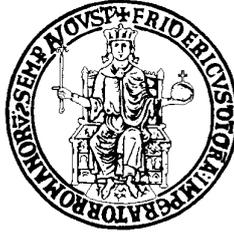


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione

TESI DI DOTTORATO IN TECNOLOGIE E SISTEMI DI PRODUZIONE

**IMPIEGO DEI SISTEMI DI ACQUISIZIONE DATI NEI
MODERNI AUTOBUS DI LINEA NEL QUADRO DELLE
PROBLEMATICHE COLLEGATE AL RISK
MANAGEMENT, CON PARTICOLARE RIGUARDO ALLA
SICUREZZA INCENDI**

Tutor

Ch.mo Prof. Ing. L.C. Santillo

Candidato

Dott. Ing. Pasquale Iannotti

Coordinatore

Chmo Prof. Ing. Giuseppe Giorleo

Nella vita le battaglie che bisogna combattere non sono quelle che si è sicuri di vincere, ma quelle in cui si crede.

A mio Padre

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia sincera gratitudine alla Professoressa Santillo, sempre disponibile e cordiale, e a tutti i colleghi del DIMP per avermi seguito costantemente nello sviluppo della tesi.

Desidero ringraziare poi, l'Ing. Barbarino, direttore di Esercizio della CSTP, e gli Ing. Turrini e Salvatore, direttore e vicedirettore del CTP, colleghi e amici, per la grande collaborazione offertami e per avermi fatto sentire all'interno delle rispettive aziende come "in famiglia".

Indice

INTRODUZIONE

CAP. 0 IL RISK MANAGEMENT

CAP. 1 LA MANUTENZIONE

- 1.1** Cenni storici
- 1.2** Definizioni
- 1.3** Principi fondamentali della funzione manutenzione
 - 1.3.1 Politiche di intervento
 - 1.3.2 Organizzazione
 - 1.3.2.1 Preparazione e programmazione
 - 1.3.2.2 Esecuzione dei lavori
 - 1.3.2.3 Ingegneria di manutenzione
 - 1.3.2.4 Controllo tecnico – economico della manutenzione
 - 1.3.3 Risorse da gestire
- 1.4** Il manuale di manutenzione
 - 1.4.1 Architettura del manuale di qualità della manutenzione
 - 1.4.2 Il supporto tecnologico

CAP. 2 LA MANUTENZIONE SU CONDIZIONE

- 2.1** Generalità

- 2.2 Prerequisiti organizzativi della politica di manutenzione su condizione
- 2.3 Vantaggi e svantaggi della politica di manutenzione su condizione
- 2.4 La manutenzione su condizione nelle aziende tpl
 - 2.4.1 Gli sviluppi organizzativi
 - 2.4.2 Le scelte strategiche

CAP. 3 L'INNOVAZIONE MANUTENTIVA PER LA CSTP

- 3.1 Introduzione
- 3.2 Il sistema telematico di diagnostica TEQ monitoring & bus sapiens
- 3.3 Il CAN bus
- 3.4 Descrizione del veicolo
- 3.5 Parametri di controllo di componenti ed elementi del veicolo
 - 3.5.1 Circuito raffreddamento motore
 - 3.5.2 Il cambio
 - 3.5.3 La lubrificazione del motore
- 3.6 Modi di guasto ed effetti

CAP. 4 ANALISI DEI DATI PER LA CSTP

- 4.1 Premessa
- 4.2 Il campione
- 4.3 Temperatura acqua motore
- 4.4 Temperatura olio cambio
- 4.5 Pressione olio motore
- 4.6 Risultati

CAP. 5 PROBLEMATICHE DI SICUREZZA RELATIVE AL RISCHIO INCENDIO

- 5.1 La chimica del fuoco

- 5.1.1 Alcune terminologie relative al fuoco
- 5.2** L'innesco
- 5.3** L'Incendio
 - 5.3.1 La potenza termica
 - 5.3.2 Evoluzione temporale dell'incendio
- 5.4** I prodotti della combustione
- 5.5** Classificazione dei fuochi
- 5.6** Estinzione degli incendi
- 5.7** Gli agenti estinguenti

Cap. 6 IL RISCHIO INCENDIO: PREVENZIONE E PROTEZIONE

- 6.1** Il rischio incendio
- 6.2** La prevenzione antincendio
 - 6.2.1 Manutenzione ordinaria e straordinaria
- 6.3** La protezione antincendio
- 6.4** La protezione attiva
 - 6.4.1 Sistemi di spegnimento automatici
 - 6.4.2 Sistemi di allarme incendio
 - 6.4.3 Generalità sui rilevatori antincendio
 - 6.4.4 Segnaletica di sicurezza
- 6.5** Protezione passiva
 - 6.5.1 Resistenza al fuoco e compartimentazione
 - 6.5.2 La reazione al fuoco dei materiali
 - 6.5.3 Vie d'uscita

CAP. 7 LA NORMATIVA ANTINCENDIO

- 7.1** La sicurezza antincendio nei mezzi di trasporto
- 7.2** La normativa
 - 7.2.1 La normativa sui materiali
 - 7.2.2 Le metodologie di prova

7.2.3 La classificazione dei materiali

7.2.4 L' omologazione dei materiali

7.3 Le possibilità di aggiornamento delle norme specifiche

7.4 Riferimento alla normativa circa la protezione al fuoco dei veicoli ferrotranviari

CAP. 8 PREVENZIONE INCENDI NEL TRASPORTO PUBBLICO SU GOMMA IN RIFERIMENTO AL CASO CTP

8.1 Lo studio degli incendi sugli autobus

8.2 Le cause d'incendio

8.3 La zona d'origine dell'incendio

8.8 Gravità incendi e tipologia di motore

8.5 Mezzi d'estinzione esistenti in CTP

8.6 Lo sviluppo della sicurezza autobus

8.7 Il rilievo termografico

8.7.1 Il funzionamento delle termocamere

8.7.2 I vantaggi della termografia

Cap. 9 ANALISI DEI DANNI E PROPOSTE MIGLIORATIVE

9.1 Esame dell'autobus incendiato

9.2 Comportamento alla combustione dei materiali costituenti l'autobus

9.2.1 Il legno

9.2.2 Le materie plastiche ed i materiali compositi

9.2.3 L'acciaio

9.2.4 Leghe leggere

9.2.5 Il vetro

9.3 La presenza di fluidi combustibili

9.3.1 Olio per trasmissioni idrostatiche: tutela ATF 90.1

9.3.2 Olio cambio: ATF DEXTRON II

- 9.3.3 Olio motore: URANIA LD7
- 9.3.4 Il gasolio
- 9.4** Analisi degli incendi
 - 9.4.1 Considerazioni circa i danni prodotti così come rilevati
- 9.5** Sviluppo e propagazione dell'incendio
- 9.6** Proposte migliorative
 - 9.6.1 Il monitoraggio termico attraverso l'uso di sistemi inf.ci
- 9.7** L'analisi costi-benefici
 - 9.7.1 valutazione gestionale relativa alle soluzioni proposte

CONCLUSIONI

Bibliografia

Elenco abbreviazioni

ISO	International Organization for Standardization
MQM	Manuale di Qualità della Manutenzione
CMMS	Computerised Maintenance Management Systems
KPI	Key Performance Indexes
RDBMS	Relational Data Base Management System
TPL	Trasporto Pubblico Locale
GSM	Global System for Mobile communications
GPRS	General Packet Radio Service
CAN	Controller Area Network

INTRODUZIONE

I moderni autobus sono dotati di sistemi evoluti di acquisizione dati e tali sistemi costituiscono delle vere e proprie “scatole nere” (black box), strumenti preziosi per la registrazione di eventi, votati – più che altro – a raccogliere elementi utili per gestire il *movimento* delle flotte. In tale contesto, le attività più significative oggetto di raccolta sono le seguenti:

- Pilotaggio delle paline interattive delle fermate per evidenziare i tempi di attesa;
- Controllo degli itinerari con sistemi GSM;
- Controllo della sicurezza negli abitacoli tramite telecamere per prevenire atti vandalici e di criminalità;
- Gestione delle entrate/uscite dei mezzi dai depositi;
- Gestione dei turni e attribuzione delle commesse circa l'impiego dei mezzi, per quanto riguarda dotazioni e personale;
- Gestione di eventuali emergenze collegate in qualche modo a disservizi (percorsi alternativi, richiesta di soccorso, problemi collegati al traffico);
- Gestione dei turni di servizio;
- Verifica dei rifornimenti;
- Raccolta dei Rapporti di servizio.

Un primo problema che si pone nella corretta utilizzazione di uno strumento così potente e versatile è l'utilizzazione di piattaforme software almeno compatibili, che riescano, cioè, a far interloquire tra loro i singoli veicoli e i mezzi della flotta con le centrali aziendali presenti nei depositi. Le difficoltà nascono perché gli autobus sono di diversi tipi, costruiti da Case diverse, equipaggiati con sistemi diversi ed anche le apparecchiature basate a terra risentono della dispersione connessa a diverse gare, a diversi fornitori ed a diversi standard. Nasce allora la necessità di prevedere una unificazione delle piattaforme informatiche destinate agli

apparati di raccolta dati installati per la gestione degli autobus, prevedendo in particolare:

- Protocolli di aggiornamento nel tempo dell'esistente;
- Protocolli "interprete" per consentire ai vari sistemi esistenti (ed eventualmente *diversi*), di interfacciarsi tra loro.

L'altro aspetto interessante per la corretta utilizzazione di tali apparati è di sfruttarne a pieno la potenzialità per tenere sotto controllo il funzionamento dei veicoli, esistendo – peraltro – la concreta possibilità di organizzare una vera e propria manutenzione predittiva, basata sul rilievo di parametri, anche semplici, opportunamente seguiti nella loro evoluzione temporale; in tale contesto potrebbero rilevarsi con i sensori e le informazioni già disponibili:

- Le temperature dei fluidi di raffreddamento ed il loro trend;
- La temperatura dell'olio motore ed il suo trend;
- La temperatura dei fluidi idraulici delle trasmissioni ed il loro trend;
- Il consumo di tutti i fluidi impiegati ed il suo trend;
- Il consumo di combustibile ed il suo trend;
- I dati delle centraline varie (freni/ABS ed ESP, iniezione motore, sonda λ e marmitta catalitica, condizionatore).

Con un'opportuna ulteriore strumentazione (spesso già presente con opportuni sensori) sarebbero monitorati in continuo:

- La temperatura ed il consumo degli elementi freno ed il loro trend;
- Lo stato degli organi di trasmissione (ingranaggi, cuscinetti, cambio automatico), grazie all'impiego di microfoni adatti a rilevare suoni utili per l'analisi spettrale;
- Lo stato degli organi di sospensione, grazie all'impiego di microfoni ed accelerometri adatti allo scopo;
- Carico (o sovraccarico) del veicolo;
- Condizione e stato dei pneumatici;
- Stato degli eventuali sistemi automatici antincendio installati a bordo

- Temperatura e carico corrente di tutti gli impianti elettrici e dei relativi cavi;
- Temperatura di tutte le parti del veicolo suscettibili di innesco di incendio (motore, vano motore, sistema di raffreddamento, impianti elettrici).

In tale contesto è interessante notare che si sono verificati incendi relativamente frequenti anche su autobus recenti, con la distruzione pressoché totale; pertanto, si è eseguita una ricerca per stabilire le possibili cause, ma soprattutto per individuare i compartimenti critici dei veicoli dal punto di vista rischio incendio, **inquadrando il problema nell'ambito del RISK MANAGEMENT** secondo due diversi tipi di approccio:

1. Implementazione del sistema delle black-box con un esteso campo diagnostico, esteso a rilevare tempestivamente tutti i parametri potenzialmente collegati a sviluppo di incendio;
2. Verifica di tutti i materiali utilizzati per la costruzione degli autobus – in particolare quelli compositi – per definire una NORMA volta ad assicurare delle convenienti proprietà di resistenza al fuoco, elaborando le prescrizioni già esistenti nel campo ferroviario.

Il lavoro è stato sviluppato grazie alla collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione e le seguenti Aziende Pubbliche di Trasporto:

- la CSTP – Azienda della Mobilità S.p.A di Salerno;
- la CTP Compagnia Trasporti Pubblici di Napoli.

CAPITOLO 0 - IL RISK MANAGEMENT

Generalità

La capacità di gestire il rischio assume sempre di più un valore strategico per le aziende. Gli azionisti e il management aziendale, sono sempre più consapevoli dell'importanza di gestire il rischio in modo integrato per salvaguardare il valore delle loro aziende. Le società leader, sempre impegnate nella ricerca di modalità per incrementare il valore per i loro azionisti, iniziano peraltro a interrogarsi sui possibili legami e connessioni tra risk management e creazione del valore. Si sta quindi prendendo coscienza che i rischi non devono essere sempre considerati soltanto minacce da evitare ma, in molti casi, se opportunamente gestiti, possono trasformarsi in opportunità da cogliere. Questo comporta una chiara identificazione e conoscenza dei rischi, delle possibilità di accadimento e dell'impatto sull'azienda, il tutto accompagnato da un continuo monitoraggio volto a gestirne ogni sviluppo nel tempo. In tal modo i rischi possono creare opportunità, quindi creare valore e ricchezza per gli azionisti. La domanda critica diventa: "come gestire i rischi e ricavarne valore?".

Enterprise Risk Management

L'Enterprise Risk Management (ERM) è rappresentato da un approccio metodologico strutturato e disciplinato che prende in considerazione, in un'ottica di conoscenza e valutazione dei rischi, tutti gli aspetti della gestione aziendale: strategie, mercato, processi, risorse finanziarie, risorse umane, tecnologie. "Enterprise-wide" significa la rimozione delle tradizionali barriere di funzione, di divisione, di dipartimento o culturali. Un approccio veramente integrato, focalizzato sul futuro e orientato ai processi può infatti aiutare le organizzazioni a gestire tutti i rischi di business e a identificarne le opportunità connesse. Il risk management

deve estendersi ben al di là dei tradizionali rischi di natura finanziaria per comprendere un'ampia varietà di nuovi rischi: strategici, operativi, operazionali, legali e di immagine. Le aziende devono affrontare una varietà di nuove sfide nella loro corsa verso la massimizzazione del profitto: globalizzazione, e-business, nuove partnership. Tali elementi, insieme alla crescente rapidità di cambiamento dei contesti operativi ed ambientali, richiedono una continua attenzione e capacità di reazione anche nella identificazione e gestione dei rischi aziendali. Per trasformare le minacce in opportunità un'azienda deve conoscere e gestire i rischi attraverso un processo di identificazione, classificazione e gestione. Questo significa avere una comprensione profonda dei rischi a cui si è potenzialmente esposti, identificarne la portata e collegare il piano di risk management alla strategia aziendale.

L'approccio ai rischi

Un approccio focalizzato sui rischi specifici dell'azienda, ne garantisce la completa identificazione e permette di procedere, anche nelle fasi di gestione dei rischi, nel rispetto dei ruoli, delle responsabilità e delle competenze derivanti dalla struttura organizzativa. Per le diverse aree del risk management è necessario infatti combinare competenze specifiche di tipo finanziario, tecnologico e dei processi operativi e sviluppare un approccio completo alla gestione del rischio prendendo in considerazione sia gli aspetti strategici che realizzativi. La gestione del rischio deve essere un processo dinamico che inizia dalla fase di pianificazione e viene supportato da appropriate metodologie e da una solida infrastruttura. Il processo di gestione del rischio deve assicurare un costante equilibrio tra assunzione dei rischi e livello allocato di capitale da un lato e business ben controllato dall'altro.

Modello per la gestione strategica di vertice dell'impresa e il controllo dei rischi

L'impresa non deve prendere in considerazione soltanto le aree di rischio tradizionali, come finanza o proprietà, ma uno spettro di rischi (vedi tabella "Identificazione e classificazione dei rischi") più ampio che include altre aree come immagine aziendale, etica, salute, sicurezza, ambiente, ecc.

Tabella - Identificazione e classificazione dei rischi	
Rischi strategici	<ul style="list-style-type: none"> • Strategie adeguate consentono all'impresa di raggiungere gli obiettivi di business definiti • Rischi inerenti alle strategie adottate e definizione del livello di rischio appropriato • Rischi inerenti modelli di business innovativi
Rischi operativi	<ul style="list-style-type: none"> • Rischi inerenti e processi utilizzati nell'implementazione di strategie e sistemi di identificazione e quantificazione e gestione dei rischi • Gestione del cambiamento dei processi e impatto dei rischi relativi
Rischi di immagine	<ul style="list-style-type: none"> • Identificazione dei rischi legati al marchio, all'immagine e alla reputazione dell'impresa
Rischi derivanti da normative e regolamenti	<ul style="list-style-type: none"> • Rischi legati al rispetto della normativa e dei regolamenti nonché impegni assunti (anche contrattualmente e di natura non finanziaria)
Rischi finanziari	<ul style="list-style-type: none"> • Rischi per risorse finanziarie impiegate eccessive per supportare i processi operativi • Rischi per investimenti e assunzione di passività eccessive per supportare i processi operativi
Rischi di gestione delle informazioni	<ul style="list-style-type: none"> • Rischi per affidabilità, disponibilità e adeguatezza dei dati, delle informazioni e delle conoscenze • Rischi dei sistemi informatici • Rischi legati alla sicurezza e alla riservatezza delle informazioni
Rischi emergenti	<ul style="list-style-type: none"> • Rischi non ancora emersi ma che possono impattare l'impresa (ad esempio nuovi concorrenti, modelli di business alternativi o emergenti, rischi di recessione, relazionali, di outsourcing, politici, dissesti finanziari, crisi o eventi esterni)

Uno schema esemplificativo di modello di rischio applicabile all'impresa, suggerito in questa tabella, può fornire maggiori garanzie rispetto alla completa identificazione di tutti i rischi e alla capacità di gestione e di controllo nel tempo.

Rischi e cultura d'impresa

Con il cambiamento e la proliferazione dei rischi, è necessario che ogni responsabile dei diversi settori aziendali, per quanto di sua competenza, identifichi i rischi reali per la propria organizzazione, ne stimi le probabilità di accadimento, li valuti rispetto alla tolleranza della organizzazione stessa e, quando possibile, li confronti, tramite analisi comparative, con quelli dei loro mercati e settori di riferimento.

Gli approcci per una corretta gestione dei rischi possono differire enormemente da azienda ad azienda e anche tra i diversi settori della stessa azienda. C'è comunque concordanza sul fatto che l'approccio debba nascere dal vertice e che trovi fondamento e supporto nella strategia aziendale e il modello che ne deriva sia coerente con la struttura aziendale e ne rispetti i livelli di delega, di autonomia e di responsabilità. I rischi pertanto possono essere gestiti, a seconda della loro importanza ed impatto, a livello di vertice strategico o essere trasferiti alle strutture più operative.

Per una corretta identificazione e analisi dei rischi è necessario disporre di una serie di metodologie e strumenti specifici. Ogni area aziendale, per quanto di propria competenza, deve essere coinvolta nelle fasi di analisi e di definizione delle misure da adottare in quanto l'applicazione delle metodologie e degli strumenti di risk management, richiedono competenze e professionalità specifiche di ogni settore.

Misure per la riduzione dei rischi: un esempio nell'area dei rischi di gestione delle informazioni

Nel seguito è riportato un esempio pratico di analisi dei rischi.

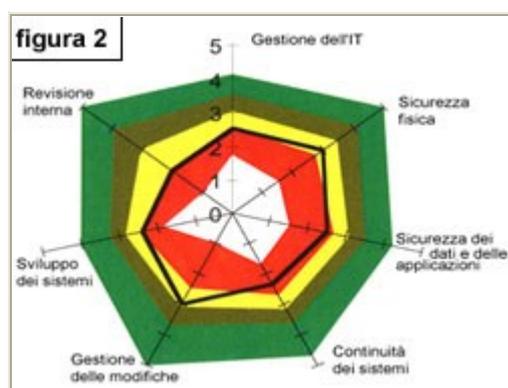
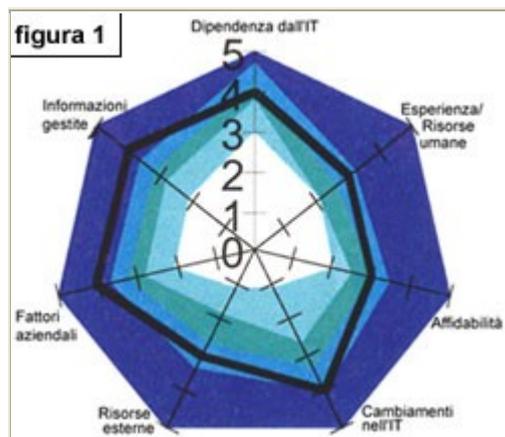
L'utilizzo di sistemi informativi complessi ed integrati, con attività di controllo fortemente automatizzate, richiede un monitoraggio continuo delle

procedure e delle tecniche di verifica e controllo adottate. I mutamenti e la crescente complessità delle problematiche di tipo operativo, amministrativo, tecnologico e legislativo impongono alla funzione di controllo un adeguamento continuo dei metodi e delle tecniche di verifica dell'affidabilità e della sicurezza delle informazioni e delle procedure.

Adeguate metodologie di analisi comparativa consentono di analizzare i rischi connessi all'utilizzo dei sistemi informatici e di verificare l'adeguatezza dei controlli posti in essere. Consentono inoltre di individuare il corretto equilibrio tra la riduzione dei rischi e la massimizzazione dell'efficienza operativa.

L'esempio riportato nel seguito (fig. 1) sintetizza il livello di rischio applicabile all'impresa con il confronto con lo standard di settore. La situazione specifica dell'azienda (rappresentata dalla linea nera), ancorché caratterizzata da un rischio medio alto, è in linea come caratterizzazione con l'andamento del settore evidenziato dalle diverse gradazioni di colore.

Le aziende devono ricercare un giusto equilibrio tra rischi e controlli. Il grafico riportato (fig. 2) illustra le informazioni relative ai controlli in essere e le mette a confronto con quelle di aziende simili che presentano profili di rischio (graduati dal verde al rosso) mediamente inferiori. Nel caso pratico l'azienda assume nell'area della continuità dei sistemi informativi e della sicurezza un livello di rischio maggiore rispetto al riferimento di settore.



La matrice di sintesi per la valutazione dei rischi e dei controlli connessi all'uso delle tecnologie informatiche (tabella I), consente di mettere in relazione i rischi con i relativi controlli che possono, nella fattispecie, mitigare i rischi. I rischi possono infatti essere mitigati dai controlli indicati nella parte destra della matrice.

Solo con un'analisi adeguata del modello di business, delle tendenze di settore e del profilo di rischio adottato si possono introdurre misure efficaci e allo stesso tempo competitive per gestire i rischi.

CAPITOLO 1 - LA MANUTENZIONE

1.1 CENNI STORICI

La manutenzione è un'attività antica, intrecciata con l'evoluzione stessa della civiltà e delle logiche del costruire e del produrre a beneficio della vita e del benessere dell'uomo. Essa nasce con i primi attrezzi e strumenti che l'uomo ha creato per dominare la natura e sviluppare il proprio benessere, costituendo la storia stessa della civiltà: affilare le lame delle proprie armi di pietra o di metallo è un'attività manutentiva, così come riparare le reti da pesca, riparare un'imbarcazione o un mezzo di trasporto su terra.

In passato lo stesso utilizzatore dell'attrezzo o del mezzo di trasporto eseguiva l'intervento di manutenzione, finché la complessità delle attrezzature e la richiesta di una specifica abilità non hanno portato alla specializzazione di persone ad eseguire gli interventi di riparazione e, più in generale, di manutenzione. Una parte molto rilevante della storia e dei progressi della manutenzione è legata al suo ruolo nella produzione industriale di cui ha seguito l'evoluzione con uno stretto legame ai modi di produzione. E' quindi opportuno richiamare brevemente, a partire dalle origini della prima metà del 1800, la progressiva evoluzione della produzione industriale. Prima dello sviluppo della produzione di tipo industriale, sebbene la complessità dei manufatti si fosse accresciuta notevolmente, i modi di produrre e di fare manutenzione rimasero fondamentalmente quelli di un tempo.

Con l'avvento della rivoluzione industriale, i modi di produzione passano dalla produzione artigianale, alla produzione di massa, alla produzione snella.

La produzione artigianale ha inizio con la nascita della civiltà e vede nei secoli evolvere la figura del manutentore da “polivalente” a “specialista”. Polivalente è colui il quale utilizza l’attrezzo o lo strumento, oltre a curarne la manutenzione, specialista è invece colui che ha le abilità per costruire e mantenere l’attrezzo.

Il modo di produrre artigianale si è sviluppato nel corso dei secoli ed ha mantenuto la sua vitalità sia specializzandosi, sia orientandosi verso segmenti di mercato particolari.

L’approccio della produzione di massa si è sviluppato inizialmente nell’industria durante la prima decade del XX secolo ed è ancora vivo oggi in molte aziende. Essa vede per la manutenzione lo sviluppo di un percorso di nobilitazione del “mestiere” che porta a forme di specializzazione spinta. Sono un risultato di questo sviluppo l’articolazione del personale di manutenzione in aggiustatori da banco, carpentieri, saldatori, ecc. Lo sviluppo di questi mestieri ha certamente portato alla creazione di utili competenze specialistiche, con la conseguenza però di una segmentazione organizzativa causa di scarsa visione sistemica e fonte di problemi di coordinamento fra le diverse specializzazioni. Si deve però riconoscere che, con la produzione di massa, è nata la cultura della manutenzione e, in particolare, della previsione dei guasti.

La produzione snella ha invece avuto origine nell’industria automobilistica in Giappone negli anni ’50, ma la sua diffusione si è avuta con la crisi del petrolio degli anni ’70. Nell’organizzazione snella si elimina l’eccesso di specializzazioni e di livelli con forti riflessi sui ruoli e l’organizzazione della manutenzione. Essa è quindi basata su un modello organizzativo incentrato su figure operative polivalenti, sull’abbattimento delle barriere tra produzione e manutenzione e su strutture ingegneristiche centrali che progettano, controllano e migliorano la manutenzione.

1.2 DEFINIZIONI

La manutenzione è la *“combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un’ entità, volte a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”* [1].

“Entità” è il termine che viene genericamente usato per indicare il bene, macchina, apparecchiatura o impianto (di produzione o di servizio) che è oggetto dell’attività di manutenzione.

Negli ultimi anni il pensiero manutentivo si è evoluto e rinnovato profondamente e la manutenzione si è trasformata, in termini di mission, da attività prevalentemente operativa di riparazione a complesso sistema gestionale orientato alla prevenzione del guasto e al miglioramento continuo.

In pratica compito della manutenzione è di *“cooperare lungo tutto il ciclo di vita di un’entità, con l’obiettivo del miglioramento continuo della disponibilità operativa dell’entità e del contenimento dei costi di manutenzione”*[1].

Per questo motivo la manutenzione deve essere *“ben pensata”*, si tratta cioè di costruire un progetto di manutenzione, ossia percorrere un iter progettuale che porta a definire razionalmente gli approcci di manutenzione più congrui sia dal punto di vista tecnico che organizzativo. La progettazione delle politiche di manutenzione significa quindi decidere in anticipo le modalità di effettuazione delle attività di manutenzione che dovranno essere svolte sulle entità. La presa di coscienza risulta dalla capacità di rispondere ad una serie di domande:

- qual è il comportamento a guasto di un’entità e quale la più appropriata forma di manutenzione da adottare per controllarla, tenendo conto delle eventuali possibilità di ispezionare/monitorare il funzionamento dell’entità;

- qual è il confronto tra costo della manutenzione fatta a seguito del guasto e costo ottenibile con l'anticipo del guasto;
- quali sono i costi e benefici derivanti dall'introduzione di possibili miglioramenti del *modus operandi* della manutenzione.

Le diverse modalità di risposta a queste domande portano all'individuazione di tre politiche canoniche di cui è di seguito riportata la definizione normativa (tratta da UNI EN 13306 e UNI 10147).

1. *Manutenzione correttiva (o a guasto)* – E' la manutenzione "eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare un'entità nello stato in cui essa possa eseguire la funzione richiesta". Si procede quindi alla sostituzione o riparazione dell'entità in avaria.
2. *Manutenzione preventiva* – E' la manutenzione "eseguita ad intervalli predeterminati o in accordo a criteri prescritti e volta a ridurre la probabilità di guasto o il degrado del funzionamento di un'entità". La manutenzione preventiva è a sua volta articolata in tre sotto politiche:
 - *La Manutenzione preventiva ciclica* è "effettuata in base a intervalli di tempo o cicli di utilizzo prefissati, ma senza una precedente indagine sulle condizioni dell'entità". E' cioè un tipo di manutenzione programmata, eseguita in accordo con un piano temporale stabilito, in cui il piano temporale si esprime in funzione dei cicli di utilizzo più appropriati (ad es. chilometri percorsi, numero di cicli di lavoro, ecc.). La sostituzione o riparazione di un componente dell'entità viene quindi effettuata sulla base dell'avvenuto utilizzo predeterminato.
 - *La manutenzione su condizione* è un'attività di manutenzione preventiva "basata sul monitoraggio delle prestazioni di un'entità e/o dei parametri significativi per il suo funzionamento e sul controllo dei provvedimenti conseguentemente presi". E' quindi una manutenzione eseguita subordinatamente al

raggiungimento di un valore limite predeterminato di una misura indicativa dello stato di usura di un'entità.

- *La manutenzione predittiva* è un' ulteriore evoluzione dell'attività di manutenzione su condizione: essa è una manutenzione preventiva effettuata a seguito della individuazione e della misura di uno o più segnali e della successiva estrapolazione a partire da tali segnali, sulla base di un modello di calcolo appropriato, del tempo residuo atteso prima del guasto. L'intervento di manutenzione dipende quindi in questo caso dalla misura del sintomo di un guasto incipiente.

3. *Manutenzione migliorativa* – E' l'insieme di azioni di miglioramento o piccola modifica intraprese con lo scopo di migliorare l'affidabilità (mediante l'eliminazione delle cause di guasti sistematici e/o riduzione della probabilità di comparsa di altri guasti) e la manutenibilità dell'entità (in genere con miglioramenti a livello logistico). Si noti che per "piccole" modifiche si intende che esse "non incrementano il valore patrimoniale dell'entità". La manutenzione migliorativa deriva dai principi del TPM ed è perciò basata su un sistema di miglioramento continuo, teso alla individuazione di proposte di miglioramento, sia con l'uso di metodologie e tecniche di analisi, ma, soprattutto, con il coinvolgimento e la motivazione delle persone.

1.3 PRINCIPI FONDAMENTALI DELLA FUNZIONE MANUTENZIONE

La manutenzione è legata all'intero ciclo di vita di un'entità (bene) [2]. Nella fase di progettazione, di redazione della specifica tecnica, di produzione, utilizzo e dismissione del bene dovrebbero essere presi in considerazione affidabilità, manutenibilità e sicurezza affinché il bene sia di qualità. La manutenzione comporta effetti diretti e indiretti (per mancato funzionamento, mancata qualità, irrigidimento del sistema) sulla conduzione aziendale. Associando a questi il rispetto dei requisiti di sicurezza e di

ecologia, la manutenzione appare una funzione rilevante delle politiche aziendali volte al contenimento dei costi, al miglioramento della qualità dei beni, al controllo ambientale e alla sicurezza del lavoro.

Un sistema di controllo tecnico-economico, è essenziale per:

- ridurre il costo globale di manutenzione nel rispetto dei vincoli dettati dall'impresa;
- aumentare la redditività aziendale in termini di volumi e di qualità del prodotto.

Migliorare la competitività dell'impresa richiede un'azione continua di revisione delle politiche per la qualità e la manutenzione adottando adeguate metodologie gestionali. Tuttavia l'applicazione di queste tecniche richiede una forte motivazione del personale e la formazione di una cultura della manutenzione nei responsabili d'impresa.

I principi fondamentali della manutenzione sono:

- mantenere strutture, macchine, impianti o attrezzature in grado di funzionare nelle condizioni stabilite;
- conservare il patrimonio aziendale per l'intera vita utile;
- garantire, nel rispetto dei punti precedenti, la sicurezza del personale aziendale e la tutela ambientale;
- effettuare le attività di manutenzione con la massima economicità.

L'attuazione di questi principi generali consente di raggiungere i seguenti obiettivi:

- selezione delle politiche di manutenzione più idonee;
- dimensionamento delle risorse in mezzi, uomini e materiali per attuare le politiche selezionate nel rispetto dei vincoli tecnici ed economici;

- controllo tecnico ed economico dei risultati.

1.3.1 Politiche di intervento

Per garantire la disponibilità del bene ed aumentare l'efficienza del sistema nel suo insieme la funzione manutenzione deve:

- prevenire il guasto piuttosto che intervenire a posteriori;
- selezionare tra gli interventi quelli che soddisfano le necessità aziendali;
- organizzare opportunamente le risorse interne ed esterne necessarie;
- sviluppare una struttura organizzativa capace di gestire questa filosofia di manutenzione.

I metodi di selezione delle politiche di intervento per la definizione della politica aziendale di manutenzione ed il dimensionamento delle risorse necessarie sono oggetto di una norma separata.

1.3.2 Organizzazione

I modelli organizzativi della funzione manutenzione all'interno di un'impresa dipendono dalle sue dimensioni, dalla sua tipologia, dalla diffusione geografica degli impianti operativi, dalla complessità tecnologica e di ambiente e da altro. Nella struttura organizzativa aziendale della manutenzione deve essere possibile distinguere due tipologie di responsabilità: la prima con carattere prevalentemente operativo e la seconda essenzialmente di supporto consultiva alla linea operativa.

Occorre fissare un numero di livelli gerarchici e di posizioni, sufficienti a ripartire senza equivoci i compiti e le relative responsabilità tra attività operative ed attività consultive.

Occorre differenziare compiti tipici della manutenzione quali:

compiti tecnici : elaborazione di principi tecnici relativi alle politiche di manutenzione e definizione di cosa, quando, dove, come e con chi fare (attività consultiva);

compiti operativi : esecuzione dei lavori secondo le specifiche qualitative e procedurali stabilite;

compiti di controllo : verifica del lavoro svolto, e valutazione e certificazione dei risultati.

La scelta delle strutture organizzative, nonché la loro collocazione all'interno dell'organigramma dell'azienda deve basarsi su:

- interdipendenza tra le attività operative, anche in relazione al decentramento di alcune attività di manutenzione verso l'esercizio;
- posizione che si intende attribuire alla funzione "manutenzione";
- disponibilità e caratteristiche dei servizi di manutenzione approvvigionabili.

Le soluzioni adottate devono consentire il controllo di gestione.

In seguito viene mostrato un esempio di possibile organigramma del servizio manutenzione e due esempi di collocazione del servizio manutenzione nell'organigramma generale di un'impresa.

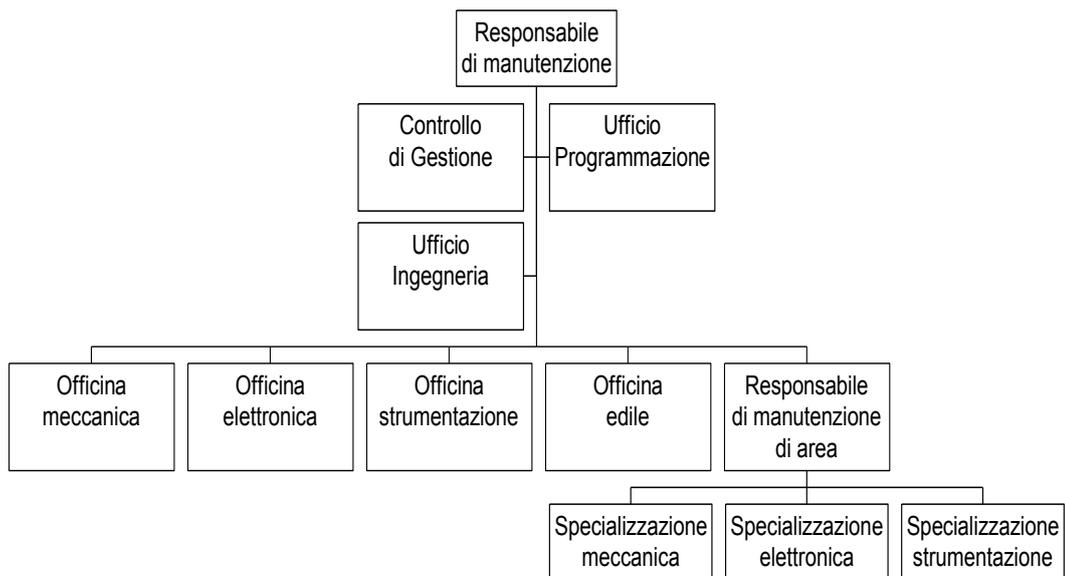


Figura 1.1: *Esempio di organigramma del servizio manutenzione con manutenzione di zona*

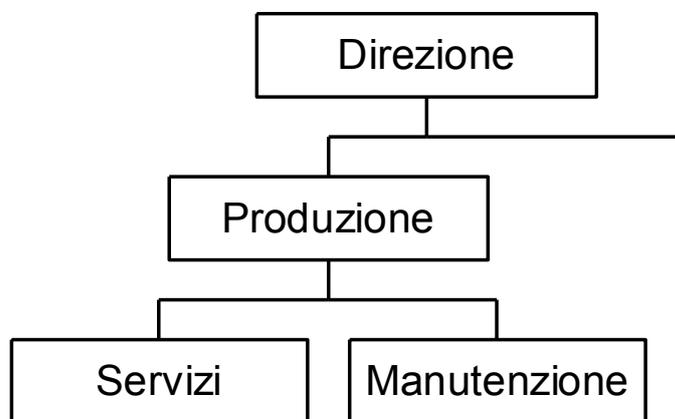


Figura 1.2: *Collocazione della manutenzione alle dipendenze della produzione*

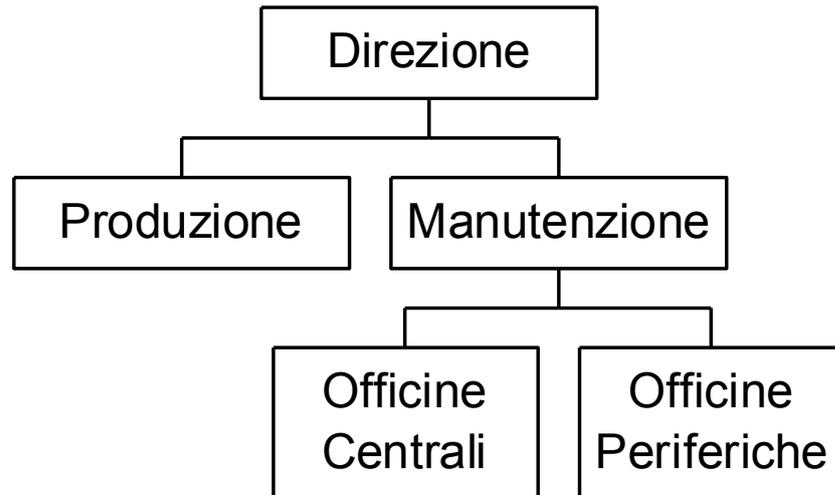


Figura 1.3: Collocazione della manutenzione in “line” con la produzione

1.3.2.1 Preparazione e programmazione

La funzione “preparazione” deve svolgere i seguenti compiti:

1. raccogliere tutti i dati necessari per poter definire esattamente ogni particolare del lavoro;
2. fissare con precisione la procedura di lavoro;
3. assegnare preventivamente un tempo di esecuzione e le relative risorse;
4. determinare il materiale e le attrezzature da impiegare in quantità e tipo, nonché disporre l’approvvigionamento;
5. definire la frequenza degli interventi di manutenzione preventiva e dei controlli;
6. allestire il piano di cantiere;
7. attestare a fine intervento il riutilizzo del bene;
8. registrare su apposito documento le cause che hanno provocato il tipo di intervento effettuato.

La funzione “programmazione” deve svolgere i seguenti compiti:

1. valutazione ed assegnazione delle date di esecuzione;
2. valutazione del carico di lavoro;
3. bilanciamento delle risorse;
4. definizione della successione dei lavori (schedulazione temporale).

1.3.2.2 Esecuzione dei lavori

Questa funzione ha il compito di eseguire i predisposti lavori di manutenzione nel rispetto delle specifiche qualitative e delle norme di sicurezza e protezione ambientale. Per realizzare questo compito la funzione deve poter:

1. organizzare le squadre di intervento e le necessarie attrezzature;
2. richiedere le autorizzazioni di sicurezza ed i mezzi protettivi relativi;
3. organizzare i prelievi di materiali dal magazzino;
4. registrare in corso d'opera giornalmente le ore lavorate per ogni ordine di lavoro o commessa;
5. controllare periodicamente lo stato di avanzamento dei lavori e adottare, nell'ambito delle sue responsabilità, tutte le misure per ridurre gli eventuali scostamenti dal programma;
6. riferire tempestivamente alla funzione "programmazione" per l'adozione di misure di competenza di questa funzione.

1.3.2.3 Ingegneria di manutenzione

Con il termine di ingegneria di manutenzione si identifica quell'insieme di principi, tecniche e procedure di tipo affidabilistico,

gestionale ed organizzativo che permettono di affrontare il tema della manutenzione da un punto di vista ingegneristico, allo scopo di ottenere significativi miglioramenti di efficienza ed efficacia nella progettazione, nella gestione, nella conduzione e nel controllo della manutenzione [3]. L'ingegneria di manutenzione interfaccia la manutenzione con le altre funzioni dell'azienda ed il suo compito principale è quello di cercare ed offrire sinergie che conducono alla soluzione ottimale di problemi comuni. La funzione "ingegneria di manutenzione" deve svolgere in particolare i seguenti compiti:

- studiare e ricercare soluzioni tecniche atte a eliminare e ridurre i punti critici degli impianti in collaborazione con la funzione tecnologia e la funzione esercizio;
- collaborare con la funzione "tecnologia" per "progettare la manutenzione" di nuovi impianti, macchine, strutture e attrezzature fornendo indicazioni atte a migliorare l'affidabilità, la manutenibilità e l'ispezionalità intrinseca del bene;
- accertarsi, insieme alla funzione "tecnologia" ed alla funzione acquisti, che i fornitori mettano a disposizione aggiornate e complete istruzioni per l'uso e la manutenzione per le nuove macchine e apparecchiature;
- impostare appositamente studi che possano dare origine ad una manutenzione migliorativa o al cambio delle politiche di intervento;
- coordinare l'attività dei gruppi di lavoro sull'analisi delle cause di guasto e delle loro criticità allo scopo di migliorare i piani di manutenzione preventiva;
- controllare l'andamento statistico dei guasti in modo da affinare le politiche di intervento manutentivo;

- supportare tecnicamente il magazzino per attuare una gestione delle scorte e degli approvvigionamenti in accordo con le politiche stabilite;

1.3.2.4 Controllo tecnico – economico della manutenzione

La funzione manutenzione deve svolgere i seguenti compiti:

- definire gli obiettivi da raggiungere entro un certo periodo di tempo;
- elaborare ed approvare un programma per il raggiungimento di quegli obiettivi;
- rilevare le informazioni consuntive sull'andamento effettivo della gestione;
- confrontare i risultati a consuntivo con quelli programmati;
- analizzare le cause di scostamento e proporre gli interventi migliorativi appropriati.

Strumenti per controllare i risultati di gestione sono: il bilancio di manutenzione e gli indici di gestione.

1.3.3 Risorse da gestire

Le risorse da gestire per il lavoro di manutenzione sono costituite almeno da:

- manodopera (numero e specializzazione)
- materiali (generici, specifici, ecc.)
- mezzi manutentivi (attrezzature, apparecchiature, macchine e dispositivi).

La programmazione operativa preposta alla gestione di queste risorse deve conoscerne la quantità iniziale disponibile e controllare tutte le variazioni, sia transitorie sia definitive che esse possono subire nel tempo. Il ciclo di lavoro determina il fabbisogno di risorse che ciascun intervento comporta. In particolare deve essere preventivato:

- il numero delle persone occorrenti;
- il tipo di professionalità che devono possedere;
- il tempo di utilizzazione delle risorse umane impiegate;
- la quantità e la qualità dei materiali, il tipo di macchine o attrezzature, la successione e il tempo del loro impiego.

1.4 IL MANUALE DI MANUTENZIONE

Il “Manuale di Manutenzione” è, secondo l’opinione del personale di manutenzione, il documento più importante e di riferimento della funzione stessa. L’analisi di questo documento, condotta su varie tipologie di impianti industriali in un arco temporale sufficientemente indicativo, ha portato però ad un risultato del tutto inatteso. Si è osservato, infatti, che il documento in oggetto è per lo più trascurato e negletto in quanto i suoi contenuti risultano non ben identificabili e pertanto finiscono per essere incompleti ed obsoleti. In molti casi, poi, il documento in oggetto non è neppure presente. Per tal motivo vengono di seguito analizzati e discussi lo scopo, i contenuti, il contesto di utilizzo del “Manuale di Manutenzione” e si propone la sua logica evoluzione in base alle esigenze attuali.

Non esiste una definizione specifica di “Manuale di Manutenzione” secondo la normativa italiana (UNI). L’esame dei manuali d’uso e di manutenzione ha lo scopo di utilizzare l’esperienza e le raccomandazioni del costruttore ai fini di impostare la manutenzione del bene [4]. E’ chiaro che i manuali in oggetto sono quelli dei costruttori delle apparecchiature ma, se si estrapola, è possibile estendere questo concetto all’impianto intero. In tal modo il “Manuale di Manutenzione” dell’intero impianto dovrebbe

contenere le informazioni utili e necessarie per “*impostare la manutenzione*” dell’impianto stesso.

Questo concetto è presente, viene ampliato ed è anche meglio definito dalla scuola anglosassone.

Il Manuale di Manutenzione “contiene le politiche, l’organizzazione e le procedure di manutenzione che devono essere applicate da una impresa durante l’esercizio della funzione di manutenzione. In esso devono anche essere riportati i metodi standard utilizzati per la manutenzione e riparazione delle apparecchiature. Esso deve infine precisare come gli obiettivi della gestione della manutenzione confluiscono e si integrano con quelli aziendali”[6].

In base alle definizioni sopra riportate, lo scopo del manuale di manutenzione è quello di contenere tutte le informazioni utili e necessarie ad organizzare, progettare, pianificare, eseguire e gestire il complesso processo di manutenzione. I contenuti del manuale sono strettamente dipendenti dal suo scopo. L’assegnazione di alcuni contenuti ad uno scopo può non essere sempre univocamente ben definibile; essa dipende anche dalla cultura o dalle consuetudini presenti in ogni azienda. Per quanto riguarda la provenienza delle informazioni si osserva che, nelle prime fasi del ciclo di vita dell’impianto, la maggior parte dei dati è prodotta da società terze. Queste sono in genere quelle che si occupano di: progettazione, fornitura di beni, servizi, montaggi e collaudi. Nella seconda fase del ciclo di vita, l’azienda eredita tutto il patrimonio di informazioni, le revisiona in base ai dati di campo e le implementa integrandole con i dati gestionali. L’assegnazione della provenienza della documentazione ad una particolare tipologia di terze parti o funzioni aziendali è meramente indicativa. Essa è fatta in base al peso che normalmente hanno le ditte terze o l’azienda nella realizzazione dei contenuti del Manuale di Manutenzione. La maggior parte della documentazione, infatti, è prodotta con il concorso di più attori sia interni che esterni all’azienda. L’analisi evidenzia che i contenuti del Manuale di Manutenzione:

1. provengono da fonti diverse;
2. sono prodotti in tempi diversi;
3. sono soggetti a frequenti aggiornamenti/revisioni;

Dal punto 1 deriva la disomogeneità sia formale che qualitativa delle informazioni disponibili che le rende spesso non direttamente correlabili tra loro e quindi non facilmente utilizzabili. Molti argomenti, ad esempio, sono comuni a più documenti (ridondanza delle informazioni) ma risultano trattati in modo difforme tra loro (disallineamento delle informazioni) e talvolta i dati riportati sono persino contraddittori (inconsistenza delle informazioni). E' sufficiente confrontare i contenuti del Manuale di Manutenzione con quelli del "Libro Dati" (Data Book) dell'impianto per rendersi conto di quanto affermato. Dai punti 2 e 3 discende il fatto che qualsiasi versione del Manuale di Manutenzione, per sua natura, non può mai essere completa ed aggiornata nei suoi contenuti analitici. Quanto sopra è la motivazione più plausibile di quanto osservato in campo, e cioè che il Manuale di Manutenzione è un documento per lo più trascurato contenente, quando presente, informazioni incomplete ed obsolete. Non bisogna dimenticare che il concetto di Manuale di Manutenzione matura in periodi (anni 1950-1970) in cui il ruolo della manutenzione era secondario (veniva chiamata "Scienza della Conservazione" e poi "Terotecnologia"), l'organizzazione della manutenzione e le tecniche costruttive erano piuttosto stabili, le apparecchiature e gli impianti non eccessivamente complessi, le tecnologie informatiche quasi del tutto assenti. Da qui forse scaturì la visione di un documento onnicomprensivo e "statico", al pari di tanti altri elaborati cartacei, sulla falsariga della struttura del "Diario di Macchina" e del "Libro Dati" dell'impianto.

Ripensare il Manuale di Manutenzione secondo le esigenze odierne significa dover tenere conto di quattro aspetti operativi fondamentali:

- esso deve essere un prodotto dinamico in continuo divenire, ossia aggiornabile ed aggiornato in tempo reale da servizi con competenze diverse;

- esso deve poter essere facilmente consultabile in qualsiasi luogo dell'azienda e deve poter fornire informazioni strategiche, organizzative, gestionali e tecniche differenziate in relazione alla funzione ed al ruolo di ciascun utente;
- le informazioni devono riguardare sia attività specifiche che risultati di attività aggregate e devono poter essere sia analitiche, sia sintetiche, sia derivanti da elaborazioni. Il tutto deve essere eseguito in tempo reale per tener conto di tutti gli aggiornamenti effettuati, anche di quelli in corso d'opera;
- le informazioni in esso contenute devono avere il massimo della congruenza ed integrazione (consistenza delle informazioni).

Queste necessità possono essere in gran parte soddisfatte mediante l'utilizzo, come supporto di base, degli strumenti dell'Information Technology". L'aspetto informatico, che è e rimane solo un supporto, non deve far perdere di vista quello relativo alla manutenzione che consiste nel creare una struttura logica e coerente della documentazione e delle informazioni in essa contenute o ricavabili. Vi sono ancora due aspetti gestionali che devono necessariamente essere considerati:

- la valutazione dei risultati della manutenzione in termini di prestazioni ed efficacia;
- la pianificazione del miglioramento continuo.

Questi due aspetti rendono indispensabile ripensare e strutturare le attività di manutenzione secondo un approccio per processi. Un processo è l'insieme di attività necessarie a trasformare un ben definito elemento in ingresso (input) in un altrettanto ben definito elemento in uscita (output). Un approccio per processi significa allora strutturare le attività in modo tale che possano essere ben individuabili tutti gli input-output di ogni singolo processo e controllabili sia i suoi legami interni che esterni dovuti a tutte le combinazioni ed interazioni con gli altri processi con cui interagisce. Solo con tale approccio, infatti, risulta possibile ottenere degli indicatori oggettivi

per la misura delle prestazioni e, nel tempo, tracciare un percorso di miglioramento continuo.

Rimane infine da considerare una ulteriore esigenza, quella di:

- avere uno strumento per la gestione corrente degli interventi di manutenzione per mezzo del quale essi possano essere progettati, pianificati e schedulati, ed i cui risultati possano essere storicizzati (archivio degli interventi) ai fini sia del controllo che del miglioramento delle pratiche di manutenzione adottate.

Questa esigenza è completamente soddisfatta dai “Sistemi Informativi di Manutenzione Computerizzati (SIMC)” noti anche come “Computerised Maintenance Management Systems - (CMMS)”.

Il Manuale di Manutenzione, rivisitato in base alle esigenze sopra riportate, non si configura più come un unico documento cartaceo onnicomprensivo, ma come un complesso di specifici documenti elettronici, archivi dati (database) e programmi software, tutti relazionati tra loro, gestiti mediante supporto informatico. In particolare, si propone l'adozione di una architettura logica strutturata su più livelli. Poiché l'architettura in oggetto è conforme a quella della Qualità (ISO 9001:2000), il Manuale di Manutenzione progettato e strutturato secondo la nuova concezione diverrebbe, di fatto, il “Manuale di Qualità della Manutenzione”.

1.4.1 Architettura del manuale di qualità della manutenzione

Livello I – Strategico

Il primo livello è quello Strategico e corrisponde al “Manuale della Qualità” della ISO 9001:2000. In esso è presentato il “Sistema” attraverso il quale si assicura il servizio di manutenzione (Sistema Manutenzione) ed il “Livello” raggiunto da tale servizio (Livello del Servizio). A livello strategico è necessario definire:

- le attività principali della funzione di manutenzione e la loro criticità;
- gli obiettivi, la filosofia, le strategie e le politiche adottate per tali attività;
- i criteri e gli indici utilizzati (Key Performance Indexes - KPI) per la misura delle prestazioni e del miglioramento continuo delle attività principali;
- gli standard, i criteri e le metodologie di riferimento adottate per l'attuazione della filosofia, delle strategie e delle politiche definite. Questi documenti di riferimento rappresentano la base culturale di manutenzione dell'azienda e devono essere oggetto di continuo studio, revisione e sviluppo;
- l'organigramma della funzione di manutenzione con la descrizione delle relative funzioni, responsabilità, doveri e delle necessarie competenze. Sia il numero che le competenze del personale di manutenzione devono naturalmente essere congruenti con le attività, gli obiettivi, la filosofia, le strategie e le politiche di manutenzione che si intendono condurre e perseguire. Si pone l'accento sul fatto che il livello culturale del personale di manutenzione costituisce un cespite (asset) dell'azienda che, seppur immateriale, non è tuttavia meno importante degli altri.

Si ricorda che per:

- Filosofia di Manutenzione si intende un sistema di principi che guidano l'organizzazione e l'esecuzione della manutenzione.
- Strategia di Manutenzione si intende il quadro nel quale vengono prese le decisioni riguardanti la manutenzione ed il controllo dei prodotti non voluti derivanti dalla manutenzione.

- Politica di manutenzione si intende la descrizione delle relazioni tra le linee di manutenzione, i livelli di intervento ed i livelli di manutenzione da applicare per la manutenzione di una entità.

In termini sintetici la filosofia, la strategia e la politica di manutenzione sono, nell'ordine:

- i principi generali scelti come ispiratori dell'organizzazione e dell'esecuzione della manutenzione;
- l'ambiente di esercizio ed i vincoli che caratterizzano e circoscrivono i principi ispiratori scelti;
- le modalità operative individuate in base ai principi scelti, all'ambiente di esercizio ed ai vincoli imposti.

E' opportuno suddividere il sistema manutenzione nei seguenti quattro sotto-sistemi:

- Manutenzione
- Gestione materiali di manutenzione
- Formazione del personale di manutenzione
- Interfacce

Ciò al fine di non sottovalutare nella definizione degli obiettivi quegli aspetti che, seppur non direttamente controllati dalla funzione di manutenzione, influenzano comunque pesantemente i risultati attesi. La granulazione in questi quattro sotto-sistemi permette infatti di controllare efficacemente se quanto definito in documenti elaborati da altre funzioni aziendali è congruente con gli obiettivi e le esigenze della manutenzione. In caso contrario è possibile richiedere tempestivamente revisioni per il necessario allineamento.

Il sotto-sistema "Manutenzione" può essere articolato nelle sue quattro sotto-funzioni canoniche quali: pianificazione lavori (preparazione e

programmazione), esecuzione lavori, ingegneria di manutenzione, controllo tecnico- gestionale della manutenzione.

Il sotto-sistema “Gestione Materiali” risulta compiutamente definito dai seguenti macro-processi: gestione scorte, approvvigionamento, gestione magazzino. Quanto è di diretta competenza della funzione di manutenzione o degli acquisti dipende da specifiche scelte aziendali. Particolare importanza riveste il sotto-sistema “Formazione” del personale di manutenzione. Una buona filosofia formativa deve prevedere l’analisi delle esigenze formative, la pianificazione di una formazione mirata e continua, il sistematico monitoraggio delle competenze e dei miglioramenti raggiunti.

Per sotto-sistema “Interfacce” si intendono i rapporti instaurati con tutte le funzioni aziendali, e non (ditte terze), che interagiscono con la manutenzione (esercizio, acquisti, personale, logistica, qualità, sicurezza (HSE), costruttori di apparecchiature, società di servizi di manutenzione, officine esterne, laboratori di taratura, etc.).

Il “Sistema Manutenzione” sopra definito diviene operativo solo attraverso l’uso congiunto di strumenti organizzativi (Procedure), gestionali (SIMC, software finalizzati) e tecnici (dati relativi all’impianto, alle apparecchiature, alle modalità di esecuzione della manutenzione). Il primo livello (Strategico) ha una corrispondenza anche con la tecnica di gestione dei progetti: esso corrisponde al “cosa fare” e “quali sono le risorse disponibili”.

Livello II - Organizzativo

Il secondo livello è quello Organizzativo e corrisponde al “Manuale delle Procedure” della ISO 9001:2000. Esso contiene il flusso organizzativo delle attività (workflow), flusso che viene formalizzato mediante appositi documenti noti come “Procedure”. Le procedure definiscono, per le attività più rilevanti, la sequenza delle azioni che devono essere compiute, chi le compie, quali sono i dati di ingresso-uscita, quali sono i risultati ottenuti. Le procedure devono essere definite per ciascuno dei quattro sotto-sistemi in precedenza individuati. Le procedure dei sotto-sistemi “Gestione Materiali”,

“Formazione” ed “Interfacce”, in genere, sono in gran parte già presenti in quanto formalizzate da altre funzioni aziendali. In questo caso esse possono essere utilizzate così come sono oppure, dopo attenta analisi da parte della funzione di manutenzione, possono richiedere opportune revisioni. Uno dei vantaggi del “Manuale di Qualità della Manutenzione” così concepito risiede nel fatto che le procedure del sotto-sistema “Interfacce”, nella revisione più aggiornata, possono essere direttamente agganciate, visualizzate e stampate dagli utenti di manutenzione in qualsiasi momento pur essendo gestite da altre funzioni aziendali. Non tutti i flussi ricadenti nel sotto-sistema “Interfacce” possono essere compiutamente descritti mediante lo schema standard utilizzato per le procedure. Attività di manutenzione affidate in modo preponderante a ditte esterne, quali ad esempio:

- Fermate di impianto
- Terziarizzazione di attività consistenti
- Servizi di Manutenzione Globale (Maintenance Global Services)

comportano la realizzazione di veri e propri “Piani di Qualità” di progetto.

Questi “Piani di Qualità” di progetto devono ricalcare, per quanto possibile, la struttura del Manuale di Qualità della Manutenzione con i suoi 4 livelli. In questi casi, particolare attenzione deve essere data alle procedure di coordinamento tra azienda e ditte assuntrici. Qualora l’azienda utilizzi un SIMC, la maggior parte delle procedure di manutenzione e di gestione materiali hanno lo scopo di indicare come le attività debbano essere svolte mediante l’utilizzo del pacchetto software. In questo caso le procedure sono numerose e dettagliate ma comunque riconducibili ai seguenti argomenti principali:

- Gestione dei Cespiti
- Gestione delle Risorse
- Manutenzione Non Programmata

- Manutenzione Programmata
- Gestione Piani di Lavoro
- Gestione Ordini di Lavoro
- Pianificazione e Schedulazione
- Gestione dei Magazzini
- Gestione degli Acquisti

Anche il secondo livello (Organizzativo) ha una corrispondenza con la tecnica di gestione dei progetti: esso corrisponde al “chi fa cosa con quali risultati”.

Livello III - Gestionale

Il terzo livello è quello Gestionale e corrisponde alle “Istruzioni” della Qualità della ISO 9001:2000. Esso è attualmente caratterizzato da strumenti gestionali tipo computerizzato (pacchetti o prodotti software). Lo strumento gestionale per eccellenza è il “Sistema Informativo di Manutenzione Computerizzato” (SIMC o, in inglese, CMMS). Esso costituisce il centro di massima aggregazione e strutturazione di tutte le informazioni riguardanti la manutenzione. In termini più specialistici le informazioni sono coerenti tra loro, strutturate in apposite tabelle e legate tra loro mediante relazioni. Questa struttura dati permette di ottenere facilmente qualsiasi livello desiderato di aggregazione dell’informazione. Le informazioni in oggetto risiedono su archivi elettronici denominati banche dati o più precisamente Relational Data Base Management System (RDBMS). Il SIMC è costituito da un programma (software) che emula tutti i flussi procedurali definiti al livello II ed elabora le informazioni residenti sul RDBMS provenienti dal livello IV. Il SIMC produce, inoltre, ulteriori informazioni anch’esse immagazzinate sul RDBMS. Il SIMC elabora una vasta gamma di rapporti standard e ha la possibilità di configurare ulteriori rapporti di interesse dell’utenza. Tramite questi rapporti tutte le attività di manutenzione possono essere analizzate e controllate.

A questo livello si pongono anche software che automatizzano specifiche funzioni specialistiche o che elaborino dati provenienti da più banche dati per fini particolari. Tra i primi vi sono quelli utilizzati per le analisi RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) o di criticità delle apparecchiature. Tra i secondi quelli che correlano i dati provenienti da più funzioni aziendali ai fini di analisi aggregate di alto livello utilizzate prevalentemente dalla direzione.

Anche il terzo livello (Gestionale) ha una corrispondenza con la tecnica di gestione dei progetti: esso corrisponde al “chi fa cosa, come, dove e quando”.

Si pensi, ad esempio, all’emissione dell’ordine di lavoro da parte del SIMC: in esso, tra le altre informazioni, è definito cosa fare e come farla (è riportata la tipologia di intervento e, spesso, anche la relativa istruzione di lavoro), dove il lavoro deve essere eseguito (sotto-impianto, unità, apparecchiatura), quando il lavoro deve essere effettuato (arco temporale dell’intervento), chi deve eseguirlo (indicazione della squadra, della qualifica di ciascun componente e del nominativo).

Livello IV - Tecnico

Il quarto livello è quello Tecnico e corrisponde ai “Modelli e Standard” della Qualità della ISO 9001:2000. A questo livello appartiene tutta l’informazione tecnica di base del “Sistema Manutenzione” che, in genere, è poco o niente affatto strutturata in quanto proveniente da discipline diverse. Il quarto livello, a sua volta, può essere suddiviso in due sotto-livelli che tengono conto, rispettivamente, dei

- dati elementari non strutturati (sotto-livello I) il cui utilizzo è essenzialmente circoscritto alla disciplina di provenienza. A questa categoria appartengono dati quali quelli provenienti dalla documentazione tecnica relativa all’impianto (disegni e liste di ingegneria), alle apparecchiature (manuali dei costruttori), alle parti di ricambio.

- dati parzialmente correlati ed integrati (sotto-livello II) provenienti da un primo livello di elaborazione. A questa categoria, con riferimento ai dati elementari sopra citati, appartengono elaborazioni in cui si effettua l'elenco, strutturato secondo una gerarchia (configurazione dell'impianto o Master Equipment List), degli elementi di impianto codificati dall'ingegneria (Tag), quindi si associano ai Tag i rispettivi modelli di apparecchiature e, infine, a ciascun modello si associa la relativa scheda contenente le sue parti di ricambio.

Queste elaborazioni sono riversate in archivi elettronici che permettono la loro facile ripresa da altri sistemi computerizzati che realizzano aggregazioni di informazioni di livello ancora superiore. Le elaborazioni provenienti dal sotto-livello II costituiscono una parte rilevante dell'informazione necessaria all'implementazione del SIMC.

Indice generale

L'indice generale, seppur menzionato per ultimo, è nondimeno tra gli elementi fondamentali dell'architettura del Manuale di Qualità della Manutenzione. Esso svolge il ruolo di elenco della documentazione esistente, di navigatore per l'aggancio dei documenti e di registro interattivo. In particolare le principali funzioni sono quelle di:

- "Indice degli indici", ossia ingloba in un quadro organico e strutturato (per argomenti ad esempio) tutti i singoli documenti rilevanti ai fini della manutenzione;
- aggancio automatico (hyperlink) ai documenti citati nell'indice;
- archivio che memorizza la storia delle revisioni dei singoli documenti;
- strumento di interazione tra tutti gli utenti del sistema;
- archivio delle registrazioni di Qualità.

L'indice generale, in sintesi, è in primo luogo un navigatore che permette di conoscere i documenti presenti, quelli attivi e quelli obsoleti, i loro contenuti, chi li ha prodotti e/o revisionati, il loro stato di revisione, la storia delle revisioni effettuate, la locazione del documento fisico ed, infine, di agganciare, visualizzare e stampare il documento elettronico selezionato. In qualità di registro interattivo, l'indice generale aggancia una serie di archivi nei quali è contenuta sia la storia delle interazioni (domande, soluzioni, note) del personale di manutenzione che delle registrazioni di Qualità (lista delle azioni correttive e preventive, risultati delle verifiche ispettive).

1.4.2 Il supporto tecnologico

Il supporto tecnologico necessario per la realizzazione di un prodotto quale quello presentato è costituito dagli strumenti messi a disposizione dall'Information Technology & Communications (ITC). La parte fisica (hardware) è costituita dalle reti di comunicazione, dai server dati e dai personal computer. La parte gestionale è costituita da archivi dati (database) e da una serie di programmi (software) che permettono la gestione dell'informazione. I programmi possono essere:

- di supporto generico (suites composte da editore di testi, editore di presentazioni, fogli elettronici).
- di supporto grafico (prodotti per la realizzazione di disegni, grafici e diagrammi a blocchi).
- di supporto audio-video (prodotti per il trattamento di testi vocali, audio, immagini e filmati digitali).
- di supporto tecnico (realizzano in modo automatizzato attività specialistiche quali analisi RAMS o di criticità).
- di supporto progettuale (prodotti per la realizzazione di disegni di impianto o di apparecchiature mediante planimetrie, assonometrie e modellizzazione solida).
- di supporto gestionale sia per la manutenzione (SIMC), sia per ottenere rapporti personalizzati da più archivi dati.

L'utilizzo combinato di questi supporti permette la realizzazione di documenti multimediali finalizzati alla dimostrazione di come devono essere realizzate alcune attività particolarmente critiche. Si pensi, ad esempio, alla grande utilità di presentare parte delle istruzioni di lavoro mediante audiovisivi. Questi documenti potrebbero essere utilizzati sia per le attività di addestramento che per quelle operative. La selezione e l'aggancio dei documenti è effettuato mediante l' "Indice Generale". L'apertura, la visualizzazione e l'aggiornamento dei documenti è invece possibile solo se sul personal computer dell'utente sono installati gli idonei applicativi. Da notare che le infrastrutture hardware, i database e la maggior parte dei programmi software sono già presenti in ogni azienda e che, pertanto, la realizzazione di una simile architettura non ha grandi ostacoli realizzativi a livello di supporto tecnologico.

L'architettura del Manuale di Qualità della Manutenzione potrebbe essere resa operativamente ancora più semplice e di facile utilizzo qualora fosse supportata dalla tecnologia Web. In tal caso tutta la documentazione da consultare verrebbe "pubblicata" (Hyper Text Markup Language - HTML) su un Web Server internet o intranet. Qualsiasi utente, anche in sedi remote, potrebbe accedere a questa informazione utilizzando la rete internet/intranet come supporto di comunicazione ed il proprio personal computer con il solo programma di visualizzazione (browser), senza cioè la necessità di avere installati anche i programmi software che rendono possibile la gestione delle varie tipologie di archivi dati. L'utilizzo di tale tecnologia diviene ancora più interessante se applicata all'interno di impianti utilizzando le radiofrequenze o la telefonia mobile come canali di connessione (reti wireless). Poiché questa soluzione è già pratica da alcuni SIMC, si offrirebbe al personale di manutenzione operante in campo la possibilità di accedere, con dei semplici palmari, sia al SIMC che a tutta la documentazione del Manuale di Qualità della Manutenzione (MQM). Una altra utile funzione che il supporto informatico può fornire è la possibilità di realizzare un motore di ricerca per argomenti, simile a quelli utilizzati in internet, in modo da tracciare tutti i documenti che contengono una data

parola chiave o stringa. In questo caso diviene possibile prendere rapidamente visione di tutta l'informazione disponibile relativa a dati molto disaggregati. Questa potenzialità potrebbe divenire indispensabile qualora si intenda creare un "Sistema Documentale" altamente integrato quale quello necessario, ad esempio, a grandi aziende con molti impianti dislocati su vaste aree geografiche.

Capitolo 2 - La manutenzione su condizione

2.1 GENERALITÀ

E' la manutenzione compiuta in risposta al degrado misurato di un'entità, cioè in base alla condizione dell'entità (on-condition) [1].

Lo scopo della manutenzione su condizione è quella di ridurre la probabilità che si verifichi un guasto a un livello accettabile per il proprietario o utente del sistema, attraverso l'utilizzo *efficace* ed *efficiente* di diverse tecniche diagnostiche. E' bene non confondere questa tipologia di manutenzione con quella predittiva che esige la presa in considerazione della vita residua del sistema analizzato. Le due politiche di manutenzione sono sempre correlate al degrado ma quella on condition si basa sul raggiungimento di una soglia di allerta e/o allarme, mentre quella predittiva deve poter valutare la vita residua del sistema [7].

La manutenzione su condizione è quella *manutenzione preventiva basata sul monitoraggio delle prestazioni di un' entità e/o dei parametri significativi per il suo funzionamento e sul controllo dei provvedimenti conseguentemente presi* [9].

Una trend analysis, attraverso uno o più parametri diagnostici, fornisce un' indicazione che mostra che il sistema o un componente è affetto da un processo di deterioramento.

La misura del degrado di un'entità si può basare su diverse modalità, a seconda del livello di sofisticazione strumentale e specialistico adottato [1].

- L'approccio di base alla manutenzione on-condition è quello che si realizza con le ispezioni sensoriali. I sensi (vista, tatto, udito, olfatto) sono le prime leve per attuare la manutenzione su condizione di un entità. Per la loro semplicità, è opportuno stimolare gli addetti all'esercizio dell'entità all'ispezione

sensoriale ed alla segnalazione di eventuali anomalie di funzionamento, sintomo premonitore di un degrado. Ad esempio una perdita d'olio può essere un indicatore sintomatico dello stato di degrado di qualche guarnizione. E' facile che l'operatore di esercizio si avveda di questa perdita (specie se tiene pulito il suo posto di lavoro) e possa segnalare il sintomo premonitore di un possibile guasto e avviare una diagnosi dell'origine della perdita con un eventuale successivo intervento.

- L'ispezione sensoriale, oltre che del personale di esercizio, è anche un compito del personale addetto alle ispezioni, che durante i giri di ispezione periodica esegue in genere anche attività di ispezione strumentale. Le ispezioni periodiche sono volte ad individuare i sintomi premonitori di guasti incipienti (in base a misure sensoriali oppure strumentali), svolte sia con impianto in moto, che con impianto fermo (nei casi in cui sia necessario effettuare uno smontaggio di parte dell'entità per eseguire i controlli). Per esempio, l'ispezione del mandrino di una macchina utensile può richiedere diversi controlli: il controllo sensoriale (visivo) dei giunti rotanti o il controllo (uditivo) della rumorosità (eseguito a macchina in moto), invece la misura di eccentricità con bolla del mandrino va eseguita a macchina ferma. Se viene riscontrato il superamento di alcune condizioni limite per i parametri correlati allo stato di degrado di un'entità o di un suo componente, quale che sia il metodo usato, viene avviata un'opportuna contromisura di manutenzione per la regolazione programmata dell'entità o la sostituzione di qualche componente o sottosistema.
- La manutenzione su condizione si può basare anche su esami specialistici in cui si va a misurare lo stato di integrità dell'entità rispetto ai difetti causati dal processo produttivo (es. difetti generati dai processi di saldatura e fusione) oppure provocati dall'uso (difetti causati dall'attrito, cricche generate da urti, ...).

Una modalità di manutenzione su condizione è quindi basata sul monitoraggio periodico dei materiali con test specialistici – le cosiddette prove non distruttive – volti all'individuazione, mediante opportune tecniche di rilievo, dei difetti ingeneratesi durante l'uso dell'entità o in seguito ad eventuali ricostruzioni. Il superamento di un livello di tolleranza fissato per ciascuna prova è la condizione di non accettazione dello stato di integrità del materiale, e di avvio di conseguenti contromisure manutentive preventive (sostituzione, revisione, ricostruzione).

- Si adottano inoltre metodi di misura strumentale di grandezze fisiche capaci di indicare mediante monitoraggio, diagnostica e predizione la tendenza al degrado di un'entità. Tali metodi sono basati sull'analisi di uno o più segnali generati nel funzionamento dell'entità per cui si possa verificare la rispondenza alle specifiche di funzionamento attese e l'eventuale tendenza di degrado (ad es. si può usare la tecnica di analisi vibrazionale per il monitoraggio di macchine rotative grazie all'impiego di un accelerometro installato in un punto adeguato della macchina). La disponibilità di una catena di misura strumentale consente di diagrammare nel tempo l'ampiezza di uno o più parametri significativi, attraverso il cui andamento è possibile prevedere in quale istante temporale si supereranno i limiti di funzionamento accettabile. Ciò consente di predire quando deve essere effettuato l'intervento di manutenzione a contrasto del degrado.

In generale, il concetto alla base della politica su condizione è quello di non compiere alcun tipo di manutenzione finché le condizioni operative dell'entità restano stazionarie e non raggiungono un livello d'allerta. Da questo momento – che è il livello a cui iniziano ad emergere dei segnali premonitori del potenziale degrado – in poi, ci si deve preoccupare di effettuare un controllo del deterioramento più frequente, in modo tale da

seguire più da vicino l'andamento del degrado e così poter anticipare l'eventuale accelerazione del degrado prima che sia troppo tardi.

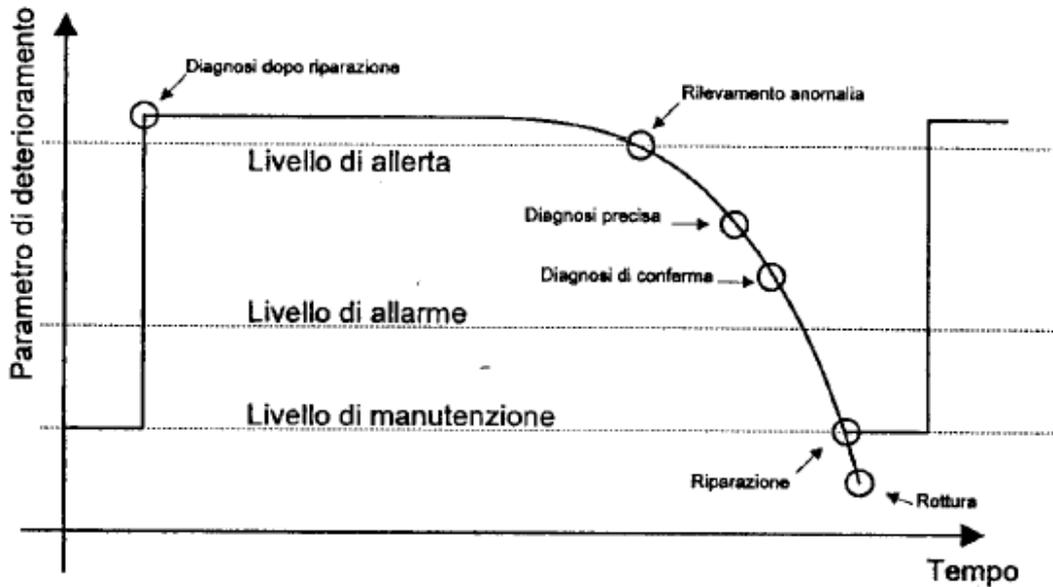


Figura 2.1 : *Manutenzione su condizione del deterioramento di un'entità (andamento del segnale)*

Il controllo consente quindi di poter avviare la manutenzione a seguito dell'avvenuto superamento di un limite (ad esempio del livello di allarme).

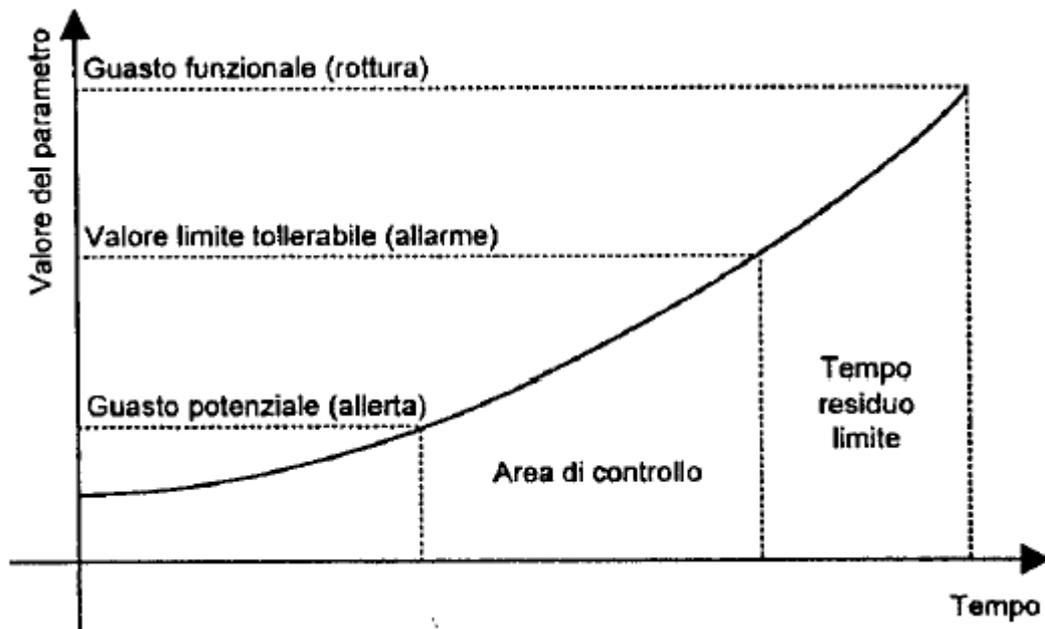


Figura 2.2 : *Manutenzione su condizione del deterioramento di un'entità*

2.2 PREREQUISITI ORGANIZZATIVI DELLA POLITICA DI MANUTENZIONE SU CONDIZIONE

La politica di manutenzione su condizione richiede alcuni prerequisiti organizzativi, principalmente per poter assicurare la capacità di eseguire le attività di ispezione e monitoraggio, con le relative analisi, interpretazioni e decisioni (è sempre vera la massima che un controllo o lo si fa bene o è meglio non farlo!).

- Il personale deve avere un'adeguata qualificazione alle attività di controllo cui è chiamato. E' necessaria cioè un'adeguata organizzazione dei compiti di ispezione e monitoraggio che tenga conto, da un lato, della complessità di esecuzione del compito di controllo e, dall'altro, della qualificazione e delle competenze richieste per l'impiego di eventuale strumentazione e per l'interpretazione delle misure rilevate. In particolare, in funzione della specializzazione richiesta dalla tecnica di misura,

il personale deve possedere adeguate conoscenze tecniche nella propria specialità, per impostare la campagna di rilievo (essere cioè capace di individuare i parametri e punti di controllo delle proprie macchine). Deve inoltre saper utilizzare operativamente gli strumenti diagnostici, per essere capace di dare una valutazione sull'attendibilità e sul significato dei dati rilevati nel processo/contesto in cui sono stati ottenuti. Oltre alle competenze specialistiche deve quindi possedere anche conoscenze di tipo sistemico sul processo.

- L'ispezione sensoriale ha due elementi principali di criticità legati alla gestione del personale. Il personale di esercizio deve, da un lato essere cosciente della propria responsabilità e ruolo di prima sentinella di controllo del degrado dell'unità, dall'altro essere in grado di acquisire la giusta sensibilità alla segnalazione, in modo da non fare segnalazioni inutili. E' evidente, peraltro, la possibile variabilità di giudizio, che dipende dall'esperienza acquisita sul campo e nel lavoro di ispezione.
- Prima dell'implementazione della manutenzione su condizione è di fondamentale importanza un'attività di progettazione volta alla definizione delle entità che devono (e che possono, in funzione delle loro caratteristiche di testabilità) essere sottoposte ad ispezioni e monitoraggi. In seguito, il progetto deve stabilire anche i parametri che dovranno essere tracciati come sintomi premonitori del degrado e fissare i limiti di degrado (livelli allerta e allarme) con cui anticipare il guasto funzionale.
- Per realizzare operativamente una politica su condizione è necessario investire in attrezzature adeguate e in una sistematica attività di taratura periodica delle stesse per mantenere le caratteristiche di qualità delle misure strumentali effettuate.

- Valgono infine le medesime considerazioni per l'organizzazione della manutenzione preventiva ciclica: il coordinamento tra le attività di ispezione e monitoraggio con la programmazione delle attività di manutenzione richieste on condition, l'approvvigionamento dei materiali non presenti a magazzino, la predisposizione delle attrezzature per l'intervento, ecc.. Tutto ciò è di fondamentale importanza e si deve basare sia sul supporto di un adeguato sistema informativo per integrare la gestione operativa della manutenzione con la gestione delle attività specialistiche di ispezione e monitoraggio, sia sulla capacità di relazione dei diversi attori del servizio manutenzione.

2.3 VANTAGGI E SVANTAGGI DELLA POLITICA DI MANUTENZIONE SU CONDIZIONE

Scegliere una politica di manutenzione on condition porta con sé alcuni vantaggi e svantaggi operativi. Essa è quella che promette i migliori margini di miglioramento per la disponibilità di impianto e la riduzione dei costi totali (sia propri che indotti). Questa politica permette di programmare solamente gli interventi richiesti sulla base del reale stato di deterioramento di un'entità, evitando così di programmare in anticipo interventi non richiesti. Questi benefici (vedi tab.) sono però ottenibili con un certo costo di introduzione, dovuto all'acquisto di apparecchiature e al necessario training di specialisti.

Tabella 2.1: *Vantaggi e svantaggi della manutenzione su condizione*

Vantaggi	Svantaggi
Permette il miglioramento del controllo della disponibilità e sicurezza dei macchinari.	Comporta alti costi di investimento per la messa in pratica (attrezzature specialistiche e training degli operatori).

<p>Permette un miglior controllo delle attività di manutenzione (si programmano solamente le attività realmente necessarie, senza sprecare la vita residua potenziale dell'entità).</p>	<p>E' necessario un periodo di tempo di apprendimento per sviluppare una conoscenza affabile dei trend dei segnali misurati e saper valutare correttamente le condizioni di salute delle entità ed individuare le soglie di allarme.</p>
<p>Permette una migliore qualità della manutenzione (vengono ridotti gli interventi di manutenzione che possono introdurre fenomeni di mortalità infantile).</p>	
<p>Permette di accumulare e trasferire le conoscenze manutentive (la conoscenza dei segnali di degrado può costituire un'esperienza capitalizzabile nel progetto di nuove entità/impianti</p>	
<p>Permette di migliorare la gestione del personale di manutenzione (similmente alla manutenzione ciclica, permette di programmare l'utilizzo delle squadre di manutenzione, di ottimizzare le scorte di materiali e di predisporre le risorse prima dell'intervento).</p>	

2.4 LA MANUTENZIONE SU CONDIZIONE NELLE AZIENDE TPL

L'utilizzo della manutenzione su condizione nelle aziende di Trasporto Pubblico Locale (TPL) richiede un'opportuna riorganizzazione strutturale. L'evoluzione della tecnologia installata sugli autobus costituisce un ulteriore elemento che continua ad insistere sulla necessità di un rapido adeguamento complessivo del sistema organizzativo degli esercenti TPL. La tecnologia sul prodotto autobus, ed in particolare quella CAN BUS, ha conosciuto in questi ultimi anni una diffusione piuttosto significativa che è stata accompagnata da un'evoluzione altrettanto importante della diagnostica on board che ha reso disponibili via via nuove funzioni finalizzate al controllo del veicolo. Come conseguenza si è assistito ad un graduale ripensamento anche nelle scelte in tema di politiche manutentive con progressiva riduzione di interventi di manutenzione periodica (causa di perdita di percorrenze residue) ed a guasto (inevitabile ma penalizzante sul livello di servizio) a favore di un maggior ricorso ad interventi di manutenzione su condizione e migliorativa.

I piani di manutenzione proposti dai costruttori (PMC), puntando proprio sulle potenzialità offerte dalle nuove tecnologie montate a bordo dei veicoli e mantenendo fermo l'ovvio obiettivo di massimizzare la disponibilità, hanno introdotto la tendenza a diradare gli interventi di manutenzione periodica allungandone le scadenze chilometriche/temporali e raggruppandone i momenti di esecuzione (logica del "maxi tagliando" multimestiere). Questa nuova impostazione è stata poi completata attraverso una intensificazione delle verifiche ispettive e dei micro interventi manutentivi.

In buona sostanza, il progetto delle attività di manutenzione da parte del costruttore porta ad una minore necessità di fermo in officina per le attività a più elevato contenuto di competenza (le attività di riparazione guasto e di manutenzione correttiva che non possono necessariamente prescindere dal veicolo sulla fossa) che si unisce ad un elevato numero di

attività a minore contenuto di competenza che possono essere eseguite a piazzale senza pregiudicare la disponibilità del mezzo per l'esercizio.

2.4.1 Gli sviluppi organizzativi

Negli ultimi anni i costruttori di veicoli per il TPL hanno adottato un sistema di gestione del veicolo basato su logica digitale, CAN BUS, abbandonando il sistema di collegamento analogico dei vari dispositivi di bordo. Questo cambiamento costituisce una spinta determinante sulla struttura e sulle modalità di gestione della manutenzione dell'operatore TPL.

La tecnologia a bordo autobus provoca la spinta verso modelli organizzativi attraverso la possibilità di ottenere una gran mole di dati in tempo reale.

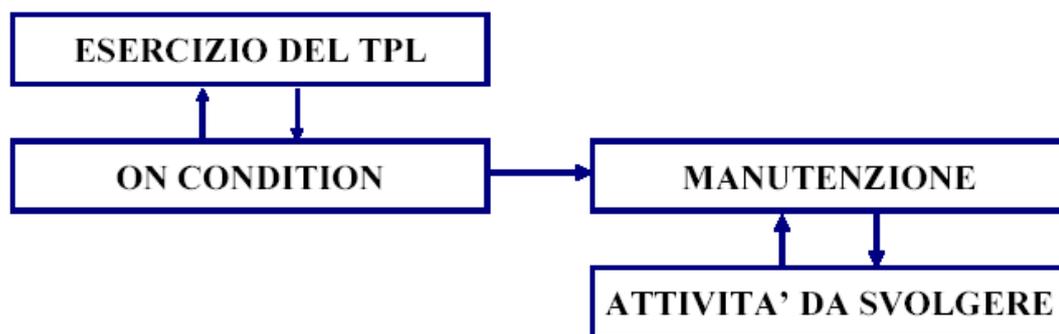


Figura 2.3: *La correlazione tra esercizio ed attività manutentive con adozione di manutenzione on condition*

La manutenzione on condition si interfaccia con la gestione del servizio ma non è integrabile a livello di processi gestionali in modo diretto e richiede modifiche organizzative per essere efficace in esercizio [10].

L'utilizzo di nuova tecnologia a bordo dell'autobus rappresenta la spinta necessaria per effettuare il cambiamento organizzativo.

Le varie attivazioni sui vari complessivi sono da analizzare in un'ottica integrata con il veicolo.

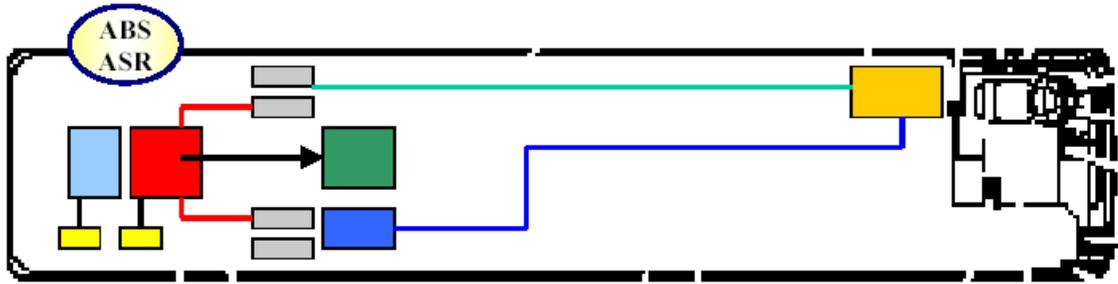


Figura 2.4: Le centraline dei complessivi che dialogano con il CAN BUS

I sistemi on condition sono un ulteriore colpo al modello organizzativo funzionale disegnato attorno alla distinzione tra i tre mestieri (M – Reparto Motoristi, E – Reparto Eletttricisti, C – Reparto Carrozze) e spingono verso la filosofia Full Service.

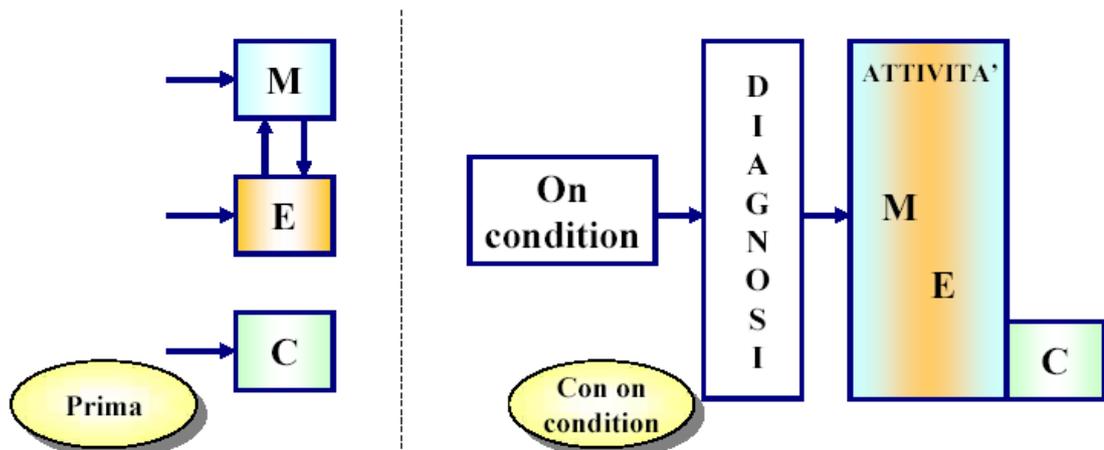


Figura 2.5: L'impatto della manutenzione on condition sull'organizzazione

La spinta costituita dalla manutenzione on condition provocherà dunque due situazioni opposte.

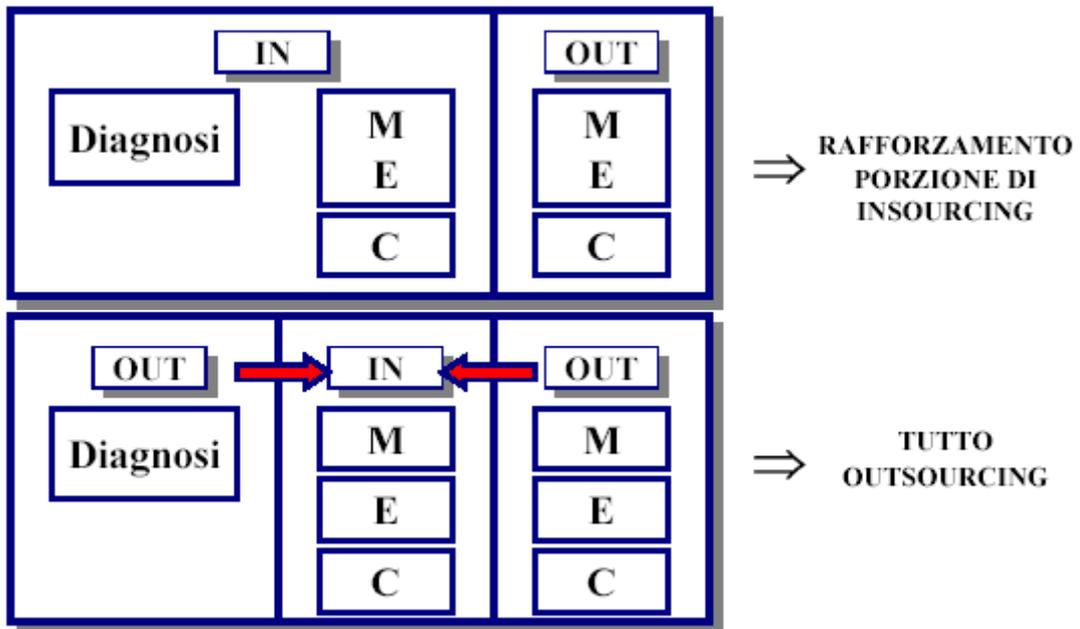


Figura 2.6: *Sviluppi organizzativi alla luce delle tecnologie on condition*

Il seguente diagramma di flusso illustra ancora una volta le difficoltà sistemiche di un progetto avente per oggetto la manutenzione on condition, mettendone in risalto il carattere ricorsivo. Negli anelli di ricorsione l'unico elemento che può incidere è rappresentato dalla competenza delle persone. Questo parametro, come noto, non è standardizzabile e, al tempo stesso, deve essere continuamente gestito. In questo è possibile riconoscere l'ambito manageriale più importante di questa nuova e fondamentale sfida che arriva dalle tecnologie installate sui veicoli.

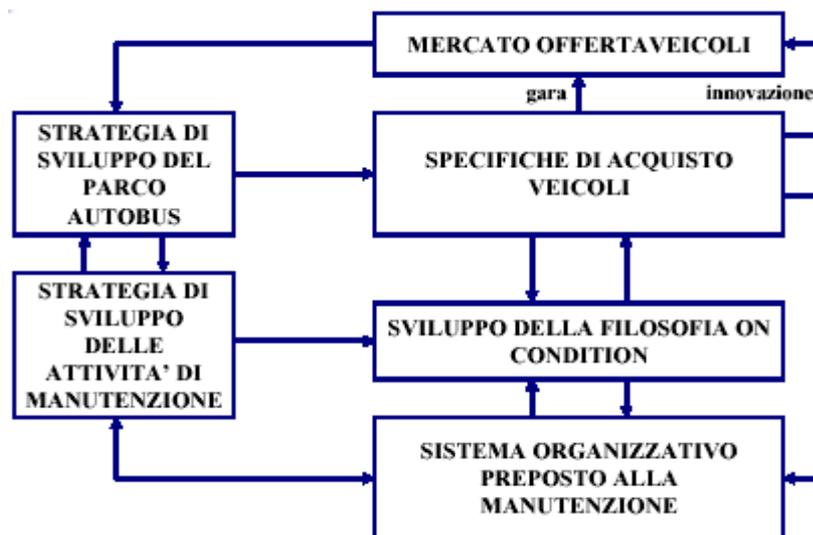


Figura 2.7: *Le entità organizzative interessate*

Le semplici considerazioni organizzative illustrate sono significative di talune difficoltà nelle quali possono incorrere progetti di orientamento verso la manutenzione on condition. Non vanno trascurati altri aspetti che potrebbero rivelarsi problematici, quali:

- Lo sviluppo ed il mantenimento delle competenze necessarie;
- Le integrazioni tra i sistemi informativi;
- L'organizzazione del lavoro e la sua remunerazione;
- La definizione a priori dell'ambito del progetto organizzativo di cambiamento e la sua comunicazione ai vari soggetti (proprietà, personale, ecc.);
- La comparazione con altre realtà per progetti di benchmarking.

La correlazione tra i vari elementi costitutivi del sistema rappresenta il vero sviluppo della politica manutentiva adottata.

Questo è il vero elemento di cambiamento delle organizzazioni che gestiscono la manutenzione!

Di qui la necessità di sviluppare filosofie di gestione del parco che siano innovative quali la manutenzione su condizione che possa portare risultati

economici e qualitativi attraverso opportuni strumenti quali le tecnologie e le risorse umane.

Ma come abbiamo accennato la manutenzione su condizione richiede una grande quantità di tecnologia, il che può risultare un problema e non più un'opportunità. Per adottare nuove tecnologie è necessario infatti adeguare:

- Cultura delle persone
- Progetti gestionali di inserimento dell'innovazione

Se si installa molta tecnologia sul veicolo si deve poi avere un ritorno effettivo! In caso contrario, si darà una valutazione elevata ai sistemi diagnostici in sede di acquisto dei veicoli e poi non si useranno!

Allo stesso modo, è assurdo adottare sistemi diagnostici pagati dall'esercente se poi si appalta la manutenzione! In questo caso, si dovrebbe, perlomeno, essere in grado di valutare quanto pesano le tecnologie nel far calare il costo dell'appalto del servizio di manutenzione alla flotta.

Inoltre, quando si usano tecnologie diagnostiche, servono Risorse Umane con le competenze necessarie per utilizzarle. Per adottare le tecnologie vi è la necessità di possedere competenze. Solo con le competenze necessarie si possono adottare le tecnologie.

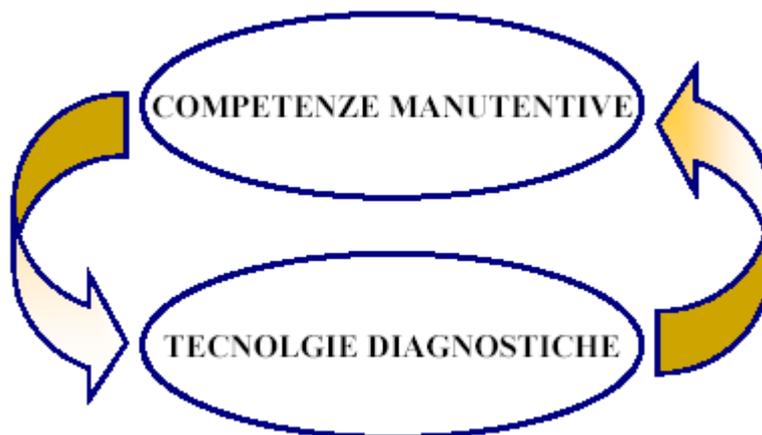


Figura 2.8: *Il loop tecnologie diagnostiche/sviluppo competenze*

Solo applicando la filosofia “on condition” in modo integrale la gestione della manutenzione riesce a cambiare RADICALMENTE. Se ci si limita ad applicare la tecnologia come GADGET, in realtà, non cambia la gestione della manutenzione! Quindi, adottare la manutenzione su condizione IMPLICA necessariamente una re-ingegnerizzazione della manutenzione stessa.

Oltre alla sfida sulla struttura organizzativa e sui relativi organici si deve considerare anche la sfida ulteriore messa in campo dalla tecnologia nel senso della modalità attraverso la quale l’autobus fornisce al sistema organizzativo i dati di diagnosi. Si presenta un trade off tra un sistema PULL nel quale la tecnologia a bordo autobus tira il sistema organizzativo della manutenzione e la fa intervenire in tempo reale.



Figura 2.9: *Il diverso approccio che deve essere sviluppato con la manutenzione “on condition”*

Al contrario, l’approccio risulterebbe di tipo PUSH, quindi a spinta, qualora l’organizzazione prendesse atto della anomalia a display o dai dati memorizzati a bordo soltanto in un secondo momento differito rispetto alla modalità tempo reale.

Gli aspetti rappresentati da:

- Tecnologia veicolo;
- Competenze richieste;
- Costi di gestione attesi rispetto a costi di gestione reali;
- Costo di installazione della tecnologia sul veicolo

risultano invece tra loro correlati così come riportato in figura.

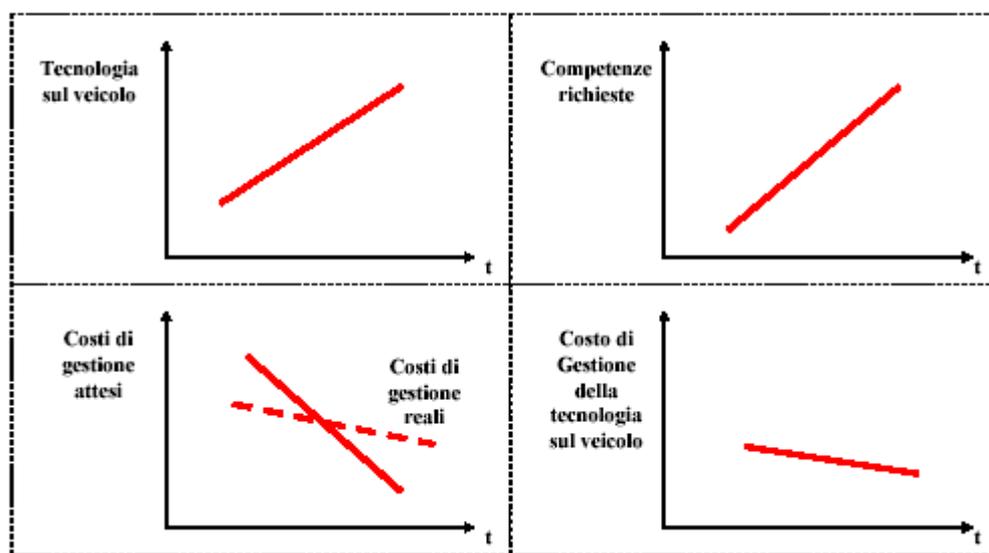


Figura 2.10: I vari trade off con le interazioni tra le diverse variabili in gioco

La stessa figura consente di osservare che le competenze richieste aumentano con la tecnologia installata e che la riduzione dei costi di gestione reale rimane decisamente inferiore rispetto a quanto atteso. Ciò peraltro va imputato, seppur in parte, proprio alla maggiore presenza di nuove funzioni a bordo del veicolo (climatizzazione, cartelli indicatori, ecc.).

Solo l'integrazione dei tre momenti:

- Progetto organizzativo che tenga conto della tecnologia;
- Scelta del posizionamento strategico delle attività di manutenzione;
- Mix di make or buy relativamente alle attività da svolgere

porta alle migliori performance della flotta.

L'evoluzione della flotta in termini tecnologici collegati al rinnovo è una variabile di input fondamentale al progetto di cambiamento organizzativo.

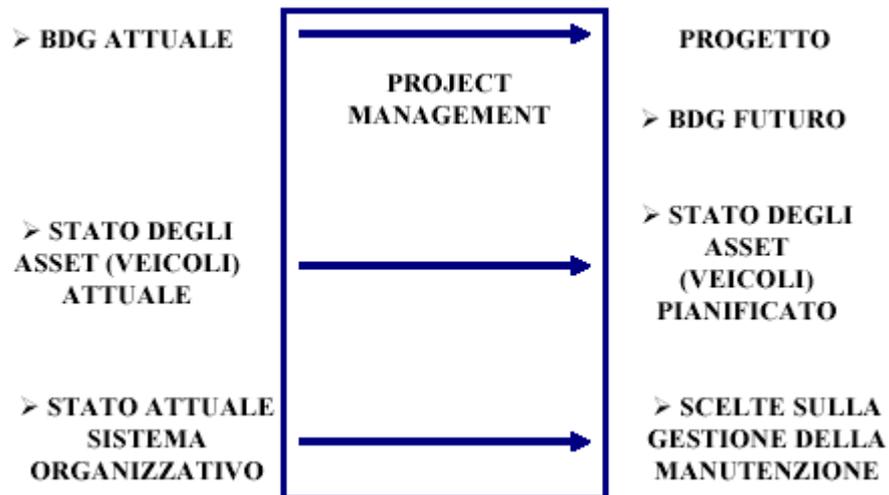


Figura 2.11: *Il progetto di intervento organizzativo di inserimento della manutenzione on condition*

La programmazione economica nell'ambito del budget economico annuale delle attività di manutenzione e degli standard manutentivi della flotta, deve basarsi su un coerente adattamento dell'organizzazione delle attività di manutenzione dell'esercente. Un dato importante è lo stato di partenza della tecnologia installata sui veicoli della flotta.

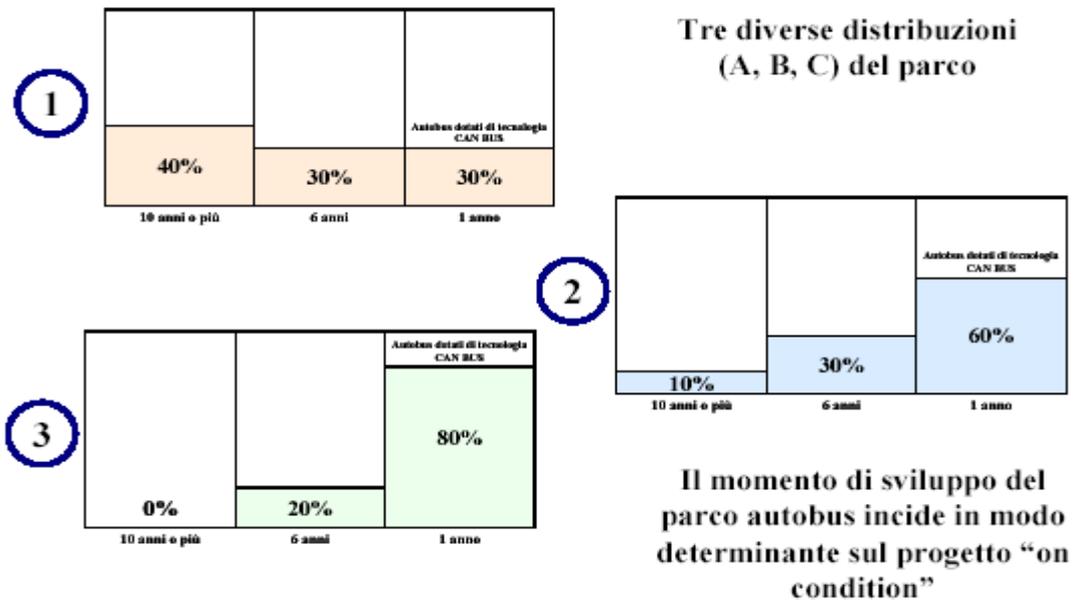


Figura 2.12: *Tempo per lo sviluppo del progetto "on condition" collegato al tempo di sviluppo parco autobus*

Una ripartizione della flotta che sia rispondente alla configurazione 1 consente infatti all' esercente di operare il processo di cambiamento importante ma non drammatico con un tasso di sviluppo delle competenze che probabilmente è sopportabile. Viceversa, uno sviluppo che voglia evolvere dalla configurazione 1 alla configurazione 3 nel giro di pochi anni può implicare, se non affrontato preventivamente, lo spiazzamento tecnologico di molti operatori di manutenzione dell' esercente o dei suoi fornitori.

In questo senso, nella figura seguente è riportato il collegamento specifico tra i vari elementi costituenti l' organizzazione della manutenzione [11].

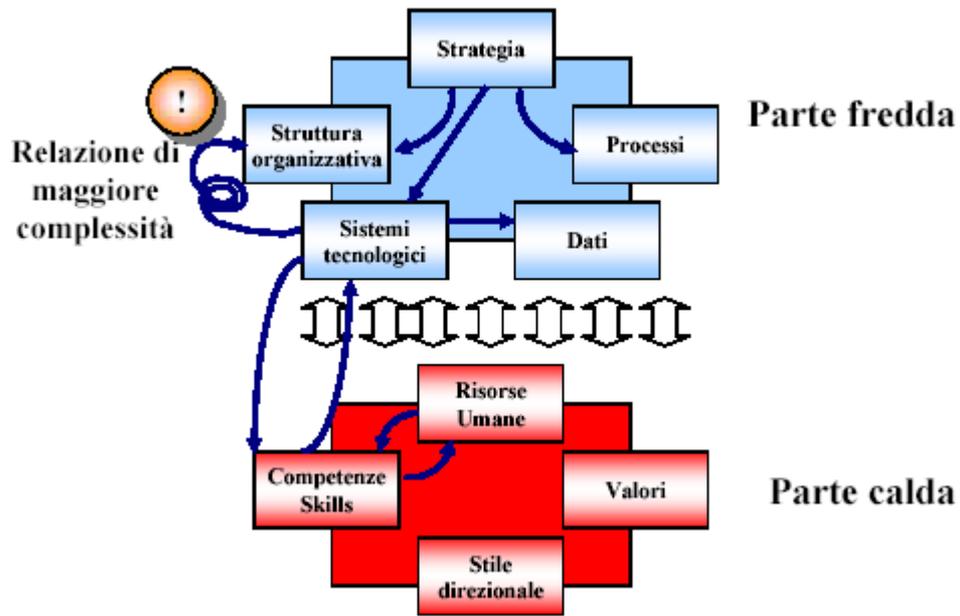


Figura 2.13: *Le interazioni fra le variabili organizzative*

Il motivo per il quale l'organizzazione è messa sotto pressione dalla tecnologia è che l'individuo impara soltanto se è motivato e quindi l'organizzazione deve creare un ambiente culturale favorevole a questo sviluppo.



Figura 2.14: *Il ciclo dello sviluppo delle competenze*

Nella figura successiva sono invece riportate le tre dimensioni principali di un processo integrato di cambiamento:

- Modifica tecnologica asset veicolo TPL con adozione del sistema can bus
- Modifica sistemi informativi off board e on board per la gestione del veicolo TPL
- Sviluppo delle competenze necessarie alla gestione dei veicoli.

Per evidenziare la complessità organizzativa della gestione di un simile processo di cambiamento sono riportati alcuni esempi di disallineamento temporale tra il progetto tecnologico e quello organizzativo.

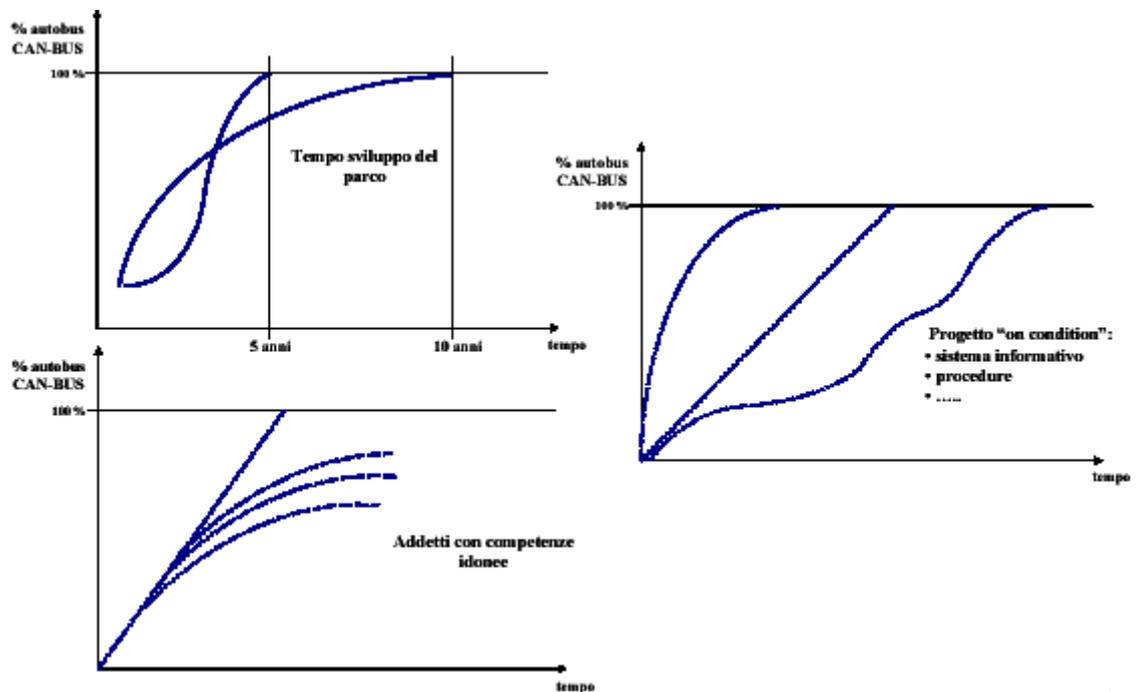


Figura 2.15: *Andamenti teorici e reali delle variabili organizzative legate ai progetti di adozione di manutenzione on condition*

Nel primo diagramma in alto a sinistra si può infatti assumere che il tempo effettivo di acquisizione della tecnologia can bus collegato all'inserimento di nuovi autobus richiede, per flotte composte da un numero elevato di veicoli un tempo variabile (e dipendente dalle politiche di finanziamento del rinnovo), che può andare dai 5 ai 10 anni nell'ipotesi tracciata.

Di fatto questa modifica della flotta dà i tempi del processo di cambiamento delle altre due dimensioni. Questo diagramma di sviluppo temporale e la sua correlazione con gli altri due, ad esso integrati, è l'ulteriore conferma del modello strategia x strategia poiché si evince che il cambiamento della flotta provoca un necessario cambiamento nelle modalità gestionali. La concettualizzazione della necessità di questo processo nel momento in cui si definisce il piano di rinnovo consente di sviluppare un progetto integrato.

I sistemi di gestione, i sistemi informativi di manutenzione ed i dispositivi di comunicazione tra veicoli TPL e sistema fisso (centrale operativa e depositi) possono anch'essi avere velocità di acquisizione e di utilizzazione efficace molto differenziate in relazione al contesto culturale dell'operatore TPL e alla qualità del processo di cambiamento organizzativo.

Infine il terzo elemento: le competenze. Lo sviluppo atteso e quello effettivo quali/quantitativo delle competenze possedute dalle risorse umane di manutenzione può avere tempi di attuazione molto diversi.

Detto che al solito questo è il più critico dei 3 sottoprocessi, è in questo passaggio che, infatti, l'efficacia complessiva viene messa alla prova dai comportamenti quotidiani del singolo addetto.

L'azienda in difficoltà sui tempi di sviluppo delle competenze necessarie alla gestione del nuovo sistema può essere tentata di acquisire all'esterno queste competenze con tutti i suoi rischi.

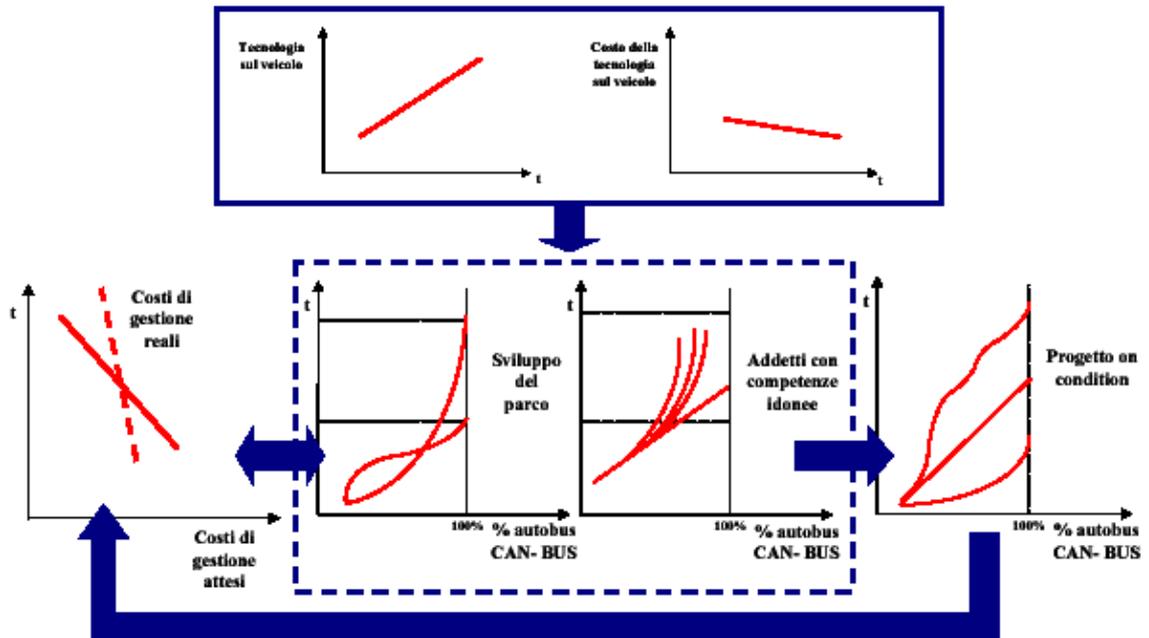


Figura 2.16: Il modello complessivo con input e output del processo di cambiamento legato all'adozione di tecnologie on board

Nel modello complessivo viene posto come input l'incremento di tecnologia sui veicoli, favorito dal basso costo specifico della tecnologia stessa, nonché le variabili endogene di sviluppo della flotta e di adeguamento, correlato, delle competenze degli operatori che provocano output molto differenti in termini di costo effettivi rispetto a quelli attesi e di efficacia del progetto. Ecco che si può, a questo punto, comprendere in modo compiuto le influenze giocate dalla variabile cambiamento organizzativo.

Le spinte dell'ambiente esterno dovute al cambiamento tecnologico dei veicoli e quelle interne dovute al tasso di rinnovo della flotta di veicoli dell'azienda TPL sono correlate, nella figura, all'efficacia del processo di cambiamento organizzativo necessario per l'utilizzo dei nuovi veicoli.

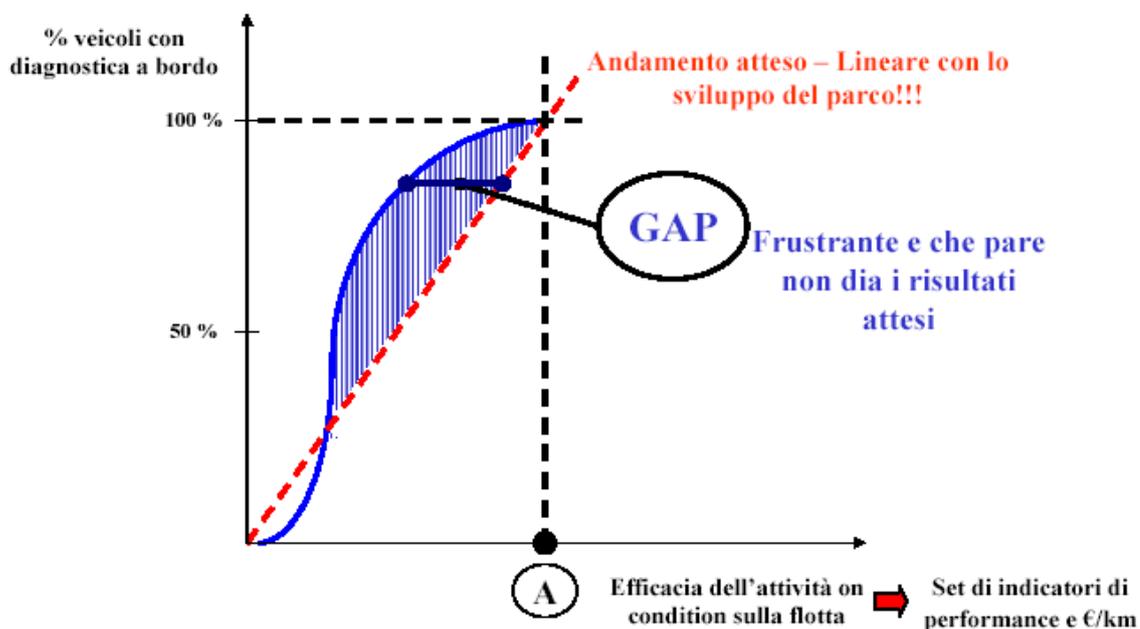


Figura 2.17: *Le differenze tra sviluppo lineare della flotta di veicoli dotati di tecnologie can bus e il tasso di competenze che rende meno efficace l'inserimento dei veicoli.*

In figura si osserva una fase con un ritardo nella risposta tra sviluppo della flotta di veicoli e sviluppo delle competenze necessarie che procedono in modo più lento (di fatto questa è la situazione ricorrente). Si ipotizza inoltre che nel momento in cui tutta la flotta è costituita da veicoli dotati di tecnologia can bus anche le competenze necessarie sono state acquisite e si è quindi raggiunta l'efficacia attesa.

Queste ipotesi accademiche non vengono quasi mai rispettate perché il cambiamento associato allo sviluppo tecnologico della flotta di veicoli non porta ad aumenti lineari della complessità e quindi il gap di competenze ha andamenti non programmabili (il momento in cui il nuovo veicolo acquistato viene consegnato rappresenta un picco di complessità, non uno sviluppo lineare).

Il processo di cambiamento va quindi gestito a priori e sul lungo periodo perché denso di competenze da acquisire e diffondere. Questo concetto operativo è trattato nella seguente figura.

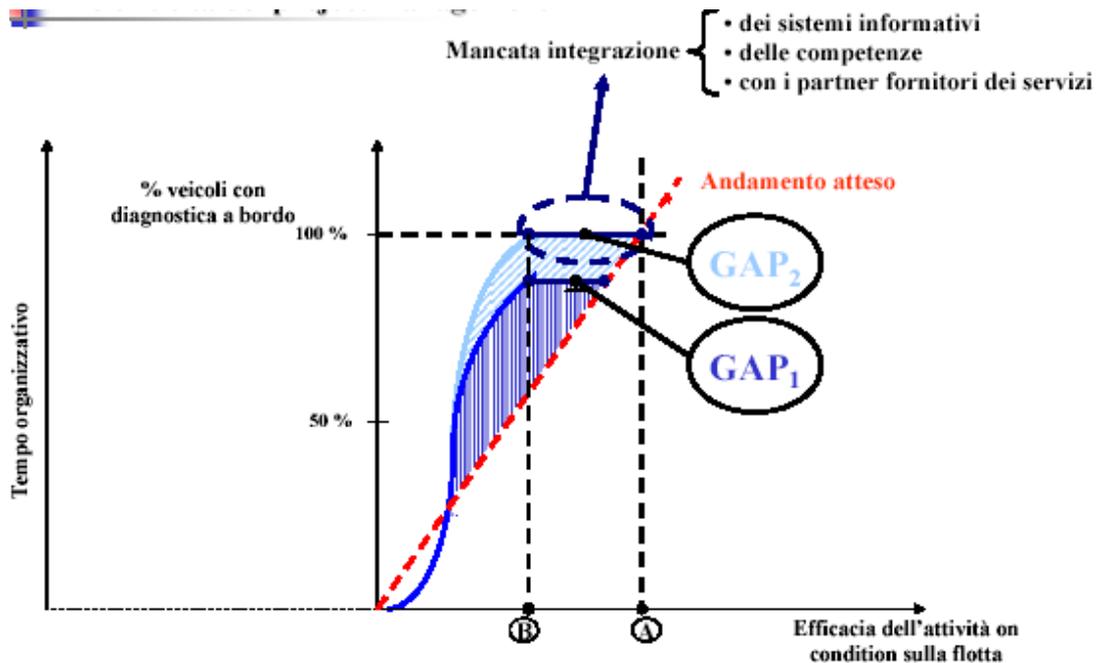


Figura 2.18: *Le criticità del project management*

In figura si possono quindi individuare due diversi tipi di gap.

Il gap 1 è quello tipico dei processi di project management a condizione, però, che le strategie siano state definite chiaramente a priori in modo integrato e con un processo virtuoso. Se l'analisi organizzativa a monte è stata corretta e di lungo periodo è quindi un gap recuperabile e non pericoloso per gli obiettivi di efficacia di lungo periodo dell'operatore TPL.

Al contrario questo gap 1 va considerato pericoloso e temibile se si realizza in un processo di cambiamento non pianificato e non integrato, lasciato, cioè, al caso. Infatti nel momento in cui, quasi sempre, non tutta la flotta si modifica tecnologicamente come invece era previsto a causa dei mancati finanziamenti, se il processo non è stato progettato a priori, cominciano a nascere le patologie più perniciose e può portare ad una riduzione del senso di inadeguatezza delle risorse interne dell'operatore TPL interessate. Poiché la parte dei veicoli tecnologicamente nuovi, non è il tutto della flotta, l'organizzazione della manutenzione può adagiarsi sui veicoli già conosciuti e cercare all'esterno, in modo destrutturato e a costi elevatissimi, i servizi più complessi.

Il gap 2 invece è quello di fine processo; tutta la flotta di veicoli è stata modificata ma l'efficacia in termini sopra indicati non è raggiunta. Di regola il gap 2 è associato alla scarsità delle competenze acquisite dal sistema manutentivo nel suo complesso. Questo ritardo provoca perdite economiche significative.

Lo sviluppo di questo concetto e gli esempi riportati mostrano quindi l'esemplificazione della correlazione strategia x strategia.

Lo sviluppo della flotta di veicoli TPL se non è associato allo sviluppo delle strategie di gestione non porta risultati efficaci in termini aziendali.

Soltanto lo sviluppo strategico ed operativo dei due aspetti integrati porta allo sviluppo del livello di efficacia aziendale.

2.4.2 Le scelte strategiche

La valutazione delle politiche manutentive implica la necessità di monitorare il mix delle varie azioni possibili sul parco autobus. Infatti, la manutenzione on condition dovrebbe ridurre la % di manutenzione a guasto tendendo al seguente risultato eccellente:

[M programmata + M on condition + M a guasto + M migliorativa]_{T0} >

[M programmata + M on condition + M a guasto + M migliorativa]_{T1}

Le segnalazioni che derivano dalla manutenzione on condition dovrebbero, inoltre, determinare un aumento della manutenzione migliorativa con ulteriore diminuzione della manutenzione a guasto.

La validità della relazione precedente sottende il rispetto dell'ipotesi secondo la quale a T₀ e T₁ devono corrispondere due parchi autobus tra loro comparabili.

In pratica si assiste ad un'evoluzione delle politiche manutentive come visualizzato nella seguente figura.

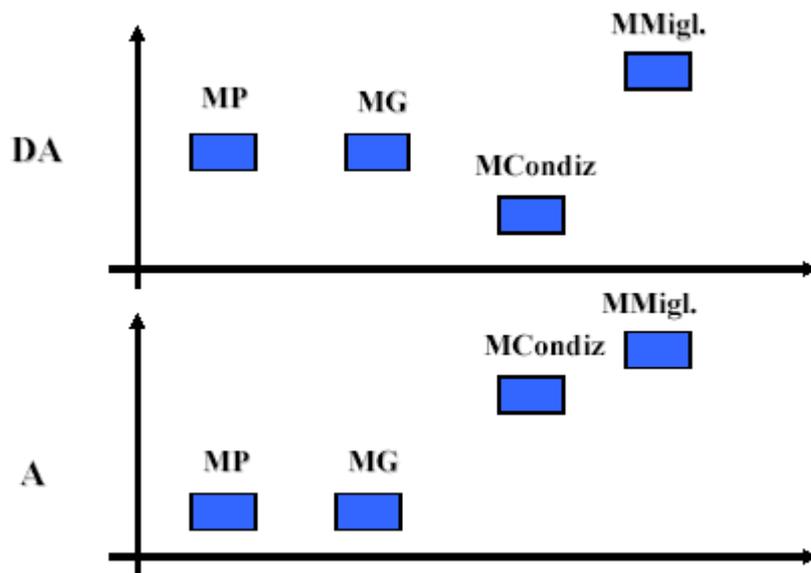


Figura 2.19: *Evoluzione politiche manutentive*

Le nuove tecnologie installate sugli autobus rappresentano per le ditte terze o un “investimento” attraverso il quale intervenire sul contratto o un nuovo “problema” da gestire. Quindi l’investimento sul veicolo dell’esercente deve essere valutato in ottica di costo del ciclo di vita. In ogni caso, la tecnologia sul veicolo può essere usata per diventare monopolista delle attività manutentive.



Figura 2.20: *Il modello organizzativo di gestione della manutenzione e la tecnologia*

Nella seguente matrice, invece, è possibile visualizzare quelle che sono le scelte strategiche tra la possibilità di un appalto totale delle attività manutentive o un mantenimento e sviluppo della manutenzione interna.

	Strategia di mantenimento e sviluppo della manutenzione interna	Strategia di appalto totale della manutenzione
ACQUISTO NUOVI VEICOLI E MODIFICA VECCHI VEICOLI CON TECNOLOGIA ON CONDITION	COERENTE sviluppare manutenzione on condition	COERENTE se i costi sono a carico del Fornitore NON COERENTE se non ci sono accordi con Fornitore servizi di manutenzione
	NON COERENTE non si sviluppa manutenzione on condition oppure è il classico esperimento	COERENTE se i costi sono a carico del Fornitore NON COERENTE se non ci sono accordi con Fornitore servizi di manutenzione
ACQUISTO SISTEMI TECNOLOGIA ON CONDITION E ASSENZA DI TRASPOSIZIONE DELLA SCELTA SUI VEICOLI NUOVI		

Figura 2.21: *La matrice delle scelte strategiche*

In conclusione è possibile affermare che le tensioni indotte sulle aziende esercenti TPL dall'adozione della manutenzione su condizione sono da ritenersi di carattere ORGANIZZATIVO piuttosto che TECNICO.

Quindi per avviare un investimento di questo tipo deve essere adottata una strategia di gestione della manutenzione in sourcing (mix).

Riuscire a centrare questo diverso focus è fondamentale per poter approcciare in maniera corretta ogni progetto avente per oggetto la manutenzione su condizione. Un focus portato esclusivamente sulla parte tecnica del progetto rischia, infatti, di provocare, anziché un calo, un aumento dei costi di manutenzione.

Capitolo 3 - L'innovazione manutentiva per la CSTP

3.1 INTRODUZIONE

La possibilità di introdurre una manutenzione on condition sulla flotta di autobus della CSTP è legata all'acquisizione nel parco autobus, a partire da Gennaio 2008, di veicoli di nuova generazione della Bredamenarini in grado di monitorare e immagazzinare una serie di parametri "vitali" per l'analisi del funzionamento del veicolo.

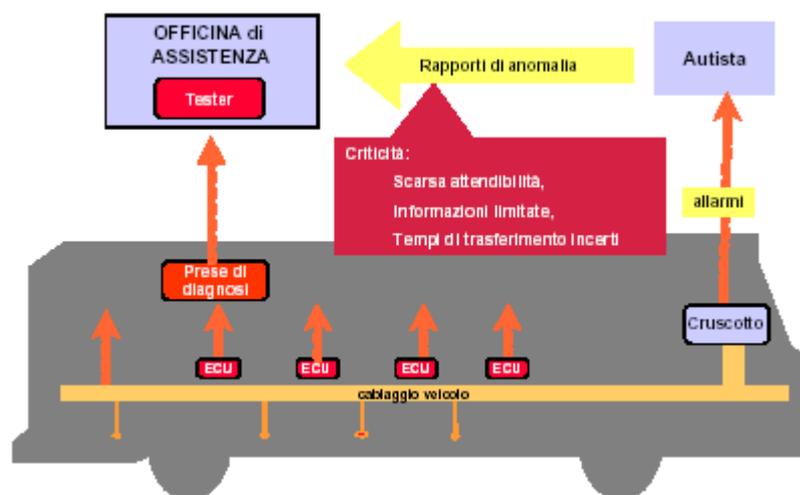


Figura 3.1: Diagnostica veicolo sistema tradizionale

Se il sistema tradizionale prevede che l'autista segnali in officina l'anomalia riscontrata al rientro dal turno di lavoro, con tutti gli evidenti limiti del caso, affidando il compito all'esclusivo buon senso dell'autista, l'utilizzo dei nuovi autobus consente la registrazione dei dati e la trasmissione degli stessi ad un sistema di terra per la successiva archiviazione ed analisi. Ciò evidentemente si traduce in un'ampia disponibilità, accuratezza e tempestività dei dati diagnostici, in una riduzione dei fermi macchina, in una razionalizzazione dei costi di manutenzione preventiva sulla base dell'

utilizzo effettivo degli organi meccanici e un miglioramento della efficienza della gestione [17].

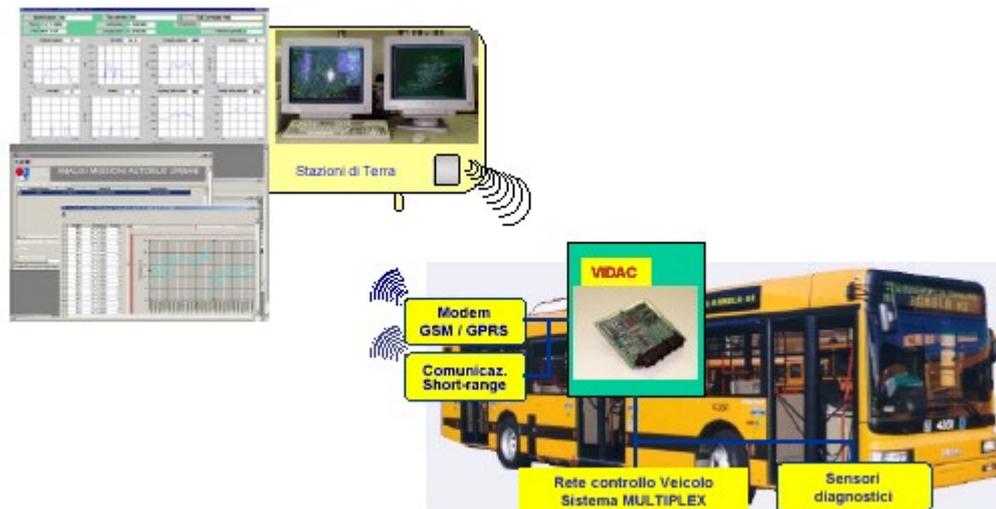


Figura 3.2: *Diagnostica veicolo sistema TEQ ADICOM*

La vera rivoluzione consiste quindi nel passaggio da una manutenzione programmata ad una manutenzione su condizione. Una differenza che si realizza attraverso il monitoraggio continuo dello stato operativo del veicolo e la memorizzazione degli allarmi verificatesi in esercizio.

Al rientro in deposito, tutte le informazioni registrate durante l'esercizio vengono analizzate per definire l'eventuale necessità di interventi di manutenzione. Il vantaggio fondamentale è la possibilità di individuare quando il veicolo sta uscendo dalle condizioni di normale efficienza, intervenendo prima che l'anomalia giunga ad un livello di gravità tale da determinare l'arresto del veicolo: in pratica, si anticipa lo stato di crisi, prevenendo i guasti e i fermi macchina. Così si può programmare una corretta ed efficace manutenzione correttiva. Questo significa un risparmio dei costi di manutenzione (che si effettuano solo in caso di reale necessità) e una diminuzione del rischio di avarie dei veicoli durante il servizio [18].

3.2 IL SISTEMA TELEMATICO DI DIAGNOSTICA TEQ MONITORING & BUS SAPIENS

La Bredamenarini lavora con TEQ ADICOM fin dal 1997 e per la prima volta ha sostituito sugli autobus M 240 N/L l'impianto elettrico tradizionale tipo FEDERTRASPORTI con quello a logica cablata a tecnologia Multiplex [19], inizialmente montandolo dietro richiesta del Cliente e ultimamente adottando il sistema Multiplex come standard su tutta la propria gamma di veicoli. La necessità di questa scelta poggia su tre concetti fondamentali, ossia [20]:

1. L'aumento delle dotazioni e degli accessori montati sugli autobus con le relative centraline di controllo avevano portato ad un'eccessiva complicazione degli impianti elettrici di bordo, negativa sia in fase di fabbricazione che di **manutenzione** da parte dei Clienti per le notevoli difficoltà di ricerca guasti nei vari sistemi e sottosistemi.
2. La necessità di controllare e dialogare con il gruppo motore-cambio-ABS-ECAS via CAN per seguire l'evoluzione elettronica che tali componenti subivano, conoscerne i parametri funzionali e quindi controllarli ed evidenziarne le avarie.
3. La realizzazione di un impianto in grado di controllare tutti i sistemi facenti parte dell'autobus, verificarne la corretta funzionalità, diagnosticarne le avarie in chiaro memorizzandole in una black box a bordo veicolo e arrivare a disporre in prospettiva di una diagnostica a distanza (off board).

L'introduzione quindi del sistema Multiplex di ultima generazione di serie su tutta la gamma consente che tutti i componenti del veicolo siano gestiti e monitorati dalle centraline che compongono il Multiplex ed il loro stato di funzionamento può essere controllato attraverso il display di bordo senza la necessità di dotarsi di apparecchiature accessorie.

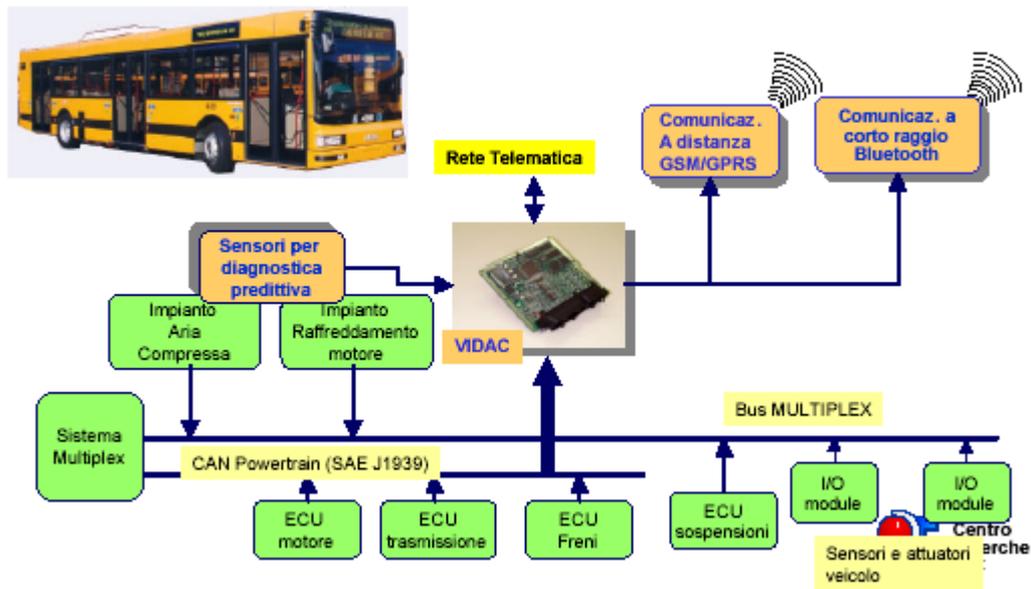


Figura 3.3: *Il sistema Multiplex*

La nuova generazione di impianto elettrico Multiplex montato sugli autobus Bredamenarini M 240, oltre ad alcuni importanti perfezionamenti introdotti nei singoli componenti, amplia le prestazioni dell'impianto elettrico di base.

Attraverso il modulo BUS SAPIENS (hardware e software), i parametri funzionali del veicolo controllati e memorizzati dalla diagnostica di bordo possono essere trasferiti via GSM/GPRS ad un qualsiasi sistema di gestione flotte [21][22]. Tutto ciò avviene in tempo reale contestualmente alla localizzazione del mezzo. Oppure la trasmissione dei dati può avvenire in maniera automatica al rientro dell'autobus in deposito via Bluetooth [23] o WiFi, o tramite back-up manuale su unità diagnostica portatile.



Figura 3.4: L'architettura del sistema di terra

Questi dati possono essere utilizzati dal gestore dei mezzi in molti modi, ma il più interessante è certamente quello di velocizzare e semplificare l'approccio manutentivo predisponendo in anticipo depositi e officine agli interventi più consoni da attuare. I parametri che il sistema Multiplex tiene sotto controllo sono di diversa natura; alcuni di essi forniscono segnalazioni immediate e che non necessitano di ulteriori indagini quali ad esempio basso livello liquido refrigerante, filtro aria intasato, pastiglie freni usurate, luci fulminate ecc.

In altri casi le segnalazioni costituiscono un primo livello di informazione che necessita di approfondimento che il gestore del mezzo può effettuare mentre il veicolo fa servizio connettendosi con il Multiplex dell'autobus.

In altri casi ancora se l'avaria riguarda un componente più complesso quale ad esempio il motore o il cambio, il feed-back diagnostico potrà suggerire un rientro preventivo in deposito per disporre interventi o controlli più opportuni prevenendo l'insorgere di guai maggiori o di un fermo macchina in linea.

Il sistema realizza quindi una vera diagnostica a distanza (oltre che on board), per la consultazione della "salute" dell'autobus da parte del gestore della flotta in modo semplice perché attraverso un comune PC si può aprire una cartella in formato EXCEL che in tempo reale:

- Identifica il veicolo con targa, numero di matricola
- Segnala il chilometraggio, l'ora
- Fornisce le coordinate di localizzazione del mezzo sulla linea
- Evidenzia una specifica anomalia se presente

3.3 IL CAN BUS

Il protocollo di comunicazione CAN-Bus [25] è stato creato nella prima metà degli anni '80 dalla *Bosch* per applicazioni automobilistiche ma col tempo per le sue caratteristiche di affidabilità e prestazioni si è affermato sempre più come protocollo per reti di campo per l'automazione industriale e nei più disparati settori: aerospaziale, navale, ferroviario.

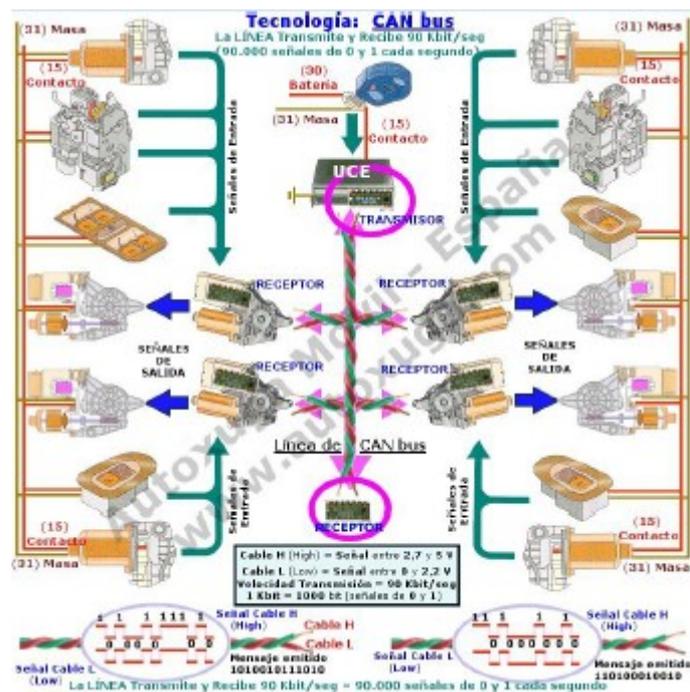


Figura 3.5: La tecnologia CAN bus

Il CAN Bus ha permesso di cambiare radicalmente la filosofia di progetto dei nodi di controllo in tutti i settori dove è stato applicato. I primi sistemi di controllo elettronico erano di tipo *centralizzato* dove un nodo di elaborazione centrale "main frame" con una elevata capacità di calcolo era

collegato ad attuatori e sensori. Inoltre compito del nodo centrale era quello di elaborare tutte le politiche di controllo sul processo. Naturalmente i collegamenti tra i vari dispositivi distribuiti sul processo e il “*main frame*” erano complessi e qualsiasi modifica al sistema, come ad esempio l’applicazione di un nuovo dispositivo, richiedeva grosse modifiche all’impianto [26].

Riferendoci in particolare al settore automobilistico il “sistema” automobile era suddiviso in numerosi sottosistemi autonomi e indipendenti, ognuno gestito da una propria centralina (ECU: *Electronic Control Unit*).

Ad esempio l’ABS funzionava con un proprio sistema di controllo, così come il controllo motore, il sistema di climatizzazione o la gestione del cambio automatico. Le procedure di diagnosi per la rilevazione dei guasti erano senza dubbio più localizzate, poiché limitate ai componenti del solo sistema in esame che non condivideva con altri alcun dispositivo (per esempio i sensori di temperatura): si trattava in pratica di tanti sistemi chiusi che non si scambiavano alcun tipo di informazione, spesso portando alla scelta obbligata di sensori ridondanti.

Lo sviluppo dei microprocessori e la diminuzione del loro costo hanno permesso di decentrare nei sensori e negli attuatori capacità di elaborazione, che possono essere condivise da più controllori. La condivisione avviene collegando le diverse unità tra di loro, tramite CAN Bus. In questo modo non è più necessario riutilizzare uno stesso elemento in diversi apparati che non sono perciò più isolati tra loro. Questo metodo di distribuzione delle risorse ha portato alcuni vantaggi derivanti dalla riduzione e semplificazione complessiva dei cablaggi e dall’eliminazione di hardware ridondante nell’intero sistema.

In sostanza, in luogo di una serie di collegamenti analogici fra sensori e ECU troviamo sensori intelligenti, capaci di trasformare le informazioni analogiche in digitali, che dialogano con tutta la rete del “sistema” automobile.

Di conseguenza le operazioni di diagnosi dei guasti non potranno più avvenire nel modo tradizionale, ma necessiteranno di sistemi più sofisticati in grado di dialogare con i “network” all’interno del veicolo.

Il sistema di controllo che era centralizzato diventa ora con l’introduzione del CAN Bus di tipo distribuito (DCS = *Distributed Control System*).

In pratica possiamo sintetizzare i vantaggi del CAN bus in [27]:

- **Semplicità e flessibilità del cablaggio:** CAN è un bus seriale tipicamente implementato su un doppino intrecciato (schermato o meno a seconda delle esigenze). I nodi non hanno un indirizzo che li identifichi e possono quindi essere aggiunti o rimossi senza dover riorganizzare il sistema o una sua parte.

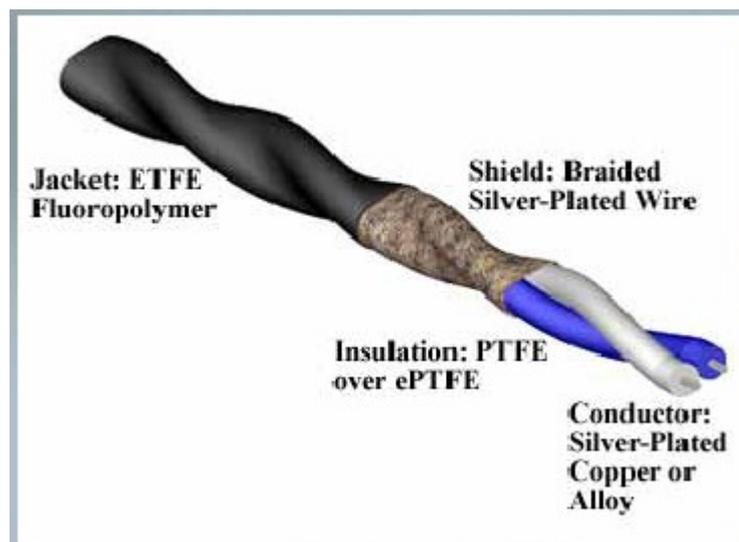


Figura 3.6: Il mezzo trasmissivo

- **Alta immunità ai disturbi:** Lo standard ISO11898 raccomanda che i chips di interfaccia possano continuare a comunicare anche in condizioni estreme, come l'interruzione di uno dei due fili o il cortocircuito di uno di essi con massa o con l'alimentazione.

- **Elevata affidabilità:** La rilevazione degli errori e la richiesta di ritrasmissione viene gestita direttamente dall' hardware con cinque diversi metodi (due a livello di bit e tre a livello di messaggio).
- **Confinamento degli errori:** Ciascun nodo è in grado di rilevare il proprio malfunzionamento e di autoescludersi dal bus se questo è permanente. Questo è uno dei meccanismi che permettono alla tecnologia CAN di mantenere la rigidità delle temporizzazioni, impedendo che un solo nodo metta in crisi l'intero sistema.
- **Maturità dello standard:** La larga diffusione del protocollo CAN ha determinato un'ampia disponibilità di chip rice-trasmittitori, di microcontrolli che integrano porte CAN, oltre che una sensibile diminuzione del costo di questi sistemi. Questo è molto importante per far sì che uno standard si affermi.

Come si è già capito stiamo parlando di uno standard forte collaudato. Facile da gestire ed economico nella struttura, il CAN bus si sta affermando sempre più in un'epoca dove costi e sicurezza sono due prerogative in conflitto tra loro. Il bus can ha un'incredibile capacità di riconoscere gli **errori**. La probabilità che un messaggio sia corrotto e non riconosciuto come tale, è praticamente nulla. E' stato calcolato che una rete basata su CAN bus a 1 Mbit/s, con un'utilizzazione media del bus del 50%, una lunghezza media dei messaggi di 80 bit e un tempo di lavorazione di 8 ore al giorno per 365 giorni l'anno, avrà un errore non rilevato ogni 1000 anni. **Praticamente la rete non è soggetta ad errori per tutta la durata della sua vita.** Questo è il maggior punto di forza di questo bus.

La comunicazione, nel CAN BUS, avviene tramite **dispositivi intelligenti**, ovvero sensori o attuatori in grado di produrre dati autonomamente per poi immetterli sul BUS. Inoltre, questa tipologia di apparecchiature, è in grado di **richiedere e utilizzare i dati** prodotti da un altro dispositivo intelligente.

I sensori intelligenti, prima di inviare un dato, svolgono determinati compiti:

- **Amplificazione** del piccolo segnale d'uscita dal sensore vero e proprio.
- Traslazione del segnale in un range opportuno per la **conversione A/D**
- **Elaborazione** dei dati
- **Emissione** dei dati su bus

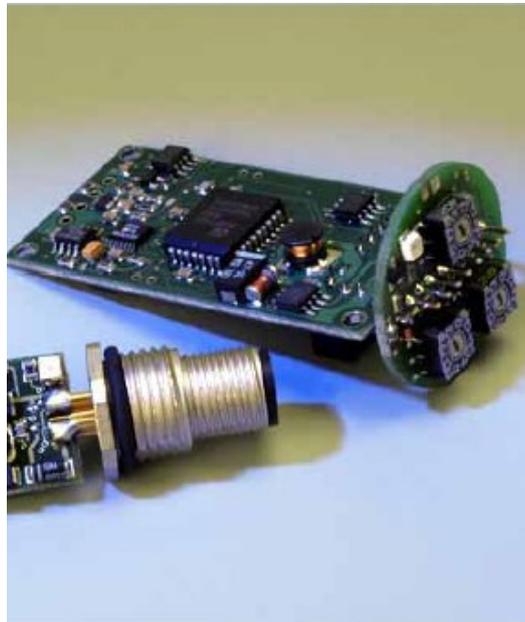


Figura 3.7: *I sensori intelligenti*

Tipicamente un nodo intelligente ha un suo processore con la sua memoria. Esso è in grado di gestire ed elaborare autonomamente i dati. I singoli microcontrollori sono dotati di ram, eeprom, convertitore A/D e di un interfacciamento con i dispositivi esterni.

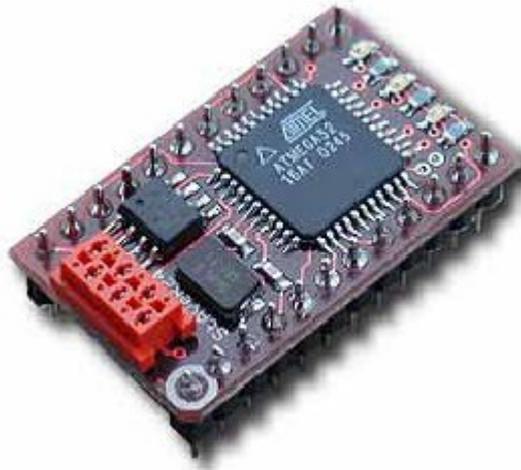


Figura 3.8: *Il processore*

3.4 DESCRIZIONE DEL VEICOLO

Il modello di autobus a disposizione dell'azienda, che dispone delle tecnologie descritte ed in grado quindi di memorizzare le informazioni dei parametri principali del veicolo è M 240 EEV CNG Avancity/CE Bredamenarinibus [30]. Sarà dunque il modello utilizzato per ricavare i dati necessari per la mia analisi.



Figura 4.9: *L' M 240 Avancity Bredamenarinibus*

L'M 240 EEV CNG Avancity /CE BredaMenarinibus, è un veicolo progettato per il trasporto pubblico di passeggeri nelle aree urbane e suburbane. La motorizzazione a metano di ultima generazione, fornisce prestazioni brillanti, consumi estremamente ridotti e rispetta i requisiti di emissione EEV che entreranno in vigore nel 2010. Avancity/CE recepisce le prescrizioni della normativa europea volta a migliorare, tra le altre, il confort dei passeggeri, in special modo di quelli con ridotta capacità motoria.

Le principali caratteristiche sono:

Struttura: Scocca di profilati in acciaio ad alta resistenza elettrosaldati formante con pianale, fiancate e padiglioni un'unica struttura integrata portante.

Passaruota strutturali in lamiera di acciaio ad alta resistenza.

Porte: Di tipo doppio, rototraslanti in lega leggera a comando pneumatico dotate di antischiacciamento a bordo sensibile.

Asse anteriore – sterzo: A ruote indipendenti tipo MERITOR-STREPARAVA.

Idroguida ZF 8098.

Volante regolabile in altezza ed inclinazione.

Ponte: A portale rovesciato MERITOR IPA U720.

Portata max. 12.000 kg.

Rapporto di ponte 1 : 6,29.

Ruote e pneumatici: Posteriori motrici gemellate, anteriori direzionali singole.

Pneumatici tipo 275/70 R 22,5 su dischi ISO 7,5"x22,5", attacco M.

Sospensioni: Pneumatica, integrale con molle ad aria.

Anteriori:

- n° 2 molle ad aria,
- n° 4 ammortizzatori idraulici telescopici.

Posteriori:

- n° 4 molle ad aria,
- n° 4 ammortizzatori idraulici telescopici,
- barra stabilizzatrice posteriore.

L'assetto delle sospensioni è assicurato dai sensori automatici tramite centralina elettronica ECAS.

Sistema "kneeling" inginocchiamento laterale (70 mm) abbinato al blocco del veicolo a porte aperte.

Impianto di sollevamento/abbassamento.

Freni: Freni di servizio: pneumatico a disco sulle ruote anteriori e posteriori con ripresa automatica dei giochi a circuiti indipendenti con ABS/ASR.

Freno di soccorso: ottenuto dalla sezionatura del freno di servizio.

Freno di stazionamento: meccanico sulle ruote posteriori, azionato pneumaticamente.

Freno di rallentamento: di tipo idraulico azionato dal pedale comando freni.

Impianto pneumatico: Compressore bicilindrico DAIMLER CHRYSLER, raffreddato a liquido; essiccatore d'aria monocamera WABCO con resistenza anticongelamento e separatore di condensa a scarico automatico; n° 5 serbatoi in lega leggera con scarico condense centralizzato manuale per complessivi 215 l.

- attacco per riempimento rapido dell'impianto dall'esterno,
- tubazione in ottone e poliammide.

Impianto elettrico di servizio: Tipo Multiplex a logica programmata 24 V con n° 6 centraline I/O + display grafico integrante le funzioni delle centraline MASTER.

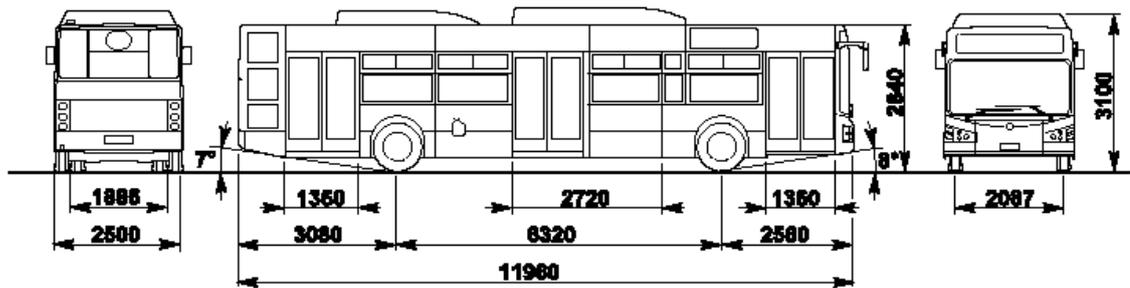
- n° 2 batterie da 12 V 220 Ah senza manutenzione.

Cristalli: Parabrezza anteriore di tipo curvo in vetro stratificato di sicurezza.

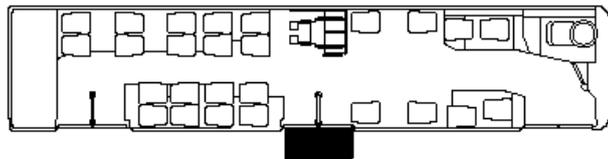
Finestrini laterali incollati con parte inferiore fissa e superiore apribile a scorrimento orizzontale.

Prestazioni: Velocità max circa 80 km/h - Pendenza max superabile >16%.

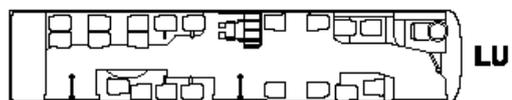
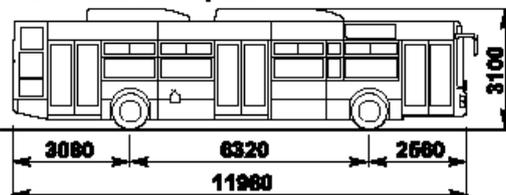
Assenza di punti di in grassaggi: Grazie all'utilizzo di cuscinetti UNI-BEARING lubrificanti for-life.



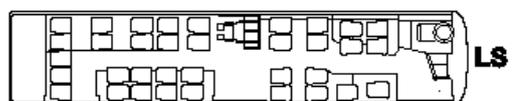
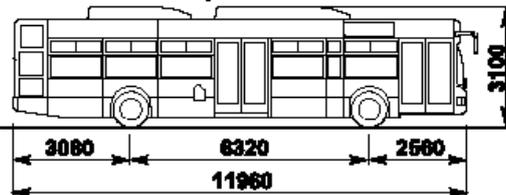
VERSIONE "LU" 3 porte



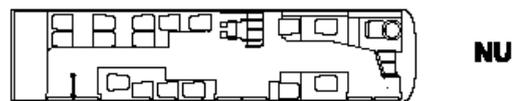
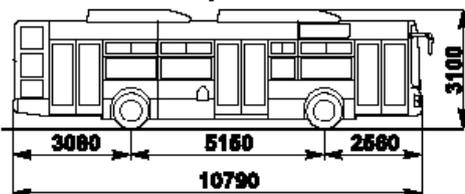
VERSIONE "LU" 3 porte



VERSIONE "LS" 2 porte



VERSIONE "NU" 3 porte



VERSIONE "NS" 2 porte

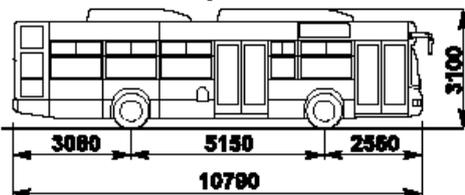


Figura 3.10: Le versioni disponibili

Tabella 3.1: *Dimensioni veicolo*

DESCRIZIONE	<i>Avanti</i> /85 NU/3P	<i>Avanti</i> /85 NS/2P	<i>Avanti</i> /85 LU/3P	<i>Avanti</i> /85 LS/2P
Lunghezza massima	10.790 mm		11.960 mm	
Larghezza massima	2.500 mm			
Altezza massima dal suolo	3.100 mm			
Passo	5.150 mm		6.320 mm	
Sbalzi:				
– anteriore	2.560 mm			
– posteriore	3.080 mm			
Carreggiate:				
– anteriore	2.087 mm			
– posteriore	1.886 mm			
Diametro minimo di volta	14.900 mm		17.880 mm	
Angolo di sterzata ruota interna	58°			
Altezza piano di calpestio dal suolo:	460 mm (•)			
Altezza gradino di accesso dal suolo				
– anteriore e centrale	325 mm			
– posteriore	325 mm	-	325 mm	-
Angolo di sbalzo:				
– anteriore	8°			
– posteriore	7°			

Nelle tabelle seguenti vengono riportate una serie di caratteristiche tecniche che contraddistinguono il veicolo considerato, ossia da quelle motore a quelle relative ai freni.

Tabella 3.2: *Capacità veicolo*

DESCRIZIONE	<i>Avanti</i> /85
Corridoio anteriore	~ 840 mm
Corridoio posteriore	~ 690 mm

DESCRIZIONE	<i>Avanti</i> /85				
	NU/3P	NS/2P	LS/2P	LU/3P	LU/3P
Posti a sedere	18	29	37	22	28
Posti a sedere (**)	16 (#) +1	27 (#) +1	35 (#) +1	20 (#) +1	26 (#) +1
Posti in piedi	68	48	51	81	74
Posti in piedi (**)	68	48	51	81	74
Posti di servizio	1	1	1	1	1
Posti totali massimi ammissibili	87	78	89	104	103
Posti totali massimi ammissibili (**)	86	77	88	103	102

Tabella 3.3: *Caratteristiche tecniche motore*

DESCRIZIONE	<i>Mercedes</i> /85
Posizione	posteriore trasversale
Tipo	MERCEDES-BENZ M 906 LA
Funzionamento	ad metano, ciclo otto
Tempi	4
Cilindri	6 in linea
Alesaggio	106 mm
Corsa	130 mm
Cilindrata totale	6.883 cm ³
Potenza massima (norme CEE)	205 kW a 2.200 giri/min
Coppia massima (norme CEE)	1.000 Nm a 1400 giri/min
Raffreddamento	ad acqua
Potenza fiscale	45 cavalli fiscali

Tabella 3.4: *Caratteristiche tecniche trasmissione*

DESCRIZIONE	<i>Mercedes</i> /85
Trazione	posteriore
Rapporto al ponte posteriore con cambio ZF 5HP 502C	1 : 6,29
Rapporto al ponte posteriore con cambio VOITH DIWA 854.3 (a richiesta)	1 : 5,84

Tabella 3.5: *Caratteristiche tecniche ruote e pneumatici*

DESCRIZIONE	<i>Mercedes</i> /85
Attacco ruote	M
Cerchi ruote	ISO 7,5"x 22,5" (571,5 mm)
Dimensioni pneumatici anteriori singoli, posteriori doppi	275/70 R 22,5 148/145 J
Pressione di gonfiaggio anteriori e posteriori (a pieno carico)	9 bar

Tabella 3.6: *Caratteristiche tecniche sterzo*

DESCRIZIONE	<i>Mercedes</i> /85	
	NU/NS	LU/LS
Diametro volante	500 mm	
Inclinazione asse volante	20,5°	
Diametro minimo di volta	14,9 m	17,9 m
Rapporto idroguida	variabile fra 17 e 20 : 1	

Tabella 3.7: *Caratteristiche tecniche freni*

DESCRIZIONE	<i>Mercedes</i> /85
Asse anteriore e posteriore	tipo monodisco ad azionamento meccanico
Dimensioni monodischi	øe. 436x45 mm

3.5 PARAMETRI DI CONTROLLO DI COMPONENTI ED ELEMENTI DEL VEICOLO

Lo scenario delineatosi dalla possibilità di raccogliere e analizzare i dati sul tipo di autobus considerato, mi ha indotto, in primis, a valutare quale tra questi fosse più idoneo ad uno studio incentrato sull'evoluzione nel tempo dei parametri e la loro incidenza sul sistema "autobus" in un ottica di manutenzione su condizione. La capacità di seguire nel tempo l'evoluzione di un componente mi è sembrata un'occasione di innovazione fondamentale per l'azienda da dover essere sviluppata e sostenuta. Tra i vari parametri che l'autobus è in grado di monitorare, quelli che ho ritenuto più opportuno valutare sono la *temperatura dell'acqua* nell'impianto di raffreddamento, la *temperatura dell'olio* nel cambio e la *pressione olio* nel circuito di lubrificazione. La scelta è ricaduta sostanzialmente su questi tre parametri per l'importanza che rivestono nell'ambito del funzionamento dell'intero veicolo stesso e dunque per i vantaggi in ottica manutenzione, derivabili dal controllo continuo degli stessi [31].

3.5.1 Circuito raffreddamento motore

L'impianto di raffreddamento a liquido si basa sul mantenimento di una temperatura quanto più costante del motore termico tramite un sistema idraulico. Il liquido refrigerante che in tempi passati era costituito da semplice acqua, oggi è un composto che ha maggior resistenza all'ebollizione e al congelamento.

Il calore prodotto inizialmente viene utilizzato solo per uniformare le temperature del monoblocco e della testata; dunque il liquido viene fatto circolare da una pompa (mossa dall'albero motore) solo nel propulsore.

Soltanto quando si è raggiunta la temperatura di esercizio, un termostato devia il fluido refrigerante verso il radiatore per smaltire il calore in eccesso; a questo punto tutto il liquido contenuto nell'impianto è in circolo. Quando poi le temperature superano una soglia stabilita, un secondo termostato comanda l'attivazione dell'elettroventola di raffreddamento, in modo da abbassare la temperatura del fluido nel radiatore. Il tappo del radiatore solitamente è munito di una valvola a doppia azione che, quando la pressione nel circuito raggiunge valori predefiniti, convoglia l'acqua in eccesso nella vaschetta d'espansione. Quando il motore si raffredda, nell'impianto principale si crea una depressione che risucchia il fluido dal vaso d'espansione per immetterlo nuovamente in circolo.

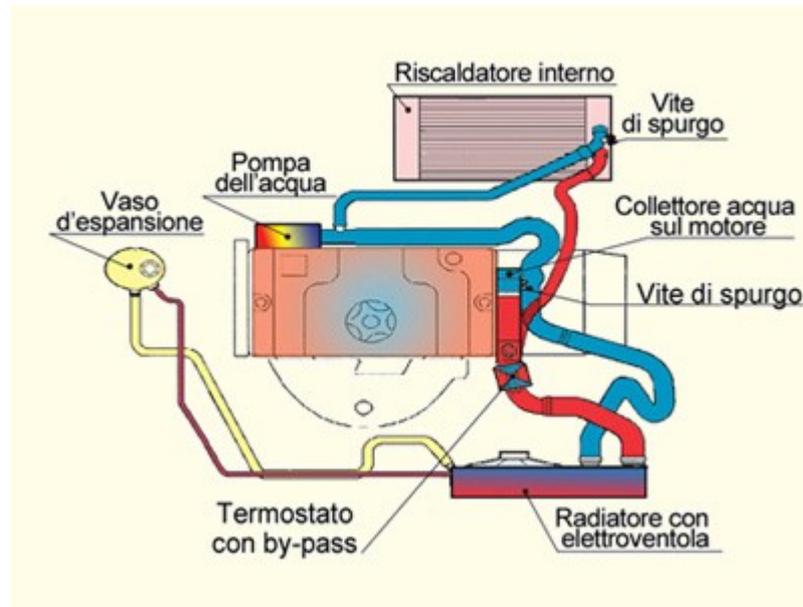


Figura 3.11: *Circuito raffreddamento motore*

Ricapitolando il ciclo del raffreddamento a liquido, varia a seconda della temperatura a cui si trova, nel caso la sua temperatura sia minore di quella d'esercizio, si avrà un ciclo, mentre a temperatura di regime se ne avrà un altro. All'accensione del motore, il liquido viene messo in circolazione e movimento dalla pompa idraulica, che lo fa muovere nel circuito presente nel monoblocco motore, portandolo ad assorbire il calore delle sue varie parti, senza che tale liquido abbia la possibilità di raffreddarsi, costretto a passare per un canale che bypassa il radiatore e chiude il circuito, fino a che non raggiunge una temperatura sufficiente ad aprire la valvola termostatica e iniziare così il ciclo a temperatura.

Una volta che il liquido è a temperatura di funzionamento, la valvola termostatica incomincia ad aprirsi e adattare la sua apertura a seconda di quanto calore deve dissipare il liquido, consentendo al liquido di essere pompato al radiatore, il quale con l'ausilio o meno della ventola di raffreddamento, una volta raffreddato il liquido, gli consente di ritornare nel monoblocco per ricominciare il ciclo a temperatura [32].

Gli organi principali dell'impianto di raffreddamento, dunque, sono:

- La pompa idraulica che ha il compito di far circolare il liquido dentro le apposite cavità, azionata dalla rotazione del motore stesso.
- Il radiatore costituito da un serbatoio atto a far raffreddare il liquido proveniente dal monoblocco. Esso è costituito da una serie di tubicini ed alette che, attraverso l'immissione di aria esterna, consentono un rapido abbassamento della temperatura del liquido.



Figura 3.12: *Il radiatore*

- La ventola che aiuta il radiatore nell'operazione di raffreddamento del liquido, qualora il passaggio dell'aria non fosse sufficiente all'abbassamento della temperatura (ad esempio se il veicolo è fermo a motore acceso o in giornate particolarmente calde). La ventola, collegata ad un motorino elettrico, è attivata dall'interruttore termostatico.
- L'interruttore termostatico è un interruttore posto nelle vicinanze del radiatore e che, quando la temperatura del liquido supera

una certa soglia, chiude un circuito elettrico che mette in azione la ventola.

- La valvola bypass quando il motore appena avviato è ancora freddo impedisce al liquido refrigerante di passare per il radiatore, facendolo circolare solo nel monoblocco, in modo da facilitarne il rapido riscaldamento almeno fino alla temperatura di 70/80 °C. Superate tali temperature la valvola si apre.
- Il termostato è un indicatore della temperatura del liquido.
- La spia luminosa è un indicatore di allarme che si illumina quando la temperatura del liquido raggiunge l'ebollizione.
- La vaschetta di espansione è un piccolo serbatoio con due funzioni, l'eventuale rifornimento di liquido mancante nell'impianto di raffreddamento, o la raccolta di quello eventualmente in ebollizione nell'impianto, per impedirne la fuoriuscita all'esterno.

3.5.2 Il cambio

Il modello di autobus in esame è dotato di cambio a cinque marce ad inserimento automatico e retromarcia. Questo tipo di cambio è composto da un convertitore di coppia idrodinamico, da un rallentatore e, a valle di questo, da un gruppo epicicloidale a più rapporti. Il convertitore di coppia è un dispositivo utilizzato per disaccoppiare il motore dal cambio ossia lo stesso compito svolto dalla frizione in un veicolo a cambio manuale. Esso presenta un adattamento continuo alle esigenze concrete (coppia di trazione necessaria). I rapporti della parte epicicloidale vengono inseriti automaticamente e senza interruzione della forza di trazione. I comandi per il cambio dei rapporti vengono emessi da una centralina di comando elettronica che, in funzione di vari parametri del veicolo e del cambio, inserisce le rispettive frizioni o i rispettivi freni a dischi mediante il gruppo di comando elettroidraulico. La frizione di esclusione incorporata nel

convertitore stabilisce, dopo la fase di avviamento, un collegamento meccanico diretto fra il motore e il gruppo epicicloidale. Il rallentatore è montato tra il convertitore e il gruppo epicicloidale. La forza frenante dipende pertanto dalle marce, per cui si dispone di tutto l'effetto frenante anche nella gamma bassa di velocità.

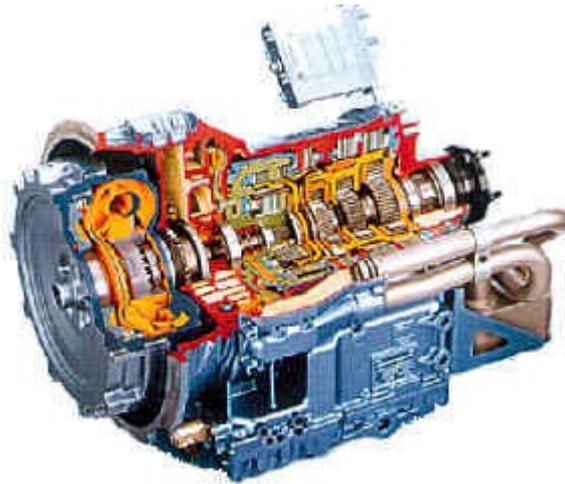


Figura 3.13: *Il cambio*

3.5.3 La lubrificazione del motore

La lubrificazione di un motore è una funzione di fondamentale importanza nei motori a combustione interna, da cui ne deriva la longevità di tutte le componenti interne e le parti in movimento di un motore. Nei motori a 4 tempi, il sistema di lubrificazione è composto da una vera e propria *rete di condotti e canalizzazioni*, da una *pompa*, da un *filtro*, da una *valvola limitatrice di pressione*, e da un *contenitore* dove l'olio è raccolto nella parte più bassa del basamento da cui prende proprio il nome di *coppa dell'olio*. Vediamo adesso di descrivere semplicemente il suo funzionamento [33].

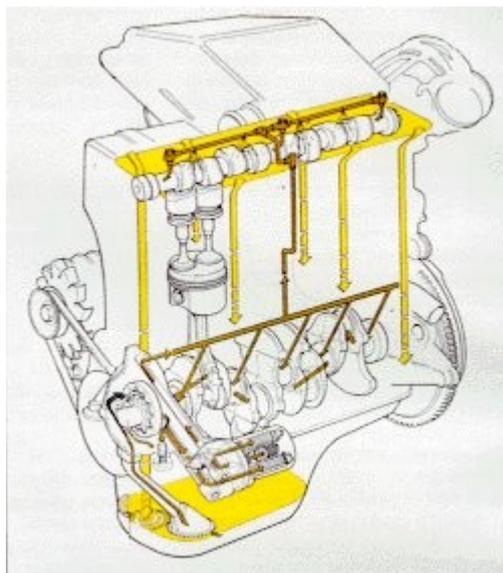


Figura 3.14: *La lubrificazione*

Tutte le parti e componenti interne del motore vengono lubrificate attraverso una rete di condotti e canalizzazioni, in cui l'olio viene pompato ad alta pressione tramite la pompa. L'olio passa attraverso queste canalizzazioni che sono studiate in modo da raggiungere tutte le parti che necessitano di essere lubrificate. Tra queste troviamo: valvole, bilancieri, alberi a camme, cuscinetti a strisciamento. Per questi ultimi, a strisciamento attraverso delle canalizzazioni specifiche, l'olio in pressione raggiunge i cuscinetti di biella e di banco. La lubrificazione all'interno del motore non avviene solo attraverso le canalizzazioni ma anche per sbattimento degli organi in movimento; infatti si può notare che l'olio pompato all'interno dei condotti fuoriuscirà ai due lati del cuscinetto e per effetto della forza centrifuga viene spruzzato andando a lubrificare organi come le camicie dei cilindri, pistoni e spinotti del pistone.

La *pompa*, componente di fondamentale importanza, permette la circolazione dell'olio. Essa preleva l'olio dalla coppa, dotata di un filtro a maglia metallica posto a monte, la quale preserva l'eventuale aspirazione di corpi estranei presenti nell'olio che potrebbero causare il danneggiamento della pompa. Inoltre la coppa dell'olio, che funge da serbatoio, permette

all'olio di raffreddarsi; infatti in alcune coppe sono presenti delle alettature che permettono appunto la dissipazione del calore accumulato.

Per quanto riguarda il filtraggio dell'olio, i motori prevedono un secondo filtro costituito da un elemento filtrante in carta trattata chimicamente. Questi filtri possono essere alloggiati sia internamente al basamento (solo elemento filtrante) o esternamente (cartuccia).

Come in ogni circuito idraulico, è possibile che a seconda delle condizioni di funzionamento, si possono verificare delle pressioni talmente elevate da portare alla rottura o al cedimento dei componenti del circuito di lubrificazione. A questo inconveniente si pone rimedio con la *valvola limitatrice*: essa è alloggiata all'interno del motore ed è costituita da un corpo che alloggia una sfera metallica; questa sfera è tenuta da una molla tarata ad una certa pressione che sta a contatto con un foro di sfogo ostruendolo, pertanto non appena la pressione supera il valore di taratura spinge la sfera aprendo il condotto di sfogo, impedendo alla pressione in eccesso di sovraccaricare il circuito di lubrificazione. Ciò si verifica quando il motore è freddo e la viscosità dell'olio molto elevata.

3.6 MODI DI GUASTO ED EFFETTI

Vengono di seguito descritte le modalità di rottura dei componenti precedentemente descritti e gli effetti adottati al corretto funzionamento del veicolo.

Per quanto riguarda il circuito di raffreddamento, dopo una fase iniziale di riscaldamento, l'acqua raggiunge la giusta temperatura di esercizio. A questo punto una difficoltà nel raggiungimento della temperatura di esercizio può essere addebitata ad un cattivo funzionamento della valvola termostatica, bloccata nella posizione aperta, che determina il continuo ricircolo del liquido di raffreddamento tra radiatore e motore provocando inconvenienti come maggior consumo e maggior usura del motore, che non lavora nelle opportune condizioni [35].

Invece l'innalzamento della temperatura dell'acqua oltre il range di funzionamento ottimale può essere collegato ad una serie di fattori.

Una causa può essere ancora il malfunzionamento della valvola termostatica, questa volta bloccata in posizione chiusa: in tale situazione l'acqua calda che circola nel motore non riesce a defluire nel radiatore ed il motore si surriscalda fino alla fusione [35] [36].

Oppure il termostato (che altro non è che un bulbo termico!) che comanda l'accensione della ventola, non funziona e quindi la ventola non scatta e l'acqua raggiunge temperature molto elevate.

Un'altra causa molto comune è l'intasamento o la piegatura delle alette del radiatore. E' da lì, infatti, che l'aria passa raffreddando il liquido refrigerante e se è intasato questo non avviene o avviene in maniera errata provocando le seguenti situazioni:

1. un aumento della temperatura di solito immediato poco dopo aver acceso il motore.
2. la ventola rimane sempre accesa o comunque si aziona molto spesso (col rischio che si bruci il motorino elettrico!) a causa del limitato raffreddamento da parte dell'aria.
3. se l'acqua scalda molto, diventa vapore uscendo attraverso la valvola di pressione e facendone calare pericolosamente il livello.

Infine un'ultima causa di aumento della temperatura è il mancato funzionamento della pompa che mette l'acqua in circolo all'interno delle intercapedini che attraversano il motore, che stando a contatto con le pareti portano via molto calore. Se ciò non avvenisse il metallo si dilaterebbe e il pistone si bloccherebbe all'interno del cilindro provocando il grippaggio [37] [38].

Poter osservare l'andamento della temperatura dell'acqua motore nel tempo consente di evitare la situazione critica della segnalazione di allarme tramite spia sul cruscotto quando cioè bisogna necessariamente fermarsi

con buona probabilità di aver ormai riportato già gravi danni (bruciatura guarnizione testata e rottura radiatore!) e la certezza di aver provocato disagi ai passeggeri. Monitorare l'andamento della temperatura nel tempo consente di individuare una soglia di allarme, al di sotto di quella rappresentata dalla spia, oltre la quale si produrrebbe un eventuale malfunzionamento dell'impianto di raffreddamento.

Come tutti i componenti meccanici anche il cambio è soggetto ad usura, pertanto è possibile utilizzare la temperatura olio del cambio come parametro per valutare lo stato di efficienza di questo componente. Del resto uno scostamento dalla temperatura di esercizio ($80^{\circ} \div 90^{\circ}\text{C}$) è un aspetto da investigare prima che assuma maggiori proporzioni rilevate dalla spia di allarme sul cruscotto. Infatti un aumento della temperatura potrebbe essere dovuto ad un livello d'olio troppo alto che determina un degrado eccessivo dell'olio stesso, che diminuisce la sua viscosità diminuendo l'efficacia del suo compito, e quindi aumentando la possibilità di un guasto [39].

Oppure l'aumento della temperatura è dovuto al malfunzionamento del rallentatore con una conseguente riduzione o annullamento dell'azione frenante. Infine l'alta temperatura dell'olio cambio è un sintomo di avaria del cambio stesso, che non lavora più come dovrebbe causando l'arresto del veicolo.

Per quanto riguarda, poi, la pressione olio nel circuito di lubrificazione, visualizzarne l'andamento nel tempo è fondamentale per evitare di raggiungere valori bassi che comprometterebbero il funzionamento dell'autobus. Rilevare uno scostamento dai valori "normali" e procedere per tempo ad un controllo e verifica del corretto funzionamento dell'impianto, permetterebbe all'azienda un'opportuna programmazione dei fermi e soprattutto di evitare un'avaria in servizio con pericolo e disagio per i clienti.

Le cause di un'eventuale riduzione della pressione sono essenzialmente [40]:

- pompa olio usurata;
- perdita olio lato pressione da qualche parte;
- motore con bronzine da sostituire;
- valvola sovrappressione aperta o grippata;
- livello d'olio troppo basso.

Trascurare i segnali della diminuzione della pressione dell'olio aspettando l'accensione della spia sul cruscotto, può significare compromettere irrimediabilmente il motore [41] [42].

Capitolo 4 - Analisi dei dati per CSTP

4.1 PREMESSA

Se nel capitolo precedente sono stati descritti i parametri oggetto di studio con i relativi effetti sul funzionamento degli autobus in caso di malfunzionamento di alcuni componenti meccanici, adesso in questo capitolo verranno analizzati i dati raccolti tramite CAN relativi a tali parametri.

Lo scopo è quello di conoscere il comportamento di questi parametri, fondamentali per la valutazione del buon funzionamento degli autobus, per contestualizzarlo in un discorso di manutenzione su condizione. L'obiettivo è quello di riuscire ad individuare delle soglie per ciascun parametro, in modo da visualizzare gli scostamenti dalle stesse, sintomo di un inizio di malfunzionamento, riuscendo quindi ad intervenire prima del raggiungimento del valore critico rappresentato dall'accensione della spia, a danni generalmente già avvenuti.

4.2 IL CAMPIONE

Per ottenere i risultati prefissati è stato necessario adoperare un campione di sei autobus BREDAMENARINI della tipologia vista nel paragrafo 4.4, appartenenti al parco autobus della CSTP. L'impossibilità di adoperare un campione più ampio è dovuta al numero stesso di autobus in possesso dell'azienda che è appunto pari a sei. Tuttavia la quantità di rilevazioni registrate da ogni autobus nel corso di una giornata e di conseguenza nel corso dei mesi ha permesso di desumere un discorso statisticamente efficace.

Il periodo di rilevazione usato per la statistica è stato il mese di Febbraio 2008 e per ogni giorno di funzionamento nell'arco del mese sono

stati raccolti dati ad intervalli di trenta minuti per tempo di funzionamento dell'autobus.

In pratica la centralina dell'autobus registra le seguenti informazioni:

- Data e ora;
- Velocità;
- Giri motore;
- Temperatura acqua;
- Temperatura olio cambio;
- Pressione olio motore;
- Km percorsi;
- Ore funzionamento.

I valori considerati per la mia analisi sono quelli relativi alla temperatura acqua dell'impianto di raffreddamento, alla temperatura dell'olio nel cambio ed infine alla pressione dell'olio nel circuito di lubrificazione. Ovviamente essi sono stati incrociati con le ore di funzionamento e le date.

Per semplicità i sei autobus appartenenti al campione verranno indicati come autobus 1, autobus 2...e via dicendo.

4.3 TEMPERATURA ACQUA MOTORE

Cominciamo con l'analisi del parametro temperatura acqua motore. Se consideriamo il primo giorno di osservazione dell'intervallo di tempo considerato (mese) per l'autobus 1, diagrammando la temperatura dell'acqua in funzione del tempo di funzionamento dell'autobus avremo un andamento come in figura:

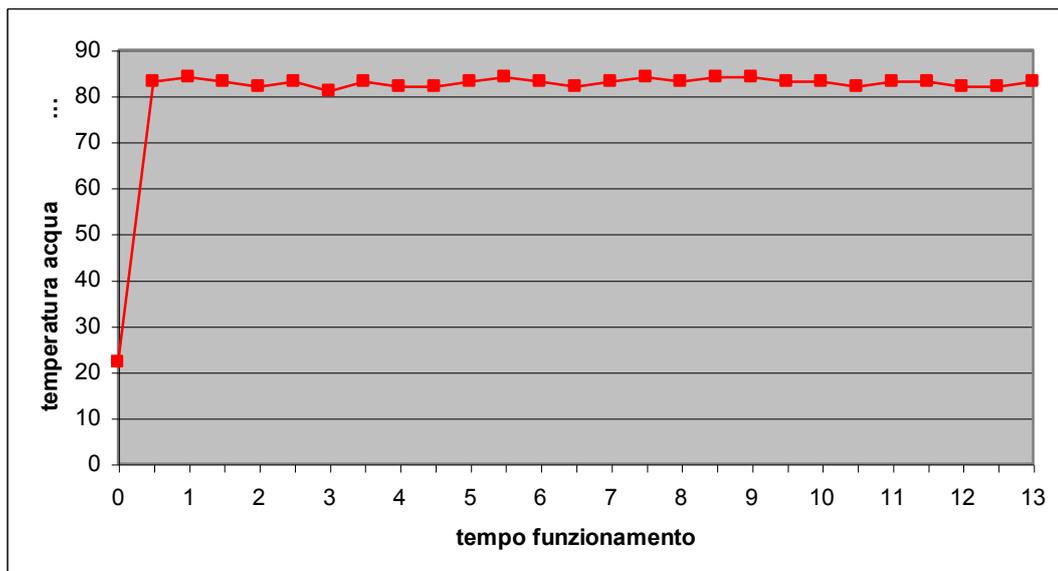


Figura 4.1: *Temperatura acqua autobus 1 giorno 01/02/08*

Per tempo di funzionamento si intende il tempo effettivo durante il quale l'autobus è in funzione, dunque con il motore acceso, magari anche non in movimento. Si tratta ovviamente di un tempo di funzionamento non necessariamente consecutivo bensì cumulabile. Ad esempio nel caso considerato le osservazioni fatte ogni trenta minuti hanno consentito di raccogliere 27 valori della temperatura nell'arco dell'intera giornata di funzionamento in quanto appunto il veicolo ha funzionato per più di 13 ore come ricavato dalle informazioni registrate dalla centralina. In ordinate sono indicate appunto le temperature in °C. La curva individuata presenta una fase transitoria in cui da un valore iniziale si passa ad un valore di regime che viene poi praticamente conservato nel tempo. Ciò equivale al riscaldamento dell'acqua, inizialmente a temperatura ambiente, fino ad un valore di esercizio che deve essere conservato nel corso del funzionamento dell'autobus. Infatti è possibile notare come la temperatura oscilli intorno agli 83-84 gradi Centigradi per una condizione di esercizio ottimale in termini di rendimento motore e consumi di carburante.

Osservando invece la figura successiva notiamo delle differenze.

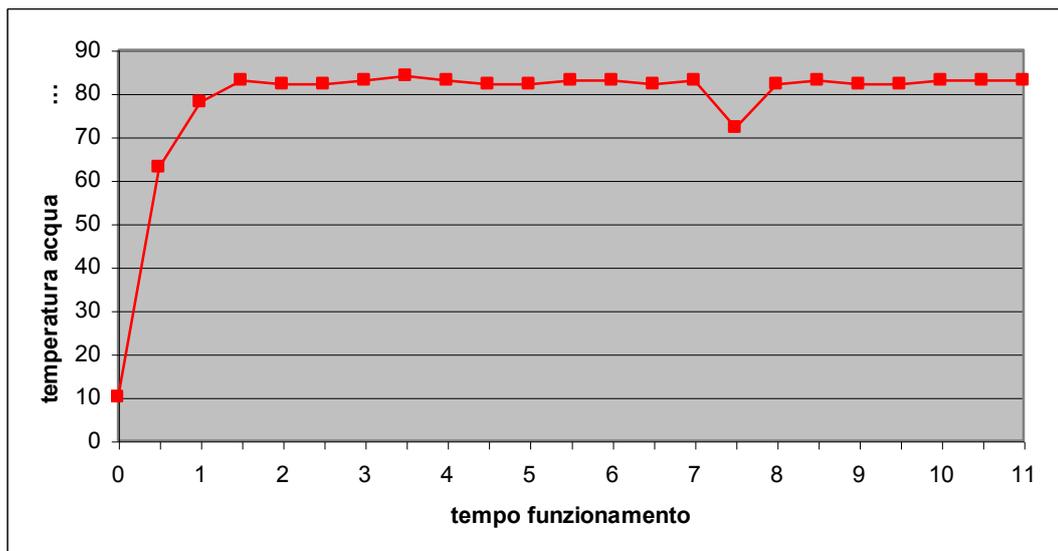


Figura 4.2: *Temperatura acqua autobus 1 giorno 18/02/08*

In corrispondenza di 7,5 ore di funzionamento osserviamo un picco, ossia una caduta di temperatura ad un valore di 72°C. Ovviamente è necessario analizzare questo tipo di informazione e in tal caso posso dire che ciò è dovuto ad una misurazione fatta dopo un breve intervallo in cui l'autobus è stato spento e quindi l'acqua ha cominciato a raffreddarsi. Ben diverso evidentemente sarebbe stato il discorso se dopo 30 minuti, ossia nella successiva rilevazione, la temperatura fosse rimasta quella e non avesse raggiunto le giuste temperature di esercizio.

Per quanto riguarda la fase di transizione, osservando la curva, è possibile fare alcune osservazioni. Tale grafico è relativo alla temperatura dell'acqua dello stesso autobus in un altro giorno del periodo di tempo considerato per l'osservazione (18/02/2008) rispetto al caso precedente.

La temperatura non raggiunge subito il valore di regime, pur partendo da un valore simile, ma soltanto alla quarta rilevazione ossia dopo circa un'ora e trenta minuti. Andando a investigare su questa situazione attraverso anche i dati di velocità e di km effettuati ho riscontrato che il veicolo è stato lasciato acceso per più di un'ora e soltanto poi ha cominciato il suo turno giornaliero. Questa infatti è un'operazione comune eseguita per permettere all'autobus di raggiungere un giusto riscaldamento del motore,

evitando di forzarlo “a freddo”. Così si spiega l’andamento più “dolce” del regime di transizione.

A questo punto il mio lavoro è proseguito analizzando le temperature per ogni giorno del periodo considerato relativamente all’autobus 1, ottenendo 24 diagrammi della tipologia precedentemente vista. L’obiettivo è stato quello di confrontarli tra di loro per valutare eventuali scostamenti o difformità.

Sovrapponendo quindi i risultati ottenuti, visualizzandoli in un unico grafico riassuntivo, otteniamo il seguente diagramma:

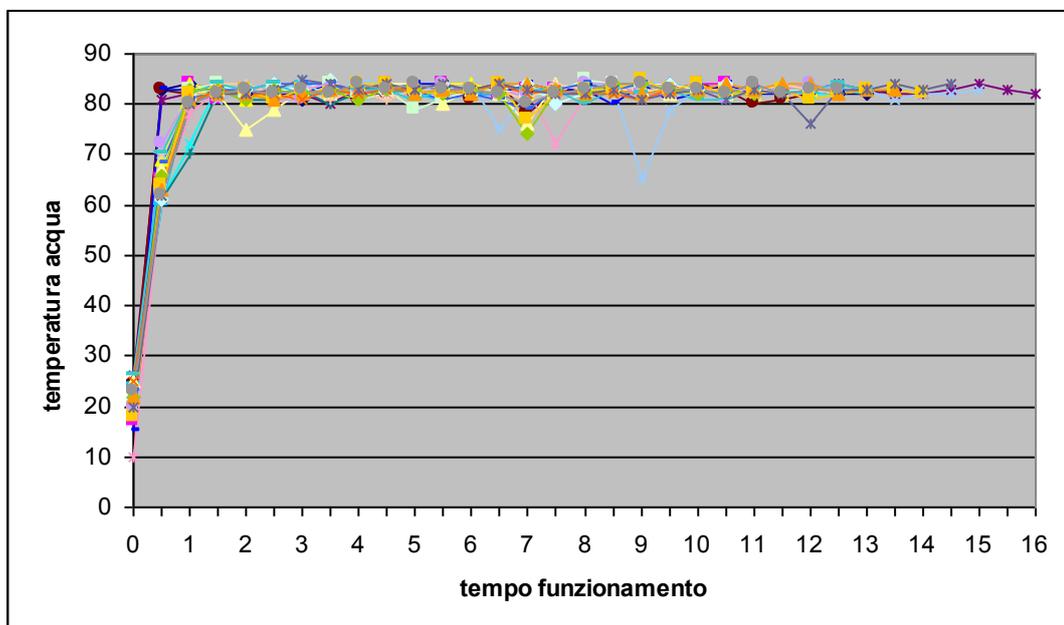


Figura 4.3: *Andamenti delle temperature acqua nel mese di osservazione*

A ciascun colore corrisponde l’andamento della temperatura dell’acqua dell’autobus 1 in un determinato giorno del mese.

E’ possibile notare la fascia in cui le temperature si concentrano formando il range di corretto funzionamento. Come già visto precedentemente i picchi presenti non sono un fattore rilevante, essendo dovuti essenzialmente ad una particolare situazione nel dato istante di rilevazione. Statisticamente quindi valori che ripetutamente cadessero fuori dalla fascia considerata sarebbero segno di cattivo funzionamento.

A questo punto ho provveduto a calcolare per ogni istante di rilevazione, quindi per ogni 30 minuti di funzionamento dell'autobus 1, la media delle temperature riscontrate nell'arco del mese intero. Ciò equivale a visualizzare l'andamento della media delle temperature del fascio su rappresentato.

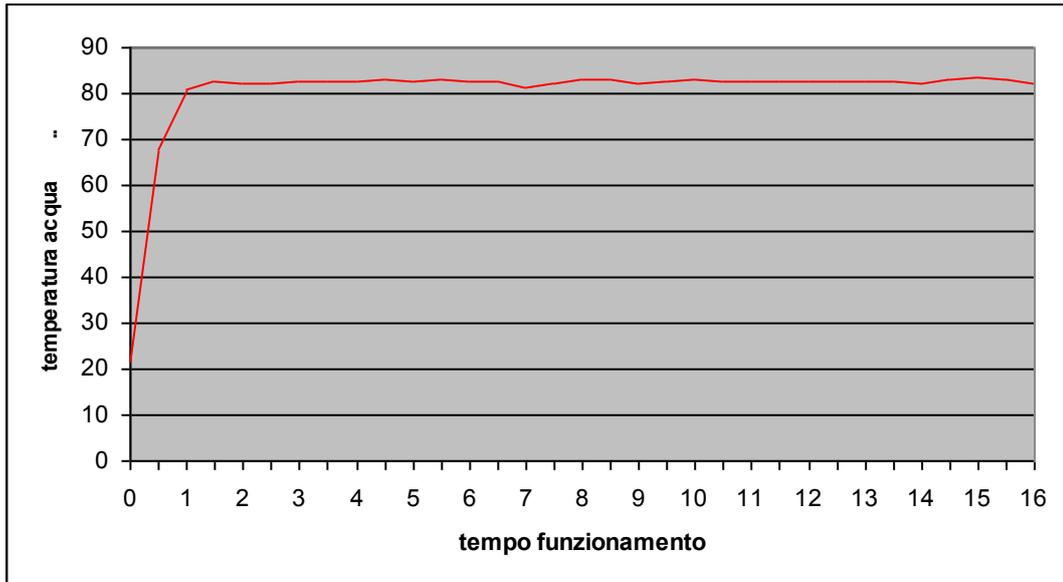


Figura 4.4: *Andamento media delle temperature autobus 1*

Il passo successivo dell'analisi è stato quello di ripetere questo discorso per tutti gli autobus assieme con l'obiettivo di ottenere un risultato generale a prescindere dal veicolo, e che possa essere utilizzato come metro di valutazione assoluto. Per ottenere il seguente grafico è stato utilizzato il software MINITAB.

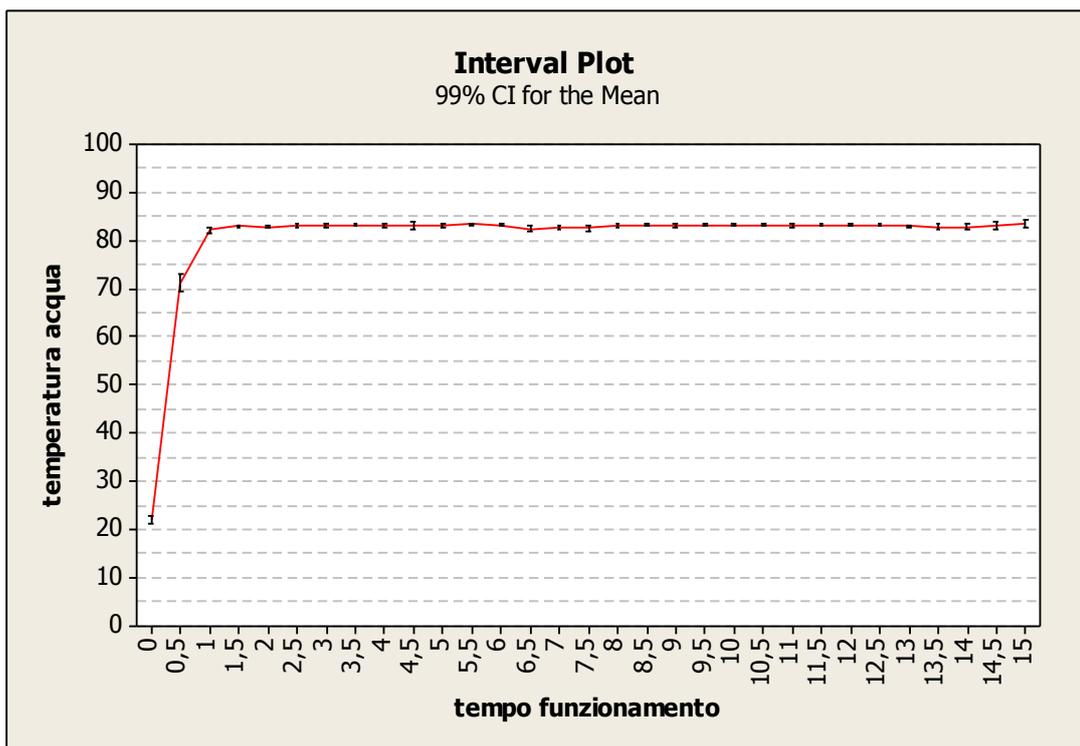


Figura 4.5: *Andamento media temperature acqua*

In figura è rappresentato infatti l'andamento generale della temperatura dell'acqua ricavato dai sei autobus considerati. Sono visualizzabili anche gli intervalli di confidenza per ogni punto di rilevazione dove vi è una probabilità del 99% che la media delle misurazioni cada al loro interno.

In pratica significa ottenere una distribuzione normale per ogni istante di rilevazione ove visualizzare la media e l'intervallo di confidenza. In figura 5.6 è rappresentato ad esempio la distribuzione relativa al tempo 2 di funzionamento dell'autobus, ottenuta tramite MINITAB.

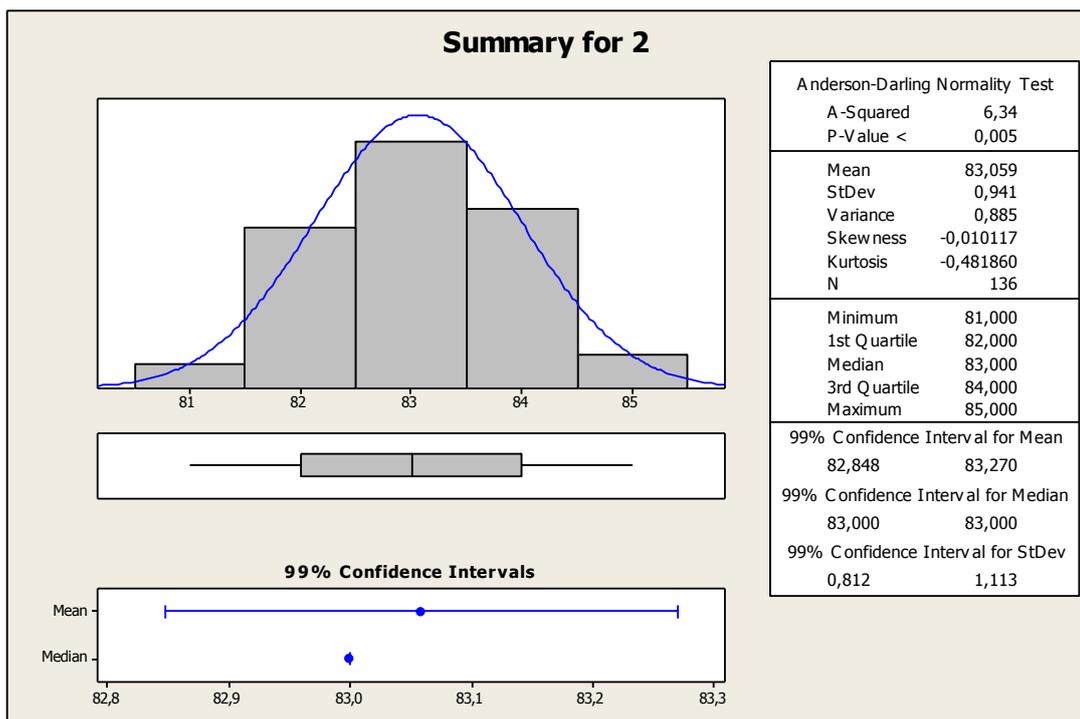


Figura 4.6: *Distribuzione normale delle misurazioni relative al tempo 2*

4.4 TEMPERATURA OLIO CAMBIO

La seconda categoria di dati raccolti ed analizzati è quella relativa alla temperatura olio del cambio. Anche in questo caso il primo passo è stato quello di visualizzare gli andamenti del parametro per ogni giorno di funzionamento, nell'arco dell'intervallo mensile considerato, in funzione del tempo di funzionamento del veicolo.

Ad esempio il primo giorno analizzato (01/02/08) relativo all'autobus 1 è visualizzato nella seguente figura:

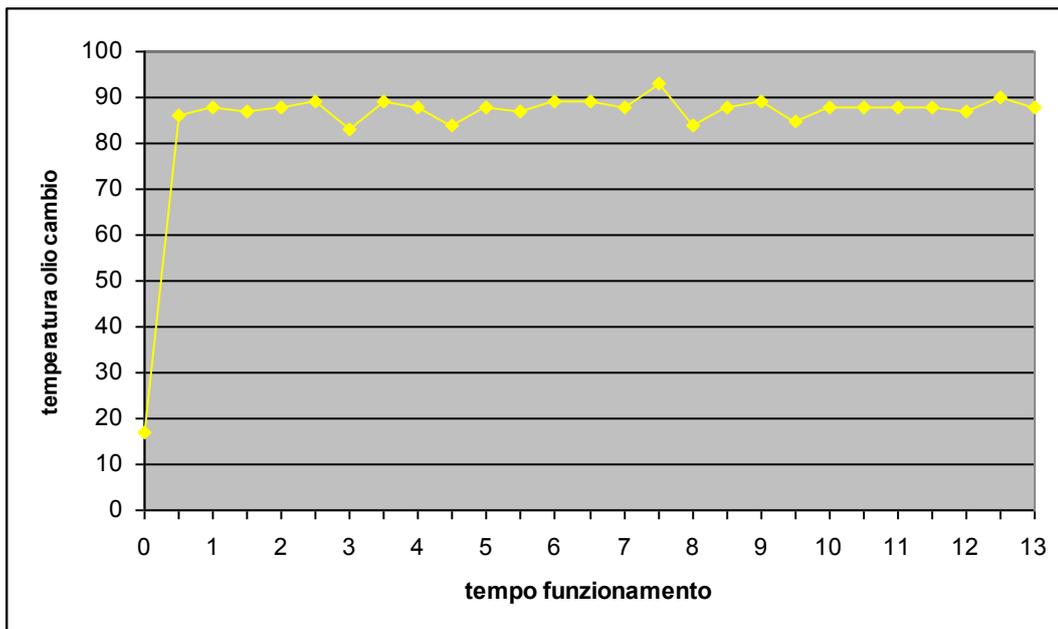


Figura 4.7: *Andamento temperatura olio cambio autobus 1 giorno 01/02/08*

Rispetto alle temperature dell'acqua motore queste temperature si attestano su valori superiori, prossimi ai 90°C. Anche in questo caso i picchi individuati sono perlopiù di tipo puntuale dovuti quindi ad una particolare condizione nel momento di rilevazione, quale può essere ad esempio il fatto che l'autobus è stato spento fino a poco prima della rilevazione del dato oppure è stato fermo, ma questa volta acceso, senza sollecitare il cambio, determinandone un abbassamento momentaneo della temperatura.

La non rilevanza quindi dei picchi di tipo puntuale del resto è confermata dal confronto delle due curve per uno stesso autobus ricavata dai dati a disposizione. La curva in rosso è relativa alla temperatura acqua del circuito di raffreddamento, quella in giallo è relativa alla temperatura olio del cambio.

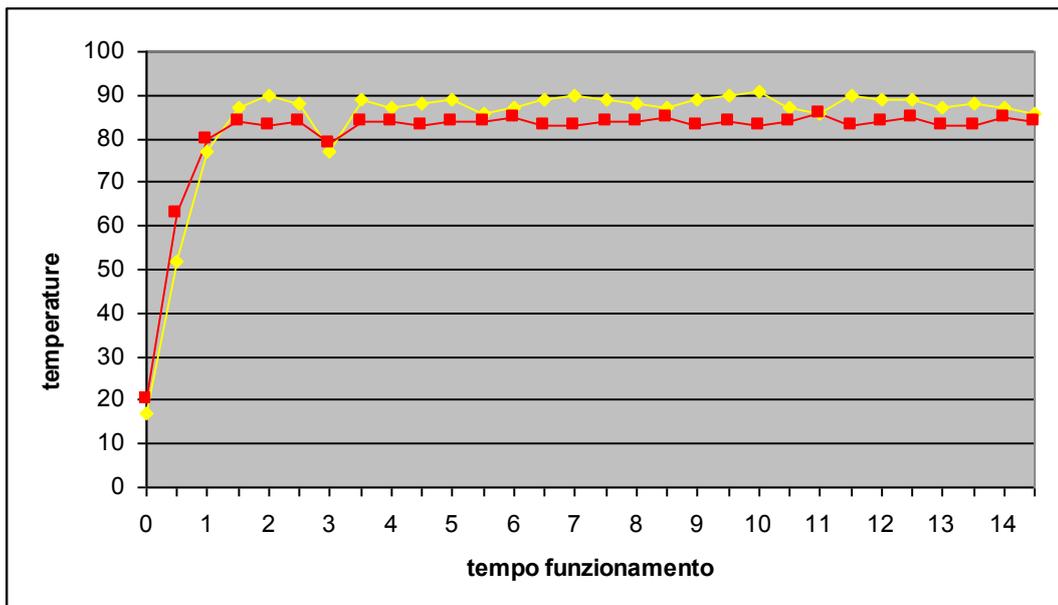


Figura 4.8: *Confronto temperatura acqua/temperatura olio cambio*

Dalla figura sono individuabili questi due tipi di picchi. Il primo al tempo 3 dimostra chiaramente che la misurazione è stata fatta in un istante in cui l'autobus è stato riacceso da poco, l'altro invece al tempo 11 è relativo ad una prolungata sosta a motore acceso, dovuta ad un'assenza di sollecitazione del cambio, confermata dall'innalzamento della temperatura acqua del circuito di raffreddamento causata da una mancata ventilazione a veicolo fermo.

Raccogliendo quindi i dati per ogni giorno di utilizzo dell'autobus 1 nel periodo temporale considerato ho potuto ottenere il fascio relativo alla temperatura dell'olio cambio che mi fornisce la distribuzione dei valori in funzione del tempo di funzionamento del veicolo.

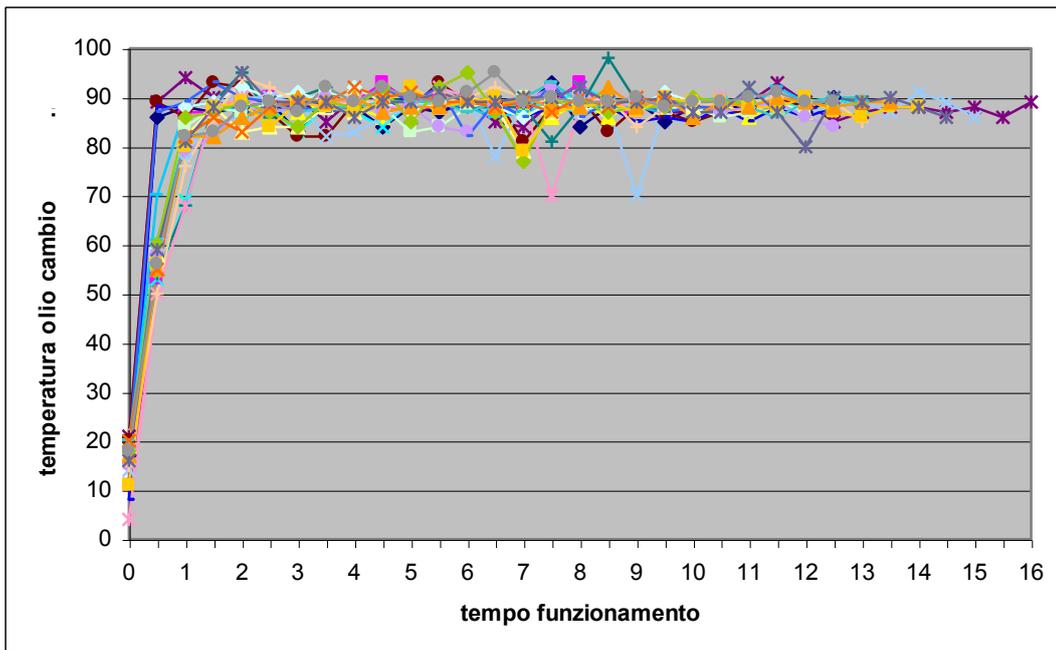


Figura 4.9: *Andamenti temperature olio cambio nel mese di osservazione*

Anche in questo caso ogni colore individua un giorno di osservazione all'interno del periodo temporale fissato.

Calcolando per ogni valore delle ascisse di osservazione la media delle temperature riscontrate nell'autobus 1 otteniamo il diagramma della temperatura media.

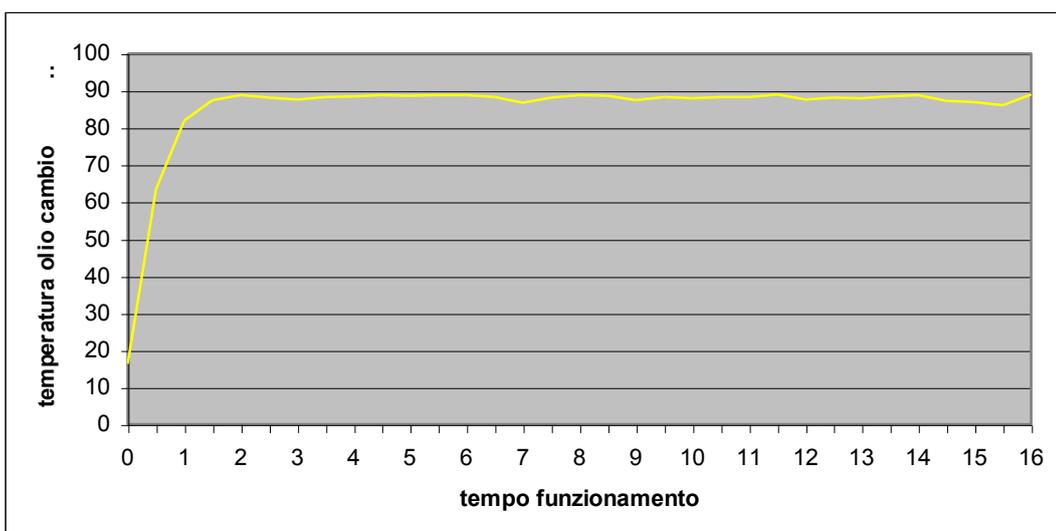


Figura 4.10: *Andamento media temperature olio cambio autobus 1*

Il discorso fatto tuttavia deve avere un significato quanto più generale possibile prescindendo dalla variabilità connessa al veicolo considerato. Per questo motivo il passaggio successivo consiste nel ricavare l'andamento generale della temperatura olio cambio considerando tutte assieme le misurazioni degli autobus nei vari momenti di rilevazione.

Nella figura seguente sono visualizzabili anche gli intervalli di confidenza dove la media delle misurazioni dei sei autobus per ogni rilevazione puntuale cade con una probabilità del 99%.

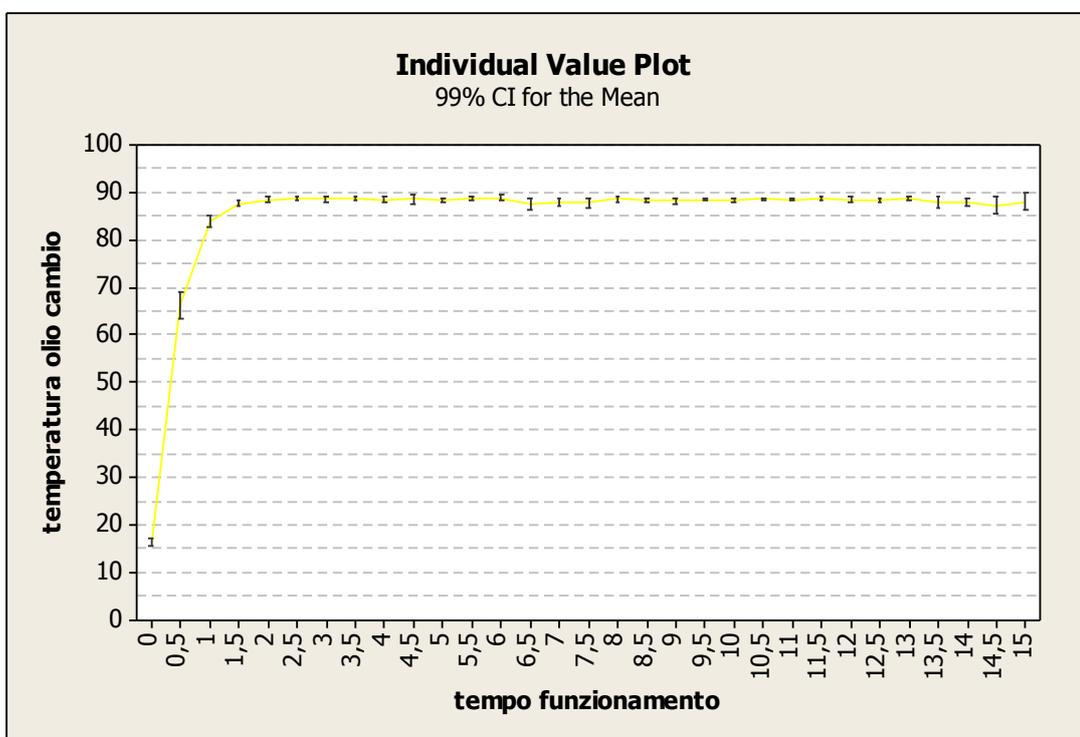


Figura 4.11: *Andamento media temperature olio cambio*

Anche in questo caso ciascun intervallo di confidenza è ricavato dalla distribuzione normale delle misure ottenute per ogni punto di rilevazione. La figura seguente mostra ad esempio la distribuzione relativa al tempo di funzionamento 2,5. In tal caso la media delle misurazioni ricade al 99% di possibilità nell'intervallo [88,328°C; 88,966°C]. Allo stesso modo si ricavano gli intervalli per tutti i punti considerati.

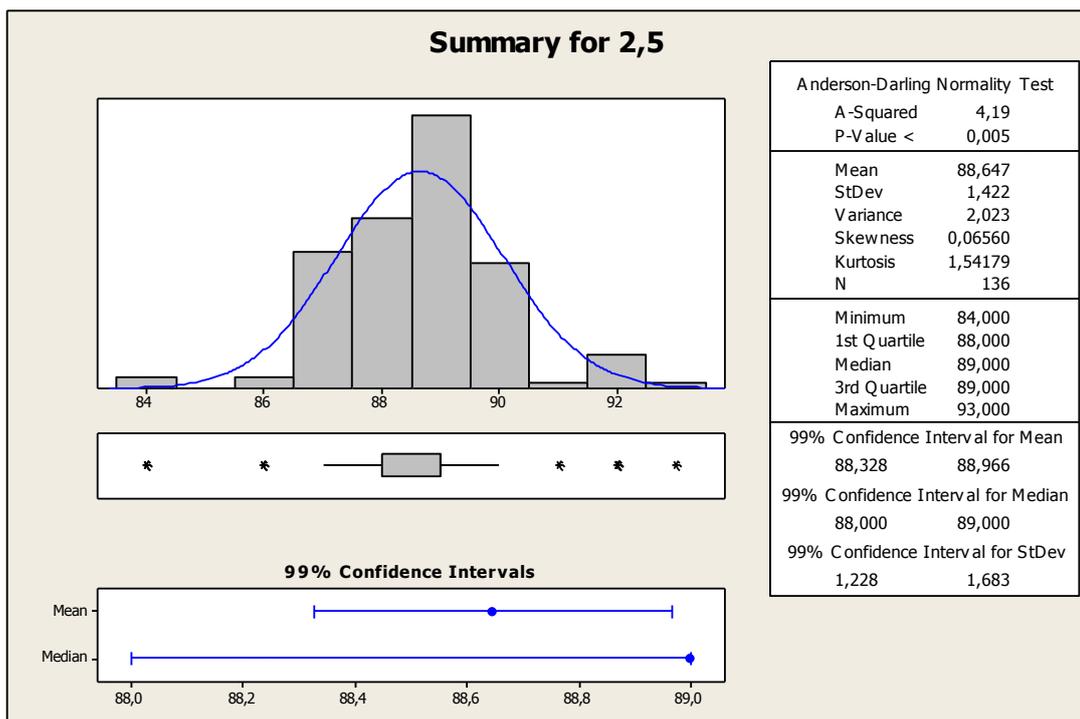


Figura 4.12: Distribuzione normale delle misurazioni relative al tempo 2,5

4.5 PRESSIONE OLIO MOTORE

Per quanto riguarda la raccolta e conseguente analisi di questo fondamentale parametro per l'osservazione della "salute" di un motore, il primo passo è stato quello di visualizzare il suo andamento rispetto a quello del regime motore, in funzione del tempo di funzionamento del veicolo di trasporto. Il diagramma seguente è relativo ad un giorno casuale di osservazione (in particolare il 5/2/08) dell'autobus 1 e riporta in ordinate le pressioni (kPa) e i giri motore (rpm) ed in ascisse il tempo di funzionamento (ore).

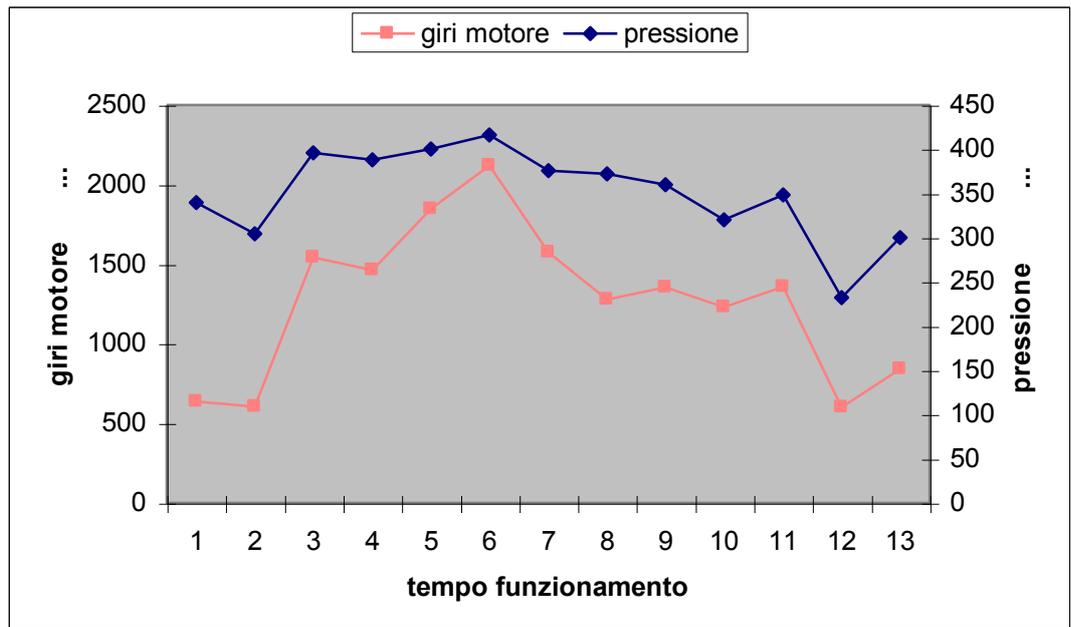


Figura 4.13: *Relazione giri motore-pressione olio motore*

La figura dimostra che tra pressione e giri motore c'è una relazione, infatti gli andamenti, a prescindere dalla diversa scala, sono simili; ad ogni aumento di giri motore corrisponde un aumento della pressione, ad ogni diminuzione dei giri una diminuzione corrispondente della pressione.

A questo punto è stata ricavata dai dati in possesso una curva di regressione (fig.4.13) mediante MINITAB, mettendo in relazione i giri motore e le pressioni corrispondenti. Le linee tratteggiate rappresentano l'intervallo in cui le misure del campione cadranno con una probabilità del 95%. Quest'informazione è molto importante perché fornisce sperimentalmente per ogni valore dei giri motore considerato, l'intervallo in cui le pressioni devono cadere. Ad esempio a 1250 rpm le pressioni dovranno spaziare nell'intervallo [315 kPa; 370 kPa].

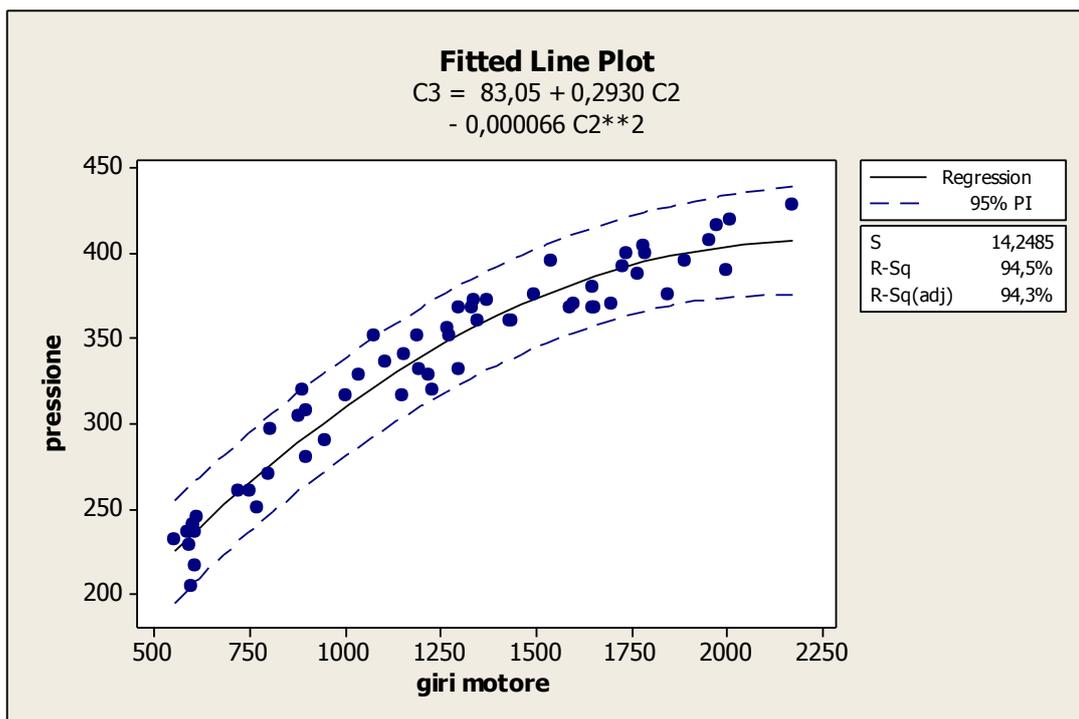


Figura 4.14: *Curva di regressione pressione – giri motore*

4.6 RISULTATI

Le analisi condotte fino a questo punto hanno consentito di raggiungere importanti conclusioni. Per la temperatura dell'acqua nel circuito di raffreddamento è stato ricavato statisticamente un andamento medio che rappresenterà la soglia di buon funzionamento e qualsiasi scostamento sarà segnale di anomalia in corso. La figura seguente mostra una simulazione in cui è possibile apprezzare la potenzialità di tale applicazione.

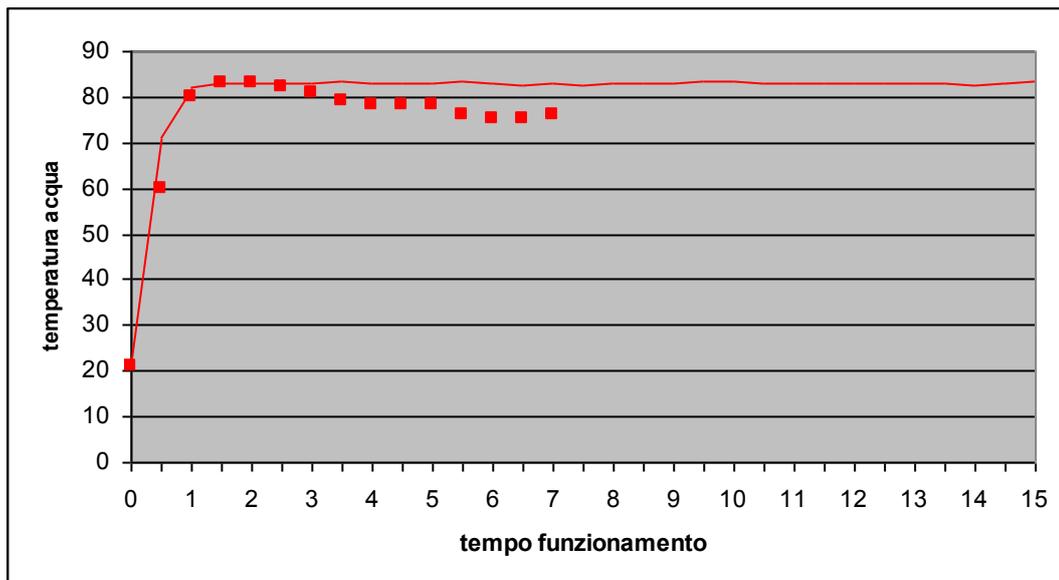


Figura 4.15: *Simulazione abbassamento critico temperatura acqua*

In questo caso la temperatura all'istante di rilevazione tre comincia a discostarsi dalla curva "normale". Questo tipo di andamento è dovuto ad un malfunzionamento della valvola termostatica bloccata in posizione aperta, che determina il continuo ricircolo del liquido di raffreddamento tra radiatore e motore, impedendo allo stesso di andare in temperatura assestandosi su valori più bassi. Ciò determina un maggior consumo di carburante e maggiore usura del motore. Del resto scoprire una situazione del genere sarebbe difficile anche per l'assenza di una spia bassa temperatura, lasciando l'incombenza solo alla capacità dell'autista che dovrebbe accorgersi dal display di una continua temperatura bassa nel tempo.

Ben più pericoloso è il caso in cui la temperatura dovesse discostarsi dalla curva media in aumento.

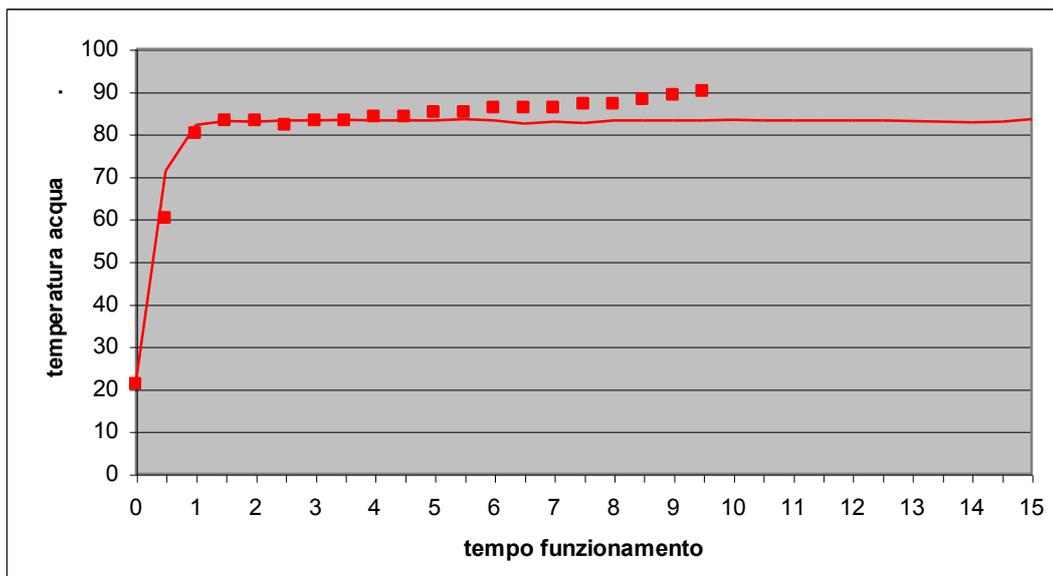


Figura 4.16: *Simulazione innalzamento critico temperatura acqua*

Questa condizione si può verificare per una serie di motivi come già affermato nel paragrafo 4.6. Ad esempio il malfunzionamento della valvola termostatica bloccata in posizione semi chiusa o addirittura chiusa impedisce il defluire dell'acqua nel radiatore impedendo il raffreddamento. Oppure un intasamento o piegatura delle alette del radiatore riduce la capacità di raffreddamento del radiatore stesso costringendo la ventola ad un continuo funzionamento. Oppure ancora il cattivo funzionamento della pompa che deve mettere in circolo l'acqua. Tutti questi fattori, quindi, possono determinare uno scostamento dal valore ottimale e la possibilità di individuarne per tempo la natura consente di guadagnare tempo prezioso rispetto all'allarme della spia che scatterebbe solo se si raggiungessero valori superiori ai 110°C. Individuare la tendenza dell'andamento consentirebbe all'azienda di organizzarsi prontamente con un autobus sostitutivo creando minimi disagi ai passeggeri oltre ad evitare il danneggiamento ulteriore del motore stesso. Attendere la segnalazione della spia significherebbe doversi fermare all'improvviso con disagi per la clientela e la grande probabilità di aver compromesso anche altri componenti del motore.

Tuttavia per fare un discorso più preciso ed individuare le soglie per cui l'allontanamento dall'andamento "normale" può ritenersi un campanello di allarme, è stata utilizzata una carta di controllo [43][44]. Essa è stata realizzata mediante MINITAB utilizzando i valori a regime provenienti dai sei autobus del campione.

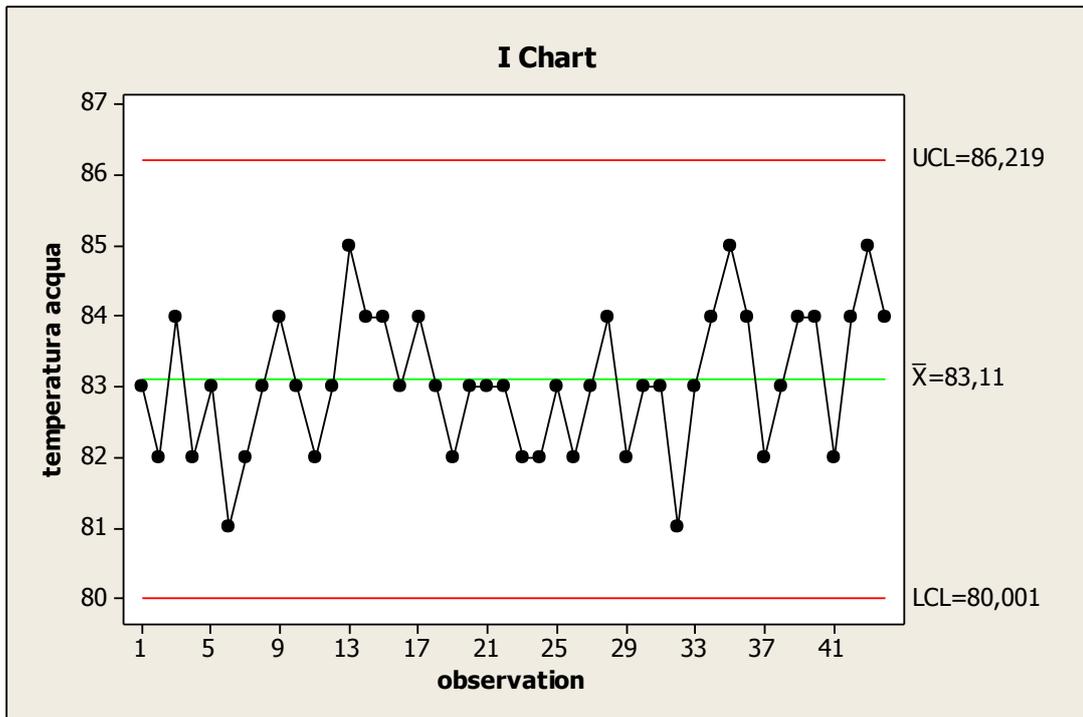


Figura 4.17: Carta di controllo parametro temperatura acqua

Tale figura mostra un estratto del modo in cui si succedono le rilevazioni. La media delle misurazioni risulta essere 83,11°C e sono ricavati i limiti di controllo a $\pm 3\sigma$. Questo strumento consente di quantificare precisamente quando le rilevazioni che cadono al di fuori della fascia di normale funzionamento segnalano una situazione critica.

La figura successiva 4.17 mostra ad esempio una eventuale situazione di pericolo, in quanto i punti a partire dall'osservazione 17, cominciano ad addensarsi da una sola parte della media, per superare poi il limite di controllo ripetutamente nel tempo. Una circostanza tale sarà il

segnale di un malfunzionamento del circuito di raffreddamento e che indurrà a prendere tutte le contromisure del caso.

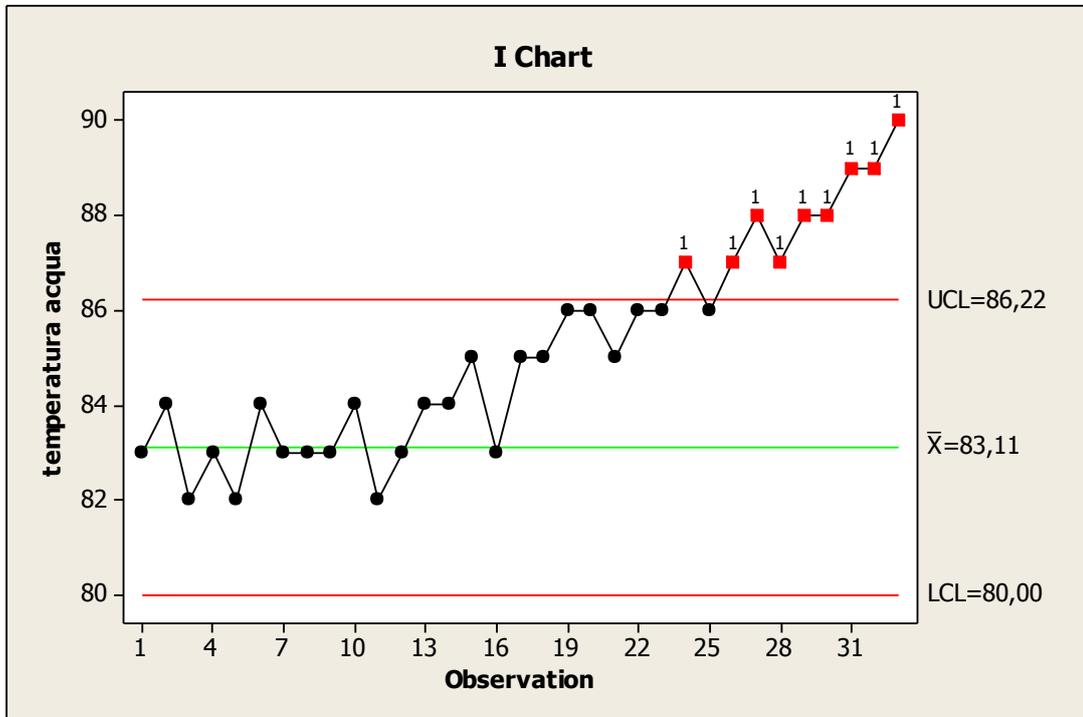


Figura 4.18: *Simulazione evento critico*

Un discorso analogo può essere fatto per la temperatura dell'olio cambio. Anche in questo caso lo scostamento dalla curva tipica di funzionamento "normale" ricavata sperimentalmente, è da addebitarsi ad un anomalo funzionamento del cambio o anche ad un degrado dell'olio stesso che tende ad essere troppo liquido riducendo la protezione dei componenti meccanici, aumentandone l'usura e quindi accelerandone la rottura.

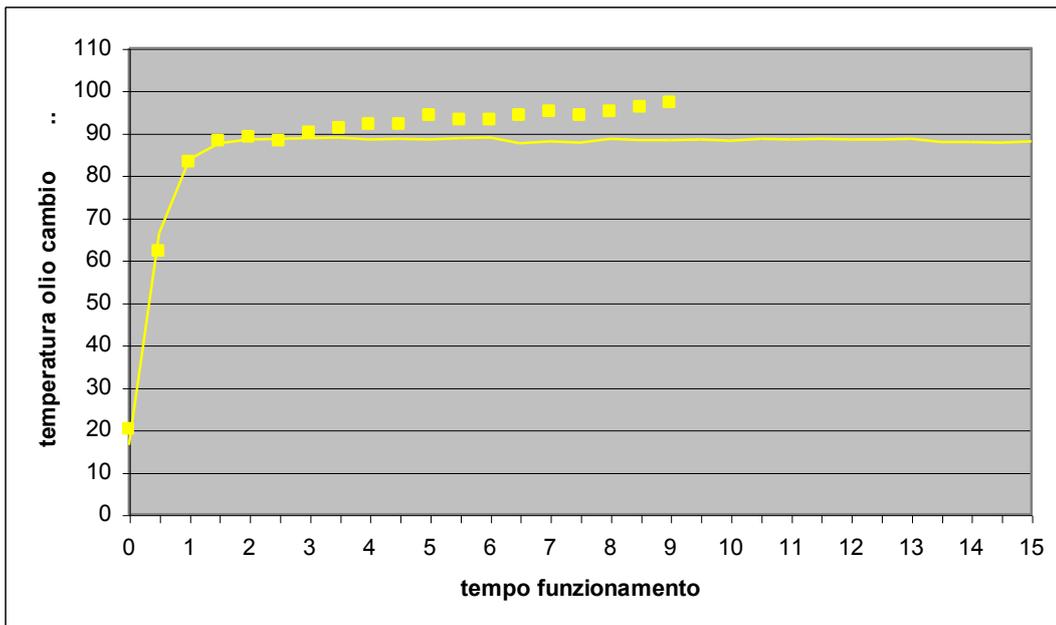


Figura 4.19: *Simulazione innalzamento critico temperatura olio cambio*

Lo scostamento quindi è un segnale da analizzare perché espressione di un'avaria in atto. Riuscire a individuare subito tale anomalia si traduce in un vantaggio notevole per l'azienda che potrà ispezionare prima della rottura totale il componente in questione.

Anche in questo caso per quantificare la soglia di allarme è stata utilizzata una carta di controllo. In figura è mostrato un estratto di tutte le rilevazioni ricavate dagli autobus dalle quali si è ricavata la media (88,41°C) e i limiti di controllo a $\pm 3\sigma$.

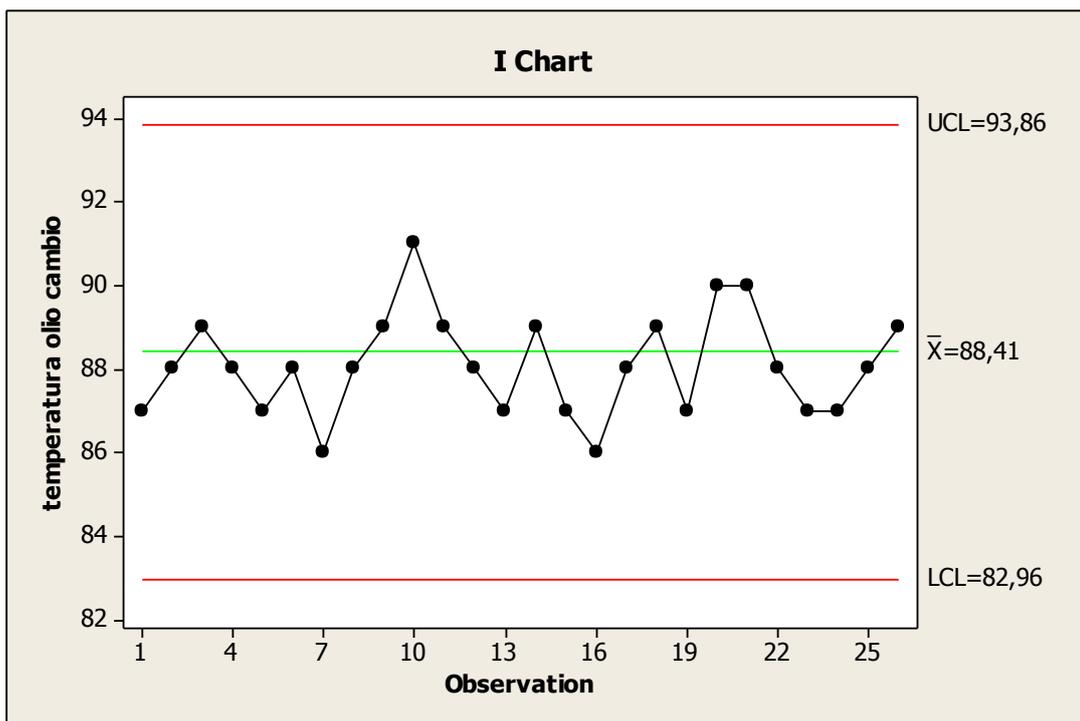


Figura 4.20: *Carta di controllo parametro temperatura olio cambio*

Utilizzare questo strumento consente di individuare immediatamente un comportamento “anomalo” del parametro in questione, come può dimostrare la condizione simulata riportata nella figura 4.20 in cui sono evidenziati in rosso con il numero 1 i punti che cadono al di fuori dei limiti di tolleranza individuati sperimentalmente.

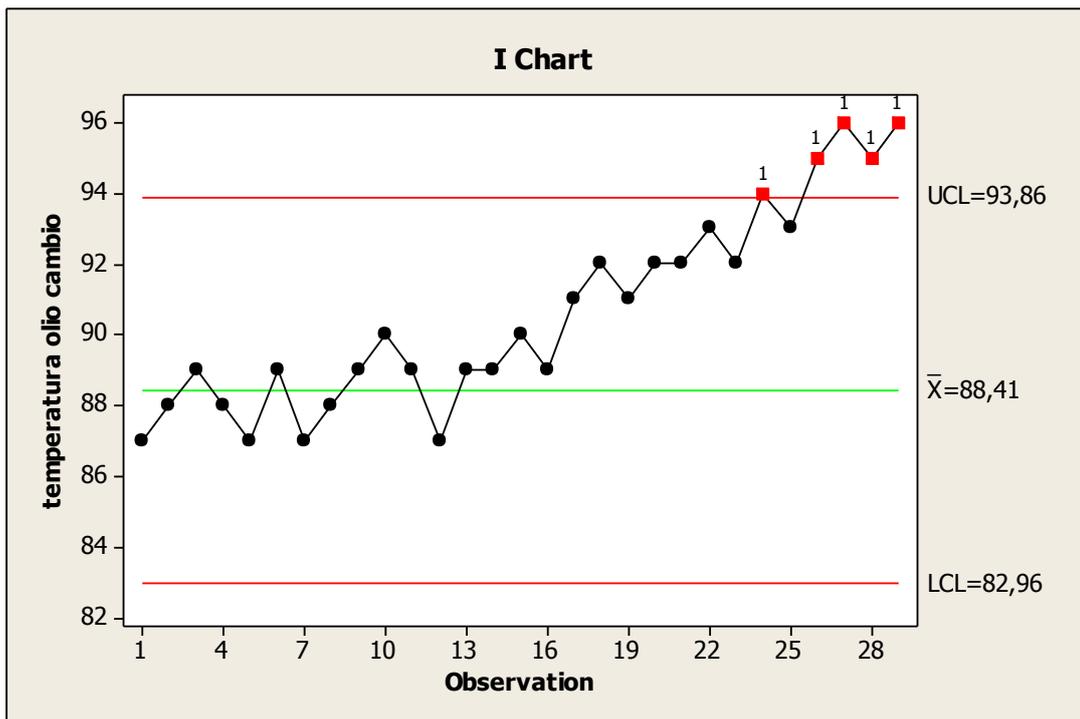


Figura 4.21: *Simulazione condizione critica*

Per quanto riguarda invece la pressione nell'impianto di lubrificazione, un modo per leggere il comportamento di tale parametro è confrontarlo con gli intervalli ricavati in maniera sperimentale dal diagramma di figura 4.13 per valutarne l'eventuale scostamento, sintomo di avaria in atto. La seguente figura mostra le modalità di un controllo eseguito sulla pressione, riportando sullo stesso grafico le pressioni e i giri motore.

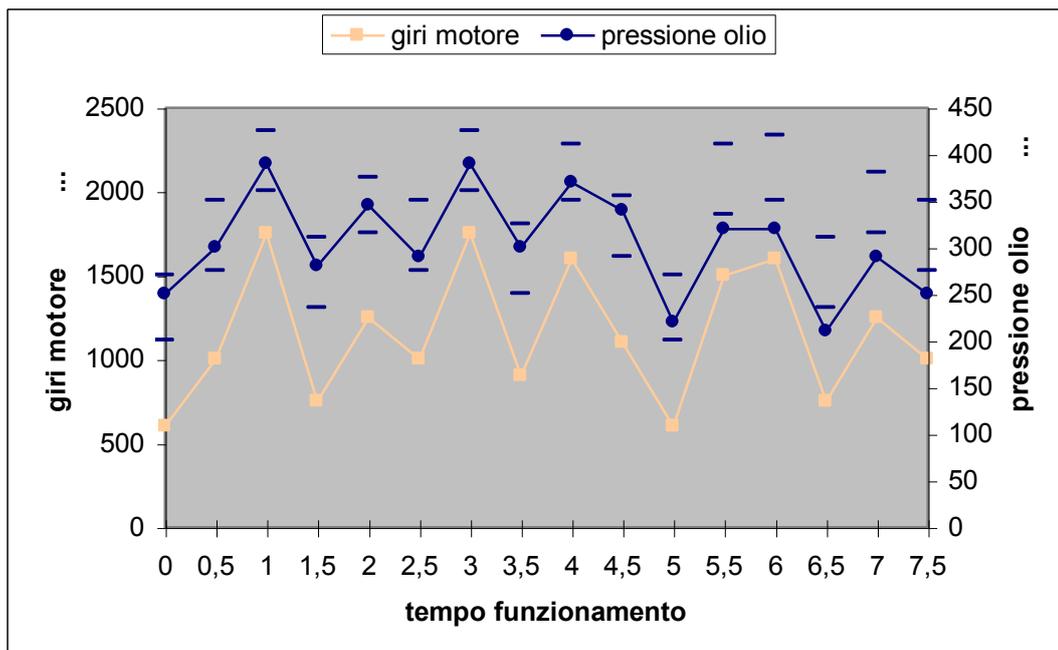


Figura 4.22: *Simulazione abbassamento critico pressione olio motore*

In corrispondenza di ciascun valore dei giri motore è riportata la pressione relativa e gli intervalli in cui la pressione dovrebbe cadere secondo la curva sperimentale di figura 4.13. Fino al tempo 5 osserviamo come le pressioni cadano effettivamente negli intervalli corrispondenti. A partire dal tempo 5,5 però si osserva come la pressione cominci a scostarsi dall'intervallo di funzionamento "normale". Ciò indicherebbe l'insorgere di un'anomalia nell'impianto di lubrificazione. Tale simulazione dimostra i vantaggi di poter controllare tale parametro, riuscendo ad individuare praticamente subito un eventuale guasto e intervenendo subito riducendo il rischio di un danno maggiore. Come visto nel paragrafo 4.6 l'abbassamento della pressione può causare seri danni al funzionamento del motore per cui disporre di uno strumento che possa individuarne subito l'andamento anomalo è di fondamentale importanza per l'azienda.

Capitolo 5 - Problematiche di sicurezza relative al rischio incendio

5.1 LA CHIMICA DEL FUOCO

Il fuoco è il manifestarsi di una reazione chimica, solitamente di ossidazione, che avviene tra due reagenti a contatto, combustibile e comburente. Gli effetti sono emanazione di energia (calore e luce) e trasformazione dei reagenti in altri composti (prodotti di combustione). E' fonte di energia quando è controllato (caminetto, stufa, caldaia ecc.). E' minaccia quando raggiunge la proporzione di incendio (energia non controllata). Per far sì che una combustione si sviluppi sono sempre necessari gli elementi che costituiscono il cosiddetto "triangolo del fuoco" rappresentato in figura 11 [45],[46],[47].

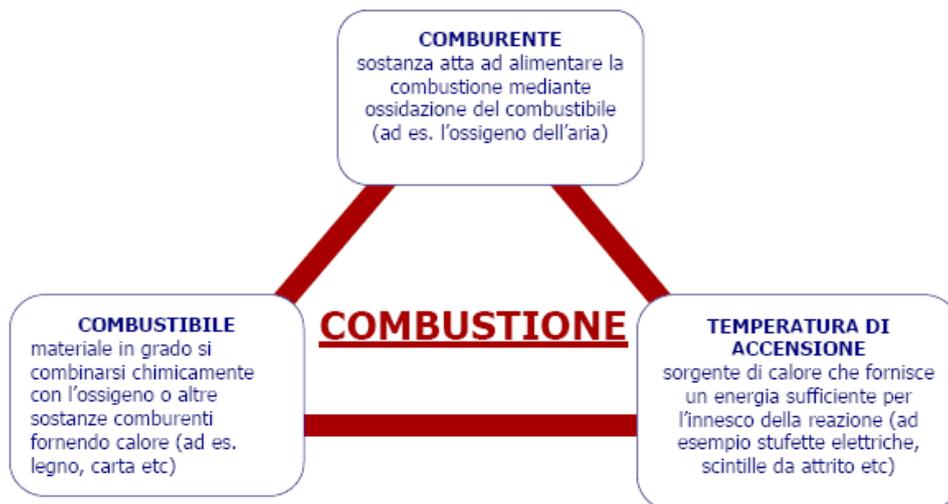


Figura 5.1: Il triangolo del fuoco.

Gli elementi del triangolo del fuoco sono: combustibile, comburente, e temperatura d'accensione.

Il combustibile è la sostanza in grado di bruciare combinato con l'ossigeno e di fornire energia termica. Possiamo trovarlo allo stato solido, liquido o gassoso.

I principali combustibili esistenti sono riassunti in figura 5.2.

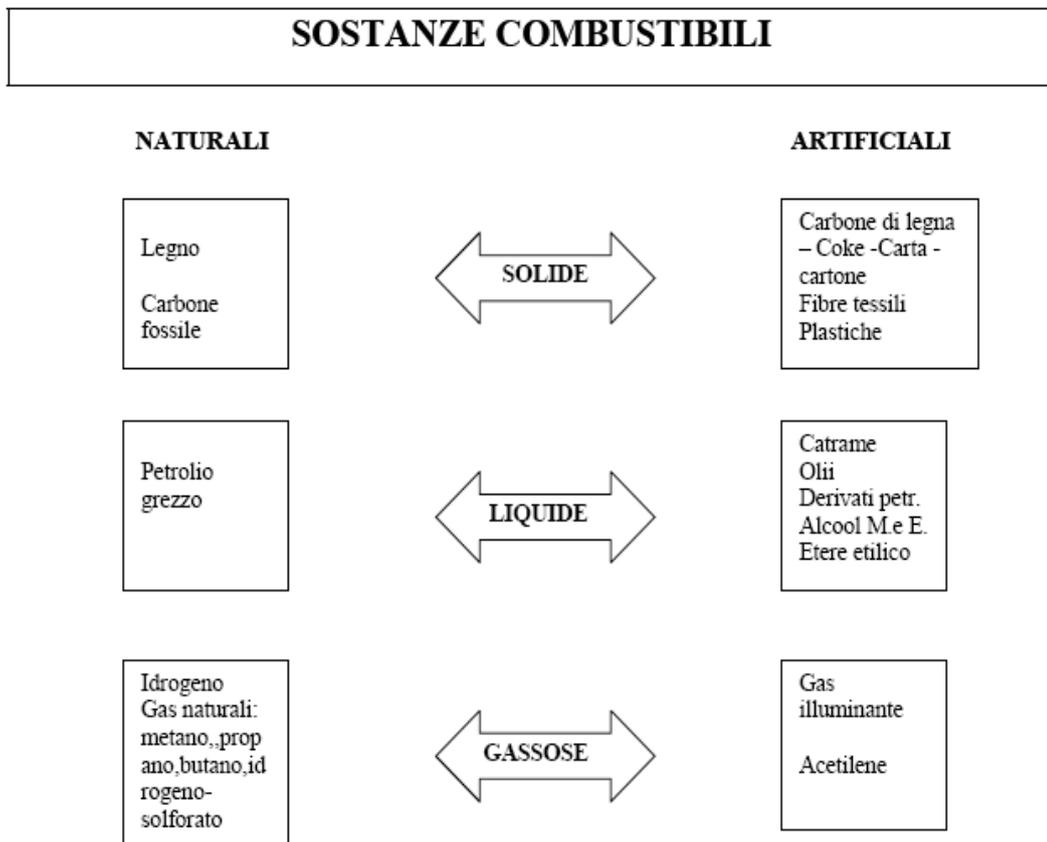


Figura 5.2: Le sostanze combustibili esistenti.

Nella maggior parte dei casi la reazione chimica della combustione ha inizio allo stato gassoso, perché i liquidi e frequentemente anche i solidi sottoposti a riscaldamento emettono vapori combustibili. Quindi, mentre le sostanze combustibili gassose non hanno bisogno di alcuna trasformazione per poter bruciare, le sostanze combustibili liquide e solide, per poter bruciare, devono emettere dalla loro superficie vapori in quantità sufficiente a sostenere una combustione, e cioè tale da formare con l'aria una miscela aria-combustibile in grado di accendersi a contatto con un innesco (fiamma o scintilla); la quantità di vapori prodotti è ovviamente proporzionale alla temperatura d'infiammabilità.

Il comburente è la sostanza che permette al combustibile di bruciare, generalmente si tratta dell'ossigeno contenuto nell'aria. Vi sono poi altri

comburenti molto meno diffusi come il protossido di azoto N₂O, il biossido di azoto NO₂, l'ossido di azoto NO, ecc.

La temperatura di accensione è la temperatura minima alla quale deve essere portata una sostanza combustibile perché la sua combustione si inneschi spontaneamente e da quel momento in poi possa mantenersi da sola, senza ulteriore apporto di calore. Tale temperatura può variare per i materiali solidi in funzione della loro superficie esposta per unità di peso; in altri casi la temperatura di accensione diminuisce in presenza di sostanze ossidanti quali ad esempio perossidi. Ogni sostanza ha la sua particolare temperatura di accensione alcuni esempi sono proposti nella seguente tabella.

Tabella 5.1: Temperature d'accensione di alcune sostanze.

Sostanza	Temperatura d'accensione °C
Carta	240
Cotone idrofilo	250
Gomma sintetica	300
Lana (tessuto)	205
Legno secco	215-270
Nylon	475
Acetone	540
Alcool	360
Etere etilico	160
Benzina	245
Gasolio	220
Metano	537

Nei recenti studi sulla cinematica delle combustioni risulta che vi è un altro elemento che il triangolo del fuoco non spiega. In particolare il triangolo non chiarisce la natura dell'incendio e la reazione a catena che risulta dalla reazione chimica fra il combustibile, ossigeno e calore. Recentemente a causa della scoperta della presenza di questo quarto elemento nelle teorie antincendio si parla di tetraedro. Il procedimento della reazione a catena non è ben conosciuto. Una delle ipotesi è che la molecola di idrogeno

- **Punto di fusione:** temperatura alla quale una sostanza si trova in equilibrio tra lo stato solido e quello liquido, indica a quale temperatura ambiente può divenire liquido infiammabile;
- **Campo e limiti di infiammabilità:** perché una miscela combustibile-comburente risulti infiammabile, il combustibile deve essere presente in determinate proporzioni. Il campo di esplosività è delimitato da un limite inferiore di esplosività e da un limite superiore che rappresentano le concentrazioni minime e massime entro le quali avvengono i fenomeni di combustione e di esplosione. All'esterno di questo intervallo di infiammabilità, la miscela risulta troppo povera o troppo ricca di combustibile rispetto al comburente, per cui la combustione non può avvenire;

Tabella 5.2: Caratteristiche chimiche di alcuni combustibili.

Combustibili	Temp. accens. (°C)	Temp. infiam. (°C)	Energia ignizione (in j)	Campo infiam. (% in aria)
Metano	540	-180	0,470	5 + 15
Etano	520	-134	0,285	3 + 15,5
Propano	465	-102	0,305	2 + 9,5
n-Pentano	285	-40	0,49	1,4 + 8
Ciclopentano	380	-38	0,540	n.d.
Etilene	425	-135	0,096	2,7 + 34
Acetilene	300	-18	0,020	1,5 + 82
Benzene	550	-11	0,550	1 + 8
Alcool metilico	385	10	0,210	5,4 + 44
Alcool isopropilico	400	11	0,650	2 + 12
Acetone	465	-19	1,150	2,5 + 13
Idrogeno	560		0,020	4 + 75

- **Potere calorifico:** è la quantità di calore prodotta dalla combustione completa, a pressione costante, dell'unità di massa o di volume di combustibile, avendo riportato i prodotti alla temperatura iniziale. E' una grandezza caratteristica di ciascun combustibile;
- **Punto di ebollizione:** temperatura alla quale la tensione di vapore della sostanza in esame, eguaglia la pressione atmosferica. Può essere preso come indicazione della volatilità di un materiale.

5.2 L 'INNESCO

L'innesco è l'elemento che, a contatto con la miscela infiammabile, avvia la reazione di combustione. Le fonti di innesco si dividono in 4 categorie:

- Accensione diretta: quando una fiamma, scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile (taglio e saldatura, fiammiferi, mozziconi di sigaretta, ecc.)
- Autocombustione: quando il calore necessario all'innesco viene prodotto dallo stesso combustibile. In un punto della massa del combustibile si innesca una reazione di ossidazione o un processo di fermentazione con produzione di calore che, non venendo disperso a causa della scarsa conduzione del materiale o insufficiente ventilazione, provoca un aumento della temperatura fino al valore di autoaccensione.

Tabella 5.3: Temperatura di autocombustione relativa ad alcuni solidi.

Solidi	Temperatura in °C
Legno di quercia	340
Legno faggio	295
Legno abete	280
Carbone	250-260
Cotone	450
Ovatta di cellulosa	320
Carta da lettere	360
Carta da giornale	185
Tabacco	175

- Accensione indiretta: quando il calore viene fornito dall'innesco per convezione, conduzione ed irraggiamento (correnti di aria calda generate da un incendio e trasmesse attraverso vani scale, ecc.; propagazione di calore attraverso elementi metallici);
- Attrito: quando il calore è prodotto dallo sfregamento di due materiali (malfunzionamento di parti metalliche rotanti, urti, rottura violenta di materiali metallici, ecc.).

5.3 L'INCENDIO

L'incendio può essere definito generalmente come una combustione accidentale, non voluta e non controllata dall'uomo, a cui partecipano combustibili non a ciò destinati; ha origine per effetto di un apporto di energia occasionale, con conseguenti danni a cose, all'ambiente, e talvolta a persone. Le caratteristiche di un incendio possono essere analizzate secondo due schemi evolutivi principali:

- Potenza termica;
- Evoluzione temperatura.

5.3.1 La potenza termica

Qualitativamente la potenza termica (quantità di calore nell'unità di tempo) prodotta e dispersa, in funzione della temperatura del materiale combustibile, può essere rappresentata con il diagramma della fig. 14.

La curva D rappresenta il calore disperso all'esterno della massa in relazione alle sue caratteristiche e all'ambiente, mentre le curve D0 e D1 rappresentano le situazione limite di dispersione del calore. P è la curva di calore fornito alla massa e poi prodotto dalla stessa in combustione.

Si distinguono inoltre le seguenti fasi:

A / T_a = condizione di equilibrio a temperatura ambiente;

A – B = apporto di calore dall'esterno (fase reversibile) alla massa;

B / T_i = condizione di raggiunta temperatura di innesco combustione nel materiale (autoaccensione);

B – C = fase di combustione (irreversibile) con produzione di calore proprio senza necessità di apporto dall'esterno;

C = stato di equilibrio con continuazione della combustione fino ad esaurimento combustibile.

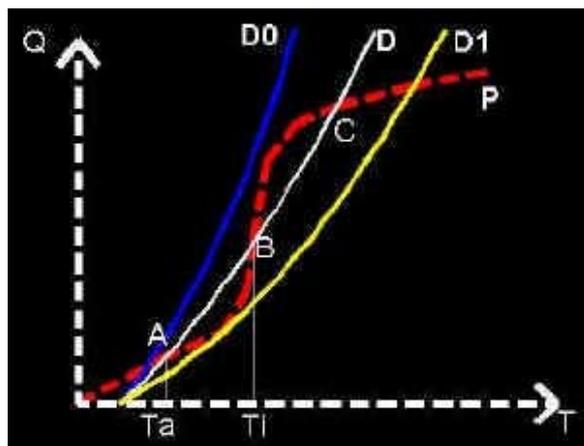


Figura 5.4: Evoluzione della potenza termica di un incendio.

Per riuscire ad agire sull'incendio si devono conoscere le due situazioni limite. La curva di dispersione $D0$ è la situazione in cui il calore disperso è sempre maggiore di quello che verrebbe prodotto P , quindi si è in condizione di costante impossibilità di combustione. La curva di dispersione $D1$ è la situazione in cui la dispersione è sempre inferiore al calore prodotto P , si genera quindi un surriscaldamento con innesco istantaneo della combustione.

5.3.2 Evoluzione temporale dell'incendio

Nel considerare l'evoluzione tempo-temperatura dell'incendio schematicamente si può individuare uno sviluppo in 3 FASI [45],[47]:

- la prima fase viene detta fase di sviluppo o di ignizione;
- la seconda fase è quella centrale dove si sviluppa l'incendio e viene detta fase di estensione;
- la terza fase è quella finale di estinzione e di soppressione;

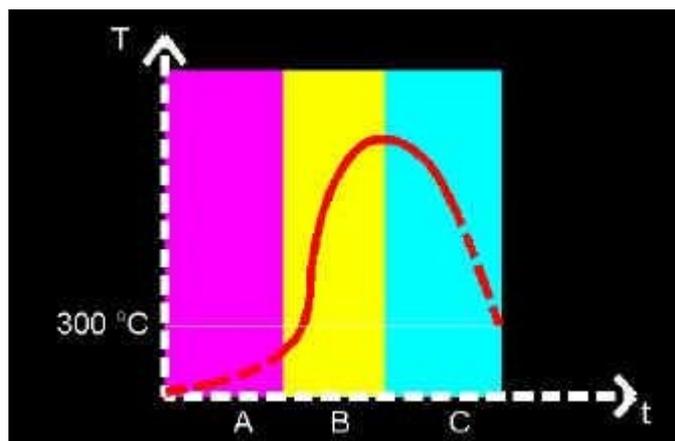


Figura 5.5: Evoluzione tempo-temperatura dell'incendio.

Durante le tre fasi, la temperatura del locale soggetto all'incendio aumenta secondo una curva caratteristica del materiale combustibile presente. Si possono distinguere inoltre due temperature tipiche :

- la temperatura di non ritorno o di flash-over (intorno ai 500-600°C) oltre la quale l'incendio non è più controllabile e dove tutto il materiale combustibile si incendia contemporaneamente. Avviene quello che si chiama l' *Incendio generalizzato*.
- La Temperatura massima raggiungibile dall'incendio (fino a 1200°C), che dipende dal tipo di materiale combustibile e dalle condizioni al contorno del locale (aerazione, ventilazione, umidità, ecc.)

FASE DI SVILUPPO

Presenta una situazione di grande instabilità dei processi; in dipendenza dei bilanci energetici istantanei che si instaurano, è presente una distribuzione varia di temperatura nei punti del locale soggetto ma con andamenti tutti crescenti e l'incendio ancora localizzato. Via Via che le temperature diventano significative le differenze diminuiscono traducendosi in velocità di combustione dell'ordine di 0.4 - 0.9 kg/min. La sua durata è legata a vari fattori, tra i quali: reazione al fuoco dei materiali, geometria del locale, ventilazione e punti di contatto tra combustibili. In questa prima fase di sviluppo la temperatura aumenta proporzionalmente al trascorrere del tempo, e l'incendio inizia con l'emissione di aerosol invisibili e tossici quali

emissione di CO, avvertibili all'olfatto (*puzza di bruciato*) o con prodotti di evaporazione e di decomposizione specifici del materiale combustibile.

FASE DI ESTENSIONE DEL FUOCO

Inizia con lo svilupparsi di una combustione generalizzata (*flash-over*) con successiva stabilizzazione della velocità di combustione a valori dell'ordine di 15 kg/min e temperatura media elevata (circa 1000°C), associata a notevoli sviluppi di calore e produzione di grandi quantità di vapori e gas infiammabili di distillazione con eventuali concentrazioni in sacche e raggiungimento dei rispettivi limiti di infiammabilità e di esplosione. Nel locale si ha, a regime, una parte superiore in sovrappressione ed una inferiore in depressione, con un piano neutro di separazione che si trova a circa 1/3 dell'altezza dell'elemento principale di comunicazione con l'esterno misurata dal bordo inferiore. In questa fase l'incendio ha capacità di autoregolamentazione con variazione del piano neutro rispetto alla portata di aria disponibile. Della quantità di calore prodotta nell'unità di tempo, circa il 55% viene asportato dall'area di combustione dai prodotti della combustione 35% è assorbito dalle strutture orizzontali e verticali che delimitano il locale e circa il 10% viene trasmesso all'esterno per irraggiamento dagli elementi trasparenti. Si ha perciò in questa fase il rischio di cedimento delle strutture e l'estensione dell'incendio ad altri ambienti e fabbricati. Tale fase è quindi caratterizzata da: emissione di fumo, emissione di piccole fiamme e sviluppo di quantitativi crescenti di calore. Per quanto riguarda i prodotti tossici non solo vi è emissione di CO ma anche HCN, HCl, SO₂ e sostanze irritanti che dipendono dalla materia.

FASE DI ESTINZIONE

Inizia dopo il raggiungimento della temperatura massima (700°C - 2500°C) in concomitanza con l'accensione completa dei materiali combustibili e comincia a decrescere più o meno velocemente in relazione alla quantità di calore prodotta dalla combustione dei residui e di quella resa dalle pareti del locale. L'incendio si ritiene estinto quando la temperatura risulta intorno ai 300°C circa. Vi è quindi diminuzione dello sviluppo di calore dovuto ad esaurimento del combustibile. Anche questa fase è caratterizzata

da emissioni tossiche quali ad esempio CO, CO₂ e sostanze specifiche del materiale.

5.4 I PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE

In base alla natura delle sostanze soggette a combustione ed all'evoluzione del processo si hanno prodotti in quantità variabile distinti generalmente in [48]:

- **CALORE:** energia termica. E' la causa principale della propagazione della combustione in quanto produce innalzamento della temperatura dell'ambiente e quindi anche di quella dei sistemi combustibile/comburente adiacenti. La sua trasmissione nell'ambiente circostante potrà avvenire per: irraggiamento, conduzione, convezione. L'organismo umano, esposto per lungo tempo a temperature elevate, può subire danni quali ustioni, disidratazione, blocco respiratorio ed arresto cardiaco. L'effetto del calore sulla pelle del corpo può dare luogo a ustioni di varia gravità.
- **FUMI:** sospensione di particelle solide, liquide, incombuste di combustibile o condensate di prodotti della combustione (presenti in modo particolare quando la combustione è svolta in carenza di comburente) .
- **GAS:** prodotti della reazione in stato gassoso. Dipendono dalla composizione chimica del combustibile/comburente, dalla quantità di comburente disponibile e dalla temperatura raggiunta dalla combustione.
- **FIAMMA:** emissione luminosa conseguente alla combustione di gas sviluppatasi in un incendio. In particolare nell'incendio di combustibili gassosi è possibile valutare approssimativamente il valore raggiunto dalla temperatura di combustione dal colore della fiamma.

Colore della fiamma	Temperatura (°C)
Rosso nascente	525
Rosso scuro	700
Rosso ciliegia	900
Giallo scuro	1100
Giallo chiaro	1200
Bianco	1300
Bianco abbagliante	1500

Figura 5.6: Scala cromatica della temperatura nella combustione dei gas.

I prodotti della combustione possono provocare conseguenze negative sulle persone e sulle cose con cui vengono a contatto (come di seguito).

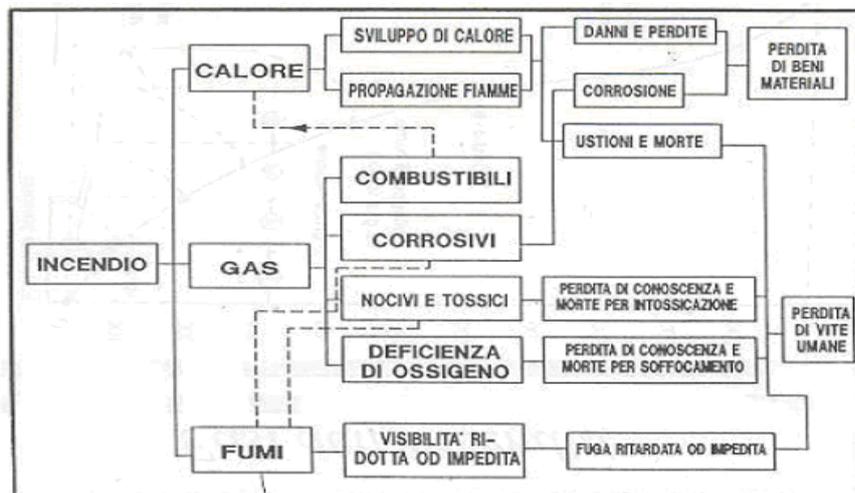


Figura 5.7: Rappresentazione degli effetti dell'incendio.

Possono essere molto gravose le conseguenze alle persone, fino a provocarne la morte. I principali effetti sull'uomo sono:

- anossia (a causa della riduzione del tasso di ossigeno nell'aria);
- azione tossica dei fumi;
- riduzione della visibilità;
- azione termica;

In particolare facendo riferimento ad una comune combustione in aria, i prodotti ottenuti ed i relativi effetti sono sintetizzati di seguito.

Tabella 5.4. Gli effetti dei fumi.

<p>MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)</p>	<p>Generato in presenza di poco ossigeno in ambiente chiuso con scarsa ventilazione. E' il gas più pericoloso per l'uomo, perché è insapore, inodore, incolore e inavvertibile, ma è altamente tossico anche in concentrazioni bassissime. Si forma nelle combustioni incomplete. L'esposizione ad un'atmosfera contenente una percentuale di CO del: <u>0.05%: è fatale dopo 3h</u> <u>0.15%: è fatale dopo 1h</u> <u>1.3%: porta ad incoscienza e morte in pochi minuti</u></p>
<p>ANIDRIDE CARBONICA (CO₂)</p>	<p>Deriva in presenza di combustibili organici e si forma sempre in grandi quantità negli incendi generici. E' un gas asfissiante che in una percentuale: <u>già del 5% rende l'aria irrespirabile</u></p>
<p>SOLFURO DI IDROGENO (H₂S)</p>	<p>Deriva dalla presenza di combustibili contenenti zolfo (es. lana, gomma, pelli,...) e presenta un odore caratteristico di uova marce. I danni variano con le percentuali: <u>>0.05%: provoca vomito e vertigini dopo mezz'ora</u> <u>>0.05%: è tossico per il sistema nervoso</u></p>
<p>ANIDRIDE SOLFOROSA (SO₂)</p>	<p>Si ha in presenza di combustibili contenenti S ed in ricchezza di aria. In percentuale del: <u>0.05%<: è irritante per occhi e mucose</u> <u>>0.05%: è mortale in tempi brevi</u></p>
<p>AMMONIACA (NH₃)</p>	<p>Si produce dalla combustione di materiali contenenti azoto (es. lana, seta, materiali acrilici e fenolici) ed è inoltre impiegata per impianti di refrigerazione. E' irritante per le vie respiratorie ed in percentuale del: <u>0.5%: conduce alla morte in mezz'ora</u></p>
<p>ACIDO CIANIDRICO (HCN)</p>	<p>Deriva da combustione incompleta di resine e materiali plastici. Ha odore caratteristico di mandorle amare ed in percentuale del: <u>>0.3%: è mortale</u></p>
<p>ACIDO CLORIDRICO (HCl)</p>	<p>Deriva dalla combustione di tutti quei materiali contenenti cloro quali la maggior parte delle materie plastiche (es. PVC), ha odore acre ed è irritante per le mucose. In percentuale del: <u>>0.01%: è mortale in tempi brevi</u></p>
<p>OSSIDI DI AZOTO (N₂O₅)</p>	<p>Derivano dalla combustione di ammonio, nitroglicerina e altri nitrati organici. Sono fortemente tossici e in percentuali: <u>già dello 0.02% mortali</u></p>
<p>ACROLEINA (CH₂=CH-COH)</p>	<p>Deriva dalla combustione di oli e grassi. Altamente tossico e irritante, in percentuale: <u>> 0.002% può essere mortale</u></p>

FOSGENE (dicloruro di carbonile COCl ₂)	Si forma dalla combustione di materiali plastici contenenti cloro. E' altamente tossico, in percentuali del: <u>0.003%: è letale in trenta minuti</u> <u>0.005%: è mortale</u>
--	--

Inoltre è da notare che i materiali coinvolti nell'incendio emettono fumi in quantità differenti, ad esempio i materiali plastici hanno un'emissione maggiore rispetto al legno [48]. Nella seguente tabella è schematizzato graficamente quanto detto in relazione al tipo di sostanza combusta.

Tabella 5.5: Composti tossici derivanti dalla combustione.

SOSTANZA	COMPOSTI TOSSICI DERIVANTI DA COMBUSTIONE	PRODOTTI MAGGIORMENTE TOSSICI
PVC	CO, CO ₂ , HCl, Benzene, Toluene	HCl – CO
Poliammidi	CO - CO ₂ , HCN	HCN – CO
Poliesteri	CO, CO ₂ , HCN, HCl	HCN – CO
Resine Fenoliche	CO - CO ₂ Fenolo e derivati	CO – Fenoli
Poliacrilico	CO - CO ₂ Metacrilato di metile	CO - Metacrilato di metile
Polistirene	CO - CO ₂ Toluene - Stirene - Benzene Idrocarburi aromatici	CO – Idrocarburi aromatici
Legno e derivati	CO - CO ₂	CO
Lana	CO-CO ₂ - HCN	CO-HCN

5.5 CLASSIFICAZIONE DEI FUOCHI

I fuochi vengono classificati in base alla sostanza combustibile che li genera e hanno come comburente l'ossigeno dell'aria atmosferica. La classificazione dei fuochi riportata di seguito è quella della Normalizzazione (CEN). Dopo l'emanazione del DM 20.12.1982 tale classificazione, recepita integralmente, è venuta a far parte delle leggi italiane [49].

- CLASSE A: fuochi di materie solide generalmente di natura organica, la cui combustione normalmente avviene con produzione di braci. Sono in

- genere materiali infiammabili che richiedono un buon riscaldamento prima di bruciare ed il cui incendio è relativamente lento a propagarsi;
- CLASSE B: fuochi di liquidi o di solidi che si possono liquefare. Sono materiali infiammabili, generalmente liquidi, nei quali il fuoco prende rapidamente vaste proporzioni;
 - CLASSE C: fuochi di gas infiammabili;
 - CLASSE D: fuochi di metalli combustibili, o di sostanze chimiche spontaneamente combustibili in presenza di aria, o di sostanze chimiche reattive in presenza di acqua o schiuma.



Figura 5.7: Classificazione dei fuochi secondo il decreto 20/12/82.

5.6 ESTINZIONE DEGLI INCENDI

A seguito di quanto descritto, si può affermare che una combustione può avvenire se, e solo se, sussistono *tutte e contemporaneamente* le seguenti condizioni minime [45],[50]:

- Presenza contemporanea del combustibile e dell'ossigeno (*aria*);
- Miscela aria-combustibile infiammabile, e cioè con valori di miscelazione interni al campo di infiammabilità;
- Temperatura del combustibile superiore alla temperatura di infiammabilità;

- Presenza di un innesco di combustione (*fiamma o scintilla*), oppure temperatura del combustibile superiore alla temperatura di accensione, anche in assenza di inneschi.

Il fuoco (*e quindi un incendio*) potrà dunque generarsi e permanere unicamente se sussistono *insieme e contemporaneamente* le condizioni descritte. Quando anche solo una di tali condizioni viene a mancare, il fuoco si spegne oppure non si genera, e su questo fondamentale ed importantissimo principio sono basate tutte le tecniche di estinzione degli incendi.

Pertanto, per poter spegnere un incendio, o per non farlo avvenire, si deve agire in modo tale da eliminare almeno una delle condizioni indispensabili al mantenimento della combustione.

5.7 MECCANISMI DI ESTINZIONE

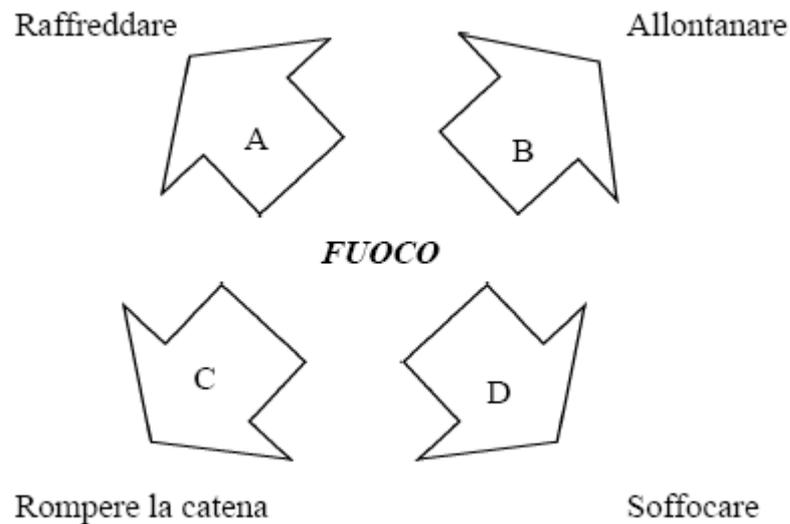
I meccanismi secondo i quali si può agire per l'estinzione degli incendi sono principalmente i seguenti [47],[50] :

- **RAFFREDDAMENTO:** abbassamento della temperatura del materiale che brucia, e dei materiali contigui e circostanti, al di sotto della temperatura di accensione del combustibile. Evita le riaccensioni spontanee successive all'azione di spegnimento a seguito del contatto di vapori combustibili con corpi caldi a temperatura superiore alla temperatura di accensione e, se possibile, al di sotto della temperatura di infiammabilità (ed in tal caso si renderebbe impossibile il mantenimento della combustione). Questa riduzione di temperatura si ottiene soprattutto con l'impiego dell'acqua e della CO₂.
- **SOFFOCAMENTO:** eliminazione del contatto tra il materiale che brucia e l'aria circostante, impedendo in tal modo che l'ossigeno atmosferico, miscelandosi con il combustibile, continui ad alimentare la combustione. Si elimina quindi una delle condizioni indispensabili per il mantenimento della combustione. L'azione di soffocamento può anche avvenire per *diluizione dell'ossigeno*, cioè riducendo il tenore di ossigeno presente nell'atmosfera circostante l'incendio al di sotto

della concentrazione necessaria per poter sostenere la combustione. Si possono anche impiegare mezzi incombustibili (es. coperte, terra o sabbia), oppure gas inerti che spostano il comburente e si sostituiscono ad esso arrivando a condizioni definitive di “saturazione” dell’ambiente.

- **SEPARAZIONE DEL COMBUSTIBILE:** metodo indiretto di spegnimento, si attua allontanando materialmente la sostanza combustibile non ancora interessato dalla zona dell’incendio. Differenti sono le metodologie che si possono attuare. Si può ad esempio, intercettare il flusso di un combustibile liquido o gassoso che fluisce in una condotta (es: chiusura di un rubinetto, strozzatura od occlusione del tubo), o travasare un combustibile liquido o gassoso dal contenitore (*cisterna, serbatoio*) interessato dall’incendio ad altro contenitore sicuro, o mediante rimozione di materiale combustibile solido non ancora coinvolto nell’incendio, o mediante l’interposizione di setti incombustibili o di fasce tagliafuoco.
- **AZIONE ANTICATALITICA:** è un metodo che sfrutta la capacità di alcune sostanze estinguenti di *inibire chimicamente* la combustione, in modo tanto efficace da provocarne l’arresto. La combustione è una reazione chimica, che avviene con notevole velocità secondo schemi di *reazione di propagazione a catena ramificata*, e viene sostenuta ed accelerata da prodotti molto attivi, generati dalla stessa reazione di combustione, chiamati “*induttori di reazione*” (atomi e radicali liberi). Esistono alcune sostanze che possiedono la proprietà di interagire chimicamente con gli “induttori di reazione”, provocando la rottura delle reazioni a catena, e conseguentemente il rallentamento e l’arresto della reazione di combustione, e quindi l’estinzione dell’incendio. Tale azione di inibizione chimica della combustione viene definita “*azione di catalisi negativa*” o anche “*azione anticatalitica*”

L'azione di spegnimento di un incendio può ottenersi impiegando uno di tali meccanismi, o anche più meccanismi contemporaneamente, amplificando in tal modo l'efficacia dell'azione estinguente.



Legenda

A = calore B = combustibile C = reazione a catena D = temperatura d'accensione

Figura 5.8: Rappresentazione dei 4 meccanismi d'estinzione.

GLI AGENTI ESTINGUENTI

L'estinzione degli incendi viene generalmente effettuata utilizzando (mediante attrezzature e/o impianti idonei allo scopo) alcune sostanze che possiedono caratteristiche tali da agire negativamente sulla combustione, sfruttando uno o più dei meccanismi di estinzione descritti, in modo tale da far cessare l'incendio in tempi rapidi. Tali sostanze vengono indicate come "*sostanze estinguenti*", e sono essenzialmente quelle di seguito indicate [50]:

- acqua;
- schiuma,
- polveri chimiche;
- anidride carbonica;
- idrocarburi alogenati (e loro sostituti);
- sabbia.

Tabella 5.6: Meccanismi d'estinzione delle sostanze estinguenti.

SOSTANZA ESTINGUENTE	AZIONE DI			
	SEPARAZIONE*	SOFFOCAMENTO	RAFFREDDAMENTO	INIBIZIONE CHIMICA
Acqua	X	X	X	
Schiuma		X	X	
Anidride carbonica		X	X	
Polvere	X	X	X	X
Idrocarburi alogenati				X
Sabbia	X	X		

Gli agenti estinguenti devono possedere, oltre alle peculiari caratteristiche di efficacia estinguente, anche caratteristiche di disponibilità ed economicità, e non devono creare nuovi pericoli e non arrecare ulteriori danni alle persone ed alle cose che si vogliono salvare. Nel seguito vengono descritte le principali caratteristiche degli agenti estinguenti più diffusi.

Acqua

L'acqua è la sostanza estinguente per antonomasia conseguentemente alla facilità con cui può essere reperita a basso costo. La sua azione estinguente si esplica con le seguenti modalità:

- abbassamento della temperatura del combustibile per assorbimento del calore;
- azione di soffocamento per sostituzione dell'ossigeno con il vapore acqueo;
- diluizione di sostanze infiammabili solubili in acqua fino a renderle non più tali;
- imbevimento dei combustibili solidi.

L'uso dell'acqua quale agente estinguente è consigliato per incendi di combustibili solidi, con esclusione delle sostanze incompatibili quali sodio e potassio che a contatto con l'acqua liberano idrogeno, e carbori che invece liberano acetilene. L'acqua risultando un buon

conduttore di energia elettrica non è impiegabile su impianti e apparecchiature in tensione [50].

La schiuma

La schiuma antincendio è costituita da una emulsione di acqua ed aria con un agente schiumogeno, generalmente liquido (*liquido schiumogeno*), che crea un insieme di bollicine molto leggere, e di dimensioni variabili secondo esigenze di utilizzo e caratteristiche di prodotti ed attrezzature utilizzate. La schiuma è particolarmente idonea per fuochi di “classe B” (incendi di liquidi), per i quali si dimostra l’agente estinguente più efficace, ma è un estinguente costoso, difficile da produrre e da usare, e pertanto richiede conoscenze tecniche e professionalità.

L’azione estinguente delle schiume avviene per separazione del combustibile dal comburente e per raffreddamento. Esse sono impiegate normalmente per incendi di liquidi infiammabili, e non possono essere utilizzate su parti in tensione in quanto contengono acqua. In base al rapporto tra il volume della schiuma prodotta e la soluzione acqua-schiumogeno d’origine si distinguono diversi tipi di schiuma che vanno impiegati in relazione al tipo di combustibile [50]:

- alta espansione 1:500 - 1:1000;
- media espansione 1:30 - 1:200;
- bassa espansione 1:6 - 1:12.

Le polveri Chimiche

Le polveri sono costituite da particelle solide finissime a base di bicarbonato di sodio, potassio, fosfati e sali organici. L’azione estinguente delle polveri è prodotta dalla decomposizione delle stesse per effetto delle alte temperature raggiunte nell’incendio, che dà luogo ad effetti chimici sulla fiamma con azione anticatalitica ed alla produzione di anidride carbonica e vapore d’acqua. I prodotti della decomposizione delle polveri pertanto separano il combustibile dal comburente, raffreddano il combustibile incendiato e inibiscono il processo della combustione.

Le polveri sono adatte per fuochi di classe A, B e C, mentre per incendi di classe D devono essere utilizzate polveri speciali [50].

Anidride carbonica (CO₂)

È un gas inerte, inodore, incolore, dielettrico, più pesante dell'aria (1,5 volte); normalmente è conservato in bombole allo stato liquido ad una pressione di circa 60 bar (a 20 °C). È un gas irrespirabile ma non velenoso; diviene molto pericoloso per l'uomo a concentrazioni di circa il 10%, e se in locali chiusi raggiunge una concentrazione del 22% riduce l'ossigeno al 16%, provocando asfissia. Per l'estinzione degli incendi la CO₂ viene scaricata sul materiale che brucia mediante appositi erogatori, producendo un intenso raffreddamento (l'erogazione provoca l'immediato passaggio dallo stato liquido a quello gassoso, con una espansione di volume di 350 volte, ed un raffreddamento a circa -78 °C); la CO₂ può essere utilizzata in qualsiasi tipo di incendio (*fuochi di classe A-B-C*), ed anche su apparecchiature elettriche e conduttori sotto tensione, e ha il pregio di non lasciare residui sui materiali investiti. L'anidride carbonica agisce sul fuoco sfruttando principalmente i seguenti meccanismi di estinzione: soffocamento e diluizione.

L'*azione di soffocamento* è dovuta al fatto che la CO₂, essendo più pesante dell'aria, tende ad avvolgere il materiale che brucia, in particolare in locali chiusi, impedendo od ostacolando l'afflusso di ossigeno atmosferico, e quindi ostacolando il processo di combustione.

L'*azione di raffreddamento* è dovuta all'intenso e rapido abbassamento di temperatura (-78 °C) prodotto dal passaggio della CO₂ dallo stato liquido allo stato gassoso al momento dell'erogazione.

L'*azione di diluizione* è dovuta alla diffusione della CO₂ gassosa nell'ambiente che, diluendo l'ossigeno dell'aria, rende progressivamente la miscela aria – combustibile sempre meno facilmente combustibile.

La CO₂ ha una efficacia maggiore se utilizzata in luoghi chiusi, mentre all'aperto la ventilazione può far diminuire l'efficacia estinguente; a causa della rapida volatilità del gas, la CO₂ non spegne la brace di un incendio di materiale solido.

L'uso dell'anidride carbonica è controindicato nei seguenti casi:

- in presenza di sodio e potassio (*metalli*), e ad alte temperatura anche in presenza di magnesio, zinco e alluminio, perché a contatto con queste sostanze si libera *ossido di carbonio (CO)*, gas estremamente tossico.
- in presenza di cianuri alcalini, perché a contatto con queste sostanze si produce *acido cianidrico*, gas molto tossico.

Inoltre, quale buona norma precauzionale, è bene non toccare parti metalliche delle bombole di CO₂ subito dopo la scarica, e non dirigere il getto del gas su persone, per evitare *ustioni da congelamento* prodotte dal forte raffreddamento (-78 ° C)[6],[50].

Nuove Sostanze Estinguenti

L'interruzione chimica di un incendio può essere effettuata anche attraverso l'utilizzo degli Halon. Questi ultimi sono idrocarburi saturi, in cui gli atomi di idrogeno sono stati parzialmente o totalmente sostituiti con atomi di cloro, bromo o fluoro. Tuttavia, per motivi di tutela dell'ozono stratosferico e dell'ambiente, la legge n. 549 del 28/12/1993 ha disciplinato la produzione, il consumo, l'importazione, l'esportazione, la detenzione, la raccolta, il riciclo e la commercializzazione delle sostanze lesive dell'ozono stratosferico e dannose per l'ambiente, tra cui rientrano gli Halon. Per effetto di tale legge (549/93), non può essere più consentito l'utilizzo di Halon come agente estinguente, e non possono più essere autorizzati impianti che prevedono l'utilizzo di tale estinguente [45].

Per sopperire al divieto d'uso degli Halon, e spesso anche per consentire di utilizzare ancora estintori ed impianti fissi già commercializzati per l'uso di tali sostanze, sono attualmente in via di commercializzazione nuove sostanze estinguenti, alcune ancora in fase di sperimentazione, che consentano una estinzione degli incendi rapida e pulita, e che, in alcuni casi, presentino requisiti tali da poterne consentire l'impiego con le stesse attrezzature o impianti degli Halon. Si riporta nel seguito un prospetto di

nuovi agenti estinguenti attualmente commercializzati, tra cui vi sono prodotti inertizzanti e prodotti che agiscono per azione anticatalitica.

Attualmente la sostanza estinguente sostitutiva dell'Halon più nota è il NAF; è anch'esso un idrocarburo alogenato, ma non contiene bromo e quindi risulta meno dannoso per l'ozono stratosferico; ha caratteristiche di estinguenza, di utilizzo e di tossicità analoghe a quelle degli Halon, e quindi può essere ad essi sostituito negli stessi estintori o impianti, cambiando solo gli ugelli di erogazione del prodotto.

Tabella 5.7: Caratteristiche delle nuove sostanze estinguenti.

SIGLA	NOME DELLA MOLECOLA	FORMULA BRUTA	NOME COMMERCIALE
FC-3-1-10	Perfluorobutano	C_4F_{10}	CEA-410 - 3M
HCFC Blend A	Diclorotrifluoroetano HCFC-123 (4,75%)	$CHCl_2CF_3$	NAF S-III NORTH AMERICA FIRE GUARDIAN TECHNOLOGY (Safety Hi-tech)/
	Clorodifluorometano HCFC.22 (82%)	$CHClF_2$	
	Clorotetrafluoroetano HCFC-124 (9,5%)	$CHClF_2CF_3$	
	Isopropenil-1- metilcicloesene(3,75%)		
HCFC-124	Clorotetrafluoroetano	$CHClF_2CF_3$	FE-241 DUPONT
HFC-125	Pentafluoroetano	CHF_2CF_3	FE-25 DUPONT
HFC-227ea	Eptafluoropropano	$CF_3CH_2CF_3$	FM-200 <i>FIKE</i> (Silvani)
HFC-23	Trifluorometano	CHF_3	PF-23 <i>Vesta</i>
			Oppure FE-13 DUPONT
IG-541	Azoto (52%) Argon (40%) Anidride carbonica (8%)	N_2 Ar CO_2	INERGEN ANSUL (Wormald italiana)
F-500			F-500 <i>HAZARD CONTROL TECHNOLOGIES</i>

Un'altra sostanza estinguente di recente introduzione sul mercato italiano, e dalle caratteristiche molto interessanti, è l'**F-500**; tale sostanza è un tensioattivo, efficace su fuochi di classe A e B, e si utilizza mediante normali attrezzature di erogazione (estintori o lance idriche), diluito in acqua in percentuale di 1%, 3%, 6% (secondo gli utilizzi previsti). Le caratteristiche di questa sostanza sono:

- rapidità ed elevata capacità di estinzione, anche con fuochi normalmente considerati di difficile spegnimento;
- efficace azione di raffreddamento;
- rapida riduzione del fumo e dei vapori;

- assenza di tossicità; completamente biodegradabile.

Capitolo 6 – Il rischio incendio: prevenzione e protezione

6.1 IL RISCHIO INCENDIO

La prevenzione incendi viene definita dal DPR 577/82 come materia interdisciplinare che studia i provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi ad evitare l'insorgere di un incendio e a limitarne le conseguenze. In base a tale definizione il termine di prevenzione incendi, di significato generale, comprende due concetti distinti (trattati in seguito): la prevenzione propriamente detta e la protezione. L'obiettivo della prevenzione antincendio generale è quello di determinare il rischio accettabile al fine di ottenere l'incolumità delle persone e ridurre al minimo le perdite dei materiali. Da ciò ne derivano due modi di porre il problema della prevenzione incendi sul piano tecnico e socio-economico, dando luogo alla differenziazione della materia in: prevenzione incendi primaria e prevenzione secondaria.

La prevenzione primaria tratta i problemi concernenti la salvaguardia delle vite umane, dei valori umani e degli interessi pubblici. Sono escluse soluzioni basate su valutazioni di solo ordine economico, per chiare motivazioni di natura etica, psicologica e politica.

La prevenzione secondaria, invece, tratta i problemi del contenimento dei danni materiali le cui soluzioni devono tendere ad un livello ottimale degli investimenti nei sistemi di protezione.

Il rischio d'incendio è la probabilità che venga raggiunto il livello potenziale di accadimento di un incendio e che ciò si verifichi in un dato periodo e in circostanze specifiche con conseguenze negative sulle persone e sulle cose presenti. Il rischio (R) può essere ricondotto al prodotto di due grandezze probabilistiche: frequenza (F) e magnitudo (M). La **frequenza** è la probabilità che l'incendio si verifichi in un determinato intervallo di tempo. La **magnitudo** è l'entità delle possibili perdite e dei danni conseguenti al verificarsi dell'evento [51] [47].

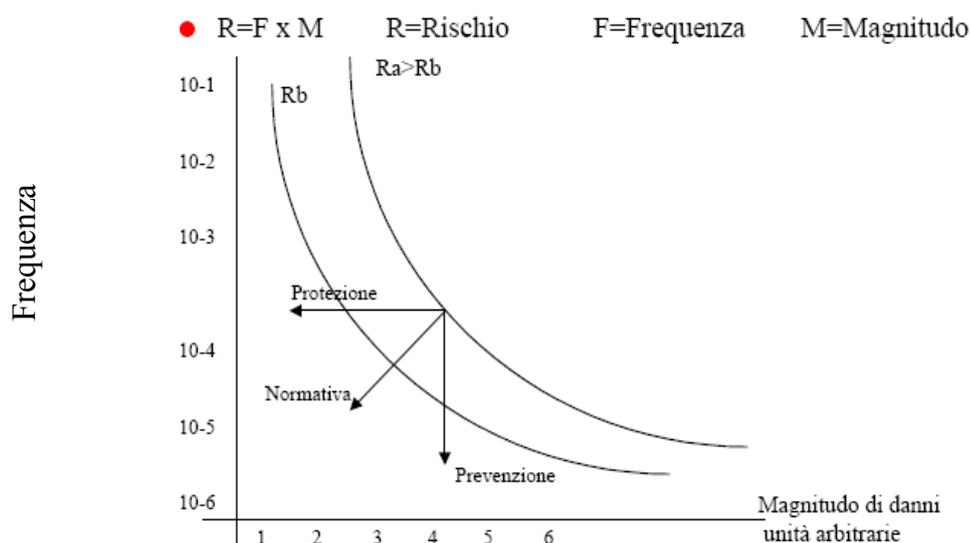


Figura 6.1: Rappresentazione grafica del rischio.

Nel diagramma è stata graficamente rappresentata la possibilità di controllare e gestire un rischio di incendio inaccettabile attraverso l'adozione di misure di tipo Preventivo o di tipo Protettivo. La curva Rb rappresenta il rischio accettabile mentre la curva Ra rappresenta il rischio inaccettabile. L'obiettivo della prevenzione antincendio è quello di attuare le misure d'azione in grado di abbattere la curva del rischio e di farla traslare al di sotto del rischio accettabile. L'attuazione di tutte le misure per ridurre il rischio mediante la riduzione della sola frequenza viene comunemente chiamata "prevenzione", mentre l'attuazione di tutte le misure tese alla riduzione della sola magnitudo viene, invece, chiamata "protezione". Ovviamente le azioni preventive e protettive non devono essere considerate alternative ma complementari tra loro nel senso che, concorrendo esse al medesimo fine, devono essere intraprese entrambe proprio al fine di ottenere risultati ottimali.

La prevenzione antincendio è l'insieme delle misure dirette ad evitare che l'incendio possa insorgere, agisce sulla diminuzione della frequenza e comporta una traslazione della curva verso il basso.

La protezione antincendio è tesa a ridurre le conseguenze dannose dell'evento qualsiasi ne sia l'origine. Essa mette in atto misure per limitare la

propagazione dell'incendio che si è verificato, agisce sulla riduzione della magnitudo con una conseguente traslazione della curva verso sinistra.

In particolare le misure di Protezione Antincendio possono essere di tipo ATTIVO o PASSIVO, a seconda che richiedano o meno un intervento di un operatore o di un impianto per essere attivate.

6.2 LA PREVENZIONE ANTINCENDIO

Le misure di prevenzione incendi sono finalizzate alla riduzione della probabilità di accadimento di un incendio. Sono metodi di controllo consistenti nelle azioni dirette alla modificazione delle condizioni limiti di un sistema di combustione, allo stato potenziale di incendio, per prevenirne l'insorgenza [47].



Figura 6.2: Le misure di Prevenzione Antincendio.

La prevenzione, in generale, agisce mettendo in atto misure dirette ad evitare l'insorgenza dell'incendio attraverso:

- impianti a norma;
- formazione del personale manutentivo sul comportamento da tenere per evitare l'incendio;
- opportuni sistemi di manutenzione e controllo;
- limitazione del carico d'incendio;
- rispetto delle direttive e delle condizioni d'esercizio.

E' fondamentale che i lavoratori conoscano come prevenire un incendio e le azioni da attuare a seguito di un incendio. E' obbligo del datore di lavoro fornire al personale una adeguata informazione e formazione al riguardo.

Tali informazioni devono essere fornite soprattutto agli addetti alla manutenzione e agli autisti per garantire che essi siano a conoscenza delle misure generali di sicurezza antincendio, delle azioni da adottare in caso di incendio e le procedure di evacuazione del mezzo.

L'informazione deve essere basata sulla valutazione dei rischi, essa deve essere fornita al lavoratore all'atto dell'assunzione ed essere aggiornata nel caso in cui si verifichi un mutamento della situazione del che comporti una variazione dei rischi di incendio (ad esempio nel caso degli autobus una variazione di tale condizione può essere legata all'ammodernamento della flotta ed all'utilizzo di veicoli alimentati diversamente).

6.2.1 Manutenzione ordinaria e straordinaria

Ai fini della prevenzione degli incendi, occorre sorveglianza ma anche controllo periodico cioè manutenzione (ordinaria e straordinaria). In particolare nel caso dei veicoli devono esserci regolari verifiche riguardanti:

- l'impianto di sicurezza antincendio;
- l'impianto elettrico;
- stato delle tubazioni dei fluidi combustibili;
- integrità di coibentazione delle parti caratterizzate da elevate temperature.

Vi deve essere il mantenimento delle condizioni di efficienza delle attrezzature ed impianti in genere, in particolare di quelli di protezione antincendio. Il tutto deve essere opportunamente programmato.

Il controllo e la manutenzione deve essere in conformità a quanto previsto dalle disposizioni legislative e dai regolamentari vigenti. Scopo dell'attività di controllo e manutenzione deve essere quello di rilevare e rimuovere qualunque causa, deficienza, danno od impedimento che possa

pregiudicare il corretto funzionamento ed uso del veicolo o dei presidi antincendio.

L'attività di controllo periodica e la manutenzione deve essere eseguita da personale competente e qualificato. Gli inconvenienti riscontrati durante l'attività ordinaria vanno registrati e comunicati ai responsabili.

6.3 LA PROTEZIONE ANTINCENDIO

L'obiettivo della protezione è quello di controllo e contenimento della propagazione dell'incendio, limitazione delle energie prodotte dall'incendio nello spazio e nel tempo. Riconosciuto che non può assicurarsi l'eliminazione della probabilità che un incendio si verifichi, poiché la frequenza d'accadimento per quanto piccola non può essere mai nulla, si fa ricorso alle misure atte a limitare le conseguenze dannose dell'evento. Queste misure si usano distinguere misure di protezione attiva e passiva [47].



Figura 6.3: La protezione attiva e passiva.

3.4 LA PROTEZIONE ATTIVA

La protezione attiva vuole ridurre ai minimi termini i danni prodotti dagli incendi per mezzo della loro rivelazione efficace e tempestiva, grazie all'estinzione rapida nella prima fase del loro sviluppo. Tali misure di protezione, che richiedono l'azione di un uomo o l'azionamento di un impianto, sono quelle finalizzate alla precoce rilevazione dell'incendio, alla segnalazione e all'azione di spegnimento dello stesso [46],[47]. Nel caso di un veicolo, si raggiunge ciò attraverso:

- opportuna ubicazione di sistemi portatili di estinzione;
- sistemi antincendio a funzionamento automatico,

- sistemi di allarme di rilevazione e segnalazione automatica d'incendio;
- sistemi di alimentazione elettrica di emergenza ;
- sistemi di illuminazione di sicurezza;
- formazione e addestramento del personale addetto;
- idonea e mirata istruzione dei manutentori e dei conducenti.



Figura 6.4: Le misure di Protezione Antincendio Attive.

6.4.1 Sistemi di spegnimento automatici

I sistemi di spegnimento automatici costituiscono una fra le misure attive di maggior rilievo. Tali sistemi possono classificarsi in base alle sostanze utilizzate per l'azione estinguente [46] [47] [50]:

- a schiuma;
- ad anidride carbonica;
- a gas;
- a polvere.

Inoltre le diverse tipologie di sistema possono essere classificate come di seguito:

- Ad umido: tutto l'impianto è permanentemente riempito di acqua in pressione. E' il sistema più rapido e si può adottare nei locali in cui non esiste rischio di gelo;
- A secco: la parte d'impianto non protetta, o sviluppatasi in ambienti soggetti a gelo, è riempita di aria in pressione. Al momento dell'intervento una valvola provvede al riempimento delle colonne con acqua;
- Alternativi: funzionano come impianti a secco nei mesi freddi e ad umido nei mesi caldi;
- A pre-allarme: sono dotati di dispositivo che differisce la scarica per dar modo di escludere i falsi – allarmi;
- Impianti di anidride carbonica, ad halon, a polvere: hanno portata limitata dalla capacità geometrica della riserva (batteria di bombole, serbatoi).

Gli impianti a schiuma sono concettualmente simili a quelli ad umido e differiscono per la presenza di un serbatoio di schiumogeno e di idonei sistemi di produzione e scarico della schiuma (versatori).

Gli impianti a polvere, non essendo l'estinguente un fluido sono in genere costituiti da teste singole autoalimentate da un serbatoio incorporato di modeste capacità. La pressurizzazione è sempre ottenuta mediante un gas inerte (azoto, anidride carbonica). Nel caso dei veicoli le tipologie di impianto più idonee che vengono utilizzate sono del tipo in polvere o con anidride carbonica.

6.4.2 Sistemi di allarme incendio

Gli impianti di rivelazione automatica d'incendio rientrano a pieno titolo tra i provvedimenti di protezione attiva e sono finalizzati alla rivelazione tempestiva del processo di combustione prima cioè che questo degeneri nella fase di incendio generalizzato.

E' fondamentale riuscire ad avere un tempo d'intervento possibilmente inferiore al tempo di prima propagazione, ossia intervenire

prima che si sia verificato il “flashover”; quando l’incendio non si è ancora esteso a tutto il sistema e quindi ne è più facile lo spegnimento ed i danni sono ancora contenuti. Pertanto un impianto di rivelazione automatico trova il suo utile impiego nel ridurre il “TEMPO REALE” e consente:

- di avviare un tempestivo abbandono del veicolo, ove necessario;
- di ispezionare immediata delle zone interessate dal fenomeno;
- di attivare le misure di intervento;
- di attivare i sistemi di protezione contro l’incendio (manuali e/o automatici di spegnimento).

6.4.3 Generalità sui rilevatori antincendio

I rivelatori di incendio possono essere classificati in base al fenomeno chimico-fisico rilevato in [50]:

- di calore;
- di fumo (a ionizzazione o ottici);
- di gas;
- di fiamme.

Sono classificabili anche in base al metodo di rivelazione:

- statici (allarme al superamento di un valore di soglia);
- differenziali (allarme per un dato incremento);
- velocimetri (allarme per velocità di incremento).

La suddivisione può essere infine effettuata in base al tipo di configurazione del sistema di controllo dell’ambiente:

- puntiformi
- a punti multipli (poco diffusi)
- lineari (poco diffusi).

In sintesi potremo quindi definire un “rilevatore automatico d’incendio” come un dispositivo installato nella zona da sorvegliare che è in grado di misurare come variano nel tempo grandezze tipiche della combustione, oppure la velocità della loro variazione nel tempo, oppure la somma di tali variazioni nel tempo. Nel caso di un autobus la scelta del rivelatore ricade

soprattutto sui dispositivi in grado di rilevare le variazioni di calore e che hanno un metodo di rilevazione statico. Definito qual è il valore soglia, il sensore deve essere in grado di trasmettere un segnale d'allarme in un luogo opportuno quando il valore della grandezza tipica misurata supera il valore prefissato. Per gli autobus tale segnale è inviato alla black-box, che percependo il superamento del valore soglia è in grado di trasmettere l'allarme al conducente e all'officina inoltre esso attiva dispositivi automatici di spegnimento, blocca l'alimentazione elettrica e in contemporanea del flusso dei fluidi combustibili.

“L'impianto di rivelazione” può essere definito come un insieme di apparecchiature fisse utilizzate per rilevare e segnalare un principio d'incendio. Lo scopo di tale tipo d'impianto è quello di segnalare tempestivamente ogni principio d'incendio, evitando al massimo i falsi allarmi, in modo che possano essere messe in atto le misure necessarie per circoscrivere e spegnere l'incendio. E' opportuno sottolineare e precisare la differenza sostanziale tra i termini di “rilevazione” e “rivelazione”. Rilevazione d'incendio non è altro che la misura di una grandezza tipica legata ad un fenomeno fisico provocato da un incendio. Avvenuta la rilevazione, con il superamento del valore di soglia, si ha la rivelazione quando “la notizia” che si sta sviluppando l'incendio viene comunicata (rivelata) al “sistema” (uomo o dispositivo automatico) demandato ad intervenire.

6.4.4 Segnaletica di sicurezza

La segnaletica di sicurezza deve essere considerata in relazione ai rischi presenti nell'ambiente e nel rispetto della normativa vigente. Nel caso degli autobus la normativa Cuna prevede che i veicoli siano dotati del comando centrale di emergenza, grazie al quale tempestivamente si ha:

- arresto repentino del motore;
- attivazione staccabatteria;

- accensione luci di emergenza (indicatori di direzione: “ quattro frecce”);
- attivazione luci di emergenza all’interno del vano passeggeri al fine di segnalare le vie d’uscita.

6.5 PROTEZIONE PASSIVA

L’insieme delle misure di protezione che non richiedono l’azione di un uomo o l’azionamento di un impianto sono quelle che hanno come obiettivo la limitazione degli effetti dell’incendio nello spazio e nel tempo [47],[50]. Gli obiettivi da raggiungere, nel caso dei veicoli per il trasporto pubblico, sono:

- garantire l’incolumità dei passeggeri e dell’autista;
- limitare gli effetti nocivi dei prodotti della combustione sulle persone;
- contenere i danni all’autobus, agli impianti, ai veicoli circostanti.

La protezione passiva passa per la scelta di soluzioni tecniche tanto semplici quanto raffinate, che possono essere realizzate grazie all’impiego di materiali idonei.



Figura 6.5: Le misure di Protezione Passiva Antincendio.

La protezione passiva persegue lo scopo di contenere, entro i limiti riferibili ad una soglia di intensità, gli incendi e di evitare o limitare gli effetti nocivi dei prodotti della combustione; essa è esprimibile in termini di

comportamento al fuoco delle strutture, di isolamento, di compartimentazione e sezionamento del vano motore, degli impianti, soprattutto quello elettrico, quello del serbatoio combustibile e di tutte le condotte di fluidi potenzialmente infiammabili (oli idraulici, lubrificanti, ecc.).

Nell'applicazione delle misure di protezione, la filosofia predominante nelle normative usa dare maggiore credito ed importanza alle misure di protezione passiva rispetto a quella attiva. Questi fini possono essere perseguiti attraverso:

- barriere antincendio;
- compartimentazione vano motore rispetto all'abitacolo;
- diaframmi taglia fuoco, schermi ecc.;
- strutture aventi caratteristiche di resistenza al fuoco commisurate ai carichi d'incendio;
- materiali classificati per la reazione al fuoco;
- sistema di vie d'uscita commisurate al massimo affollamento ipotizzabile per l'abitacolo, in base al numero dei passeggeri previsto.

6.5.1 Resistenza al fuoco e compartimentazione

La resistenza al fuoco delle strutture rappresenta il comportamento al fuoco degli elementi che costituiscono il veicolo, siano essi con funzioni strutturali o funzioni separanti o complementi d'arredo.

In termini numerici la resistenza al fuoco rappresenta l'intervallo di tempo, espresso in minuti primi, di esposizione dell'elemento ad un incendio, durante il quale il componente considerato conserva i requisiti progettuali di stabilità meccanica, tenuta ai prodotti della combustione, nel caso più generale, di coibenza termica. La determinazione della resistenza al fuoco delle strutture si effettua generalmente mediante un metodo di calcolo globale (Circolare del Ministero dell'Interno n. 91 del 1961) che si basa su una relazione tra la durata presumibile dell'incendio e il carico d'incendio che caratterizza il compartimento in esame, facendo inoltre riferimento ad un incendio con una curva standard temperatura-tempo.

Più specificatamente la resistenza al fuoco può definirsi come l'attitudine di un elemento da costruzione a conservare [52]:

1. La stabilità R;
2. L'integrità E;
3. L'isolamento I.

La stabilità R è la capacità del campione in prova di un elemento portante di sostenere il carico applicato, quando sottoposto a un dato carico termico, senza superare specificati criteri relativi all'entità e alla velocità degli spostamenti, a seconda del caso. Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, sia conservata da parte del campione la sua capacità di mantenere il carico applicato

L'integrità E è la capacità di un elemento da costruzione, che presenta funzioni di separazione, di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) dal lato esposto senza che ci sia un significativo passaggio di fiamme o gas caldi al lato non esposto. Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, questi fattori non causino l'accensione di materiali posti nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti.

L'isolamento I è la capacità di un elemento da costruzione di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) senza che ci sia una significativa quantità di calore che passa dal lato esposto a quello non esposto alle fiamme; tale parametro si valuta tramite la registrazione delle temperature in corrispondenza del lato non esposto alle fiamme. Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, non si verifichi l'accensione di materiali posti nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti e per proteggere dal calore le persone poste nelle vicinanze della barriera al fuoco.

Con il simbolo **REI** si identifica un elemento costruttivo che deve conservare, per un determinato tempo, la stabilità, la tenuta e l'isolamento termico; il simbolo **RE** si abbina un elemento costruttivo che deve conservare, per un determinato tempo, la stabilità e la tenuta; e infine il

simbolo **R** si riferisce ad un elemento costruttivo che deve conservare, per un determinato tempo, la stabilità.

Quindi in relazione ai requisiti degli elementi strutturali in termini di materiali da costruzione utilizzati e spessori realizzati, essi vengono classificati da un numero che esprime i minuti primi per i quali conservano le caratteristiche su indicate in funzione delle lettere R, E o I.

I principi della classificazione REI sono senz'altro applicabili ai materiali costituenti l'autobus, che devono possedere idonee caratteristiche di resistenza al fuoco.

6.5.2 La reazione al fuoco dei materiali

La reazione al fuoco di un materiale rappresenta il comportamento al fuoco del medesimo materiale che per effetto della sua decomposizione alimenta un fuoco al quale è esposto, partecipando così all'incendio. Per la determinazione della reazione al fuoco di un materiale non sono proponibili metodi di calcolo e modelli matematici, essa viene effettuata su basi sperimentali, mediante prove su campioni in laboratorio. In relazione a tali prove i materiali sono assegnati alle classi: **0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5** con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione, a partire da quelli di classe **0** che risultano non combustibili.

Specifiche norme di prevenzione incendi prescrivono per alcuni ambienti in funzione della loro destinazione d'uso e del livello del rischio d'incendio l'uso di materiali aventi una determinata classe di reazione al fuoco. Il Centro Studi ed Esperienze del Ministero dell'Interno ed altri laboratori privati legalmente riconosciuti dal Ministero stesso, rilasciano a seguito di prove sperimentali un certificato di prova, nel quale si certifica la classe di reazione al fuoco del campione di materiale sottoposto ad esame. La reazione al fuoco di un materiale può essere migliorata mediante specifico trattamento di ignifugazione, da realizzarsi con apposite vernici o altri rivestimenti, che ne ritarda le condizioni favorevoli all'innesco

dell'incendio, riducendo inoltre la velocità di propagazione della fiamma e i fenomeni di post-combustione.

6.5.3 Vie d'uscita

Nonostante il massimo impegno per prevenire l'insorgere di un incendio e la massima attenzione nell'adozione dei più moderni mezzi di rivelazione, segnalazione e spegnimento di un incendio, non si può escludere con certezza la possibilità che l'incendio stesso si estenda con produzione di calore e fumi tale da mettere a repentaglio la vita umana. In considerazione di tutto ciò, il problema dell'esodo delle persone minacciate da un incendio è universalmente riconosciuto di capitale importanza, a tal punto da comportare soluzioni tecniche irrinunciabili.

Le soluzioni tecniche sono finalizzate all'esodo delle persone dal veicolo nelle migliori condizioni di sicurezza possibile in caso d'incendio o di qualsiasi altra situazione di pericolo reale o presunto.

Gli elementi fondamentali nella progettazione del sistema di vie d'uscita si possono fissare in:

- dimensionamento e geometria delle vie d'uscita;
- sistemi di protezione attiva e passiva delle vie d'uscita;
- sistemi di identificazione continua delle vie d'uscita (segnaletica, illuminazione ordinaria e di sicurezza)

Negli autobus le porte non svolgono certo funzione di tagliafuoco ma di rapido smaltimento degli occupanti l'abitacolo, con un sistema di apertura rapido, semplice ed efficace.

Si tratta di porte scorrevoli e cioè porte sospese ad una guida inclinata di pochi gradi rispetto al piano orizzontale mediante ruote fissate al pannello, che sono comandate a distanza dal conducente. Ai fini di sicurezza le porte telecomandate debbono essere realizzate in modo tale che, quando sono completamente chiuse, non possano aprirsi sotto la pressione dei passeggeri eventualmente appoggiati, anche in mancanza di forza motrice del servocomando.

Il D.M. 18 aprile 1977 e successive modifiche ci permette di classificare le differenti vie d'uscita presenti nell'autobus [53]:

- si definisce uscita, le porte di servizio, le uscite di emergenza e le eventuali porte per l'accesso all'abitacolo del conducente;
- porta di servizio, una porta usata dai passeggeri nelle normali condizioni d'impiego, con il conducente seduto;
- doppia porta, una porta che offra due o l'equivalente di due passaggi di accesso;
- porta di emergenza, una porta destinata ad essere usata come uscita dei passeggeri, in circostanze eccezionali e particolarmente in caso di pericolo;
- finestrino di emergenza, un finestrino non necessariamente munito di vetro, destinato ad essere usato come uscita per passeggeri solo in caso di pericolo.

Le vie d'uscita devono essere commisurate in base al numero di passeggeri previsto all'interno dell'abitacolo. In particolare nel caso di autobus urbani ed interurbani, il numero minimo delle porte di servizio è regolato secondo la tabella che segue.

Tabella 6.1: D.M. 18705/77: numero di porte di servizio e affollamento.

Numero passeggeri (escluso il conducente)	Numero di porte di servizio
17-61	2
61-95	3
> 95	4

Il decreto 18/5/77, inoltre, si sofferma sulle caratteristiche che devono avere le uscite di emergenza, che si descrivono di seguito:

- le porte di emergenza non telecomandate devono potersi aprire facilmente dall'interno all'esterno;
- le porte d'emergenza non possono essere del tipo servocomando o scorrevoli, a meno che esse non siano dotate anche di un dispositivo meccanico che consenta l'apertura manuale. Se

dotate di tale dispositivo anche una porta di servizio può essere considerata d'emergenza. Il suddetto dispositivo deve essere disposto in prossimità della porta, inoltre deve essere piombato o sottovetro e verniciato di colore rosso;

- le porte d'emergenza devono essere dotate di maniglia esterna che deve trovarsi oltre 1800 mm dal suolo;
- le porte di emergenza a cerniera sulla fiancata devono aprirsi dal dietro verso l'avanti. Le porte possono essere munite di cinghie, catene, o altri dispositivi di ritegno, purché gli stessi non impediscano che le porte si aprano e rimangano aperte per almeno 100°;
- tutti i finestrini di emergenza devono essere dotati di un idoneo sistema di espulsione, ovvero devono poter essere manovrati facilmente e rapidamente, dall'interno e dall'esterno del veicolo mediante un idoneo sistema di sgancio, oppure devono essere in vetro di sicurezza facile da rompersi mediante appositi utensili sistemati all'interno in prossimità di ogni uscita, non è ammesso l'impiego di vetri stratificato o di materiale plastico;
- se il finestrino di emergenza è del tipo oscillante verso l'alto su cerniera orizzontale, esso deve poter essere mantenuto in posizione aperta da un opportuno dispositivo di ritegno;
- l'altezza tra il bordo inferiore di un finestrino di emergenza, ed il pavimento immediatamente sottostante non deve superare i 1.000 mm; né essere inferiore a 500 mm. Tale altezza potrà tuttavia essere inferiore, se il vano del finestrino è protetto adeguatamente fino all'altezza di 500 mm per impedire la caduta di passeggeri fuori del veicolo. Dalle condizioni del presente punto è escluso l'eventuale finestrino a fianco del conducente;

Si è già detto dell'importanza della segnaletica idonea ad identificare le vie d'uscita. I dispositivi di emergenza delle porte di servizio e tutte le altre uscite di emergenza devono essere segnalati come tali attraverso la scritta

“uscita d'emergenza”, ed in prossimità degli stessi devono essere riportate norme chiare concernenti il relativo impiego.

L'accesso, inoltre, deve essere progettato e sistemato in modo da permettere il libero passaggio dell'apposita sagoma. Sia per le porte che per i finestrini ciò è opportunamente normato in tabelle di unificazione definitive, che stabiliscono le dimensioni di detta sagoma in relazione alla tipologia di veicolo, e la procedura di veicolo.

Capitolo 7 – La normativa antincendio

7.1 LA SICUREZZA ANTINCENDIO NEI MEZZI DI TRASPORTO

La filosofia della sicurezza antincendio desumibile da tutte le disposizioni in vigore ha come obiettivi fondamentali la protezione dei passeggeri e dell'ambiente e comprende tutte le misure tecniche ed organizzative sviluppate al fine di non mettere a rischio l'uomo e le apparecchiature.

Le misure che individuano le soluzioni antincendio presentano caratteristiche particolari in funzione delle condizioni di rischio del momento. E' evidente che le misure tecniche applicabili in caso d'incendi in edifici o impianti fissi sono in gran parte diverse da quelle applicabili nei mezzi di trasporto.

Studi sull'approfondimento del rischio incendi nei veicoli sono stati condotti attraverso particolari sperimentazioni per rilevare i dati significativi sull'evoluzione degli incendi nei veicoli e per ricavarne utili indicazioni per applicazioni di miglioramento nei mezzi di trasporto. Alcune iniziative intraprese per meglio documentare il comportamento dei veicoli a fronte di rischio incendio, facendo uso di prove su scala reale, hanno fornito risultati di particolare interesse ai fini della tempistica di sviluppo degli incendi stradali [54],[55],[56]:

- nel caso in cui l'incendio di un veicolo si verifichi all'interno dello stesso, e cioè nel motore, l'incendio si espande alle altre parti interne del veicolo dopo 5 minuti;
- nel caso in cui l'incendio si origina all'interno di un veicolo (al di fuori del vano motore), si sviluppano sostanze tossiche nell'abitacolo del veicolo entro 3 minuti circa, dovute alla presenza dei materiali di allestimento;
- indipendentemente dall'avvio del fuoco per una qualsiasi causa, è stato verificato che "l'incendio" totale del veicolo, si sviluppa come segue: 10 minuti circa se si tratta di autovettura e dopo 20-30 minuti

circa se si tratta di camion o di autobus. Si riporta in fig. 35 ciò che resta di autobus dopo un incendio totale del veicolo.



Figura 7.1: Autobus completamente distrutto da un incendio.

7.2 LA NORMATIVA

Il contenuto del paper UITP “Fire prevention and fire fighting in metros” anche se relativo principalmente alla sicurezza antincendio del trasporto ferroviario sotterraneo, può costituire una valida linea guida per definire o migliorare le misure di prevenzione e protezione incendio degli autobus usati nel trasporto stradale.

Le principali raccomandazioni in esso indicate, scaturite dall’analisi di incidenti accaduti in campo internazionale, possono essere così riassunte:

- accurata valutazione dei fattori di rischio del mezzo e del trasporto;
- riduzione del carico d’incendio e dell’infiammabilità dei materiali;
- eliminazione delle possibili cause di ignizione e di intensificazione dell’incendio;
- evitare l’impiego di sistemi con olio idraulico;
- tempestiva segnalazione del principio d’incendio;
- immediato intervento di opportuno dispositivo di spegnimento;

- rapida, agevole e sicura evacuazione dei passeggeri;
- frequenti controlli, verifiche e manutenzioni dei mezzi e delle misure;
- addestramento del personale alla gestione dell'emergenza.

Quanto indicato e raccomandato nel paper UITP si riscontra anche negli studi di comitati tecnici e negli atti di convegni di sicurezza stradale, certamente più aderenti alla realtà degli autobus che presentano caratteristiche diverse dal trasporto ferroviario [54],[57],[58].

Le raccomandazioni indicate dal parer trovano ampio riscontro nel Decreto del Ministero dei trasporti dell'11/01/1988 in materia di "Norme di prevenzione degli incendi nelle metropolitane", che per i materiali da impiegare, nell'art. 9 prevede: *"Per le caratteristiche di reazione dei materiali impiegati nelle vetture si fa riferimento al DM 26 Giugno 1984. Tutti i materiali impiegati per le sistemazioni interne ivi compresi i divisori, i rivestimenti, i sedili. Sono consentiti sedili imbottiti di classe di reazione al fuoco 1 M esclusivamente per il personale di macchina."*

Si specifica che il DM 26/06/84 [59] è stato poi aggiornato alle direttive CEE e sostituito dal DM 03/09/2001 [60]. Dall'analisi della normativa vigente [59],[60] è emersa una mancanza, soprattutto per il settore della prevenzione incendi nei mezzi di trasporto stradali. E' lecito chiedersi perché il Ministero dei Trasporti impone per i materiali delle carrozze ferroviarie l'applicazione del DM 26/06/84 e non prevede l'applicazione dello stesso DM agli autobus adibiti al trasporto pubblico di persone, nonostante questi ultimi ricadono sotto l'egida dello stesso Ministero, e sono assimilabili alle carrozze ferroviarie presentando una condizione di pericolo non inferiori a queste.

Più specificamente di seguito si focalizza l'attenzione sulle normative relative ai materiali.

7.2.1 La normativa sui materiali

Le normative concernenti la reazione al fuoco dei materiali attualmente in vigore in Italia sono riportate di seguito:

- Il Ministero dei Trasporti adotta le Norme UNI-ISO 3795 e 95/28/CE per la valutazione del comportamento alla combustione dei materiali non metallici impiegati nell'allestimento interno degli autobus. E' da notare che l'ambito di applicazione della direttiva 95/28/CE è relativo ai veicoli della categoria M3¹ con più di 22 passeggeri che non siano progettati per passeggeri in piedi né per impiego urbano [61] [62];
- Il Ministero degli Interni adotta il DM 03/09/2001 per la classificazione dei materiali impiegati nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi [60].

La metodologia della Norma UNI-ISO 3795, come la direttiva 95/28/CE, prevede le seguenti prove dei materiali [61] [62]:

- determinazione della velocità di combustione orizzontale, che non deve superare il valore di 100 mm/min;
- determinazione del comportamento alla fusione, per cui non devono formarsi gocce che infiammano il cotone grezzo;
- determinazione della velocità di combustione verticale, che non deve superare il valore di 100 mm/min.

In particolare alla prima prova vanno sottoposti i materiali usati per l'imbottitura dei sedili e loro accessori, quelli usati per il rivestimento interno del tetto, del pavimento, delle pareti laterali, posteriori e di separazione, del vano bagagli, ed inoltre i materiali aventi funzioni acustiche e termiche, di rivestimento delle tubazioni di riscaldamento e di ventilazione e quelli usati per i dispositivi di illuminazione.

Alla seconda prova vanno sottoposti ancora i materiali usati per il rivestimento interno del tetto e del vano bagagli, quelli di rivestimento delle tubazioni di riscaldamento e di ventilazione situate nel tetto e quelli usati per i dispositivi di illuminazione situati nel vano bagagli e nel tetto.

Alla terza prova vanno sottoposti i materiali usati per tende e tendine.

¹ Fonte : Fonte Direttiva Europea 2001/85 Per veicolo (nota di redazione = autobus) si intende un veicolo delle categorie M2 e M3 definito dell'allegato II, parte A della Direttiva 70/156/CEE.
 Categoria M2: veicolo di peso massimo 5000 Kg;
 Categoria M3: veicolo di peso superiore a 5000 kg

La reazione al fuoco dei materiali è regolamentata dal D.M. 03/09/2001 che aggiorna il precedente D.M. 26/08/84 alle direttive CEE. La natura dei materiali presenti ove un incendio si sviluppa è uno degli elementi fondamentali che condiziona la nascita e lo sviluppo di un incendio. Tale caratteristica è detta reazione al fuoco di un materiale e definisce il suo grado di partecipazione all'incendio. I D.M. menzionati definiscono:

- le metodologie di prova (campioni, attrezzature, procedure, parametri di riferimento e relativi valori limite);
- la classificazione dei materiali;
- una procedura di certificazione dei prodotti ai fini della reazione al fuoco.

7.2.2 Le metodologie di prova

I suddetti decreti stabiliscono le seguenti metodologie di prova:

- Metodo UNI-ISO 1182: è una prova di non combustibilità per stabilire se un materiale contribuisce o meno all'incendio;
- Metodo UNI 8456: è una prova attraverso cui si determina la reazione al fuoco dei materiali suscettibili ad essere investiti da una piccola fiamma su entrambe le facce;
- Metodo UNI 8457 e UNI 8457/A1: si determina la reazione al fuoco dei materiali che possono essere investiti da una piccola fiamma su una sola faccia.
- Metodo UNI 9174 e UNI 9174 A1: si determina la reazione a fuoco dei materiali sottoposti all'azione di una fiamma d'innescio in presenza di calore radiante;
- Metodo UNI 9175 e UNI 9175 FA1: è una prova usata per la valutazione di reazione al fuoco di mobili imbottiti sottoposti all'azione di una piccola fiamma.

7.2.3 La classificazione dei materiali

La reazione al fuoco dei materiali ha un ruolo importante per la prevenzione incendi soprattutto nelle due fasi di innesco e sviluppo dell'incendio. A flash over raggiunto e ad incendio generalizzato infatti tutti i materiali combustibili bruciano ed alimentano l'incendio. I metodi di prova italiani valutano queste due fasi (UNI 8457 l'innesco e UNI 9174 lo sviluppo) e dalla combinazione dei risultati dei test deriva la classe di reazione al fuoco del materiale che può variare da 1 a 5; più è basso il numero della classe più è difficile che l'incendio si inneschi e sviluppi.

Per ottenere la classe 0 il materiale deve invece superare la prova di non combustibilità ISO 1182.2. Ai metalli è riconosciuta, per convenzione e senza necessità di prova, la classe 0. Per i materiali compositi, come i poliuretano con rivestimenti flessibili organici e inorganici, la normativa italiana prevede una doppia classificazione di reazione al fuoco in cui il primo numero esprime il comportamento del manufatto così come commercializzato, il secondo indica la classe del componente isolante privato dei rivestimenti.

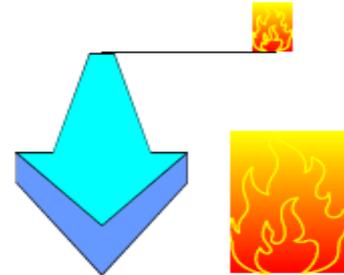
La presenza di materiali di classe 0 o di classe 1 in un ambiente ove si verifica l'innesco di un incendio, rende più difficile la sua propagazione e riduce il rilascio di calore, consentendo di ritardare nel tempo una eventuale fase di incendio generalizzato, favorendo così l'evacuazione e le operazioni di spegnimento. Nella tabella 25 è riassunta la classificazione dei materiali e in relazione alle tipologie di prova.

Tabella 7.1: le classi di reazione al fuoco dei materiali.

comportamento	Classe	metodo di prova
Prodotto non combustibile	Classe 0	UNI ISO 1182



comportamento	Classe	metodo di prova
Prodotto combustibile	Classe 1	UNI 8456 o 8457
	Classe 2	
	Classe 3	e
	Classe 4	UNI 9175
	Classe 5	



7.2.4 L' omologazione dei materiali

Ai fini della reazione al fuoco il D.M. del 26/6/84 istituisce la procedura di omologazione dei materiali [59]. La certificazione di un materiale presso un laboratorio ufficialmente riconosciuto dal Ministero dell'Interno è il primo passo per definire il comportamento al fuoco del prodotto. La prova viene effettuata secondo le procedure precedentemente descritte ed al campione del prodotto viene assegnata una classe di reazione al fuoco in funzione dei risultati ottenuti. Ma questa classificazione è relativa al campione provato (prototipo) e non a tutta la produzione del materiale in questione.

Attraverso l'omologazione ci si impegna a produrre ed immettere sul mercato un materiale conforme al prototipo provato ed il Ministero dell'Interno, che rilascia l'attestato di omologazione avente una validità di cinque anni, rinnovabile per pari periodo, solo con procedura amministrativa se il prodotto non ha subito modifiche. In caso contrario dovrà essere effettuata una nuova certificazione e la relativa domanda di omologazione.

Il documento di omologazione è il solo documento che attesta la classificazione di reazione al fuoco del prodotto e che consente l'utilizzazione dello stesso nelle attività soggette alla normativa di prevenzione incendi. Infatti il certificato di prova attesta il comportamento

del solo prototipo provato e pertanto non ha alcuna validità ai fini della normativa cogente.

7.3 LE POSSIBILITA' DI AGGIORNAMENTO DELLE NORME SPECIFICHE

La norma UNI-ISO 3795 differisce in alcune metodologie dal metodo adottato dal D.M. 3/09/2001. In particolare nel caso dei tendaggi, la norma UNI-ISO 3795 prevede solo la valutazione della velocità di combustione mentre secondo il DM 03/09/2001 sul materiale devono essere effettuate prove con i metodi UNI 8456, UNI 9174 e UNI 9174/A1, che valutano il comportamento del materiale anche in presenza di calore radiante [60],[62].

I suddetti metodi, oltre che per materiali di rivestimento ed arredo, vengono anche utilizzati per installazione tecniche quali tubazioni di scarico, condotte di ventilazione e riscaldamento, canalizzazioni per cavi, isolamento di tubazioni e serbatoi, materiali o componenti isolanti, ecc.

I metodi descritti non considerano l'emissione di fumi e di sostanze tossiche o nocive. Secondo gli studi condotti da UITP l'intensificazione dell'incendio è imputabile principalmente ai materiali degli allestimenti interni; ciò si riscontra maggiormente nei veicoli più moderni, i cui materiali sono causa non solo dell'aumento della probabilità di incendio, ma anche di notevole produzione di fumi tossici. E' questo uno dei motivi per cui se pur gli autobus risultano, per numero d'incendi e vittime, tra i più sicuri mezzi di trasporto di massa, il problema principale è costituito dalla necessità di assicurare innanzi tutto ai passeggeri una rapida e sicura evacuazione.

Dalle indagini condotte risulta che l'Ente Nazionale di Unificazione Italiano UNI prevede sull'argomento la sola tabella UNI ISO 3795 facente riferimento al comportamento alla combustione dei materiali di allestimento interno ai veicoli e non dispone di analoga tabella per i materiali di allestimento esterno. Le prescrizioni della tabella UNI ISO 3795 sono state recepite dalla Commissione Tecnica di Unificazione dell'Autoveicolo (CUNA) con la tabella CUNA 590-02 intitolata "Limite della velocità di combustione dei materiali all'interno dei veicoli stradali adibiti al trasporto in

comune di persone” che ricalca le modalità di prova previste dalla UNI ISO 3795 prescrivendo un limite di velocità di combustione pari a 100 mm per minuto [62],[63].

E' fuori dubbio che laddove sono previste prescrizioni i provini dei materiali attualmente installati superino le prove previste dalla Direttiva 95/28/CE. Ciò nonostante è documentato che nell'arco di decine di minuti, e non di ore l'autobus vada interamente distrutto, e che quindi, per la presenza di ponti e di materiali che alimentano la combustione, la velocità di propagazione dell'incendio è superiore ai 100 mm/min. Alla luce di ciò vanno previste regole più severe che interessino tutti i materiali costituenti l'autobus e che portino la velocità di combustione all'interno di un range che vada intorno ai 70-75 mm/min ma comunque non superiore ai 100 mm/min.

La normativa vigente nel settore della prevenzione degli incendi nei veicoli stradali presenta quindi carenze di fondo. In mancanza di questa occorrerà eseguire un accurato studio al fine di valutare i possibili rischi e per stabilire i necessari provvedimenti cautelativi di prevenzione incendi.

E' opportuno ribadire ed evidenziare soprattutto la mancanza di prescrizioni circa il comportamento alla combustione dei materiali non metallici impiegati nella costruzione della carrozzeria esterna dei veicoli. Ciò sarebbe desiderabile soprattutto in considerazione della continua e rapida evoluzione delle applicazioni di nuovi materiali non metallici nell'industria automobilistica nazionale ed internazionale.

L'uso dei materiali compositi ignifughi e resistenti alla corrosione offre interessanti opportunità [64]. Infatti a differenza di altri materiali, quelli compositi sono ideali per l'impiego in ambienti ostili che favoriscono la corrosione ed opportunamente legati con resine speciali offrono anche una bassissima impermeabilità. A tali elementi vanno aggiunti la resistenza ai raggi UVB e alla resistenza strutturale, tutte proprietà positive per un veicolo che è esposto alle intemperie. Le possibili applicazioni includono tubi, profilati, grigliati, condotte.

In particolar modo la maggior attenzione verso tutti i materiali utilizzati dovrebbe prevedere prescrizioni più idonee non solo per la velocità di combustione ma anche per la produzione di fumi tossici.

La classificazione stabilita dalle normative vigenti tuttora in Italia non tiene tuttavia conto del calore sviluppato nell'unità di tempo e dell'opacità dei fumi; è comunque previsto che questi importanti parametri vengano presi in considerazione appena le ricerche e le sperimentazioni in corso a livello nazionale ed internazionale avranno definito i relativi metodi di prova. Nonostante tale carenza, si ritiene comunque che quanto disposto possa avere portata rilevante ai fini della sicurezza, dal momento che, ponendo in opera materiali con una ridotta partecipazione all'incendio, almeno in fase iniziale, è possibile consentire alle persone un maggior tempo per porsi in salvo e limitare l'ampiezza dei danni, ove l'intervento di spegnimento venga effettuato tempestivamente. Tutto ciò va rivisto in considerazione anche delle basse condizioni di sicurezza dovute alle ridotte dimensioni delle vie d'uscita con la conseguente difficoltà di ventilazione naturale dell'ambiente e di possibilità di evacuazione.

7.4 RIFERIMENTO ALLA NORMATIVA CIRCA LA PROTEZIONE AL FUOCO DEI VEICOLI FERROTRANVIARI

Al fine di migliorare la normativa vigente relativa alla sicurezza su strada va senz'altro tenuta presente la ben più evoluta normativa che regola il trasporto ferroviario [65],[66].

Il mezzo ferroviario si contraddistingue per il livello di sicurezza derivante sia dalle rigorose regole di esercizio sia per la sua affidabilità tecnica. Le principali reti ferroviarie europee si sono trovate di fronte al problema di come limitare la probabilità che i materiali impiegati per la costruzione del mezzo ferroviario potessero divenire fonti di innesco di un incendio. Lo sforzo congiunto con gli enti normatori è stato quindi quello di identificare i requisiti di resistenza al fuoco e di emissione di fumi, e di creare delle prove per mezzo delle quali poter classificare i vari materiali. L'UNIFER, (Ente di Unificazione del Materiale Ferrotranviario) con la

partecipazione delle diverse parti coinvolte (industria ferroviaria, esercenti dei sistemi ferroviari e laboratori di prova) ha elaborato recentemente sull'argomento tre progetti di norma che -sotto il titolo generale "Linee guida per la protezione al fuoco dei veicoli ferrotranviari ed a via guidata"- costituiscono le tre parti della norma UNI CE11170 [65]:

Parte 1: Principi generali;

Parte 2: Accorgimenti progettuali - Misure di contenimento dell'incendio – Sistemi di segnalazione, controllo ed evacuazione;

Parte 3: Valutazione del comportamento al fuoco dei materiali - Limiti di accettabilità.

Per quanto concerne la reazione al fuoco dei materiali di allestimento, vengono determinati dei parametri per valutare i tempi di evacuazione. Il fire critical effect (FCE) rappresenta il valore di un parametro ad un tempo definito a cui corrisponde la non possibilità di evacuazione se non in presenza di aiuto. I parametri presi in considerazione per l'accettabilità' dei materiali sono:

- reazione e/o propagazione di fiamma;
- densità ottica dei fumi (opacità);
- tossicità dei gas.

Per ciascuno di questi parametri è prescritto un valore corrispondente all'effetto critico ad un tempo che permette l'evacuazione in un luogo sicuro dei passeggeri (tenuto conto del livello di rischio del pericolo). Di seguito si riassumono le principali tipologie di prova.

Tabella 7.2: Le metodologie di prove ferrotranviarie.

TITOLO	METODO DI PROVA	INDICAZIONI
Non combustibilità	ENI ISO 1182	si determina l'incremento di temperatura nel forno a 750°C, persistenza di fiamma e perdita di massa
Reazione al fuoco dei rivestimenti	UNI 8457 UNI 9154	si determinano i valori di velocità di propagazione di fiamma, zona danneggiata, post combustione e post incandescenza.
Reazione al fuoco per i tendaggi	UNI 8456 UNI 9174	si determinano i valori di velocità di propagazione di fiamma, zona danneggiata, post combustione e post incandescenza
Reazione al fuoco per mobili imbottiti e rivestimenti sedute	UNI 9175	si determinano i valori di combustione a 3 differenti applicazioni di fiamma 20-80-140 secondi
Accendibilità per componenti di dimensioni ridotte e non riconducibili alle campionature standards	UNI EN ISO 11925-2	Valutazione del comportamento ad attacchi di fiamma da 15 a 30 secondi
Tenuta al fuoco di sedute vandalizzate e non	UIC 564.2 Or Annexe13	si valuta la tenuta di una seduta completa alla combustione di un cuscino di carta da 100 grammi entro un tempo di 10 minuti
Densità ottica dei fumi	Afnor NF X 10.702	si determina Dm^2 , $VOF4^3$ per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma
Tossicità dei gas di combustione	Afnor NF 70.100	forno tubolare a 600°C e analisi in discontinuo dei gas di combustione
Rilascio di calore	ISO 5660-1	Analisi del comportamento ad irraggiamento di 25-50 KW/m ²
Metodo per la valutazione dinamica per lo sviluppo di fumo opacità e tossicità	Appendice A	si determina Dm , Ds^4 , $VOF4$ per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma. Nella stessa camera dei fumi si prelevano in condizioni dinamiche i fumi si analizzano, si determinano CIT^5
Potere calorifico	UNI EN 1716	si valuta il calore prodotto da un'unità completa di massa
Scomparto ferroviario	UIC 564.2 or Annexe 14	si valuta la tenuta al fuoco di una porzione di scomparto (scala reale) ferroviario attraverso la prova in camera standard per la determinazione dei criteri stabili di comportamento al fuoco

² Per Dm s'intende la densità ottica specifica massima.

³ Per $VOF4$ s'intende il valore di oscuramento al fumo al termine dei primi 4 minuti.

⁴ Per Ds si intende la densità ottica specifica.

⁵ Per CIT s'intende l'indice di tossicità critico.

Più specificamente, Nel settore dei trasporti si è sempre avvertita la necessità di attuare misure preventive che potessero ridurre o limitare i rischi e le conseguenze di un incendio, soprattutto in quelle situazioni in cui si presenta una limitata possibilità di evacuazione e dove le variabili tempo e ventilazione possono influire sullo scenario di una tragedia. L' esigenza di elaborare una norma sulla protezione al fuoco di veicoli ferrotranviari si è resa indispensabile a seguito della sempre maggiore diffusione dei sistemi di trasporto urbano e suburbano a via guidata e della relativa innovazione nel campo dei materiali impiegati. Molteplici casi avvenuti anche negli ultimi tempi rendono tragicamente di attualità quanto viene periodicamente discusso all'interno di commissioni ufficiali e regolamentato attraverso specifiche tecniche e direttive comunitarie che impongono come interesse primario, sia per i costruttori che per i produttori, la salvaguardia e l' incolumità della vita umana. Le principali reti ferroviarie europee si sono allora trovate di fronte al problema di come limitare la probabilità che i materiali impiegati per la costruzione del mezzo ferroviario potessero divenire fonti di innesco di un incendio, anche perché la mancanza di una direttiva comunitaria, determinava l' applicazione in tutti i paesi di specifiche differenti per il rispetto della protezione al fuoco. Per cui lo sforzo congiunto con gli enti normatori è stato quindi quello di identificare i requisiti di resistenza al fuoco e di emissione di fumi, e di creare delle prove per mezzo delle quali poter classificare i vari materiali. Il mezzo ferroviario finisce in questo modo per contraddistinguersi per il livello di sicurezza raggiunto grazie alle rigorose regole di esercizio e alla sua affidabilità tecnica [67],[68]. L'UNIFER, (Ente di Unificazione del Materiale Ferrotranviario) con la partecipazione delle diverse parti coinvolte (industria ferroviaria, esercenti dei sistemi ferroviari e laboratori di prova) ha elaborato recentemente sull'argomento tre progetti di norma, denominate "Linee guida per la protezione al fuoco dei veicoli ferrotranviari ed a via guidata", che costituiscono le tre parti della norma **UNI CE11170 : 2005** :

- ✓ **Parte 1:** "Principi generali" che definisce le misure da adottare a bordo dei veicoli per trasporto ferrotranviario ed a via guidata, per

limitare il rischio d'incendio a bordo e per proteggere efficacemente i passeggeri ed il personale di servizio. Le misure di protezione indicate nella norma si applicano a tutti i veicoli di nuova costruzione e non ai veicoli in esercizio e a quelli in fase di fornitura o oggetto di contratto in data antecedente alla pubblicazione della norma stessa, salvo quanto diversamente concordato tra la società di trasporto ed il fornitore. In particolare riguardano il comportamento al fuoco dei materiali e dei componenti della parte di allestimento e di quella elettrica, la resistenza al fuoco delle barriere al fuoco e degli elementi sparti fiamma, - gli accorgimenti progettuali e di design, le misure di protezione per gli impianti elettrici ed elettronici, le misure di estinzione, controllo ed informazione (per esempio, freno di emergenza, sistemi di estinzione, sistema di ventilazione, ecc.).

- ✓ **Parte 2:** “Accorgimenti progettuali, Misure di contenimento dell'incendio, sistemi di segnalazione, controllo ed evacuazione” che fornisce i requisiti minimi, in funzione del livello di rischio del veicolo in conformità alla parte, che devono essere soddisfatti per minimizzare il rischio che un incendio si sviluppi in un veicolo, contenerlo, nel caso si sviluppi, per il tempo necessario a permettere l'evacuazione dei passeggeri e del personale di bordo, fornire gli ausili necessari all'estinzione dell'incendio e/o ad una rapida e sicura evacuazione dal veicolo.
- ✓ **Parte 3:** Valutazione del comportamento al fuoco dei materiali e limiti di accettabilità, che definisce i metodi di prova per la valutazione in laboratorio del comportamento al fuoco dei materiali e ne stabilisce i criteri di giudizio, riferiti alle specifiche condizioni d'uso ed alla specifica categoria operativa e alla tipologia del veicolo. La valutazione e la classificazione dei materiali secondo le procedure definite in questa parte della norma non hanno lo scopo di stabilire i livelli assoluti del rischio d'incendio generato dai materiali posti in opera, bensì quello di fornire indicazioni atte a limitare il rischio d'incendio a bordo dei veicoli e di proteggere, nel modo più efficace

possibile, i passeggeri ed il personale di servizio. I metodi di prova indicati devono essere applicati per tutti i materiali/componenti strutturali e non strutturali utilizzati per la costruzione di nuovi veicoli e per la ristrutturazione di quelli già in esercizio, nonché a quelli utilizzati per la normale ricambistica.

Non è necessario sottoporre alle prove previste nella norma i prodotti combustibili la cui collocazione a bordo di un mezzo segue i seguenti criteri:

- prodotti con massa unitaria minore di 100 g utilizzati all'interno di apparecchiature meccaniche, elettriche, elettroniche, elettromeccaniche, pneumatiche o elettro-pneumatiche, contenute in involucri metallici chiusi e non accessibili da parte del personale di bordo e dei passeggeri, posizionate internamente alla cassa del veicolo;
- prodotti con massa unitaria minore di 1000g utilizzati all'interno di apparecchiature meccaniche, elettriche, elettroniche, pneumatiche, elettro-pneumatiche, elettromeccaniche, contenute all'interno di involucri metallici chiusi e non accessibili da parte del personale di bordo e dei passeggeri, posizionate esternamente alla cassa del veicolo.

La filosofia utilizzata per la costruzione di questa specifica prende come riferimento dei livelli di rischio in base ai quali vengono definiti dei requisiti e metodi di prova che consentono di descrivere i principali parametri valutativi; ad esempio 3 livelli di rischio da LR 1 a LR 3 derivano dai differenti tempi di permanenza previsti per le categorie operative, dalla presenza o meno di gallerie e viadotti e quindi la facilità di evacuazione dei passeggeri e dello staff, dalla tipologia del treno se speciale oppure normale.

I principali metodi di prova in ambito ferrotranviario, per i **materiali di allestimento**, sono le seguenti :

Tabella 7.3: I metodi di prova in ambito ferroviario per i materiali di allestimento

TITOLO	METODO DI PROVA	INDICAZIONI
Non combustibilità	EN ISO 1182	si determina l'incremento di temperatura nel forno a 750°C, persistenza di fiamma e perdita di massa
Reazione al fuoco dei rivestimenti parete, soffitto, pavimento	UNI 8457 UNI 9154	si determinano i valori di velocità di propagazione di fiamma, zona danneggiata, post combustione e post incandescenza.
Reazione al fuoco per i tendaggi	UNI 8456 UNI 9174	si determinano i valori di velocità di propagazione di fiamma, zona danneggiata, post combustione e post incandescenza e gocciolamento
Reazione al fuoco per mobili imbottiti e rivestimenti sedute	UNI 9175	si determinano i valori di combustione a 3 differenti applicazioni di fiamma 20-80-140 secondi
Accendibilità per componenti di dimensioni ridotte e non riconducibili alle campionature standards	UNI EN ISO 11925-2	Valutazione del comportamento ad attacchi di fiamma da 15 a 30 secondi
Tenuta al fuoco di sedute vandalizzate e non	UIC 564.2 Or Annexe13	si valuta la tenuta di una seduta completa alla combustione di un cuscino di carta da 100 grammi entro un tempo di 10 minuti
Densità ottica dei fumi	Afnor NF X 10.702	si determina Dm^6 , $VOF4^7$ per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma
Tossicità dei gas di combustione	Afnor NF X 70.100	forno tubolare a 600°C e analisi in discontinuo dei gas di combustione
Rilascio di calore	ISO 5660-1	Analisi del comportamento ad irraggiamento di 25-50 KW/m ²
Metodo per la valutazione dinamica dello sviluppo di fumo opacità e tossicità	Appendice A	si determina Dm , Ds^8 , $VOF4$ per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma. Nella stessa camera dei fumi si prelevano in condizioni dinamiche i fumi si analizzano, si determinano il tempo per $CIT^9 = 1$
Potere calorifico	UNI EN 1716	si valuta il calore prodotto da un'unità completa di massa
Scomparto ferroviario	UIC 564.2 or Annexe 14	si valuta la tenuta al fuoco di una porzione di scomparto (scala reale) ferroviario attraverso la prova in camera standard per la determinazione dei criteri stabili di comportamento al fuoco

⁶ Per Dm s'intende la densità ottica specifica massima.

⁷ Per $VOF4$ s'intende il valore di oscuramento al fumo al termine dei primi 4 minuti.

⁸ Per Ds si intende la densità ottica specifica.

⁹ Per CIT s'intende l'indice di tossicità critico.

Per quanto attiene invece ai **cavi e componenti elettrici** sono considerati a parte dai componenti di allestimento e seguono le norme internazionali per la valutazione delle caratteristiche di reazione al fuoco e della tossicità richieste per cavi e componenti elettrici e i principali metodi di prova sono i seguenti:

Tabella 7.4: I metodi di prova in ambito ferroviario cavi e componenti elettrici

TITOLO	METODO DI PROVA	INDICAZIONI
Componenti elettrici, accendibilità per componenti di dimensione ridotta e non riconducibili alle campionature standard dei precedenti metodi	UNI EN Iso 11925-2	Valutazione del comportamento ad attacchi di fiamma da 15 o 30 secondi
Componenti elettrici, densità ottica dei fumi	Afnor NF X 10.702	si determina Dm^{10} , $VOF4^{11}$ per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma
Componenti elettrici, Tossicità dei gas di combustione	Afnor NF X 70.100	forno tubolare a 600°C e analisi in discontinuo dei gas di combustione
Cavi elettrici, non propagazione a fiamma	CEI EN 50265	Incendio su cavo singolo
Cavi elettrici, non propagazione incendio	CEI EN 50266 CEI EN 50305	Incendio su fascio di cavi
Cavi elettrici, emissione gas acidi e corrosivi	CEI EN 50267 CEI EN 50305	Valutazione del valore di Ph e conducibilità prodotto dall'assorbimento dei gas di combustione in acqua
Cavi elettrici, determinazione tossicità dei gas	CEI EN 50267 CEI EN 50305	forno tubolare a 600°C e analisi in discontinuo dei gas di combustione
Cavi elettrici, determinazione della opacità dei fumi	CEI EN 50268	Camera di 27 metri cubi con valutazione della perdita di trasmittanza

Per le **sedute ferroviarie** invece occorrono sia valutazioni sui componenti che sulle sedute complete : sui componenti si applica una valutazione sia della reazione al fuoco che dei fumi e gas, mentre sulla

seduta completa e' valutata la tenuta al fuoco sia in fase di vandalizzazione che non; in particolare si avranno le seguenti prove per i componenti di rivestimento e imbottitura, poggiatesta e origliera:

Tabella 7.5: I metodi di prova in ambito ferroviario per i materiali di rivestimento

TITOLO	METODO DI PROVA	INDICAZIONI
Reazione al fuoco per mobili imbottiti, materassi e rivestimenti sedute	UNI 9175	Si determinano i valori di post combustione a 3 differenti applicazioni di fiamma 20,80,140 secondi

Mentre per le sedute complete :

Tabella 7.6: I metodi di prova in ambito ferroviario per i materiali delle sedute

TITOLO	METODO DI PROVA	INDICAZIONI
Tenuta al fuoco di sedute ferroviarie vandalizzate e non	UIC 564.2 or Annexe 13	Si valuta la tenuta di una seduta completa alla combustione di un cuscino di carta da 100 grammi entro un tempo definito di 10minuti

Le prove di verifica delle **barriere al fuoco** devono essere condotte secondo la :

- ✓ UNI EN 1363-1, per i requisiti generali;
- ✓ UNI EN 1364-1, UNI EN 1365-1 e UNI EN 1634-1 per le pareti e relative porte;
- ✓ UNI EN 1365-2 per i pavimenti;

Il campione da sottoporre a prova deve essere il manufatto completo in scala

1:1 o un campione rappresentativo di esso dotato di tutti gli accessori previsti nella sua utilizzazione finale compresi passaggio cavi, condotte, ecc.; il campione deve essere sottoposto ai carichi di progetto che gravano su tale elemento, concordati tra committente e costruttore; i pavimenti dei veicoli devono essere sottoposti a prova con le estremità semplicemente appoggiate. Il campione rappresentativo dovrà avere larghezza pari a quella del veicolo ed una lunghezza minima rappresentativa della parte di veicolo ove sono applicati i massimi carichi verticali; le testate e le pareti dei veicoli

devono essere sottoposte alla prova senza vincoli all'elongazione longitudinale e trasversale; per parete sottoposta a prova si intende la parete attrezzata (con porta, griglie, passaggio cavi, ecc.).

Le prove sono considerate superate solo nel caso in cui:

- ✓ non sia riscontrata visivamente persistenza di fiamma entro 5 min dal termine delle prove (secondo la UNI EN 1363-1);
- ✓ non siano riscontrati significativi passaggi di fumi e gas. Nel caso non possa essere garantita una efficace tenuta ai fumi, per la sua realizzazione dovrà essere data preferenza, almeno per i materiali di più largo impiego (esempio isolanti termoacustici, intumescenti, ecc.), a quelli incombustibili o comunque a bassa emissione di fumi.

I parametri che vengono valutati per la verifica delle prestazioni della barriera

nei confronti di un incendio sono:

- ✓ **R = "Stabilità al fuoco"** ossia la capacità del campione in prova di un elemento portante di sostenere il carico applicato, quando sottoposto a un dato carico termico, senza superare specificati criteri relativi all'entità e alla velocità degli spostamenti, a seconda del caso. Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, sia conservata da parte del campione la sua capacità di mantenere il carico applicato;
- ✓ **E = "Tenuta o Integrità"** che esprime la capacità di un elemento da costruzione, che presenta funzioni di separazione, di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) dal lato esposto senza che ci sia un significativo passaggio di fiamme o gas caldi al lato non esposto. La sua valutazione avviene utilizzando gli strumenti e le modalità presenti nella EN 1363-1, ossia tramite il passaggio dei calibri per fessure, l'accensione del batuffolo di cotone e la presenza di fiamme persistenti (per un tempo maggiore di 10 sec). Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, questi fattori non causino l'accensione di materiali posti

nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti.

- ✓ **I = "Isolamento termico"** : è la capacità di un elemento da costruzione di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) senza che ci sia una significativa quantità di calore che passi dal lato esposto a quello non esposto alle fiamme; tale parametro si valuta tramite la registrazione delle temperature in corrispondenza del lato non esposto alle fiamme (l'innalzamento da esse rilevato deve essere inferiore come media a 140 °C e come massima a 180°C). Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, non si verifichi l'accensione di materiali posti nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti e per proteggere dal calore le persone poste nelle vicinanze della barriera al fuoco.
- ✓ Il **calore radiante W** rappresenta la capacità di un elemento da costruzione di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) senza che ci sia una significativa quantità di calore radiante trasmesso attraverso la barriera o dalla stessa. Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, non si verifichi l'accensione di materiali posti nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti e per proteggere dal calore le persone poste nelle vicinanze della barriera al fuoco. I parametri e le procedure per la sua determinazione sono specificati nella EN 1363-2 ed i valori di riferimento sono di 15 kW/m² in generale e di 2,5 kW/ m² per la cabina di guida. Quest'ultimo valore nasce dal fatto che la cabina è di dimensioni ridotte e inoltre che i macchinisti sono nelle immediate vicinanze della barriera e devono essere in grado di ultimare le manovre d'arresto del convoglio nei tempi previsti.

Nella classificazione le sigle sopra riportate sono seguite da un numero che esprime i minuti all'interno dei quali risultano soddisfatti i requisiti.

Si tenga presente in aggiunta a quanto detto che il **D.M. 26/06/84** e successivo **D.M. 03/09/2001**, riguardante la classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi, definisce come **mobile imbottito**, un manufatto destinato a sedersi, costituito da : rivestimento, interposto, imbottitura e struttura e secondo la norma di questi componenti qualunque può mancare ad eccezione dell'imbottitura; nella realtà può intendersi per mobile imbottito qualunque manufatto che presenta una parte anche minima di imbottitura. Il metodo CSF RF 4/83 (UNI 9175), valido per il settore pubblico, che consente la valutazione della combustione in presenza o meno di fiamma e fornisce indicazioni sulla reazione al fuoco, si effettua sottoponendo a fiamma un manufatto per un determinato tempo e rimosso il cannello si valuta il tempo di estinzione della fiamma e si individuano le seguenti classi : 1M supera la prova a 140 secondi, 2M non supera la prova a 140 secondi, 3M non supera la prova a 80 secondi, non classificabile non supera la prova a 20 secondi.

Per quanto riguarda la protezione antincendio all'interno dei veicoli ferroviari, in Europa vengono applicate le normative nazionali con i vari test e criteri di approvazione corrispondenti. Ciò costituisce un ostacolo non solo per il libero movimento dei treni in Europa ma anche per il lavoro dei produttori dei veicoli. Si prevede che nel 2010, la nuova direttiva europea EN 45545 sarà l'unica legge applicabile in tutti i paesi, per creare condizioni eque sia per i prodotti che per il funzionamento.

Capitolo 8 – Pericolo incendio nel trasporto pubblico su gomma in riferimento al caso CTP

8.1 LO STUDIO DEGLI INCENDI SUGLI AUTOBUS

La CTP è tenuta in ogni caso a tutelare la sicurezza del personale viaggiante e di eventuali terzi, prevenendo ed affrontando nel modo più corretto una possibile condizione di pericolo che possa manifestarsi durante il servizio. In particolare l'azienda pone l'attenzione sulla problematica degli incendi su autobus attraverso l'analisi degli incendi avvenuti.

Il problema degli incendi dei veicoli non è recente. Dai dati statistici risulta che dalla fine degli anni '70 tale fenomeno è in continuo e rilevante ascesa rispetto ad altri tipi d'incendio; ciò è dovuto essenzialmente al problema che il veicolo stesso è accidentalmente causa primaria dell'innescio.

Prezioso per lo studio degli incendi può rilevarsi il rilievo delle temperature sulle varie parti esposte a fonti di calore tramite il rilievo termografico.

8.2 LE CAUSE D'INCENDIO

I dati statistici disponibili [69],[54],[55] sono in maggioranza privi di dettagliate informazioni per risalire alle cause originarie di tali eventi; escludendo i casi di origine dolosa e particolari circostanze esterne, è possibile evidenziare che quando il veicolo stesso è fonte primaria dell'incendio le cause sono attribuite generalmente a difetti elettrici o a perdite di oli o carburanti. E' tuttavia gravoso stabilire se tali cause dipendono da carenze di progettazione, difetti di fabbricazione od altro, in quanto come già detto è difficile che vengano raccolti dati ordinati con le informazioni necessarie ad individuare una linea precisa di tendenza di tali

incendi per le varie categorie di veicoli. Premesso ciò, le cause d'incendio possono essere così suddivise:

- Cortocircuito cablaggi impianto elettrico: dovuti essenzialmente al deterioramento meccanico dell'isolante del cavo. Causa di ciò è principalmente lo sfregamento del cavo con parti metalliche taglienti per fissaggi inadeguati. Le zone del veicolo più critiche per questo tipo d'innescò sono vano batteria e vano motore. In queste due zone, infatti, le condizioni ambientali e le severe condizioni di utilizzo dei conduttori sono tali da favorire un corto circuito nel caso del deterioramento del cablaggio stesso o amplificare gli effetti dell'incidente una volta innescato. I cortocircuiti in altre sezioni dell'impianto elettrico generano degli inneschi d'incendio localizzati e di piccola entità.
- Perdite di oli e combustibili: la fuoriuscita di tali liquidi venendo a contatto con parti molto calde, come la turbina o la linea di scarico, possono dare origine all'incendio.
- Avarie elettriche ed altri equipaggiamenti elettrici: difetti di componenti elettrici sono dovuti essenzialmente a motivi meccanici, ad esempio il surriscaldamento dei cuscinetti, o per motivi elettrici, quali sovracorrenti nei motori elettrici o attuatori.

8.3 LA ZONA D'ORIGINE DELL'INCENDIO

Nell'attuale architettura degli autobus il vano posteriore del veicolo costituisce la zona che, per la presenza del motore e delle tubazioni di scarico, crea le condizioni più favorevoli all'incendio dovute soprattutto all'elevata temperatura.

Tali dichiarazioni sono confermate dall'analisi dei dati statistici esistenti. In particolare si fa riferimento ad un'indagine condotta da Asstra (associazione trasporti) [69]. Tra le aziende associate ad Astra 69 su 175 hanno fornito i propri dati attraverso la risposta ad un questionario. I dati

sono relativi all'anno 2003 ed il campione intervistato è relativo ad aziende di tutte le dimensioni e collocazioni geografiche, comprese le maggiori aziende nazionali. Lo studio ha coinvolto un parco autobus di circa 22.000 veicoli. Il numero d'incendi ammonta a 418; il tasso d'incendio, calcolato come rapporto tra numero di veicoli coinvolti e numero di veicoli totali, è pari a 1,9%. L'indagine ha permesso di aggregare i dati classificando gli incendi in base ai componenti interessati (come da figura 24). Come già detto l'analisi ha evidenziato che i componenti maggiormente interessati all'innescò dell'incendio sono nel vano motore.

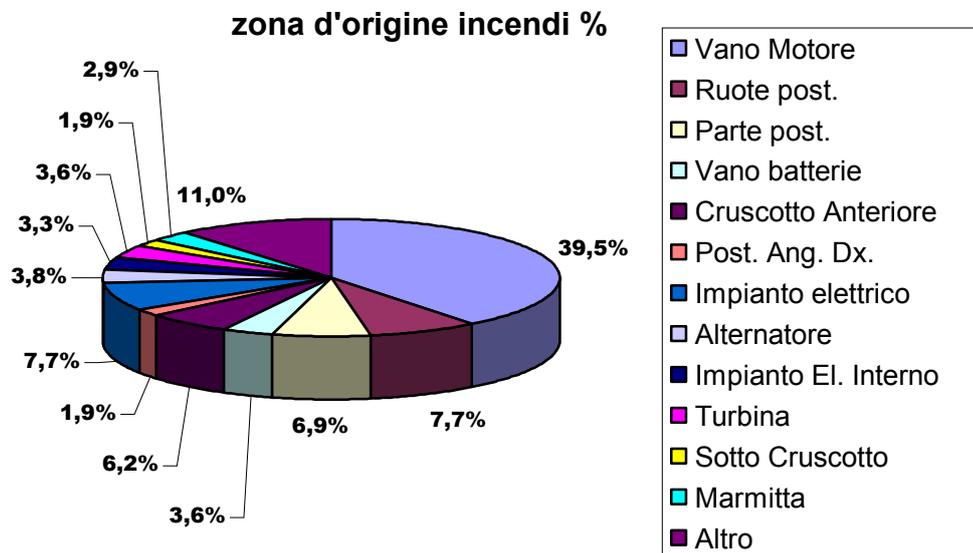


Figura 8.1: Fonte Asstra. Classificazione incendi per i componenti interessati.

Il vano motore è fonte d'incendio nel 39,5% dei casi. Se si tiene in considerazione il fatto che altri componenti quali la marmitta, la turbina o gli alternatori sono tutti installati nel vano motore, i casi d'innescò che coinvolgono il vano motore salgono al 49,8%. I dati raccolti in CTP ribadiscono tutto ciò. In particolare l'analisi svolta fa riferimento ad incendi di veicoli il cui innescò è per tutti partito dal vano motore. In tabella 26 sono riassunte le informazioni rilevate.

8.4 GRAVITA' INCENDI E TIPOLOGIA DI MOTORE

Nella valutazione dei vari incendi al fine di poter meglio analizzare gli effetti differenti causati da tali eventi si è reso necessario distinguerli per gravità secondo la seguente classificazione:

- Gravità 1: emissione fumo senza innesco di fiamma;
- Gravità 2: innesco di fiamma e danni limitati al componente;
- Gravità 3: propagazione di fiamma e danni estesi;
- Gravità 4: incendio totale della vettura.

Secondo tale classificazione risulta che gli incendi verificatosi per le vetture della CTP hanno assunto elevati livelli di pericolosità.

Tabella 8.1: Indagini incendi CTP. Aggiornato al 2008.

Modello Veicolo	Data Immat.zione	Data d'incendio	Km percorsi (se disponibile)	Danni a persone (SI/NO)	Zona d'origine Incendio	Gravità
5806 591.10.29	09/07/2002	21/06/2007	395761	NO	Vano motore	3
5811 591.10.29	09/07/2002	05/11/2007	396006	NO	Vano motore	4
5842 591.10.29	09/07/2002	18/04/2007	300473	NO	Vano motore	3

Dall'indagine Asstra [69] inoltre risulta che oltre la metà degli incendi registrati sono stati classificati di gravità 2; la perdita totale della vettura si è verificata nell'8,4% dei casi. Quanto esposto è graficato di seguito.

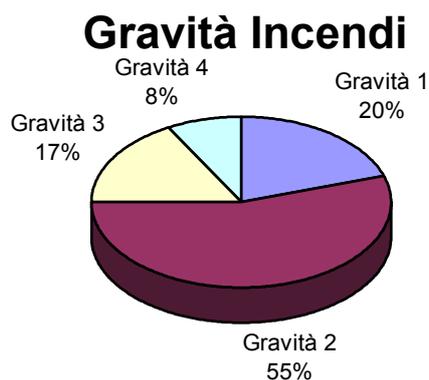


Figura 8.2: Fonte Asstra. Distribuzione per gravità d'incendio.

A partire dall'analisi dei seguenti grafici, in cui è messo in relazione per ciascuna tipologia di motore qual è la percentuale d'incendio di ciascuna tipologia di gravità, si è rilevato che non esiste rapporto tra le diverse categorie di motore e la gravità dell'incendio.

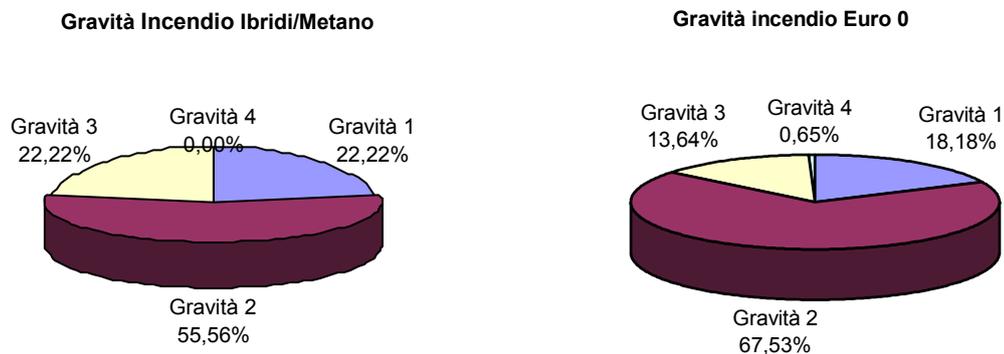


Figura 8.3: Fonte Asstra. Gravità incendi per tipologia di motore: ibridi e Euro 0.

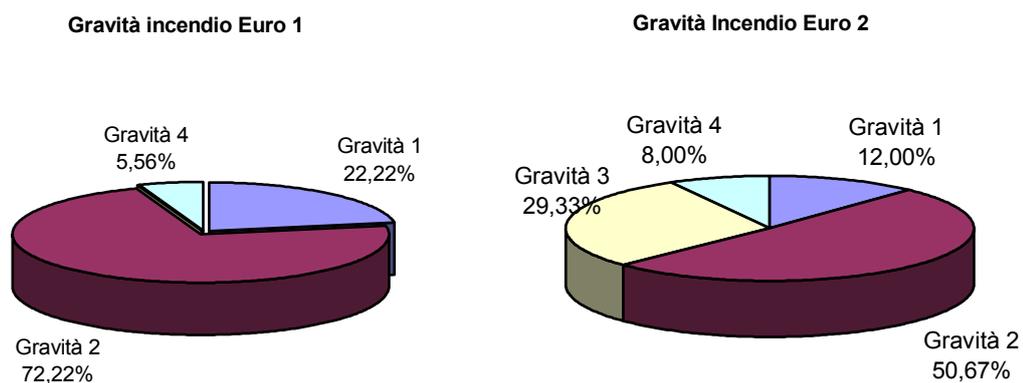


Figura 8.4: Fonte Asstra. Gravità incendi per tipologia di motore: Euro1 e Euro2.

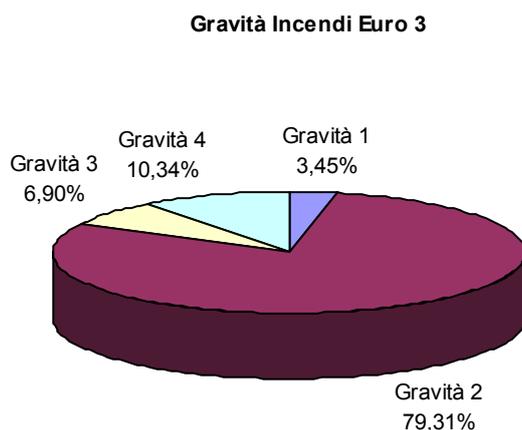


Figura 8.5: Fonte Asstra. Gravità incendi per tipologia di motore Euro3.

Emergono solo due osservazioni:

- solo la percentuale relativa alla gravità 4 tende ad aumentare col salire della categoria Euro;
- gli incendi che hanno coinvolto vetture con motori ibridi o a metano non sono stati tali da provocare la perdita totale del veicolo (0 % gravità 4).

In particolare il modello di autobus 591.10.29 ha un motore Euro 3, che è la tipologia di motore che riscontra la maggiore percentuale di incendi di gravità 4. I veicoli Euro 3, per la presenza di elementi quali la marmitta catalitica e il filtro antiparticolato, sono particolarmente esposti al pericolo incendio dovuto principalmente alle temperature elevate e alla presenza concentrata di sostanze estremamente infiammabili.

Questa tipologia di motore presenta inoltre un aumento del tasso d'incendio nel tempo. Tale indice è calcolato come rapporto tra numero di vetture incendiate e totale veicoli. Il grafico che segue mette in evidenza proprio ciò, e permette anche di osservare una diminuzione del tasso d'incendio delle vetture con tipologia di motore Euro 0 ed Euro 2. L'andamento temporale di tale indice è stato valutato in relazione ad un periodo di riferimento che va dal 2001 al 2003.

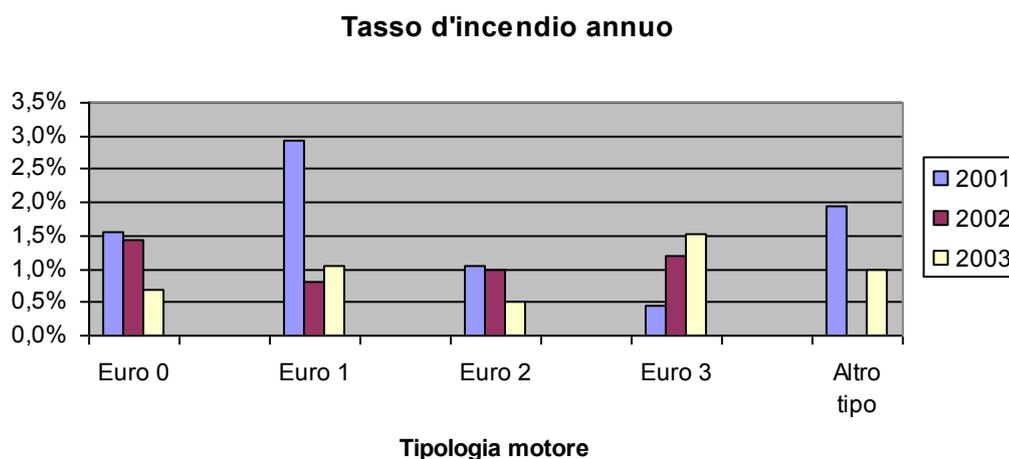


Figura 8.6: Fonte Asstra. Andamento del tasso d'incendio in relazione alla tipologia di motore.

La tendenza di tale grafico permette comunque di riscontrare una relazione tra l'anzianità del mezzo e il rivelarsi dell'incendio. In particolare secondo i dati CTP la vetture vedono l'insorgere dei primi problemi a circa un terzo della vita utile. Gli incendi infatti hanno riguardato tipologie di vetture per cui è stata stimata in media una vita utile di almeno 15 anni ma, che inseguito al manifestarsi dell'incendio, sono state smesse dopo solo

cinque anni di utilizzo con un conseguente grave danno economico per l'azienda.

8.5 LO SVILUPPO DELLA SICUREZZA AUTOBUS

Ai fini dell'analisi sulle dinamiche di sviluppo degli incendi sugli autobus può essere opportuno considerare la vettura suddivisa in tre aree, descritte e raffigurate di seguito:

- l'area A relativa al vano posteriore del veicolo che per gli impianti installati costituisce la zona più piena di pericoli;
 - l'area B relativa al comparto passeggeri, che per i materiali di arredo presenti è causa di intensificazione dell'incendio;
 - l'area C relativa alla parte anteriore del mezzo, che costituisce il punto di fuoco secondario in cui possono avere origine in maggior parte incendi di natura elettrica.
-

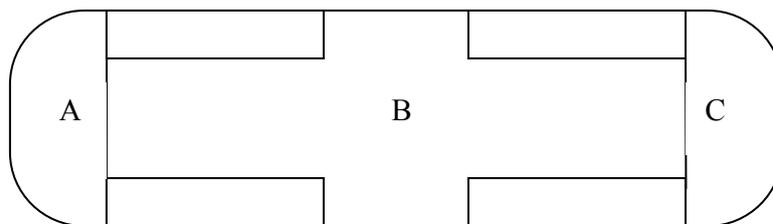


Figura 8.7: Schema autobus suddiviso in tre aree maggiori.

Dai dati a disposizione emergono alcune importanti osservazioni che permettono l'individuazione di alcuni possibili suggerimenti. La prima constatazione è che la maggioranza degli incendi si origina nella zona A, che è quindi la zona su cui riporre la maggior attenzione, tale problematica sarà ampiamente sviluppata nel capitolo 6.

Per quanto riguarda l'area B bisogna soprattutto installare materiali di arredo aventi migliori caratteristiche di reazione al fuoco. Per l'area C un possibile miglioramento delle condizioni di sicurezza dovrebbe essere legato soprattutto all'utilizzo di materiale elettrico di tipo antifiamma. L'installazione dell'impianto elettrico non solo dovrebbe far riferimento a norme interne o standard internazionali, ma si dovrebbe anche focalizzare l'attenzione al layout dei cablaggi utilizzando staffe o fissaggi con caratteristiche appropriate. Altri interventi potrebbero essere: impiego tubazioni metalliche per i circuiti idraulici, evitare l'istallazione delle batterie e dei serbatoi a gasolio.

8.6 IL RILIEVO TERMOGRAFICO

Si è già detto del ricorso alla termografia per definire la "mappatura" delle zone a rischio incendio del veicolo; la storia dell'infrarosso inizia con l'astronomo William Herschel nel 1800. Egli partendo dalla considerazione che la luce del sole è composta da tutti i colori dello spettro e che, allo stesso tempo, rappresenta una fonte di calore, cercò di scoprire quale fossero i colori responsabili del surriscaldamento degli oggetti. L'astronomo ideò un esperimento, utilizzando un prisma, del cartone e alcuni termometri con il bulbo dipinto di nero, per misurare le temperature dei diversi colori. Herschel osservò un aumento della temperatura mentre spostava il termometro dal viola al rosso, nell'arcobaleno creato dalla luce del sole che passava attraverso il prisma. Alla fine, Herschel scoprì che le temperature più elevate corrispondevano al colore rosso.

La radiazione che causava tale surriscaldamento non risultava visibile; l'astronomo chiamò la radiazione invisibile "raggi calorifici". Oggi, tale radiazione viene chiamata infrarosso.

La termografia prevede l'utilizzo di una telecamera a infrarossi (o termocamera), al fine di visualizzare e misurare l'energia termica emessa da un oggetto. L'energia termica consiste in luce la cui lunghezza d'onda risulta troppo grande per essere individuata dall'occhio umano; si tratta della

porzione dello spettro elettromagnetico che viene percepita come calore. A differenza della luce visibile, nel mondo dei raggi infrarossi tutti gli elementi con una temperatura al di sopra dello zero assoluto ($-273,14^{\circ}\text{C}$) emettono calore.

Le termocamere producono immagini di infrarossi invisibili, o radiazioni di calore, e rappresentano un preciso strumento di misurazione non a contatto delle temperature. Partendo dalla considerazione che quasi tutte le apparecchiature, prima di danneggiarsi, si surriscaldano, le termocamere rappresentano uno strumento efficace ed economico di diagnostica, in diversi campi di applicazioni. In tale contesto, con la necessità di implementare sistemi di miglioramento dei processi, della gestione del consumo energetico, della qualità dei prodotti e della sicurezza sul luogo di lavoro, vengono concepite e sviluppate continuamente nuove applicazioni.

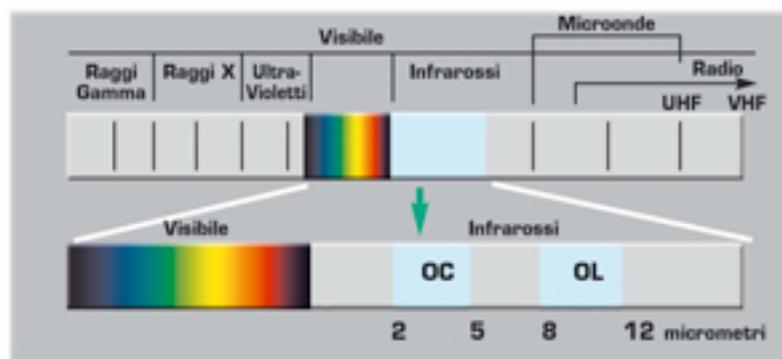


Figura 8.8: Lo spettro elettromagnetico.

8.7.1 Il funzionamento delle termocamere

Una telecamera termografica a infrarossi (o termocamera) è uno strumento che rileva a distanza l'energia infrarossa (o termica) e la converte in un segnale elettronico, che viene in seguito elaborato al fine di produrre immagini video attraverso cui è possibile studiare la distribuzione della temperatura del corpo in esame. Il calore rilevato da una termocamera può essere quantificato con estrema precisione, permettendo all'utente di

monitorare la performance termica e, allo stesso tempo, di identificare e valutare l'entità di problemi di natura termica.

Le ultime innovazioni del settore, in particolare la tecnologia dei sensori, l'introduzione di immagini visive integrate, le nuove funzionalità automatiche e lo sviluppo di software, permettono di offrire soluzioni di analisi termiche sempre più efficienti ed economiche. Un monitoraggio periodico, mediante la termografia, permette di individuare le derive delle temperature dei componenti, primo segno di deterioramento meccanico od elettrico di una macchina, permettendo di intervenire anticipatamente prima che lì si verificano costosi danni al sistema. Per questo motivo la termografia infrarossa si è rivelata una metodologia altamente efficiente nell'identificazione e pianificazione degli interventi di manutenzione predittiva.

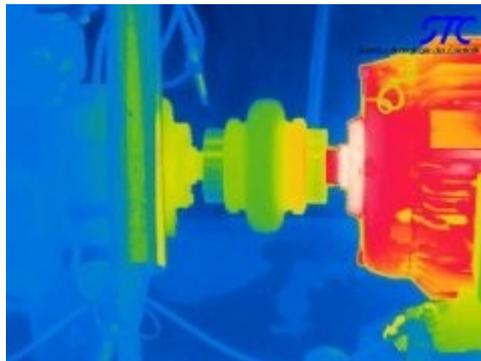


Figura 8.9: Applicazione termografica: cuscinetto usurato.

8.7.2 La termografia nel settore automobilistico

La termografia è una tecnica molto usata in campo automobilistico poiché permette di diagnosticare le seguenti problematiche:

- variazioni termiche sui freni;
- distribuzione termica di radiatori , turbine , motori ;
- analisi distribuzione termica durante l'apertura dell' airbag;
- analisi della superficie dei pneumatici e distribuzione delle sollecitazioni;

- verifica componentistica elettronica automobilistica;
- verifica distribuzione calore sedili riscaldati;
- distribuzione termica delle marmitte;
- distribuzione termica sistema di riscaldamento, condizionamento, sbrinamento parabrezza del veicolo;
- mappatura termica fari e proiettori;
- verifica parti elettriche veicoli.

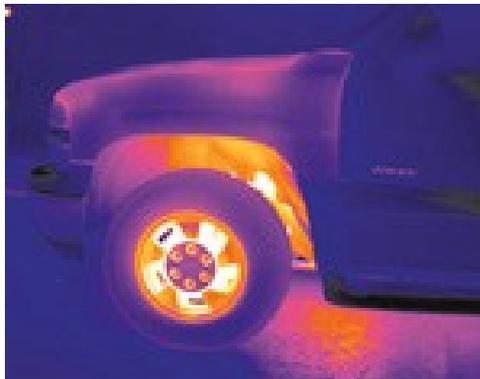


Figura 8.10: Applicazione termografica per veicoli: surriscaldamento dei freni.

8.7.3 I vantaggi della termografia

Da quanto riportato, la termografia ci dà la possibilità di conoscere la temperatura presente in tutti i punti di un impianto senza bisogno di un contatto con l'impianto stesso. Sono facilmente intuibili i vantaggi offerti da tale strumento:

- il controllo da effettuare è estremamente veloce, non invasivo e non distruttivo (non si alterano i materiali esaminati), può essere effettuato anche a distanza di decine di metri;
- la frequenza delle rilevazioni può essere contenuta nel tempo (semestrali o annuali); nel caso specifico del vano motore la

frequenze delle rilevazioni andrebbe rivalutata con il progredire dell'anzianità del mezzo;

- alcune compagnie assicurative applicano una riduzione dei premi della polizza se viene dimostrata l'applicazione di un programma di una tecnica di salvaguardia come la termografia infrarossa;
- rivela aspetti funzionali e non soltanto morfologici;
- le immagini termiche costituiscono documentazione su supporto fisico o informatico, archiviabile e trasferibile come una immagine fotografica;
- è una tecnica metrica, cioè misura con precisione parametri termici.

Capitolo 9 – Analisi degli incendi avvenuti in CTP e proposte migliorative

9.1 ESAME AUTOBUS INCENDIATO

Sono riportate di seguito le caratteristiche salienti del modello di autobus corrispondente a quello incendiato.

Il veicolo esaminato è del tipo Iveco Cityclass 591.10.29; la struttura autoportante è costituita principalmente da ossatura di tubi in acciaio a sezione rettangolare collegati tra loro mediante saldature ad arco ed opportuni rinforzi. La composizione della scocca avviene mediante unione per saldatura dei grandi gruppi: telaio, fiancate, padiglione, e testate.

Si focalizza l'attenzione sui materiali costituenti tale tipologia d'autobus:

- Telaio: struttura a longheroni in acciaio autopassivante tipo Corten a sezione prevalentemente chiusa.
- Rivestimenti esterni: Il rivestimento esterno del padiglione è un unico pannello in lega leggera preverniciato ed incollato alla struttura. Il rivestimento superiore alla testata anteriore è in resina poliesteri. Il rivestimento delle fiancate è costituito superiormente da pannelli compositi in lega leggera e da pannelli in lega leggera smontabili nella parte inferiore. Il rivestimento della testata posteriore è in resine poliesteri, il portellone motore è in lega leggera.
- Sportelli: tutti gli sportelli per l'accessibilità agli organi meccanici sono realizzati in lega leggera o in resina poliesteri rinforzato con fibre di vetro.
- Rivestimenti interni: l'interno del padiglione è realizzato con pannelli in materiale plastico spesso 2 mm traforato. Il rivestimento sottostruttura delle fiancate è realizzate in resina poliesteri incollata alla struttura.
- Impianto pneumatico: realizzato con tubazioni in poliamminide.

- Pavimento: realizzato in compensato multistrato di 12 mm ignifugato, idrorepellente, antimuffa. Rivestimento in materiale antisdrucchiolo.
- Interni: fiancate in resina, padiglione in pannelli di materiale plastico da 2 mm traforato. Mancorrenti orizzontali e verticali in tubi d'acciaio.
- Porte: antine in lega leggera anodizzate con ampia superficie vetrata.
- Vetratura: tutte le superfici vetrate esterne, ad esclusione del parabrezza, sono realizzate in cristallo temprato di sicurezza di colore bronzo. Finestre laterali con parte inferiore fissa e superiore scorrevole intelaiata mediante profili in lega leggera anodizzata.
- Posto guida: separato da vano passeggeri mediante materiale trasparente. Tendina a rullo montata sul finestrino dell'autista.
- Sedili passeggeri: monoposto di tipo monoscocca in resina plastica. Intelaiatura in tubi d'acciaio con protettivo, resistenti alla abrasione ed agenti chimici.
- Impianto elettrico: è un impianto del tipo multiplex. L'isolamento dei cavi elettrici è conforme alla normativa HO5V-CEI UNEL 35570 e HO7-K CEI UNEL 35747. A protezione dei cavi, oltre a normali passacavi sono previsti in particolari punti delle protezioni termiche e canalizzazioni in materiali ignifughi.
- Basamento motore: ghisa stabilizzata, canne cilindri in ghisa stabilizzata e centrifugata.
- Testa cilindri: in ghisa stabilizzata con 1.5% nichel.
- Distribuzione: comando mediante ingranaggi in acciaio, cementati, rettificati e rasolappati.
- Comando valvole: mediante bilancieri in ghisa sferoidale.
- Collettore di scarico: 3 pezzi in ghisa SIMO, collegati con compensatori in acciaio inox..
- Coppa olio: in lamiera sospesa elasticamente su di un cuscino in gomma.
- Radiatore: vaschetta orizzontale in ottone, alette in rame.
- Raffreddamento motore: impianto con tubi in rame e manicotti siliconici.

9.2 COMPORTAMENTO ALLA COMBUSTIONE DEI MATERIALI COSTITUENTI L'AUTOBUS

I materiali esposti al fuoco di un incendio subiscono forti sollecitazioni termiche, tali da comprometterne in molti casi la resistenza meccanica. Se un materiale ha una composizione eterogenea, ed i costituenti hanno coefficienti di dilatazione diversi tra loro, sotto l'azione del fuoco si verificano sollecitazioni termiche differenziate, che possono causare danni, a prescindere anche dalla resistenza meccanica dello stesso materiale. Di seguito vengono descritti i principali effetti su alcuni materiali costituenti l'autobus.

9.2.1 Il legno

Il legno è un materiale combustibile a bassa conduttività termica. È un materiale organico di origine vegetale composto principalmente da carbonio (50%), ossigeno (42%), idrogeno (6%), azoto (0,2%) e piccolissime percentuali di altri componenti. In presenza di una fonte di calore, la superficie libera del legno si riscalda provocando l'evaporazione dell'acqua che c'è al suo interno e una serie di reazioni chimiche che spezzano le molecole organiche in molecole più semplici in grado di liberarsi dalla superficie del materiale. Dopo aver liberato anche idrogeno e altri idrocarburi leggeri combustibili (che si accendono per autocombustione o per l'effetto di una fiamma), la superficie del legno si carbonizza. A seconda delle dimensioni del legno e delle condizioni esterne il processo di carbonizzazione può essere più o meno lungo ma normalmente è possibile calcolarlo piuttosto precisamente [70].

La reazione al fuoco del legno varia a seconda dei tipi e della presenza o meno di trattamenti ignifughi. I legni leggeri e resinosi bruciano ovviamente meglio dei legni pesanti. La classificazione dipende molto anche dalla posizione in cui il materiale viene provato, che poi corrisponde a quelle di messa in opera. Nell'uso normale è più facile trovare materiali

compositi come il truciolato, il pannello di fibra, il listellato o il compensato che non legni compatti.

In particolare la pavimentazione autobus è costituita da compensato preventivamente ignifugato, cioè è stato effettuato un trattamento per ridurre o ritardare la combustione. Infatti, la reazione al fuoco dei materiali legnosi può essere fortemente migliorata sia con mezzi di protezione, ad. es. rivestimento con laminati plastici o con impiallacciatura non combustibile sia con veri e propri trattamenti di ignifugazione.

I trattamenti di ignifugazione vanno dall'applicazione di vernici igniritardanti o intumescenti alla vera e propria impregnazione. La tecnica dell'impregnazione del legno è molto vecchia ed attualmente il metodo più efficace per effettuarla è quello a pressione. Il pezzo di legno viene messo in autoclave e sottoposto ad un vuoto abbastanza spinto da evacuare l'aria contenuta nei vasi legnosi, dopodichè si introduce la sostanza impregnante in fase liquida e si applicano pressioni dell'ordine di 10/12 atmosfere. In questo modo i vasi legnosi vengono riempiti della sostanza ignifugante che, dopo l'evaporazione dell'acqua di trasporto, proteggerà il legno dalla combustione. Gli ignifuganti più comunemente usati per il legno sono sali inorganici come fosfati, borati, cloruri, idrossidi di alluminio ecc., i cui meccanismi di azione verranno descritti più avanti. Anche sostanze organiche come le resine fenoliche ed ureiche, usate fundamentalmente come leganti nei pannelli truciolati, possono agire come sostanze ignifuganti.

9.2.2 Le materie plastiche ed i materiali compositi

L'impiego delle materie plastiche è andato continuamente aumentando negli ultimi venti anni soprattutto per ragioni di praticità, di comfort, di convenienza e di risparmio energetico. Il loro volume in un tipico edificio è ormai uguale all'ammontare di tutti gli altri materiali organici, come legno, tessili, vernici, carta e simili. Le loro applicazioni variano in un vasto campo, che comprende non solo i plastici rigidi, ma anche gli espansi, gli elastomeri, le fibre sintetiche ed i compositi [71].

Rispetto al calore i plastici hanno due comportamenti completamente diversi che caratterizzano le due grandi classi in cui si suddividono questi materiali: termoplastici e termoindurenti.

I termoplastici rammolliscono o fondono nel riscaldamento e cominciano a colare provocando il cosiddetto gocciolamento, mentre i termoindurenti, grazie alla loro struttura molecolare tridimensionale, tendono a reticolare ulteriormente ed a carbonizzare in superficie, ostacolando così l'accensione. Anche la fusione ed il gocciolamento dei termoplastici può ritardare l'accensione, se in questo modo essi si sottraggono alla sorgente di accensione prima di prendere fuoco.

Fra i termoplastici, i più comunemente impiegati sono il PVC, i polimeri stirenici (PS, ABS), le poliolefine, il polimetilmetacrilato (PMMA), il policarbonato.

Fra i termoindurenti, il poliestere insaturo è di gran lunga il materiale più usato in edilizia, mentre le resine fenoliche ureiche e melamminiche sono usate come collanti per il legno e come leganti delle fibre minerali per i pannelli isolanti.

Fra i termoindurenti vanno inclusi i poliuretani rigidi, sia compatti che espansi. Le matrici di resina termoindurente più comunemente usate includono poliestere, epoxy, estere vinile e fenoli.

Nelle prove di laboratorio i plastici si comportano in modo non molto diverso dagli altri materiali organici. Per esempio si accendono a temperature più elevate dei prodotti naturali, ma hanno un potere calorifico notevolmente più alto. I tipi proposti per l'edilizia sono però tutti additivati antifiamma, per cui rientrano quasi tutti nelle classi migliori.

I materiali plastici si vanno sempre più diffondendo, specialmente nelle nuove applicazioni, per cui in futuro sarà sempre più difficile riconoscere e valutare i materiali puri.

Esempi molto comuni di compositi sono le lastre in poliestere rinforzato con fibra di vetro, i pannelli di particelle di legno (truciolato) in cui il legante è costituito da sandwich di poliuretano espanso rivestito da

lamiera recata e così via. Nei materiali compositi la scelta dei tipi di resine impiegate permette di variare le caratteristiche relative alle temperature d'esercizio, alla resistenza agli agenti chimici e all'aggressione degli agenti atmosferici, alle proprietà di conducibilità elettrica e alla resistenza al fuoco [64].

Al fine del comportamento al fuoco dei materiali compositi può almeno in prima approssimazione farsi senz'altro riferimento alla matrice in resina da cui sono costituiti e cioè da un materiale "plastico".

9.2.3 L'acciaio

L'aumento della temperatura sulle strutture in acciaio provoca dilatazioni rilevanti, e rapide e profonde modifiche delle proprietà meccaniche dell'acciaio. L'acciaio, grazie alla sua grande conduttività e capacità termica, esposto al fuoco può raggiungere temperature di poco superiori a 300°C senza che vengano a determinarsi deformazioni pericolose. Oltre i 300°C la sua resistenza alla rottura diminuisce rapidamente; a 500°C circa l'acciaio perde il 50% della resistenza alla rottura, che quasi si annulla a circa 600°C. Pertanto una struttura in acciaio, esposta senza protezioni all'incendio, può raggiungere il collasso anche nel tempo di 10/20 minuti, sia a causa della diminuzione della resistenza meccanica, sia a causa delle spinte determinate sulle strutture di appoggio determinate dalle dilatazioni termiche.

Mediamente, una struttura in acciaio ha una resistenza al fuoco pari a circa 2/3 volte la classe di una lega in alluminio a parità di condizioni di carico, motivo per cui le strutture in lega di alluminio che debbono soddisfare specifiche di resistenza al fuoco devono essere opportunamente protette.

9.2.4 Le leghe leggere

Le leghe leggere sono leghe ottenute principalmente con la combinazione tra alluminio e rame, zinco, manganese, silicio, o magnesio.

Le principali caratteristiche di queste leghe sono:

- bassa densità: il loro peso specifico è uno dei più bassi fra tutti i materiali strutturali (2,7 g/cm³ contro i 7,9 g/cm³ dell'acciaio)
- elevata duttilità a causa della loro struttura cristallina cubico F (a facce centrate): Grazie a questa proprietà è possibile realizzare fogli sottilissimi di alluminio, come ciascuno di noi può sperimentare nelle applicazioni alimentari. Anche a basse temperature, per la loro struttura cristallina, le leghe di alluminio si mantengono duttili.
- elevata conduttività termica ed elettrica: questa caratteristica rende alcune leghe di alluminio adatte alla realizzazione di pentole da cucina, o materiale elettrico.
- basso punto di fusione (circa 660°C): la temperatura di fusione limita le applicazioni strutturali dell'alluminio a temperature d'esercizio massime di 200-300°C (300°C per leghe appositamente studiate).
- resistenza a corrosione in ambiente atmosferico: le leghe leggere resistono bene alla corrosione generalizzata, ma soffrono di alcuni altri tipi di corrosione, e per questo vengono trattate con procedimenti come l'anodizzazione o l'applicazione di vernice protettiva (primer). Se non trattata in maniera particolare, la superficie di un oggetto in lega d'alluminio appare lucida, essendo assenti fenomeni di corrosione generalizzata, a differenza degli acciai ferritici.

Le applicazioni motoristiche in leghe leggere sono rilette soprattutto nelle parti tiepide (fino ai 250°C) del motore, ciò è dovuto fondamentalmente alla possibilità di combustione di tali materiali alle alte temperature.

9.2.5 Il vetro

Il vetro è parte integrante della carrozzeria di un veicolo ed adempie a molte funzioni. Il compito del produttore di vetro per auto è quello di controllare attentamente la distribuzione delle temperature nel vetro lungo tutto il suo processo di curvatura e di assicurarsi che la qualità ottica ed il quadro pensionale siano sempre nelle migliori condizioni [72].

Il vetro è un minerale incombustibile con una resistenza al fuoco, ad eccezione di alcuni tipi speciali, assai modesta. Le lastre di vetro comune, se investite direttamente dalla fiamma, si rompono immediatamente, mentre possono resistere sino al raggiungimento di una temperatura di $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ se riscaldate per irraggiamento o per azione dei gas caldi. Il vetro, dunque, può essere difficilmente considerato un materiale costruttivo adatto per la realizzazione di barriere antincendio: è fondamentalmente reputato fragile e soggetto a stress termici, incapace di sopportare deformazioni o di far fronte a grossi carichi. Di conseguenza, sebbene sia completamente incombustibile e non alimenti le fiamme, il vetro float tradizionale esposto al calore si rompe a temperature relativamente basse e tende ad uscire dal proprio telaio una volta giunto a rottura. Le lastre di "vetro speciale" hanno una resistenza al fuoco a volte non trascurabile anche se, di norma, non possono garantire l'isolamento termico ma soltanto la tenuta ai fumi di combustione, dal momento che non costituiscono una valida barriera al calore d'irraggiamento.

Le vetrate dell'autobus oggetto di studio sono come già detto in cristallo temprato, cioè hanno subito trattamenti termici tali da aumentare le caratteristiche di resistenza e di shock termici. Tale prodotto è ottenuto riscaldando il vetro a più di $600\text{ }^{\circ}\text{C}/1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e raffreddandolo rapidamente. In tal modo, la superficie esterna del vetro diventa più dura rispetto al centro e quindi più resistente rispetto al vetro normale a parità di spessore. In caso di rottura, il vetro temprato si spezza in frammenti molto piccoli.

9.3 LA PRESENZA DI FLUIDI COMBUSTIBILI

I dati statistici disponibili evidenziano che quando il veicolo è causa primaria dell'incendio le cause possono essere diverse, fra le più frequenti la perdita di oli o carburante. Si riporta nella tabella seguente l'elenco dei fluidi utilizzati da CTP nel modello 591.10.29, che è alimentato a gasolio.

Ai fini della seguente trattazione, è importante porre l'attenzione sulle caratteristiche dei fluidi combustibili che sono presenti nel vano motore: olio motore, olio per le trasmissioni idrostatiche, olio cambio.

Tabella 9.1: Lubrificanti usati in CTP.

Denominazione internazionale lubrificanti	Prodotti F.L. Group
Olio Motore Specificazione API CF SAE15W40	Urania LD7
Olio per differenziale e mozzi ruote SAE80W90 Specificazione MIL-L-2105 D-API GL 5 SAE80W140	Tutela W140/MDA (climi caldi)
Olio per trasmissioni idrostatiche A.T.F.DEXRON III -ZF TE-MIL. 09A e 14C	Tutela ATF 90
Olio cambio	ATF Dextron 2
Grasso per ingranaggio generale A base di saponi di litio, consistenza N.L.G.I n. 2	Tutela MR2
Grasso per cuscinetti e mozzi ruote A base di saponi di litio, consistenza N.L.G.I n. 3	Tutela MR3
Fluido per freni idraulici e comando frizione Norme N.H.T.S.A.n.116-DOT4ISO 4925 Std.SAEJ1703 Cuna NC 956-01 iveco standard 18-1820	Tutela Truck dot Special
Grasso per impianti di lubrificazione centralizzata a base di saponi di litio con base sintetica N.L.G.I n.2 temperature d'impiego da 30° a +140°	Tutela Comar 2

9.3.1 Olio per trasmissioni idrostatiche: TUTELA ATF 90

Per le trasmissioni idrostatiche è utilizzato Tutela ATF 90 che è un lubrificante interamente sintetico per trasmissioni automatiche e impianti

idraulici operanti in condizioni severe. Le caratteristiche possono essere così riassunte [73] :

- innovativa additivazione ATF, per esaltare le caratteristiche viscosimetriche del prodotto sia a caldo che a freddo;
- ottime caratteristiche detergenti, per garantire la perfetta pulizia delle parti meccaniche;
- eccellenti proprietà di dissipazione calore, per eliminare il calore che si sviluppa all'interno del gruppo trasmissione;
- formulazione fully synthetic, per garantire eccellenti caratteristiche di resistenza termico-ossidativa consentendo il prolungamento dell'intervallo di cambio.

La composizione di tale olio prevede la presenza di additivi contenenti azoto, zolfo, antiossidanti e polimeri. Dalla scheda di sicurezza del prodotto è stato possibile attingere informazioni riguardanti le misure antincendio ad esso collegate. Dal punto di vista della reattività del prodotto alla luce e al calore il prodotto è stabile nelle normali condizioni di utilizzo.

Va evitato il contatto con fonti di calore e in ogni caso si consiglia di non superare il punto d'infiammabilità. In caso d'incendio è preferibile utilizzare estintori o dispositivi di spegnimento di classe B: schiuma, anidride carbonica, polvere chimica secca, acqua nebulizzata, sabbia, terra. E' preferibile non utilizzare getti d'acqua se non per raffreddare le superfici esposte al fuoco.

Tabella 9.2: Caratteristiche chimico-fisiche Tutela ATF 90.

PROPRIETA'	VALORE	METODO
ASPETTO	Liquido viscoso di colore rosso	VISIVO
DENSITA' A 15°C	0.840 g/cm ³	ASTM D 4052
SOLUBILITA' IN ACQUA	Insolubile	
VISCOSITA' A 100°C	7.4 cSt	ASTM D 445
PUNTO INIZIALE DI EBOLLIZIONE	>300°C	ASTM D 1120
PUNTO DI INFIAMMABILITA'	210°C	ASTM D 92

E' da evitare l'inalazione dei fumi della combustione in quanto si possono formare composti dannosi. I prodotti della combustione sono: ossido di carbonio, composti di zolfo, di fosforo, di azoto, idrogeno solforato ed altri derivati. Si riporta nella seguente tabella le caratteristiche chimico-fisiche del prodotto.

9.3.2 Olio cambio: ATF DEXTRON II

Fluido multifunzionale per trasmissioni automatiche e servosterzi. Possiede elevatissima stabilità all'ossidazione e ottima viscosità alle basse temperature [73]. I fluidi per trasmissioni automatiche sono dei lubrificanti più complessi che devono soddisfare dei requisiti particolari voluti dai costruttori di trasmissioni automatiche. Inoltre è fondamentale che il fluido ATF Dexron II assicuri i fattori necessari a consentire il corretto funzionamento delle trasmissioni automatiche. I fluidi ATF Dexron II per le loro particolari caratteristiche sono anche idonei per varie applicazioni specifiche, sia nel campo delle trasmissioni automatiche, sia per l'utilizzo relativo ai cambi meccanici di autoveicoli, sia a comandi idraulici che operano in condizioni ambientali di bassa temperatura, che ai servosterzi e trasmissioni idrostatiche. Per le principali applicazioni attenersi sempre alle prescrizione dei costruttori.

Lubrificante per trasmissioni automatiche, servosterzi, trasmissioni automatiche CVT, convertitori di coppia, power-shift, cambi meccanici dove è prescritto un olio ATF. Le caratteristiche principali sono:

- le sue caratteristiche lo rendono particolarmente stabile all'ossidazione ed all'usura;
- la sua formulazione e la particolare additivazione garantiscono ottima protezione alle basse temperature;
- minima resistenza passiva nella trasmissione dell'energia,
- alto indice di viscosità.;
- ottimo potere antischiuma e resistente alla cavitazione.
- perfetta compatibilità con guarnizioni, elastomeri e leghe metalliche;

- ottime prestazioni di pulizia degli accoppiamenti meccanici;
- elevata resistenza del film lubrificante anche nelle condizioni più severe.

Nella scheda di sicurezza di tale prodotto sono prescritti i comportamenti idonei in caso d'incendio. Fra le sostanze estinguenti raccomandate vi è l'anidride carbonica, schiume e polveri mentre è vietato l'utilizzo di acqua.

E' da evitare l'inalazione dei prodotti di combustione di tale sostanza poiché fra essi sono presenti: monossido di carbonio, anidride carbonica ed idrocarburi incombusti.

Le principali caratteristiche chimico-fisiche sono riassunte nella tabella che segue.

Tabella 9.3: Caratteristiche chimico-fisiche Dextron II.

CARATTERISTICA	VALORE
Stato fisico a 20°C	Liquido
Odore	Lieve
Densità a 15°C ASTM D1298 (Kg/l)	860/870
Punto di scorrimento ASTM D97	-35/-45
Viscosità a 100°C ASTM D445 (mmq/s)	30/40
Viscosità a 40 °C ASTM D445 mmq/s)	7/8
Solubilità in acqua	Insolubile
Infiammabilità COC ASTM D92 (°C)	210

9.3.3 Olio motore: URANIA LD7

Olio Motore a base minerale per veicoli industriali e commerciali con motori diesel turbo ed aspirati. Sviluppato da FL [73], in collaborazione con i principali Costruttori, per rispondere alle necessità dei nuovi motori a normative Euro 4 ed Euro 5 con sistemi SCR ed EGR.

URANIA LD7 supera tutte le prestazioni degli altri prodotti minerali della linea Urania, e consente le massime prestazioni su ogni veicolo, sia quelli equipaggiati con sistemi SCR o EGR per superamento specifiche Euro 4 e 5, sia rispondenti a normative Euro precedenti. Più in dettaglio Urania LD 7 assicura:

- la rispondenza alle massime specifiche internazionali sia europee che americane previste per i lubrificanti minerali, unita al superamento delle specifiche classiche. Ne viene così consentito l'utilizzo con i migliori risultati su tutti i tipi di veicolo;
- la conformità a tutte le normative ecologiche Euro, che impongono particolari cicli di funzionamento dei veicoli;
- una vita utile del lubrificante che, sui motori delle ultime generazioni, raggiunge i 100.000 km in condizioni di uso normali;
- una superiore resistenza al taglio meccanico ed alla formazione di residui acidi, unita alla massima protezione delle bronzine, ed all'estensione delle caratteristiche di disperdenza di carbone e morchie.
- consumi di olio minimi anche in presenza di lunghissimi intervalli di sostituzione.

Superando ampiamente le esigenze tecnologiche e qualitative di tutti i Costruttori di veicoli industriali Urania LD7 può essere utilizzato per tutte le tipologie di motori diesel, turbo-compressi ed aspirati, di ogni tipo, marca e potenza.

Anche per questo prodotto nella scheda di sicurezza si consiglia l'uso, in caso d'incendio, di sostanze estinguenti quali anidride carbonica, schiume e polveri mentre è vietato l'utilizzo di acqua.

E' da evitare l'inalazione dei prodotti di combustione di tale sostanza poiché fra essi sono presenti: ossido di carbonio, composti di zolfo, di fosforo, di azoto, di idrocarburi incombusti ed altri derivati.

Si riportano di seguito le proprietà chimico e fisiche di tale prodotto.

Tabella 9.4: Caratteristiche chimico-fisiche Urania LD7.

PROPRIETA'	VALORE	METODO
ASPETTO	Liquido viscoso	VISIVO
DENSITA' A 15°C	0.885 g/cm ³	ASTM D 4052
SOLUBILITA' IN ACQUA	Insolubile	
VISCOSITA' A 100°C	14.3 cSt	ASTM D 445
PUNTO INIZIALE DI EBOLLIZIONE	>300°C	ASTM D 1120
PUNTO DI INFIAMMABILITA'	>210°C	ASTM D 92

9.3.4 Il gasolio

Il **gasolio**, detto anche comunemente **nafta**, come quasi tutti gli idrocarburi, è un prodotto della distillazione frazionata del petrolio greggio, oppure dal cracking (operazione attraverso la quale gli idrocarburi di maggior peso molecolare sono frammentati in presenza di un catalizzatore) [74].

Nel gasolio sono presenti diversi classi di idrocarburi come paraffine, aromatici e naftenici e le loro proporzioni variano da gasolio a gasolio. Le migliori qualità di accensione e combustione le hanno gli idrocarburi paraffinici essendo più stabili. Attualmente il gasolio viene bruciato negli impianti centrali di riscaldamento, usato come materia prima per l'industria chimica. e impiegato come combustibile nei motori diesel.

In questi motori, il combustibile viene iniettato direttamente nel cilindro dove trova, grazie all'elevato rapporto di compressione (14-18), un ambiente ad alta pressione (oltre le 40 atmosfere) e ad alta temperatura (500-600 °C). Solo in queste condizioni "infernali" il gasolio può iniziare, spontaneamente, la sua combustione perché, per sua natura, è molto meno infiammabile, e quindi anche più sicuro, della benzina la quale, come noto, brucia con pericolosa facilità. Tutto ciò lo rende un carburante "sicuro", per la forte capacità di detonazione nei motori Diesel; non è pericolosissimo come la benzina, anzi, per detonare deve raggiungere temperature alte (600-800 °C) e non s'infiama molto facilmente. Per ragioni di sicurezza e regolarità di combustione è importante che sia privo di frazioni leggere e

anche di frazioni pesanti, responsabili della formazione di depositi carboniosi e di combustione incompleta.

La sua efficienza come carburante è espressa dal "numero di cetano". L'accendibilità del gasolio, cioè la rapidità a bruciare, determinano le prestazioni, il rendimento, la fluidità di marcia, le emissioni di fumo, e il rumore di un motore Diesel. L'accendibilità del gasolio è misurata dal numero di cetano (NC) che è l'indice di una scala ai cui estremi sono stati posti, come riferimento, il cetano con il valore 100 (perché facilmente accendibile) e l'eptametilnonano con il valore 15 (perché molto resistente all'accensione). Combustibili con alto numero di cetano (oltre 48) devono essere usati nei Diesel cosiddetti "veloci", praticamente tutti quelli prodotti per uso automobilistico da una ventina d'anni a questa parte che comprendono, ovviamente, anche quelli ad iniezione diretta che equipaggiano le autovetture moderne; viceversa, nei Diesel "lenti", come quelli utilizzati sui mezzi pesanti, i tempi più lunghi disponibili per la combustione consentono l'impiego di carburanti con peggiori caratteristiche di accendibilità, cioè con NC più bassi. I gasoli normalmente in commercio hanno NC intorno a 51, ma recentemente vengono offerti anche gasoli speciali con numero di cetano 52-54.

Di seguito si riportano alcune delle caratteristiche chimico-fisiche fondamentali.

Tabella 9.5: Proprietà chimico-fisiche del gasolio.

Proprietà chimico-fisiche del gasolio	
ASPETTO	Liquido limpido
DENSITA' 15°	820-845 kg/m ³
TENSIONE DI VAPORE	0.4 KPa
PUNTO INIZIALE DI DISTILLAZIONE	160-420 °C
VISCOSITA' 40°	< 7 mm ² /s
SOLUBILITA' IN ACQUA	Non solubile
PUNTO INFIAMMABILITA'	>55 °C
TEMPERATURA D'ACCENSIONE	> 220°C
LIMITI ESPLOSIVITA'	
Inferiore	1 % vol
Superiore	6% vol

Nel tempo il gasolio ha visto ridurre progressivamente il suo contenuto di zolfo fino all'attuale 0,005%. Risulta essere uno dei carburanti con minor impatto ambientale. La specifica di riferimento che armonizza in tutta l'Europa Occidentale le specifiche nazionali del gasolio autotrazione é la EN 590, che è stata recepita in Italia come UNI EN 590. L'Unione Europea, con la Direttiva 2003/17/CE, ha definito inoltre le caratteristiche di impatto ambientale del gasolio.

Si riportano in tabella le principali le misure antincendio da adottare.

Tabella 9.6: Misure antincendio per il gasolio.

MISURE ANTINCENDIO GASOLIO	
Mezzi di estinzione:	
appropriati	Anidride carbonica, polvere, schiuma, acqua nebulizzata.
non appropriati	Evitare l'impiego di getti d'acqua..
Altre indicazioni:	Usare getti d'acqua per raffreddare le superfici esposte al fuoco. Coprire gli eventuali spandimenti che non hanno preso fuoco con schiuma o terra.
Misure particolari di protezione:	Indossare un respiratore autonomo in presenza di fumo denso.
Consigli utili:	Evitare schizzi accidentali di prodotto su superfici metalliche calde o su contatti elettrici. In caso di fughe di prodotto con formazione di schizzi finemente polverizzati, tenere presente che il limite inferiore d'infiammabilità è di circa 1% vol.

9.4 ANALISI DEGLI INCENDI

L'analisi svolta fa riferimento ad incendi che hanno assunto elevati livelli di pericolosità e che hanno interessato vetture del medesimo modello (591.10.29) e con la medesima anzianità. Più esattamente gli incendi hanno interessato vetture che sono state dimesse solo dopo 5 anni di esercizio. Tutte i veicoli interessati infatti hanno subito conseguenze tali da renderli totalmente inutilizzabili, causando un grave danno economico per l'azienda.

Le dinamiche d'innescò dei vari incendi hanno delle caratteristiche comuni. L'innescò si è avuto durante il servizio di linea ordinario con il veicolo in movimento. L'autista non ha rilevato alcuna segnalazione anomala sul cruscotto e la segnalazione dell'incendio è stata resa possibile grazie a terzi presenti all'esterno dell'autobus, quando ormai l'incidente aveva assunto livelli pericolosi. L'analisi delle cause d'incendio a posteriori è resa difficoltosa per l'insorgere di due problematiche:

- la testimonianza dell'autista dà spesso informazioni insufficienti sulla dinamica dell'incendio stesso, in quanto egli ha come prima preoccupazione quella di riuscire a provvedere a evacuare il più ordinatamente possibile i passeggeri dal mezzo in fiamme ed a mettersi in sicurezza con loro;
- l'accertamento tecnico avviene su un veicolo in cui le parti danneggiate sono sostanzialmente distrutte.

La raccolta d'informazioni è risultata quindi incompleta o in alcuni casi impossibile. A tal proposito una possibile azione da implementare potrebbe essere quella di fare formazione agli autisti in modo da dargli facoltà di poter facilmente compilare un modulo standard, con oggetto il sinistro, con l'obiettivo di facilitare l'individuazione della causa d'incendio. Una proposta di come sviluppare il suddetto modulo è posto in allegato B.

In tutti gli incendi registrati, infatti, è stato evidente individuare la zona d'origine mentre il più delle volte è stato difficile comprenderne le cause. Ciò si acuisce soprattutto perché gli incendi si sono originati nel vano motore in cui problematiche di tipo tecniche sono difficili da comprendere a causa dell'eccessivo affollamento delle apparecchiature.

9.4.1 Considerazioni circa i danni prodotti così come rilevati

L'esame dei veicoli incendiati e le considerazioni circa i danni prodotti sono possibili attraverso il confronto fra le tre diverse situazioni verificatesi:

- situazione 1:veicolo totalmente incendiato;
- situazione 2:veicolo con propagazione di fiamma e danni estesi;
- situazione 3:veicolo in cui si è verificato un principio d'innesco.

Analizzando le affinità e le dissonanze fra le diverse situazioni è possibile accertare le condizioni dei veicoli coinvolti anche in virtù del confronto con un autobus funzionante. Valutiamo innanzitutto lo stato del rivestimento esterno in seguito all'incendio. Questo ultimo, nei veicoli totalmente incendiati, ha subito quasi il totale deterioramento. Dall'immagine

36 è evidente poter accertare la completa fusione di: copertura, porte, finestrini, parabrezza, vetrate, pannelli superiori della fiancata.



Figura 9.1: Rivestimento esterno autobus totalmente incendiati.

E' da notare che le pannellature relative alla fiancata inferiore, costituite in lega leggera, hanno subito danni più lievi il che va comparato con i danni riportati dalle restanti pannellature, costituite in materiale composito di cui è visibile solo parte delle fibre mentre si è avuta la completa fusione della resina costituente la matrice.

La figura 37 permette di visualizzare la parte posteriore della vettura. Si è verificato il completo danneggiamento di tale zona con la conseguente fusione di: testata posteriore, portellone motore, vetratura, gruppi ottici posteriori (frecce, stop, faro retromarcia,...).



Figura 9.2: Parte posteriore autobus totalmente incendiato.

Per quanto concerne le vetture coinvolte in una situazione tipo 2/3 il rivestimento esterno è in buono stato, fatta eccezione della sezione posteriore del veicolo dove le conseguenze variano a seconda della gravità delle proporzioni assunte dall'incendio. In particolare nel caso di vetture in cui si è verificato solo un principio d'innescò è possibile osservare la rottura del vetro posteriore e la foratura del portellone del motore costituito in lega leggera. Ciò è visibile nell'immagine che segue.



Figura 9.3: Foratura portellone motore a seguito dell'incendio.

Tutto ciò prova che il punto di fuoco è il vano motore e che l'incendio si propaga con una temperatura tale da portare alla fusione della lega leggera (600-700°C).

Patendo l'incendio dal vano motore, anche i danni relativi agli interni variano a seconda della sua propagazione. Nel caso delle vetture totalmente incendiato i danni sono estesi, come di seguito.



Figura 9.4: Danni interno autobus totalmente incendiato.

Per la presenza di materiali quali resina plastica, resina poliesteri e compensato multistrato il comparto passeggeri costituisce causa d'intensificazione dell'incendio. L'interno del veicolo è completamente rovinato, dalla fig. 39 è possibile riscontrare che hanno resistito all'elevata temperatura solo le parti metalliche: mancorrenti orizzontali, mancorrenti verticali e l'intelaiatura dei sedili, cioè tutte parti in acciaio.

La fig. 40 permette di analizzare in particolare la zona del comparto passeggeri adiacente al vano motore. Si osserva il collasso della copertura sulla panchina dei sedili posteriori. Anche qui le sole parti in materiale metallico hanno resistito: è ben visibile la reticella dell'impianto di climatizzazione e sul fondo la tenuta del tubo di scappamento, poiché ben isolato.



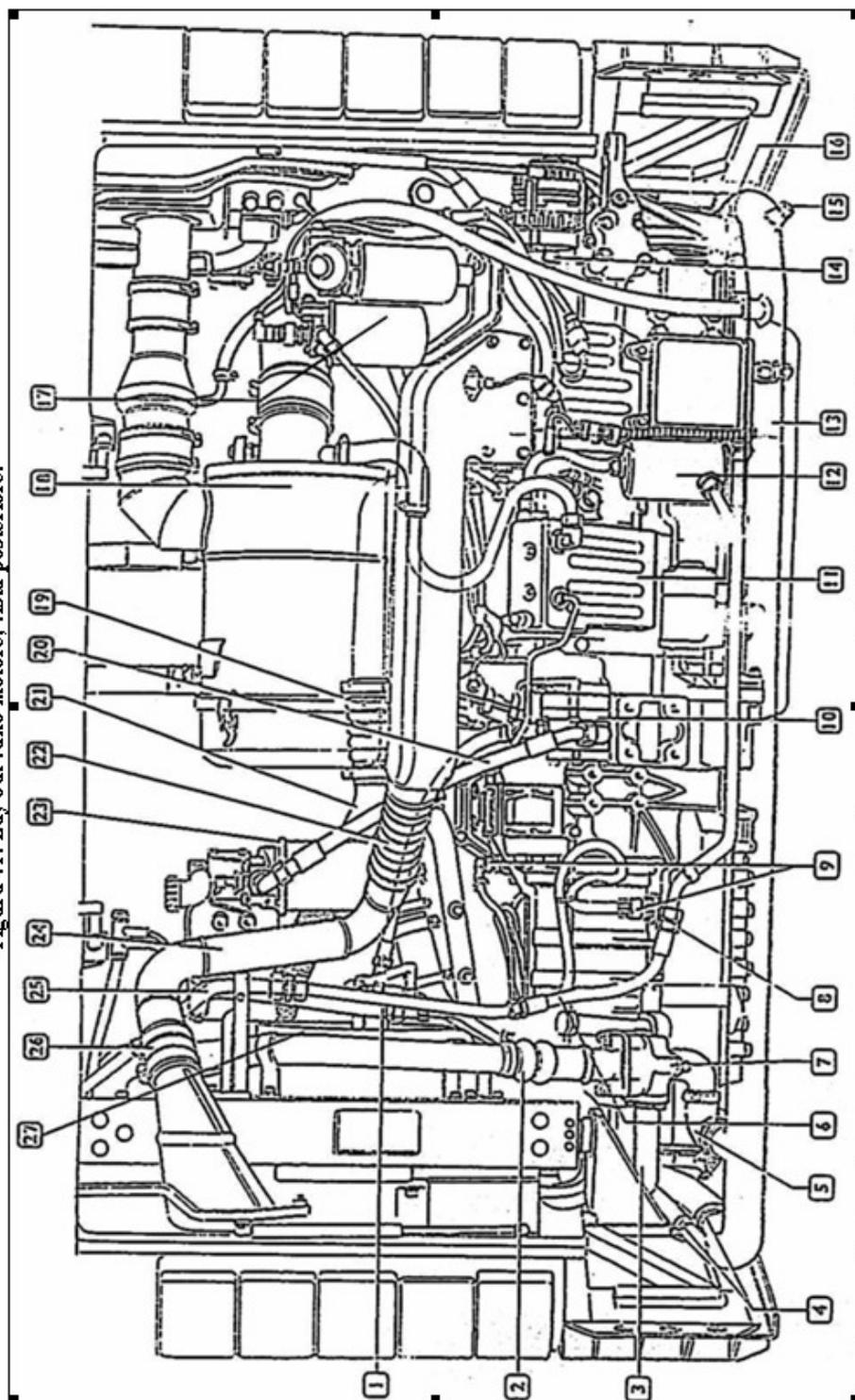
Figura 9.5: I danni della panchina dei sedili posteriori.

Resta ben poco del posto guida: lo scheletro metallico dello sterzo e l'intelaiatura del sedile. La copertura del sedile, il divisorio in plastica tra l'autista e il passeggero, la plancia dei comandi, il parabrezza, il finestrino laterale e la tendina ad esso annesso, sono tutti elementi ormai non più riconoscibili.

Trascurabili invece sono i danni degli interni dei veicoli coinvolti nella situazione 2/3 in quanto l'incendio, di estensione più limitata, ha interessato maggiormente la parte posteriore del mezzo.

L'analisi dei danni va completata con l'attenta descrizione delle conseguenze che gli incendi hanno causato all'interno del vano motore. Per una maggior chiarezza espositiva si riporta di seguito un'illustrazione relativa ad un vano motore di un autobus funzionante. Sono messi in evidenza gli organi e i collegamenti principali al fine di poter meglio comprendere l'attuale layout del vano motore

Figura 41: Lay out vano motore, vista posteriore.



Leggenda: 1 motore idroventilata.

3 tubazioni gruppo termostato;

6 tubazione flessibile de ll' essiccatore;

7 gruppo termostato;

9 connessioni elettriche

10 pompa olio trasmissioni idrostatiche;

12 filtro olio cambio;

14 alternatore;

17 filtri carburante;

18 alloggiamento filtro aria;

23 filtro olio trasmissioni idrostatiche;

27 ventola;

2-4-5-16-17-19-22-26 maticotti in gomma

11-13- 1-5-20-21-22-24-25 tubazioni

Si osservi la foto 42 relativa ad un veicolo totalmente incendiato in cui è possibile vedere le conseguenze dovute all'aumento di temperatura, che, come su detto, ha assunto livelli tali da permettere la fusione della lega leggera, visibile sul manicotto ventola.



Figura 9.6: Danni al vano motore: parte sinistra, veicolo totalmente incendiato.

Si vuole evidenziare l'attenzione sui danni subiti da alcuni componenti, al fine di rendere la comprensione più agevole grazie all'ausilio di foto si analizza prima il lato sinistro del vano motore e poi quello destro.

Per quanto concerne il lato sinistro i danni sono variamente estesi, si focalizza particolarmente l'attenzione sui seguenti componenti :

- la ventola;
- tubazione aria;
- sistema trasmissione idrostatica (idroventola)
- tubazioni acqua dello scambiatore di calore.

I danni riscontrati su questi componenti si sono verificati similmente in incendi di categoria 2 e 3 così come dimostrato dalle immagini seguenti.



Figura 9.7: Danni al vano motore: parte sinistra, veicolo parzialmente incendiato.



Figura 9.8: Danni al vano motore: parte sinistra, veicolo parzialmente incendiato.

E' ben visibile la fusione della ventola (poiché in plastica). In tutti e tre i casi permane solo la griglia protettiva, poiché in materiale metallico.

Per quanto riguarda la tubazione dell'aria esso risulta scollegato a causa della fusione dei manicotti in gomma.

Osserviamo i danneggiamenti subiti dal sistema per trasmissioni idrostatiche. In tutti e tre i casi non è più visibile la sonda posta superiormente il filtro dell'olio dell'idroventola, inoltre è completamente compromesso il collegamento tra questo filtro e la relativa pompa. In un autobus funzionante, questo tipo di collegamento si ha attraverso tubazioni che in parte sono metalliche ed in parte no . La figura 45 che è relativa ad una vettura in cui c'è stato un incendio parziale permette di evidenziare che a differenza delle altre parti di questo collegamento (fig. 44), quelle in metallo sono integre.

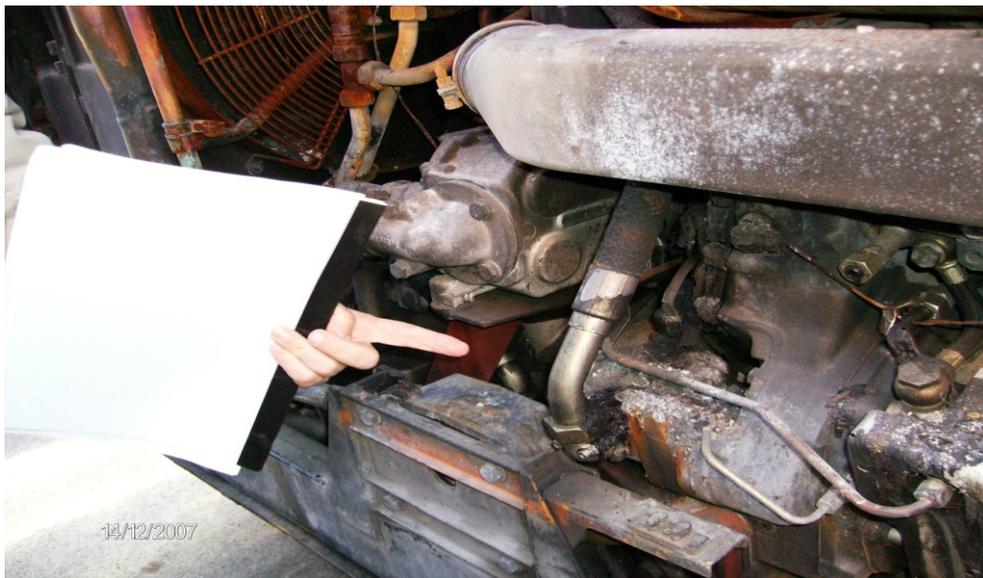


Figura 9.9: L'integrità delle parti metalliche a seguito dell'incendio.

Nella foto 9.10 relativa ad incendio totale è visibile la fusione del tubo in plastica dell'acqua che è collegato sullo scambiatore di calore, utilizzato per raffreddare l'olio motore.



Figura 9.10: Scambiatore di calore, autobus incendiato.

Tale condizione non si è verificata negli incendi di tipologia 2 e 3, a dimostrazione di ciò si osservi la foto 9.11.



Figura 9.11: Scambiatore di calore autobus parzialmente incendiato.

Di seguito si analizza la parte destra del vano motore. In questo caso i componenti su cui si focalizza l'attenzione sono:

- alloggio filtro aria;
- filtri del carburante.

Dalla fig. 9.12 è visibile la liquefazione del manicotto in gomma dell'alloggio del filtro dell'aria, con il conseguente scollegamento. Tale situazione si è ripetuta in tutte e tre le situazioni.

Come fatto fin'ora, anche per descrivere i danni dei filtri del carburante analizziamo prima la situazione più critica e cioè la condizione 1. L'esplosione in tal caso è stata tale da spazzare via completamente tali filtri, che non sono più identificabili (vedi fig. 48), e di compromettere i comandi di avvio e spegnimento del motore. Anche in questo caso tutte le tubazione corrugate in plastica sono liquefatte.



Figura 9.12: Danni al vano motore: parte destra, veicolo totalmente incendiato.

Differente è invece la situazione per incendi di categoria 2, infatti dalla fig. 9.13 si può vedere che un filtro del carburante si è capovolto in posizione orizzontale mentre l'altro è restato in posizione verticale, in entrambi i casi comunque vi è stata il danneggiamento delle sonde ad essi connessi.



Figura 9.13: Danni al vano motore: parte destra, veicolo parzialmente incendiato.

Come mostrato in invece in fig. 9.14 per incendi di categoria 3 tali filtri del carburante sono nella posizione a loro consono, è ancora possibile vedere le sonde collegate che però risultano parzialmente bruciate.



Figura 9.14: Danni al vano motore, autobus parzialmente incendiato.

9.5 SVILUPPO E PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO

Come già spiegato in precedenza (capitolo 2) affinché avvenga una combustione è necessaria la combinazione di tre elementi che costituiscono il triangolo del fuoco: combustibile, comburente, temperatura d'accensione. Tali grandezze sono presenti nel vano posteriore, motivo per cui esso costituisce un pericoloso dipartimento di fuoco. In esso risultano installati i principali impianti di bordo: serbatoio degli oli, tubazioni, raccordi, filtri, indicatori di livello, pompe, motori idraulici, cavi elettrici, linea di scarico, marmitta, cambio ecc. Questi impianti soggetti a sollecitazioni termiche, vibrazioni e sobbalzi, sono potenzialmente in grado di attivare pericolose sorgenti d'ignizione. La presenza infatti di tali impianti e di una serie di ingranaggi sempre in moto fanno sì che la temperatura interna del vano risulti essere abbastanza sostenuta creando già la prima condizione affinché si abbia l'innesco. Il comburente è fondamentalmente l'ossigeno presente.

Inoltre nel vano motore sono presenti in maniera numerosa sostanze combustibili sia fluide che solide. Vi è infatti la sussistenza di sostanze fluide quali gasolio, olio motore, olio idraulico e di sostanze solide quali parti in gomma, in materiale composito, in plastica.

Sviluppatesi l'incendio, esso si propaga verso l'intero veicolo poiché non ci sono le opportune barriere di protezione passiva. Innanzi tutto bisogna osservare che l'isolamento del vano motore rispetto all'abitacolo è attualmente svolto da una paratia sandwich che consta di una lamina di alluminio e lana di vetro spessa circa 20 mm. La lana di vetro contribuisce ampiamente alla sicurezza passiva negli impianti industriali. Riconosciuta non combustibile, la lana di vetro non rivestita o rivestita di veli di vetro ha una classe di reazione al fuoco 0 o 1. Numerosi prodotti in lana di vetro sono omologati dal Ministero dell'interno [59] e possono essere utilizzati nei locali pubblici con la massima sicurezza. La lana di vetro non genera gas tossici o fumi che rappresentano pericoli reali in caso di evacuazione dei locali. La lana di vetro non propaga il fuoco e non contribuisce ad alimentare l'incendio. Per le proprietà isolanti, la lana di vetro non rivestita rinforza e

completa la resistenza al fuoco della pareti, contribuendo alla stabilità durante l'evacuazione degli occupanti [72].

Ciò nonostante la paratia in questione si è dimostrata essere inadatta a svolgere la funzione di coibentazione alla quale è stata preposta. Come si può vedere in fig. 9.15 infatti la paratia non ha retto l'esposizione a stress termici.



Figura 9.15: Danneggiamento paratia d'isolamento del vano motore in seguito ad incendio.

Essa, per i materiali che la costituiscono, come su detto dovrebbe avere una buona resistenza al fuoco che però in realtà è ridotta dalla scarsissima resistenza all'impatto e alla manipolazione. In caso di contatto con corpi rigidi tale paratia infatti si danneggia. Durante il rifornimento dei lubrificanti, gli smontaggi o le ordinarie operazione di manutenzione con molta facilità può capitare che l'operatore a contatto con la paratia ne provochi lo sfaldamento. Infatti si mostra di seguito una foto relativa ad un autobus funzionante in cui per motivi di manutenzione è stato smontato il motore. Come si può ben notare lo stato della paratia in questione è evidentemente compromesso.



Figura 9.16: Danneggiamento paratia a causa di impatti e manipolazioni.

Ad aggravare il tutto si aggiunge l'inefficienza del sistema di spegnimento automatico a polvere che si è dimostrato inadeguato per lo spegnimento di una massiva situazione d'incendio. Questo perché la protezione contro gli incendi non si può basare solo su un sistema d'estinzione e/o di protezione passiva poiché se non si riesce a tenere sottocontrollo la temperatura delle parti esposte attraverso il blocco elettrico e il blocco del fluire dei fluidi, qualsiasi sistema di spegnimento può avere un'efficienza limitata.

Alla luce di tutto ciò, risultano chiarite le motivazioni che hanno provocato la propagazione delle fiamme verso: l'abitacolo, le fiancate, la copertura, il parabrezza ecc. Ad alimentare il fuoco permettendogli lo sviluppo fino al posto guida vi è, inoltre, la presenza di materiali (di cui si è già descritto il comportamento al fuoco) che intensificano le fiamme e la produzione di fumi tossici, quali:

- pavimenti in compensato multistrato, costituito da legno di betulla e collanti fenolici, di ignifugazione insufficiente;
- materiale composito costituente la copertura e la fiancata superiore;
- resine plastiche presenti all'interno dell'abitacolo.

9.6 PROPOSTE MIGLIORATIVE

Alla luce di quanto illustrato, nasce la necessità di rivedere la progettazione dell'autobus per limitare se non per azzerare la probabilità d'incendio all'interno del vano motore e per rendere la struttura tale da non consentire il propagarsi dell'eventuale incendio dal vano motore all'abitacolo.

Per poter meglio analizzare la propagazione delle fiamme verso l'abitacolo si fanno delle supposizioni circa la durata d'incubazione dell'incendio. In letteratura [54],[55],[56] vi è la presenza di sperimentazioni su scala reale di prove effettuate al fine di studiare la tempistica di sviluppo degli incendi stradali. In particolare è documentato che nel caso in cui l'incendio parta dal vano motore, esso si espande alle altre parti del veicolo dopo circa 5 minuti, e si ha l'incendio totale del veicolo dopo circa 20 minuti.

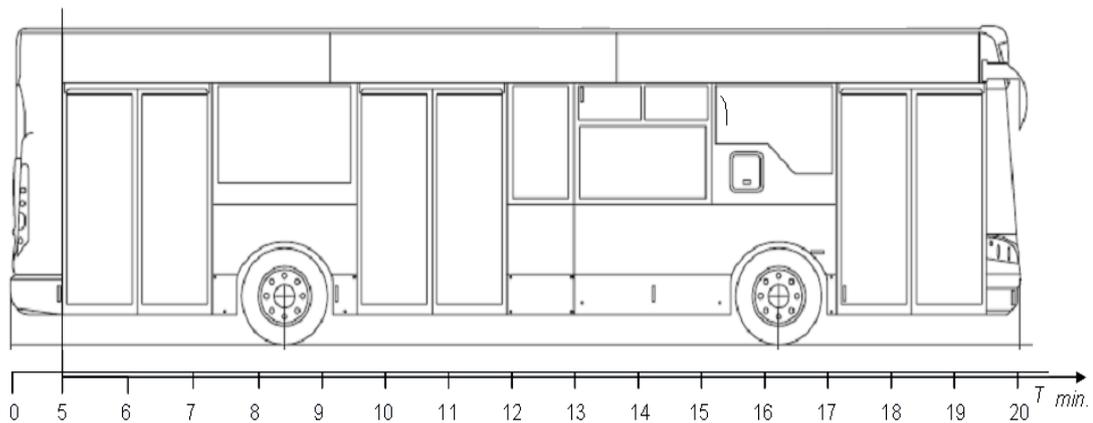


Figura 9.17: Schema propagazione incendio autobus.

Nella precedente figura si vuole rappresentare come gli elementi dell'autobus sono coinvolti dalle fiamme man mano che queste si espandono. L'incendio si propaga dalla parete posteriore dell'autobus alla panchina dell'ultima fila di sedili in un periodo di tempo che va da 0 a 5 min, quindi la paratia ha 5 minuti di resistenza in seguito alla quale permette la propagazione delle fiamme verso la restante parte dell'abitacolo, che è per motivi di rappresentazione suddivisa in parti uguali, ciascuna corrispondente l'incremento temporale di 1 minuto. Tale rappresentazione è valida

nell'ipotesi semplicistica che l'incendio si propaga linearmente, ipotesi che può ritenersi valida considerato che l'incendio si sta sviluppando in un abitacolo all'interno del quale sono uniformemente disposti le stesse tipologie di materiali.

Essendo l'autobus lungo 10.795 m ne deriva che l'incendio si propaga ad una velocità superiore ai 100 mm/min ed in poco minuti l'incendio raggiunge già la porta posteriore del veicolo, possibile via d'uscita.

Tenendo conto di tutto ciò, si forniscono di seguito delle indicazioni per il miglioramento delle condizioni di sicurezza del vano motore che possono essere ottenute adottando nella progettazione degli autobus le seguenti misure di prevenzioni:

- realizzare attraverso diaframmi tagliafuoco la separazione del compartimento passeggeri dal vano posteriore al fine di interrompere anche la continuità dei materiali delle fiancate e del padiglione;
- ispessire gli schermi taglia fuoco già presenti con rete metalliche al fine di migliorarne la resistenza ed impedirne lo sfaldamento, causa principale dell'insufficiente adempimento della funzione protettiva;
- accompagnare l'attuale sistema di spegnimento con il posizionamento di trasduttori termosensibili che consentano, in seguito al rilevamento di temperature superiori ai valori soglia, il blocco dell'energia elettrica e in contemporanea del flusso di tutte le sostanze combustibili. E' possibile così migliorare la sicurezza e ridurre la gravità dei guasti in esercizio attraverso l'introduzione di un opportuno sistema di monitoraggio termico;
- installazione di tubazioni metalliche per il fluire di liquidi combustibili. Il materiale metallico deve essere preferito all'utilizzo di materiali plastici e gomma. Fra i metalli utilizzabili c'è ad esempio il rame e/o l'acciaio con punti elastici in modo da permettere la maggiore resistenza alle elevate temperature ed ai pericoli delle vibrazioni;

➤ attenta scelta e utilizzo di materiali non infiammabili, con particolare attenzione alle caratteristiche dei materiali compositi e resine plastiche affinché siano previste per questi norme più severe di quelle esistenti. Devono essere stabiliti più stringenti criteri d'infiammabilità e di tossicità dei fumi, la velocità di propagazione del materiale deve essere inferiore al 100mm/min e deve essere portata all'interno di un range che varia fra i 70/75 mm/min.

➤ utilizzazione per l'impianto elettrico di guaine del tipo non propaganti fiamma. Bisogna disporre i cavi in modo da evitare il contatto con superfici calde e fissarli in modo da evitare abrasioni, tagli o danneggiamenti;

➤ posizionare le sonde e sprinkler in modo più mirato, prevedendo la possibilità di usare un sistema di spegnimento automatico a CO2. Trattandosi di spazi chiusi e facilmente saturabili è possibile usufruire dell'innegabile vantaggio del forte abbassamento di temperatura conseguente all'immissione di CO2.

9.6.1 Il monitoraggio termico attraverso l'uso di sistemi informatici

In questi ultimi anni diverse compagnie di trasporto stanno puntando sulla manutenzione su condizione e su quella predittiva, in quanto una manutenzione basata sul monitoraggio può consentire di [75] [76] [77]:

- riduzione dei costi di manutenzione;
- aumento della disponibilità operativa delle macchine;
- miglioramento della sicurezza;
- riduzione della quantità e della gravità dei guasti di esercizio.

Il contenimento dei costi di manutenzione, la riduzione di avarie e fermi macchina e la qualificazione del trasporto pubblico passano attraverso

l'utilizzo di sistemi informatici di gestione delle flotte, capaci di centralizzare la raccolta e l'analisi dei dati e monitorare l'esercizio.

Tra i prodotti completi dal punto di vista della copertura delle funzioni, in Italia hanno trovato applicazione l'Intellibus della Digigroup e il Bus Sapiens della Teq.

In particolare per quanto concerne la problematica incendio bisognerebbe implementare un nuovo sistema di monitoraggio, connesso a quello già in essere che, oltre a fornire dati utili in riferimento alla movimentazione e all'esercizio dei veicoli, completi i dati di riferimento della manutenzione con le informazioni relative alla temperatura.

Nei moderni autobus il monitoraggio del veicolo avviene con il sistema multiplex, attraverso cui il cruscotto è gestito da una centralina elettronica e da un display grafico, che permette di 'disegnare' gli strumenti, sostituendo parzialmente o completamente la strumentazione tradizionale.

Il sistema comprende anche l'autodiagnosi, verificando il corretto funzionamento di tutti gli elementi che lo compongono e permettendo, in caso di guasto, l'individuazione immediata del componente da sostituire.

Al fine di prevenire un uso non corretto del mezzo, che potrebbe essere causa di rotture o non garantirne il corretto funzionamento, tale il sistema può venir configurato per limitare l'uso ai parametri stabiliti dal costruttore; oltre a ciò esso è provvisto della Black Box, ossia di un dispositivo che registra cronologicamente tutte le anomalie del mezzo, permettendo una diagnostica a posteriori da parte del personale che deve effettuare l'assistenza e della casa costruttrice per verificare l'uso corretto del mezzo ai fini della garanzia.

A completare il tutto vi è un computer di bordo poco più grande di un pacchetto di sigarette installabile su qualsiasi veicolo che, integrandosi con la sensoristica ed i sistemi di bordo, soddisfa tutte le esigenze legate alla localizzazione ed al monitoraggio delle flotte permettendo di accedere alla diagnostica del veicolo e facilitando il lavoro del manutentore.

Si tratta di sistemi che si basano su un'architettura modulare aperta e scalabile, composta da moduli di bordo, per l'acquisizione e la gestione dei dati, e sistemi a terra, per l'elaborazione di tali informazioni che vengono ad essi trasferite via GSM/GPRS in tempo reale, contestualmente alla localizzazione del mezzo.

Questi dati possono essere utilizzati dal gestore dei mezzi in molti modi, ma il più interessante è certamente quello di velocizzare e semplificare l'approccio manutentivo predisponendo in anticipo depositi e officine agli interventi più consoni da attuare.

I parametri che il sistema multiplex tiene sotto controllo sono di diversa natura; alcuni di essi forniscono segnalazioni immediate e che non necessitano di ulteriori indagini, quali, ad esempio, basso livello liquido refrigerante, filtro aria intasato, pastiglie freni usurate; altri sono legati ai rilievi termici.

Attraverso l'applicazione all'interno del vano motore di opportuni trasduttori di temperatura è possibile inviare alla black-box segnali che permettano di tracciare l'andamento della temperatura nel tempo. I parametri monitorati possono permettere la raccolta di informazioni continue e puntuali circa eventuali anomalie riguardanti la temperatura al fine di intervenire tempestivamente qualora vengano raggiunti valori di allarme. Nel caso che ciò si verifichi la black-box, percependo il superamento del valore soglia, si occupa innanzitutto di trasmettere l'allarme al conducente e in officina attraverso l'interfaccia utilizzata per segnalare e diagnosticare un malfunzionamento; poi è in grado di attivare dispositivi automatici di spegnimento e blocchi dell'alimentazione elettrica e contemporaneamente del flusso dei fluidi combustibili.

La raccolta dei dati costituisce un primo fondamentale passaggio a cui a seconda delle situazioni far seguire un'opportuna e tempestiva diagnosi.

In alcuni casi le segnalazioni costituiscono un primo livello di informazione che necessita di approfondimento che il gestore del mezzo

può effettuare mentre il veicolo fa servizio connettendosi con il multiplex dell'autobus.

In altri casi ancora se l'avaria riguarda un componente più complesso, quale, ad esempio, anomalie termiche nel vano motore, il feedback diagnostico potrà suggerire un rientro preventivo in deposito per disporre interventi o controlli più opportuni prevenendo l'insorgere di guai maggiori o di un fermo macchina in linea.

Il gestore può comunicare con l'autista via radio o via telefono o con dei messaggi SMS che compariranno sul display di bordo per dare o ricevere ulteriori informazioni.

Attraverso l'utilizzo di tali sistemi, quindi, è possibile segnalare tempestivamente a terra gli stati di anomalia o degrado rilevanti ai fini della sicurezza o della preservazione degli organi meccanici del mezzo; registrare in un archivio centralizzato della flotta tutte le segnalazioni di anomalia rilevate dal sistema diagnostico di bordo del mezzo, rendendole disponibili al personale di officina per l'organizzazione e la gestione degli interventi correttivi; raccogliere tutte le informazioni sull'utilizzo del veicolo e dei suoi organi meccanici principali, finalizzate alla programmazione della manutenzione preventiva; elaborare dati statistici di funzionamento per la diagnosi predittiva del degrado degli impianti critici, finalizzata al monitoraggio dell'efficienza ed alla manutenzione su condizione.

Si potranno così riconoscere eventuali problemi tecnici prima che si verificano dei guasti in esercizio o prima che si arrivi addirittura al fermo dei mezzi, soddisfacendo l'obiettivo di ridurre i costi di esercizio e di migliorare i livelli di affidabilità. In particolare per quanto riguarda il pericolo incendio, in tal modo si può suscitare un allarme utile non solo per l'attivazione di più efficienti e dedicati sistemi d'estinzione ma soprattutto per bloccare sul nascere inneschi d'incendi pericolosi e poterne studiare l'instaurarsi in modo da porvi rimedio con opportune modifiche degli impianti, del lay-out dei componenti del vano motore e in un quadro più generale dei sistemi meccanici e/o elettrici.

9.7 ANALISI COSTI BENEFICI

L'analisi costi-benefici è una tecnica per la valutazione delle decisioni di spesa che prende in considerazione i costi ed i benefici che deriveranno dalla realizzazione di un particolare progetto a tutti i membri della società. Lo scopo dell'analisi costi-benefici è quello di contribuire al raggiungimento dell'efficienza economica, assicurando che le risorse disponibili siano investite nel modo più efficiente per la società nel suo complesso [78],[79],[80].

Attraverso questo tipo di analisi si vuole valutare la convenienza nell'applicare le soluzioni tecnologiche proposte al fine di rendere il prodotto autobus più affidabile e più protetto dal rischio incendio. Si vuole capire se tale ringegnerizzazione del prodotto è in grado di migliorare effettivamente il benessere sociale, al fine di impostare politiche corrette.

L'ACB è ampiamente utilizzata per la valutazione di progetti di investimento pubblici e privati, nell'ottica di quantificare e massimizzare quello che viene definito surplus sociale. Tale grandezza rappresenta il benessere generato (o distrutto) dall'esistenza o meno di un progetto, in termini di risorse consumate e benefici generati. Il benessere viene determinato come variazione di surplus rispetto al mantenere lo status quo con i suoi livelli di costi e quindi nel caso in analisi la variazione viene valutata rispetto alla decisione di mantenere o no l'attuale impostazione del prodotto autobus.

I costi e i benefici generati dal progetto vengono calcolati mediante l'impiego di una delle possibili regole decisionali caratteristiche di questa tecnica, tra di esse, quella ritenuta più valida dalla letteratura sul tema, e più diffusamente impiegata, è la regola del valore attuale netto (VAN), che consiste nell'accettare un progetto se la somma dei suoi benefici attualizzati al netto dei costi pure attualizzati è maggiore di zero e, in presenza di più alternative progettuali, nello scegliere quella che presenta il VAN più elevato.

Il VAN di un progetto di investimento si calcola attualizzando tutti i flussi di cassa prodotti da un investimento attraverso la seguente formula:

$$VAN = -C_0 + \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Dove si considera:

- t: cadenza temporale;
- C_t : flusso finanziario positivo o negativo al tempo t;
- r: è il tasso di attualizzazione, ossia un tasso d'interesse da utilizzare per trasferire nel tempo un certo capitale.

9.7.1 Valutazione gestionale relativa alla realizzazione delle proposte

La reingegnerizzazione del prodotto autobus più attenta al pericolo incendio prevede una progettazione più onerosa ed un maggiore investimento iniziale. Tale svantaggio sarebbe ampiamente compensato dall'aumento di affidabilità e manutenibilità dell'autobus durante l'erogazione del servizio.

Le proposte presentate sono state ideate al fine di migliorare la prospettiva di salvaguardia al fuoco del mezzo rendendone più sicuro l'uso da parte dei passeggeri e riducendo a valori trascurabili il rischio incendio.

Si valutino innanzi tutto i costi, cercando di stimarli ed esplicitarli in termini monetari. Come già illustrato, il miglioramento delle condizioni di sicurezza del vano motore possono essere ottenute adottando nella progettazione degli autobus le seguenti misure di prevenzione, per ognuna delle quali si è valutato il costo:

- separazione del compartimento passeggeri dal vano posteriore attraverso attenta scelta di materiali non infiammabili e con ridotta tossicità dei fumi. Tale soluzione migliorativa comporta l'utilizzo di materiali aventi migliori caratteristiche e che si stima che siano più costosi di quelli attualmente utilizzati di circa un 30%. A partire da tale ipotesi e dal costo degli attuali componenti dell'autobus

(portellone vano motore, gruppo ottico destro e sinistro, rivestimento posteriore tetto, pennellature laterali ecc.) si è stimata per tale soluzione una spesa di Euro 14.500;

- ispessire lo strato già presente della lana minerale coibente e proteggerne la lana minerale esterna con un'adeguata rete metallica. E' un'operazione molto semplice che prevede un costo che è stimato di Euro 600, valutato raddoppiando l'attuale costo del foglio antincendio, tenuto conto dell'aumento di spessore;
- accompagnare l'attuale sistema di spegnimento con il posizionamento di trasduttori termosensibili che comunichino con la black-box al fine di individuare anomalie termiche, in seguito alla quali attivare il segnale d'allarme e bloccare il flusso di tutte le sostanze combustibili con contestuale blocco dell'alimentazione elettrica. Ciò comporta un aumento del costo della black-box del 30%, considerato valutando l'aggiunta nell'attuale sistema di monitoraggio di nuovi componenti quali sonde e software, attraverso cui è possibile completare i dati di riferimento della manutenzione anche con le informazioni relative alla temperatura. In totale la spesa necessaria è di Euro 2.200;
- installazione di tubazioni metalliche per il fluire di liquidi combustibili. In tal caso il costo, stimato intorno ai 260 Euro, è da imputare non solo alla scelta di materiali diversi ma anche alle maggiori difficoltà di montaggio che il piping metallico comporta (rispetto ai raccordi flessibili in elastomero);
- posizionare sonde e sprinkler in modo più mirato all'interno del vano motore, prevedendo la possibilità di usare un sistema di spegnimento automatico a CO2. Le attuali soluzioni in commercio hanno un valore di circa 1.800 Euro.

Alla luce di quanto esposto si può concludere affermando che le modifiche proposte comportano un costo pari a 19.100 Euro per ciascun autobus.

Si passa ora alla valutazione dei benefici associati a tali cambiamenti. Tali benefici ottenibili vanno visti in relazione alle perdite che l'azienda subisce qualora si verifichi l'incendio. Nel considerare tali costi bisognerebbe tener conto non solo delle perdite di beni materiali ma anche dei costi indotti dovuti al funzionamento non efficace del servizio. Detto ciò, fondamentalmente le perdite sono legate a:

- la perdita del mezzo interessato nell'incendio;
- la perdita d'immagine;
- danni a persone e/o a cose coinvolte.

Come già detto in precedenza, per quanto concerne le vetture incendiate esse sono tutte fuori uso. L'incendio provoca la distruzione del mezzo, ciò negli ultimi anni ha portato ad un danno complessivo attuale di almeno 900.000 Euro, valutato considerando che il valore di ciascuna vettura è di circa 300.000 Euro e che le vetture in questione sono di numerosità pari a 3. Si sono avuti 3 incendi su un totale di 52 vetture in un arco temporale di 5 anni, e quindi il tasso d'incendio annuo è di poco superiore a 1%.

Da non sottovalutare è inoltre il danno d'immagine che l'azienda subisce se si mostra poco affidabile. Si tratta di costi indotti, alcune volte anche molti onerosi e che sono difficili da valutare poiché legati a disservizi percepiti direttamente dal cliente. Ciò va considerato soprattutto in riferimento al già "delicato" rapporto con la clientela. Come mostrato nel capitolo 1, di fatti il trasporto pubblico registra di anno in anno un modesto decremento della quota di mercato, toccando nel 2006 la soglia critica del 10%, punto più basso dal 2000 [81]. Le motivazioni di tale decremento possono essere varie e vanno analizzate anche in relazione del fatto che la percezione del servizio pubblico di trasporto locale richiede l'esame di un insieme di elementi diversificati che incidono in modo differenziato sul risultato finale e che sono solo in parte dominabili dal gestore del servizio. Nel trasporto pubblico di superficie, ad esempio, anche gli eventi esterni vengono attribuiti all'azienda di trasporto. Ritardi dovuti a sinistri, congestione ed altri eventi contingenti vengono percepiti dal cliente come

una mancanza del servizio di cui è accusata l'azienda anche quando non è colpevole. Esistendo quindi anche delle cause di disservizio esterne, l'azienda deve prestare particolare attenzione agli aspetti del servizio che sono legati alla percezione della sicurezza che sono da lei direttamente controllabili e di cui il passeggero la ritiene responsabile [82].

Per quanto concerne gli incendi registrati in CTP non vi sono stati danni gravi a persone o a veicoli presenti sulla strada. Ciò nonostante tale eventualità deve essere comunque presa in considerazione in virtù dei livelli di pericolosità assunti dagli incendi ed alle conseguenti possibilità di accadimento di tale tipologia di danni. Tali costi -che possiamo definire come costi di non sicurezza- sono anche essi particolarmente gravi ed onerosi, perché legati al pericolo concreto di avere conseguenze anche mortali.

Di seguito nel monetizzare i benefici ottenibili si farà riferimento ai soli possibili danni materiali. Nella valutazione dei benefici, infatti, si considerano le seguenti ipotesi:

- le modifiche apportate sono tali da limitare la possibilità d'incendio, rendendola trascurabile;
- si trascurano i costi immateriali legati all'immagine e alla sicurezza.

Attualmente la CTP possiede 49 vetture del tipo 591.10.29: si tratta di veicoli immatricolati tutti nel 2002 per i quali è prevista una vita utile di almeno 15anni, ed essendo questo ultimo un limite "inferiore" si ritiene plausibile per queste vetture una vita fisica di circa 20 anni. Partendo dall'ipotesi che gli autobus in considerazione hanno una vita di 20 anni, 6 dei quali già trascorsi, anche se la loro vita residua è di 14 anni, si propone all'azienda un piano di sostituzione graduale di tali tipologie di vetture da ora a 16 anni. Tale investimento va letto non soltanto in relazione ad una maggior affidabilità al rischio incendio ma in un'ottica più generale di obsolescenza delle vetture rispetto alla nascita di nuove esigenze aziendali. Infatti, se pur le vetture in analisi sono ancora pienamente in grado di fornire il servizio richiesto, per una scelta aziendale la sostituzione di tale vetture si basa su diverse necessità, fra cui: il maggior rispetto per l'inquinamento in

termini di emissioni, la maggior sicurezza, maggior capacità di carico e di comfort per i passeggeri, miglior utilizzo e sviluppo della manutenzione predittiva collegando opportunamente il veicolo alle piattaforme informatiche.

Al fine di effettuare un piano di sostituzione graduale di tali vetture, si propone l'acquisto di 14 vetture a intervalli regolari di 4 anni, in modo da acquistare in 16 anni un totale di 56 vetture. Il piano dell'investimento è mostrato nella tabella che segue. Si ipotizza di acquistare 14 vetture al primo anno, al quinto, al nono e al tredicesimo. L'analisi dei costi benefici è stata valutata solo rispetto al pericolo incendio.

Nella prima colonna è indicato il progredire degli anni. Nella seconda colonna sono riportati i benefici, calcolati secondo le ipotesi descritte in precedenza; in particolare per ciascun veicolo in cui si è azzerato il rischio incendio il beneficio è dato dal prodotto fra il tasso d'incendio annuo, che per questo modello di autobus è superiore a 1%, ed il valore dell'autobus, che è 300.000 Euro. Tali benefici aumentano con il progredire degli anni poiché con essi aumenta il numero di autobus con le suddette prerogative.

Nella terza colonna sono riportati i costi; sono inseriti solo i costi relativi alle soluzioni proposte e cioè solo i costi dovuti al miglioramento dell'affidabilità del prodotto. Come detto in precedenza tali costi sono di 19.100 Euro per ogni autobus, e quindi per 14 vetture è pari a 267.400 Euro.

Nella quarta colonna sono calcolati i flussi di cassa finanziari positivi o negativi a seconda di quanto vale anno per anno la differenza fra costi e benefici. Nella quinta colonna tali profitti sono attualizzati, secondo quanto detto in precedenza; il tasso di attualizzazione utilizzato è 3%. Nell'ultima colonna è cumulato anno per anno il VAN.

Tabella 9.7: Analisi costi-benefici (tasso $r = 3\%$).

Anni	Benefici	Costi	Profitto	Attualiz	Van (0,03)
1	€ 48.461,54	€ 267.400,00	-€ 218.938,46	-€ 218.938,46	-€ 218.938,46
2	€ 48.461,54		€ 48.461,54	€ 47.050,04	-€ 171.888,42
3	€ 48.461,54		€ 48.461,54	€ 45.679,65	-€ 126.208,78
4	€ 48.461,54		€ 48.461,54	€ 44.349,17	-€ 81.859,60
5	€ 96.923,08	€ 267.400,00	-€ 170.476,92	-€ 151.466,54	-€ 233.326,14
6	€ 96.923,08		€ 96.923,08	€ 83.606,70	-€ 149.719,44
7	€ 96.923,08		€ 96.923,08	€ 81.171,55	-€ 68.547,89
8	€ 96.923,08		€ 96.923,08	€ 78.807,33	€ 10.259,44
9	€ 145.384,62	€ 267.400,00	-€ 122.015,38	-€ 96.320,07	-€ 86.060,63
10	€ 145.384,62		€ 145.384,62	€ 111.425,20	€ 25.364,57
11	€ 145.384,62		€ 145.384,62	€ 108.179,81	€ 133.544,38
12	€ 145.384,62		€ 145.384,62	€ 105.028,94	€ 238.573,32
13	€ 193.846,15	€ 267.400,00	-€ 73.553,85	-€ 51.589,19	€ 186.984,13
14	€ 193.846,15		€ 193.846,15	€ 131.999,80	€ 318.983,93
15	€ 193.846,15		€ 193.846,15	€ 128.155,14	€ 447.139,07
16	€ 193.846,15		€ 193.846,15	€ 193.846,15	€ 640.985,22

Il criterio di valutazione di un progetto in base alla variazione del VAN è molto semplice: se tale indice è maggiore di zero il progetto è conveniente [78],[79],[80]. Per quanto concerne il caso in analisi l'andamento del VAN è riportato di seguito

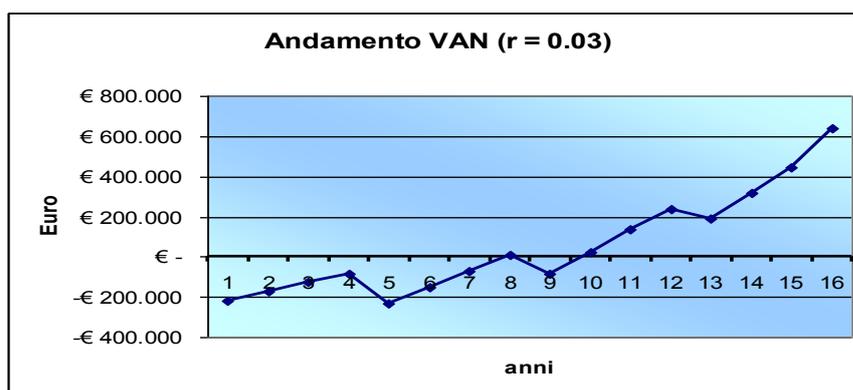


Figura 9.18: Andamento del VAN ($r = 3\%$).

Come si può vedere l'andamento del VAN è altalenante, l'ottavo anno è il primo anno in cui il VAN è positivo. Ciò si inverte nell'anno successivo a causa dell'investimento effettuato nel nono anno, ma a partire dal decimo

anno la situazione si stabilizza e il VAN risulta essere sempre positivo. L'andamento è prevalentemente crescente, fatto eccezione per quel che succede nel tredicesimo anno, in cui l'acquisto di nuovi autobus fa sì che il valore del VAN si riduca, tuttavia mantenendo ancora il segno positivo.

Si ripete di seguito la logica descritta applicando un tasso d'interesse pari al 4%, il che comporta delle modifiche numeriche solo nelle ultime due colonne della tabella.

Tabella 9.8: Analisi costi-benefici (tasso $r = 4\%$).

Attualiz. (0,04)	VAN ($r = 0,04$)
-€ 218.938,46	-€ 218.938,46
€ 45.240,42	-€ 173.698,04
€ 42.233,40	-€ 128.018,39
€ 39.426,25	-€ 83.669,22
-€ 129.474,23	-€ 235.135,76
€ 68.718,61	-€ 151.529,06
€ 64.151,06	-€ 70.357,51
€ 59.887,09	€ 8.449,82
-€ 70.380,13	-€ 87.870,25
€ 78.285,87	€ 23.554,95
€ 73.082,40	€ 131.734,76
€ 68.224,80	€ 236.763,70
-€ 32.222,45	€ 185.174,51
€ 79.275,66	€ 317.174,31
€ 74.006,40	€ 445.329,45
€ 193.846,15	€ 639.175,61

L'andamento dell'indice risulta essere il medesimo, anche in tal caso a partire dal decimo anno l'indice è sempre positivo, ribadendo la convenienza di quanto proposto.

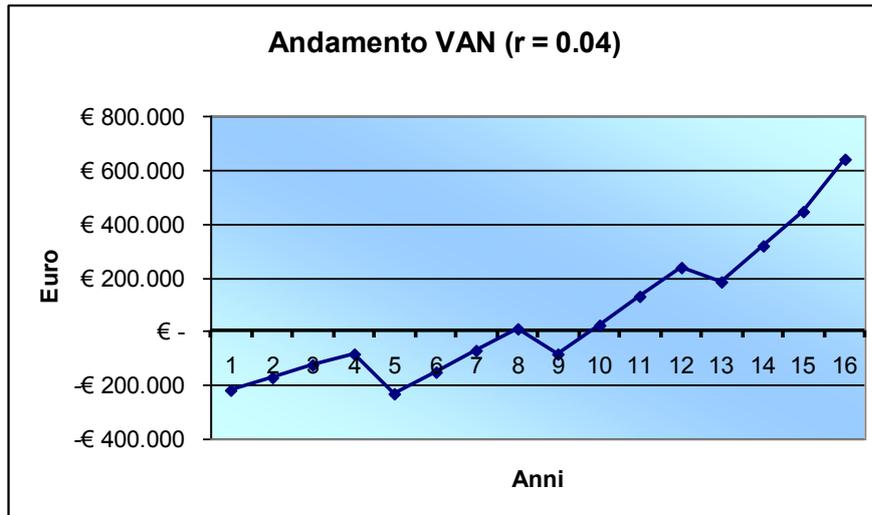


Figura 9.19: Andamento del VAN ad un tasso del 4%.

Conclusioni

La verifica delle caratteristiche della tecnologia CAN, adottata in sei veicoli del parco autobus, ha dimostrato che in questo modo si è potuta introdurre in azienda la manutenzione *on condition* da affiancare a quella tradizionale svolta in azienda. La possibilità di *monitorare* in continuo parametri vitali quali quelli trattati in questo lavoro ed altri che pure potrebbero essere presi in considerazione, rappresenta un'innovazione fondamentale per l'azienda sia in termini di costi, per la possibilità di intervenire prima che la rottura del componente sia totale o abbia provocato già troppi danni, sia in termini di customer satisfaction, annullando la possibilità che l'autobus rimanga "in panne" con evidente disagio per il cliente e ripercussione sull'immagine aziendale. La possibilità di anticipare la segnalazione proveniente dalle spie di allarme consente di "guadagnare" un tempo preziosissimo. Per rendere operativo questo discorso, dovrà prevedersi l'allestimento completo di una postazione remota di controllo (presso l'officina centrale) ove far confluire i dati provenienti dagli autobus della flotta via GSM/GPRS e monitorare in tempo reale l'andamento dei parametri presi in esame, riuscendo così a gestire per tempo e nel migliore modo possibile le emergenze rilevate già nel loro stato embrionale.

Il passo successivo sarà dotarsi sempre più di autobus di nuova generazione dotati di tecnologia CAN, per poter estendere all'intera flotta questo tipo di manutenzione.

In tale contesto l'attività presso il CTP si è concentrata sui problemi connessi agli incendi nel trasporto pubblico locale, soffermandosi in particolare sui danni che tali incendi procurano al fine di riuscire ad individuare le opportunità che permettono di limitare tali danneggiamenti e di trovare una soluzione coerente con il Risk Management.

Nella descrizione delle misure antincendio si è evidenziata l'importanza della complementarità tra misure di protezione e prevenzione.

Particolare credito ed importanza è stata data alle misure atte al contenimento dei danni, quali - ad esempio - la scelta opportuna dei materiali, risultando, comunque, fondamentale il ruolo del *monitoraggio*. E proprio in un'ottica improntata al Risk Management, il monitoraggio dell'autobus deve persistere anche durante l'erogazione del servizio attraverso l'uso di opportuni sistemi di diagnosi e di informazione in grado di elaborare in tempo reale i dati e di stimare i trend dei parametri fondamentali (in particolare quelli termici) in modo da intervenire in maniera tempestiva qualora necessario. La manutenzione deve essere attiva, non deve limitarsi alla semplice acquisizione dei dati ma anche all'opportuna interpretazione di questi riuscendo così a rendere più sicura, ma anche più efficiente e competitiva l'azienda.

Dall'analisi di convenienza economica del piano di sostituzione delle vetture CTP tipo 591.10.29 e dall'indubbia necessità di sicurezza e salvaguardia del personale viaggiante, è emersa l'opportunità per CTP di estendere i risultati dello studio a tutta la flotta, orientando ad una maggiore attenzione al rischio incendio tutti i futuri capitolati di approvvigionamento degli autobus.

Nell'occasione - mancando una specifica normativa per gli autoveicoli - si sono definiti i provvedimenti cautelativi di prevenzione incendi, da tradurre in richieste più stringenti e più specifiche ai costruttori di veicoli da parte delle aziende di trasporto pubblico, per le future forniture.

Il passo successivo è di preparare una nuova normativa, che - nell'ottica della prevenzione incendi - fissi opportunamente le caratteristiche dei materiali e degli impianti da impiegare; a tal proposito, un primo approccio - come illustrato nel lavoro - consiste proprio nell'utilizzare l'impianto della normativa già esistente nel campo ferroviario e nel caratterizzare opportunamente i materiali compositi, in modo da definirne in modo preciso le proprietà in caso di incendio, non escludendo la composizione dei fumi prodotti.

La realizzazione di proposte innovative e improntate ad un corretto approccio del problema in un contesto di Risk Management comporta un

aumento del costo del prodotto di circa il 6%: in futuro lo sviluppo delle tecniche costruttive – a fronte di un incremento significativo ed indispensabile della sicurezza di tutto il settore - consentirà riduzioni regolari e prevedibili dei costi unitari del prodotto col procedere della produzione, grazie all'instaurarsi di economie di apprendimento (EDA) e di economie di scala, incrementando, peraltro, il contenuto tecnologico del prodotto, con riflessi assolutamente positivi anche per i costruttori..

Bibliografia

- [1] Furlanetto L., Garetti M., Macchi M., *Principi generali di gestione della manutenzione*, FrancoAngeli, Milano, 2006.
- [2] UNI 10224:1993, “Manutenzione. Principi fondamentali della funzione manutenzione”, 2003.
- [3] Furlanetto L., Garetti M., Macchi M., *Ingegneria della manutenzione*, FrancoAngeli, Milano, 2007.
- [4] UNI 10366:1994, ”Manutenzione – Criteri di progettazione della manutenzione”, 1994.
- [5] Pone A., Pone E., “Dal manuale di manutenzione al manuale di qualità della manutenzione.” *Manutenzione Tecnica e Management*, Ottobre 2005, pp. 33-41.
- [6] Lennox F.E., *Maintenance Engineering Handbook*, McGraw-Hill, 1994, pp. 3-74.
- [7] Sexto L.F., “Reliability Centered Maintenance e Manutenzione su Condizione e Predittiva”, *Manutenzione Tecnica e Management*, Aprile 2007, pp. 35-39.
- [8] Williams J.H., Davies A., Drake P.R., *Condition-based Maintenance and Machine Diagnostic*, Chapman & Hall, Londra, 1994.
- [9] UNI EN 13306:2003, “Manutenzione-terminologia”, 2003.
- [10] Bottazzi A., *La gestione delle flotte di veicoli per il trasporto pubblico locale*, vol. II°, Pitagora, Bologna, 2006.
- [11] Bottazzi A., *La gestione delle flotte di veicoli per il trasporto pubblico locale*, vol. I°, Pitagora, Bologna, 2003.
- [12] Bottazzi A., “La manutenzione come core business”, in *Manutenzione Tecnica e Management*, anno XI n.9, 2004, pp. 35-41.

- [13] CSTP, *Carta della Mobilità*, 2008
- [14] <http://www.cstp.it/> (ultimo accesso: giugno 2008)
- [15] http://it.wikipedia.org/wiki/Manutenzione_incidentale (ultimo accesso: giugno 2008)
- [16] http://it.wikipedia.org/wiki/Manutenzione_preventiva (ultimo accesso: giugno 2008)
- [17] Visconti R., Moreggia V., “Il sistema intellibus e la manutenzione” in *Convegno A.I.MAN.*, Bologna 11 Giugno 2004.
- [18] Massetti R., “I sistemi di diagnostica sui veicoli come elementi di ottimizzazione del processo manutentivo” in *Convegno A.I.MAN.*, Genova 11 Giugno 2008.
- [19] <http://www.teq.ch/it/home/home.html> (ultimo accesso: luglio 2008).
- [20] Polito F., Prioglio A., “La diagnostica nei sistemi Multiplex ADICOM dell’ultima generazione” in *Convegno A.I.MAN.*, Bologna 11 Giugno 2004.
- [21] Boni B. “Se conosci puoi gestire”, *rivista Autobus*, Novembre 2003.
- [22] Di Napoli D. “Un sistema informatico per gestire il trasporto”, *Trasporti Pubblici*, anno XIX - Maggio 2003, pp.40-42.
- [23] Cuva C.M., “Bluetooth: protocolli e applicazioni”, *seminario del corso di Infrastruttura e servizi per reti geografiche*, Torino, 22 Giugno 2006.
- [24] <http://www.mediamobile.it/> (ultimo accesso: luglio 2008)
- [25] <http://www.can-cia.de> (ultimo accesso: luglio 2008)
- [26] Cozzi F., “Progetto di un controllore CANBUS per applicazioni in ambito automotive: sintesi VHDL ed implementazione su FPGA”, Università degli studi di Parma, 2000.
- [27] Galanti A., “Bosch’s controller area network”, Università degli studi RomaTre, 2005.
- [28] Tognini G., “Studio, progetto e realizzazione di un analizzatore di traffico su rete CAN”, Università degli studi di Pisa, 2003.

- [29] Maggi S., *Dispensa sul Controller Area Network*, Dipartimento di Elettrotecnica, Politecnico di Milano, 2005.
- [30] <http://www.bredamenarinibus.it/> (ultimo accesso: luglio 2008).
- [31] Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D., *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano, 2004.
- [32] Ariosi V., *La tecnica dell'autoveicolo*, HOEPLI, Milano, 1989.
- [33] Bocchi G., *Motori a quattro tempi*, HOEPLI, Milano, 1987.
- [34] Lucchesi D., *Corso di tecnica automobilistica*, HOEPLI, Milano, 1988.
- [35] <http://staff.nt2.it/> (ultimo accesso: luglio 2008).
- [36] <http://www.nntp.it/discussioni-motori/482859-acqua-bolle-nel-radiatore-riscaldamento.html> (ultimo accesso: luglio 2008).
- [37] <http://forum.fuoristrada.it/messages/18475/229848.html> (ultimo accesso: luglio 2008).
- [38] <http://www.autopareri.com/forum/manutenzione-e-assistenza/31957-la-tt-le-ventole-e-la-temperatura-dellacqua-2.html> (ultimo accesso: luglio 2008).
- [39] <http://www.i-lubrificanti.it/> (ultimo accesso: agosto 2008)
- [40] <http://forum.fuoristrada.it/messages/18477/142882.html> (ultimo accesso: agosto 2008)
- [41] <http://www.500forum.it/spia-pressione-olio-t2611-30.html> (ultimo accesso: agosto 2008)
- [42] Belfiore N.P., “Introduzione all’usura negli ingranaggi: tipologia e modellistica”, *La Metallurgia Italiana*, Luglio-Agosto 2004, pp.35-45.
- [43] Montgomery D.C., *Controllo statistico della qualità*, McGraw-Hill, Milano, 2ª ed., 2005.
- [44] Iacobini A., *Il controllo statistico della qualità. Teoria e metodi*, Euroma La Goliardica, Roma, 1985.
- [45] Ing. A. Monaco “Formazione antincendio di base: corso di prevenzione incendi, lotta Antincendio e Gestione Delle Emergenze

- Livello C - Rischio Di Incendio Elevato”, Comando Provinciale vigili del fuoco Udine, 2000;
- [46] www.firestop.it “Impariamo a conoscere gli incendi”, (ultimo accesso aprile 2008)
- [47] www.projects.elis.org/leonardo “La resistenza al fuoco - Programma Leonardo”, (ultimo accesso marzo 2008)
- [48] AA.VV. “Smoke characterization Project”, Fire Protection Project 2007;
- [49] Decreto Ministeriale 20/12/1982, Ministero dell’Interno;
- [50] www.vigilidelfuoco.it “Sito ufficiale del commando dei vigili del fuoco”, (ultimo accesso aprile 2008);
- [51] Confartigianato Pistoia, Cedit, Ergoteam s.r.l, “Manuale di autovalutazione dei rischi per la sicurezza degli autotrasportatori”, giugno 2006;
- [52] www.laboratoriolapi.it “La normativa Europea sulle misure di protezione al fuoco dei veicoli ferrotranviari”, (ultimo accesso maggio 2008);
- [53] Decreto Ministeriale 18/04/77, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti;
- [54] Ministero degli interni, Rassegna comparata di incidenti di notevole entità, 1968;
- [55] Tizzi “La sicurezza antincendio nei mezzi di trasporto: analisi a soluzioni applicabili” Fire & Smoke, giugno 2001;
- [56] AA.VV. “Su gomma o su rotaie il trasporto di carichi pericolosi è sempre un rischio” Fire & Smoke, giugno 2001;
- [57] AA.VV. “Safety and security in roadway tunnels. Final Report.”, Fire protection research foundation, 2008;
- [58] AA.VV. “Fire safety of the travelling public and fire fighters for today’s and tomorrow’s vehicle fleet.” Fire protection Research foundation, 2007;

- [59] Decreto Ministeriale 26/06/84, Ministero dell'interno;
- [60] Decreto Ministeriale 03/09/2001, Ministero dell'interno;
- [61] Normativa Europea 95/28/CE;
- [62] Norma UNI-ISO 3795;
- [63] Norma CUNA 590-02;
- [64] www.materialicompositi.it "Caratteristiche dei materiali compositi", (ultimo accesso aprile 2008);
- [65] Norma UNI-CEI 11170;
- [66] www.robotfire.com "Sito ufficiale della Robot & Fire, sistemi antincendio avanzati", (ultimo accesso aprile 2008);
- [67] LAPI, "Protezione al fuoco dei veicoli ferrotranviari ed a via guidata"
La nuova normativa italiana UNI CEI 11170 parte 1,2,3 Ed. 2005;
- [68] LAPI "La nuova normativa europea sulle misure di protezione al fuoco nei veicoli ferrotranviari";
- [69] Asstra "Prevenzione incendi nel trasporto pubblico su gomma", 2006;
- [70] Durante A.G. "Fire resistance of wooden structures", 2003;
- [71] www.epsass.it "Associazione Italiana Polistirene espanso - Il fuoco nella direttiva Europea CPD 89/106", (ultimo accesso aprile 2008);
- [72] www.assovetro.it "Sito ufficiale dell'associazione nazionale degli industriali del vetro", (ultimo accesso maggio 2008);
- [73] www.selenia.net "Sito ufficiale della Selenia Fluids & Lubrificant, specialisti nella lubrificazione", (ultimo accesso aprile 2008);
- [74] www.combustibili.it "Gasolio autotrazione", (ultimo accesso aprile 2008);
- [75] Lee J., Ni J., Djurdjanovic D., Qiu H., Liao H., "Intelligent prognostics tools and e-maintenance", *Computers in Industry* 57 2006;
- [76] Marx P.L., "Prioritizing technologies: incorporating ITS and telematics projects into public transport", *Research in Transportation Economics*, Volume 8, Elsevier Ltd, 2004;

- [77] Muller A., Crespo Marquez A., Iung B., "On the concept of e-maintenance: Review and current research", Reliability Engineering and System Safety, 2007;
- [78] P. Beria "L'approccio analisi costi-benefici per la valutazione economico-ambientale di opzioni tecnologiche nella sostituzione delle flotte nazionali", 2004;
- [79] F. Nuti "La valutazione economica delle decisioni pubbliche: dall'analisi costi-benefici alle valutazioni contingenti", 2001;
- [80] www.stradelandia.it/pubdown/08.pdf, "Analisi finanziaria-economica dei progetti di investimento pubblico", S. Canale, S. Leopardi, F. Nicosia (ultimo accesso maggio 2008).
- [81] Isfort-Asstra "Aggiungi un posto in Autobus" 4° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, 2007;
- [82] www.conservizi.net "Qualità nei trasporti pubblici", Roberto Masetti direttore Azienda Trasporti Milanese s.p.a (ultimo accesso marzo 2008)