



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale IN INGEGNERIA MECCANICA

**TECNICHE DI PROJECT MANAGEMENT APPLICATE AL CAMPO DELLA
MANUTENZIONE**

PROJECT MANAGEMENT APPLIED TO MAINTENANCE

**Relatore: Chiar.mo
Prof. CIARAPICA FILIPPO EMANUELE**

**Tesi di Laurea di:
FAZZI CRISTIANO**

A.A. 2019/2020

INDICE

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE.....3

CAPITOLO 2

TECNICHE DI PROGRAMMAZIONE NEL PROJECT MANAGEMENT...5

CAPITOLO 3

POLITICHE DI MANUTENZIONE IN AMBITO INDUSTRIALE.....11

CAPITOLO 4

**ESEMPI APPLICATIVI DEL PROJECT MANAGEMENT NEL CAMPO
DELLAMANUTENZIONE.....23**

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI.....41

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

Questa tesi si pone l'obiettivo di illustrare l'importanza del project management nel campo della manutenzione (capitolo 1), definendone le tecniche di pianificazione e le loro differenze rispetto alla pianificazione classica (capitolo 2), per poi trasportarle nel campo della manutenzione e vedere il modo in cui possono essere applicate in questo campo (capitolo 3).

Vedremo inoltre alcuni dei casi in cui queste tecniche sono state applicate (capitolo 4) e come queste abbiano portato vantaggi o cambiamenti nelle strutture aziendali (capitolo 5).

Introduzione al project management e alla figura del project manager

Reputo prima di tutto importante fornire al lettore alcune nozioni generali riguardanti il project management, cercando di esplicitare in maniera più chiara possibile cos'è, qual è l'obiettivo che si vuole raggiungere attraverso l'utilizzo delle sue tecniche di programmazione -che saranno invece illustrate in seguito- ed esplicitare come queste abbiano una certa rilevanza nel campo della manutenzione.

Il Project Management è l'applicazione di conoscenze, abilità, strumenti e tecniche delle attività di progetto al fine di soddisfare i requisiti di quest'ultimo.

Il project manager è la persona incaricata del raggiungimento degli obiettivi di progetto.

La gestione di un progetto include:

- identificare i requisiti
- fissare obiettivi chiari e raggiungibili
- individuare il giusto equilibrio tra le esigenze di qualità, ambito, tempo e costi, che sono in competenza tra di loro;

Nella gestione dei progetti spesso si parla di "triplo vincolo", ossia di una relazione di interdipendenza di prestazioni/qualità, tempi e costi. Lo sforzo costante per bilanciare questi tre fattori impatta sulla qualità del progetto. Un progetto si può quindi definire di alta qualità se riesce a consegnare il prodotto, il servizio o il risultato richiesti nell'ambito stabilito, entro il tempo fissato e restando entro i limiti del budget definito. La variazione anche di uno solo dei tre fattori del triplo vincolo implica che almeno un altro fattore ne risulti influenzato. I project manager si occupano inoltre di gestire i progetti tenendo conto anche dei

rischi di progetto, ossia eventi o condizioni incerte che, se dovessero verificarsi, avrebbero un effetto positivo o negativo su almeno uno degli obiettivi di progetto. Un project management di successo può essere dunque definito come il raggiungimento degli obiettivi del progetto al livello di prestazioni/qualità desiderate, mantenendosi nei tempi e nei costi previsti e utilizzando le risorse efficientemente ed efficacemente.



Rappresentazione del project management secondo Kerzner

Importanza del project management nel campo della manutenzione

Ora che abbiamo fornito qualche informazione di base riguardo all'all'argomento che andremo a trattare, possiamo contestualizzarlo nel campo che è di nostro interesse, cioè quello della manutenzione.

Si può intuire facilmente come l'ottimizzazione di prestazioni, tempi e costi ben si adatti al campo della manutenzione, il cui scopo principale è quello di cercare sempre di mantenere il più alto possibile il valore di performance dell'impianto produttivo/di erogazione di beni, sempre ai minor costi possibili; anche la grandezza tempo rientra in questo schema, in quanto si può constatare che una manutenzione di lunga durata influisca negativamente sulla performance media del progetto.

La manutenzione in generale è uno dei processi più influenti nel raggiungimento degli obiettivi prefissati, e una sua corretta programmazione ci da importanti informazioni riguardo alle risorse necessarie per sostenere il progetto, i costi e il tempo necessario (vedremo successivamente che qui tempo è inteso come ciclo di vita del progetto).

Una gestione corretta della manutenzione aiuta a massimizzare l'utilizzo delle attrezzature e a mantenere costante il livello di produttività, riducendo conseguentemente i costi.

Efficienza della produzione ed efficienza ed efficacia della manutenzione sono, quindi, intimamente collegate.

La gestione della manutenzione presenta oggi problematiche sempre più complesse che richiedono risposte adeguate. E' sempre più necessario convertire la Manutenzione Correttiva in Manutenzione Pianificata, il che richiede notevoli cambiamenti nell'organizzazione della manutenzione: nuove procedure, una nuova mentalità nel personale coinvolto, nuove forme di manutenzione (vedremo successivamente più nel dettaglio).

CAPITOLO 2: TECNICHE DI PROGRAMMAZIONE NEL PROJECT MANAGEMENT

Pianificazione

La pianificazione della manutenzione costituisce uno dei processi aziendali più importanti, dal momento che una corretta pianificazione deve poter consentire la sistematica esecuzione degli interventi che sono stati previsti, in modo da poter assicurare il mantenimento di un'elevata affidabilità del sistema, per tutta la durata del suo ciclo di vita, dall'installazione fino alla sua dismissione.

Una pianificazione adeguata presuppone l'esistenza di una struttura organizzativa ben impostata, in quanto una modifica di quest'ultima causerebbe nella maggior parte dei casi una necessità di rivisitare la pianificazione di partenza; possiamo inoltre definire la pianificazione come un processo che si pone a cavallo fra la fase di progettazione della manutenzione e quella di esecuzione degli interventi.

Una corretta pianificazione deve rispettare alcuni requisiti:

- deve presentare obiettivi precisi e realizzabili e deve contenere l'indicazione delle azioni necessarie per realizzarli, partendo dalla situazione ottimale
- deve essere integrata e risultare dalla simultanea considerazione di tutte le attività gestionali
- deve essere articolata sui vari livelli temporali (pluriennale, biennale, annuale,) in modo che ciascun piano di livello superiore fissi gli obiettivi che devono essere realizzati con il piano di livello inferiore.

Inoltre la pianificazione è un processo aziendale trasversale a molti altri e coinvolge al suo interno molte funzioni:

- ingegneria di manutenzione, per la definizione delle strategie di manutenzione più adeguate
- gestione sul lungo periodo delle risorse umane di manutenzione
- uffici acquisti, per il reperimento di eventuali risorse particolari necessarie per l'esecuzione degli interventi
- logistica dei materiali
- uffici di programmazione operativa e schedulazione della produzione, per concordare i periodi in cui gli interventi manutentivi possono essere svolti in condizioni di sicurezza, tenendo conto delle esigenze presenti sia nella produzione (per esempio produzione manifatturiera) sia nell'erogazione di servizi (per esempio automezzi di un servizio di trasporto pubblico)
- formazione del personale

Il project management dai primi momenti in cui è diventato una corrente di pensiero in molte aziende mondiali ha portato non pochi cambiamenti, sia nel campo organizzativo sia nel campo di concezione del progetto in se; infatti, dopo il suo arrivo, nelle aziende è sempre venuta più la concezione della capacità di autosostenersi come funzione non esclusiva del successo del singolo progetto, ma come funzione di un numero di progetti definito e pianificato per ognuno dei quali si conoscono costi e cicli di vita teorici.

Solitamente i project manager suddividono i progetti in fasi per poter effettuare un miglior controllo sullo sviluppo del progetto, il già nominato ciclo di vita. È consuetudine nelle aziende identificare un insieme specifico di cicli di vita da utilizzare per i loro progetti.

I passaggi da una fase all'altra del ciclo di vita di un progetto comportano in genere una forma di trasferimento tecnico o passaggio di consegne. Gli output ottenuti da una fase prima di essere approvati per procedere alla fase successiva vengono analizzati per verificarne completezza e accuratezza. Quando si ritiene che i possibili rischi siano accettabili, c'è la possibilità che una fase venga iniziata prima dell'approvazione dei deliverable (condizioni che consentono il passaggio da una fase all'altra). Questa pratica della sovrapposizione di fasi solitamente svolte in sequenza è un esempio di applicazione della tecnica di compressione della schedulazione "fast tracking".

Criteria e strumenti per la schedulazione

Il termine schedulazione può essere trovato in un'ampia gamma di problemi, anche molto diversi fra loro per tipologia di applicazione e livello di complessità. Una sua definizione generale la vede come quella funzione che si occupa di coordinare tutte le risorse logistiche e produttive necessarie, associandole alle fasi di realizzazione dei lavori.

Possiamo quindi affermare che il processo di pianificazione e quello di scheduling hanno in comune l'obiettivo di rendere realmente eseguibile il progetto, seppur con riferimenti temporali diversi.

Nell'ambito della schedulazione sono stati sviluppati modelli applicativi, legati a specifici approcci e algoritmi; tuttavia va specificato che a differenza di altri campi dove vi è la possibilità di applicare tecniche di ottimizzazione, affrontare problemi molto complicati di scheduling non ci permette di distinguere un unico approccio come distintivo e preferibile, ma di volta in volta sarà più appropriato fare uso di metodi euristici, algoritmi di enumerazione e algoritmi approssimati.

In generale si possono classificare le risorse nei seguenti modi:

- non condivisibili
- multiservizio
- condivisibili

Tale classificazione è alla base della definizione di un qualsiasi problema di schedulazione perché essa costituisce un aspetto essenziale nella costruzione di un modello.

È importante fare una distinzione fra due tipologie di algoritmi di risoluzione:

- Programmazione a capacità infinita: cioè programmare gli ordini di lavoro prescindendo da considerazioni sull'effettiva disponibilità di impianti e risorse
(tempo finito)

- Programmazione a capacità finita: cioè allocare gli ordini di lavoro tenendo conto della reale capacità disponibile, prescindendo dal vincolo temporale (tempo infinito)

Lo scopo della schedulazione è quello di tradurre gli ordini di lavoro pianificati in ordini di lavoro operativi da rendere esecutivi. In essa si possono distinguere tre fasi concettualmente diverse ma strettamente correlate:

- fase di allocazione delle operazioni sulle singole risorse disponibili
- fase di allocazione delle operazioni nel tempo
- fase di sequenziamento dei lavori sulle macchine, affrontata tenendo conto delle caratteristiche intrinseche dei lavori, delle caratteristiche dell'impianto, ecc.

Negli ultimi anni sono state condotte molte ricerche atte a risolvere problematiche legate a questo tema; sono state trovate tecniche di varia natura, applicabili a differenti situazioni produttive, ma solo in minima parte applicabili nella realtà industriale. Questo fenomeno è spiegabile se si fanno alcune considerazioni:

- i dati di cui tenere conto nella realtà per arrivare a un programma di produzione soddisfacente sono estremamente numerosi e di nature diverse
- molti dati sono funzioni temporali e per questo motivo è difficile, se non a volte impossibile, adottare soluzioni di tipo statico per la schedulazione
- il fattore umano, seppur inserito come processo standardizzato, è un elemento di forte incertezza
- una schedulazione soddisfacente deve mirare al conseguimento di diversi obiettivi che possono spesso risultare conflittuali, per cui ogni volta dovrebbe essere cambiato il peso a loro assegnato

Spesso nello scheduling vi è stata la propensione a prediligere soluzioni empiriche basate sul buon senso e sull'esperienza maturata negli anni, senza fare ricorso a tecniche troppo analitiche e complesse da un punto di vista elaborativo. Infatti si è coscienti della complessità del sistema e dell'imperfezione dei risultati raggiungibili e si tende quindi ad adottare un coefficiente di sicurezza molto ampio, senza valutare opportunamente gli sprechi

Negli ultimi anni si è assistito alla diffusione di un sempre maggiore grado di automazione e flessibilità, unito allo sviluppo di sistemi informativi di tipo ERP (Enterprise Resource Planning) dotati di moduli per l'esecuzione della raccolta dati; questi sistemi infatti consentono di integrare tutti i processi di business

rilevanti e le funzioni aziendali, raccogliendo i dati in un sistema centralizzato nonostante questi possano derivare da molteplici parti dell'azienda in questione. A seguito di questo scenario sono diventate concrete le condizioni preliminari necessarie a un'adozione di tecniche e strumenti dedicati alla programmazione operativa, in quanto vi è maggior disponibilità di informazioni aggiornate sullo stato del sistema e capacità di prevederne il comportamento; sono questi infatti gli elementi essenziali per un'adeguata attività di schedulazione.

Tecniche reticolari e diagramma di Gantt

La complessità sempre maggiore dei progetti ha portato negli anni a sviluppare migliori metodi per la pianificazione dei tempi delle attività, i più utilizzati sono i diagrammi di Gantt e le tecniche reticolari. L'utilizzo di questi mezzi permette di individuare dipendenze tra attività, possibili slittamenti dell'attività e la catena di attività critiche del progetto. L'individuazione della critical chain (la catena di elementi critici) è un passaggio fondamentale per una buona pianificazione del progetto, in questa maniera infatti vengono identificate le attività per le quali un ritardo causerebbe il ritardo dell'intero progetto: queste attività devono seguire la schedula stabilita in maniera estremamente rigorosa.

Importante è anche il controllo dei costi del progetto, tramite il metodo Earned Value è possibile stabilire l'andamento dei costi del progetto rispetto alla schedula, individuando la varianza dei costi e delle tempistiche; ciò permette di comprendere se si sta spendendo troppo e se si è in ritardo rispetto ai tempi stabiliti; permette inoltre di effettuare diverse stime sul completamento del progetto per comprendere anticipatamente quale sarà la situazione finale dei costi del progetto in base al tipo di gestione attuale.

Un diagramma di Gantt è uno strumento utile per la pianificazione dei progetti attraverso una panoramica dei compiti programmati; tutte le parti interessate sono a conoscenza dei compiti e delle rispettive scadenze.

Un diagramma di Gantt mostra:

- 1) Le date di inizio e fine di un progetto
- 2) Da quali attività è composto il progetto
- 3) Le attività assegnate a ciascuna persona
- 4) Le date previste per l'inizio e la fine delle attività
- 5) Una stima di quanto tempo durerà ogni attività
- 6) Come le attività si sovrappongono e/o sono collegate tra loro

Solitamente un diagramma di Gantt è costituito dai seguenti elementi:

- 1) *Le date*: Le date di inizio e fine progetto consentono ai responsabili di vedere quando inizierà e terminerà l'intero progetto.
- 2) *Attività*: I progetti consistono in una serie di sotto-attività. Con un diagramma di Gantt è possibile tenere traccia di queste ultime, in modo da evitare ritardi nella schedula ed avere sempre un riferimento temporale
- 3) *Tempistiche previste*: il grafico indica quando ogni attività dovrebbe essere realizzata.
Questo aiuta a garantire che ogni sotto-attività — e di conseguenza l'intero progetto — sia portato a termine nelle tempistiche previste.
- 4) *Dipendenze*: Alcune attività possono essere eseguite in qualsiasi momento, mentre altre devono essere completate prima o dopo l'inizio o la fine di un'altra attività. Un diagramma di Gantt mostra tali dipendenze.
- 5) *Progressi*: Il grafico mostra l'esatto andamento del progetto e fa vedere quali attività sono già state eseguite. Grazie all'indicazione della data, sarà possibile avere una panoramica di quanto manca al completamento di un'attività; questo concede al team manager di avere delle indicazioni sul successo o meno del progetto e sul rispetto o meno delle tempistiche

Il diagramma di Gantt consente di avere numerosi vantaggi: infatti, grazie a una visione d'insieme chiara, i **membri del team possono comprendere meglio le loro prestazioni complessive** e sono in grado di inserire le proprie abitudini di lavoro nella pianificazione del progetto.

I team di lavoro utilizzano diagrammi di Gantt per sostituire le riunioni e fornire aggiornamenti sullo stato di avanzamento del progetto in modo tale da aiutare i membri del gruppo ad avere una chiara **visione d'insieme dei progressi delle attività**; saranno infatti più coscienti delle dipendenze tra i compiti e avranno una **migliore consapevolezza dell'impatto dei ritardi sul progetto**.

Inoltre il diagramma sarà fondamentale per stabilire dei tempi realistici, mostrando la data di inizio e di fine del progetto; questo sarà necessario anche per dotare il sistema di una certa flessibilità: avendo a disposizione una panoramica dei cambiamenti inattesi a livello di attività o di tempistiche, è possibile adattare di conseguenza le attività e le risorse.

Tuttavia è doveroso dire che la compilazione di tale diagramma non risulta sempre semplice, soprattutto quando il progetto è composto da un elevato numero di attività e risorse. Inoltre il diagramma di Gantt è sostanzialmente lineare il che crea non poche difficoltà ove si presenta uno schema di attività in parallelo o dove non è sostanzialmente assente un obiettivo finale ben delineato.

Essendo infine il progetto soggetto a possibili mutamenti, potrebbe rendersi necessario un cambiamento sostanziale del diagramma.

Per ovviare ad alcuni di questi problemi sono stati sviluppati dei software di gestione del progetto.

Le tecniche reticolari nascono nel 1958, il primo ente che le sviluppò fu la NASA con lo scopo di valutare e controllare lo sviluppo della costruzione del missile Polaris. Le tecniche reticolari introducono ulteriori vantaggi fra cui:

- immediata visibilità, permettendo al management di controllare specifici programmi
- possibilità di individuare gli slack time (marginie temporale) tra le varie attività, permettendo di identificare quelle critiche
- rivelano le interdipendenze tra le attività
- identificano il percorso più lungo o i percorsi critici
- forniscono un aiuto nell'analisi del rischio dello scheduling.

Oltre a questi vantaggi sono un efficace metodo di supporto per le decisioni, forniscono un aiuto per l'analisi "what if" e danno la struttura di base per ottenere le informazioni.

Non essendo l'obbiettivo di questa tesi, reputo pertinente elencarne alcune senza addentrarsi troppo nello specifico del loro funzionamento:

- PDM: Precedenze Diagram Method
- ADM (Arrow Diagram Method)
- CPM (Critical Path Method)
- PERT (Program Evaluation and Review Technique)

CAPITOLO 3: POLITICHE DI MANUTENZIONE IN AMBITO INDUSTRIALE

Poco fa abbiamo definito la pianificazione un processo di determinazione e attribuzione delle risorse su un lungo periodo.

Nello svolgimento degli interventi di manutenzione sarà fondamentale quindi individuare e risolvere tempestivamente i problemi di capacità manutentiva, prima che si verifichi un'emergenza o che il carico di lavoro diventi ingestibile e insostenibile.

Pianificazione dei fabbisogni

L'obiettivo è quindi quello di arrivare a far collimare la capacità disponibile con quella richiesta. Quando quest'ultima risulta maggiore di quella disponibile, allora abbiamo due possibili strade:

- ottenere maggiore capacità manutentiva (ricorrendo per esempio a risorse esterne)
- ridurre i fabbisogni e quindi gli interventi

Se la capacità manutentiva necessaria sarà inferiore a quella disponibile la direzione dovrà effettuare una rettifica della pianificazione per far sì che si abbiano risorse sufficienti al sostenimento della manutenzione necessaria.

Spesso nel calcolare la capacità manutentiva richiesta non si tiene conto della effettiva disponibilità di questa capacità (si ipotizza cioè una capacità infinita).

La capacità manutentiva pianificata è dunque quella che ci si aspetta sia disponibile in uno specifico periodo di tempo futuro e in particolare la capacità manutentiva pianificata massima sarà quella corrispondente al più elevato livello di capacità che potrebbe essere ottenuto se fossero considerati tutti gli straordinari, se si aggiungesse un turno o se si cercassero altre risorse per far eseguire tutti gli interventi. Il concetto di capacità massima è però più affine con un ambito produttivo, in cui il massimo è dettato dalle prestazioni degli impianti di produzione.

Piani di manutenzione

Secondo quanto riportato nella normativa UNI 10366, il piano di manutenzione programma nel tempo gli interventi, individua e alloca le risorse necessarie.

Durante la stesura di un piano di manutenzione si deve cercare di conciliare le esigenze con le potenziali capacità dei beni chiamate a soddisfarle cercando sempre di minimizzare il costo globale della manutenzione. La suddetta norma indica alcuni criteri per poter definire e quantificare le risorse necessarie, controllandone i costi.

1) MANODOPERA PER MESTIERE E PROFESSIONALITÀ

La prima classificazione che bisogna necessariamente fare è quella relativa alla distinzione fra gli interventi che possono essere svolti dagli stessi conduttori del bene e quelli che necessitano invece di specifiche competenze. Ogni sistema dovrebbe avere le proprie schede di

manutenzione preventiva, contenenti le attività che devono essere svolte su ogni asset, con riferimento alle caratteristiche di durata dell'intervento, frequenza, professionalità richieste ecc. A partire da tali informazioni è facilmente determinabile, attraverso l'uso di semplici operazioni aritmetiche:

- il totale delle ore-uomo da allocare su un sistema rispetto a un certo orizzonte temporale predefinito (anche suddivise per professionalità o specializzazione)
 - l'elenco delle parti di ricambio e delle attrezzature che dovranno essere impiegate, su un certo orizzonte temporale

2) ATTREZZATURE DI SUPPORTO E DI ISPEZIONE

Con questo termine si indicano tutti gli strumenti necessari ad eseguire un intervento di manutenzione, per il monitoraggio delle condizioni di funzionamento delle macchine e degli impianti, per condurre l'ispezione periodica sul loro stato di conservazione.

È complicato dare linee guida sulla gestione di questi strumenti, però l'analisi del ciclo di lavoro di un intervento manutentivo può fornire indicazioni utili relativamente all'attrezzatura di supporto e di ispezione necessaria

Giustificazione degli interventi di manutenzione da pianificare

Abbiamo già detto quanto l'economicità di un piano di manutenzione sia importante; di conseguenza è necessario che tutti gli interventi prestabiliti nel piano siano effettivamente necessari e impostanti correttamente; tanto più gli interventi risulteranno efficaci ed efficienti in termini di risorse coinvolte, tanto più risulterà efficace ed efficiente anche il piano manutentivo risultante.

La giustificazione oggettiva degli interventi deriva da una dimostrazione della loro effettiva necessità; la definizione delle esigenze di pianificazione deve provenire da una conoscenza, fino al dettaglio necessario, di alcuni indicatori fra cui per esempio questi che riportiamo:

- età degli asset
- tasso di guasto
- MTFB
- MTTR
- andamento degli indici di performance degli asset

- valore dell'immobilizzo tecnico
- costo manutenzione correttiva
- costo manutenzione preventiva
- costo totale di manutenzione/valore immobilizzo tecnico
- tasso di utilizzo dell'asset

La manifestazione di un'esigenza è intuibile anche dall'analisi di un andamento temporale di un fenomeno. Per poter dimensionare un'esigenza si potrà considerare per esempio un livello di dettaglio corrispondente a quello cui sono riferiti gli interventi manutentivi (che non risulta essere sempre omogeneo).

Gli elementi sopra riportati ci permettono di individuare gli elementi critici del sistema, ai quali saranno associati interventi manutentivi di vari tipi e costi (dalla pulizia/lubrificazione fino alla sostituzione).

Possiamo quindi fare riferimento al seguente percorso logico:

1. *Selezione degli oggetti critici*: confronto fra il valore puntuale di un parametro dell'oggetto (o famiglia di oggetti) con il valore medio di riferimento. Gli oggetti che presentano uno o più valori dei parametri peggiori del valore medio di riferimento potranno essere considerati potenzialmente critici
2. *Espressione delle soluzioni alternative*: per ciascuno degli oggetti critici si potrà effettuare una valutazione costi-benefici di possibili alternative di intervento (modifica sui tempi di manutenzione o sostituzione)
3. *Selezione dell'alternativa migliore e stima dei benefici in termini di incremento delle prestazioni in termini di affidabilità e di economicità*: per determinare la migliore alternativa si potrà fare uso del metodo del VAN.

Il budget di manutenzione

Lo strumento necessario a quantificare le previsioni di spesa e il controllo di tutte le variabili che determinano il risultato operativo di un'attività aziendale è senza dubbio il bilancio di previsione (budget).

Le finalità di budget sono quelle di fare previsioni di spesa per l'esercizio e di definire un sistema per controllare i risultati in corso di esercizio.

L'elaborazione del budget avviene tenendo conto del piano dei conti (con i costi relativi alle varie voci di spesa) e dei documenti per la raccolta delle informazioni (UNI 10366).

Gestire le risorse implica saperle impiegare in modo razionale, tenendo presente la necessità di sviluppare un miglioramento continuo per massimizzare il loro rendimento. Nella maggior parte dei casi lo strumento necessario a prevedere la

gestione delle risorse e a valutarne le caratteristiche è proprio il budget di manutenzione, il quale costituisce solo una parte del budget aziendale. Dunque proprio dal budget di manutenzione si partirà ad impostare il problema della gestione delle risorse umane. Una corretta definizione del budget rappresenta la quantificazione economica delle esigenze espresse dal piano (anche se deve comunque sia essere prevista un'eventuale correzione in esercizio).

Secondo la normativa prima citata, la creazione di un budget avviene in due fasi distinte:

FASE 1: FASE TECNICA

Essa richiede l'esame di tutti gli aspetti tecnici che derivano dai livelli di produttività previsti dai programmi per ogni impianto e necessità della soluzione di eventuali conflitti tra la disponibilità necessaria e quella realmente ottenibile tenendo sempre conto delle criticità dei vari componenti (facendo riferimento a basi storico-statistiche)

FASE 2: FASE ECONOMICA

Essa prevede di eseguire una valorizzazione economica delle scelte operate. Questa valorizzazione deve tenere conto dei fattori inflattivi dei costi unitari correnti, delle variazioni organizzative e in generale dei fattori economici che possono influenzare i costi.

Pianificazione e project management

Ricordo che la pianificazione è un processo dinamico presente all'interno dell'azienda, e ne costituisce un elemento essenziale, esteso a tutto il suo ciclo di vita.

Lo sviluppo della pianificazione può avvenire adottando una logica di project management evolutivo, nel quale cioè le modalità di gestione di progetti caratterizzati da una data di inizio e una di fine sono estese a tutta la vita del sistema aziendale e non limitate a una sua fase; la pianificazione può quindi essere vista come un grande progetto, al quale saranno associati determinati ruoli, figure definite e particolari metodi. Nel caso della pianificazione di interventi onerosi si andrà ad effettuare una pianificazione temporale, cioè sarà definita una data di inizio e di fine intervento nel calendario.

Ogni progetto avrà poi una propria struttura di dettaglio (work breakdown structure – WBS).

In questo senso è dunque possibile affermare che il processo di pianificazione deve impiegare anche le tecniche e gli strumenti che sono propri del project management.. Ogni progetto sarà dunque caratterizzato come illustrato già precedentemente da:

1. Una data di inizio e una di termine dei lavori
2. Una pianificazione e una schedulazione di dettaglio
3. Una quantificazione del budget necessario
4. Alcuni stati di avanzamento
5. Un sistema di controllo dei costi rispetto al budget prestabilito.

Il project management di un grande intervento manutentivo richiede quindi che siano rispettati certi criteri di organizzazione per essere efficace; deve cioè presentare buone procedure per la pianificazione, lo scheduling, la stima, la preventivazione, l'autorizzazione dei lavori, il monitoraggio, il rendiconto e la valutazione del progetto e delle singole attività che lo costituiscono.

La pianificazione degli approvvigionamenti di materiali tecnici

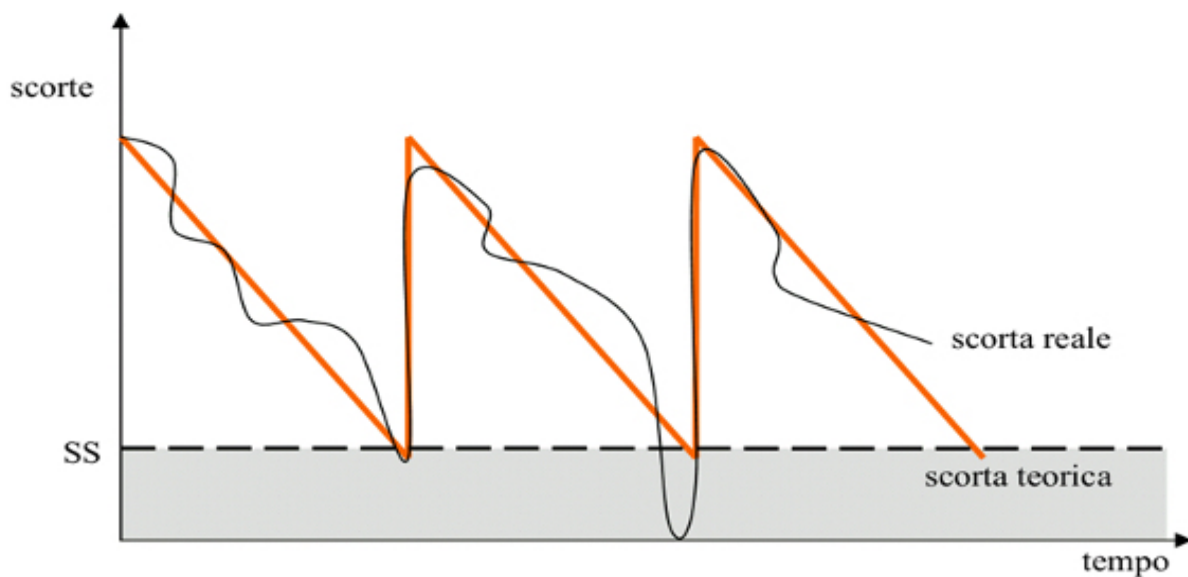
Aspetto essenziale nell'ambito della pianificazione degli interventi di manutenzione, sul lungo periodo, è quello dell'approvvigionamento dei materiali che saranno utilizzati e che possono essere classificati in:

- parti di ricambio
- materiali di consumo

La gestione delle parti di ricambio dovrà essere attentamente valutata in funzione di molteplici parametri (es. costi di immobilizzo, tempi di consegna, ecc.)

La gestione di materiali ha un'importanza ancora più rilevante laddove si può presentare la necessità di effettuare una manutenzione straordinaria, in quanto non tutti i materiali di cui si potrebbe aver bisogno sono necessariamente facilmente reperibili. Diventa quindi fondamentale trovare la soluzione gestionale che permette di avere tali materiali dove sono necessari, quando sono necessari e nelle giuste quantità.

Un'ultima considerazione necessaria a comprendere questa tematica riguarda la possibilità di integrazione fra politiche di manutenzione con quelle di approvvigionamento: tanto maggiore infatti sarà l'adozione di politiche preventive, tanto più risultare facile orientarsi verso politiche di gestione a fabbisogno dei materiali, anche arrivando al caso ottimale, cioè quello del "just in time manutentivo".



Politiche di sostituzione degli asset

Nella pianificazione degli interventi un altro elemento di grande rilevanza è sicuramente quello della sostituzione degli asset, trattandosi comunque di interventi importanti dal punto di vista del costo, in termini economici e di risorse coinvolte.

La pianificazione di tali interventi si basa sulla pianificazione del ciclo di vita del progetto, in quanto la sua durata può essere valutata sotto tre punti di vista differenti tra loro ma egualmente determinanti:

- *Durata fisica*: valutata sulla capacità dell'asset di mantenere uno standard di prestazioni; difatti essendo i componenti soggetti a degrado fisico è possibile che essi non siano più sufficientemente performanti.
- *Durata funzionale*: valutata in parte in funzione della durata fisica ed in parte sull'eventuale obsolescenza dell'asset (potrebbero entrare infatti nel mercato tecnologie che consentono prestazioni nettamente superiori e questo potrebbe rendere necessario un cambiamento nella struttura organizzativa del sistema)
- *Durata economica*: valutata sulla capacità dell'item di garantire un reddito e/o di possedere un valore economico

Riassumendo sono quindi due le ragioni che potrebbero rendere necessario (o per lo meno conveniente) la sostituzione di un oggetto:

- *ragioni tecniche*: degrado fisico e obsolescenza
- *ragioni economiche*: costi del ciclo di vita troppo elevati (considerando anche il livello di prestazione)

Nel corso degli anni sono stati sviluppati dei modelli che potessero consentire di sostituire gli asset nelle metodologie e nei tempi pressoché ottimali a livello di convenienza economica e tecnica. Precedentemente abbiamo detto che nella manutenzione sta diventando sempre più importante cercare di convertire la manutenzione correttiva in manutenzione preventiva; gli esperti, infatti, sono concordi che se vengono verificate alcune particolari circostanze, sostituire un asse prima che questo sia guasto è conveniente rispetto a sostituirlo a fine vita.

Per determinare qual è l'istante ottimale per la sostituzione esistono due requisiti fondamentali. Una manutenzione preventiva ha senso prima di tutto quando l'asset si deteriora sia in termini di stato che di prestazioni che può fornire, e quindi presenta un tasso di guasto sempre più elevato nel tempo.

Inoltre il secondo requisito è che il costo della manutenzione preventiva sia inferiore a quello della manutenzione correttiva.

In tal caso è possibile calcolare l'istante ottimale di sostituzione dell'asset come l'istante corrispondente al costo minimo.

Descriviamo da un punto di vista analitico: si consideri una modellizzazione del tasso di guasto secondo il modello di Weibull; associamo quindi i valori B (che in questo caso dovrà essere maggiore di 1) e il fattore di scala N.

Ora verifichiamo che il costo C(P), cioè il costo della sostituzione preventiva, sia effettivamente inferiore al costo di C(U), cioè il costo della sostituzione dopo il guasto.

Ora dobbiamo rappresentare il costo per unità di tempo operativo rispetto al tempo operativo. Vedremo in questo modo una funzione crescente nel tempo rappresentata dal costo della sostituzione correttiva in quanto col passare del tempo gli interventi diventano sempre più probabili, mentre viceversa il costo della sostituzione preventiva diminuisce al crescere del tempo in quanto l'intervallo di tempo compreso fra due sostituzioni diventa sempre maggiore.

Si potrà definire quindi il costo unitario totale come la somma delle 2 funzioni dei costi delle sostituzioni preventiva e correttiva; tale funzione presenterà un minimo che corrisponde all'istante ottimale per la sostituzione. Questo può essere chiarito con pochi passaggi matematici:

$$C_{PUT}(t) = \frac{\text{Total Expected Replacement Cost per Cycle}}{\text{Expected Cycle Length}} = \frac{C(P) \times R(t) + C(U) \times [1 - R(t)]}{\int R(s) ds}$$

Dove $R(t)$ è la funzione dell'affidabilità dell'asset e $CPUT(t)$ il costo unitario totale variabile nel tempo. Abbiamo però detto che il minimo rappresenta la situazione ottimale cioè la soluzione sarà:

$$\frac{\partial[CPUT(t)]}{\partial t} = 0$$

Principi pratici di schedulazione della manutenzione

Avendo già dato una descrizione sufficiente dello scheduling, ci limitiamo ora a spiegare come questo processo viene applicato nel campo della manutenzione.

Il presupposto di base della schedulazione si fonda sul consegnare “abbastanza” carico di lavoro a chi lo deve svolgere, in modo che sia possibile effettuare una previsione delle ore di manodopera disponibile in un determinato lasso di tempo.

Per poter effettuare un processo di scheduling corretto quindi possiamo affidarci ai seguenti principi:

1. *Schedulare basandosi sul più basso livello di competenze richiesto*: cioè schedulare partendo dall'identificazione delle competenze, e successivamente si determina il numero di persone richieste, delle ore di lavoro e della durata dei lavori. Particolare attenzione va dedicata ad un fattore difficilmente standardizzabile, cioè il team-building: team uguali sulla carta non lo sono necessariamente nella realtà.
2. *Considerare le priorità associabili alle singole attività*: nel caso si presenti la necessità di schedulare due attività contemporaneamente dovrà essere stabilita un livello di priorità. È importante ricordarsi in tale valutazione anche degli ordini di lavoro arretrati e che dovranno essere completati. La classificazione delle priorità dovrebbe essere eseguita in maniera normalizzata, più oggettiva possibile e in grado di fornire una giustificazione adeguata per l'esecuzione.
3. *Schedulare a partire da una previsione delle più alte competenze disponibili*: prendiamo come riferimento temporale quello settimanale. Si vanno quindi a definire le attività che possono essere svolte contemporaneamente sul sistema, prevedendo anche lavori di tipo

proattivo, cioè quei lavori che devono essere eseguiti per evitare guasti e blocchi indesiderati.

4. *Schedulare per ogni ora lavorativa disponibile*: nella schedulazione settimanale viene effettuata un'assegnazione dei lavori per ogni settimana lavorativa disponibile. Nel caso si scheduli infatti lavori per un numero di ore superiore a quello disponibile, probabilmente si avranno probabilmente degli arretrati o esecuzioni qualitativamente scadenti di tali lavori. Nel caso contrario invece, si avrà comunque un possibile guasto o possibili interruzioni dei lavori dovuti alla mancata saturazione del sistema. Bisogna quindi dedicare particolare attenzione a questo fattore, in quanto ogni scorrimento in eccesso o in difetto potrebbe portare ad effetti indesiderati.
5. *Il capo squadra deve gestire il lavoro giornaliero*: egli ha quindi il compito di coordinare e supervisionare i lavori che sono in corso di esecuzione, e differentemente dallo schedulatore assegna i lavori con un giorno di anticipo, sempre tenendo a mente il livello di avanzamento dei lavori e ,dove necessario, potendo eseguire una rischedulazione causata da eventi inattesi.
6. *Misurare le prestazioni della schedulazione*: il tempo inutilizzato è una prima misura dell'efficienza della manodopera, dell'efficacia della pianificazione e dello scheduling.
Il campionamento dei lavori, insieme ad una stima del loro completamento, costituisce il modo migliore per valutare quest'efficienza o per individuare mancanze di skill da parte delle risorse assegnate ai lavori.

Dunque la schedulazione è un processo operativo a contatto e costantemente in evoluzione con l'esecuzione dei lavori, che necessiterà sempre quindi di una "messa a punto".

Vi è la possibilità di effettuare una schedulazione personalizzata per ogni risorsa umana coinvolta (quindi comprensiva di nome, cognome e competenze) superando quindi la schedulazione generica del team; il ruolo dello schedulatore rimarrebbe comunque essenziale in quanto detiene il compito di verificare eventuali "dimenticanze".

Possiamo fare un elenco di alcuni dei vari compiti che uno schedulatore deve svolgere:

- assegnare dei codici agli ordini di lavoro
- verificare le priorità associate ai lavori
- verificare la coerenza fra la indicazione della programmazione operativa e i piani di più lungo periodo
- eseguire ispezioni sul campo
- eseguire gli acquisti necessari

- verificare la presenza di attrezzature e materiali (controllo scorte)
- valutare i feedback dei lavori eseguiti per favorire eventuali miglioramenti futuri
- stabilire regole di sicurezza
- utilizzare sistemi informativi dedicati alla manutenzione (CMMS) e applicativi per supportare la funzione manutentiva
- fornire assistenza tecnica al personale di manutenzione
- preparare i report di esecuzione

Software in commercio

Abbiamo già detto che molte delle volte la soluzione ottimale è molto difficile da trovare (se non impossibile) con metodi grafici/matematici; quando il problema diventa troppo complicato a software per la schedulazione, il cui compito è di fornire con opportuno anticipo varie informazioni fra cui ad esempio i livelli di saturazione delle risorse, individuare i picchi di produzione o di servizi, evidenziare situazioni di contemporaneità associati allo svolgimento delle attività consentire, ove necessario, anche l'uso di risorse alternative o risorse esterne.

I metodi euristici più diffusi attualmente nel mercato sono:

- *first come – first served* (primo arrivato primo servito)
- *Shortest processing time* (minimo tempo di lavorazione)
- *Weighted shortest processing time* (minimo tempo di lavorazione pesato)
- *Longest processing time* (massimo tempo di lavorazione)
- *Weighted longest processing time* (massimo tempo di lavorazione pesato)
- *Earliest due date* (data di consegna più vicina)

Riassumendo...

Gli elementi principali che caratterizzano uno schedulatore della manutenzione sono:

- *Attività da svolgere*: sono i task da eseguire su vari macchine/impianti ai quali sono associate determinate caratteristiche in termini di unità temporali-uomo necessarie e unità temporali macchina/impianto in stato di inattività

- *Calendario disponibilità macchine/impianti*: per ogni giorno dell'anno e per ogni macchina/impianto devono essere riportate le unità di tempo in cui la macchina potrà essere sottoposta a manutenzione.
- *Calendario disponibilità manodopera*: nel caso di schedulazione a capacità finita dovrà essere impostato il monte complessivo unità temporali-uomo, che dovrà essere distribuito sulle varie attività da svolgere.
- *Picchi di carico consentiti*: vengono riportate le caratteristiche associabili alle grandi fermate.

La schedulazione avrà due tipologie di report:

- Dettaglio allocazione risorse umane
- Dettaglio allocazione risorse materiali

Un'importante indicazione associabile all'uso di strumenti come questo è proprio quello di dimensionare il personale operativo, evidenziando la necessità di ricorrere a risorse esterne ove necessario.

CAPITOLO 4: ESEMPI APPLICATIVI DEL PROJECT MANAGEMENT NEL CAMPO DELLA MANUTENZIONE

Quello che sarà presentato in questo capitolo sarà un breve sunto di alcuni articoli di ricerca scientifica nell'ambito del project management e della sua applicazione nel campo della manutenzione; si parlerà nello specifico sia degli studi "teorici", con i relativi aspetti positivi e negativi, e di come questi sono stati applicati in alcuni sistemi, discutendone i risultati.

Preventive maintenance decisions through
maintenance optimization models: a case study

Sandrina Vilarinho^a, Isabel Lopes^{a*}, José A.
Oliveira^a

*^aALGORITMI Reasearch Centre, Department of
Production and Systems, University of Minho,
Guimarães, Portugal*

Technology has always been a key driver of change in industry, leading enterprises to adopt methods to improve maintenance decisions and striving for maintenance excellence. Here is reported a procedure to support the planning of preventive interventions to be integrated in a computerized maintenance management (CMMS) that is discussed considering the difficulties in its implementation. A basis to get a new CMMS function that allows obtaining the optimal periodicity of preventive interventions is provided. To this end, failure records based on equipment's FMEA and reliability study are highlighted to provide more robust inputs to maintenance models and consequently accurate solutions.

To achieve excellence in maintenance the balance of maintenance performance, risks, and costs must be taken into account in order to achieve good quality solutions. This includes developing tactics that maximize the benefits of maintenance strategies, which are usually classified in two major categories, corrective maintenance (CM) and preventive maintenance (PM). CM can originate high costs which also include loss of production incurred

due to equipment downtime and, therefore, PM should be performed to reduce these costs whenever it reduces the likelihood of the failure occurrence.

For the component under study, the age replacement model to obtain an optimal preventive replacement age was considered. It is important to note that preventive replacement actions require two necessary conditions. First, the cost of the corrective replacement must be greater than the preventive replacement cost. Secondly, the component hazard rate must be increasing [13]. The minimization of the total cost per unit time, $C(t_p)$, allows obtaining the optimal replacement interval.

Tutto questo l'avevamo visto precedentemente, ma ora è interessante approfondire un po' meglio i passaggi svolti durante la pianificazione da questa azienda presa in esempio nell'articolo.

Case Study: Implementation process of a maintenance optimization model

Currently, in the automotive company to which the case study refers, the periodicity of preventive maintenance interventions is defined based on information from equipment suppliers and in the experience acquired by the maintenance staff. However, these techniques present some fragilities and it is intended that the periodicity of the interventions be determined more objectively, i.e., using a scientific approach. The main objective is to identify the optimal balance between preventive and corrective interventions, identifying the optimal preventive interventions periodicity, considering a given criterion (costs). The procedure proposed to this end considers two crucial processes: reliability study and application of an optimization method based on a maintenance model. Fig. 1 shows a conceptual diagram of the proposed procedure.

There is an initial concern to ensure that complete and properly organized failure records and maintenance costs are maintained, so that it is possible to obtain reliable information to use in both processes. Concerning the reliability study, the basic purpose is to statistically investigate possible trends in the occurrence of failures and to obtain the item reliability function,

based on the set of collected failure time data. Reliability analysis is generally performed in five steps presented by Barabadi: collecting data, preliminary analysis of data, model selection, parameter estimation and model validation. The next process consists on the application of maintenance optimization models. The maintenance optimization model considered in the procedure is based on age replacement policy. The model will allow defining the optimal periodicity of the preventive replacement, considering costs as criterion. All necessary assumptions should be verified before proceeding with the application of maintenance optimization models.

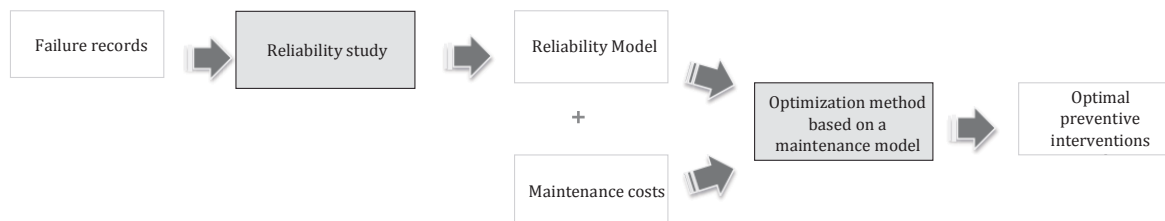


Fig. 1. Processes sequence for the procedure.

The application of the proposed procedure, reported in the following subsections, includes a comprehensive analysis of the data problems when applying optimization models in order to identify gaps and reflect about solutions to face them. A rigorous assessment of possible barriers for each process in industrial context and the identification of methods to exceed them, is crucial for future development of the supporting computer application. This study also aims to minimize the gap between academic research and practice, once it analyzes data problems in a more detailed way than most studies about maintenance models available in literature.

1.1. Data record and reliability study

To analyze the applicability of the procedure and identify the needed changes in the company for its application, a study that considers the replacement of a single-component of a given production equipment was performed. The selected equipment was a milling machine, and the component name is Index Pin.

This subsection presents and discusses firstly the failure records organization and treatment on the company, highlighting its fragilities and respective proposed improvements. Next, the reliability analysis is exemplified for the component. From the results obtained, a maintenance model is applied in order to define its optimum period of preventive replacement.

1.1.1. Failure Records

The company's CMMS records data related to failure events, however these data are not properly standardized, complete and organized. This hinders failures analysis and reliability study. One of the fragilities identified is that in CMMS there is a predefined and very generic list of failure modes. Thus, when the technician fills its report in the system, he can select one of the failure modes in the predefined list or generate a new one. This practice leads to the existence of an extensive and redundant failure mode list, allowing the existence of several expressions for the same failure mode. The non-existence of a complete and organized list of failure modes for each equipment precludes a properly association between items failure events and its failure modes. Therefore, the identification of the times to failure associated with a given component type that is inserted in a given machine is just possible through a roughly form, analyzing information recorded by the technicians in maintenance intervention reports. In order to ensure that failure records are properly treated and organized, it was decided to adopt a tree structure in the CMMS for failures record, based on standardized information of respective equipment's FMEA (Fig. 2). This provides a structured representation of all the relevant information, in particular, failure modes associated to respective equipment's items. The tree structure will include tree levels: group level, subsystem level and component level. For each level the failure modes will be predetermined and the failure modes of the component level will be connected to the failure modes of the group level. The record of failure events and preventive maintenance interventions will be made on this predetermined structure. Therefore, failures modes will be standardized avoiding the record of the same type of failure event with different designations such as it is done currently.

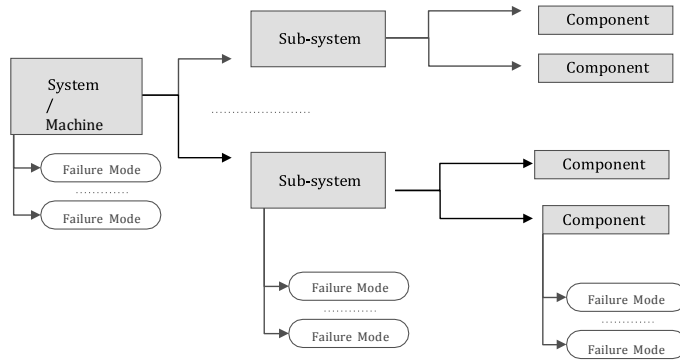


Fig. 2. Failure tree structure to machines.

The information system should record essential information for the system, subsystem and component. The causes of the failure at the system level are the failure modes of the subsystem, which in turn their own causes are the failure modes in the component level. The connection between failure modes of the various levels (system, subsystem, component) can be done through numeration. At the system level we can have a one-digit numbering (for example:1; 2), at the subsystem level we can have a two-digit numbering (for example:1.1; 2.1) and at the component level three-digit (for example:1.1.1; 2.1.1). As result, it is possible to visualize the connection between levels, automatically.

Equipment's FMEA was started to be performed in the company for few equipment with the aim of equipment improvement, in a software with no connection with current CMMS. So, this information can be used to define the failure tree structure to this equipment. A partial tree structure for failures record, based on standardized information of respective milling machine's FMEA is depicted in Fig. 3. The component index pin is localized in the subsystem designed by module 22.

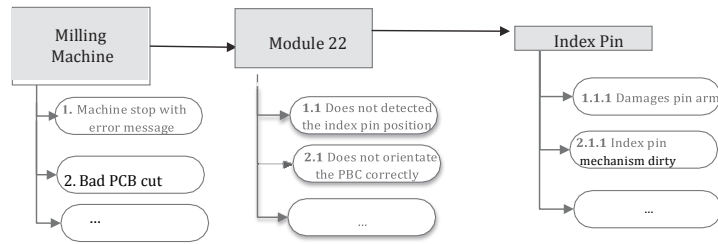


Fig. 3. Part of failure tree structure of the milling machine with emphasis on the component Index Pin.

Each failure event will be recorded associated with a failure mode of a component of the system. Furthermore, this tree structure will allow the compilation in the CMMS of other relevant failure information to support for instance a diagnosis support system. To allow the reliability study of a component, the times to failure of a given a socket, i.e., an equipment position which at any given time holds a component of a given type should be collected. Currently in the company, it is just possible to identify times to failure associated with a given component type that is inserted in a given machine. It is not possible to identify times to failure values associated with a given socket. Therefore, whenever a machine has more than a component of the same type installed, the database should distinguish both components. To face this issue, a codification for sockets was proposes. This codification includes the component type code, the milling machine code and the code defined for the socket, i.e., the component position in the milling machine. For instance, index pin “8600.860.134–F20–1”, where “8600.860.134”, corresponds to the component type code, “F20” corresponds to the milling machine code and “1” corresponds to the code of index pin position in “F20”. The dates of start and end of operation of a given component in a given position must be recorded. To avoid too many records and interactions with

the information system, the start date of operation of a component can be considered the end date of the previous one. These records will allow creating a history of times to failure for each socket. As result, item reliability studies will be more reliable. Once there are several milling machines in the company, this codification will allow taking advantage of a large number of records of times to failure for different sockets to statistical studies. This proposed change will not be implemented at once, since equipment's FMEAs are available only for a few percentage of companies' equipment. The change will be made progressively, starting with the most critical equipment in the company. This new records structure will bring several advantages to the company. The information will be compiled into the CMMS rather than distributed across different information systems. This, in turn, will allow a more adequate analysis and treatment of information and facilitate the organization and management of maintenance activities. Thus, this approach intends to allow setting a complete and organized knowledge base, which will lead to improve maintenance planning, including the optimization process of preventive maintenance.

1.1.2. Reliability study

Concerning to data collection, as already mentioned, the failure database is not yet organized, to obtain a reliable set of values of the times to failure of the selected component in a given position of a given milling machine. So, to exemplify the proposed procedure, a set of values of the times to failure was collected based on information recorded by the technicians in maintenance intervention reports. In this example, all data corresponds to failures events. In future, suspended data, including preventive maintenance interventions data, will be considered and the respective procedure to treat them will be applied. It also must be referred that the records were related to all failure

modes of the considered component. The set of values of the times to failure to exemplify the proposed procedure corresponds to the most recent five values of failure times data, in days of operation. The successive values of the times to failure are: 228; 500; 175; 275 and 380. It should be highlighted that, in the presented numerical example, the set of failure times is smaller than an ideal situation. A larger number of events will be convenient to avoid compromising the results of the statistical studies.

The preliminary analysis of component failure data consisted on trend analysis of failure data. Trend analysis is used to test whether the failure process has a trend: decreasing, growing or no trend [13]. A plot of the cumulative number of failures in function of cumulative operating time (in the socket) was performed and through its analysis, it is verified that there is no evidence of trend in failures occurrence. To complement this analysis, a trend test, i.e. the Laplace test, was realized. Specifying a significance level of 5%, on the standard Normal tables, the boundaries of the critical region are at -1.96 and 1.96. The calculated statistic test is -0.088, which is between -1.96 and 1.96. As result, the null hypothesis is not rejected meaning that there is no significant trend and failure events are IID (Independently and Identically Distributed) at 5 % significance level. Therefore, it is appropriate to perform a Weibull analysis on the data set for the purpose of modeling the failure time distribution.

The selected distribution was the two-parameter Weibull distribution which fits a large number of failure characteristics of items. To estimate the parameters of the Weibull distribution (h is the scale parameter and β is the shape parameter), the approach of median rank regression analysis was used. A Weibull probability plot was obtained and the results of the parameters estimation are $\eta=355.19$ and $\beta=2.46$. The calculation of the coefficient of determination yields in $R^2 =0.9643$, and

considering that this is an acceptable value, it can be inferred that the two-parameter Weibull distribution may fit properly the data. The Kolmogorov-Smirnov test was applied in order to evaluate the goodness fit of two-parameter Weibull distribution. From the Kolmogorov-Smirnov statistic tables, for a significance level of 5%, the critical value is equal to 0.52. The calculated statistic test is 0.22, which is less than 0.52. As result, the null hypothesis that the two-parameter Weibull distribution fits the data set is not rejected at 5% significance level. It must be highlighted that, the set of failure times is smaller than an ideal situation and a larger set of values will allow a best estimates of the Weibull parameters.

3.2. Maintenance optimization model application

For the component under study, the age replacement model to obtain an optimal preventive replacement age was considered. It is important to note that preventive replacement actions require two necessary conditions. First, the cost of the corrective replacement must be greater than the preventive replacement cost. Secondly, the component hazard rate must be increasing. The minimization of the total cost per unit time, $C(t_p)$, allows obtaining the optimal replacement interval.

To determine the optimal preventive replacement age, the cost of a preventive replacement and cost of a failure replacement of the item have to be considered. From an economic perspective, maintenance operations include both direct (such for instance, manpower costs, spare-parts costs) and indirect costs (such for instance, non-production costs, idle operator costs, quality costs) which are more difficult to evaluate. In practice, the cost of a preventive intervention will be obtained as result of adding costs of: component cost and manpower cost. For the component cost, the average cost value resulting from several purchases will be considered. Manpower cost in preventive interventions will be obtained multiplying preventive intervention average duration (in hours) by hourly manpower cost (in euros per hour). The

preventive intervention duration is recorded in work instructions. On the other hand, the cost of a corrective intervention will be obtained from adding costs of component, manpower cost and non- production costs. Manpower cost in corrective interventions will result from multiplying average duration of corrective intervention (in hours) by hourly manpower cost (in euros per hour). The corrective intervention duration is defined considering the corrective interventions historical, obtaining a mean time to replace the component due to failure. Non-production costs represent the costs of products that could and have not been produced during equipment downtime. Then, the estimation of non-production costs will be made multiplying the costs per product not produced (expressed in euros/product) by the number of products that could and have not been produced (during equipment downtime). In the company there is not a systematic and complete quantification of maintenance interventions costs so, it was necessary to infer these values. The maintenance interventions costs above mentioned are currently being gathered however they are not yet available. Thus, inferred values were assumed in this example.

Using the age replacement model it was obtained a graph of the total cost as a function of different replacement ages (Fig. 4). Through the analysis of the graphic, it is verified that the minimum cost is approximately between 160 and 190 days, where the total replacement cost per unit age (days) is €0.90. This is the optimal age of component, i.e., the component should be replaced when it reached the age between 160 and 190 days if it did not fail before. Note that if the value is significantly distant from the real values, the defined periodicity may not be the optimal. Thus, in this example, it was assumed that the cost of preventive replacement is €100 and the cost of failure replacement is €500. It also must be noted that, once the estimated shape parameter exceeds 1, i.e., $\beta = 2.46$, the component hazard rate function is an increasing function. This is in accordance with one of the aforementioned necessary conditions to apply a component replacement model. Therefore, all necessary

assumptions are verified to proceed with the application of the maintenance optimization model.

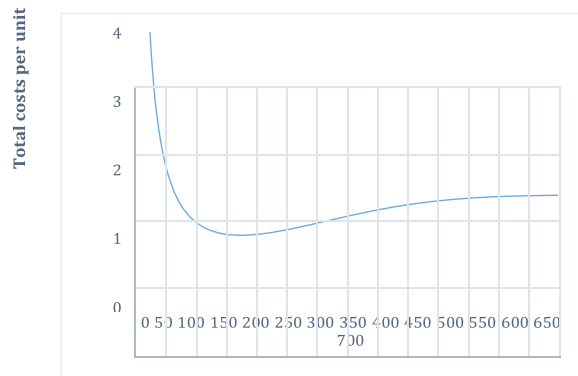


Fig. 4. Total maintenance cost vs. preventive replacement age.

The function can also be analyzed in order to determine an optimum operating range around the optimal time that does not significantly affect total costs. This will be a relevant contribution to maintenance scheduling since it allows to assign priority to maintenance actions based on the range. In the presented example, it is clear that a very acceptable solution is to plan to replace the index pin somewhere between 160 and 190 days. Preventive replacement age past 240 days is seen to quickly drive up the cost function and, conversely, preventively replacing earlier than 120 days is seen as over maintenance and increases costs. This presented numerical example allowed identifying the difficulties in failure analysis and reinforce the idea that data without quality can compromise statistical studies. It is critical to know the failure modes underlying an item, as well as to have their fault time recorded properly treated and organized. Otherwise, very poor and insignificant results can be obtained. CMMSs should be considered not only for storing data but mainly for supporting the processing and analysis of all data. This certainly will increase the advantages in making decisions based on data and on appropriate models.

In conclusione l'articolo ci spiega come questa funzione possa essere studiata attraverso un sistema informatico CCMS, per comprendere quale sia la configurazione ottimale.

Di questa però dovranno essere analizzate e valutate le difficoltà di realizzazione e di utilizzo.

Simulation-based optimisation for stochastic maintenance routing in an offshore wind farm

Scheduling maintenance routing for an offshore wind farm is a challenging and complex task. The problem is to find the best routes for the Crew Transfer Vessels to maintain the turbines in order to minimise the total cost. This paper primarily proposes an efficient solution method to solve the deterministic maintenance routing problem in an offshore wind farm. The proposed solution method is based on the Large Neighbourhood Search metaheuristic. The efficiency of the proposed metaheuristic is validated against state of the art algorithms. The results obtained from the computational experiments validate the effectiveness of the proposed method. In addition, as the maintenance activities are affected by uncertain conditions, a simulation based optimisation algorithm is developed to tackle these uncertainties. This algorithm benefits from the fast computational time and solution quality of the proposed metaheuristic, combined with Monte Carlo simulation. The uncertain factors considered include the travel time for a vessel to visit turbines, the required time to maintain a turbine, and the transfer time for technicians and equipment to a turbine. Moreover, the proposed simulation-based optimisation algorithm is devised to tackle unpredictable broken-down turbines. The performance of this algorithm is evaluated using a case study based on a reference wind farm scenario developed in the EU FP7 LEANWIND project.

This article presents the optimisation model for the deterministic maintenance routing problem (MRP) for an offshore windfarm. It is followed by the proposed metaheuristic method for solving the MRP to determine the best route of each vessel.

The optimisation model for the deterministic Maintenance Routing Problem (MRP) for an offshore windfarm is developed based on the model proposed by Stålhane et al. (2015) . The model requires information regarding the turbines

that need to be maintained and the resources (e.g. vessels, spare parts and technicians) to do so. The information required from the turbines includes: the type of maintenance task (PM/CM), the maintenance/repair time, the number of technicians required, the weight of spare parts needed, downtime cost and turbine penalty cost. The downtime cost is incurred due to maintenance activities as the turbine stops operating. In other words, a revenue loss occurs. The turbine penalty cost exists when the turbine cannot be visited/maintained on a given day due to various factors/constraints including limited resources (e.g. vessels, parts and technicians) and bad weather conditions. For a turbine that needs a preventive maintenance task, the turbine penalty cost occurs when the turbine has to operate at a reduced performance (derated). For a turbine that requires a corrective maintenance task, the turbine penalty cost could be calculated based on the revenue lost for one day as the turbine is not operating (broken-down). This cost is also determined based on the electricity price on that day. The required information on vessels includes the travel cost/time for each vessel, the transfer time for technicians and equipment from a vessel to the turbine, the vessel capacity (number of technicians on board and total weight of spare parts/equipment) and the information whether a vessel needs to be present during the maintenance operation on a turbine. The information on the weather window for each vessel includes the earliest time for a vessel to leave from and return to the O&M base. In other words, a vessel is not allowed to stay overnight at sea. In addition, the availability of technicians in the O&M base is also considered. The aim of the models is to minimise the total cost including travel, downtime (PM and CM) and turbine penalty costs. Here, the technician cost is not considered as this cost is relatively small compared to the other costs. The following notations are used to describe the sets and parameters of the deterministic maintenance routing model (MRP).

In this paper, we first propose an efficient metaheuristic based on large neighborhood search to solve the deterministic maintenance routing problem in an offshore wind farm. Compared to other methods available in the literature, the proposed metaheuristic performs very well as it runs fast while producing good solutions. To deal with uncertain conditions, we propose a simulation-based optimisation algorithm for solving the stochastic problem where Monte Carlo simulation and the proposed metaheuristic are combined. The uncertain parameters considered in this study include the travel time of each vessel, the required time to maintain a turbine and the transfer time for technicians and equipment to a turbine. The total costs produced by the simulation-based optimisation algorithm are slightly higher than those produced by the deterministic MRP model.

Ora quello che voglio presentare è invece un breve riassunto di un articolo che spiega come le ultime tecnologie stiamo provando ad implementare l'utilizzo dell'intelligenza artificiale nel campo manutentivo.

Application of Artificial Intelligence in Maintenance Modelling and Management

Khairy A H Kobbacy

School of Built Environment, University Of Salford, Salford, England UK
M54WT

Abstract: Over the past 3 decades many attempts have been made to apply Artificial Intelligence (AI) techniques in maintenance modeling and management. Essentially the use of AI is an attempt to replace human intelligence with machine intelligence. The ultimate objective is to achieve more effective maintenance management and in some cases to make achieving this goal a viable option. The AI techniques used are numerous ranging from the classic expert systems that utilizes rule based reasoning to the more cumbersome optimization techniques used in Genetic Algorithms. Over the past decade there has been a shift towards developing hybrid intelligent management systems in operations that use more than one AI technique. The application areas of AI in maintenance extends widely from the intelligent maintenance optimization models to the more practical applications such as cost budgeting of maintenance projects and selecting optimal repair methods. This paper presents an overview of the applications of AI techniques in maintenance over the past decades identifying specific applications and extent of use of techniques. The paper discusses the applications of AI techniques and recent trends.

This paper presents an overview of the applications of AI techniques in maintenance over the past decades identifying specific applications and extent of use of techniques. There are no restrictions made to the aspects of maintenance decision making process covered except for not including the area of fault diagnosis. This is a distinctive area of research and has vast publications, see Kobbacy and Vadera (2011).

The paper also presents recent trends in developing AI systems in maintenance that may help projecting future developments based on understanding of the needs of the subject area.

Knowledge Based Systems (KBS)

MYCEN the diagnostic medical expert system was designed in the early 1970 at Stanford University and generated lots of interest despite the fact that it was never used in anger. KBS

which is closely linked to Expert Systems witnessed the revival of AI in the 1980s. It generated great interest at the time with a promise of solving interesting problems. Initial interest in applying AI techniques in maintenance started with KBS. The early paper by Dhaliwal (1986) argued for the use of AI techniques in maintenance management of large scale systems. Kobbacy (1992) proposed the use of KBS in this area and that was followed by a paper , Kobbacy et al(1995) detailing “IMOS”, an Intelligent Maintenance Optimisation system that uses KBS.

Over the years the interest in KBSs in maintenance varied but in general maintained moderate interest. Applications also covered a wide range of areas. Batanov et al (1993) presents a prototype KBS system for maintenance management (EXPERT-MM) that suggests maintenance policy, provides machine diagnosis and offers maintenance scheduling. Su et al (2000) presents a KBS system for analysing cognitive type recovery for preventive maintenance. Gabbar et al(2003) suggests a computer aided Reliability Centred Maintenance (RCM) based plant maintenance management system. The adopted approach utilises a commercial Computerised Maintenance Management System (CMMS).

Fuzzy Logic (FL)

FL is a popular AI technique that has many applications and frequently employed with other AI techniques in developing hybrid systems. The paper by Zadeh in 1965 introduced the concept of fuzzy sets. In a later publication Zadeh(1999) defines narrow FL which aims at a formalization of approximate reasoning and wide FL which is coextensive with fuzzy set theory and is far broader than narrow FL.

Today, the term fuzzy logic is used predominantly in its wide sense.

There is a steady interest in applying FL in modelling maintenance problems due to its convenience in dealing with uncertainty. Mozami et al(2011) uses FL to prioritise maintenance activities based on pavement condition index, traffic volume, road width and rehabilitation and maintenance cost. Al-Najjar and Alsyouf (2003) assesses the most popular maintenance approaches using a fuzzy multiple criteria decision making (MCDM) evaluation methodology.

Derigent et al(2009) presents a fuzzy methodology to assess component proximity based on which opportunistic maintenance strategy can be implemented. They use component proximity fuzzy modelling which targets the system components “close to” a given reference component, on which a maintenance action is planned. Sasmal and Ramanjaneyulu (2008) develops a systematic procedure and formulations for condition evaluation of existing bridges using Analytic Hierarchy Process (AHP). Malik et al (2012) uses UV/VIS spectroscopy based FL to assess transformer oil health.

Risk based maintenance/ inspection are becoming a popular approach to ensure safe as well as economically viable operation. Khan and Haddara (2004) presents a structured risk-based inspection and maintenance methodology that uses fuzzy logic to estimate risk by combining (fuzzy) likelihood of occurrence and its (fuzzy) consequence. They demonstrate case studies based on oil and gas operations. Singh and Markeset (2009) presents a methodology for risk based inspection programme for pipes using a fuzzy logic framework.

Case Based Reasoning (CBR)

CBR uses index schemes, similarity functions and adaptation to utilise past experiences in solving new problems. When combined with other AI techniques it can provide powerful hybrid systems that are able to solve complex problems through the use of machine learning capability. Yu et al (2003) studies remote maintenance decision making and identifies the need not only to advice from supplier to customer but also requires their negotiation and cooperation based on knowledge. The paper presents a multi-agents, CBR based E-maintenance DSS system for maintenance problem solving. Chou (2009) outlines the development of a Web-based CBR prototype system to assist decision makers in project screening and budget allocation. The system determines preliminary project cost with information based on previous experience of pavement maintenance related construction. Cai et al(2011) presents a framework for command forces system, based on CBR, of equipment maintenance support. The paper provides an analysis of the CBR based method of representation and storage of equipment maintenance case.

Cheng et al (2008) presents an Intelligent Reliability Centred Maintenance Analysis (IRCMA). CBR is used to utilise historical records of RCM analysis on similar items to analyse a new item.

GA is the most popular AI technique applied in maintenance. Indeed there are many publications on applying GAs in a wide range of maintenance problems and applications though mostly of operational rather than strategic nature.

There are few attempts to use GAs to optimise maintenance of parallel/ series systems. Levitin and Lisnianski (1999) addresses the problems of redundancy and reliability for a multi-level system with different levels of output at point in time. The optimal system structure and replacement policy provide the desired level of system reliability with minimal cost of maintenance and failures measured by unsupplied demand. Monga and Zuo (2001) study optimal design of series-parallel systems considering maintenance and salvage values. A reliability based design model is developed with deteriorating components and considering the effects PM and asset depreciation. GA is used to perform constrained optimization of the system cost function subject to both active and non-active constraints. Nourelfath et al(2012) studies the joint redundancy and imperfect PM optimisation for a series-parallel multistate degraded system. They used a heuristic based on combined GAs and Tabu Search to solve the formulated problem.

Levitin and Lisnianski (2000) addresses the problem of optimising imperfect PM for multi state systems i.e. systems with different levels of output at a point of time. They used GA to find an optimal sequence of minimum cost PM actions while providing the required level of system reliability. Nahas et al (2008) proposes an improved optimisation approach to find the optimal PM actions based on the extended great deluge algorithm which is simpler and produced the best solution.

Examples of applying GAs in maintenance optimisation in Nuclear Power system include the work of Lapa et al (2000) which used GA to maximise availability of nuclear power system through maintenance scheduling.

A GA is used to obtain the optimal maintenance strategy.

Neural Networks (NNS)

NNs are based on the idea of emulating human brain. They are often used in modelling and statistical analysis (Gurney, 1997) and in classification and optimisation.

Data Mining (DM)

DM uses statistical and machine learning techniques to automate the detection of data patterns in a data base and to develop predictive models to support decision making

(Berson et. al. 2000). We have not identified publication on using DM in maintenance modelling and management. However it is expected with the increased volumes of maintenance databases that DM will used in the future to identify patterns and trends.

Hybrid Systems

Hybrid Systems are those which employ two or more AI techniques. In maintenance applications the most frequently interest in maintenance applications. Few applications have been found on CBR and NNs in maintenance but none using DM. Few hybrid systems have been developed in the maintenance area.

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI

Reputo opportuno concludere la tesi analizzando i miglioramenti che il project management ha portato nel campo della manutenzione e tutti gli aspetti che potrebbero essere ancora migliorati. La capacità di schedulare e pianificare sistemi e progetti porta benefici incredibili nelle aziende, in quanto in maniera approssimata permette un'organizzazione delle risorse umane ed economiche pianificata, con riferimenti temporali; in poche parole si sa quanta liquidità e quante risorse umane vanno utilizzate per ogni attività (che ricordiamo grazie allo scheduling è posizionata nel calendario con date di inizio e di fine).

L'introduzione di queste tecniche ha inoltre portato con sé un'altra qualità molto importante: la flessibilità. Infatti mentre precedentemente uno slittamento temporale delle attività poteva portare persino al blocco del sistema, ora è possibile riadattare velocemente il sistema alle nuove condizioni mantenendo sempre uno standard nell'efficienza.

Infine, ma non meno importante, le tecniche di project management hanno diminuito l'incertezza dei risultati, diminuendo di fatto anche il fattore di rischio. Nella manutenzione in particolare abbiamo visto che può comportare una diminuzione dei costi contemporaneamente ad un aumento dell'efficienza della produzione; si può affermare quindi senza troppi dubbi che il project management nell'ambito della manutenzione è fondamentale se si vuole ottimizzare la manutenzione stessa, in ogni suo aspetto.

L'utilizzo di tecniche reticolari e sistemi computerizzati ha inoltre reso l'applicazione del project management più semplice e a "portata di tutti"; abbiamo infatti visto che non è sempre necessario l'utilizzo di software dedicati, ma bensì spesso è conveniente usare dei software generici i cui prezzi sono molto più accessibili. Inoltre questi software vengono aggiornati molto spesso, non più a spese aziendali ma a spese dello sviluppatore.

Ma il project management è comunque anch'esso un processo non ancora concluso, e quindi soggetto a continua evoluzione: Industry 4.0 ci ha messo di fronte a nuove opportunità, e quindi a nuovi obiettivi da raggiungere. Per questo motivo, stanno nascendo negli ultimi anni dei software AI (visti nel case study pag.) capaci di identificare gli spostamenti delle soluzioni ottimali e di identificare subito i cambiamenti da effettuare.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- <https://www.sciencedirect.com/>
- Kerzner H., "Pianificazione, scheduling e controllo dei progetti", Hoepli, 2005
- Wheelwright C., Clark K. B., "Creating Project Plan to Focus Product Development", Harvard Business Review, March-April 1992
- L. Furlanetto, *Manuale di manutenzione degli impianti e servizi*, Franco Angeli, Milano, 1998
- Realiasoft Corporation, *Optimum Preventive Maintenance Replacement Time for a Single Component*, Volume 1, Issue 1, Quarter 2, 2000
- R.D. Archibald, *Project Management. La gestione di progetti e programmi complessi*, Franco Angeli, Milano, 2002
- W. Iannacone, *Ingegneria di manutenzione. Innovazione tecnologica e reingegnerizzazione del processo manutentivo*, Franco Angeli, Milano, 1998
- J.G. Correll, N. W. Edson, *Capacity management e schedulazione*, Franco Angeli, Milano, 1990
- A. Pareschi et al., *Logistica integrata e flessibile*, Progetto Leonardo, 2002
- D. Palmer, *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*, McGraw-Hill, 1999
- M. V. Brown, *The planning and scheduling machine*, New Standard Institute, 2003
- A. Agnetis, *Problemi e modelli di scheduling tra agenti in competizione*, Università di Siena 2001
- D. Carini et al., *Shop scheduling*, 2001
- S. Sacone – DIST, *Modelli di processi produttivi a livello decisionale operative e di controllo*, Genova, 2002
- F. Tonelli, *La programmazione operativa – Appunti del corso di gestione degli impianti industriali*, Università di Genova, 2001
- Dipartimento di Informatica, Sistemistica e Telematica, *Schedulazione Real Time*, Genova, 2000
- A. Petri, *Il vehicle routing problem*, 1997

