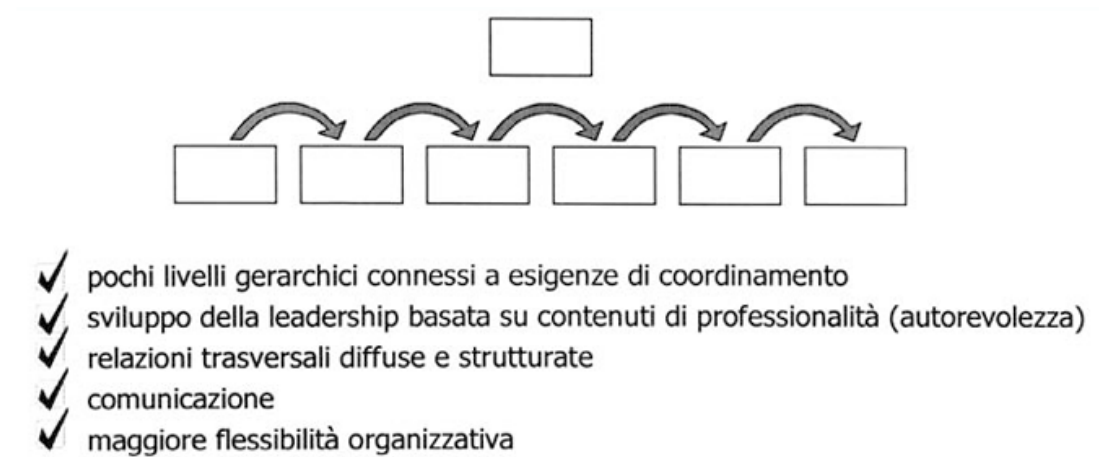
1° Criterio: aggregazione di processi e attività vicine, questo significa inserire in un unico contenitore attività in sequenza per favorirne la gestione. Questo approccio favorisce l'accorciamento dei tempi di attraversamento tramite la gestione coordinata dei passaggi interni.



2° Criterio: aggregazione delle attività omogenee, le attività di manutenzione spesso sono diverse anche se appartenenti a processi vicini, per questo è opportuno creare delle organizzazioni che creino delle masse critiche di sviluppo delle conoscenze. Questo rappresenta un importante vantaggio dal punto di vista organizzativo e deve essere sempre perseguito.

3° Criterio: formazione di strutture snelle, la manutenzione necessita di livelli gerarchici come tutte le organizzazioni e devono quindi essere i collegamenti professionali e funzionali che seguono la logica dei processi.

Schematicamente:



Questo tipo di organizzazione punta alla generazione di valore e il rapporto gerarchico è uno strumento necessario per la coordinazione.

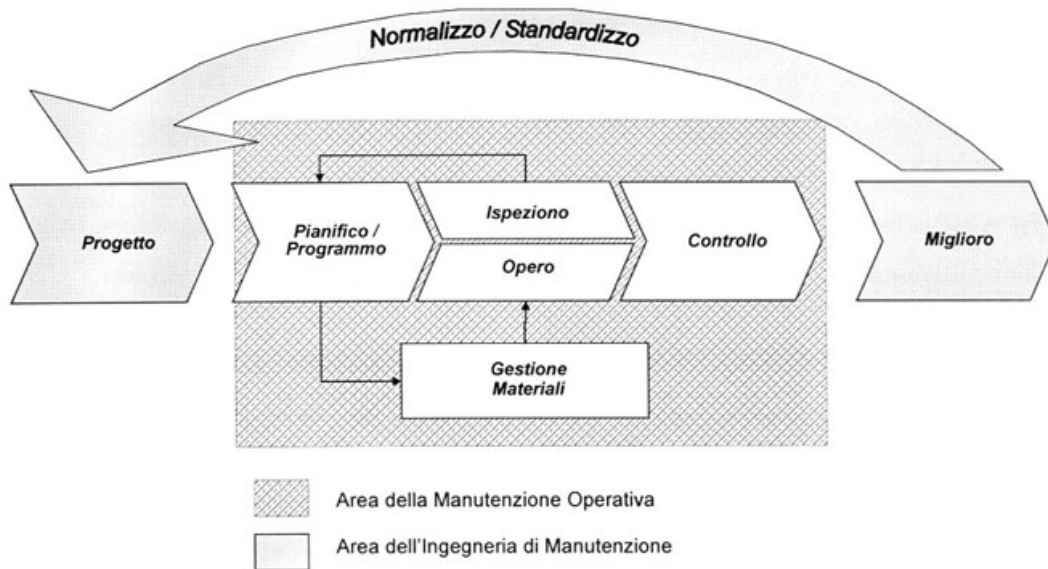
Allora nella struttura organizzativa si riconoscono due macro-aree:

Macro-area della manutenzione operativa (che comprende):

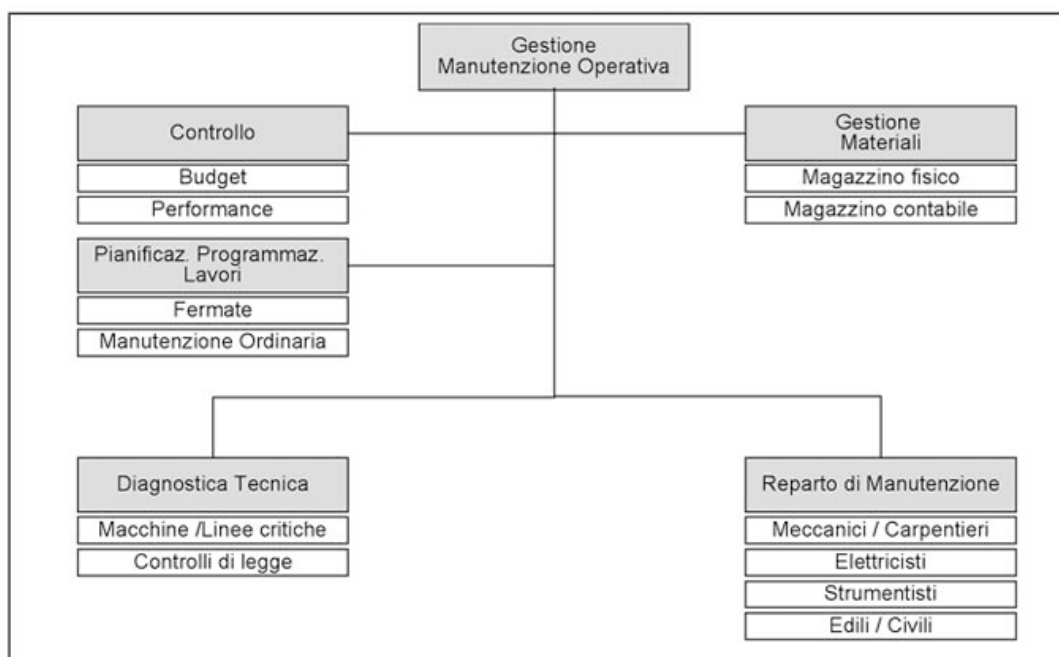
- Area di pianificazione e preparazione dei lavori.
- Area della ispezione.
- Area dei reparti di manutenzione.
- Area di controllo delle performance.
- Area di gestione dei materiali.

Macro-area dell'ingegneria di manutenzione (che comprende):

- Area della progettazione della manutenzione.
- Area del miglioramento.
- Area della standardizzazione.



Quindi è chiaro che le due macro-aree sono distinte e dal punto di vista organizzativo bisogna far riferimento a loro in maniera separata.



Lo schema precedente mostra come è organizzato il processo di manutenzione organizzativa e evidenzia come le varie aree organizzative dipendano da funzioni diverse.

Questo approccio viene utilizzato principalmente nelle piccole e medie industrie dove i luoghi dove vengono riparate le macchine ma anche come centri di raccolta delle risorse utili per eseguire gli interventi programmati.

7- OTTIMIZZAZIONE DEL CICLO DI VITA DEI BENI INDUSTRIALI

All'aumentare del tempo di funzionamento di un macchinario aumenteranno anche i costi di esercizio, questo avviene per la maggiore manutenzione di cui anno bisogno a causa dell'invecchiamento.

A questo proposito arriverà il momento in cui si dovranno fare delle valutazioni riguardo l'eventuale sostituzione dell'entità con un'altra analoga nuova o con una tecnologicamente avanzata. Quindi si dovranno fare delle valutazioni riguardo il tipo di sostituzione da intraprendere se alla pari o migliorativa.

Prima di iniziare le valutazioni da fare riguardo la sostituzione definiamo i diversi aspetti della vita di un macchinario.

Definizione di tipo di vita	Fenomeno associato	Fattore condizionante
vita utile	obsolescenza	progresso tecnologico
vita possibile	inadeguatezza	mercato/cliente
vita fisica	invecchiamento	usura

Vita fisica: per vita fisica si intende il periodo al termine del quale l'entità non è più in grado di svolgere il compito che le è richiesto, la sua durata è una funzione dell'usura e del tempo di utilizzo.

Vita possibile: è il periodo al termine del quale è necessaria la sostituzione della macchina a causa della sua probabile insufficienza nel fornire il servizio sia dal punto di vista della quantità che da quello della qualità, questo periodo può essere sia maggiore che minore della vita utile.

Vita utile: è il periodo al termine del quale è economicamente conveniente sostituire il macchinario anche se è ancora in grado di fornire il servizio richiesto.

A tali tipi di vita fanno riferimento i seguenti fenomeni:

Invecchiamento: è il classico deterioramento fisico ed è la causa dell'usura dell'entità che porta ad un aumento dei costi dovuto ad una manutenzione più frequente e al peggiorare della qualità del servizio o del prodotto.

Inadeguatezza: è l'insufficienza della quantità e del tipo di servizio offerti di sopperire alle nuove esigenze quantitative e qualitative.

Obsolescenza: è il fenomeno che porta alla diminuzione della convenienza durante l'esercizio, che è causata dall'introduzione di sistemi e macchine più aggiornate che permettono di avere un miglioramento del servizio e un risparmio sui costi.

Come scritto in precedenza l'invecchiamento di un macchinario causa un aumento delle azioni di manutenzione e quindi dei relativi costi.

I fattori che influenzano maggiormente la decisione riguardante l'eventuale sostituzione di un macchinario sono la vita possibile e la vita utile.

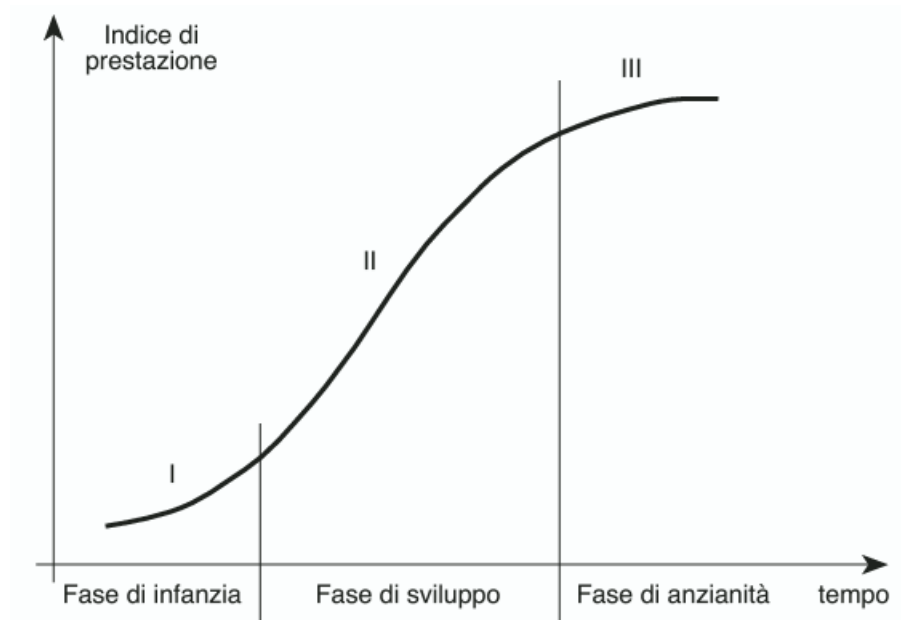
La differenza nella valutazione sta nel fatto che la vita utile dipende dall'invecchiamento e dall'avanzare delle tecnologie che possono mettere a disposizione macchine più performanti, mentre la vita possibile dipende dalla capacità di un'entità di esaudire le richieste di mercato e dei clienti in termini di quantità e qualità del prodotto.

7.1- OBSOLESCENZA E PROGRESSO

Il progresso tecnologico può essere descritto come un miglioramento delle performance e delle caratteristiche tecniche di uno strumento o di un macchinario ed è un processo a cui sono sottoposte tutte le attrezzature e le tecnologie.

Le migliorie possono essere tecniche, come per esempio l'aumento della potenza specifica di un motore, o economiche come la possibilità di avere le stesse prestazioni a costi inferiori. L'obsolescenza si riferisce quindi al solo aspetto economico del progresso, cioè una macchina è obsoleta quando la sua

sostituzione con l'acquisto di una più moderna e aggiornata conviene di più di continuare ad utilizzarla.



Questo grafico cerca di mostrare come si manifesta ed evolve il progresso tecnologico, infatti si possono notare tre fasi temporali distinte.

- La fase di infanzia della tecnologia è la fase all'interno della quale non ci sono aumenti sostanziali nelle prestazioni poiché la tecnologia è stata introdotta da poco e quindi ancora non la si conosce a pieno.
- La fase di sviluppo è il periodo in cui si vedono i frutti dell'aggiornamento effettuato poiché si ha un miglioramento sensibile delle prestazioni e anche dal punto di vista economico.
- La fase di anzianità è la fase finale ed è quella in cui non si notano più miglioramenti nelle prestazioni perché la tecnologia ormai è matura.

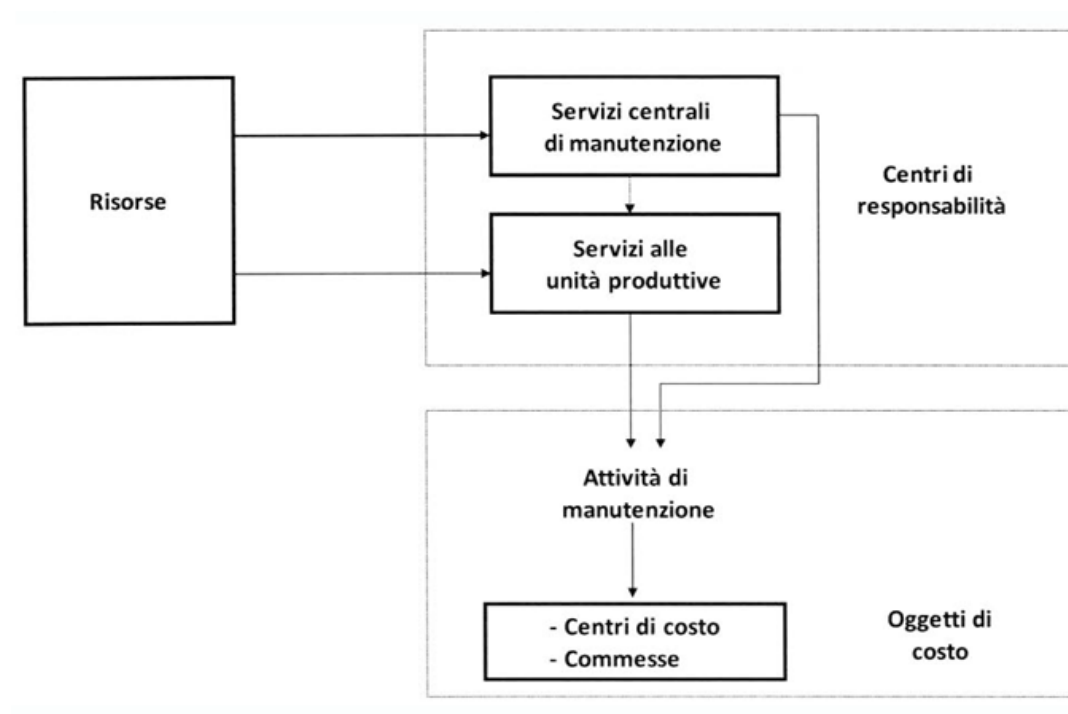
In fine si può dire che il progresso tecnologico si può manifestare:

- tramite miglioramenti progressivi delle prestazioni
- tramite dei salti tecnologici dovuti all'arrivo di nuove tecnologie in maniera del tutto imprevedibile.

Una caratteristica che rende le aziende di successo sempre competitive è proprio quella di saper individuare nuove tecnologie in modo da poterle utilizzare sin da subito in modo da sfruttarne i benefici quando le loro prestazioni saranno superiori a quelle precedenti.

8- BUDGET DELLA MANUTENZIONE

Il budget di manutenzione ha lo scopo di evidenziare in relazione ad un impianto o una linea produttiva il valore dei costi previsti nell'anno in esame per tipo di attività come ad esempio per la manutenzione preventiva e per il pronto intervento, e per voce di costo come per manodopera e i materiali.



In questo schema sono rappresentati i quattro punti cardine che formano il budget della manutenzione.

Risorse: le risorse sono divise per tipologia di costo e si riferiscono a:

- lavoro del personale interno, che è costituito dal personale diretto e quello indiretto;
- materiali, che si differenziano in materiali tecnici come i ricambi e i materiali di consumo come solventi e stracci;
- servizi di terzi, che comprendono tutte le attività di manutenzione svolte da esterni. Questo tipo di servizio può essere continuativo o specializzato;
- attrezzature, utilizzate nelle attività di manutenzione dirette e indirette;
- strumenti utilizzati durante il processo manutentivo.

Centri di responsabilità: evidenziano le unità organizzative che sfruttano le risorse, possono essere:

- servizi centrali di manutenzione, svolgono le attività necessarie per erogare il servizio di manutenzione anche se non sono direttamente coinvolte nell'erogazione;
- servizi alle unità produttive, erogano direttamente il servizio agli utilizzatori interni.

Attività di manutenzione: sono svolte dai centri di responsabilità e si distinguono in due categorie:

- attività primarie, sono composte dalle attività proprie di manutenzione come la manutenzione ordinaria e straordinaria, e dal supporto alle attività di produzione e progettazione;



- attività di supporto, che comprendono la gestione dei dati provenienti dal sistema informatico e dei magazzini.

Oggetto di costo: sono i costi sostenuti dai centri di responsabilità per la manutenzione, e identificano il destinatario del servizio e quindi delle risorse.

Se ne distinguono due tipologie:

- centri di costo, ovvero i beni aziendali che stanno ricevendo servizi di manutenzione come impianti di produzione e di supporto alla produzione, attrezzature e stabilimenti;
- commesse, rappresentano le spese per progetti specifici spesi o ad investimento.

Dopo aver stabilito lo schema del budget e definito gli elementi che lo compongono, è importante capire come i costi delle risorse vengono assegnati ai centri di responsabilità.

Il budget in genere è costruito su una stima fatta sui costi tramite le informazioni prese dai dati storici, e dei costi del personale che rientra nelle operazioni di manutenzione.

Allora analizzando tutti i costi in relazione alle loro aree di impiego si può arrivare a fare una stima delle risorse necessarie e del loro relativo costo.

In conclusione, il budget di manutenzione e il controllo di gestione sono indispensabili per la gestione e il controllo delle attività e delle risorse di manutenzione.

9- MISURA E CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI DI MANUTENZIONE

La manutenzione necessita di un sistema che ne controlli le attività allo scopo di assicurare che le prestazioni dei sistemi che usufruiscono dei servizi vengano mantenute rispettando gli obiettivi che erano stati prefissati.

L'obiettivo di una buona gestione diventa quello di garantire un legame tra le strategie aziendali, le strategie di manutenzione e le attività giornaliere tenendo sempre presente che le scelte devono essere bilanciate poiché le scelte fatte per una parte hanno ripercussioni sulle altre parti dell'organizzazione.

Per rispondere a questo bisogno molte aziende adottano gruppi di misure di tipo differente che insieme forniscono una rappresentazione completa delle prestazioni e dell'azienda nel suo complesso.

Questi gruppi di misure devono permettere di misurare:

- i risultati tecnici ed economici raggiunti dalla manutenzione;
- lo stato dei processi di manutenzione;
- lo stato dell'organizzazione della manutenzione.

9.1- CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE DI PRESTAZIONE

Per determinare un gruppo di indicatori prima è fondamentale stabilire quali sono gli obiettivi principale della funzione di manutenzione cioè:

- il miglioramento dell'affidabilità e della disponibilità;
- l'efficienza dei macchinari;
- la qualità del prodotto;
- la sicurezza ambientale e del personale;
- la buona conservazione dell'impianto;

la classificazione però può essere fatta anche rispetto alla funzione gestionale introducendo:

- **lagging indicator:** sono degli indicatori di prestazione che servono a monitorare il risultato del servizio manutenzione.
- **leading indicator:** sono degli indicatori che servono per monitorare l'andamento delle determinanti del risultato.

Si può affermare che il gestore governa il sistema manutenzione quando ne conosce i valori dei leading indicator principali, infatti è dal raggiungimento di determinati valori di questi indicatori che si prevede il raggiungimento di risultati più o meno soddisfacenti, questi risultati dopo un certo tempo dalla messa in opera verranno analizzati attraverso i lagging indicator.

Un leading indicator ha il compito di vedere se e come un'attività della manutenzione viene eseguita, alcuni esempi:

- rapporto tra il numero di ordini di lavoro di manutenzione eseguiti in ritardo e il numero di ordini programmati, che indica il rispetto dei tempi programmati;
- rapporto tra il numero di ordini eseguiti su condizione e il numero di richieste di lavoro emesse per manutenzione su condizione, che indica la qualità e l'affidabilità del servizio.

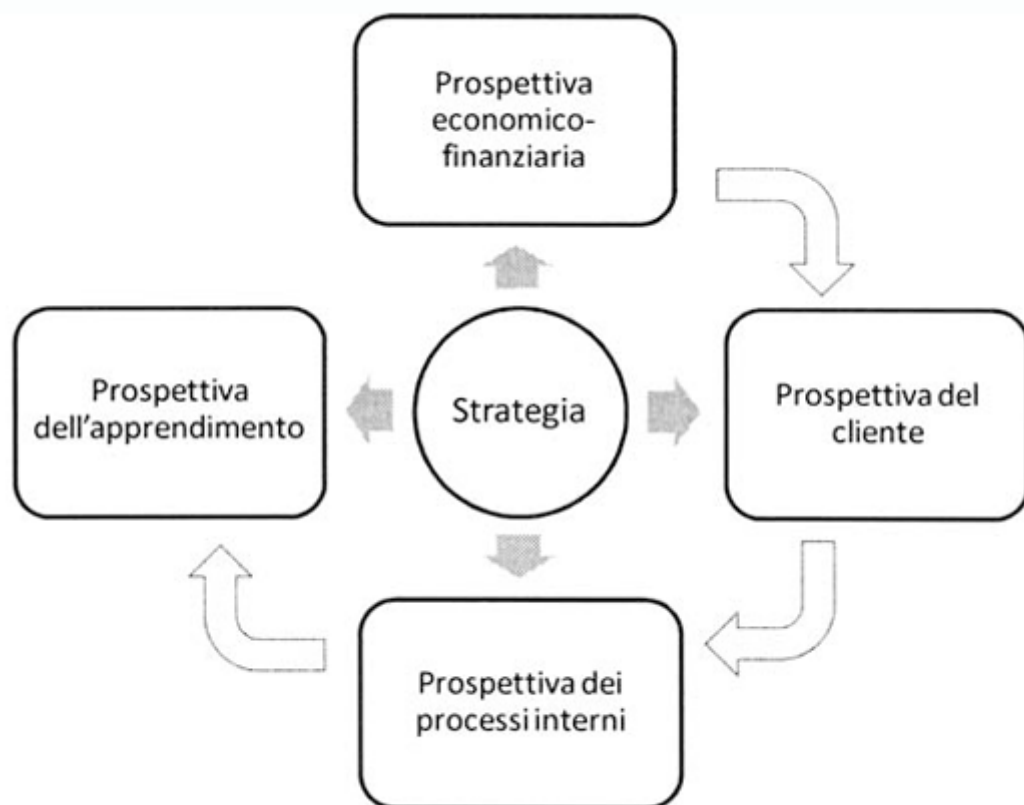
Un lagging indicator invece ha il compito di identificare gli scostamenti della prestazione rispetto agli obiettivi fissati per il servizio di manutenzione, alcuni esempi di questi indicatori sono:

- il Mean Time Between Failure;
- il rapporto tra il costo di manutenzione e il fatturato aziendale.

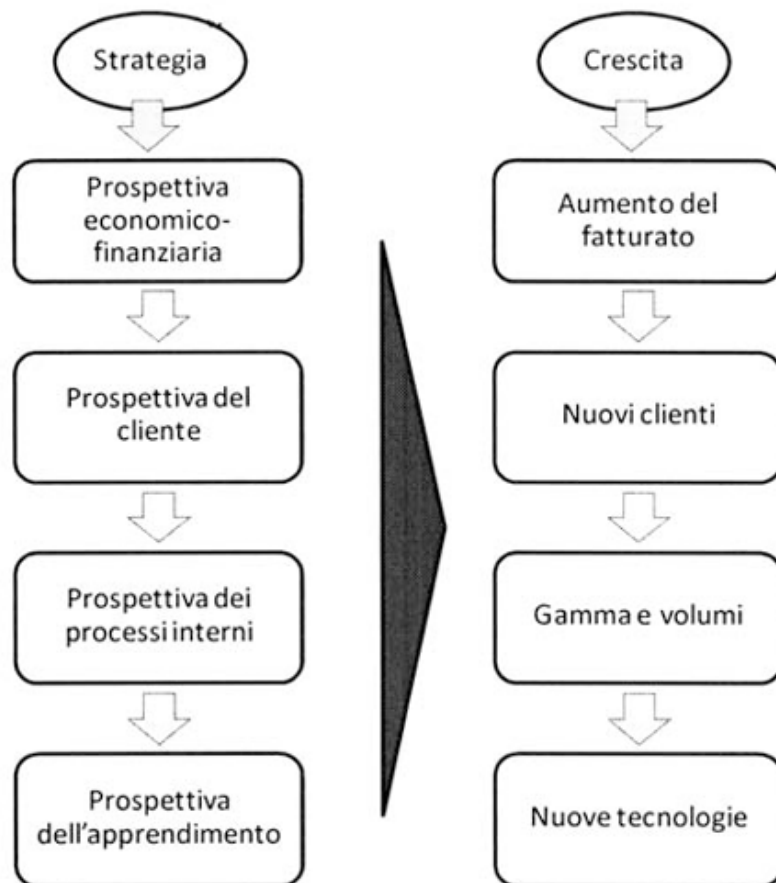
9.2- ORGANIZZAZIONE DELLE MISURE DI PRESTAZIONE

Tra i tanti approcci che vengono utilizzati per costruire un cruscotto di indicatori organizzato, il migliore e ampiamente diffuso è rappresentato dalla Balance Scorecard. Con questo metodo vengono affidati a ciascuna unità organizzativa quattro gruppi di indicatori, che valutano le prestazioni dell'impresa in base a quattro prospettive o scorecard:

- prospettiva economico-finanziaria: sintetizza i risultati ottenuti in termini di creazione di valore economico;
- prospettiva del cliente: analizza i risultati dell'impresa in relazione alla capacità di soddisfare i bisogni del cliente;
- prospettiva dei processi interni: ha lo scopo di controllare l'efficienza interna dei processi operativi;
- prospettiva dell'apprendimento: mira a creare valore a lungo termine attraverso competenze specifiche del personale, uso di attrezzature e metodi ottimali ecc.;



Partendo dagli obiettivi dell'impresa, a ciascuno di essi vengono associati degli indicatori che sono espressi in modo tale da poter essere misurati, questo è rappresentato dallo schema seguente



Questo serve a tradurre la strategia dell'azienda in azioni operative, infatti esprimendo i contenuti delle prospettive vengono messi in evidenza gli elementi critici sui quale l'azienda deve fare affidamento per realizzare con successo la propria strategia.

L'utilizzo dell'approccio della Balanced Scorecard è in linea con una visione della manutenzione in cui:

- la manutenzione è un'area dove si crea valore e non è vista solo come un centro di costo;
- la missione della manutenzione è quella di aumentare la competitività dell'azienda e contribuisce a gestire in modo efficiente gli impianti durante il loro ciclo di vita;
- lo scopo della manutenzione è puntare all'eccellenza puntando sempre sulle pratiche migliori e più innovative.

9.3- MISURA DELLE PRESTAZIONI DELLA MANUTENZIONE

Misura della distribuzione dei costi per politica di manutenzione: attraverso degli indicatori come il rapporto tra il costo della manutenzione correttiva, preventiva o migliorativa e il costo totale della manutenzione, è possibile stimare il peso percentuale dei costi delle politiche di manutenzione rispetto alla spesa totale, e tramite questo si può inoltre stabilire come si dividono le attività all'interno del budget.

È utile dividere la spesa in due tipi di indicatore, il primo considera solo gli interventi di manutenzione spesabili per gli interventi di manutenzione ordinaria, e il secondo è basato sulla quota parte del costo totale di manutenzione capitalizzabile su più esercizi.

Quindi è utile conoscere la distribuzione dei costi per politica di manutenzione per avere delle informazioni a livello di gestione economica della manutenzione.

Gli indicatori citati in precedenza sono di validità generale anche se sono più significativi se utilizzati in un confronto tra settori industriali omogenei, e sono utilizzati come base delle strategie organizzative di aziende regine dei loro settori.

Misura della distribuzione dei costi per tipologia di risorsa impiegata: è un altro fattore importante per la caratterizzazione del budget. Anche in questo caso possiamo differenziare due tipi di indicatori separando la quota del costo totale di manutenzione spesabile sull'esercizio, dalla quota capitalizzabile su più esercizi. E si hanno analogamente all'analisi precedente parametri dati dal rapporto del costo della manodopera interna, del costo dei materiali, o del costo dei servizi di terzi con il costo totale della manutenzione.

In questo caso la scelta delle politiche di manutenzione è importante poiché ha effetto su questi indicatori, che possono diventare sintomi di un eccessivo ricorso ad interventi che causano il rimpiazzo di materiali.

Misura del ciclo di gestione dell'ordine di lavoro: il controllo tecnico della manutenzione necessita dell'uso di alcuni indicatori che servono a misurare come vengono realizzati i compiti di ogni fase del ciclo di gestione.

- Un indicatore che si ha nella prima fase di rilascio dell'ordine è la percentuale di richieste di lavori in stato di richiesta per meno di 5

giorni, ed è una misura della capacità di pronta reazione della manutenzione nello smaltire le richieste le richieste pervenute.

- Per controllare la gestione dell'ordine ci sono diversi indicatori:
 - percentuale di ordini di lavoro completi di tutte le informazioni necessarie;
 - percentuale di ordini di lavoro con un errore della stima preventiva delle ore richieste rispetto alle ore misurate;
 - percentuale di ordini di lavoro pianificati, schedulati e assegnati alle risorse, la cui esecuzione deve essere ritardata per indisponibilità dei materiali;
- La programmazione dell'ordine dipende dalla qualità della pianificazione che spesso può incidere sull'efficienza del processo, riguardo questo ci sono degli indicatori:
 - percentuale di ore di lavoro schedulate rispetto alle ore totali disponibili delle risorse di manutenzione;
 - percentuale di ordini di lavoro assegnati, ma in ritardo per indisponibilità varie;
 - percentuale di ordini di lavoro per i quali è programmata una data di chiusura anticipata alla data pianificata;
- Per quanto riguarda infine le misure relative all'esecuzione dell'ordine, è possibile valutare il livello di rispetto dei tempi programmati e la qualità di esecuzione degli interventi, si usano i seguenti indicatori:
 - percentuale di ordini di lavoro completati prima della data programmata;

- percentuale di ordini di lavoro che vanno ri-eseguiti sul totale dei lavori, in un definito periodo di tempo;
- percentuale di ordini chiusi entro un massimo di tre giorni, avendo fatto tutte le necessarie verifiche e correzioni.

9.4- MISURE DELL'ORGANIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE

Valutazione dell'assetto della struttura di manutenzione: per misurare il peso relativo del gestore, del capo officina, dell'ingegnere di manutenzione, ovvero il personale indiretto, rispetto al personale impiegato direttamente nella manutenzione, manutentori meccanici ed elettrici, si usano indicatori relativi al costo e alla numerosità del personale.

Alcuni indicatori utili e con lo scopo di fornire una prima immagine della distribuzione dei compiti, tra mansioni ingegneristiche e mansioni gestionali per il personale indiretto, e mansioni tecniche-operative per il personale diretto, sono dati dal:

- rapporto tra il costo del personale diretto di manutenzione e il costo totale del personale di manutenzione;
- rapporto tra il costo del personale indiretto do manutenzione e il costo totale del personale di manutenzione;

- rapporto tra il totale del personale diretto di manutenzione e il totale del personale di manutenzione;
- rapporto tra il totale del personale indiretto di manutenzione e il totale del personale di manutenzione.

Misura della formazione del personale di manutenzione: per misurare le politiche aziendali in termini di formazione ed aggiornamento si può monitorare la spesa per la formazione del personale di manutenzione in relazione alla spesa complessiva per formazione nell'azienda facendo il:

- rapporto tra il costo di formazione del personale aziendale di manutenzione e il costo di formazione del personale aziendale;
- rapporto tra il costo di formazione del personale aziendale di manutenzione e il costo del personale di manutenzione.

Misura della fornitura della prestazione da terzi: il portafoglio dei servizi forniti da terzi può essere misurato suddividendo le prestazioni in accordo al livello di specializzazione ed alla tipologia di contratti stipulati.

Avendo sottoscritto sia contratti di servizio con terzi specializzati che con terzi che forniscono servizi comuni, il portafoglio delle prestazioni fornite da terzi può essere misurato attraverso i seguenti indicatori:

- rapporto tra il costo dei servizi di terzi specialisti e il costo dei servizi di terzi;
- rapporto tra il costo dei servizi di terzi di mestiere e il costo dei servizi di terzi.

9.5- MISURA DEI RISULTATI DEL SERVIZIO DI MANUTENZIONE

Misura dei risultati tecnici: tra gli indicatori per la misura dei risultati tecnici ci sono:

- gli indicatori di affidabilità come il Mean Time Between Failure, Mean Time To Failure, Mean Time Between Maintenance;
- gli indicatori di manutenibilità come il Mean Time To Repair e il Mean Down Time;
- gli indicatori di disponibilità;
- un indicatore tecnico importante è anche l'Overall Equipment Effectiveness (OEE), che permette di misurare l'efficacia produttiva di una risorsa nel tempo programmato per il suo impiego.

Altri indicatori ci consentono di concentrare l'attenzione su specifiche prestazioni come la sicurezza, e la qualità del servizio offerto al cliente finale.

Misura dei risultati economici:

- una prima misura di natura economica è rappresentata dall'incidenza dei costi di manutenzione sul costo necessario per la sostituzione del bene con uno nuovo avente caratteristiche analoghe: quindi si ha il rapporto tra il costo totale della manutenzione e il valore di rimpiazzo.

Questo indicatore è utile perché ci fornisce una valutazione globale della gestione rispetto al ciclo di vita del bene, infatti esso cresce per effetto di due fenomeni, l'invecchiamento del bene e la riduzione del valore di rimpiazzo.

- Un'altra misura del risultato economico è data dal rapporto tra il costo totale di manutenzione e il fatturato aziendale.
- Per mettere in relazione il costo di manutenzione con il livello delle attività produttive si usa il rapporto tra il costo totale della manutenzione e la quantità prodotta.
- Il rapporto tra costo totale di manutenzione e il costo totale di produzione è un altro indicatore e mette in evidenza l'incidenza della manutenzione nella formazione del costo totale di manutenzione.

9.6- BENCHMARKING DELLA MANUTENZIONE

Il benchmarking è una metodologia di misura e confronto di prodotti, servizi, funzioni e processi aziendali con i concorrenti, per verificare lo stato di salute della propria azienda, sviluppare gli obiettivi di gestione e attivare il processo di cambiamento.

Questo è un elemento utile per definire la strategia di manutenzione in confronto a casi eccellenti o a valori di riferimento derivati da casi eccellenti, esso permette tramite questi confronti di orientare il processo di cambiamento

e la verifica dei risultati raggiunti nelle diverse aree della gestione della manutenzione che si è scelto di migliorare.

Il benchmarking deve inoltre unire agli indicatori scelti per il confronto, una serie di analisi dei processi che servono ad esaminare come un processo viene svolto e sono la base di partenza per individuare, per ogni attività gli strumenti e le prassi operative giudicate come good practice o best practice.



Da queste e da altre considerazioni più specialistiche si può affermare che l'uso del benchmarking in manutenzione debba essere attento all'interpretazione degli indicatori atti a garantire le comparabilità delle condizioni di misura e, dove questo non è possibile, a capire i motivi delle differenze che sono legate

a tre elementi di criticità: età tecnologica degli impianti, organizzazione e gestione dei servizi tecnici, condizioni di contesto del sistema industriale.

10- GESTIONE E NORMATIVE DEL CONTRATTO DI MANUTENZIONE

10.1- FASI PRELIMINARI

Il marketing di acquisto: prima della sottoscrizione di un contratto è opportuno che l'azienda commissionatrice invii ai potenziali esecutori un questionario che analizzi i loro aspetti tecnici, gestionali, procedurali e commerciali. Attenzione particolare va dedicata alla verifica dell'affidabilità economico-finanziaria, che di solito viene sviluppata mediante la richiesta di bilanci degli ultimi esercizi, inoltre sarebbe opportuno richiedere anche il permesso del tribunale.

Si può quindi dire che il marketing di acquisto permette di selezionare i potenziali esecutori da coinvolgere nella fase successiva di negoziazione.

La negoziazione: evidenzia ad un numero ristretto di soggetti preselezionati le criticità di chi acquista che dovranno essere congruenti con le potenzialità di chi le esegue, se la congruenza si verifica si passerà alla stesura del contratto dove saranno riassunti i diritti ed i doveri delle parti interessate.

La scelta dell'esecutore e la definizione dell'oggetto dell'attività: l'aver verificato le qualifiche e l'affidabilità dell'esecutore e la negoziazione permettono, se strutturate bene permettono di analizzare e spesso anche

risolvere uno dei primi problemi che si verificano in un contratto di manutenzione: la corretta scelta del soggetto esecutore. Questo lo si fa per evitare che un incarico così importante e critico venga affidato ad un soggetto privo delle competenze necessarie.

Un' altra criticità si verifica perché a volte l'azienda commissionatrice non esprime in modo corretto ed esaustivo cosa vuole dalla controparte, ma si limita ad inserire nel contratto una clausola generica. L'oggetto dell'attività di manutenzione deve essere descritto e definito in un documento specifico detto capitolato o specifica tecnica che deve essere allegato al contratto.

Il capitolato, viste le sue caratteristiche deve essere predisposto da personale specifico che possiede tutte le competenze per poter trasmettere all'esecutore, l'oggetto e le varie criticità dell'attività che si deve approvvigionare in un'ottica globale. La specifica tecnica inoltre non deve essere esclusivamente di carattere tecnico, gestionale, e non deve contenere aspetti legali.

Una volta risolte le due principali fonti di problemi dell'attività di manutenzione, che se vengono considerate in maniera superficiale possono portare all'80% dei problemi contrattuali, che di solito sfociano in conflitti legali, l'azienda commissionante sarà in grado di stipulare e assegnare il contratto.

Le fasi di approvvigionamento: quindi le fasi che un approvvigionatore deve seguire per acquisire un'attività di manutenzione sono:

- Vendor qualification nel marketing di acquisto.

- Negoziazione.
- Preparazione del contratto.
- Eventuale gestione dell'assistenza post-vendita, ove necessaria.

10.2- PARTE GIURIDICA

La manutenzione dal punto di vista giuridico viene regolamentata nel contratto di appalto o in quello d'opera.

L'appalto viene spiegato nell'articolo 1655 e seguenti del codice civile che recita "l'appalto è il contratto con il quale una parte assume con organizzazione dei mezzi necessari e con gestione a proprio rischio il compimento di un'opera o di un servizio verso un corrispettivo in denaro".

Le caratteristiche dell'appalto quindi sono:

- Gestione a proprio rischio dell'attività commissionata per realizzare l'opera o il servizio, che passano all'acquirente una volta terminati.
- Organizzazione e scelta autonoma di tutte le attrezzature, materiali ecc. necessari per realizzare il servizio o l'opera.

L'appalto rappresenta quindi una obbligazione di mezzi e di risultato ed è tipico di aziende di dimensioni medio-grosse.

Il contratto d'opera viene descritto invece nell'articolo 2222 e seguenti del codice civile che dice "quando una persona si obbliga a compiere verso un

corrispettivo un'opera o un servizio, con lavoro prevalentemente proprio e senza vincoli di subordinazione verso il committente”.

A differenza dell'appalto l'attività viene svolta per la maggior parte da una persona fisica, quindi la diversità sta nella prevalenza di lavoro personale che non presuppone l'utilizzo di lavoro altrui. Il contratto d'opera è caratteristico delle piccole imprese a conduzione familiare, del professionista e dell'artigiano.

Allora si può dire che la maggior parte dei contratti di manutenzione che vengono stipulati dall'azienda riguardano l'appalto di servizi che devono essere eseguiti da una figura specifica detta appaltatore, che deve possedere i mezzi fisici ed economici per poterli eseguire in maniera autonoma e favorevole all'azienda commissionante.

Un tipo di appalto molto comune è l'appalto pubblico, la caratteristica principale per l'acquisizione di lavori, servizi e forniture nel settore pubblico è descritta negli articoli 2 e 27 del codice dei contratti pubblici, “è l'applicazione tassativa dei principi di economicità, efficacia, tempestività e correttezza; l'affidamento deve altresì rispettare i principi di libera concorrenza, parità di trattamento, non discriminazione, trasparenza, proporzionalità, nonché quello di pubblicità”, quindi la regola generale è l'indizione di una gara di appalto pubblica da parte della stazione appaltante.

Tutti i partecipanti ad una gara di appalto devono possedere i requisiti dell'articolo 38 del codice dei contratti pubblici, i soggetti che non posseggono

tali requisiti sono esclusi dalla partecipazione alle procedure di concessione degli appalti.

In fine i documenti necessari per permettere l'applicazione della procedura sono:

- il bando di gara che riassume le regole, le modalità di affidamento, il tipo di procedura e il criterio utilizzato per l'affidamento dell'appalto;
- il capitolato che riassume in maniera semplice ed esaustiva l'oggetto dell'attività;
- il contratto che contiene gli obblighi legali e contrattuali fra stazione appaltante ed appaltatore.

10.3- TIPOLOGIE DI CONTRATTO

I tipi di contratto utilizzati per regolare la manutenzione possono essere due:

- l'ordine rappresenta un'ottima soluzione per forniture o manutenzioni poco critiche, poiché dispone di regole predefinite chiamate contratti per adesione, quali le condizioni generali di acquisto o appalto.

L'ordine può essere aperto o chiuso:

- l'ordine chiuso costituisce la forma più tradizionale di contratto e stabilisce al suo interno tutte le modalità e i termini, è utilizzato

per un'attività definita come tempi di consegna, prezzo e tipo di prestazione e si chiude una volta terminata l'attività;

- l'ordine aperto si utilizza quando dopo un'accurata analisi dello storico si rendono necessarie attività manutentive periodiche e ripetitive;
- il contratto quadro generalmente è preferito se l'attività commissionata richiede clausole specifiche riguardanti la manodopera, la regolamentazione della sicurezza e della tutela ambientale. Il costo di questo contratto è molto superiore a quello dell'ordine perché è lo strumento più tutelante e appropriato per gestire un'operazione come la manutenzione.

In alternativa all'ordine e al contratto quadro ci potrebbe essere la stipulazione di una convenzione, che rappresenta un insieme di principi contrattuali, proposti dai soggetti esecutori, con cui l'azienda acquirente si assicura condizioni di favore nel caso di effettivo utilizzo di quei beni e servizi.

Questa non rappresenta un vincolo di tipo giuridico per chi acquista, ma riassume un insieme di condizioni che vengono redatte in previsione di un futuro utilizzo e che diventano vincolanti qualora la convenzione venga attivata.

10.4- NORMATIVE

Quando un committente assegna un appalto o un contratto d'opera, che prevedono l'uso di manodopera da parte dell'appaltatore è indispensabile l'osservanza di determinati obblighi presenti nel D. Lgs 81/08, nel D. Lgs 106/09 e successive modifiche ed integrazioni che hanno lo scopo di tutelare la salute e la sicurezza sui luoghi di lavoro.

Queste direttive se non applicate esattamente possono comportare per il committente delle sanzioni penali.

Anche l'appaltatore deve sottostare a delle normative e nel corso della sua opera è tenuto a fornire delle garanzie ovvero:

- difformità e vizi dell'opera regolamentata dall'articolo 1667 del codice civile;
- rovina e difetti delle cose immobili regolamentata dall'articolo 1669 del codice civile.

Qualora il committente verificasse dei problemi potrebbe chiedere che questi vengano risolti a spese dell'appaltatore qualora i danni fossero causati dalla sua opera.

Restando nell'ambito delle normative è da citare anche quella riguardante il subappalto, il quale viene descritto nell'articolo 1656 del codice civile che

recita “l'appaltatore non può dare in subappalto l'esecuzione dell'opera o del servizio, se non è stato autorizzato dal committente”.

Per quanto riguarda la legislazione riguardante la variazione del prezzo nei contratti di appalto, sono importanti i seguenti articoli del codice civile:

- l'articolo 1660 che riguarda le variazioni necessarie del progetto;
- l'articolo 1661 che riguarda le variazioni ordinate dal committente;
- l'articolo 1664 che riguarda l'onerosità o difficoltà di realizzare l'opera.

Per completare tutto quello esposto in precedenza, di seguito viene fornito un esempio di check-list contrattuale, che però non deve rappresentare una standardizzazione, infatti ogni testo contrattuale deve essere adattato secondo le specifiche del committente e le caratteristiche del singolo appalto.

Check-list contrattuale di un contratto di manutenzione

PREMESSE AL CONTRATTO

DEFINIZIONI

SOGGETTI CONTRAENTI E POTERI DEI FIRMATARI

OGGETTO

DURATA DEL CONTRATTO

SUBAPPALTO E RAPPORTI CON SUBFORNITORI

CESSIONE DEL CONTRATTO E DEL CREDITO

PENALI

PERIODO INIZIALE E RECESSO

RISOLUZIONE

FORZA MAGGIORE

TERMINI DI CONSEGNA

PENALI

AUTORIZZAZIONI E LICENZE

TUTELA DELLA SALUTE E DELLA SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO

PREZZI

PAGAMENTI

GARANZIA

ASSICURAZIONE

DIRITTO DI ISPEZIONE

RISERVATEZZA

LEGGE APPLICABILE

ARBITRATO (O IN ALTERNATIVA FORO COMPETENTE)

ALLEGATI AL CONTRATTO

CONCLUSIONI

Questo studio ha cercato di dare la risposta ad una domanda: “Possono un’analisi attenta e la pianificazione dettagliata delle soluzioni di manutenzione contribuire in maniera importante al miglioramento delle prestazioni dell’impianto e alla riduzione dei costi di un’azienda?”.

Per dare una risposta alla domanda posta in precedenza sono stati condotti uno studio e una ricerca, aventi proprio lo scopo di fornire una visione ampia e generale di tutto quello che c’è dietro quella che può sembrare un’attività semplice e banale come la manutenzione ma che di semplice e banale ha ben poco.

Queste ricerche hanno mostrato che per effettuare una corretta progettazione delle tecniche manutentive da applicare, sono coinvolte più parti del management aziendale.

Si parte dalla stesura del business plan della manutenzione arrivando alla stesura del tipo di contratto con tutte le rispettive leggi e normative da rispettare, passando per, la gestione dei materiali di manutenzione e del magazzino per le scorte e i ricambi, lo stanziamento del budget per l’aggiornamento dei macchinari e il miglioramento del loro ciclo di vita.

Lo studio svolto infine ha messo in evidenza che la manutenzione è un’operazione complessa che necessita dell’interesse di molte parti dell’azienda e di altrettante figure professionali come, il personale addetto alla

parte di progettazione e organizzazione del quale fanno parte gli ingegneri e le altre figure manageriali, il personale che svolge in prima persona la manutenzione, e tante altre figure fondamentali per la buona riuscita del progetto.

BIBLIOGRAFIA

- Dhillon B.S., *Engineering Maintainability: How To Design for Reliability and Easy maintenance*, Houston, Gulf Professional Publishing, 1999
- Dhillon B.S., *Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers*, CRC Press Taylor and Francis Group, 2006
- Furlanetto L., Garetti M., Macchi M., *Principi generali di gestione della manutenzione*, Milano, FrancoAngeli, 2006
- Furlanetto L., Garetti M., Macchi M., *Pianificazione, organizzazione e gestione tecnico-economica della manutenzione*, Milano, FrancoAngeli, 2011

- Stapelberg R.F., *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and safety in Engineering Design*, Springer Verlag, 2009

SITOGRAFIA

- <http://www.blausius.com/>.
- <http://www.lep.polito.it/>.