



Università degli Studi di Padova  
Facoltà di Ingegneria

---

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria  
dell'Automazione

Tesi di laurea magistrale

## La manutenzione programmata negli impianti di produzione industriale

Candidato:  
Luigi Carozza  
Matricola 1020486

Relatore:  
Ch.mo Prof. Ing. Giulio Rosati  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale

Anno Accademico 2013–2014



Se mi ami non piangere!

Se tu conoscessi il mistero immenso del cielo dove ora vivo,  
se tu potessi vedere e sentire quello che io vedo e sento  
in questi orizzonti senza fine,  
e in questa luce che tutto investe e penetra,  
tu non piangeresti se mi ami.  
Qui si è ormai assorbiti dall'incanto di Dio,  
dalle sue espressioni di infinità bontà e dai riflessi della sua sconfinata  
bellezza.

Le cose di un tempo sono così piccole e fuggevoli  
al confronto. Mi è rimasto l'affetto per te:  
una tenerezza che non ho mai conosciuto.  
Sono felice di averti incontrato nel tempo,  
anche se tutto era allora così fugace e limitato.  
Ora l'amore che mi stringe profondamente a te,  
è gioia pura e senza tramonto.

Mentre io vivo nella serena ed esaltante attesa del tuo arrivo tra noi,  
tu pensami così!

Nelle tue battaglie,  
nei tuoi momenti di sconforto e di solitudine,  
pensa a questa meravigliosa casa,  
dove non esiste la morte, dove ci diseteremo insieme,  
nel trasporto più intenso alla fonte inesauribile dell'amore e della felicità.  
Non piangere più, se veramente mi ami!

Padre G. Perico – Sant'Agostino

Ciao MAMMA! Ecco il tuo Dottore. Nelle lacrime scrivo queste righe che forse non avrei mai voluto scrivere perchè tu non sei qui a sorridere e a cantare. Tutto questo lo dedico a te che hai saputo combattere e hai saputo accettare e infine hai dato esempio di quanto il Sorriso la positività e il giusto modo di comunicare può far fiorire la Luce dall'oscurità, ma chissà quanti realmente hanno recepito il tuo messaggio. Oggi festeggio per Te e con Te perchè anche se il vuoto che ho dentro per non averti qui non si colmerà mai, in questi 5 anni ho avuto la prova che non sei andata via per sempre sei lì che mi aspetti, mi incoraggi e mi aiuti nei momenti difficili ispirando dall'alto tutte le persone che hanno incrociato il mio cammino. Nel mio Cuore risuona la Tua Canzone: I will Always love you!. Il momento è arrivato si entra in scena.



## ABSTRACT

Nell'ultimo decennio la sempre più crescente richiesta di prodotti affidabili e a basso costo ha incentivato lo studio e l'analisi dei processi produttivi. In questo ambito la manutenzione degli impianti di produzione gioca un ruolo fondamentale.

Lo studio e l'approfondimento scientifico sui temi della manutenzione in questi anni hanno subito un notevole e motivato incremento nonché un suscitato interesse da tutta la comunità scientifica. In questo progetto di tesi si espongono le basi teoriche della manutenzione preventiva che racchiude in se tutte le metodologie di analisi e sintesi per la formulazione di algoritmi di ottimizzazione dei costi di produzione per una migliore gestione del ciclo di vita dei componenti relativi al processo produttivo.



# INDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA                                      | 11 |
| 1.1   | Chi è ZF?   | 11 |
| 1.2   | Le divisioni  | 11 |
| 1.3   | La Struttura Organizzativa ZF Padova S.R.L.                     | 13 |
| 2     | TEORIA DELLA MANUTENZIONE                                       | 15 |
| 2.1   | Cenni storici della Manutenzione                                | 15 |
| 2.2   | I Compiti aziendali della manutenzione e altre funzioni         | 16 |
| 2.3   | Principi della Manutenzione                                     | 17 |
| 2.4   | Teoria dell'Affidabilità  | 20 |
| 2.5   | Strategie Manutentive   | 33 |
| 2.6   | Gestione dei ricambi  | 40 |
| 3     | IL PDM AZIENDALE: AXALANT E SAP                                 | 49 |
| 3.1   | Introduzione  | 49 |
| 3.1.1 | Product development process                                     | 49 |
| 3.1.2 | Strategic Systems   | 49 |
| 3.1.3 | Distinzioni tra PDO e FDO.                                      | 53 |
| 3.2   | Ristrutturazione BOM - Bill of Material                         | 54 |
| 3.2.1 | Ricerca della macchina  | 55 |
| 3.2.2 | Creazione sottogruppo   | 57 |
| 3.2.3 | Rilascio sottogruppo  | 60 |
| 3.2.4 | Assegnazione sottogruppo  | 60 |
| 3.2.5 | SAP-Plant Maintenance: Creazione struttura e Gestione Equipment | 63 |
| 3.2.6 | Creazione Struttura   | 66 |
| 3.2.7 | Creazione Equipment   | 68 |
| 3.2.8 | Collegamento oggetti tecnici                                    | 70 |
| 4     | ZFPM ORDER LIST   | 71 |
| 4.1   | ZFPM: Soluzione Alternativa                                     | 71 |
| 4.2   | Interfacce Utente   | 71 |
| 4.2.1 | Creazione della richiesta di manutenzione                       | 72 |
| 4.2.2 | Gestione delle richieste  | 74 |
| 4.2.3 | Foglio repilogativo dell'ordine:Bolla di Manutenzione           | 77 |
| 4.3   | Storico Ordini  | 80 |
| 5     | CONCLUSIONI   | 81 |
|       | Bibliografia  | 81 |





## INTRODUZIONE

In questo progetto di tesi che prende vita grazie ad un progetto formativo di stage presso l'azienda ZF PADOVA S.R.L. verrà affrontato uno dei problemi fondamentali nell'ambito produttivo: la manutenzione programmata degli impianti industriali. Infatti questa scienza figlia della Manutenzione ricopre molti aspetti fondamentali spaziando dalla gestione produttiva a quella finanziaria, nella quale, il "target" fondamentale è l'abbattimento dei costi dovuti alla riduzione degli "sprechi" che solo una gestione "intelligente" e organizzata permette di realizzare. La manutenzione insegue obiettivi di disponibilità e conservazione del valore dei sistemi nel tempo, utilizzando una diversità di tecniche e di strumenti che in primo luogo appartengono al dominio dell'ingegneria, delle scienze naturali, della fisica, della chimica, della economia, della sociologia e del management.

L'obiettivo è quello di garantire le azioni necessarie al raggiungimento di tali obiettivi e la disponibilità di risorse ben formate per realizzare tali azioni in modo adeguato. La manutenzione inoltre ha il compito di adeguare e se possibile migliorare costantemente i sistemi alle esigenze espresse dai loro utilizzatori, ricorrendo dove necessario alla loro riprogettazione o alla loro sostituzione, quando i sistemi non sono più in grado di svolgere appieno la funzione loro assegnata. La manutenzione programmata sotto questo punto di vista svolge pertanto un ruolo fondamentale e due condizioni necessarie e sufficienti affinché essa possa produrre degli effetti "positivi" sono: la sua pianificazione e progettazione.

Analizzeremo come alcuni strumenti informatici tra cui SAP ERP (SAP – Enterprise Resource Planning) e Axalant e6.1 tramite piattaforme di scambio dati si interfacciano per la gestione dei beni aziendali e come vengono strutturati affinché possano effettuare la loro continua supervisione sia in ambito produttivo che economico.

Il progetto principale di questo elaborato è la creazione tramite SAP della struttura di manutenzione aziendale, al fine di organizzare tutta la parte dei dispositivi macchine e centri di lavoro per stabilire le procedure di mantenimento delle stesse, al fine di creare uno storico dati che permetta all'azienda di valutare tra le politiche manutentive che verranno esposte, quella che meglio ottimizza i costi totali di produzione.

Nella prima parte segue una breve presentazione dell'azienda ospite dello stage. Nella seconda parte dell'elaborato vedremo come i concetti fondamentali della manutenzione: Affidabilità e Disponibilità sono formalizzati al fine di definire le grandezze di riferimento per i problemi di manutenzione e tutte le variabili che sono in gioco. Nella terza parte esporremo la raccolta dati tramite i sistemi informativi utilizzati per il confronto tra le varie politiche manutentive. Seguono in fine le conclusioni



# 1

## PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA

### 1.1 CHI È ZF?

ZF è una multinazionale leader al livello mondiale di trasmissioni e sistemi autotelaio. Nasce grazie alla mente creativa di Graf Zeppelin il quale all'età di 52 anni sviluppò un grande interesse per la tecnologia e le invenzioni. Infatti dopo aver completato la carriera militare, rapidamente divenne un visionario del suo tempo. Grazie alla sua ricchezza di idee tecniche e innovative ebbe il dono di riuscire a convincere la gente a sostenere quello che erano allora progetti avventurosi come l'invenzione del dirigibile. Fin dall'inizio, l'obiettivo della fabbrica di ruote dentate stabilito nel 1915 è stato quello di fornire prodotti innovativi progettati per ottimizzare la mobilità. Gli sviluppi tecnici, economici, sociali e politici hanno influenzato la società nel corso degli anni. ZF ha continuamente sviluppato dai suoi primi giorni, la produzione di ingranaggi e trasmissioni per i dirigibili Zeppelin, fino al gruppo internazionale attuale che si occupa della fornitura di tecnologia per telaio e trasmissione nel settore automobilistico. Le società acquisite e dei loro dipendenti sono anche servite come una forza trainante per lo sviluppo stesso dell'azienda. Non si può vivere nel passato. Ma la tradizione, i valori e le convinzioni di ZF possono essere comprese, cercando nella storia della società. Attualmente il mondo aziendale ZF consta di 6 divisioni principali quali: Car Powertrain Technology, Car Chassis Technology, Commercial Vehicle Technology Industrial Technology e Electronic Systems, delle quali nel prossimo paragrafo fornisco una breve descrizione.

### 1.2 LE DIVISIONI

Nella divisione tecnologia Powertrain Auto, ZF svolge attività per autovetture riguardanti la tecnologia di trasmissione. Inclusi in questo contesto : sviluppo, produzione e vendita di trasmissioni, assali, moduli di trazione, componenti di trasmissione, così come metallo leggero muoiono i componenti del cast.

Il portfolio di trasmissione è costituito da cambi automatici e manuali, trasmissioni a doppia frizione, e trasmissioni ibride. La loro portata di rifornimento per le unità sugli assi copre tutte le applicazioni dei dispositivi di azionamento dell'asse anteriore e posteriore in autovetture e veicoli fuoristrada.

Il modulo Powertrain Business Unit si occupa degli elementi attivi iniziali ( convertitore di coppia e doppia frizione ), elementi che iniziano passivi ( frizione, comando, volano a doppia massa, e gli elementi di azionamento dei cambi manuali automatizzati), e gli elementi di avviamento elettrico ( motori elettrici e moduli ibridi ). L'insieme di prodotti è completato da componenti in lega leggera pressofuso, cioè alloggiamenti di trasmissione, componenti di controllo, così come componenti interni di trasmissione, per la quale il Casting business Unit Die tecnologia è responsabile delle 22 sedi in tutto il mondo circa 18.000 dipendenti lavorano nella divisione.

Il Car Chassis Technology Division è il responsabile generale per i sistemi di assali anteriori e posteriori completi e per i veicoli fino a 6 tonnellate. Il settore comprende anche la produzione di telaio e componenti dello sterzo, ammortizzatori, ammortizzatori elettronici e sistemi di telaio, così come componenti gomma-metallo e plastica per i veicoli provenienti da tutti i produttori di fama mondiale. In quattro Business Unit più di 19.000 dipendenti in più di 50 siti produttivi in tutti i continenti contribuiscono al successo della divisione e quindi di tutto il Gruppo ZF.

Il Vehicle Technology Division Commerciale unisce tutte le attività riguardanti la tecnologia del telaio di veicoli commerciali e di trasmissione. Le 5 business unit del settore sviluppano, producono e vendono prodotti innovativi e soluzioni di sistema per il mercato globale dei veicoli commerciali. Il ventaglio di prodotti comprende: trasmissioni automatiche e manuali, trasmissioni powershift, e componenti di trasmissione, così come i sistemi ibridi. La gamma di prodotti è ulteriormente integrata con componenti di telaio, sistemi di assali completi, ed i corrispondenti sistemi di smorzamento. Così, il Vehicle Technology Division commerciale è in grado di fornire ai propri clienti una molteplicità di prodotti estremamente completa e soluzioni di sistemi interi da un'unica fonte. In tutto il mondo, la divisione T ospita un team di ca. 15000 dipendenti in 20 sedi.

La Industrial Technology Division è la divisione in cui ZF raggruppa le sue attività per applicazioni off- road. Esso comprende lo sviluppo e la produzione di trasmissioni e assali per agricoltura e costruzione di macchine così come la tecnologia di trasmissione per sistemi di movimentazione dei materiali, e veicoli speciali per le ferrovie. La divisione è anche responsabile per il business a livello mondiale di sistemi di propulsione marina, della tecnologia aerea, nonché lo sviluppo e la produzione di riduttori per turbine eoliche. Sistemi di prova per tutti i tipi di applicazioni in trasmissione e tecnologia del telaio e incluse nella divisione troviamo anche la telematica piattaforma aperta Openmatics.

Grazie alle sue tecnologie di punta, di ottima qualità e una rete di servizio in tutto il mondo, ZF contribuisce ad una maggiore efficienza e di protezione delle risorse. Le unità di business della Divisione Tecnologia Industriale coprono quindi una gamma molto ampia di prodotti e mercati. La divisione impiega una forza lavoro complessiva di ca. 9.000 persone presso 20 sedi in tutto il mondo. Passau è responsabile di questa divisione come posizione manageriale. Della medesima divisione fa parte lo stabilimento di Padova dove ho sviluppato il questo progetto di tesi.

Per aumentare l'efficienza e l'economicità di mobilità individuale e l'attività di trasporto, elettronica / mecatronica svolgono un ruolo sempre più importante. Fino al 90 % delle innovazioni che sono sviluppate che nei veicoli prodotti in questo settore. L'Electronic System Division supporta l'intera gamma di prodotti ZF al fine di fornire una maggiore efficienza nel veicolo. Per il Gruppo ZF, la linea di prodotti corpo - telaio - trasmissione sviluppa e produce unità di controllo, sistemi di sensori e sistemi mecatronici tra le altre cose. Il controllo e l'elettronica di potenza sviluppati in-house contribuiscono essenzialmente a sistemi di propulsione ZF per veicoli ibridi ed elettrici. Come Tier 1, la linea di prodotti Human Machine Interface fornisce sistemi di cambiata per trasmissioni automatiche o manuali per autovetture e cvs per tutti rinomati costruttori di automobili in tutto il mondo. Dispositivi di input come tastiere, mouse e lettori di schede e componenti per applicazioni industriali ed elettrodomestici sono sviluppati e prodotti con il marchio del prodotto Cherry.

### 1.3 LA STRUTTURA ORGANIZZATIVA ZF PADOVA S.R.L.

Nell'immagine che segue vediamo quella che rappresenta la struttura dell'azienda divisa per le sue aree operative e i suoi subordinati. I lavori esposti in questo elaborato sono riferiti all'area Operation ZF.

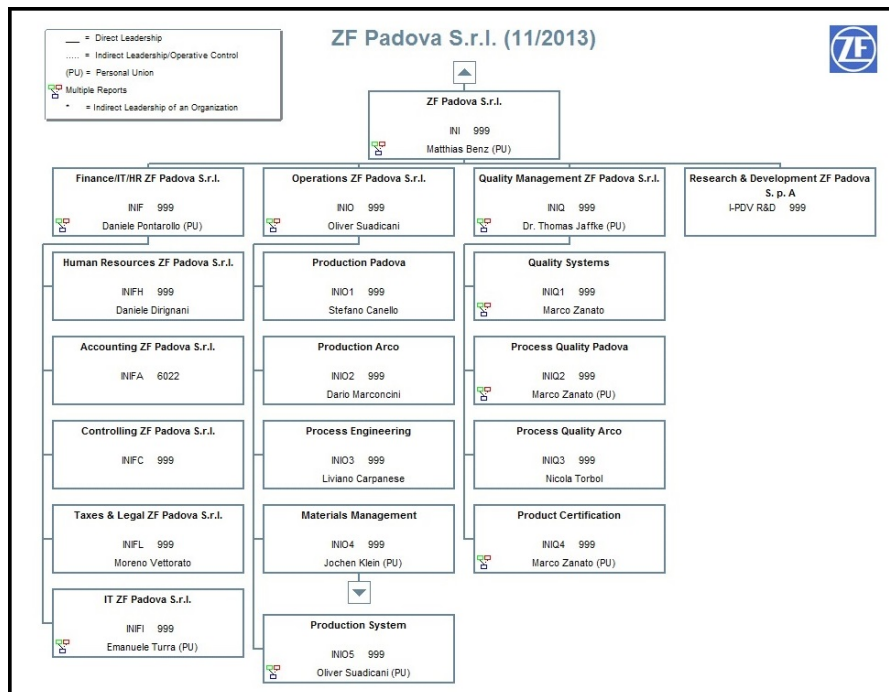


Figura 1: Sezione Ingegnerizzazione dei Processi (Process Engineering)



# 2

## TEORIA DELLA MANUTENZIONE

Negli anni è cambiato il modo di far manutenzione: da servizio complementare e distaccato dalla produzione sta diventando sempre più parte integrante dell'attività produttiva attraverso una razionalizzazione del lavoro e dell'integrazione di altre funzioni dell'azienda o impresa. Vedremo in dettaglio alcuni aspetti storici ed evolutivi della manutenzione, intesa come servizio aziendale.

### 2.1 CENNI STORICI DELLA MANUTENZIONE

Lo sviluppo dei processi tecnologici, la ricerca continua di una maggiore efficienza tecnico-economica delle aziende, il progresso della tecnica hanno portato alla costruzione di strumentazioni, macchine ed apparati sempre più complessi, delicati e costosi che – senza scampo – hanno cambiato anche le metodologie pratiche di approccio alla risoluzione di alcuni problemi.

La necessità di mantenere inalterata l'efficienza degli impianti e delle macchine che li compongono è sempre stata l'obiettivo principale e maggiormente perseguito. La "manutenzione" nel suo significato completo è quella funzione aziendale preposta al ruolo di assicurare la continuità di buon funzionamento delle strutture produttive. La moderna manutenzione – intesa come servizio aziendale – si basa su alcune proprietà che la caratterizzano e la contraddistinguono dai modi di operare caratteristici di un periodo industriale ormai lontano: il lavoro di manutenzione, una volta associato al singolo evento, oggi è di tipo programmabile;

- non complementarietà della funzione manutentiva rispetto alle altre attività produttive, ma unità responsabile caratterizzata da razionalità e competenza e da un forte senso di integrazione nell'attività dell'impresa;
- la manutenzione oggi è chiamata a programmare, coordinare e controllare le sue attività in modo che il lavoro svolto da tutta l'impresa sia tecnicamente più completo ed economicamente vantaggioso;
- la formazione del personale preposto alle operazioni manutentive assume un ruolo fondamentale nel creare una mentalità adatta ad accettare le nuove procedure informatizzate ed a renderle operative ed efficaci.

La norma UNI 9910 poi UNI 10147 definisce la manutenzione come:

*"combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative incluse le attività di supervisione, volte a mantenere o a riportare un'entità in uno stato in cui si possa eseguire la funzione richiesta".*

Nel 2003 queste norme furono sostituite dalla UNI EN 13306, che definisce la manutenzione come: "combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate

a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”; la funzione della manutenzione è quindi rivolta allo svolgimento di un servizio a vantaggio della produzione. Per questi motivi l’importanza della manutenzione ha acquisito, nel corso degli anni, una importanza sempre maggiore. La presenza del “macchinario” in ogni processo produttivo con livelli tecnici e tecnologici sempre più spinti ha come diretta conseguenza la necessità di interventi preventivi e correttivi del guasto che siano organizzati e la cui esecuzione sia inquadrata in schemi definiti (procedure di manutenzione) al fine di contenere gli oneri tecnici ed economici che la manutenzione inevitabilmente porta con se.

## 2.2 I COMPITI AZIENDALI DELLA MANUTENZIONE E ALTRE FUNZIONI

Ultimamente la manutenzione ha di diritto acquisito il ruolo centrale di funzione corresponsabile al buon funzionamento e andamento dell’impresa per cui essa viene inquadrata con maggiore precisione all’interno dell’attività produttiva. Il responsabile del servizio di manutenzione ha perso nel tempo il ruolo del semplice operaio-caposquadra per assumere il ruolo sempre più preminente di manager, occupandosi sia dell’aspetto tecnico che di quello economico e progettuale; è nata in tal modo una nuova figura all’interno dell’organigramma aziendale. Gli obiettivi e gli incarichi che un responsabile di manutenzione è chiamato a raggiungere e a svolgere si possono definire nel seguente modo:

- assicurare l’esistenza e il buon funzionamento dei sistemi di sicurezza e di prevenzione contro infortuni diretti o indiretti alle persone e alle cose, contro emissioni ambientali pericolose;
- gestire le risorse aziendali al fine di minimizzare i costi derivanti dalla possibile rottura e/o dalla riparazione delle risorse tecniche destinate alla produzione;
- operare con continuità al fine di limitare il decadimento delle prestazioni delle macchine;
- formare ed educare gli addetti di produzione ad alcuni aspetti di correttezza e sicurezza nell’utilizzo dei macchinari e responsabilizzarli nei confronti della gestione iniziale delle anomalie e dei guasti agli impianti.

Il raggiungimento degli obiettivi è vincolato alle azioni pratiche che la manutenzione deve porre in atto e gestire nell’eseguire il compito a cui è preposta. Alcune azioni possono essere pertanto:

- mantenere l’efficienza di un macchinario eseguendo tutte gli interventi correttivi, cioè a guasto avvenuto, o di prevenzione del guasto;
- organizzare e gestire gli interventi e i materiali necessari sia in termini di tempo che di priorità tecnologiche, produttive, economiche ed umane;
- riconoscere e gestire i casi in cui può essere necessario ricorrere a competenze esterne, cioè all’utilizzo di strutture e/o personale esterno al



proprio per risolvere problemi di particolare importanza dimensionale o tecnologica;

- occuparsi con continuità del miglioramento dei mezzi tecnici a disposizione attraverso revisioni periodiche che ne assicurano il corretto grado di precisione e attraverso la valutazione del caso di sostituzione;
- formare il personale alla conoscenza dei macchinari e al corretto utilizzo degli strumenti;
- collaborare con tutte le funzioni aziendali coinvolte nel processo di installazione, gestione e utilizzo del macchinario al fine di raccogliere il maggior numero possibile di informazioni su cui basare le strategie di intervento;
- gestire i riordini e le quantità delle scorte di materiali da tenere in magazzino;
- formare il personale produttivo a condurre una prima diagnosi del guasto e a risolverlo se di lieve entità, nonché alle procedure per il fermo macchina e inoltro della necessaria documentazione.

Il responsabile della manutenzione è – dunque – l’anello di congiunzione tra il personale operativo della squadra e il resto dell’azienda. Deve cercare di gestire al meglio il personale e di motivarlo per ottenere gli obiettivi preposti. A tal proposito il responsabile dovrà risolvere alcune problematiche riguardanti:

- la determinazione delle politiche di manutenzione da utilizzare;
- dimensionamento delle risorse umane e tecniche in relazione alla politica adottata e alle condizioni dell’ambiente operativo;
- determinazione delle politiche di approvvigionamento dei ricambi in funzione della loro criticità.

La condizione di figura manageriale del responsabile della manutenzione si configura e definisce, dunque, attraverso questa connotazione.

## 2.3 PRINCIPI DELLA MANUTENZIONE

### La Gestione delle Macchine

Una qualsiasi macchina viene costruita per svolgere una determinata e ben definita funzione nota a priori. Di tale funzione si conoscono le caratteristiche in termini di tempi, prestazioni e costi. Il suo funzionamento non è continuo nel tempo a causa di inevitabili anomalie che insorgono nel corso della sua vita utile e che possono essere determinate da svariati fattori umani e ambientali. In tale contesto di interruzione della funzione preposta si inseriscono i concetti di:

- affidabilità
- disponibilità

L'affidabilità (Reliability o Survival function) di un componente o sistema (riparabile o non) è una grandezza probabilistica definita su un intervallo di missione T. Essa rappresenta la misura di probabilità che il componente (sistema) svolga correttamente (i.e. senza subire un guasto) la sua funzione ovvero quella per cui è stato concepito, date specifiche condizioni operative.

La disponibilità è definita come la percentuale di tempo di buon funzionamento rispetto al tempo totale in cui è richiesto il funzionamento stesso dell'elemento.

Queste due grandezze sono lo strumento attraverso il quale è possibile valutare la continuità con cui una macchina può garantire il raggiungimento della missione per la quale è stata ideata e costruita.

Implementare a livello industriale le teorie affidabilistiche comporta inevitabilmente dei costi che devono essere gestiti in funzione dello scopo finale.

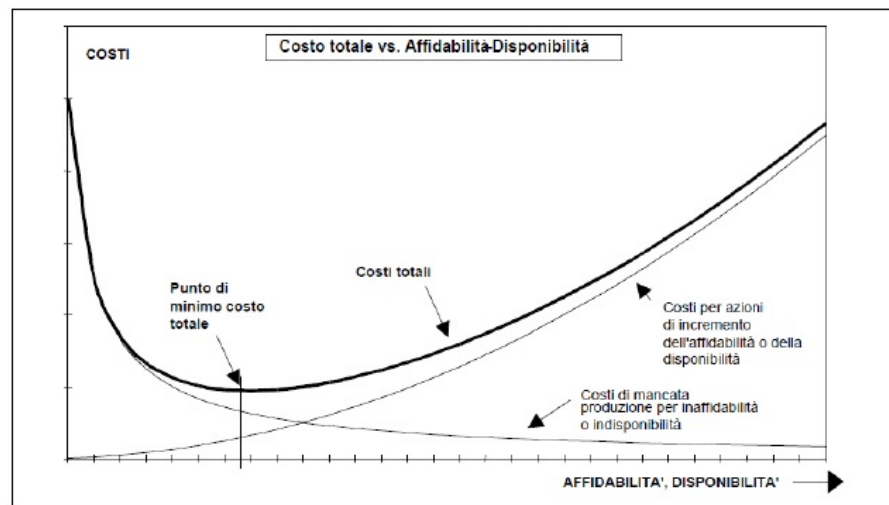


Figura 2: Curva rappresentante i costi totali in funzione di affidabilità-disponibilità

La figura precedente mostra l'andamento qualitativo di come la curva costo totale sia data dalla somma dei costi sostenuti per azioni di incremento dell'affidabilità o disponibilità e dei costi di mancata produzione dovuti all'inaffidabilità o indisponibilità delle macchine stesse. Poiché le macchine si guastano, l'affidabilità e la disponibilità vengono garantite, ove possibile, attraverso adeguate politiche manutentive che, se da un lato contribuiscono a un funzionamento globale regolare e continuativo, dall'altro rappresentano un onere economico spesso non indifferente, intervenendo in sede di gestione dell'impianto, oppure nella progettazione o riprogettazione di parti o insiemi di macchine o nell'installazione di unità di riserva (sistemi ridondanti).

### Affidabilità

Lo studio dell'affidabilità si applica in generale a meccanismi che, nel corso della vita utile, non possono essere tecnicamente ed economicamente riparati. Gli andamenti che caratterizzano la probabilità di guasto nel tempo in ambito manutentivo sono la legge gaussiana e la legge esponenziale negativa. Nell'ambito di dispositivi non riparabili, si può definire

### **MTTF - Mean Time To Failure:**

Tempo medio al guasto, cioè quel tempo in cui il 50% dei componenti testati ha cessato di svolgere la sua missione.

Si è quindi visto come l'affidabilità di un componente non riparabile sia la sua probabilità di buon funzionamento all'interno di un certo intervallo di tempo di utilizzo. In un'ottica manutentiva conoscere la probabilità di buon funzionamento all'interno di un certo intervallo di tempo – cioè conoscerne l'affidabilità - consente di intervenire prima che si verifichi il guasto.

Per applicare in maniera corretta l'affidabilità al mondo operativo bisogna:

1. definire un criterio univoco ed oggettivo per riconoscere uno stato di guasto;
2. determinare l'intervallo di tempo  $t$  entro il quale è richiesto che la macchina o l'elemento considerato debbano funzionare per portare a termine la missione;
3. determinare le condizioni ambientali in cui la macchina dovrà operare.

### *Disponibilità*

Considerando la possibilità di ripristinare la funzionalità di un qualunque dispositivo, in particolare per quei dispositivi a cui è richiesto un notevole numero di cicli del tipo rottura-riparazione-ripristino anche più volte nel corso della vita utile, si ricorre spesso alla valutazione della disponibilità.

La norma UNI 9910 definisce la disponibilità come "attitudine di una entità a essere in grado di svolgere una funzione richiesta in determinate condizioni a un dato istante, o durante un dato intervallo di tempo, supponendo che siano assicurati i mezzi esterni eventualmente necessari".

Definiamo:

Dall'inglese *Availability*, definita come la percentuale di tempo di buon funzionamento rispetto al tempo totale in cui è richiesto il funzionamento stesso della macchina, dove:

- UT: Up Time: il tempo in cui il sistema è realmente disponibile;
- DT: Down Time: il tempo in cui la macchina è ferma.

Poiché per sistemi riparabili si può parlare di tempo medio fra due guasti, definiamo

- MTBF: Mean Time Between Failures: tempo medio fra due guasti
- MTTF: Mean Time to Failures: tempo medio al guasto
- MTTR: Mean Time To Repair: tempo medio di ripristino funzionalità

Possiamo riscrivere la disponibilità come

$$A(\infty) = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTR}{MTTF + MTTR}$$

A parità di tempo medio fra due rotture (uguale MTBF), un cespite è più disponibile di un altro avente MTTR più elevato; analogamente la disponibilità di due sistemi con simile tempo di riparazione, cresce al crescere dell'MTBF cioè della sua affidabilità all'interno del periodo di funzionamento richiesto.

## 2.4 TEORIA DELL'AFFIDABILITÀ

### Tempo al guasto

Il concetto di affidabilità è legato al processo di rottura del generico componente o sistema. Tale processo è funzione di numerosi fattori, la gran parte dei quali non controllabili. Per questo motivo il tempo di rottura non è una grandezza deterministica ma casuale. Si indica quindi con  $\tau$  la variabile aleatoria tempo di guasto (*TTF-time to failure*). Si indica con  $f(t)$  la distribuzione di probabilità dei valori di  $\tau$  (*ddp-probability density function*). Valgono le seguenti relazioni fondamentali:

$$P(\tau \leq T) = \int_{-\infty}^T f(x) dx \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (2)$$

La 1 rappresenta la probabilità che la variabile aleatoria assuma un valore non superiore a  $T$ , mentre la 2 rappresenta la condizione di normalizzazione comune a tutte le distribuzioni di probabilità statistiche. La funzione  $f(t)$  è detta anche rateo di guasto non condizionato, poiché rappresenta una misura puntuale della velocità con la quale un generico componente si rompe in un istante di tempo  $t$ , quando è messo in funzione in corrispondenza di  $t = 0$

### Componenti riparabili e non riparabili

I componenti di un sistema possono essere divisi in queste due classi: riparabili e non riparabili. L'aggettivo riparabili sta ad indicare quei componenti del sistema che effettuano più cicli di funzionamento, (*up -rottura -aggiustamento*) quelli non riparabili ne effettuano uno solo. Le classi dei componenti riparabili può pertanto contenere quella dei non riparabili dato che quest'ultimi sono un loro caso particolare e di conseguenza possono essere trattati con gli stessi modelli affidabilistici che rappresentano il comportamento dei riparabili. In particolare i modelli che descrivono i componenti non riparabili sono impiegati per i riparabili quando di questi ultimi si vuole indagare il comportamento al primo guasto. Un sistema costituito da più componenti non riparabili e necessariamente non riparabile. Un sistema fatto di almeno un componente riparabile può essere trattato come riparabile. Si illustrano di seguito i principali parametri e modelli affidabilistici atti a descrivere il comportamento al guasto di componenti e sistemi non riparabilisdfad

### Il concetto di affidabilità

L'affidabilità (*Reliability o Survival function*) di un componente e di un sistema non riparabile è una grandezza probabilistica definita su un intervallo di missione  $T$ . Essa è la misura della probabilità che il componente svolga senza subire un guasto la funzione per la quale è stato concepito, date le specifiche condizioni operative. Si indica con  $R(T)$  l'affidabilità del componente  $i$ -esimo per un intervallo di missione pari a  $T$ . Di seguito si utilizzeranno espressioni del tipo  $r(t)$  o  $R(t)$  dove  $t$  è un istante di tempo dell'intervallo:

$$T = t - t_0 \quad (3)$$

dove  $t_0$  rappresenta l'istante di riferimento tipicamente assunto pari a 0. Dalle espressioni di tempo di guasto  $\tau$  e di ddp  $f(\tau)$  introdotte in precedenza scaturisce l'espressione generale dell'affidabilità:

$$R(T) = \int_T^{\infty} f(x) dx \quad (4)$$

Pari alla probabilità che alla variabile  $\tau$  sia non inferiore a  $T$ .

### Il rateo di guasto condizionato

Il rateo di guasto condizionato  $\lambda(t)$  (*hazard function*) rappresenta la velocità di rottura di un componente non riparabile. Diversamente dall'affidabilità è una grandezza puntuale definita secondo la seguente:

$$\lambda(t) \cdot \Delta t = P(t \leq \tau \leq t + \Delta t) \quad (5)$$

dove:

- $P(\tau)$ : è la misura della probabilità associata all'evento rottura del componente;
- $\tau$ : è la variabile aleatoria tempo al guasto del componente in oggetto;
- $\Delta t$ : è intervallo di tempo piccolo a piacere; Si noti che  $\lambda(t)$  è definita mediante la probabilità di evento condizionato, dove la condizione è che il componente, di cui si misura  $\lambda(t)$ , sia funzionante nell'istante di tempo  $t$  e che il componente sia messo in funzione nell'istante  $t_0 = 0$ . La Figura 3 chiarisce ulteriormente la notazione adottata:

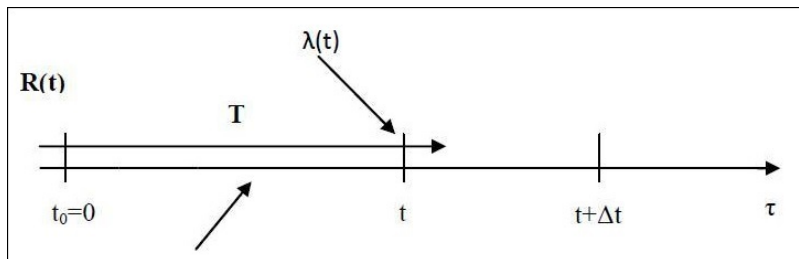


Figura 3: Affidabilità e rateo di guasto condizionato  $T = t - t_0$

Il rateo di guasto condizionato  $\lambda(t)$  differisce dal rateo di guasto non condizionato  $f(t)$  in quanto il primo rappresenta la probabilità nell'unità di tempo (velocità istantanea) con cui il componente si rompe qualora appena prima sia funzionante. Il secondo invece è una misura della probabilità di rottura come  $\lambda(t)$  ma non è condizionata.

Il modello affidabilistico si basa inoltre sulle seguenti ipotesi fondamentali:

- I componenti ed i sistemi possono assumere solo due stati possibili: funzionamento (stato 0) o non funzionamento (stato 1). Viene quindi esclusa la possibilità che il componente sia non del tutto funzionante;

- La transizione dello stato di funzionamento a quello di rottura è istantanea;

La Figura 4 rappresenta il diagramma degli stati in linea con l'ipotesi sopra introdotte.

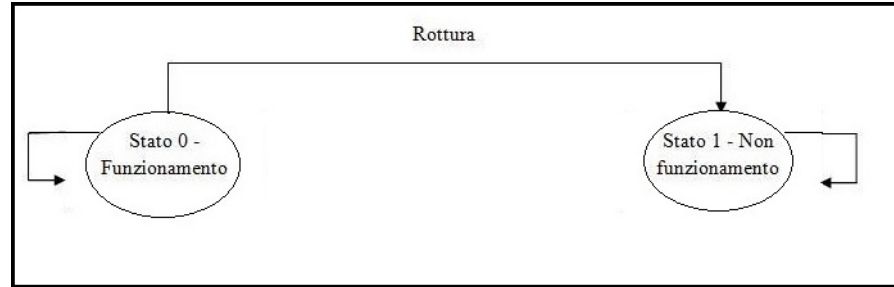


Figura 4: Possibili stati e transizioni del componente *non riparabile*. Riparazione non ammessa

### Espressioni dell'affidabilità e del rateo di guasto

Si ricavano ora le espressioni generali dell'affidabilità e del rateo di guasto condizionato di componenti non riparabili. Si considerino le seguenti ipotesi e definizioni:

- $N$  numero di componenti messi in funzione all'istante  $t_0 = 0$ ;
- $N_G(t)$  numero dei componenti guasti in un generico istante di tempo  $t$ ;
- $N_S(t)$  numero di componenti funzionanti nell'istante  $t$ .

Dalle definizioni introdotte derivano le seguenti relazioni:

$$N_S(t) = N - N_G(t) \quad (6)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_G(t)}{N} = 1 \quad (7)$$

La grandezza affidabilistica densità di probabilità di guasto o rateo di guasto non condizionato  $f(t)$  esprime la velocità istantanea di rottura del generico componente messo in funzione nell'istante di tempo  $t = 0$ . Vale la seguente relazione di origine statistica ed applicabile anche nel campo della teoria dell'affidabilità:

$$f(t) \cdot dt = P(t \leq \tau \leq t + dt) = \int_t^{t+dt} f(x) dx \quad (8)$$

La probabilità di guasto  $F(T)$  rappresenta la probabilità che un componente si rompa in un intervallo di missione paria a  $T$ . Valgono allora le seguenti espressioni:

$$F(t) = P(-\infty \leq \tau \leq t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx = P(0 \leq \tau \leq t) = \int_0^t f(x) dx \quad (9)$$

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \frac{dF(t)}{dt} \quad (10)$$

Si introducono quindi l'espressione per la misura dell'affidabilità  $R(t)$ :

$$R(t) = \frac{N_S(t)}{N} = \frac{N - N_G(t)}{N} \quad (11)$$

e della probabilità di guasto  $F(t)$ :

$$F(t) = \frac{N_G(t)}{N} = \frac{N - N_S(t)}{N} = 1 - R(t) \quad (12)$$

Dalle espressioni appena introdotte si evince che per determinare  $R(t)$  ed  $F(t)$  si deve tenere traccia del numero dei guasti che si registrano nel tempo considerando  $N$  componenti identici messi in funzione nello stesso istante  $t = 0$ . Dalle 10 e 11 deriva la seguente:

$$\begin{aligned} f(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{N_G(t + \Delta t) - N_G(t)}{N \cdot \Delta t} \right), \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{N \cdot F(t + \Delta t) - N \cdot F(t)}{N \cdot \Delta t} \right), \\ &= \frac{dF(t)}{dt}, \\ &= -\frac{dR(t)}{dt}. \end{aligned} \quad (13)$$

Quindi 10 e la 11 portano alla medesima conclusione: la  $f(t)$  è la derivata della  $F(t)$ . La 10 è una relazione statistica: la ddp  $f(t)$  è la derivata della funzione cumulata  $F(t)$ . La 13 è una relazione affidabilistica: la densità di probabilità di guasto è la derivata della probabilità di guasto  $F(t)$ . Dalla definizione del rateo di guasto condizionato secondo la 5 segue la sua espressione più generale:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{N_G(t + \Delta t) - N_G(t)}{N_S(t) \cdot \Delta t} \right) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{dR(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} \quad (14)$$

Dalle 11 e 12 integrando opportunamente è possibile ricavare:

$$R(t) = \exp^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (15)$$

$$F(t) = 1 - \exp^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (16)$$

La 15 rappresenta la più generale espressione dell'affidabilità. Ipotizzando che il rateo di guasto  $\lambda(t)$  assuma un valore costante la 15 e la 16 diventano rispettivamente:

$$R(t) = \exp^{-\lambda \cdot t} \quad (17)$$

$$F(t) = 1 - \exp^{-\lambda \cdot t} \quad (18)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda \exp^{-\lambda \cdot t} \quad (19)$$

Dalle queste relazioni si deduce quindi che nel caso rateo di guasto condizionato costante il tempo di rottura  $\tau$  è distribuito secondo una legge statistica esponenziale. Questo significa che non esiste un istante di tempo in cui vi sia una maggiore probabilità di rottura. La velocità di rottura quindi non dipende dal tempo: la rottura è un processo casuale e il componente non invecchia.

### Tempo medio di guasto

Il tempo di guasto  $\tau$  è una variabile aleatoria e come tale è possibile definire il suo valore medio: il tempo medio di guasto (*Mean time to Failure - MTTF*):

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dR(t)}{dt} dt \quad (20)$$

Nel caso il rateo  $\lambda(t)$  sia costante la [20](#) diventa:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = - \int_0^{\infty} \exp^{-\lambda \cdot t} dt = \left| \frac{1}{\lambda} \exp^{-\lambda \cdot t} \right|_0^{\infty} \quad (21)$$

### Profili del rateo di guasto

Si riportano in questo paragrafo alcuni profili tipici dei rateo di guasto  $\lambda(t)$ . Il primo profilo riportato è noto in letteratura come profilo "a vasca da bagno". In esso è possibile individuare tre fasi:

1. Decrescente inizialmente (fase di rodaggio del componente);
2. Costante per un intervallo di tempo  $\Delta t$  (vita utile del componente);
3. Crescente alla fine (fase di usura del componente);

Questo andamento è rappresentativo di buona parte dei componenti meccanici soggetti ad usura ad esempio sfere dei cuscinetti che si usurano per attrito di rotolamento, freni a disco che si usurano per attrito di contatto, etc. Il componente è soggetto ad un invecchiamento (degradamento) progressivo caratterizzato da un innalzamento della velocità di rottura. Le figure [6](#) e [7](#) riportano l'andamento del rateo di guasto condizionato per componenti dotati rispettivamente di una rilevante fase di rodaggio [6](#), o di significativa usura iniziale [7](#).

La Tabella [8](#) riassume le relazioni principali per modellare il comportamento al guasto dei componenti non riparabili.



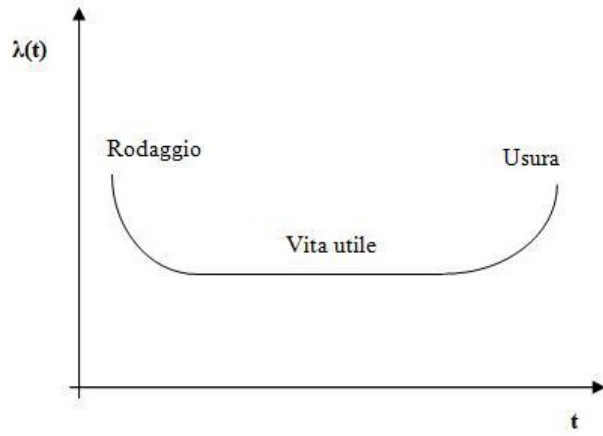


Figura 5: Profilo a vasca da bagno

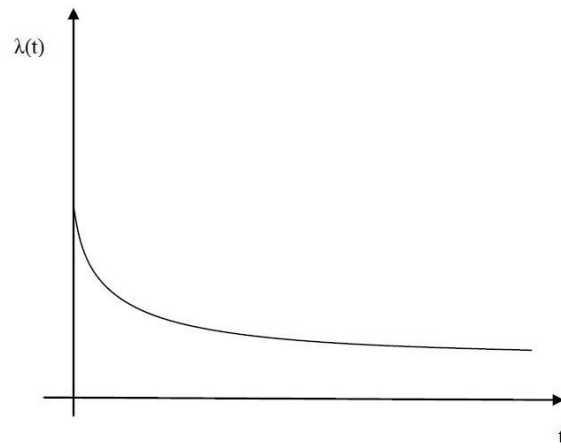


Figura 6: Rateo di guasto con mortalità infantile

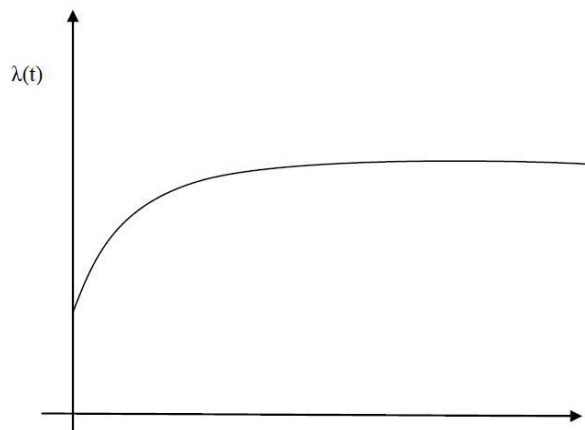


Figura 7: Rateo di guasto con usura iniziale

| Parametri affidabilistici per<br>COMPONENTI NON RIPARABILI                                 |  |
|--|--|
| Rateo di guasto condizionato $\lambda(t)$<br>$x$ è la variabile aleatoria                  | Rateo di guasto condizionato<br>$\lambda(t) = \lambda$ |
| $R(t) + F(t) = 1$  |  |
| $R(0) = 1 \quad F(0) = 0$<br>$R(\infty) = 0 \quad F(\infty) = 1$                           |  |
| $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$<br>$f(t) \cdot dt = F(t+dt) - F(t)$<br>$F(t) = \int_0^t f(x) dx$ |  |
| $R(t) = \int_t^{\infty} f(x) dx$   |  |
| $\lambda(t) = \frac{f(t)}{(1-F(t))} = \frac{f(t)}{R(t)}$                                   | $\lambda(t) = \lambda$                                 |
| $f(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$  | $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$                        |
| $F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$   | $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$                            |
| $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$   | $R(t) = e^{-\lambda t}$                                |
| $MTTF = \int_0^{\infty} x \cdot f(x) dx = \int_0^{\infty} R(t) dt$                         | $MTTF = \frac{1}{\lambda}$                             |

Figura 8: Relazioni fondamentali per i componenti non riparabili

## Modelli affidabilistici per componenti riparabili

Si introducono ora i principali parametri affidabilistici necessari per lo studio dei componenti riparabili e per modellare il relativo processo di riparazione. A tali scopi si aggiungono alle ipotesi introdotti nel paragrafo 2.4

1. I componenti ed i sistemi possono assumere solo due stati possibili: funzionamento (stato 0)
2. o non funzionamento (stato 1). Viene quindi esclusa la possibilità che il componente sia non del tutto funzionante;
3. La transizione dello stato di funzionamento a quello di rottura è istantanea; Le ulteriori ipotesi valide per la descrizione dei riparabili:
4. È ammessa la riparazione del generico componente; item La transizione da uno stato (rottura o funzionamento) ad un altro è istantanea;
5. Non è ammessa l'esistenza di due transizioni nel generico intervallo di tempo  $\Delta t$ ;
6. I componenti "as good as new" ovvero nuovi dopo la riparazione. Questa ipotesi non è sempre realistica, considerato che difficilmente i componenti riparati tornano come nuovi. Un componente "as good as new" è quindi un componente senza memoria.

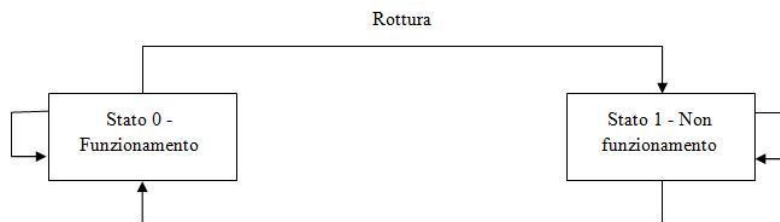


Figura 9: Stati e transizioni possibili di un componente riparabile. Riparazione ammessa

Il processo di rottura di un componente riparabile si caratterizza attraverso la variabile casuale tempo di rottura (*time to failure*) assimilabile al tempo di guasto  $\tau$  introdotto per i non riparabili. Anche la riparazione è un processo stocastico, nel senso che il tempo di riparazione  $\tau_r$  di un generico componente riparabile è una grandezza casuale, che si può modellare ricorrendo a funzioni statistiche definite in maniera analoga che nel caso dei non riparabili. Si introducono quindi dei nuovi parametri affidabilistici:

- $\tau_r$  variabile aleatoria tempo di riparazione;
- $g(t)$  rateo di aggiustamento non condizionato, è la ddp della variabile aleatoria  $\tau_r$ ;
- $G(t)$  manutenibilità (*Maintainability*). La manutenibilità esprime la probabilità che il componente o sistema sia riparabile entro un tempo pari a  $T$ , con riferimento a specifiche condizioni operative;

Statisticamente la definizione viene espressa come:

$$G(T) = P(\tau \leq T) = \int_{-\infty}^T g(x) dx \quad (22)$$

- *MTTR* tempo medio di riparazione (*Mean Time To Repair*). Rappresenta il valor medio della variabile aleatoria  $\tau_r$ . La definizione di *MTTR* si traduce dunque nella seguente:

$$MTTR = \int_0^{\infty} x \cdot g(x) dx \quad (23)$$

- $\mu(t)$  rateo di aggiustamento condizionato, viene definito come:

$$\mu(t) \cdot \Delta = P(t \leq \tau_r \leq t + \Delta t / \text{non funzionante in } t) \quad (24)$$

$\mu(t)$  misura la velocità istantanea di riparazione di un componente rotto.

Il processo di aggiustamento di un componente rotto è definito mediante questi parametri affidabilistici analoghi a quelli introdotti nella trattazione del processo di rottura dei non riparabili. La Tabella 10 mostra il parallelismo tra i parametri del processo di rottura e quelli del processo di aggiustamento:

| AGGIUSTAMENTO | ROTTURA      |
|---------------|--------------|
| G(t)          | F(t)         |
| g(t)          | f(t)         |
| MTTR          | MTTF         |
| $\mu(t)$      | $\lambda(t)$ |

Figura 10: Parallelismo rottura – aggiustamento

Analogamente a quanto fatto nel descrivere il processo di rottura per i componenti non riparabili si introduce la tabella 11 riassuntiva delle relazioni affidabilistiche che governano il processo di aggiustamento.

| Processo di aggiustamento nei COMPONENTI RIPARABILI                                   |                               |
|---|-------------------------------|
| Rateo di aggiustamento condizionato $\mu(t)$<br>$\tau_r$ è la variabile aleatoria     |                               |
| $G(0) = 0$<br>$G(\infty) = 1$   |                               |
| $g(t) = \frac{dG(t)}{dt}$<br>$g(t)dt = G(t+dt) - G(t)$<br>$G(t) = \int_0^t g(x_r) dx$ |                               |
| $\mu(t) = \frac{g(t)}{(1-G(t))}$  | $\mu(t) = \mu$                |
| $g(t) = \mu(t) \cdot e^{-\int_0^t \mu(x) dx}$   | $g(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}$ |
| $G(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(x) dx}$  | $G(t) = 1 - e^{-\mu t}$       |
| $MTTR = \int_0^{\infty} x \cdot g(x) dx$  | $MTTR = \frac{1}{\mu}$        |

Figura 11: Relazioni fondamentali nel processo di aggiustamento

Si evidenzia in particolare il parallelismo tra la probabilità di guasto  $F(t)$  e la manutenibilità  $G(t)$ : quest'ultima non è assimilabile all'affidabilità ma

a quella grandezza che ne è il complemento ad uno ovvero la probabilità di guasto  $F(t)$ .

### Cicli di rottura – aggiustamento

In generale un componente riparabile è soggetto a più cicli di funzionamento – rottura – aggiustamento come mostrato in Figura 1.7. Con riferimento a questa tipologia di componenti si introduce ora un nuovo parametro affidabilistico: il rateo di guasto non condizionato  $w(t)$ . Esso rappresenta la velocità di rottura del generico componente messo in funzione al tempo zero e soggetto a cicli di rottura e riparazione.

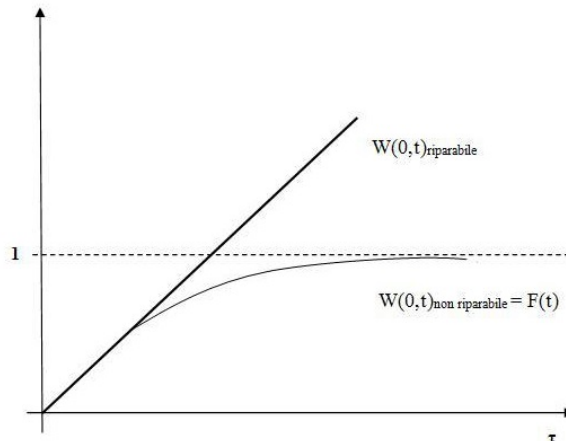


Figura 12: Numero atteso di guasti per componenti riparabili e non riparabili

Questo componente può essere pertanto soggetto a più fasi di rottura e per questo lo si può caratterizzare con un rateo di guasto non condizionato  $f(t)$  per componenti non riparabili, che è la funzione rappresentativa del solo processo di prima rottura di un componente riparabile o di quello di rottura di un componente non riparabile. Il rateo di guasto non condizionato  $w(t)$  per componenti riparabili è così definito:

$$P(t \leq \tau \leq t + dt) = w(t) \cdot dt \quad (25)$$

Dove:

- $P(t \leq \tau \leq t + dt)$  misura della probabilità di guasto;
- $\tau$  tempo al guasto;
- $w(t) \cdot dt$  misura dunque la probabilità di guasto entro l'intervallo infinitesimo  $[t, t + dt]$ ;

A partire dalla grandezza affidabilistica rateo di guasto non condizionato  $w(t)$  si definisce  $W(t_1, t_2)$  misura del numero atteso di rotture (*Expected Number of Failure - ENF*) nell'intervallo  $[t_1, t_2]$ :

$$W(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} w(\tau) d\tau \quad (26)$$

Si tratta di un valore non negativo ed eventualmente maggiore di uno come giustificato dalla Figura 12.

## Schemi funzionali e schemi affidabilistici

Gli schemi funzionali descrivono le connessioni fisiche di un impianto produttivo allo scopo di comprenderne i principi di funzionamento. Gli schemi affidabilistici si preoccupano di rappresentare le logiche di funzionamento/non funzionamento del sistema tenuto conto delle connessioni fisiche e delle condizioni operative. Per meglio comprendere questa distinzione si pensi alla porzione di un impianto di servizio costituito da due pompe centrifughe fisicamente connesse in parallelo come in Figura ??

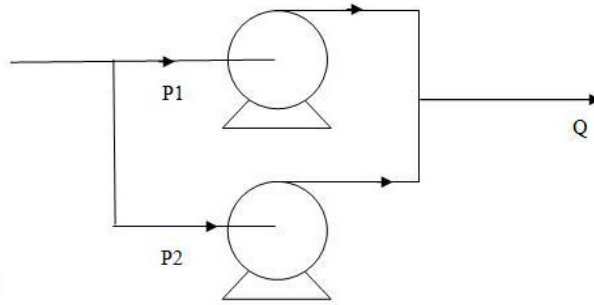


Figura 13: Schema funzionale delle pompe  $Q_1$  e  $Q_2$

Questi componenti non sono necessariamente in parallelo anche sotto l'aspetto dell'affidabilità. Ciò dipende dal fabbisogno di portata che il sistema a valle delle due pompe deve garantire ad una generica utenza collegata a valle. Si ipotizzi di conoscere le portate nominali delle due pompe ( $Q_1$  per la pompa  $P_1$  e  $Q_2$  per la pompa  $P_2$ ). Sia  $Q$  la portata richiesta dall'utenza. Sotto l'aspetto dell'affidabilità il sistema dei due componenti è un parallelo quando la portata richiesta  $Q = Q_1 = Q_2$  come in Figura 15

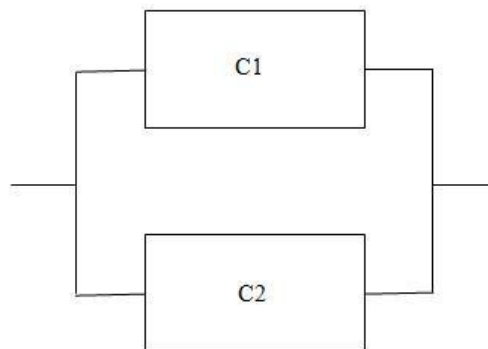


Figura 14: Schema affidabilistico con componenti  $C_1$  e  $C_2$  in parallelo

In questo caso può funzionare una sola pompa per garantire la portata richiesta. Nell'ipotesi che  $Q = 2 \cdot Q_1 = 2 \cdot Q_2$  lo schema affidabilistico rappresentativo del sistema è una serie (Figura 15)

Risulta quindi evidente come uno stesso sistema fisico può essere descritto da diversi schemi affidabilistici.

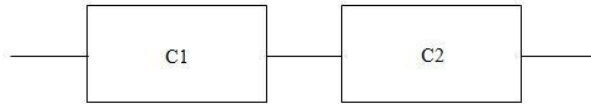


Figura 15: Schema affidabilistico con componenti C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> in serie

### Configurazione affidabilistica in serie

In questa configurazione affidabilistica i componenti del generico sistema S sono tutti indispensabili per il funzionamento (Figura 16), è infatti sufficiente che un solo componente entri in avaria perché l'intero sistema smetta di funzionare correttamente.

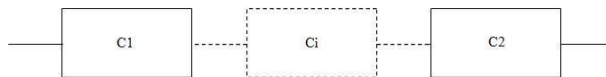


Figura 16: Schema affidabilistico serie generale

L'affidabilità del sistema S è perciò espressa dalla relazione probabilistica seguente:

$$R_s(T) = \prod_{i=1}^n r_i dt = \exp^{-\int_0^T \lambda_s dt} = \exp^{-\int_0^T \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) dt} \quad (27)$$

Dove:

- $r_i(T)$  affidabilità del componente i-esimo per un intervallo di missione di lunghezza T unità di tempo;
- $\lambda$  rateo di guasto condizionato del componente i-esimo;
- n numero di componenti in serie;

Dalla (27) segue la relazione di validità generale:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad (28)$$

Se si considera l'ipotesi di un generico rateo  $\lambda_i$  risulti costante  $\forall i = 1, \dots, n$  la (28) restituisce un valore anch'esso costante. Questo significa che il sistema dei componenti ha un comportamento al guasto casuale. Non esiste quindi un intervallo di tempo in corrispondenza del quale il sistema risulti con maggiore probabilità non funzionante. Dall'espressione generale del *MTTF* di un componente/sistema segue quella del sistema in serie di componenti elementari:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R_s(t) dt = \int_0^{\infty} \exp^{-\int_0^t \lambda_s(x) dx} dt \quad (29)$$

Se tutti i componenti hanno rateo costante segue la relazione:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i(t)} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_i}} \quad (30)$$

Qualora sia necessario innalzare l'affidabilità del sistema mantenendo la configurazione serie dei componenti, vale la pena intervenire sul componente la cui affidabilità  $r_i$  assume il valore più basso. Dimostrazione: a fronte dell'incremento di affidabilità  $\Delta r_i$  sul componente  $i$ -esimo, il sistema assume un valore della *survival function* pari a:

$$R_{S,II} = R_{S,I} + \Delta R_S = r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot r_i + \Delta r_i \cdot \dots \cdot r_n \quad (31)$$

Dove:

- $r_i$  affidabilità del generico componente  $i$ .

Dalla 31 l'incremento dell'affidabilità del sistema  $\Delta R_S$  vale:

$$\Delta R_S = R_{S,II} - R_{S,I} = r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot \Delta r_i \cdot \dots \cdot r_n \quad (32)$$

Dividendo ambo i membri per  $\Delta r_i$  e moltiplicando numeratore e denominatore a secondo membro per  $r_p$  vale la seguente relazione:

$$\frac{\Delta R_S}{\Delta r_i} = \frac{R_{S,I}}{r_i} \quad (33)$$

Il rapporto espresso dalla (33) è massimizzato quando  $r_i$  è minimo.

### Configurazione affidabilistica in parallelo

In questa configurazione i componenti del sistema sono ridondanti, è cioè sufficiente il funzionamento di uno solo di essi per garantire quello dell'intero sistema (Figura 17). È quindi necessario che tutti i componenti vadano in avaria per far sì che l'intero sistema vada in avaria.

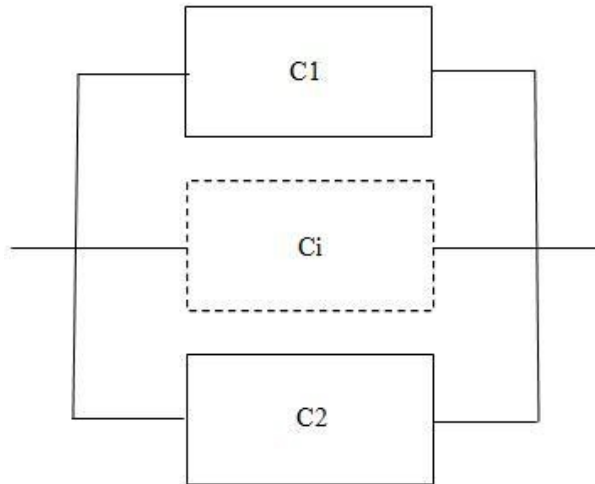


Figura 17: Schema affidabilistico parallelo generale

L'affidabilità del generico sistema  $S$  è espressa dalla relazione seguente:

$$R_S(T) = 1 - F_S(T) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - r_i(T)] = \prod_{i=1}^n r_i(T) \quad (34)$$

Dove:



- $r_i(T)$  affidabilità del componente  $i$ -esimo per un intervallo di missione di lunghezza  $T$  unità di tempo;
- $\lambda_i$  rateo di guasto condizionato del componente  $i$ -esimo;
- $n$  numero di componenti in parallelo;
- $F_S(T)$  probabilità di guasto del sistema  $S$ ;

dalla (33):

$$R_S(T) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \exp^{-\int_0^T \lambda_i(t) dt}] = \prod_{i=1}^n \exp^{-\int_0^T \lambda_i(t) dt} \quad (35)$$

Le espressioni (34) e (35) sono di validità generale. Nell'ipotesi che il generico rateo  $\lambda_i$  risulti costante e uguale per tutti i componenti ( $\lambda_i = \lambda \forall i = 1, \dots, n$ ) la (34) assume questa veste particolare:

$$R_S(T) = \exp^{-\int_0^T \lambda_S(t) dt} = 1 - \left[1 - \exp^{-\lambda T}\right]^n \quad (36)$$

Dove:

- $\lambda_S(t)$  rateo di guasto condizionato riferito al sistema  $S$ ;

Il valore di  $\lambda_S(t)$  non è costante, come dimostrato dalla sua espressione generale:

$$R_S(T) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{n\lambda \exp^{-\lambda t} (1 - \exp^{-\lambda t})^{n-1}}{1 - [1 - \exp^{-\lambda t}]^n} \quad (37)$$

Come conseguenza per il tempo medio al guasto del sistema  $S$ :

$$MTTF_S \neq \frac{1}{\lambda_S} \quad (38)$$

Analogamente a quanto visto per i sistemi affidabilistici in serie, con riferimento al parallelo ridondante vale la seguente:

$$\frac{\Delta R_S}{\Delta r_i} = \frac{1 - R_S}{1 - r_i} \quad (39)$$

Dove:

- $r_i$  affidabilità del generico componente  $i$ ;

Dalla (39) si evince che per innalzare l'affidabilità del sistema  $S$ , a parità di intervento si deve intervenire sul componente più affidabile allo scopo di minimizzare il denominatore del secondo membro.

## 2.5 STRATEGIE MANUTENTIVE

Esistono numerosi approcci alternativi alla manutenzione di un sistema di produzione. Nessuno di questi può definirsi il migliore in assoluto, poiché l'efficacia di una politica manutentiva è strettamente connessa alla natura del sistema a cui è applicata. Si elencano di seguito le strategie manutentive più note nella letteratura specializzata:

- Manutenzione a guasto (Breakdown/corrective maintenance): questa tipologia di intervento manutentivo viene eseguito qualora il sistema produttivo sia incapace di operare a fronte della rilevazione di un guasto. Questa strategia è nota anche come *run to failure strategy* nel senso che non è prevista alcuna azione manutentiva volta ad allontanare l'accadimento dell'evento di fermo dell'impianto.
- Manutenzione preventiva (*Preventive maintenance*). Si tratta di una manutenzione basata su interventi preventivi ovvero che cercano di anticipare l'accadimento dell'evento rottura del sistema. In particolare si possono distinguere due categorie principali di intervento manutentivo preventivo: il modello preventivo a data costante e quello ad età costante che verranno descritti dettagliatamente in seguito.

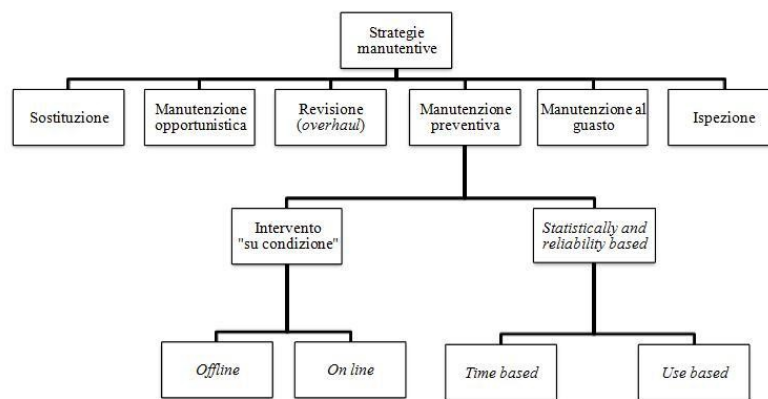


Figura 18: Strategie manutentive in un sistema produttivo

### Modelli matematici della manutenzione preventiva

La notazione utilizzata nei modelli di seguito presentati e riconducibili alla manutenzione preventiva è la seguente:

- $C_p$  costo di intervento manutentivo preventivo;
- $C_f$  costo di un intervento manutentivo a rottura (*breakdown maintenance*);
- $f(t)$  densità di probabilità di guasto della variabile aleatoria time to failure (*TTF*) del sistema;
- $F(t)$  probabilità di guasto del sistema con riferimento al tempo di missione  $T = [0, t]$ ;
- $R(t)$  affidabilità del sistema con riferimento al tempo di missione  $T = [0, t]$ ;
- $\lambda(t)$  rateo di guasto condizionato del sistema. Si ricorda che questo parametro affidabilistico è definito originariamente per componenti di sistemi non riparabili;
- $w(t)$  rateo di guasto non condizionato del sistema riparabile nei cicli di funzionamento, rottura, e aggiustamento;

- $N(t)$  variabile aleatoria misura del numero di guasti del sistema all'interno dell'intervallo  $(0, t)$ ;
- $W(t)$  numero di guasti attesi nell'intervallo  $(0, t)$ ;
- $EC(t)$  costo atteso della politica preventiva per il ciclo operativo del sistema, dove  $t$  indica l'ampiezza del ciclo;
- UEC costo atteso della politica manutentiva per unità di tempo.

### Modello preventivo ad età costante

Questa politica preventiva prende il nome di age-based replacement policy (spesso chiamata *type I*). Essa consiste nell'effettuare un intervento preventivo dopo  $t_p$  ore di operatività continua del sistema produttivo. Nell'ipotesi che il sistema si guasti prima di  $t_p$ , l'intervento (del tipo a guasto) viene eseguito nell'istante in cui si manifesta il guasto e il successivo intervento pianificato e di natura preventiva viene rischedulato dopo  $t_p$  ore di operatività continua. L'ipotesi base è che il sistema sia "as good as new" dopo ogni azione manutentiva. La Figura 19 illustra il funzionamento della politica *type I*, mostrando tre tipi di operatività: il primo di durata  $t_p$  poiché non vi è necessità di intervenire anticipatamente in ragione di un guasto improvviso; il secondo è interrotto da un guasto, il terzo, come il primo, è di durata  $t_p$ .

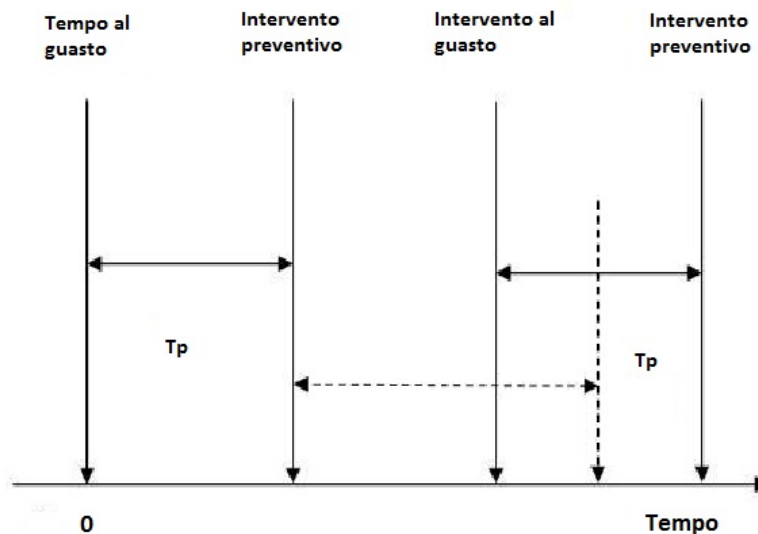


Figura 19: Politica manutentiva *Type I*

L'obiettivo del modello è stabilire il valore ottimale del tempo  $t_p$  capace di minimizzare il costo totale della gestione manutentiva trovando il miglior compromesso tra una manutenzione preventiva a quella a guasto. Il generico intervento manutentivo può essere pensato come una vera e propria sostituzione del componente \ sistema oggetto dell'analisi: così le catene impiegate in una trasmissione meccanica possono essere sostituite dopo un tempo di utilizzo prestabilito  $t_p$  o, anticipatamente, qualora sia necessario al sopraggiungere di un loro guasto. L'obiettivo del presente modello si traduce nella minimizzazione del costo totale delle due politiche manuten-

tive (preventiva e a guasto) gravante sull'unità di tempo di operatività del sistema. Il costo totale per ciclo è espresso dalla seguente:

$$EC(t_p) = C_p \cdot R(t_p) + C_f \cdot [1 - R(t_p)] \quad (40)$$

La 40 misura il costo medio della gestione manutentiva pesando i costi di intervento preventivo e quelli al guasto rispettivamente con l'affidabilità del sistema e la probabilità di guasto misurate nel tempo di missione pari a  $t_p$ . La relazione (41) misura il valore atteso della lunghezza del ciclo di funzionamento:

$$\hat{T} = t_p \cdot R_p(t_p) + \int_{-\infty}^{t_p} t \cdot f(t) dt = t_p \cdot R(t_p) + \int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt \quad (41)$$

In particolare il secondo addendo della (41) è il tempo medio di rottura MTTF del sistema qualora si rompa entro  $t_p$ . Ne consegue l'espressione del costo medio unitario (unità per tempo) UEC, dipendente da  $t_p$ :

$$UEC(t_p) = \frac{C_p \cdot R(t_p) + C_f [1 - R(t_p)]}{t_p \cdot R(t_p) + \int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt} \quad (42)$$

La politica age-based replacement policy (*type I*) si rivela particolarmente appropriata quando la  $\lambda(t)$  è una funzione crescente, purché l'intervento manutentivo riporti il componente/sistema in stato "as good as new", come avviene spesso nella sostituzione preventiva o a guasto.

#### Modello preventivo a data costante

La costant-interval replacement policy (chiamata politica *type II*) prevede un intervento un intervento preventivo sul sistema dopo un tempo operativo  $t_p$  indipendentemente dalla numerosità degli interventi a guasto che si sono eventualmente succeduti nel corso del  $t_p$ . Si ricorda che l'ipotesi base sottostante è che il sistema sia ancora una volta "as good as new" dopo la generica azione manutentiva preventiva. Pertanto il numero di interventi a guasto non incide sulla natura della funzione di guasto del sistema. Un esempio tipico di applicazione del presente modello è a componenti meccanici quali turbine o macchine operatrici. Anche questo modello si basa sulla minimizzazione di una frazione di costo unitario (riferita all'unità di tempo). L'espressione di questo costo è la seguente:

$$UEC(t_p) = \frac{C_p + C_f \cdot W(t_p)}{t_p} \quad (43)$$

Dove:

- $W(t_p)$  numero stimato di interventi a guasto che il sistema richiede qualora si decida di intervenire preventivamente sul sistema ad intervalli di durata  $t_p$  (Figura 20).

Ora il numero di rotture previste con riferimento all'intervallo  $[0, t_p]$  è il seguente:

$$\mathbb{E}[N(t_p)] = W(t_p) = \int_0^{t_p} w(t) dt \quad (44)$$

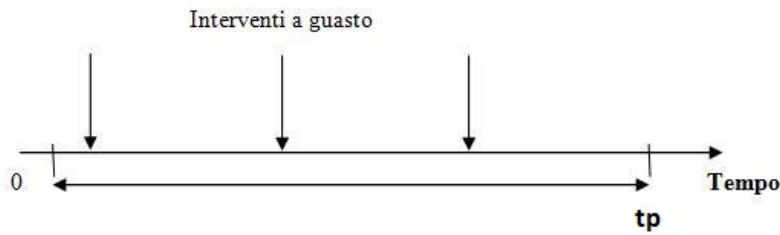


Figura 20: Politica manutentiva *Type II*

### Modelli matematici per la manutenzione ispettiva

La manutenzione ispettiva differisce da quella preventiva precedentemente illustrata perché non conosce lo stato di funzionamento del componente \ sistema se non a fronte di un intervento \ azione di analisi / monitoraggio dello stesso. Lo scopo di una politica manutentiva di tipo ispettivo è raccogliere informazioni utili sullo stato di salute del componente o sistema produttivo tramite definizione di indicatori di stato (vibrazioni, rumori, qualità del prodotto, etc.). Dal monitoraggio ed analisi di questi indicatori è possibile prevedere la rottura del componente \ sistema e pianificare nuove azioni manutentive. La frequenza con cui viene eseguito un intervento ispettivo e il livello di monitoraggio dipendono da:

- Costo di ispezione;
- Benefici dell'ispezione a garanzia di una corretta collezione di dati;
- Bontà dell'indicatore impiegato per prevedere la rottura imminente;

Di seguito vengono presentati alcuni modelli di supporto alla determinazione della frequenza ottimale di ispezione cioè la cadenza con cui ispezionare il sistema produttivo. Si tratta ancora una volta di modelli di costo, relativamente all'obiettivo di minimizzare il costo totale della gestione manutentiva piuttosto che massimizzare il profitto totale. La Figura 21 illustra qualitativamente in cosa consista la minimizzazione di questo costo operativo, compromesso tra il costo a guasto e quello sostenuto per eseguire ispezioni.

### Macchina singola. politica ispettiva elementare

Questa politica si basa sull'ispezione del sistema / impianto in particolari istanti di tempo allo scopo di rilevare un eventuale evento di guasto consumatosi, in generale, anticipatamente rispetto al periodo di rilevazione. Il costo dell'intervento di riparazione a fronte di un guasto è ipotizzato proporzionale all'entità di tempo trascorsa dall'accadimento dell'evento di guasto ( $G$  in Figura 1.17) alla sua manifestazione, ovvero più precisamente alla sua rilevazione, che chiameremo (rif. Figura 1.17).

$C_G$  è la misura unitaria di questo costo espressa in  $\text{€} \cdot \text{h}$ , qualora sia un tempo espresso in  $h$ . Per questo motivo il costo dell'azione correttiva è stato volutamente indicato con un simbolo diverso da  $C_f$ , già costo al guasto dei nei modelli di manutenzione preventiva illustrati precedentemente:  $C_G$  e  $C_f$  sono diversi perché diverso è l'istante di rilevazione del guasto. Nella

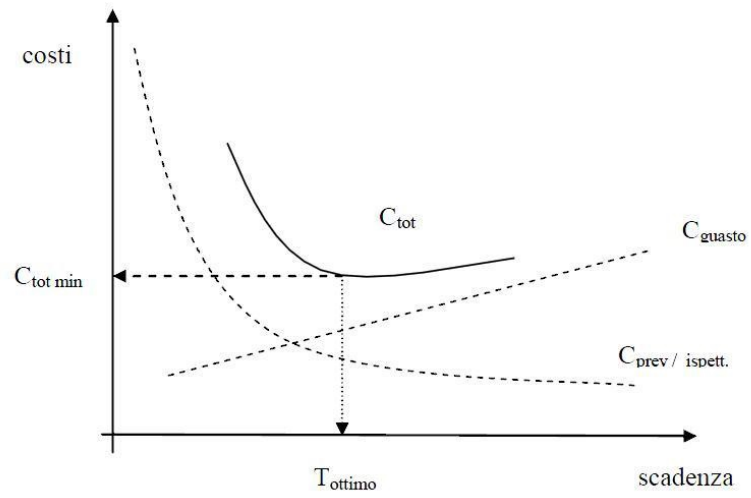


Figura 21: Costo della gestione manutentiva. Politica ispettiva e politica preventiva

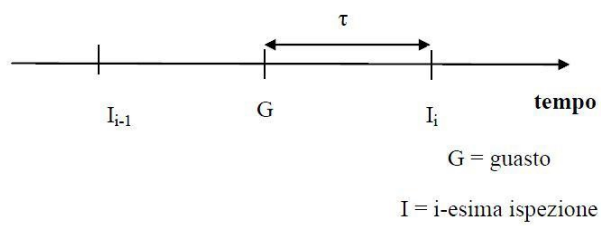


Figura 22: Politca ispettiva. Guasto e ispezione

strategia manutentiva di tipo ispettivo la rilevazione del guasto può avvenire solo a fronte di un'ispezione, il cui singolo costo si assume pari a  $C_i$ . Qualora si voglia garantire una probabilità condizionata di guasto costante  $p$  tra due ispezioni successive (in generale tra l'ispezione  $i - 1$  e la  $i$ ) vale la seguente relazione:

$$\frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{R(t_{i-1})} = p \quad (45)$$

Infatti la (45) è una misura della probabilità condizionata che il generico componente/sistema si rompa tra  $t_{i-1}$  e  $t_i$ , qualora non sia ancora rotto in  $t_{i-1}$ . Dall'ipotesi di costanza della probabilità condizionata di rottura:

$$F(t_i) - F(t_{i-1}) = (1 - p)^{i-1} p \quad (46)$$

Si calcola allora il valor medio del numero di ispezioni effettuate prima della rilevazione del guasto:

$$\mu_i = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot f(i) = \sum_{i=1}^{\infty} [i \cdot (1 - p)^{i-1} p] = \frac{1}{p} \quad (47)$$

La Figura 23 esemplifica la tipica distribuzione temporale degli interventi ispettivi: si osservi che al passare del tempo, invecchiando il componente, gli interventi si avvicinano tra loro.

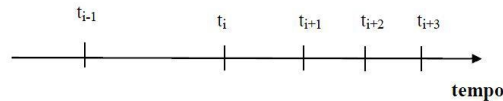


Figura 23: Tempi di ispezione. Esempificazione politica ispettiva elementare

Il costo totale relativo ad un ciclo di funzionamento del generico componente è il seguente:

$$C_{Totale} = C_I + \mu_i + C_G \cdot \tau(p) \quad (48)$$

Dove:

- $C_I$  costo di una ispezione;
- $C - G$  costo per unità di tempo di un intervento al guasto;
- $\tau(p)$  tempo medio di durata del guasto prima della sua scoperta mediante ispezione;

Si osservi che la durata del ciclo di funzionamento di riferimento per il costo totale  $C_{Totale}$  è quella che separa l'istante di messa in funzione del componente dalla rilevazione del suo guasto. Ora, poiché il guasto può avvenire in uno qualunque degli intervalli  $[t_{i-1}, t_i]$  (dove  $i = 1, 2, \dots$ ),  $\tau(p)$  può essere stimato mediante la seguente relazione:

$$\tau(p) = \sum_{i=0}^{\infty} t_i q^{i-1} p - MTTF \quad (49)$$

Dove:

- $q = 1-p$ ;

Derivando la (48) ed uguagliandola a zero si ottiene il valore ottimale  $p^*$  della probabilità condizionata  $p$ :

$$\left( \frac{dC_{Totale}}{dp} \right)_{p^*} = 0 \quad (50)$$

## Conclusioni

In questo capitolo sono stati presentati diversi modelli matematici per la pianificazione e gestione degli intervalli manutentivi, con particolare attenzione a quelli preventivi ed ispettivi. Esistono numerosi altri approcci per l'ottimizzazione degli interventi che si differenziano tra loro rispetto a quelli illustrati per le ipotesi assunte e il contesto operativo in cui possono essere applicati. Occorre pertanto, al fine di ottenere risultati il più possibile attendibili, scegliere il modello che più sia adatta alla realtà produttiva in cui si opera.

## 2.6 GESTIONE DEI RICAMBI

### Introduzione

Nel normale ciclo di vita di un impianto industriale a seguito di guasti oppure per l'inevitabile fenomeno dell'usura nasce la necessità di sostituire i componenti con le parti di ricambio (*spare parts*). All'interno delle attività svolte in occasione degli interventi di manutenzione vi è, fra le altre, una fase di approvvigionamento di parti di ricambio. Il *lead time* di approvvigionamento può durare da pochi minuti, nel caso in cui il materiale tecnico sia nella disponibilità dell'azienda, a qualche giorno o addirittura qualche settimana nel caso si debba approvvigionare un codice disponibile presso un fornitore geograficamente molto lontano oppure un codice non standard a specifica non disponibile presso il fornitore. Questo comporta che alla durata del ciclo di approvvigionamento di un ricambio si può associare un onere legato alla mancanza di produzione di un prodotto piuttosto che di erogazione di un servizio.

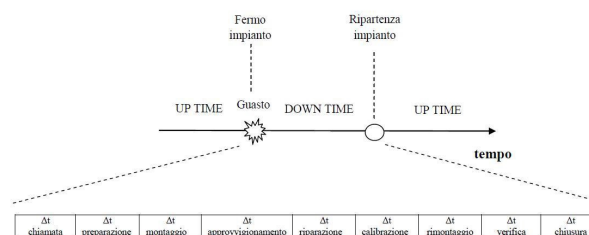


Figura 24: Esempificazione di un intervento a guasto

materiali di ricambio hanno inoltre caratteristiche proprie che li portano ad avere impieghi non certi sulla macchina e quindi più elevati rischi di obsolescenza in genere associati ad elevati costi di acquisto. In base a quanto esposto è evidente che allo stoccaggio del materiale tecnico è connesso un



significativo onere finanziario che, in caso di mancato uso del codice, produce molteplici effetti negativi: l'immobilizzo delle somme di denaro per l'acquisto, al costo di mantenimento a scorta, e poi ad eventuali costi di smaltimento in caso di mancato impiego e sopravvenuta obsolescenza spesso dovuta alla necessità di sostituzione dell'impianto originario da parte dell'azienda. In conclusione nella gestione dei sistemi del parco ricambi dei sistemi di produzione bisogna considerare due aspetti contrastanti: il costo di mancanza di produzione per l'assenza del codice a magazzino ed il costo di acquisto e mantenimento del codice a magazzino senza nessuna certezza su modi e sui tempi dell'impiego. La Figura 25 esemplifica l'andamento in controtendenza dei due costi al variare del livello di scorta di ricambi a magazzino ed il conseguente andamento del costo totale.

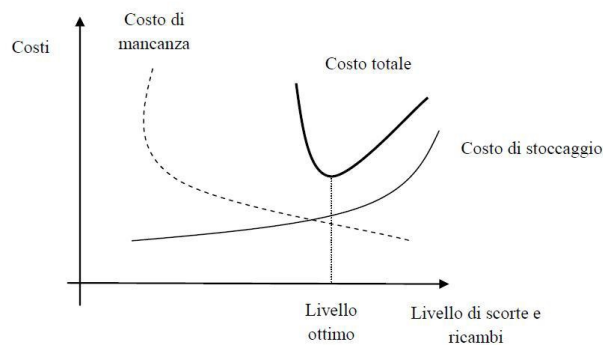


Figura 25: Andamento qualitativo dei costi al variare del livello delle scorte

In definitiva avendo come obiettivo la minimizzazione del costo totale del sistema di gestione dei ricambi, il problema si sposta sul piano della determinazione del set ottimale di ricambi in termini di tipologia e quantità che vanno mantenuti a scorta a garanzia delle performance del sistema di produzione.

### Caratteristiche distintive dei ricambi

Il materiale di ricambio presenta delle caratteristiche peculiari che lo contraddistinguono rispetto a tutti gli altri materiali impiegati nel sistema di produzione o di servizio. La principale particolarità risiede nel fatto che il profilo di consumo dei ricambi è di tipo intermittente, avviene cioè ad intervalli irregolari di tempo, e riguarda quantità generalmente ridotte ma soprattutto molto variabili da richiesta a richiesta.

consint



Figura 26: Esempificazione di consumo intermittente di un codice ricambio.  $\epsilon_{r_i}$  consumo del codice(pezzi);  $\tau_i$  intervallo fra due richieste consecutive del codice (in periodi); N numero di intervalli di analisi

Per una valutazione di questa duplice caratterizzazione della domanda di un ricambio vengono utilizzati due parametri riconosciuti in ambito internazionale:

- ADI Average interdemand interval: intervallo medio fra due richieste del codice. È usualmente espresso in periodi, intendendo per periodo l'intervallo di tempo di riferimento che l'azienda usa per gli approvvigionamenti (di solito un mese);
- CV2 Coefficient of variation: deviazione standard della domanda rapportata alla domanda media. È una grandezza adimensionale;

La Figura 26 esemplifica la tipica situazione di richiesta intermittente per un codice ricambio. Facendo riferimento alla Figura 27 si possono quindi definire:

$$ADI = \frac{\sum_{i=0}^N \tau_i}{N} \quad (51)$$

$$CV^2 = \left[ \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (\epsilon_{ri} - \epsilon_a)^2}{N}}}{\epsilon_a} \right]^2 \quad (52)$$

$$\epsilon_a = \frac{\sum_{i=1}^N \epsilon_{ri}}{N} \quad (53)$$

Sempre nella letteratura internazionale si possono derivare dei valore di taglio che permettono di caratterizzare in maniera più dettagliata il tenore intermittente della domanda dei ricambi. La Figura 27 la quattro categorie di domanda di ricambi (pattern) come vengono definite dalla odierna letteratura e i corrispondenti livelli caratteristici di ADI e  $CV^2$  che le discriminano.

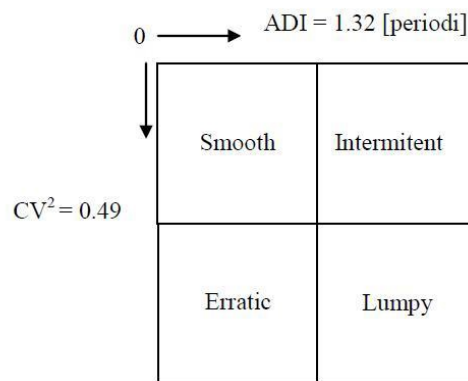


Figura 27: Principali pattern per la caratterizzazione della domanda di ricambi

Si possono distinguere 4 tipologie:

- **A bassa rotazione - slow moving:** questi codici hanno un comportamento che si avvicina ai tradizionali codici a bassa rotazione di un sistema produttivo (prodotti finiti);

- **Propriamente intermittenti** – *strictly intermittent*: sono caratterizzati da richieste estremamente sporadiche (quindi da molti periodi a richiesta nulla) con una variabilità nelle quantità per singola richiesta non particolarmente accentuata;
- **Erratici** – *erratic*: la caratteristica fondamentale risiede nella grande variabilità della quantità richiesta, richieste che peraltro come distribuzione nel tempo sono piuttosto costanti;
- **Granulare** – *lumpy*: è la categoria più difficoltosa da gestire in quanto caratterizzata da elevati intervalli fra richieste consecutive peraltro con grande variabilità nelle quantità .

Altra caratteristica distintiva del ricambio manutentivo è in genere la specificità dell'impiego. Usualmente i ricambi non sono di tipo general purpose, devono cioè essere impiegati per l'uso e la funzione per i quali sono stati realizzati. Questo inevitabilmente cela un elevato rischio di obsolescenza che viene sperimentato allorquando si decide la sostituzione di una attrezzatura: il set di ricambi non utilizzabili su altri impianti (in genere la frazione maggiore) diviene immediatamente obsoleto. Inoltre il materiale tecnico ha tendenzialmente un elevato contenuto tecnico e quindi un alto valore unitario.

#### La previsione del fabbisogno di ricambi

La gestione dei ricambi, deve avere l'obiettivo della minimizzazione del costo complessivo del sistema che, come si è visto, è principalmente legato ai costi di stoccaggio e a quelli di mancanza. Gli oneri di stoccaggio dipendono dalle caratteristiche dello stoccaggio medesimo e in linea orientativa possono essere stimati con un canone annuo fra il 15% ed il 25% del costo di acquisto del codice. I costi di mancanza dipendono dalla tipologia di impianto su cui è montato il ricambio e dalle conseguenze dell'eventuale guasto (fermata complessiva, fermata parziale, riduzione della potenzialità produttiva, etc.). In ogni caso il problema della determinazione del livello ottimale dei ricambi da tenere a scorta richiede la preliminare valutazione del fabbisogno dei medesimi, cioè il consumo previsto per il futuro. Nella pratica industriale il fabbisogno dei ricambi viene determinato fondamentalmente attraverso:

- L'esperienza dei manutentori degli impianti;
- consigli dei fornitori;
- L'elaborazione di previsioni da parte dell'azienda;

La previsione sulla base di metodi statistici richiede la presenza di uno storico dei consumi in grado di tenere traccia delle richieste passate di ricambi. L'esistenza di un archivio che contenga le informazioni che riguardano le prestazioni manutentive, le durate delle fermate, le richieste di intervento (correttivo, preventivo, ispettivo) ed i conseguenti consumi di materiale e quindi è fondamentale.

#### Smorzamento esponenziale semplice (ses)

È un metodo basato sull'analisi della serie storica (time series) particolarmente adatto alle previsioni di breve periodo. In sostanza si ottiene la

previsione del consumo di parti di ricambio applicando una serie di pesi, decrescenti in maniera esponenziale, ai dati registrati in passato. L'espressione di riferimento è la seguente:

$$F_{t+1} = \alpha \cdot X_t + (1 - \alpha) \cdot F_t \quad (54)$$

Dove:

- $X_t$  valore reale a consuntivo all'istante  $t$ ;
- $F_t$  previsione effettuata per l'istante  $t$ ;
- $\alpha$  coefficiente di smorzamento.

Il coefficiente di smorzamento  $\alpha$  assume valori differenti, in genere tra 0 e 0,4 in base alle caratteristiche del mercato (in mercati reattivi ed instabili si impiegano valori elevati del parametro).

### Metodo di croston

È una evoluzione del metodo dello smorzamento esponenziale semplice studiata con lo scopo di prevedere in maniera più precisa gli andamenti di variabili casuali con diversi valori nulli registrati nella serie storica (come avviene tipicamente nel consumo di ricambi). Si tratta di un metodo ricorsivo che determina la previsione al tempo  $t$  attraverso:

$$F_t = \frac{\Phi_t}{Y_t} \quad (55)$$

$$\Phi_t = (1 - \alpha) \cdot \phi_{t-1} + \alpha \cdot Y_t \quad (56)$$

$$Y_t = (1 - \alpha) \cdot Y_{t-1} + \alpha \cdot Q_t \quad (57)$$

Dove:

- $F_t$  previsione effettuata per l'istante  $t$ ;
- $Q_t$  intervallo di tempo fra l'istante  $t$  e l'istante in cui di è registrata la precedente domanda non nulla;
- $\alpha$  coefficiente di smorzamento;

### Metodo di poisson

Il metodo di Poisson è tipicamente utilizzato per la previsione della probabilità di accadimento di un evento raro. Esso deriva direttamente dalla distribuzione binomiale. Questo metodo non permette il calcolo diretto della variabile da prevedere ma consente una stima della probabilità che essa assuma un determinato valore. Il punto di partenza nel modello è la valutazione del valore medio della grandezza da prevedere. Nel caso dei ricambi, immaginando un consumo medio nell'unità di tempo pari a  $d$ , la probabilità di avere un fabbisogno pari ad  $x$  (richieste di componenti) nel tempo  $T$  è pari a:

$$P_{d,T,X} = \frac{(d \cdot t)^x \cdot \exp^{-d \cdot t}}{x!} \quad (58)$$

Dove:

- $d$  valor medio della variabile da prevedere [pezzi/unità di tempo];
- $x$  valore puntuale della variabile da prevedere;
- $T$  intervallo di tempo per il quale si assume che la variabile abbia un valore pari ad  $x$ ;

La Figura 28 esemplifica la situazione presentata:

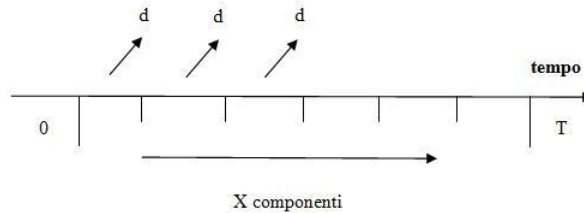


Figura 28: Consumo medio per periodo ed intervallo di previsione

Di conseguenza la probabilità cumulativa misura della probabilità che si consumino non più di  $x$  componenti può essere espressa da:

$$P_{cum_{d,T,x}} = \sum_{k=0}^x \frac{(d \cdot T)^k \cdot \exp^{-d \cdot T}}{k!} \quad (59)$$

#### Politiche per la gestione del fabbisogno - criterio del costo globale minimo

Si tratta della determinazione del numero ottimale  $N$  di ricambi che rende minimo il costo complessivo della politica, valutato attraverso la somma degli oneri di mantenimento a scorta dei pezzi, generalmente di elevato valore economico, e degli oneri connessi ad eventuali rotture di stock (mancanza di pezzi a magazzino) con conseguente costo derivante dalla fermata dell'impianto e quindi della mancata produzione. Il costo totale della politica dei ricambi è quindi esprimibile mediante la seguente:

$$C_{tot}(N) = C_1 + C_2 \quad (60)$$

Dove:

- $C_1$  costo di giacenza;
- $C_2$  costo di mancanza;

Riprendendo lo schema di Figura 28 si supponga di aver posto a magazzino all'inizio di un ciclo di approvvigionamento di durata pari a  $T$ ,  $N$  ricambi di un particolare codice. Se fra l'istante  $t_0$  e quello finale del ciclo di approvvigionamento ( $t_0 + T$ ) non si è verificato alcun guasto, all'istante ( $t_0 + T$ ) si avranno  $N$  ricambi ancora in giacenza, la probabilità di tale evento è  $P_{d,T,0}$ . Al contrario se tra  $t_0$  e ( $t_0 + T$ ) si è verificato un guasto, all'istante ( $t_0 + T$ ) si avranno  $N - 1$  ricambi ancora a magazzino e ciò può accadere con probabilità  $P_{d,T,1}$  e così via. Quindi i costi legati allo stoccaggio dei ricambi possono essere valutati attraverso:

$$C_1 = R \cdot \varphi [NP_{d,T,0} + (N-1)P_{d,T,1} + (N-2)P_{d,T,2} + \dots + P_{d,T,N-1}] \quad (61)$$

Dove:

- R costo di acquisto del componente;
- $\varphi$  (%) tasso esprime il costo di giacenza. Si tratta di un valore percentuale che moltiplicato per il costo di acquisto del ricambio esprime il costo specifico annuale di giacenza;
- $P_{d,T,x}$  probabilità che si verifichino  $x$  richieste del medesimo ricambio nell'intervallo T;
- T durata del ciclo di approvvigionamento [unità di tempo];
- d consumo medio dell'unità di tempo [pezzi/unità di tempo];

Il termine della 61 all'interno della parentesi esprime il numero medio di pezzi in giacenza a magazzino nel periodo di approvvigionamento. Il costo di rottura di stock è determinato invece sulla base della considerazione che si sperimenta un costo di mancanza solamente se lo stock di quel ricambio è nullo, condizione che si verifica solamente se la richiesta di ricambi eccede gli N pezzi. Pertanto:

$$C_2 = C_m \cdot d \cdot P \quad (62)$$

Dove:

- $C_m$  costo unitario di mancanza [costo/pezzo];
- P probabilità di avere una richiesta maggiore di N ricambi nel periodo T;

Il termine P vale quindi:

$$P = P_{d,T,N+1} + P_{d,T,N+2} + P_{d,T,N+3} + \dots \quad (63)$$

Per l'applicazione reale della metodologia rimane da trattare il problema della stima della probabilità  $P_{d,T,x}$ . Fra i diversi approcci impiegabili, spesso viene utilizzato quello suggerito dalla formula di Poisson discussa nel paragrafo precedente. Seguendo questo metodo, per la 59 vale che:

$$P_{d,T,x} = \sum_{k=0}^x \frac{(d \cdot T)^k \cdot \exp^{-d \cdot T}}{k!} \quad (64)$$

Sul piano strettamente operativo sono stati elaborati degli abachi per l'applicazione rapida del metodo proposto. Una esemplificazione viene illustrata nella Figura 29

una volta individuati due punti di ingresso sugli assi principali (per esempio i punti 1 e 2 avendo a disposizione i valori d e T) e, stabilito il valore delle variabili di supporto (in questo caso R,  $C_m$ ), risulta univocamente individuato (punto 5 nel primo quadrante) il numero N di ricambi da mettere a scorta a seguito della determinazione dei punti 3 e 4).

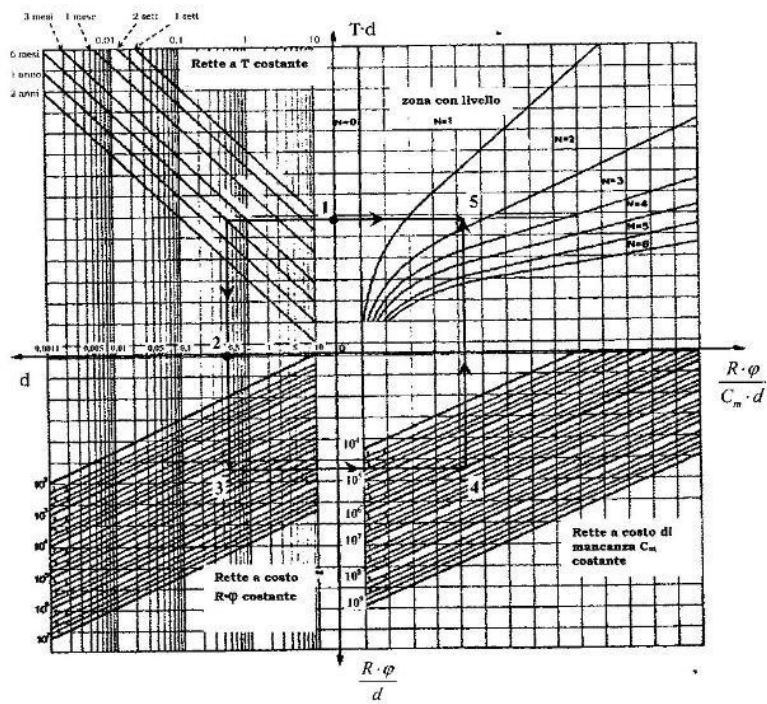


Figura 29: Abaco per la scelta rapida del numero di ricambi da mettere a scorta





# 3

## IL PDM AZIENDALE: AXALANT E SAP

### 3.1 INTRODUZIONE

Il processo di produzione di qualsiasi prodotto produce diversi tipi di informazione. In ZF S.R.L tutte le informazioni riguardanti prodotti, utensileria e documenti di progetto sono gestiti dal PDM (Product Data Management) Axalant. Dal punto di vista prettamente intuitivo Axalant rappresenta un grande contenitore dove all'interno vi sono registrati tutti i prodotti, parti di prodotto (bill of material) utensileria e documenti di progetto.

Prima di entrare in dettaglio nel funzionamento generale del software e la sua gestione interna penso sia importante descrivere in linee generali il processo di produzione e le informazioni ad esse connesse.

#### 3.1.1 Product development process

Le informazioni, output del processo produttivo, riguardano principalmente tre sottoprocessi in cui è suddiviso tutto il processo produttivo e sono i seguenti:

Il Processo di sviluppo del prodotto rappresenta la fase in cui si raccolgono informazioni riguardanti i clienti le loro richieste e le specifiche di progetto relative; segue una fase di sviluppo in cui i progettisti studiando e valutando le richieste dei clienti dando forma al design del prodotto insieme alla sua ingegnerizzazione e l'utensileria annessa.

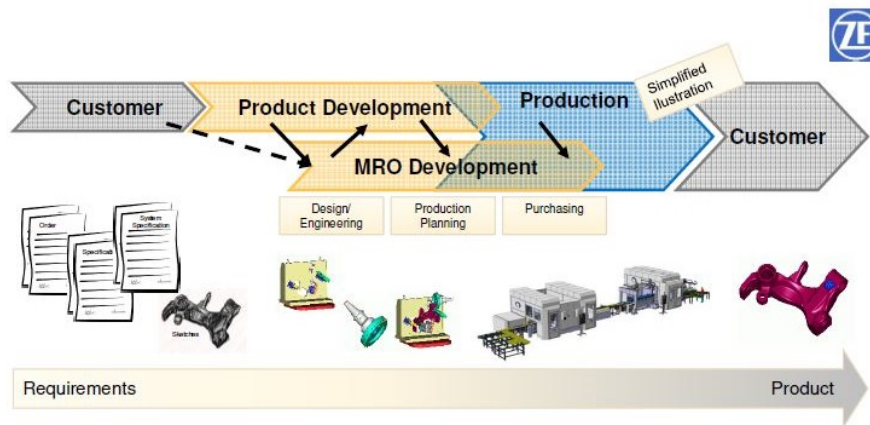


Figura 30: PDP - Process Development Process

#### 3.1.2 Strategic Systems

Il secondo step fondamentale riguarda i sistemi utilizzati per organizzare e gestire i documenti di progetto. In questa fase il prodotto attraversa diversi stati prima di arrivare alla versione finale e la gestione delle informazioni riguardanti lo stato del progetto/prodotto devono essere reperibili dai

diversi responsabili della catena produttiva: progettista, capo reparto, capo macchina operatore.

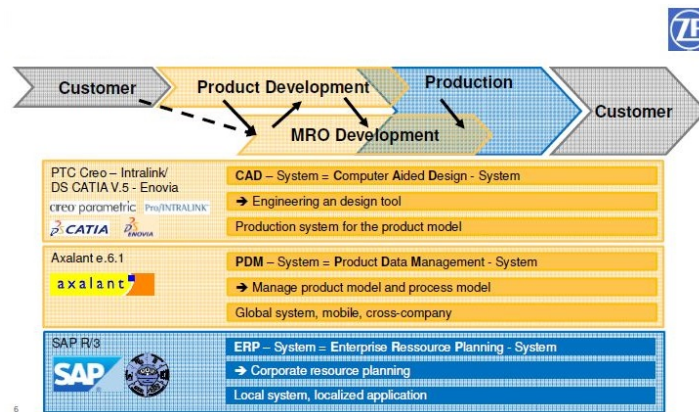


Figura 31: Strategic System

Axalant non è il solo a gestire il processo produttivo infatti insieme a lui interagiscono altre applicazioni come ProE W4, catiaV.5 e Sap. I primi due software rappresentano strumenti di sviluppo del modello e i passi fondamentali per la produzione. Cosa centra Axalant? Axalant è in grado di acquisire i file di progetto dai sistemi CAD associando il file ad un particolare tipo di oggetti chiamati Documenti. SAP grazie all'implementazione di interfacce ERP (Enterprise Resource Planning - System) permette di recuperare le informazioni relative ad un progetto e renderle disponibili nell'area amministrativa oltre a svolgere le sue funzioni logistiche e di gestione economica manageriale.

In particolare axalant interviene come utile strumento di gestione nell'implementare le strategie di produzione attraverso diversi meccanismi che riguardano l'accesso e il reperimento delle informazioni legate al progetto. In definitiva Axalant permette un accesso mirato e protetto alle attuali relazioni tecniche tra i documenti tutto il giorno, indipendentemente dalla posizione nella rete ZF; gestisce i dati di prodotto e tutta la documentazione tecnica nonché gli strumenti di produzione (PRT) ed i dati CAD in tutto il processo di sviluppo prodotto. Permette di modificare lo stato di un prodotto/documento/strumento di produzione e di chiudere le operazioni di sviluppo e realizzazione e renderli disponibili in tutto il mondo ZF. Inoltre permette la collaborazione totale nello sviluppo di un progetto.

Prima di entrare nel vivo del funzionamento di Axalant vorrei fornire al lettore alcune definizioni fondamentali riguardanti la tipologia di informazioni raccolte e gestite da axalant.

**Products:** L'oggetto o materiale vendibile direttamente al consumatore o che rappresenta un componente o materiale grezzo usato per questi prodotti (PDO-Product Data Object) allo stesso modo tutti gli strumenti e le risorse di produzione come anche i materiali di esercizio e altro materiale non produttivo (FDO-Factory Data Object) Esempi: trasmissioni (PDO) parti semifinite (PDO), tools (FDO), parti di ricambio (FDO) macchine (FDO), stampanti (FDO), strumenti di pulizia (FDO).

**Part list:** detto anche BoM (Bill of Material) rappresentano una collezione individuale di materiali che tutti insieme creano un'assemblato (assembly) o il prodotto finale. Esempi: trasmissioni, strumenti completi, montaggio manutenzione.

**Documents:** sono records associati a metadata che includono i file contenenti la geometria dei materiali (disegni tecnici) o specifiche estra che non possono essere mostrati nella classificazione generale dei dati.

**Processes:** si riferisce al processo o alla tecnologia di produzione e descrive il processo produttivo- non i materiali/prodotti usati nel processo. Esempio: piano di lavoro, piano di assemblaggio, piano di verifica del funzionamento e test.

**Nota:** in axalant la classificazione generale dei materiali è rappresentata da una breve descrizione di una parola massimo due, quindi è impossibile storicizzare informazioni tecniche con pochi caratteri a disposizione.

Axalant, internamente, attraverso il suo PDM system, gestisce le prime tre tipologie di oggetti e ovvero qualcosa che viene progettato e prodotto sia per essere venduto o per essere utilizzato come strumento di produzione. Nel momento in cui i documenti relativi ai progetti sono resi disponibili, tutto l'intero processo di produzione dei singoli prodotti/materiali viene trasferito attraverso l'interfaccia ERDP di SAP R\3 system sul gestionale logistico interno SAP. Questi dati possono essere utilizzati per creare ordini di produzione effettivi, calcolare i costi di produzione, tenere traccia della produzione per singolo materiale del pezzo di ricambio o del prodotto finito.

Le informazioni relative ad un qualsiasi progetto di produzione vengono: create, modificate, aggiornate ed eliminate in Axalant e solo quando un progetto si trova in un particolare stato viene automaticamente reso disponibile all'interfaccia ERP di SAP.

Ogni stabilimento ZF possiede una propria interfaccia di collegamento e tutti le interfacce confluiscono nell'interfaccia master SAP KPN che è la prima in ordine cronologico ad ospitare i metadata del processo produttivo e a smistarli nella location che ha richiesto l'informazione.

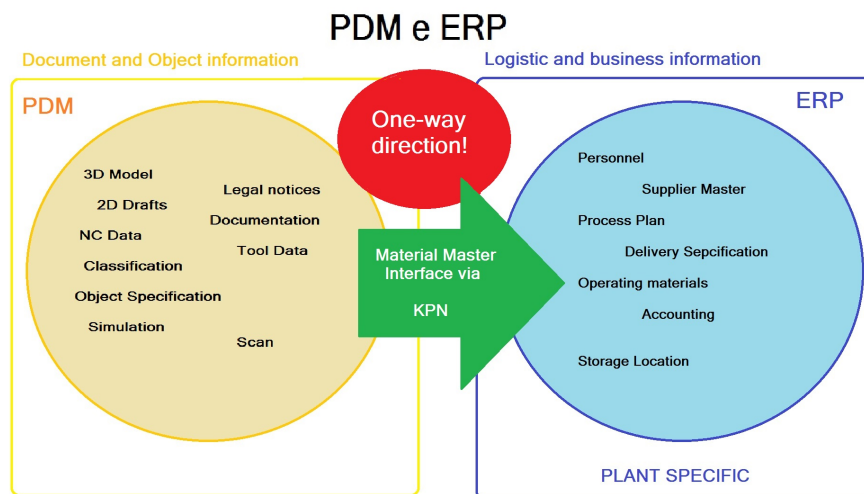


Figura 32: PDM Axalant - ERP SAP: interfaccia KPM

Il singolo materiale o oggetto tecnico gestito dal sistema viene fornito di un codice generato internamente da Axalant. Le informazioni principali di ogni materiale e la struttura possono essere inviati a tutti i sistemi SAP dall'unica centrale PDM del sistema Axalant. La direzione dei dati è ONE-WAY questo implica che i dati salvati in remoto da un sistema Sap non è

accessibile da un altro sistema SAP. Questa configurazione rappresenta un vantaggio per quanto riguarda la sicurezza delle informazioni di progetto ma può rappresentare un problema qualora si dovessero allineare le informazioni dei due sistemi. Gli oggetti disponibili in SAP sono particolari PDO che sono stati: RILASCIATI. Diventa pertanto fondamentale il salvataggio dei documenti e il modo in cui classifichiamo l'oggetto da censire nel sistema ad esempio bisogna definire se l'oggetto è un *product*, un *material* o un *process* è altresì necessario definire i permessi di accesso alla documentazione del processo produttivo e chi può manipolare le informazioni ad esso associate e bisogna definire a che punto della catena di processo sia possibile interrogare il sistema per reperire tali informazioni.

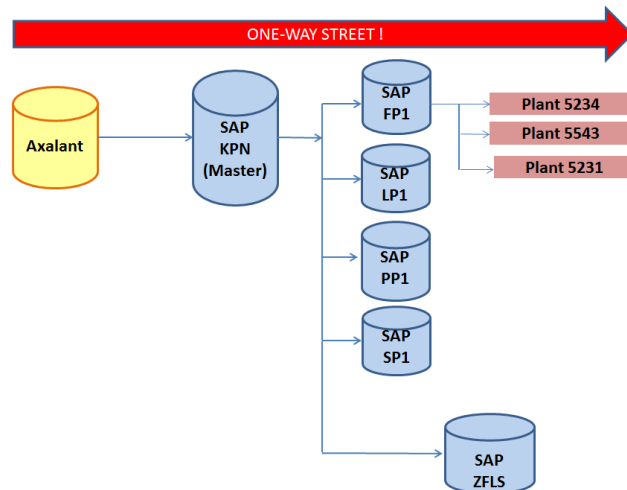


Figura 33: PDM Axalant - ERP SAP: FDO

### 3.1.3 Distinzioni tra PDO e FDO.

Ogni oggetto **PDO** è caratterizzato dalle seguenti proprietà:

- il processo PDO è rappresentabile da una rete a stati complessa (c.a. 70 livelli);
- molte fasi di progettazione (>300 transizioni)
- piu' responsabilità
- cambio di gestione
- prodotti complessi
- lunghi cicli di sviluppo

Ogni oggetto **FDO** è piu' semplice e puo' essere riassunto dalle seguenti caratteristiche:

- rete a stati semplice (7 livelli);
- numero di fasi intermedie ridottissime (13 transizioni);
- meno responsabilità;
- nessun cambio di gestione;
- prodotti semplici (produzione, risorse e strumenti);
- brevi cicli di sviluppo.

*PDO* e *FDO* vengono accomodati su database standardizzati e sono considerati come diverse viste nello stesso sistema che rappresentano il processo specifico di gestione.

I materiali e i documenti sono dapprima considerati come oggetti totalmente indipendenti o unità d'informazioni gestite separatamente. Successivamente viene creato il prodotto che descrive i documenti che sono associati ad uno specifico oggetto di produzione che sarà assegnato al materiale, ad esempio documenti di sviluppo e di produzione. La relazione tra materiali e documenti può essere descritta come segue:

- assegnazione di un materiale ad un documento (1 : 1) per esempio un disegno di produzione ad una singola parte.
- assegnazione di più documenti a un materiale (1 : n). Un tipico esempio di questo caso sono materiali a cui sono assegnati più documenti; come per esempio disegni di modelli 3D e 2D.
- assegnazione di più materiali allo stesso documento (n : 1). L'assegnazione diretta di un documento tecnico il quale è direttamente legato a piu' anagrafiche materiali, come ad esempio disegni base per diverse anagrafiche materiale o istruzioni di assemblaggio per una famiglia di prodotti.

In ogni FDO document è possibile caricare aggiungere una famiglia eterogenea di file come ad esempio: documenti di office, e-mail e fax, file ZIP disegni 2D.

Il sistema PDM per permettere una storicizzazione delle anagrafiche di ogni materiale permette nell'atto di creazione di un nuovo PDO o FDO di classificare l'oggetto/materiale attraverso CLASSI e ATTRIBUTI. In questo modo è possibile stabilire una relazione gerarchica tra i vari materiali e facilitare le operazioni di storicizzazione e recupero dei metadati.

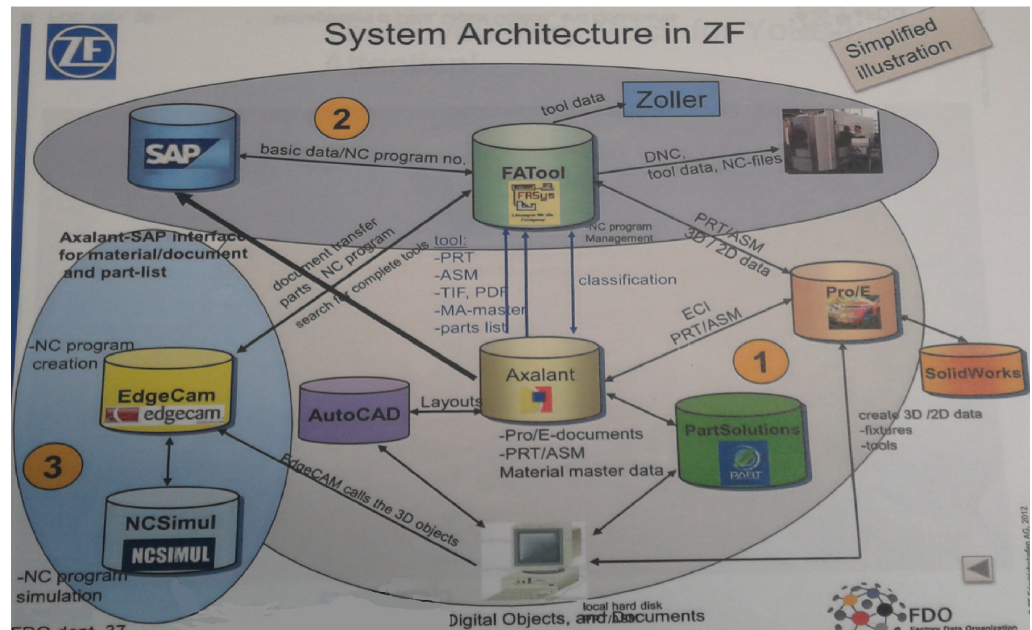


Figura 34: System Architecture in ZF

### 3.2 RISTRUTTURAZIONE BOM – BILL OF MATERIAL

Nell'attività di manutenzione preventiva è di fondamentale importanza conoscere tutte le parti costituenti una macchina o un centro di lavoro. Queste informazioni permettono di tenere traccia e di gestire le richieste manutentive e l'ammontare dei pezzi di ricambio. Pertanto è indispensabile, qualora si disponesse di un sistema di archiviazione, classificare e associare ad ogni Macchina o Centro di Lavoro il numero di pezzi costituenti tale oggetto e gli eventuali pezzi di ricambio.

Axalant permette questo ma molte delle macchine che saranno soggette alla manutenzione preventiva, erano presenti a sistema ma il BOM era vuoto. La seguente procedura, suddivisa in fasi, è stata creata per l'operatore che nell'atto di creazione di una nuova macchina o nel recupero di pezzi di ricambio abbia la necessità di associare tale oggetto ad un determinato centro di lavoro.

Il futuro sviluppo dell'interfaccia di comunicazione aggiornata, permetterà tramite SAP di conoscere la relazione e il numero di *Spare Parts* in modo da poter tracciare, come vedremo successivamente nel modulo SAP-PM, le richieste di manutenzione e i pezzi di ricambio richiesti.



### 3.2.1 Ricerca della macchina

La ricerca della macchina è un passaggio fondamentale al fine di utilizzare l'oggetto FDO già esistente per modificarne la struttura. I passi fondamentali sono i seguenti:

- Eseguire l'accesso ad Axalant
- Aprire il menù *ZF-FDO* (Fig.35)
- Selezionare la voce *FDO Material Master Form*

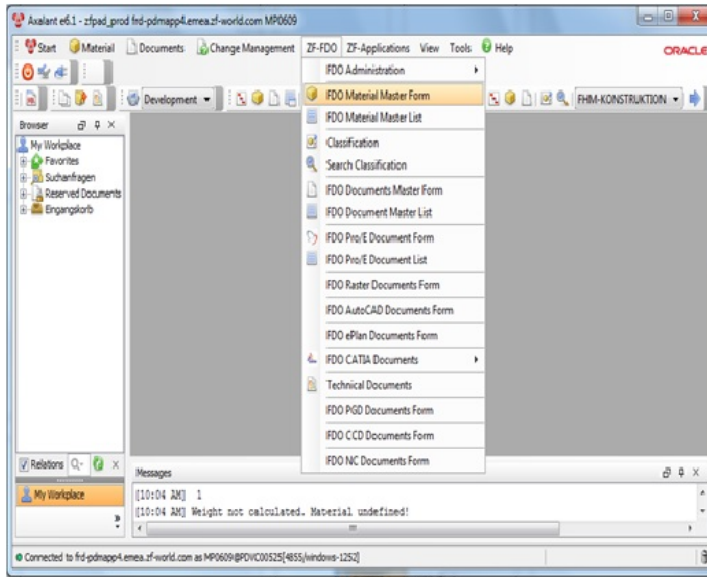


Figura 35: Accesso Axalant

- Verificare che l'ambiente si trova in modalità *Development* (Fig.36 )

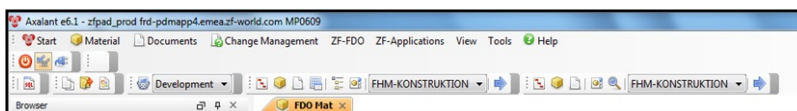


Figura 36: Selezione Ambiente di modifica FDO

- Attivare la modalità di ricerca (Fig. 37 ).
- inserire il codice della Macchina nel campo *Material No.* ed eseguire la ricerca cliccando il pulsante lente di ingrandimento (Fig. 38 ).

Il risultato della ricerca per un determinato codice viene visualizzato nella form FDO in (Fig. 39):

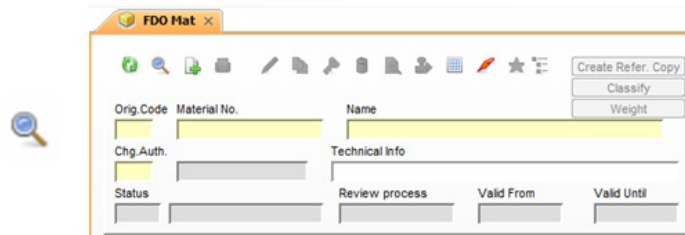


Figura 37: Attivazione modalità di ricerca



Figura 38: Esecuzione ricerca

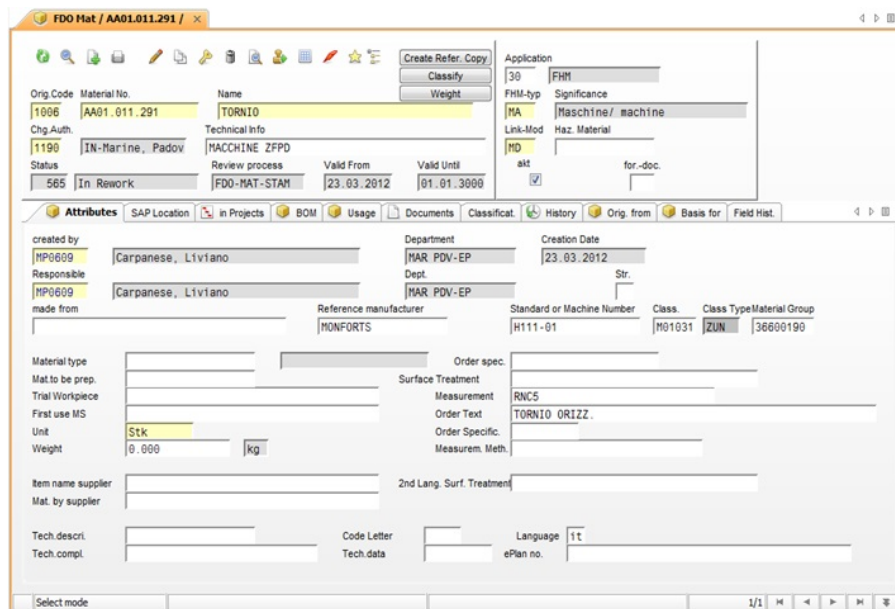


Figura 39: Risultato ricerca macchina in FDO Form



### 3.2.2 Creazione sottogruppo

La creazione del sottogruppo di una determinata macchina è necessita la creazione di un nuovo FDO relativo al sottogruppo considerato. Di seguito i passi principali per la creazione di un nuovo oggetto FDO che sarà successivamente associato al BOM della macchina.

La procedura di creazione del sottogruppo si divide in tre fasi principali:

1. Creazione nuovo record;
2. Ricerca classificazione dell'oggetto FDO;
3. Finalizzazione e rilascio dell'oggetto FDO.

#### **Creazione nuovo record:**

- Aprire *L'FDO-Material Master* dal menù ZF-FDO
- Selezionare l'icona *Crea Nuovo Record* (Fig. 40)

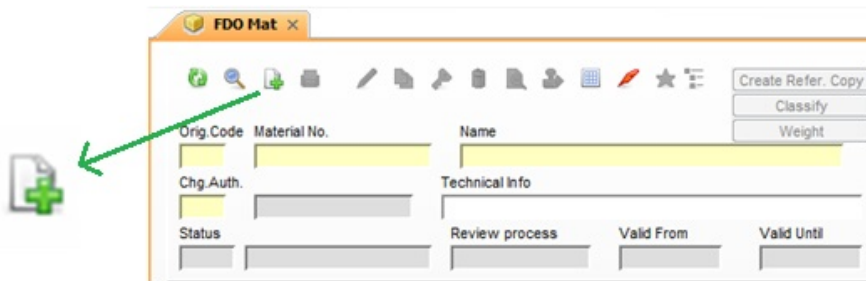


Figura 40: Crea nuovo record FDO

- Selezionare l'icona *Cerca Nome* nel campo *Name* (Fig. 41)

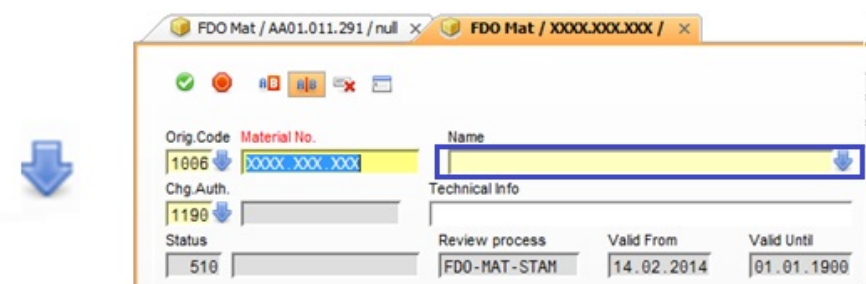


Figura 41: Cerca Nome

- una volta selezionata l'icona *Cerca Nome* nel comparirà la finestra di ricerca come in (Fig. 42).
- Nel campo *Nome* della figura precedente inserire il nome del sottogruppo utilizzando nomi parziali insieme a caratteri jolly % .

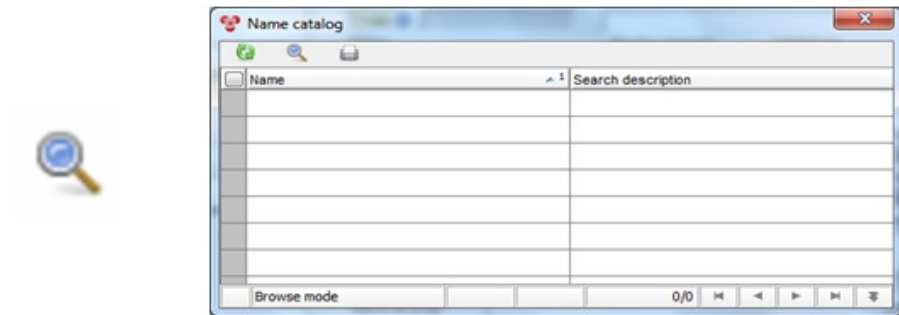


Figura 42: Cerca classificazione

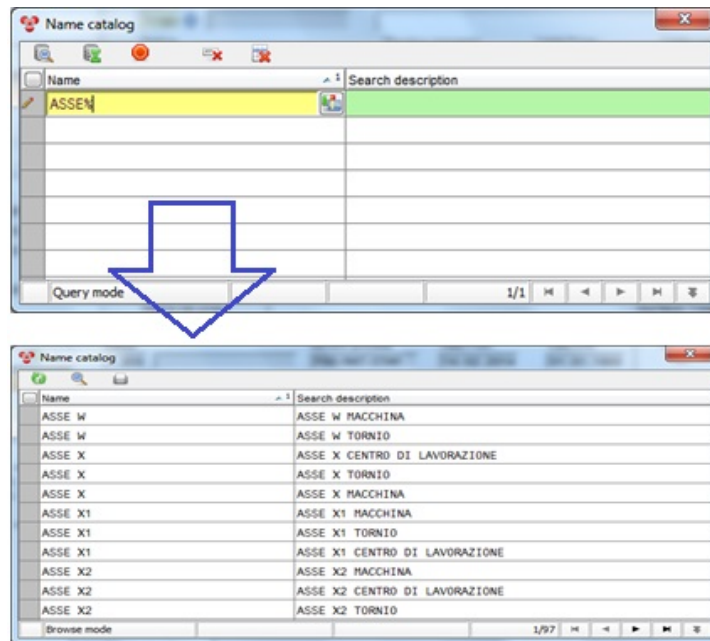


Figura 43: Lista Possibili nomi

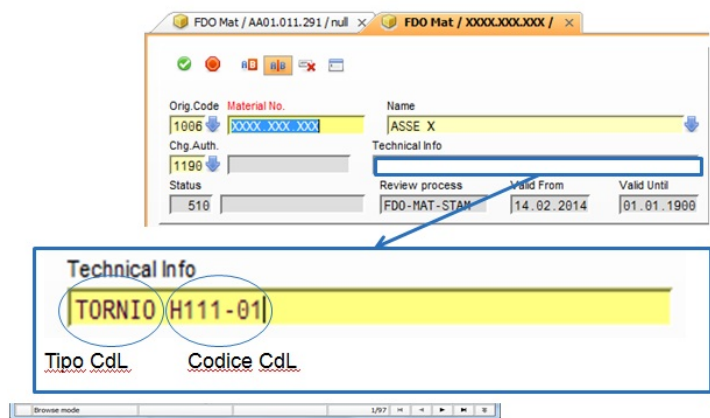


Figura 44: Form dopo classificazione sottogruppo

Una volta inserito il numer parziale cliccando sull'icona di ricerca otterremo una lista di possibili nomi per il sottogruppo; selezioniamo la voce che meglio descrive il sottogruppo leggendo il campo *Search Description* a questo punto basta selezionare la voce. Selezionando la voce desiderata torneremo nella form di creazione del FDO (vedi Fig. 44)

Il passo successivo consiste nel definire un informazione tecnica del nostro nuovo record. Per adempiere questo scopo e rendere tutte le anagrafiche omogenee si è deciso di definire una regola per questo campo. In fig. 44 possiamo vedere l'esempio di un TORNIO H111-01. Infatti queste due informazioni rappresentano la tipologia di macchina e il codice interno aziendale.

La fase successiva rappresenta la compilazione della scheda *Attributes*: all'interno di questa scheda è possibile definire diverse caratteristiche particolari riferiti alla macchina o sottogruppo che si sta definendo (Fig.45)

The screenshot shows the SAP FDO Mat creation form with the 'Attributes' tab selected. Key fields include:
 

- Material No.: 1906
- Name: TORNIO
- Application: 30
- Department: MAR PDV-EP
- Creation Date: 17.02.2014
- Material type: Mat to be prep.
- Weight: 510
- Review process: FDO-MAT-STAM
- Valid From: 17.02.2014
- Valid Until: 01.01.1990

Figura 45: Form dopo classificazione sottogruppo

Una volta compilati tutti campi confermare la creazione con il pulsante verde.

Nell'atto di creazione è altresì importante rendere disponibile il record (metadata) all'interfaccia KPN di SAP. Per rendere possibile questo tra le varie form disponibili vi è la form *Sap Location* (fig. 46)

The screenshot shows the SAP Sap Location form with a table of locations. The table has the following columns: Location, Plant, Type, Name, Remark, Master, MaxType, Locked, SE, NW, OK, Created at. The data row shows:
 

| Location | Plant | Type | Name      | Remark                                      | Master | MaxType | Locked | SE                                  | NW                       | OK                       | Created at |
|----------|-------|------|-----------|---|--------|---------|--------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| PAD      |       | M    | ZF Padova | Dummy Standort für ZF Padova, - keine Sc... |        | B       |        | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |            |

Figura 46: Sap Location: seleziona la località di destinazione attraverso l'interfaccia KPN

### 3.2.3 Rilascio sottogruppo

I diversi oggetti di anagrafica di ogni prodotto materiale o strumento, in base allo stato di avanzamento del progetto, assumono diversi stati di lavorazione. (Fig. 47)

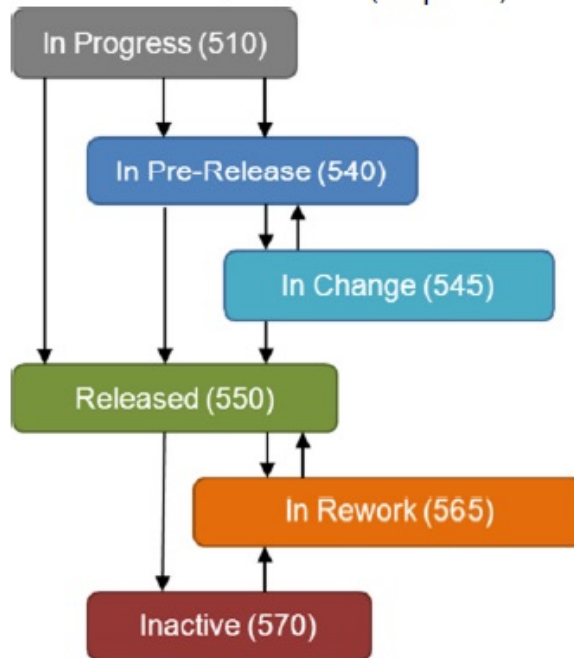


Figura 47: Rete a stati degli FDO

Per assicurare l'effettiva replica dei metadata di ogni FDO all'interno dell'interfaccia, si ha la necessità di Rilasciare quindi di portare il documento del nostro sottogruppo nello stato *Release*. Nella figura 47 possiamo vedere quali sono i possibili stati raggiungibili dall'oggetto tecnico durante la fase di progettazione e sviluppo.

### 3.2.4 Assegnazione sottogruppo

Una volta rilasciato il sottogruppo è possibile assegnarlo alla macchina a cui appartiene in due modi diversi:

- funzionalità drag and drop;
- funzionalità standard.

La funzionalità standard è possibile applicarla attraverso i seguenti passi:

- Aprire il BOM della macchina ;
- selezionare la voce *Insert new record*;
- Inserire il codice del sottogruppo appena creato.

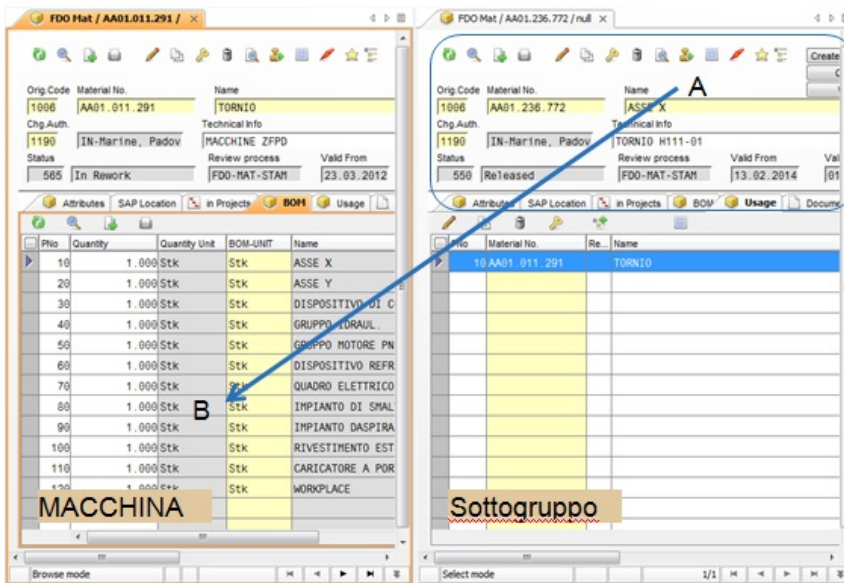


Figura 48: Funzionalità drag and drop

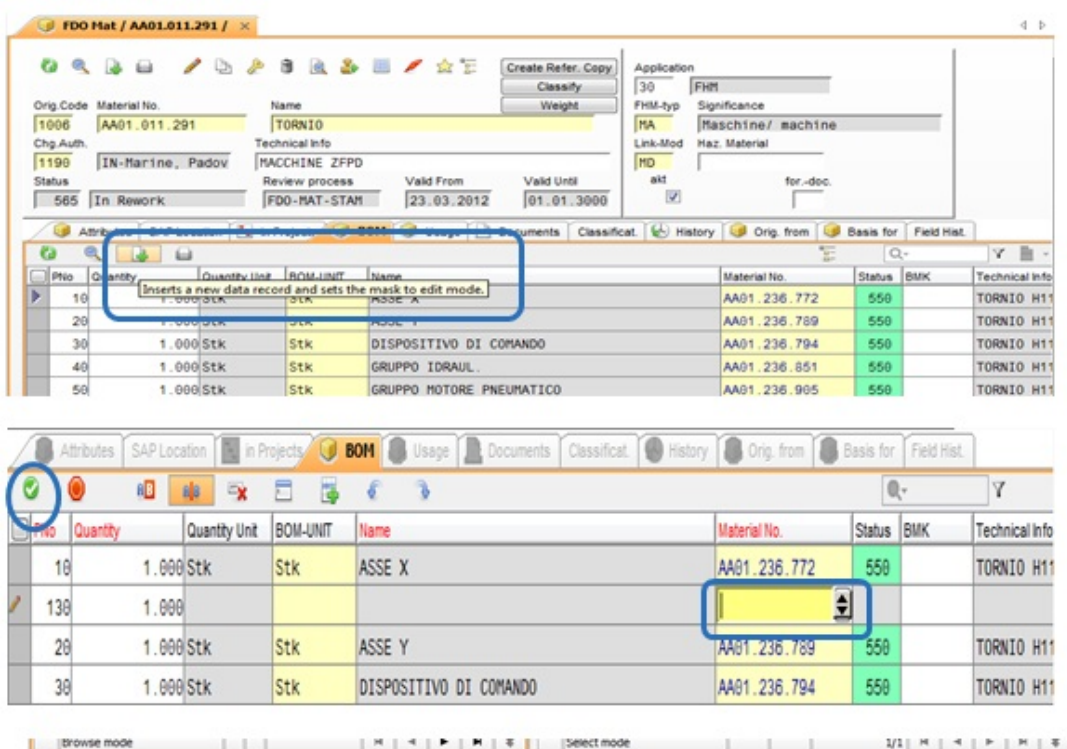


Figura 49: Funzionalità standard

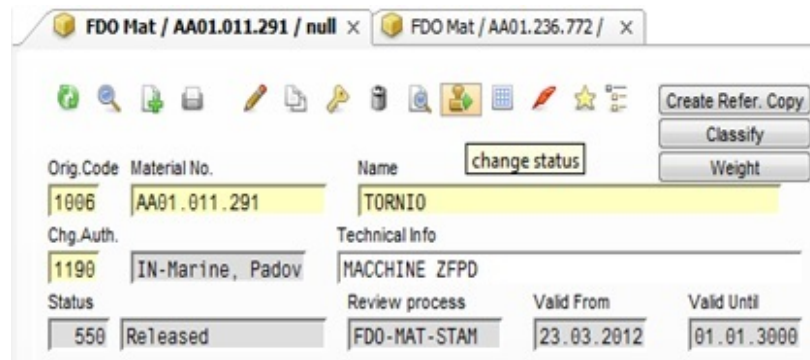
## Rilascio della Macchina

Un oggetto tecnico FDO deve essere rilasciato prima di poter rendere disponibili le informazioni sul gestionale SAP.

Per eseguire il rilascio della macchina è altresì necessario che tutti i sottogruppi associati al BOM della macchina siano in stato Released (550).

Una volta rilasciati tutti i sottogruppi è possibile rilasciare l'oggetto FDO padre nel seguente modo:

- Premere il pulsante change status ;
- Selezionare status 550 ;
- Premere Ok.



The screenshot shows the SAP FDO Mat release interface. The material is AA01.011.291 (TORNIO) with status 550 Released. The 'change status' button is highlighted. The technical information is MACCHINE ZFPD. The review process is FDO-MAT-STAM, valid from 23.03.2012 to 01.01.3000.

| Orig.Code | Material No.     | Name           | change status  | Create Refer. Copy |
|-----------|------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 1006      | AA01.011.291     | TORNIO         |                | Classify           |
|           |                  |                |                | Weight             |
| Chg.Auth. | IN-Marine, Padov | Technical Info |                |                    |
|           |                  | MACCHINE ZFPD  |                |                    |
| Status    | 550              | Released       | Review process | Valid From         |
|           |                  |                | FDO-MAT-STAM   | 23.03.2012         |
|           |                  |                |                | Valid Until        |
|           |                  |                |                | 01.01.3000         |

Figura 50: Rilascio Macchina

### 3.2.5 SAP-Plant Maintenance: Creazione struttura e Gestione Equipment

Il Plant Maintenance è un modulo di sap che permette di organizzare e gestire le sedi operative di produzione e gli strumenti di produzione ad essi associati. Il primo importante passo al fine di creare una struttura di manutenzione attraverso questo modulo è quello di identificare le Sedi Tecniche e gli Equipment. La sede tecnica è un oggetto collegato ad un concetto di Posizione, Funzione o Processo. Viene utilizzata per rappresentare un impianto, o parte di esso, una linea di macchine, o sezione di essa, un'area fisica, come ad esempio un edificio, o una posizione sulla quale vengono installati dei componenti, soggetti ad attività di manutenzione. Ogni sede tecnica può essere organizzata in più livelli in cui è suddivisa la sede di produzione aziendale, i quali consentono di individuare, in modo gerarchico, la composizione e la strutturazione delle singole anagrafiche soggette ai processi manutentivi.

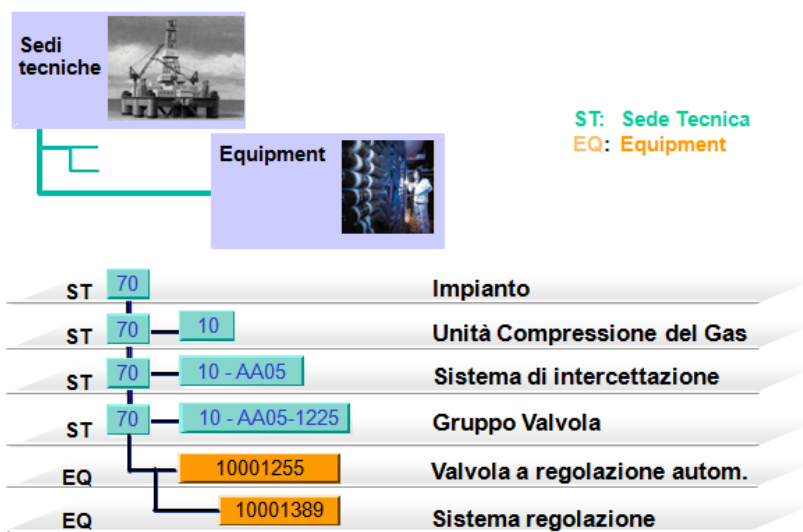


Figura 51: SAP: Sedi Tecniche ed Equipment

Gli Impianti, le macchine complesse e le sezioni di queste, vengono identificate in SAP mediante le Sedi Tecniche. La struttura degli impianti è regolata da un attributo caratteristico delle Sedi Tecniche definito "Codice Struttura"; quest'ultimo è fondamentale in quanto serve a definire:

- Il tipo di codifica che dovranno avere i vari livelli delle Sedi Tecniche
- Il numero massimo di livelli che costituiscono una Sede Tecnica

Di seguito, si riportano alcuni esempi di Codice Struttura:

- Struttura A: XXXX-XXX-AA-NN
- Struttura B: AAN-ANNN-NNNN
- Struttura C: XX-XNN-N

Dove si identificano i seguenti valori:

- A = il carattere può essere solo di tipo alfabetico;
- N = il carattere può essere solo di tipo numerico;

- X = il carattere può essere alfanumerico.

I trattini delimitano i vari livelli di struttura che la Sede Tecnica può avere.

- **Struttura A: XXXX-XXX-AA-NN:** In questo primo caso la struttura della Sede Tecnica è costituita da un massimo di 4 livelli. I primi due sono costituiti rispettivamente da 4 e da 3 caratteri alfanumerici; gli ultimi due livelli sono codificati, rispettivamente, mediante 2 caratteri di tipo alfabetico e di tipo numerico.

*Esempio: DH01-SF3- AB-12*

- **Struttura B: AAN-ANNN-NNNN:** In questo secondo caso la struttura della Sede Tecnica è costituita da un massimo di 3 livelli. Il primo livello ha i primi due caratteri alfabetici e il terzo di tipo numerico; il secondo livello presenta 1 carattere alfabetico e tre caratteri numerici; il terzo livello è costituito da 4 caratteri di tipo numerico.

*Esempio: DH1 - S312 - 1234*

- **Struttura C: XX-XNN-N** In questo terzo caso la struttura della Sede Tecnica è costituita da un massimo di 3 livelli. Il primo livello ha i primi due caratteri alfanumerici; il secondo livello presenta 1 carattere alfanumerico e due caratteri numerici; il terzo livello è costituito da 1 carattere di tipo numerico. *Esempio: H1-A19-1*



La tipologia di codice utilizzato in questo progetto è stata la A. L'utilizzo di della struttura A ci ha permesso di definire la sede tecnica attraverso un codice "parlante": PADO.

In fig. 52 possiamo vedere l'elenco completo delle aree associate alla sede tecnica di Padova:

| Functional Location Structure: Structure List |                          |                               |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| Funcional Loc.                                | PADO                     | Valid From 07/11/2013         |
| Description                                   | Plant PADO Base Location |                               |
| ▼ PADO  |                          |                               |
| ▼ PADO - SGE                                  |                          | Servizi Generali              |
| ▼ PADO - SGE - AS                             |                          | Ascensori                     |
| ▼ PADO - SGE - AT                             |                          | Auto                          |
| ▼ PADO - IMP                                  |                          | Impianti                      |
| ▼ PADO - IMP - IA                             |                          | Impianto Antincendio          |
| ▼ PADO - IMP - IL                             |                          | Impianto Allarme              |
| ▼ PADO - IMP - ID                             |                          | Impianto Idrico               |
| ▼ PADO - IMP - EL                             |                          | Elettrico                     |
| ▼ PADO - IMP - RR                             |                          | Riscald./Raffr.               |
| ▼ PADO - IMP - AC                             |                          | Aria Compressa                |
| ▼ PADO - IMP - CG                             |                          | Cogeneratore                  |
| ▼ PADO - IMP - RI                             |                          | Rete Internet                 |
| ▼ PADO - IMP - RI                             |                          | Rete Telefonica               |
| ▼ PADO - PRD                                  |                          | Produzione                    |
| ▼ PADO - PRD - LL                             |                          | Lavorazione Alluminio         |
| ▼ PADO - PRD - LC                             |                          | Lavorazione Acciaio           |
| ▼ PADO - TTR                                  |                          | Trattamento Termico           |
| ▼ PADO - ASM                                  |                          | Assemblaggio                  |
| ▼ PADO - QAP                                  |                          | Qualità Processo              |
| ▼ PADO - VER                                  |                          | Verniciatura                  |
| ▼ PADO - ACT                                  |                          | Accettazione                  |
| ▼ PADO - SPD                                  |                          | Spedizione                    |
| ▼ PADO - CED                                  |                          | Centro Elaborazione Dati      |
| ▼ PADO - RES                                  |                          | Reparto Esperienze            |
| ▼ PADO - AUX                                  |                          | Ausiliari                     |
| ▼ PADO - AUX - MN                             |                          | Manutenzione                  |
| ▼ PADO - AUX - AT                             |                          | Attrezzera                    |
| ▼ PADO - AUX - MA                             |                          | Magazzino Attrezzera Utensili |

Figura 52: SAP: Struttura PM in ZF S.r.l.

Ogni sede tecnica possiede un'anagrafica formata da informazioni principali come :

- Indirizzo;
- Sede Tecnica;
- Dati manutenzione;
- Dati Costruttore;
- Divisione-Ubicazione;
- Centro di Costo;
- Gruppo Resp. Pianificazione;
- Equipment montati;
- Sede Tecnica superiore.

Ogni Equipment rappresenta l'oggetto di manutenzione il quale può essere gestito con numeri di serie. Attivando opportuni parametri in anagrafica materiale (Profilo numero di serie) è possibile creare il legame Materiale - Serial Number - Equipment. L'integrazione con il modulo degli acquisti permette di effettuare un controllo di disponibilità del materiale e di procedere alla eventuale creazione di una richiesta di acquisto, per le attività di manutenzione esterna o per l'approvvigionamento di ricambi non presenti a magazzino.

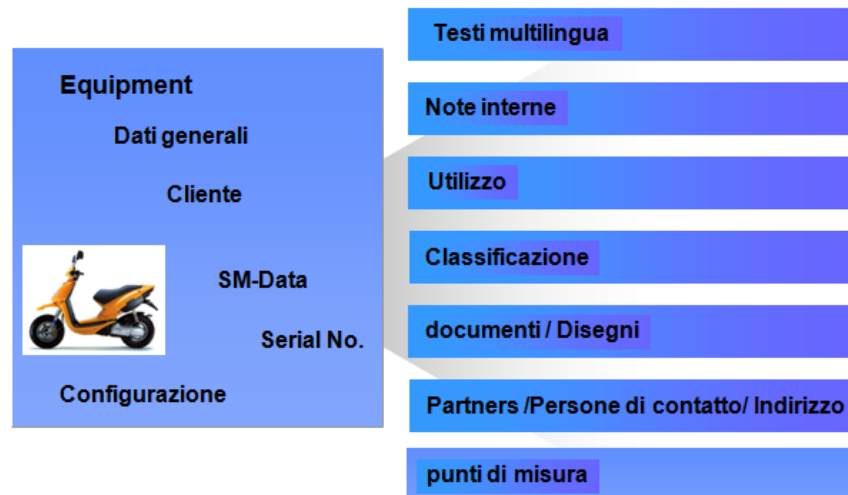


Figura 53: SAP: Anagrafica oggetti tecnici

### 3.2.6 Creazione Struttura

La creazione della struttura è fondamentale per poter associare successivamente gli equipment annessi. I passi principali per creare la struttura nel modulo PM sono i seguenti:

1. Avviare Sap ed eseguire la transizione ILO1
2. Inserire il nome PADO in sede tecnica (ad es. per Padova)
3. Scegliere il cod. struttura A.
4. Premere il flag verde
5. Inserire la Definizione Es. ZF PADOVA
6. Selezionare Divis. Ubic. E inserire il codice corrispondente Es. Padova : 1702
7. Salvare.

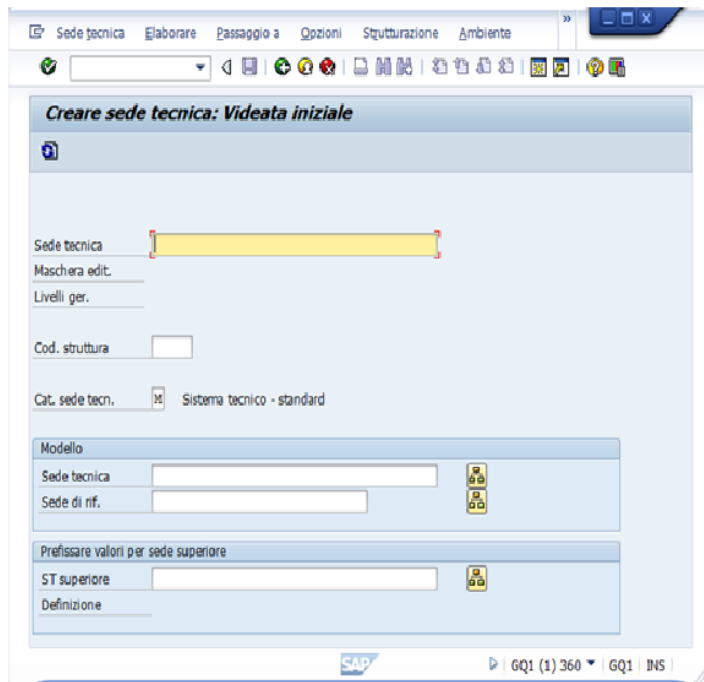


Figura 54: SAP: Transizione IL01 (Nuova Sede Tecnica)

Una volta creata la sede tecnica principale è necessario creare le sedi tecniche di livello inferiore e collegarle alla sede principale. I passaggi per definire la sede tecnica di livello inferiore sono gli stessi utilizzati per quella principale l'unica differenza è che dobbiamo rispettare il codice struttura scelto inizialmente.

I passi sono i seguenti:

1. eseguire la transizione IL01
2. Inserire la sede tecnica di competenza ad esempio: PRODUZIONE PADO - PRO
3. inseriamo la descrizione: Produzione
4. Nel folder "Struttura" è bene verificare che il campo "ST superiore" contenga il valore PADO.
5. salvare.

Tramite l'utilizzo del codice struttura la creazione di una nuova sede tecnica si effettua nello stesso modo indipendentemente dal suo livello di appartenenza.

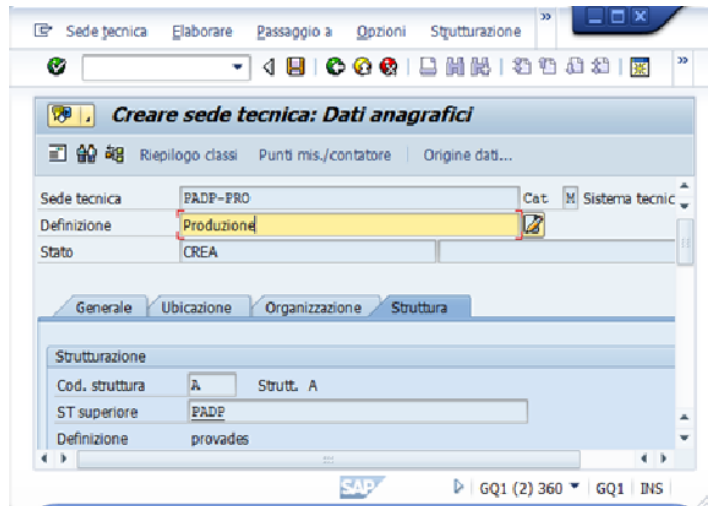


Figura 55: SAP: Transizione IL01 (Nuova Sede Tecnica Livello inferiore)

Una volta salvata la sede tecnica Es. PADO-PRO, per visualizzare l'albero della struttura appena creata si utilizza la transizione IH01, selezionando solo le checkbox come in figura e inserendo il nome della sede tecnica.



Figura 56: SAP: Albero Esempi di creazione struttura.

**NOTA:** La creazione delle sedi tecniche di livello inferiore dovrebbe essere completata prima di associare ad ognuno di esse gli equipment di riferimento. Questo perchè è possibile associare (in fase di aggiunta degli equipment) più oggetti contemporaneamente utilizzando una particolare transazione.

### 3.2.7 Creazione Equipment

Nell'atto di creare un Equipment Nuovo o già esistente dobbiamo tener presente che ad ogni equipment sarà assegnato come numero seriale il codice Axalant. Questo permetterà di riconoscere attraverso l'interfaccia l'anagrafica corretta e di eliminare la ridondanza delle informazioni: non ha senso definire due codici seriali diversi per lo stesso oggetto.

Passi da seguire:

- Eseguire la transizione IE01
- Nel campo Equipment inserire il codice axalant materiale della Macchina confermare con il flag verde.

- Una volta confermato otteniamo la videata dell'equipment appena creato, inseriamo la Definizione

Equipment: AA00502952

Valido il: 19.03.2014

Categoria equipment: M Macchine

Modello

Equipment: [ ]

Materiale: [ ]

Figura 57: SAP: Transizione IE01 (Nuovo Equipment)

Equipment: AA00502952    Categoria: M Macchine

Definizione: [ ]    Nota int. [ ]

Stato: DISP

Inizio validità: 19.03.2014    Fine validità: 31.12.9999

Generale    Ubicazione    Organizzazione    Struttura

Dati generali

Classe: [ ]

Tipo di oggetto: [ ]

Gruppo autor.: [ ]

Peso: [ ]    Grand./dimens.: [ ]

N. invent.: [ ]    In funz. dal: [ ]

Dati riferimento

Val. acquisto: [ ]    Data acquisto: [ ]

Dati produzione

Produttore: [ ]    Paese di prod.: [ ]

Def. tipo: [ ]    Anno/mese cost.: [ ] / [ ]

Cd. comp. cost.: [ ]

N. serie prod.: [ ]

Figura 58: SAP: Form Nuovo Equipment Creato

### 3.2.8 Collegamento oggetti tecnici

L'anagrafica di ogni equipment permette il collegamento di ognuno di questi oggetti a informazioni provenienti da un sistema esterno. Per poter legare le anagrafiche di ogni equipment presente in SAP e gli FDO presenti nel gestionale di produzione è necessario definirlo nel momento della sua creazione. I seguenti passi forniscono una procedura per associare gli equipment alle sedi tecniche di appartenenza ed abilitare la comunicazione tra SAP-PM e il gestionale di produzione Axalant.

- In fase di creazione dell'Equipment (Trans. IE01) nella sezione Struttura selezionare Sede Tecnica ed inserire es. PADP
- Nel campo Equipment Sup. inserire la sede tecnica di livello inferiore a cui si desidera associare l'equipment.
- Confermiamo L'inserimento con il flag verde.
- Al ritorno alla schermata Creare Equipment, il cursore si posizionerà sulla casella TpCostr. È di fondamentale importanza inserire in questo campo il codice materiale relativo alla macchina/equipment che stiamo creando per tanto inseriamo come in es. TpCostr: AA00.502.952
- Salviamo.

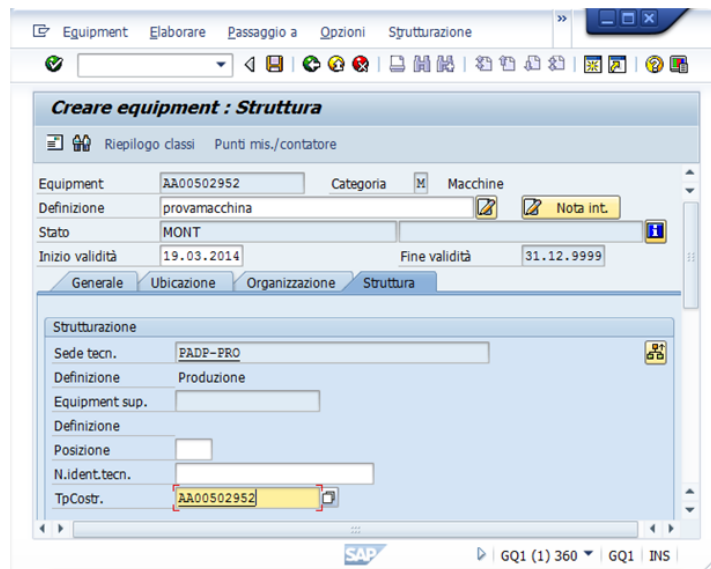


Figura 59: SAP: Collegamento oggetti tecnici

# 4

## ZFPM ORDER LIST

### 4.1 ZFPM: SOLUZIONE ALTERNATIVA

L'applicativo che mi accingo a illustrare è stato frutto dell'inadempienza del progetto principale per problemi aziendali legati alle interfacce di comunicazione tra i due gestionali: AXALANT e SAP.

Il programma implementato permette all'operatore responsabile della manutenzione programmata di :

1. inserire le richieste manutentive
2. creare una bolla di manutenzione
3. registrare uno storico di tutti gli ordini effettuati
4. eseguire il change managment degli ordini inseriti comunicando lo stato dell'ordine (sospeso, rilasciato concluso) ai responsabili di reparto tramite email generata automaticamente dal sistema allegando il file della bolla di manutenzione e i dati relativi alla richiesta manutentiva.

La bolla di manutenzione viene generata dal programma nell'atto di completamento dell'ordine e salvata nella stessa cartella del file \*.xlm dell'applicativo ed è costituita da i seguenti campi:

- TESTATA:Nr. ordine, Descrizione, Data/ora Intervento, Durata intervento (stimata), Centro di Lavoro , Codice indentificativo Axalant, centro di costo;
- CORPO: Operazioni di manutenzione, Lista Materiali utilizzati.
- PIEDE: Note,Operatore/Azienda, Durata Effettiva,Timbro, Firma (operatore che ha effettuato la manutenzione),tempo di vita del componente stimata dal produttore.

Il software è stato implementato con il linguaggio di programmazione orientato ad oggetti *VBA For Application* e come database di storicizzazione si è utilizzato un foglio di calcolo Excel, dato che gli applicativi *Microsoft Office*.

### 4.2 INTERFACCE UTENTE

Una volta lanciato il file *xlm* l'applicativo ZFPM Order List viene eseguito lanciando l'userform principale, personalizzata secondo le direttive ZF che permette di accedere a due userform:

1. Nuovo Ordine
2. Termina Modifica Ordine



Figura 60: ZFPM Orderlist Start

L'interfaccia Nuovo Ordine permette all'utente di inserire attraverso apposite caselle di riepilogo i dati relativi alla manutenzione in modo che possano essere accomodati nell'apposita lista ordini e salvati nella bolla di manutenzione.

#### 4.2.1 Creazione della richiesta di manutenzione

La prima UserForm *Crea Nuovo Ordine* permette di compilare, tramite l'utilizzo di *textboxes* i campi che vedremo in seguito nella sezione Lista Ordini

I campi rappresentano le informazioni essenziali dell'Ordine di manutenzione.

Una volta compilata l'userform si possono eseguire due operazioni:

1. Annullare l'inserimento, i dati inseriti non verranno memorizzati, non viene generata nessuna bolla.
2. Continuare l'inserimento con il pulsante continua.

Una volta premuto il tasto continua, nella stessa userform, viene abilitato il pulsante *inserisci operazioni*. cliccando quest'ultimo si accede al foglio temporaneo *Lista Operazioni* (vedi figura 62) in cui un apposito pulsante permette di tornare alla schermata precedente e di verificare la corretta compilazione della tabella.

Le operazioni sono le istruzioni base che l'operatore addetto deve effettuare per eseguire l'ordine di manutenzione.

Es.

1. Disattivare alimentazione
2. Rimuovere coperchio
3. Sostituire pezzo
4. Riposizionare coperchio.





Le stesse saranno visibili in ordine crescente nel foglio riepilogativo dell'ordine. Una volta inserite le operazioni premento il tasto *Fine Inserimento* si torna all'userform di inserimento per completare la creazione dell'ordine.

**NOTA:** *L'ordine non è ancora completato si può ancora annullare il processo d'inserimento, dalla userform di creazione grazie al pulsante annulla inserimento.*

L'user form di creazione, di nuovo attiva con i dati inseriti, permette a questo punto di inserire i materiali con i relativi codice Axalant. Infatti premendo il pulsante *Inserisci Materiali* accediamo al secondo foglio temporaneo *Lista Materiali*:

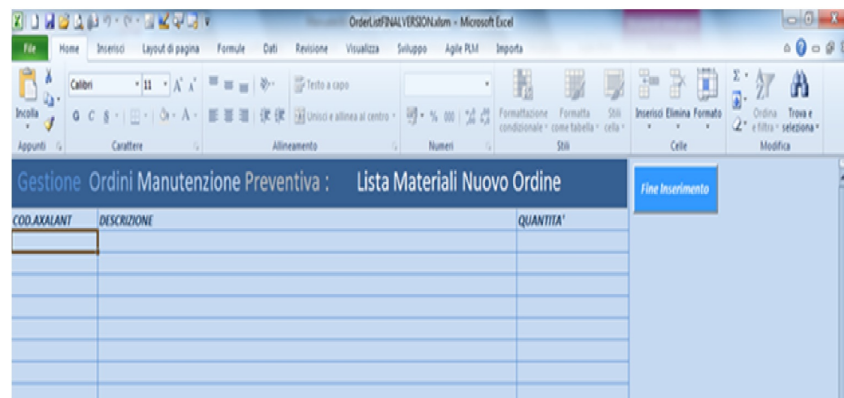


Figura 63: ZFPM - Lista Operazioni

Dalla userform a questo punto è possibile completare l'ordine con il tasto *Completa Inserimento*.

Una volta premuto uscirà un messaggio di conferma come in figura, riportante il numero dell'ordine.

#### 4.2.2 Gestione delle richieste

Premendo il pulsante *Modifica ordine*, si ottengono due effetti permanenti: Si inserisce l'ordine con i relativi dati nella Lista Ordini in stato: «SOSPESO» Si Crea il foglio riepilogativo con nome uguale al numero ordine e viene salvato nella stessa directory del programma.

L'interfaccia *Termina / Modifica Ordine* permette di ricercare un ordine già inserito nella lista ordini, per cambiare lo stato, e inviare la notifica email ai capi reparto. Infatti ogni volta che modifichiamo lo stato parte un email.

Lo stato dell'ordine ci dice se l'ordine è concluso o è in attesa di essere eseguito.


Gli stati sono possibili sono 3:

- SOSPESO  
Quando un nuovo ordine viene creato l'ordine va automaticamente in questo stato.
- RILASCIATO  
Tramite la seguente interfaccia è possibile passare l'ordine dallo stato Sospeso a quello Rilasciato e viceversa al rilascio di un ordine se lo stesso prevede una ripetizione viene ricalcolata la data del prossimo

ZF - Crea Nuovo Ordine

Nuovo Ordine

**Descrizione Ordine**

 asdfasdf

Descrizione

Richiedente asdfasdf

Centro di Lavoro asdf C.d.C. asdf

Codice Axalant asdf

Priorità Normale

**Ripetizione Ordine**

Repeat (yes/NO)  YES  SI

Tipo di Ordine RO

Ripeti Ogni Settimane Numero 3

Data Int. 30/04/2014

Ora Int. 07:00

Durata (ore) 1

Material: Yes / No  YES  SI

Figura 64: ZFPM - Completamento Ordine

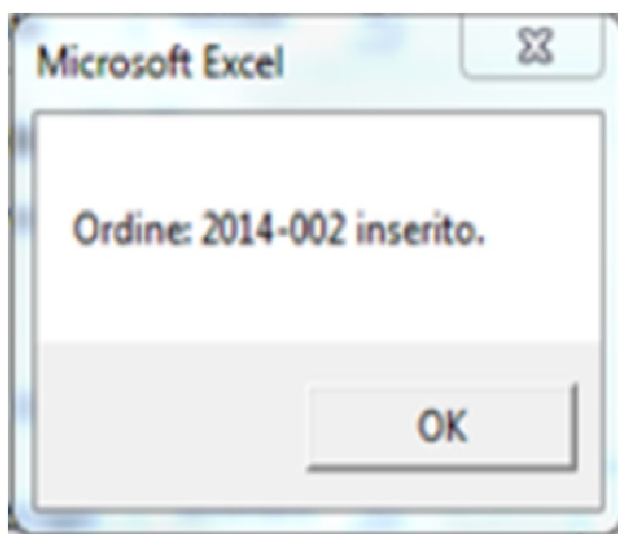


Figura 65: ZFPM - Messaggio di conferma

intervento visualizzabile nella userform; è possibile anche modificare la ripetizione qual'ora l'operatore fornisca valori alternativi nel foglio di riepilogo

- **COCLUSO**

Lo stato concluso si riferisce agli ordini di manutenzione che non hanno una ripetizione, infatti concludere un ordine rilasciato con ripetizione equivale a sospenderlo per poi poterlo rilasciare nuovamente.

Nella prima casella di testo, nella parte superiore: *ordine di lavoro* inseriamo il numero dell'ordine e premendo il pulsante cerca recuperiamo i dati relativi all'ordine.

La ripetizione dell'ordine, qualora fosse necessario, può essere modificata

The screenshot shows a software window titled "Gestione Ordine". It is divided into two main sections: "Ordine di Lavoro" and "Ripetizione Ordine".

**Ordine di Lavoro:** This section contains the ZF logo, a text input field with the value "2014-002", and a "Cerca" button. Below this, there are two more input fields: "Data Intervento" with the value "30/04/2014" and "Ora Intervento" with the value "07:00", followed by a "Cancella" button.

**Ripetizione Ordine:** This section allows for configuring the order's repetition. It includes a "Modifica" checkbox (unchecked), a "Repeat Every" dropdown menu set to "Settimane", a "Numero" input field with the value "3", and a "Durata (ore)" input field with the value "1". There are also two additional "Modifica" checkboxes, one for each of the last two fields.

Figura 66: ZFPM - Recupero ordine di lavoro

spuntando il checkbox di modifica corrispondente e inserendo i nuovi valori nella casella inferiore.

La parte inferiore dell'userform è possibile modificare lo stato dell'ordine passando da sospeso a rilasciato e infine a concluso.

Una volta concluso non è più possibile rilasciare l'ordine nuovamente o sospenderlo una volta rilasciato è possibile tornare in stato sospeso. Lo stato dell'ordine di manutenzione segue il seguente schema di cambio di gestione:

SOSPESO ⇔ RILASCIATO ⇒ CONCLUSO

Una volta premuto aggiorna si abiliterà il pulsante Registra quello che eseguirà le operazioni di :

- Aggiornamento del foglio di lavoro;
- Notifica email solo nel caso in cui l'ordine passa dallo stato SOSPESO a RILASCIATO;

- Nella parte inferiore vi è un textbox che permette di visualizzare le email di default per la notifica e anche di modificarle tramite il checkbox.

**ATTENZIONE!** La modifica delle Email deve avvenire prima della registrazione dell'ordine. Il tasto Registra, una volta premuto, notificherà

Figura 67: ZFPM - Registra Ordine

il corretto salvataggio dell'eventuale modifica solo in caso di variazioni dell'ordine di manutenzione.

Premendo ok vengono inviate le email, ma viene richiesta l'apertura di Outlook, e in caso positivo esce un messaggio di conferma.

#### 4.2.3 Foglio repilogativo dell'ordine: Bolla di Manutenzione

Il foglio riepilogativo contiene tutti i dati relativi all'ordine di manutenzione ed è formato da tre parti distinte, previamente descritte, come possiamo apprezzare in figura 69:

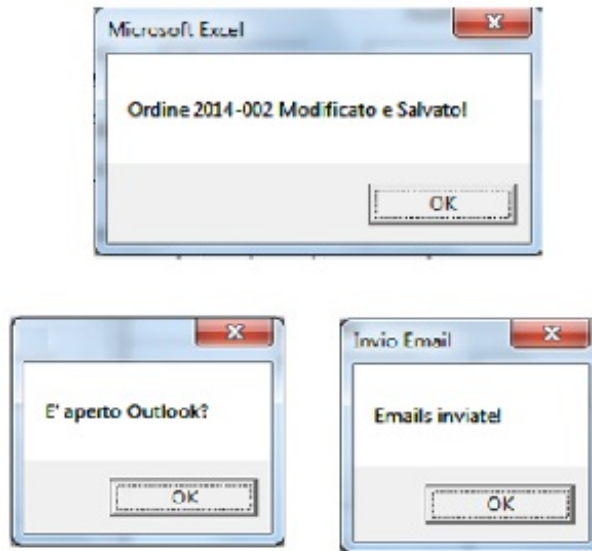


Figura 68: ZFPM - Recupero ordine di lavoro

| ORDINE DI MANUTENZIONE PREVENTIVA |                   |                            |                     |                   |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|
| NR. ORDINE                        |                   | DESCRIZIONE                | DATA/ORA INTERVENTO | DURATA INTERVENTO |
| 2014-003                          |                   | fgasdfad                   | 10/05/2024          | 1                 |
| STATO                             |                   | Sospeso                    |                     |                   |
| MACCHINA / C.D.L.                 | AKALANTID.        | C.D.C.                     |                     |                   |
| asdf                              | asdf              | asdf                       | asdf                | asdf              |
| <b>TESTATA</b>                    |                   |                            |                     |                   |
| OPERAZIONI                        |                   | MATERIALI                  |                     |                   |
| NR.                               | DESCRIZIONE       | CODICE                     | Q.Ta                | DESCRIZIONE       |
| 0010                              | asdfasofa         | asdfasdf                   | asdf                | asdfasof          |
| 0020                              | asdfasofa         |                            |                     |                   |
| 0030                              | sdff              |                            |                     |                   |
| <b>LISTE</b>                      |                   |                            |                     |                   |
| NOTE:                             | OPERATORE/AZIENDA | DATA EFF. INIZIO ATTIVITA' | DURATA              |                   |
|                                   |                   |                            |                     |                   |
| <b>Piè di Pagina</b>              |                   | TIMBRE                     | FIRMA               | RIPEZIOGNI        |
|                                   |                   |                            |                     |                   |

Figura 69: ZFPM - Foglio Riepilogativo

La testata è comprensiva dei dati più importanti dell'ordine, come si può vedere in figura 70, Vi sono presenti anche i codici a barre che rendono più rapido l'inserimento dei dati Per l'operatore sul Pc.

| ORDINE DI MANUTENZIONE PREVENTIVA |  |             |             |                     |                   |
|-----------------------------------|--|-------------|-------------|---------------------|-------------------|
| NR.ORDINE                         |  | DESCRIZIONE |             | DATA/ORA INTERVENTO | DURATA INTERVENTO |
| 2014-003                          |  | fgasdfad    |             | 10/05/2014          | 1                 |
| MACCHINA / C.D.L.                 |  |             | AXALANT ID. |                     | STATO             |
| asdf                              |  |             | asdf        |                     | Sospeso           |
| C.D.C.                            |  |             | C.D.C.      |                     |                   |
| asdf                              |  |             | asdf        |                     |                   |

Figura 70: ZFPM - Foglio Riepilogativo: Testata

Le *Liste Centrali* Contengono tutte le informazioni inserite nell'atto di creazione. A sinistra le operazioni con numero progressivo e descrizione, a destra i materiali con codice Axalant, quantità , descrizione con relativi codici a barre per una facile acquisizione nel magazzino virtuale e nel gestionale SAP.


| OPERAZIONI |             | MATERIALI |      |             |   |
|------------|-------------|-----------|------|-------------|---|
| NR.        | DESCRIZIONE | CODICE    | Q.Tà | DESCRIZIONE | COD.BAR.  |
| 0010       | asdfasdfa   | asdfasdf  | asdf | asdfasdf    |  |
| 0020       | asdfasdfa   |           |      |             |   |
| 0030       | sdf         |           |      |             |   |

Figura 71: ZFPM - Foglio Riepilogativo: Testata

Il *piè di pagina* servirà all'operatore che una volta effettuata la manutenzione inserirà i valori effettivi di durata e di ripetizione dell'ordine se diversi da quelli indicati dal foglio.

|       |                   |                            |             |
|-------|-------------------|----------------------------|-------------|
| NOTE: | OPERATORE/AZIENDA | DATA EFF. INIZIO ATTIVITA' | DURATA      |
|       |                   |                            |             |
|       | TIMBRO            | FIRMA                      | RIPETI OGNI |
|       |                   |                            |             |

Figura 72: ZFPM - Foglio Riepilogativo: Piè di pagina

## 4.3 STORICO ORDINI

Nella Lista ordini troviamo lo storico di tutti gli ordini di manutenzione e i relativi dati.

L'utente inoltre può filtrare gli ordini tramite l'utilizzo diretto del filtro o dei pulsanti di controllo.

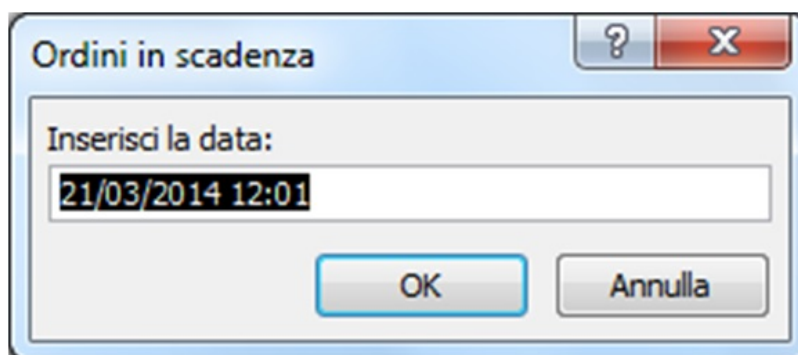
Gli ordini di maggiore interesse sono quelli *Rilasciati* ma in generale è possibile eseguire filtri combinati.



| Order N°                 | Data di Creazione | Data Intervento  | Descrizione                        | Centro di lavoro | Richiedente | STATO      | Eseguito |
|--------------------------|-------------------|------------------|------------------------------------|------------------|-------------|------------|----------|
| <a href="#">2014-001</a> | 19/03/2014 12:26  | 19/09/2014 08:45 | Cambio Filtro Centralina Idraulica | D50-01           | Caio        | Rilasciato | SI       |
| <a href="#">2014-002</a> | 19/03/2014 17:20  | 30/04/2014 07:00 | asdfasdf                           | asdf             | asdfasdf    | Sospeso    | NO       |
| <a href="#">2014-003</a> | 20/03/2014 09:17  | 05/10/2014 06:00 | fgasdfad                           | asdf             | asdf        | Sospeso    | NO       |
| <a href="#">2014-004</a> | 20/03/2014 09:24  | 12/12/2014 06:15 | fasdf                              | asdf             | asdf        | Sospeso    | NO       |

Figura 73: ZFPM - Lista Ordini: storico manutenzioni

Cliccando ordini in scadenza si facilita l'utente nell'inserimento di una data di scadenza per il filtraggio dei dati tramite un inputBox:



Ordini in scadenza

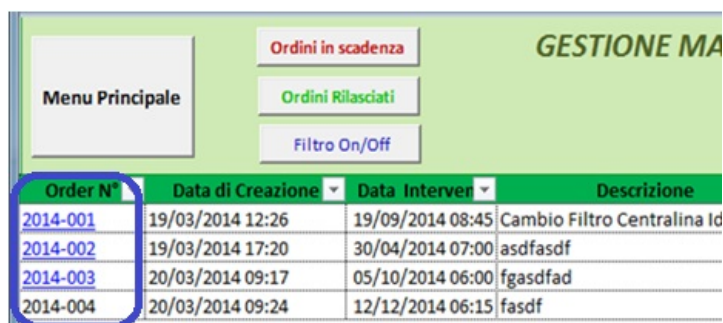
Inserisci la data:

OK Annulla

Figura 74: ZFPM - Filtro Ordini in scadenza

Dalla lista è possibile richiamare tramite il numero dell'ordine, al quale è associato un link ipertestuale, il foglio riepilogativo.

La prima colonna abbiamo i numeri degli ordini che sono link ipertestuali al file generato nell'atto di creazione dell'ordine (vedi figura 75)



| Order N°                 | Data di Creazione | Data Intervento  | Descrizione                 |
|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| <a href="#">2014-001</a> | 19/03/2014 12:26  | 19/09/2014 08:45 | Cambio Filtro Centralina Id |
| <a href="#">2014-002</a> | 19/03/2014 17:20  | 30/04/2014 07:00 | asdfasdf                    |
| <a href="#">2014-003</a> | 20/03/2014 09:17  | 05/10/2014 06:00 | fgasdfad                    |
| <a href="#">2014-004</a> | 20/03/2014 09:24  | 12/12/2014 06:15 | fasdf                       |

Figura 75: ZFPM - Link Ordine Storicizzato



# 5

## CONCLUSIONI

In questo progetto di tesi si è cercato di fornire delle procedure di ristrutturazione del *Bill of Material* di ogni macchina di produzione al fine di poter storicizzare e avere una stima più accurata del consumo dei singoli codici materiali di produzione per ogni macchina e intervento preventivo di manutenzione, fornendo due procedure interne: la prima per il gestionale di produzione Axalant, la seconda per il gestionale SAP.

Le due procedure citate e ampiamente esposte saranno utili qualora la comunicazione tra i due gestionali sarà bidirezionale, perchè sarà possibile monitorare l'effettivo numero di pezzi necessari alla produzione (Spare Parts- Pezzi di ricambio) tenendo aggiornato il PDM aziendale.

Il mio contributo a questo progetto di tesi si condensa specialmente sulla creazione dell'applicativo *ZFPM OrderList* il quale permetterà in questo periodo di transizione di tenere traccia degli ordini e dei relativi pezzi sostituiti in modo da poterli successivamente importare in SAP, al fine di poter stabilire con più correttezza gli effettivi costi per singolo pezzo prodotto invece di essere stimati in base all'esperienza dell'operatore, rendendo indipendente quest'ultimo dal monitoraggio manuale causa di molti errori di valutazione.

Il progetto potrà essere ampiamente migliorato sia dal lato applicativo: utilizzando ambienti di sviluppo come *.NET* e l'utilizzo di database relazionali che dal lato di gestione dei dati, implementando procedure di importazione automatica dallo *ZFPM OrderList* a SAP.

Inoltre, sarà compito interno aziendale valutare le politiche migliori di manutenzione una volta raggiunta la mole di dati necessaria per la stima corretta dei costi effettivi produzione.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Manzini, A. Regattieri, *Manuntenzione dei sistemi di produzione*, Libro, Progetto Leonardo, Bologna, 2006.
- [2] *Help SAP: Preventive Maintence*, Help Sap Internet Support  
([http://help.sap.com/saphelp\\_46c/helpdata/en/8e/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_46c/helpdata/en/8e/content.htm).)
- [3] *Sap Online Training*, Internet  
([https://training.sap.com/shop/\\_/sapapp/pdf/training-sap-com-UserGuide.pdf](https://training.sap.com/shop/_/sapapp/pdf/training-sap-com-UserGuide.pdf)).
- [4] *Axalant - Module 1 Production Resource Administration*, (Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [5] *Axalant - Module 2 Basic principles*, (Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [6] *Axalant - Module 3 Searching*, (Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [7] *Axalant - Module 4 Material Master*, (Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [8] *Axalant - Module 5.1 PGD*, (Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [9] *Axalant - Module 5.2 TDM*, (Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [10] *Axalant - Module 6 Bill of Material ManagementAxalant*,(Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [11] *Axalant - Module 6 Bill of Material ManagementAxalant*,(Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [12] *Axalant Material Structure - Fundamentals*,(Manuale uso interno) ZF Friedrichshafen AG.
- [13] *SAP ERP*, Wikipedia  
([http://it.wikipedia.org/wiki/SAP\\_ERP](http://it.wikipedia.org/wiki/SAP_ERP)).
- [14] *Product Data Managment*, Wikipedia  
([http://it.wikipedia.org/wiki/Product\\_Data\\_Management](http://it.wikipedia.org/wiki/Product_Data_Management)).
- [15] *Enginering Data Management*, Wikipedia  
([http://it.wikipedia.org/wiki/Engineering\\_Data\\_Management](http://it.wikipedia.org/wiki/Engineering_Data_Management)).
- [16] *Enginering Data Management*, Wikipedia  
([http://it.wikipedia.org/wiki/Gestione\\_del\\_ciclo\\_di\\_vita\\_del\\_prodotto](http://it.wikipedia.org/wiki/Gestione_del_ciclo_di_vita_del_prodotto)).