

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica e Meccatronica

TESI DI LAUREA TRIENNALE

AUTO ELETTRICHE E IBRIDE: SICUREZZA ELETTRICA NELLE MANUTENZIONI

Safety Electric Work with Electric and Hybrid Vehicles

Relatore: Prof. Diego Dainese

Laureando: Marco Tegazzini

1068532 LT-IMC

Anno Accademico 2016 - 2017

Indice Generale

INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1	9
VEICOLI ELETTRICI E IBRIDI	9
1.1.VEICOLI ELETTRICI	9
1.2.VEICOLI IBRIDI	12
1.2.1.SCHEMI COSTRUTTIVI.....	12
1.2.2.GRADO DI IBRIDAZIONE	14
CAPITOLO 2	17
COMPONENTI ELETTRICI E ALIMENTAZIONE	17
2.1.GENERALITÀ COMPONENTI	17
2.2.MOTORI PER TRAZIONE ELETTRICA	18
2.2.1.INDUCTION MOTOR.....	18
2.2.2. PERMANENT MAGNET MOTOR	18
2.2.3. MOTORI A RILUTTANZA VARIABILE	19
2.3.ACCUMULATORI ELETTRICI	20
2.3.1.TIPOLOGIE ACCUMULATORI	21
2.3.2. SUPERCONDENSATORI	22
2.4.INVERTER PER L' <i>AUTOMOTIVE</i>	23
CAPITOLO 3	25
RISCHIO ELETTRICO IN CAMPO AUTOMOTIVE.....	25
3.1.CONCETTI INTRODUTTIVI	25
3.2.LEGISLAZIONE, NORME E REGOLE TECNICHE	27
3.2.1. PERSONALE ADDETTO AL LAVORO ELETTRICO	28
3.2.2. FIGURE PROFESSIONALI	29
3.2.3. DISTANZA DI SICUREZZA DA PARTE ATTIVA.....	30
3.2.4. PROCEDURE PER I LAVORI ELETTRICI	32
3.2.5. IL CONCETTO DI RISCHIO.....	33
3.2.6. GLI OBBLIGHI DEL DATORE DI LAVORO.....	34
3.2.7. GLI OBBLIGHI DEL LAVORATORE	37
3.3.DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE (DPI)	37
3.3.1. GUANTI ISOLANTI	40
3.3.2. CALZATURE ISOLANTI	41
3.3.3. CASCO ELETTRICO CON VISIERA.....	41

3.3.4. ATTREZZI DI LAVORO ISOLATI.....	42
CAPITOLO 4	43
PROCEDURE OPERATIVE VEICOLI ELETTRICI ED IBRIDI	43
4.1.PRINCIPALI DEFINIZIONI	43
4.1.1. GRADO DI PROTEZIONE IP.....	44
4.2.1. DISINSERIMENTO DIRETTO	47
4.2.2. DISINSERIMENTO INDIRETTO.....	48
4.2.3. OPERAZIONI DI CARATTERE GENERALE	48
4.2.3. CENNI SULLE MISURE DI SOCCORSO SU VEICOLI ELETTRICI ED IBRIDI	49
CONCLUSIONI	51
APPENDICE A: L'ELETTROCUZIONE	53
A.1 TETANIZZAZIONE.....	54
A.2 ARRESTO DELLA RESPIRAZIONE	54
A.3 FIBRILLAZIONE VENTRICOLARE.....	54
A.4 USTIONI	55
BIBLIOGRAFIA.....	57
RINGRAZIAMENTI	59

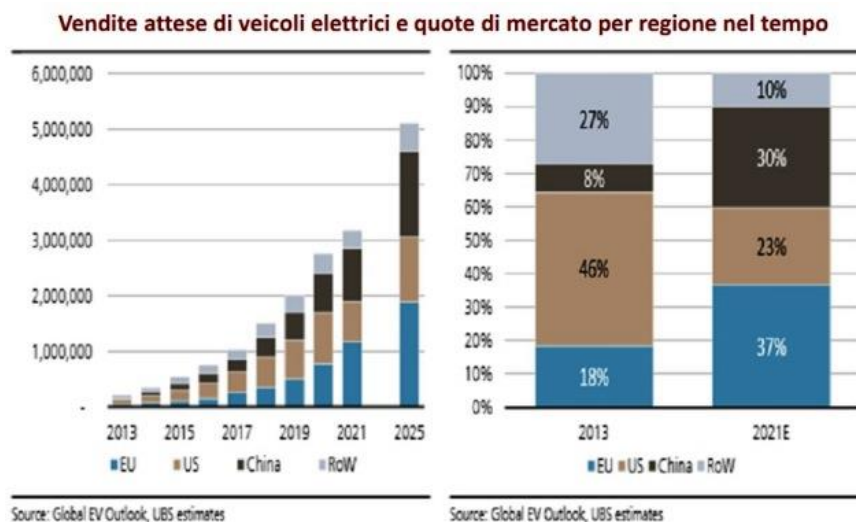
SOMMARIO

La presente trattazione, vuole illustrare e informare il lettore sulle problematiche inerenti la sicurezza elettrica nei sistemi mecatronici insiti nelle automobili ad alimentazione elettrica e ibrida. In particolare si vuole porre in risalto e definire alcune linee guida per poter operare la manutenzione dei suddetti veicoli, seguendo le normative di riferimento per quanto concerne il lavoro elettrico sotto tensione e fuori tensione. Grazie ad uno sviluppo tecnologico sempre più preponderante delle automobili ad alimentazione alternativa ed ecosostenibile, a discapito della classica combustione interna, viene messa in luce la necessità di operare su veri e propri impianti elettrici che non erano previsti nelle precedenti versioni in ambito *automotive*. Viene dunque proposta una panoramica sui fattori di rischio che interessano direttamente il manutentore, gli azionamenti elettrici ed i supporti energetici che l'operatore deve conoscere e saper riconoscere durante il proprio lavoro.

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni abbiamo assistito ad un forte processo tecnologico improntato allo sviluppo di fonti di alimentazione per i veicoli stradali, alternative ai comuni combustibili fossili. Le case produttrici di automobili hanno spinto la loro ricerca verso automobili a basso impatto ambientale e dotate di propulsione elettrica o come sta avvenendo nella maggior parte dei casi, ibrida. In questo breve estratto, il lettore sarà coinvolto nella spiegazione della manutenzione in sicurezza di tali veicoli che *accompagneranno* frequentemente i nostri spostamenti mediante mezzo proprio e trasporto pubblico. Sarà dunque esule dalla presentazione delle problematiche di efficienza della motorizzazione elettrica, se non nelle prime parti della produzione dove verranno presentate le varie tipologie di automobili ora presenti sul mercato.

La necessità di ridurre le emissioni e le problematiche inerenti il clima, affrontate dalle potenze mondiali come tematica scottante per la salvaguardia del nostro pianeta (Novembre 2015, Parigi), spingono e spingeranno dunque a una produzione esponenziale le case motoristiche, le quali vedranno crescere le vendite dei propri prodotti da qui sino al 2025 come riportato in figura.



Grafici tratti da Foresight investor su dati EV Outlook e stime UBS

Si stima inoltre che i prezzi dei veicoli elettrici, ora limitati a un mercato di nicchia per *supercar* o utilitarie ad alta efficienza tecnologica, verranno equiparati a quelli delle automobili a motorizzazione endotermica, rendendo quindi accessibile il veicolo elettrico (EV) ad una

molteplice clientela. Differente è la situazione dei veicoli a propulsione ibrida, già presenti in molte versioni di auto circolanti su strada, soggette dunque a manutenzione.

La tecnica sino a qui sviluppata negli anni, di progettazione e successiva manutenzione, risente della necessità di aggiornare il personale tecnico addetto ai lavori, verso un approccio mecatronico e non più meccanico, in quanto la componentistica elettrica risulta oramai preponderante nella motorizzazione dei veicoli. Verranno dunque illustrati gli azionamenti elettrici in gioco nel corso della prima parte, installati nella maggior parte dei casi;

si procederà con la presentazione delle norme e direttive che devono essere perseguite sia per progettare e infine per operare a regola d'arte su componenti in cui vi è presenza di tensione. Verrà posta in risalto, l'importanza dell'analisi del rischio in sede di manutenzione, per quanto concerne i rischi e i danni che un operatore può subire evitando di seguire le linee guida proposte. La presente trattazione vuole tentare di proporre infine delle soluzioni, seguendo dapprima un approccio teorico e poi finalizzato alla messa in pratica delle abilità apprese, per la manutenzione in sicurezza dei veicoli a propulsione elettrica e ibrida.

L'esecuzione di lavori su parti in tensione dovrà dunque essere affidata a lavoratori riconosciuti dal datore di lavoro come idonei per tale attività secondo le indicazioni delle pertinenti normative tecniche che verranno illustrate. Si richiameranno dunque le figure indicate a poter lavorare idoneamente in tali situazioni, descritte in una serie di normative tra le quali in particolare la CEI 11-27 e la CEI EN 50110-1.

In sintesi qualsiasi lavoro elettrico eseguito su un'autovettura, dalla manutenzione alla sostituzione del blocco di alimentazione fino al soccorso stradale, deve essere eseguito da persone con adeguata esperienza, competenze tecniche, e verificata idoneità.

CAPITOLO 1

Veicoli elettrici e ibridi

1.1. Veicoli elettrici

L'automobile elettrica non è di certo una scoperta recente, se si pensa che già nel 1899 Camille Jenatton infranse il record di velocità superando i 100 Km/h a bordo di una carrozza a propulsione elettrica. L'Ottocento divenne il secolo *pioniere* delle scoperte elettriche, e culminò con l'episodio dell'eccentrico ingegnere-pilota Jenatton, che lasciò un segno importante all'epoca. Il sogno elettrico si spense con l'avvento del Novecento, che consolidò il primato della combustione interna, superando nettamente i primi problemi di affidabilità e autonomia che il veicolo elettrico non riusciva a sopportare. [4]

Il veicolo elettrico propriamente detto, chiamato anche EV dall'inglese *electric vehicle*, è un veicolo che utilizza propriamente energia elettrica accumulata in apposite batterie per movimentare il mezzo [13].

Schema di un Powertrain "Elettrico"

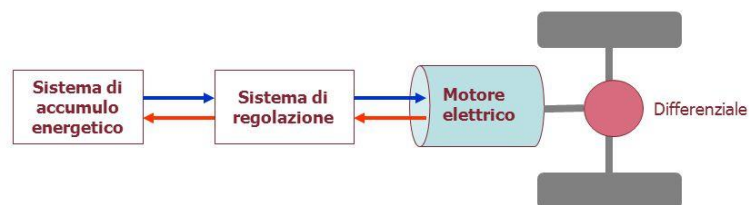


Figura 1.1: Powertrain Elettrico [12].

L'energia accumulata nelle batterie deriva direttamente dalla rete elettrica, con la quale esse vengono caricate una volta completato il processo di scarica; le batterie utilizzate in questo genere di veicoli sfruttano tre tipologie di tecnologia: nickel-metal-idrato (NiMH); piombo-gel (PbGel/Silicon) e agli Ioni di Litio (Li). È presente inoltre un sistema di management per la scarica e carica della batteria a seconda della richiesta di coppia del motore (BMS Battery Management System).

Poiché si preferisce avere degli azionamenti con motore alimentato da corrente trifase, (rif cap 2) è necessario interporre tra sistema di regolazione e motore un inverter in grado di produrre la tensione necessaria. Inoltre, il motore è in grado di fungere da generatore recuperando parte dell'energia dissipata in frenata oppure in tratti di discesa. [7] L'efficienza, in termini di rendimento, è molto buona se confrontata con i veicoli alimentati da motori a combustione interna, infatti i motori elettrici garantiscono un notevole spunto avendo una notevole coppia motrice ad un basso numero di giri. Tra i vantaggi di un veicolo elettrico possono essere elencati i seguenti:

- Zero emissioni allo scarico;
- Recupero parziale energia (motore – generatore);
- Possibilità di ricarica mediante fonti rinnovabili (impatto zero);
- Notevole affidabilità dei componenti elettrici rispetto alla controparte meccanica, manutenzione ridotta;
- Possibilità di ricarica autonoma mediante stazioni proprie di ricarica.

Come ogni applicazione ingegneristica, anche il veicolo elettrico presenta degli svantaggi tecnologici importanti, molti dei quali sono ambito di ricerca attuale, per esempio la scarsa autonomia delle batterie e la carenza di stazioni di ricarica al pari di stazione di rifornimento per autovetture “convenzionali” (sul suolo italiano). Per quanto concerne invece la manutenzione, effettivamente una motorizzazione elettrica richiede meno sostituzioni programmate di componenti, essendo una struttura intrinsecamente più robusta. Tuttavia è bene saper riprogrammare gli step da seguire, in merito alla sicurezza, durante la riparazione nel caso di guasto: è necessario verificare con certezza l'assenza di tensione sulle zone di lavoro del manutentore.



Figura 1.2: batteria di alimentazione veicolo elettrico (Dodge).

Le parti sensibili alla riparazione o al settaggio sono evidentemente composte da motore, inverter e collegamento diretto con il blocco batterie, solitamente riposto nel vano posteriore. Il veicolo elettrico in definitiva, una volta risolte le problematiche inerenti l'autonomia e la ricarica accessibile, può essere una valida alternativa al momento sul mercato dell'auto, a *svantaggio* della consolidata autovettura a combustibile. [3] Si ricordano come esempi storici di primi veicoli puramente elettrici la EV1 di General Motors, la Tesla Roadster e le successive vetture fino alla Tesla Model S, le case costruttrici Honda e Toyota sono sempre state in prima linea per la produzione di auto a propulsione elettrica.

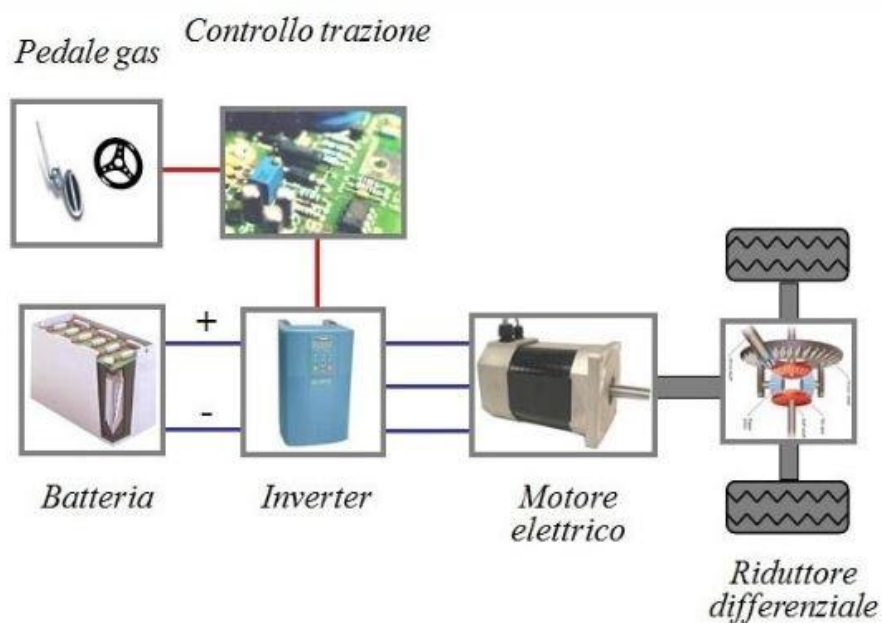


Figura 1.2.1: schema veicolo componenti veicolo elettrico [16].

1.2.Veicoli ibridi

L'automobile più utilizzata attualmente, come alternativa alla tradizionale auto ad alimentazione derivata da combustibili fossili, vede come riferimento il veicolo a propulsione ibrida, che vede come effetto principale, la produzione della trazione motrice mediante l'azione sinergica del motore termico e di quello elettrico, entrambi installati nella vettura. La motorizzazione a combustione interna viene supportata o alle volte sostituita dalla trazione puramente elettrica, rendendo così il veicolo un vero e proprio ibrido, adattabile a diverse situazioni di funzionamento. La scarsa rumorosità, l'efficienza e il basso impatto ambientale rendono il motore elettrico ideale per il percorso urbano, mentre per quanto riguarda il tragitto extra-urbano si può procedere con il normale motore termico. Esistono differenti tipologie di veicoli ibridi presenti sul mercato, che si differenziano per la loro struttura e per l'incidenza che il motore elettrico, installato come ausilio del motore a combustione interna, ha sul funzionamento in strada. Esistono due schemi costruttivi che caratterizzano la struttura di una trazione ibrida: *ibrido serie* e *ibrido parallelo*; la combinazione dei precedenti dà luogo alla tipologia dell'*ibrido misto*. [11]

1.2.1.Schemi Costruttivi

Ibrido Serie: è un veicolo ibrido elettrico in cui la potenza meccanica di propulsione è fornita esclusivamente da un motore elettrico. L'ibrido serie si avvicina al principio di un veicolo elettrico puro a cui sia stata data la possibilità di effettuare la ricarica a bordo con un sistema di generazione. La configurazione ibrida serie è caratterizzata dalla conversione obbligatoria in energia elettrica dell'energia necessaria alla propulsione, pertanto, nel caso più comune di convertitore energetico primario costituito da un motore termico, è presente un disaccoppiamento tra l'asse meccanico del motore primo e le ruote. Il motore termico è dunque scollegato dalla trasmissione diretta, viene utilizzato come generatore per produrre la corrente necessaria ad alimentare il motore elettrico, l'energia in surplus ricarica direttamente le batterie.

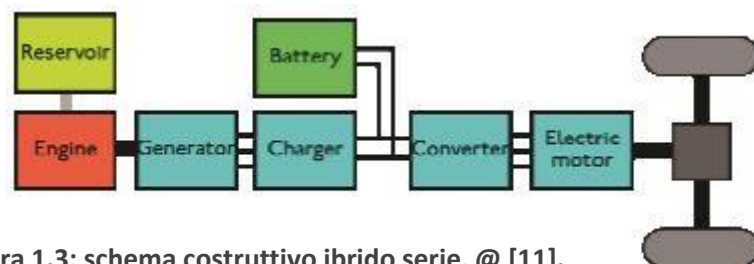


Figura 1.3: schema costruttivo ibrido serie, @ [11].

L'alta gamma di funzionamento per svariati numeri di giri del motore elettrico consente una trasmissione meno complessa e i giri motore sono impostati per ottenere il massimo dell'efficienza.

Ibrido Parallelo: la configurazione dell'ibrido parallelo riporta alla mente la concezione di veicolo ibrido tradizionale, dove sia il motore elettrico che quello termico garantiscono entrambi la produzione della coppia. I due motori dunque lavorano in parallelo, per garantire un'ampia copertura dei picchi richiesti in accelerazione e recupero efficiente dell'energia in frenata. È lo schema costruttivo più utilizzato, in quanto è presente un nodo di accoppiamento di potenza (da trasmettere alle ruote mediante rotismi) comune. I veicoli *ibridi parallelo* sono classificati a seconda dell'utilizzo medio dei due motori, nella maggior parte dei casi il motore termico domina nella produzione della coppia, mentre il motore elettrico è utilizzato come supporto nelle fasi di spunto (avviamento, accelerazione). Notevoli sono i vantaggi, come l'eliminazione delle marce basse comportanti consumi elevati, aumentando efficienza e allo stesso tempo abbattendo le emissioni dirette, nelle brevi percorrenze a passo d'uomo tipiche dei centri abitati.

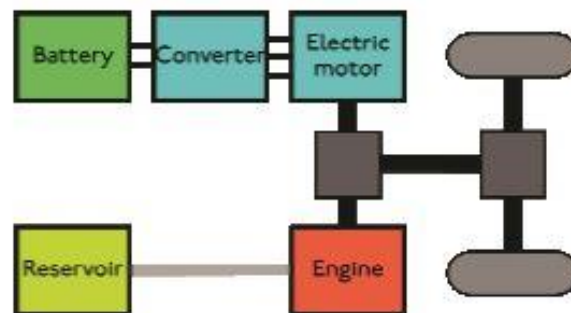


Figura 1.4: schema costruttivo ibrido parallelo,
@ [11].

Ibrido Misto: la tecnologia dello schema costruttivo di un veicolo avente una trazione ibrida mista ingloba pregi e difetti delle due precedenti, avendo come particolarità la presenza di due nodi di accoppiamento e due macchine elettriche: una puramente generatrice mentre l'altra è il motore elettrico dedicato alla trazione su di un'asse. La più nota tecnologia mista viene implementata da Toyota sul modello Prius.

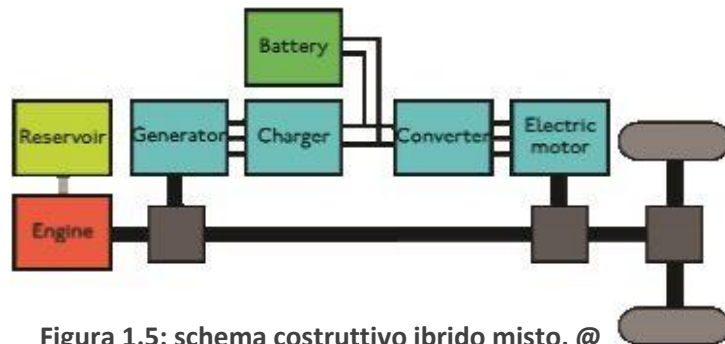


Figura 1.5: schema costruttivo ibrido misto, @ [11].

1.2.2. Grado di Ibridazione

I veicoli ibridi vengono inoltre classificati a seconda del grado di ibridazione che l'auto possiede basandosi sulla potenza della propulsione elettrica rispetto alla potenza totale generata e la capacità del sistema ibrido di immagazzinare energia. Si definiscono livelli di ibridazione crescentemente con la percorrenza media in modalità elettrica e il grado totale di ibridazione [11]:

Autovetture ibride "Micro-Ibride": il tradizionale impianto elettrico presente sulle automobili composto da batteria di alimentazione 12V e motorino di avviamento da 2-3 kW permettono il funzionamento *Start&Stop*. Il motore termico viene spento nel caso di brevi fermate temporanee del mezzo, (raggiunte particolari temperature funzionali) nel momento in cui il guidatore rilascia la frizione e la marcia è in folle; una volta ripremuta la frizione il motore termico si riaccende, consentendo un consumo e un inquinamento ridotti nei tragitti cittadini.

Autovetture ibride "Mild-Hybrid": si differenziano dalle precedenti in quanto presentano un impianto elettrico differente, i motori elettrici hanno potenza tra i 10-15 kW, con batterie a NiMH oppure agli ioni di Litio, con range di tensione tra 42V a 150V.

Il propulsore termico, oltre a garantire la funzione di *Start&Stop*, viene supportato dai motori elettrici in fase di accelerazione e necessità di coppia massima, permettendo inoltre il recupero dell'energia dissipata in frenata convertendola in energia elettrica.

Autovetture ibride “Full-Hybrid”: questa tipologia di veicolo è l’unica ad essere in grado di percorrere interi tragitti, sebbene limitati a poche decine di km, in modalità puramente elettrica, grazie a motori elettrici e batterie più prestazionali. Vengono largamente sfruttate in percorsi cittadini e urbani, e sono coperte da incentivi statali promossi dai governi. L’obiettivo della ricerca è di rendere maggiore l’autonomia elettrica abbattendo i costi delle batterie al Litio. Grazie a quest’ultime sono state sviluppate anche autoveicoli “Range-Extender” vetture che percorrono lunghi tratti senza l’accensione del motore termico, utilizzato prevalentemente come strumento di ricarica delle batterie.

Autovetture ibride “Plug-In”: queste particolari vetture possono essere ricaricate mediante la presa elettrica di casa, o mediante colonnine adibite appositamente alla ricarica elettrica. Non è dunque necessario attendere la ricarica delle batterie mediante motore termico.

Le automobili a propulsione ibrida risultano un ottimo compromesso alle vetture aventi propulsione puramente termica, in attesa di veicoli *full-electric* più potenti e prestazionali in termini di efficienza e autonomia. Infatti i sistemi di accumulo elettrochimico dell’energia, non consentono una ricarica paragonabile alle tradizionali modalità di rifornimento presso stazioni di servizio. Parallelamente si aggiunge la difficoltà di creare appositi spazi di ricarica delle auto elettriche e ibride, sebbene si stiano compiendo dei progressi tecnologici e di sensibilizzazione ambientale volti allo sviluppo di una mobilità *green* di auto ad alimentazione alternativa al combustibile fossile.

CAPITOLO 2

Componenti elettrici e alimentazione

2.1. Generalità Componenti

In questo capitolo ci si vuole soffermare sull'importanza della conoscenza, seppur con brevi richiami, della componentistica elettrica facente parte dell'impianto elettrico soggetto a riparazione e manutenzione, oltre che essere parte trainante del veicolo elettrico o ibrido. È riportato in seguito lo schema classico di un azionamento elettrico di carattere industriale: il motore viene alimentato dalla tensione prodotta da un classico inverter trifase, equipaggiato con i più moderni IGBTs, collegato a sua volta alla tensione di un bus in continua proveniente non dalla rete elettrica, bensì dalla batteria di alimentazione.

Completano il quadro tecnico elettrico le schede di controllo, i convertitori di potenza, la centralina controllo motore e infine tutti i sensori, attuatori volti al completamento dettagliato delle funzioni di controllo e sicurezza. Il motore è sempre connesso al carico mediante un accoppiamento meccanico, variabile a seconda della tipologia di motore utilizzato e dal grado di ibridazione, o potenza elettrica desiderata. All'interno di un veicolo elettrico è quindi ben nota l'importanza del generatore di energia elettrica trasformabile in potenza meccanica trasferita alle ruote. I motori elettrici sfruttano dunque il processo di conversione elettromeccanica dell'energia¹, mediante tre principi fondamentali dell'elettromagnetismo fisico, quali la legge di Biot-Savart nei motori a magneti permanenti (PM), filo percorso da corrente in un circuito magnetico per i motori ad induzione (IM) e sistemi a riluttanza variabile della spira immersa nel campo prodotto dal circuito magnetico (SR). È fondamentale, o perlomeno importante, che il tecnico addetto alle riparazioni e alla manutenzione del veicolo elettrico o ibrido in questione, abbia una buona conoscenza delle basi dell'elettrotecnica e dei principi di funzionamento basilari dei motori alimentanti le autovetture, in questo capitolo l'obiettivo è di illustrare brevemente con una panoramica, tutte le nozioni e i contenuti necessari riguardanti gli

¹[18] (Zigliotto & Bolognani, Ottobre 2014, p. 11) per conversione elettromeccanica dell'energia si intende il processo mediante il quale si attua una conversione di lavoro elettrico in lavoro meccanico o viceversa. Il processo della conversione elettromeccanica è alla base del funzionamento delle macchine elettriche dinamiche, e si attua per mezzo di un campo elettrico o di un campo magnetico tramite i quali si possono produrre, come noto, forze e coppie.

azionamenti elettrici in gioco, conoscenze necessarie per poi poter operare correttamente e in sicurezza.

2.2. Motori per trazione elettrica

2.2.1. Induction Motor

I motori a induzione o asincroni, trifase costituiscono al momento una delle categorie con un ampio raggio di applicazioni nel settore industriale. In campo automotive risultano una tra le tipologie maggiormente utilizzate per l'affidabilità e il controllo avanzato sviluppato e consolidato negli ultimi decenni. La conversione elettromeccanica [18] dell'energia sfrutta una diretta applicazione del campo magnetico rotante dei sistemi ad induzione. Esso comprende uno statore (parte fissa) e un rotore (parte mobile) costruiti entrambi di materiale ferromagnetico divisi da un traferro in aria. Gli avvolgimenti di rotore e statore sono contenuti nelle cave ricavate sulle superfici cilindriche. L'avvolgimento di statore è composto da tre fasi identiche spazialmente sfasate, le quali sono collegate direttamente alla morsettiera per un'alimentazione esterna. Il circuito di rotore è solitamente a gabbia (o a rotore avvolto). Il campo magnetico rotante viene generato dalle tre correnti che scorrono nelle tre fasi sfasate, il quale a sua volta genera corrente nelle barre di rotore, da qui segue che le correnti che scorrono sugli avvolgimenti rotorici inseguono le correnti di alimentazione di statore, producendo uno sfasamento tra le due. Fondamentale è dunque il ruolo dello sfasamento che si riflette sulla generazione della coppia, che dipende appunto dalle caratteristiche elettriche del motore (R,L), ma soprattutto dallo sfasamento s che risulta essere la differenza di velocità tra rotore e campo rotante generato. [10]

$$\tau = \frac{p}{\omega} \cdot \frac{\frac{R}{s} \cdot V^2}{\frac{R^2}{s^2} + (L\omega)^2}$$

dall'equazione della coppia generata è visibile il contributo dato da p che rappresenta il numero di coppie polari presenti nel motore, la tensione di alimentazione, la velocità angolare del motore e le caratteristiche elettriche sopracitate.

2.2.2. Permanent Magnet Motor

I motori sincroni a magneti permanenti [14], propriamente detti anche *brushless*, vista l'assenza di opportune spazzole di collegamento, sono motori di ampio sviluppo industriale in quanto utilizzati per servoazionamenti e azionamenti di media e piccola taglia. I magneti permanenti

utilizzati in questa tipologia di motori risultano tra i migliori, elevando la qualità e le prestazioni della macchina elettrica in questione, alzandone contemporaneamente i costi. [18][10] I PMSM richiedono necessariamente un'alimentazione derivante da un convertitore.

Essi sfruttano il principio elettrodinamico di conversione dell'energia, dove il rotore è posto in movimento per reazione fisica. Esistono due varianti nella costruzione di questi motori, dovuti al posizionamento dei magneti sulla struttura:

- Surface: (SPM): il più utilizzato in ambito *automotive*;
- Interior (IPM): con una più ampia capacità di variare il *range* di velocità e funzionamenti di elevata potenza. Viene scelto per la maggior parte dei veicoli a propulsione ibrida.

Le forme d'onda che alimentano i motori a magneti permanenti possono essere di forma trapezoidale (BLDCM) o di tipo sinusoidale (PMSM): la prima versione è più frequente in servozionamenti come EPS o sistemi di frenata, mentre la seconda è utilizzata per motori da trazione, che necessitano una coppia prodotta più dolce (*smoother torque*) [10], ma contemporaneamente richiedono un elevato controllo delle correnti di fase, mediante opportuni sensori ad effetto Hall. Brevemente si riporta l'equazione della coppia prodotta per motori in regime sinusoidale [14]:

$$\tau = K_t \Lambda_{mg} I \sin(\alpha_i)$$

dove: K_t è una costante che dipende dal numero di coppie polari, Λ_{mg} è il flusso prodotto dai magneti permanenti e I è la corrente. La tecnologia più avanzata in questo ambito di motori per il controllo della produzione di coppia è il FOC (Field Oriented Control), che sfrutta le diverse dinamiche di campo prodotte dal motore.

Il FOC è esule dalla trattazione di questa tematica, ma è di fondamentale importanza in ricerca universitaria e diretta applicazione industriale dati gli eccellenti risultati prodotti.

2.2.3. Motori a Riluttanza Variabile

Il motore a riluttanza variabile consiste in uno statore con avvolgimenti di eccitazione e di un rotore privo di avvolgimenti, in quanto la generazione di coppia deriva dal fatto che il rotore tende ad allinearsi con lo statore in quanto esso produce flusso: ogni avvolgimento viene alimentato sequenzialmente, così il rotore tende ad allinearsi con la parte alimentata producendo flusso, generando quindi coppia all'albero meccanico collegato al rotore. Il motore

a riluttanza variabile produce dunque un miglioramento costruttivo in termini di perdite per indebolimento di campo. Questi motori stanno ottenendo larghi consensi, data la buona facilità di controllo attuabile, possono raggiungere alte velocità, nella loro curva caratteristica coppia-velocità il tratto a potenza costante si estende su un ampio *range* di velocità ed è per questo che sono adatti a un azionamento per trazione. Presentano alcuni svantaggi tra cui un sensibile *ripple* di coppia (non lineare) e alcuni rumori acustici, ma sommariamente il rendimento è paragonabile a quello di un motore asincrono [10].

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot i^2 \frac{dL}{d\theta}$$

Dall'equazione della coppia si nota come nel tratto a pendenza positiva della curva la macchina elettrica agisca da motore. Inoltre la produzione di coppia è strettamente legata alla posizione del rotore (necessita quindi di un controllo di posizione elevato) e al quadrato della corrente elettrica di alimentazione.

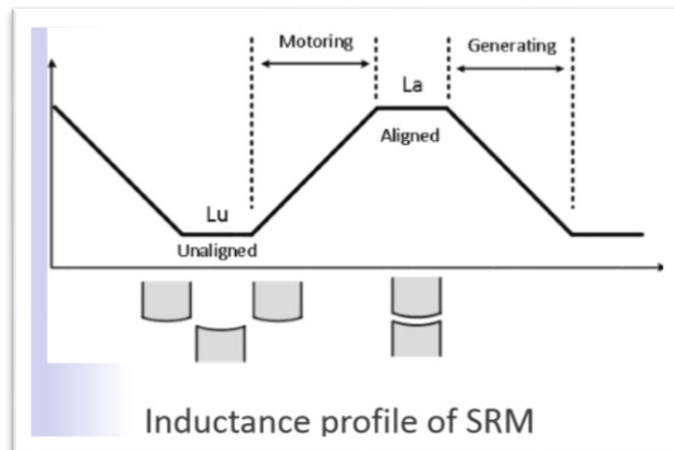


Figura 2.2: profilo induttanza del motore a riluttanza variabile [7].

2.3. Accumulatori elettrici

Elemento fondamentale dello studio sin qui proposto è dunque la batteria, o pacco batterie che alimenta il veicolo, sia per quanto riguarda le funzioni di bordo che il sistema di trazione elettrica. Le caratteristiche che permettono di classificare gli accumulatori sono le seguenti [11]:

1. *Efficienza*. Ovvero la quantità di energia restituita effettivamente dalla batteria dopo che è stata ricaricata;
2. *Densità di energia*. Quanta energia viene immagazzinata per unità di massa, rappresenta uno dei vincoli fondamentali per un veicolo elettrico o ibrido;
3. *Durata di vita*. Il numero di cicli di carica ammissibili dalla batteria, con forte impatto su costi e utilizzo;
4. *Tempo di ricarica*. Influenza notevolmente la possibilità o meno dell'utilizzo del mezzo a seconda delle tempistiche di ricarica;

5. *Autoscarica*. Fenomeno che si verifica in seguito a un mancato utilizzo del veicolo rimasto fermo e conseguente inutilizzo della batteria che degrada il suo stato di carica con forti ripercussioni sulla sua salute;
6. *Costo*. Parametro fondamentale come in ogni applicazione dell'*automotive*.

2.3.1. Tipologie accumulatori

Le tipologie di batterie utilizzate e installate sulle vetture automobilistiche hanno subito delle forti evoluzioni lungo l'arco degli anni. Le prime ad essere state installate sono quelle al *Piombo* (Pb) che allo stato attuale risultano le più obsolete, in quanto il piombo è uno dei metalli più densi e comporta un notevole aumento di peso, sono inoltre sensibili alla variazione caldo/freddo e subiscono la scarica profonda. Un successivo miglioramento è stato introdotto dalle batterie al *Nichel-Cadmio* (NiCd) aventi una ricarica più veloce, una densità di energia maggiore e cicli ammissibili più elevati, portando con sé un notevole svantaggio quale la tossicità del Cadmio. Le batterie che utilizzano invece il connubio *Nichel-Metallo idruro* migliorano le precedenti caratteristiche di quelle al Cadmio, ma ne elevano enormemente i costi. Le batterie di recente utilizzo militare *Sodio-Cloruro di Nichel* presentano delle eccellenti caratteristiche tecniche, attuabili solamente ad una temperatura di lavoro intorno i 300°C. Una delle ultime tecnologie messe in pratica e più conosciute, è l'utilizzo del *Litio* come elemento di stoccaggio dell'energia, sotto forma di *ioni o polimeri*, dato che il Litio è il metallo più leggero esistente, le prestazioni di queste batterie sono di gran lunga migliori delle precedenti, sebbene presentino necessità di lavorare con tecnologie di raffreddamento alle volte con circuiti dedicati. Per quanto riguarda la sicurezza di tali accumulatori, è fondamentale ricordare la pericolosità delle batterie agli ioni di Litio, infatti esse se non provviste di un sistema di controllo della temperatura e della carica scarica delle stesse, possono raggiungere temperature tali da portarle all'esplosione. Il surriscaldamento che potrebbe verificarsi, è dovuto al passaggio di elevate correnti per garantire alte prestazioni. È necessario introdurre dunque opportuni sistemi quali: un interruttore termico per prevenire il surriscaldamento in caso di sovraccarico e una valvola di sicurezza per la pressione interna. Le celle della batteria hanno inoltre dei campi di funzionamento in tensione molto rigidi: il superamento dei limiti di tensione può portare ad un danneggiamento irreversibile delle celle, oltre ad un aumento della temperatura che ne può causare l'incendio e l'esplosione. L'esercizio di tali batterie richiede pertanto un controllo continuo dello stato delle singole celle: nei sistemi batterie, composti usualmente da un elevato numero di celle, tale funzione è assicurata da appositi dispositivi elettronici chiamati BMS (Battery Management System). Per i suddetti motivi, le batterie al litio presentano problematiche di sicurezza anche a livello di trasporto, difatti "le celle e le batterie al litio sono elencate nella lista dei materiali pericolosi in base alle raccomandazioni delle Nazioni Unite sul trasporto delle merci pericolose".

2.3.2. Supercondensatori

Un sistema alternativo alla batteria per accumulo è quello dei *supercondensatori*, [10] dove i processi fisici di carica e scarica avvengono con dinamiche molto veloci, quasi istantanee senza deterioramento della capacità di immagazzinare energia. Il limite progettuale introdotto dai supercondensatori è quello di avere una bassa densità di energia e un elevato costo di sviluppo e costruzione. Basti pensare che rispetto ai condensatori tradizionali, l'ordine di grandezza della densità energetica è pari a $\frac{F}{g}$, per la densità di massa, $\frac{F}{cm^3}$ per quanto concerne la densità volumica, ben superiori ai micro-nano-pico Farad di capacità di un normale condensatore. Il principio di funzionamento studiato e identificato, si basa sull'applicazione di una differenza di potenziale tra elettrodi volta alla separazione di cariche, senza attuare un trasferimento di elettroni da uno strato all'altro.

In alcune casistiche, viene fatto utilizzo di reazioni redox con cinetiche più rapide rispetto alle normali batterie. In campo *automotive*, i supercondensatori hanno avuto sinora poco spazio, per le sopracitate problematiche energetiche e di costo; inoltre, le case automobilistiche prediligono la costruzione di veicoli elettrici e ibridi con una più ampia autonomia possibile, inserendo quindi i più tradizionali accumulatori. Questi innovativi capacitatori d'altro canto si prestano eccellentemente a soddisfare elevate richieste di potenza, e quindi picchi di corrente a breve durata per quanto riguarda i sistemi Start&Stop dei veicoli moderni. È dunque compito dei manutentori e autoriparatori, avere ben chiare le dinamiche e i principi di funzionamento di questi dispositivi che stanno prendendo comunque piede nel settore *automotive*, essendo inoltre elementi ad elevato potenziale rischio elettrico, durante le fasi di lavoro.

2.4. Inverter per l'automotive

Elemento indispensabile per la commutazione delle grandezze da continue ad alternate è l'inverter installato nel veicolo. In particolare nei veicoli elettrici e ibridi, le grandezze elettriche sono necessarie al funzionamento dei motori per la trazione elettrica. L'inverter si occupa dunque di convertire la tensione di un bus in continua, proveniente dall'accumulatore di energia elettrica in alternata a sua volta utilizzata per alimentare il motore elettrico, le apparecchiature

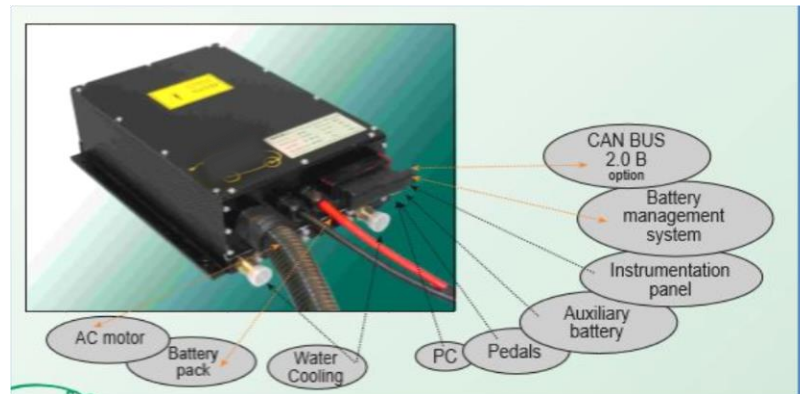


Figura 2.4: inverter e connessioni.

di bordo, il sistema di illuminazione e il motorino di avviamento. Lo schema di un invertitore classico, consta di tre rami aventi due microswitch per ognuno di essi, cui sono collegati i conduttori di fase da riportare al motore. Le tensioni prodotte dall'invertitore vengono generate mediante una modulazione di tipo vettoriale (SVM), che daranno luogo poi alle correnti che alimentano il motore trifase [6]. Questa tipologia di azionamento si presta bene alla produzione di tensione per i differenti motori in alternata descritti al paragrafo precedente. L'inverter è dunque da considerarsi parte preponderante dell'impianto da analizzare quando si attua una manutenzione o riparazione: alcune aziende consigliano innanzitutto un'installazione del dispositivo in posizione orizzontale, lontano dal motore, in modo tale da evitare possibili inconvenienti sulle interconnessioni, in particolare sui segnali dell'encoder connesso al motore.

Questa posizione inoltre permette una maggiore accessibilità nel caso di interventi di miglioramento o manutenzione.

È importante ricordare che il corretto posizionamento dell'inverter, in caso di guasto del sistema di raffreddamento, evita che il liquido refrigerante non entri in contatto con i dispositivi elettrici, salvaguardandone quindi l'integrità e la continuità elettrica. Vista l'importanza che l'inverter riveste nella generazione della trazione elettrica è dunque consigliabile posizionarlo a debita distanza dal suolo, per evitare danneggiamenti durante il suo stesso funzionamento. I moderni inverter, adatti in particolare per la trazione di veicoli elettrici e ibridi, devono essere dotati, di alcune funzionalità che mirano alla miglior efficienza del motore in termini di risparmio energetico, mediante anche il recupero dell'energia durante la fase di frenata e una conseguente ottimizzazione della produzione di coppia. Sono necessarie inoltre opportune protezioni contro le sovratensioni, che potrebbero danneggiare anche i sistemi di controllo e management dell'energia, e delle particolari protezioni contro sovraccarichi e sovratemperature, che determinerebbero il malfunzionamento dell'intero veicolo.

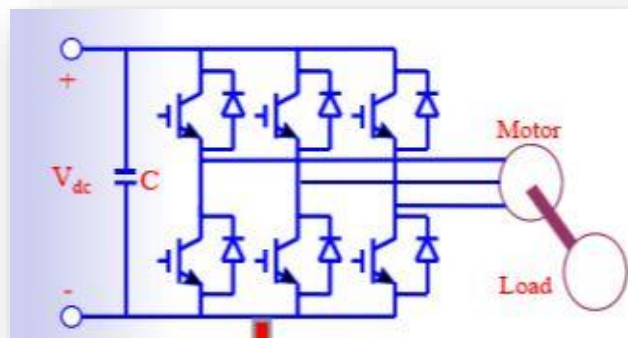


Figura 3.5 schema inverter collegato la carico [10].

CAPITOLO 3

Rischio elettrico in campo AUTOMOTIVE

3.1. Concetti introduttivi

In questo capitolo si vuole scendere nel particolare riguardante il rischio elettrico nel campo delle vetture ibride ed elettriche, facendo luce sulle problematiche elettriche e presentando le regolamentazioni vigenti in Europa e in Italia per quanto concerne il *safety work* nelle riparazioni. È bene avere chiara innanzitutto, la norma “regina” in Italia nel campo delle applicazioni elettriche: la norma di riferimento è la CEI 11-27, attualmente alla quarta edizione (2014) che è intitolata “Lavori su impianti elettrici” e si basa sulla norma Europea EN 50110-1 (2014) che è intitolata “Esercizio degli impianti elettrici”. La Norma si applica a tutti i lavori elettrici ed anche ai lavori non elettrici in vicinanza di impianti elettrici; per i lavori sotto tensione si fa riferimento a tensioni inferiori a 1000V in AC (Alternative Current – Corrente Alternata) o 1500V in DC (Direct Current – Corrente Diretta). In definitiva: le Norme CEI, in larga maggioranza recepimenti di documenti normativi internazionali, costituiscono uno strumento univoco e ben codificato per soddisfare le prescrizioni di natura obbligatoria previste dalla legislazione nazionale ed europea. Il processo di normazione tecnica si basa sul principio del consenso, a seguito della partecipazione e della collaborazione di tutte le parti interessate. Un progetto di norma nasce per rispondere a specifiche esigenze espresse dal mercato di disporre di riferimenti condivisi a livello nazionale (europeo o internazionale) [5]. Vengono definite 4 categorie di tensione limite dalla norma CEI 64-8/2:2012 Impianti Elettrici Utilizzatori, a seconda dei livelli di tensione su cui l’operatore lavora, cui possiamo definire i campi di applicazioni, basandosi sulle tensioni di lavoro presenti nei veicoli elettrici e ibridi.

Tabella 3.1: Categorie di tensione di Lavoro.

CATEGORIA	TENSIONE DI LAVORO IN ESERCIZIO U_N	AC	DC
0 BASSISSIMA TENSIONE		$0 V < U_n \leq 50 V$	$0 V < U_n \leq 120 V$
1 BASSA TENSIONE		$50 V < U_n \leq 1000 V$	$120 V < U_n \leq 1500 V$
2 MEDIA TENSIONE		$1000 V < U_n \leq 35000 V$	$1500 V < U_n \leq 35000 V$
3 ALTA TENSIONE		$U_n > 35000V$	$U_n > 35000V$

Per quanto riguarda l'applicazione di tali categorie ai veicoli elettrici ed ibridi, la Categoria 0 comprende tutti i componenti di bordo alimentati con tensione a +12V DC, come ad esempio le batterie di alimentazione, le svariate molteplicità di sensori e i sistemi di comfort di bordo, mentre i componenti di bordo alimentati da 144V DC fino a 650V DC/AC rientrano nella categoria Bassa Tensione. Il motivo dell'applicazione della Norma CEI 11-27 ai suddetti veicoli è presto detto: il lavoro che un manutentore si appresta a fare rappresenta a tutti gli effetti un possibile contatto con parti attive pericolose. Nell'applicazione agli impianti elettrici, i componenti che generano energia elettrica o sono alimentati con tensioni comprese tra i 60V AC e i 120V DC, sono ben contraddistinguibili dal colore arancione obbligatorio previsto dalla CEI EN 60204-1, dove nella sezione 3.2 (Colore dei cavi) illustra quali colori devono essere utilizzati nell'impiantistica elettrica: i circuiti che portino all'interno del quadro tensioni esterne non sezionabili devono essere contraddistinti dal colore arancio. Sono ritenuti dunque lavori elettrici, tutti gli interventi eseguiti su sistemi dove sia presente una tensione con valori nominali specificati dalla Cat 1, e indicati dalla normativa come "lavoro svolto a distanza minore o uguale a D_v " (in seguito verrà illustrata tale definizione). Da quest'ultima proposizione, si evince che sono da considerarsi lavori elettrici tutti gli interventi eseguiti sulle vetture in prossimità di parti elettriche attive, quali cavi e apparati non sufficientemente protetti, da considerarsi sotto tensione, previa misurazione da parte di personale esperto, nell'ambito delle quali se non sono adottate delle specifiche misure di sicurezza si è in presenza di rischio elettrico. Il rischio elettrico è definito, secondo il "Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro", come il rischio di infortunio dovuto ad un qualsiasi impianto elettrico. [6] per quanto concerne le parti elettriche attive

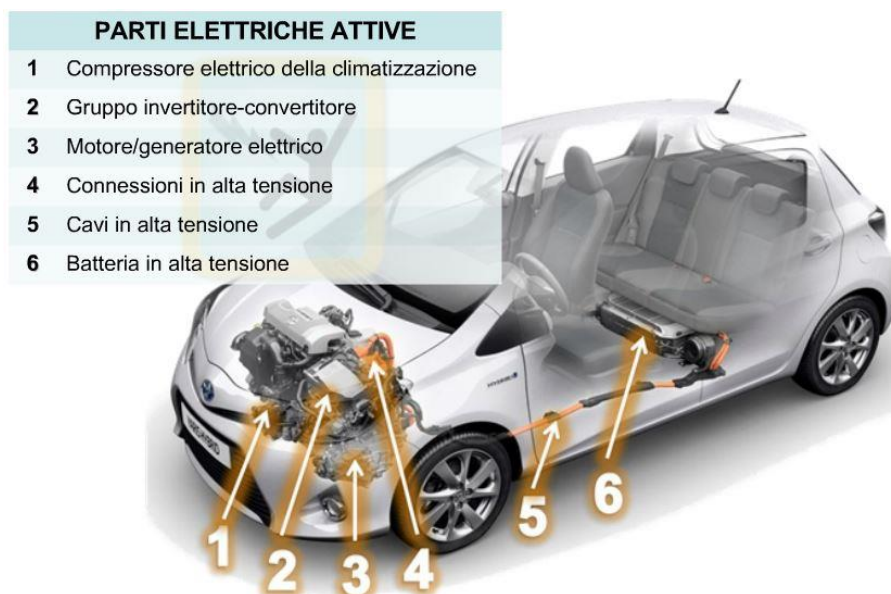


Figura 3.1: Parti elettriche attive su auto (ad es Toyota Yaris Hybrid)

@ [9].

presenti in un'autovettura, ad alimentazione elettrica e ibrida la precedente immagine elenca le possibili fonti di pericolo elettrico cui può essere esposto un operatore durante le fasi di lavorazione:

Tra le varie metodologie di lavoro che possono essere applicate in presenza di rischio elettrico, in campo automotive si prediligono e sono necessarie le seguenti

- i. Metodologia di lavoro fuori tensione e in sicurezza;
- ii. Metodologia di lavoro sotto tensione in BT, riferendosi a misure elettriche preventive;

Mentre vengono esclusi i lavori sotto tensione a distanza e il lavoro a potenziale, riservati a categorie di lavoro elettrico sulla media e alta tensione, che non riguardano dunque l'applicazione nel campo delle autovetture ibride ed elettriche.

3.2.Legislazione, norme e regole tecniche

è opportuno ricordare che l'organo preposto a regolamentare le Norme che definiscono le operazioni di lavoro ove sia presente rischio elettrico è il C.E.I. (Comitato Elettrotecnico Italiano) che a sua volta deve far riferimento all'organo di regolamentazione europeo, il CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) oppure, in mancanza di riferimenti diretti, ci si riferisce all'organismo internazionale quale è l'IEC (International Electrotechnical Commission). Seguendo le predisposizioni fornite dall'ente normatore come ad esempio il CEI, per il lavoro elettrico è condizione sufficiente ma non necessaria per costruire una macchina o un impianto a regola d'arte, seguendo dunque tutti gli obblighi legislativi. Nel caso non dovessero essere seguite le disposizioni dell'ente normativo di riferimento, è necessario riportare opportune modifiche, che dovranno essere validate, su determinati documenti come ad esempio il Fascicolo Tecnico di un prodotto immesso sul mercato. Fondamentale è distinguere la differenza tra *norme tecniche* e *regole tecniche*: le prime sono specifiche tecniche approvate da un ente di riferimento riconosciuto (ad es. CEI) per applicazioni continuative e ripetitive; inoltre sono per definizione non obbligatorie, ma se seguite ed applicate danno la presunzione di conformità; mentre le seconde sono specifiche tecniche emanate da autorità pubbliche sotto forma di decreti legge con osservanza obbligatoria. Nella trattazione non si è ancora parlato invece della differenza tra due norme tecniche applicabili in questo ambito: la CEI 11-27 si applica alle operazioni e attività di lavoro sugli impianti elettrici ad essi connesse e nelle vicinanze, quindi è riferita al lavoro elettrico, mentre la CEI EN 50110-1 si riferisce all'esercizio degli impianti elettrici, applicabile a tutte le modalità operative di attività di lavoro sugli impianti elettrici.

La CEI 11-27 contiene dunque tutte le regolamentazioni sui lavori elettrici in Bassa Tensione in campo Nazionale integrando il regolamento europeo CEI EN 50110-1, considerando prioritaria l'informativa riguardante la Sicurezza sul Lavoro esposta nel D.lgs. 9 Aprile 2008 [6]. L'applicazione corretta della Norma CEI 11-27 prevede la stesura del D.V.R. (Documento di Valutazione del Rischio) previsto del D.lgs. 9 Aprile 2008 n.81, con conseguente pianificazione del luogo di lavoro e degli interventi da effettuare, oltre che la definizione dei ruoli all'interno dell'azienda. È inoltre prevista l'indicazione obbligatoria di misure di prevenzione e dei Dispositivi di Protezione Individuale (D.P.I.).

3.2.1. Personale addetto al lavoro elettrico

Come in qualsiasi altro ambito dove si pratica il lavoro elettrico, anche nel campo automotive con vetture ibride ed elettriche, il personale deve essere qualificato e deve aver seguito un processo formativo dedicato all'abilitazione della figura professionale. Infatti la CEI 11-27, dice che senza l'autorizzazione della persona preposta alla conduzione del lavoro, nessuna attività che comprenda un lavoro elettrico può essere avviata. È dunque necessario che in questi settori, in particolare quello dell'automotive, che comporta un elevato tasso di rischio anche a livello umano, le figure operanti siano preparate e professionalmente istruite per lavori fuori tensione o in prossimità e sotto tensione. L'addetto ai lavori può ricevere tre nomine differenti:

PES. Acronimo di *Persona Esperta*, con istruzione, conoscenza ed esperienza rilevanti tali da consentirle di analizzare i rischi e di evitare i pericoli che l'elettricità può creare. Esso deve conoscere le categorie di norme applicabili, pertinenti all'impiantistica elettrica; deve avere nozioni riguardanti l'elettrocuzione, le procedure generali da perseguire con la documentazione necessaria e un'ottima conoscenza dei D.P.I. Esistono due livelli di attribuzione di PES (1A-2A) a seconda dell'ambito lavorativo in cui vengono inseriti e in base al livello di formazione ricevuto. Il livello 1A prevede una conoscenza teorica approfondita, mentre il 2A conoscenze pratiche e tecniche. Il PES deve conoscere nel dettaglio la componentistica descritta nel capitolo 2, deve saper illustrare con chiarezza il funzionamento delle apparecchiature elettroniche in questione agli altri operatori, inoltre, nel caso della riparazione meccanica, una dovuta conoscenza in ambito motoristico ed elettrico.

PAV. Acronimo di *Persona Avvertita*, ovvero personale adeguatamente avvisato da PES per metterla nelle condizioni di evitare pericoli concernenti rischio elettrico. Esso non possiede tutte le caratteristiche per soddisfare lo status di PES, soddisfandone solo alcuni in parte. La figura di PAV non è una figura lavorativa autonoma, ovvero deve sempre fare riferimento a indicazioni provenienti da PES.

PEC. Acronimo di *Persona Comune*, non esperta e non avvertita al rischio generico elettrico. Nel caso in cui però vi sia presenza di rischi elettrici eliminati e una supervisione del PEC da parte di PES o PAV, oppure con sorveglianza delle stesse figure superiori venendo meno la risoluzione di rischi elettrici, il PEC è in possibilità di operare. Autonomamente il PEC può eseguire piccoli interventi come sostituzione di batterie 12V o lampadine, altrimenti cablaggi o fusibili, purché il materiale utilizzato sia conforme e la PEC sia stata adeguatamente informata sulle problematiche inerenti all'intervento che deve eseguire. La figura della persona comune può essere identificata come un autoriparatore che deve operare sulla vettura ibrida o elettrica che è soggetta a manutenzione, deve essere dunque guidato da personale esperto o avvertito per prima cosa a verificare l'assenza di tensione pericolosa, e in secondo luogo deve essere informato sulle pericolosità e i problemi che le parti attive come possono essere inverter, blocco batterie e lo stesso motore elettrico possono causare, adoperando inoltre opportuni strumenti protettivi.

L'attribuzione della condizione di PES e PAV è di esclusiva pertinenza del datore di lavoro, formalizzandola per iscritto nell'ambito aziendale. I lavori sotto sistemi di categoria 0 e 1 sono dunque eseguibili da parte di personale idoneo con qualifica PES o PAV, ove l'idoneità è la condizione per la quale ad una persona esperta è riconosciuta la capacità di eseguire lavori specifici sotto tensione. Prevede inoltre che il personale idoneo sia in possesso di qualità disciplinari e professionali, che possono venire meno con il passare del tempo qualora, per alcune tipologie di lavoro elettrico, un operatore non dovesse più soddisfare i requisiti richiesti. Come spesso accade nelle piccole medie e imprese, non è necessario che il datore di lavoro (il quale coincide con l'operatore) debba possedere un documento di qualifica, ma deve dimostrare l'idoneità mediante un'autocertificazione.

3.2.2. Figure Professionali

In questo paragrafo vengono illustrate le figure professionali designate ad operare su lavori elettrici, obbligatori secondo normativa.

PL. Preposto al Lavoro, persona designata alla responsabilità della conduzione operativa del lavoro sul posto di lavoro. Ha l'obbligo di essere qualificato PES. Egli autorizza l'inizio dei lavori dopo la messa in sicurezza dell'impianto. Secondo l'articolo 19 del D.lgs. 81/08 [6] egli ha l'obbligo di sovrintendere e vigilare sull'osservanza da parte dei lavoratori dei loro obblighi di legge, delle disposizioni di sicurezza e salute aziendali, del controllo sull'utilizzo dei dispositivi di protezione forniti individualmente ai lavoratori e in caso di persistenza nell'inosservanza informare i superiori o prendere provvedimenti se egli è il responsabile.

Nell'ambito dell'autoriparazione, è fondamentale che una figura come quella del PL vigili o perlomeno faccia osservare queste importanti regole, che possono determinare non solo il corretto svolgimento della manutenzione, ma aumentare così il livello di previdenza e sicurezza nell'azienda stessa.

URI. Unità Responsabile Impianto, unità designata per il mantenimento e la garanzia dell'esercizio in sicurezza su impianti elettrici. L'URI può essere il proprietario dell'impianto e se coincide con il RI deve necessariamente essere una figura PES.

RI. Responsabile Impianto, persona responsabile della sicurezza dell'impianto elettrico. Può coincidere con URI e PL.

URL. Unità Responsabile del Lavoro, unità o persona cui è demandato il lavoro sull'impianto in questione. La responsabilità complessiva dell'impianto rimane comunque dell'URI. Può eventualmente coincidere con il PL e adempiere alle condizioni sopracitate del preposto ai lavori.

Nelle PMI spesso si fa riferimento ai possibili accoppiamenti di ruolo descritti nell'elenco precedente, come riporta la Norma CEI 11-27. Le figure di riferimento, come per esempio il PL, devono conoscere tutte le procedure di messa in sicurezza dell'impianto da trattare, nel seguente caso il veicolo ibrido o elettrico, provvedendo alla messa in sicurezza dell'auto o illustrando le procedure da seguire ad un lavoratore, che verranno illustrate nel cap. 4.

3.2.3. Distanza di Sicurezza da Parte Attiva

Argomento imprescindibile in questa trattazione è la definizione di parte attiva e la successiva distanza da essa. Nei lavori di manutenzione e riparazione ci si trova spesso a contatto con distanze pericolose, dovute a cavi sotto tensione o apparecchiature in tensione che possono dunque recare danno all'operatore. È compito dello stesso operatore avere chiare quali sono le distanze da rispettare, facendo riferimento all'applicazione diretta della IV edizione della Norma CEI 11-27, la quale mira ad eliminare qualsiasi forma di ambiguità, recante possibilità di pericolo, basandosi sempre sul D.lgs. 81/08. Dall'Art 117 del D.lgs. 81/08, quando si effettuano lavori elettrici con parti attive non protette oppure non sufficientemente protette, si deve rispettare almeno UNA delle seguenti precauzioni:

- i. Mettere fuori tensione ed in sicurezza le parti attive per tutta la durata dei lavori;
- ii. Posizionare ostacoli rigidi che impediscano l'avvicinamento alle parti attive;
- iii. Tenere in permanenza, persone, macchine operatrici, apparecchi di sollevamento, ponteggi ed ogni altra attrezzatura a distanza di sicurezza;

Tale distanza di sicurezza è definita a partire dalle tensioni presenti e deve essere tale che non possano avvenire contatti diretti o indiretti o scariche pericolose per le persone.

Dalla Norma CEI 11-27, **parte attiva**, è un conduttore o parte conduttrice destinata ad essere in tensione durante il normale servizio incluso il neutro, ma non per, convenzione, il neutro usato come conduttore di protezione PEN (PEN = conduttore di protezione e di neutro combinato). Lo spazio delimitato dalla distanza D_L , intorno alle parti attive nel quale non è assicurato il livello di isolamento atto a prevenire il pericolo elettrico è definito **Zona di lavoro sotto tensione** $D_L = 0\text{cm}$. La **zona prossima** D_V è lo spazio esterno alla zona di lavoro sotto tensione e che in BT comprende la zona D_L . Tutti i lavori elettrici eseguiti in questo spazio sono da considerare sotto tensione se la parte attiva non è stata messa in sicurezza. La distanza della zona prossima rispetto alla parte attiva in BT è 300mm. Lo spazio esterno alla zona prossima che deve essere considerato ai fini della sicurezza per prevenire eventuali accidentali intrusioni nella zona di rischio elettrico delimitato da D_V è la **zona di lavoro non elettrico** D_{A9} .

$$300\text{ mm } (D_V) \leq D_{A9} \leq 3000\text{ mm}$$

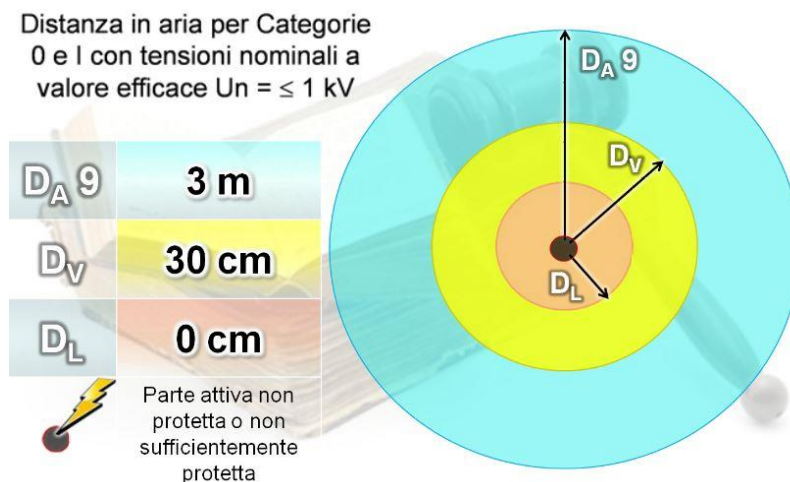


Figura3.2: Distanze in aria per cat 1 e 0 in BT, @ [9].

Nella zona D_{A9} possono operare figure come PES e PAV poiché consapevoli dei rischi elettrici contraibili, mentre un PEC può intervenire previa supervisione di personale addestrato e riconosciuto. In entrambi i casi si devono adottare procedure onde evitare l'ingresso in D_V . Per ottenere una zona di lavoro sicura anche in prossimità di zona di lavoro a rischio è sufficiente interporre uno schermo di protezione contro l'avvicinamento alle parti attive, una barriera e/o un involucro che assicuri la protezione dal contatto, una protezione isolante rigida o flessibile costruita con materiale isolante.

La distanza D_v è dunque da considerarsi un limite per il lavoro elettrico, poiché siamo in presenza di rischio elettrico, il lavoro eseguito al suo interno è competenza di un PES o PAV opportunamente addestrato e certificato per iscritto dal datore di lavoro. Viene inoltre inserita a livello nazionale, seguendo la Norma CEI EN 61396-1 [12], la distanza D_w , ovvero la distanza di lavoro secondo norme o regolamenti nazionali, posizionata in una zona intermedia tra la distanza D_l e la distanza D_v , in Italia non è evidenziata espressamente tale distanza per evitare fraintendimenti di applicazioni tra normative. Durante un lavoro elettrico, un operatore deve sempre essere vigile sulle condizioni di lavoro in cui si esegue l'operazione, e le distanze di sicurezza sopraelencate devono essere sempre applicate e rispettate tenendo ben presente le dimensioni degli oggetti movimentati e sotto manutenzione, le azioni esterne oppure atti involontari ragionevolmente prevedibili. Il fattore distanza nel settore delle riparazioni automotive è sicuramente di notevole importanza, infatti le distanze interessate nella manutenzione possono scendere facilmente al di sotto dei limiti consentiti, dato che un operatore può trovarsi a dover operare con gli arti vicino a parti attive pericolose. È bene dunque fornirsi di opportuni strumenti che determinino così un'adeguata distanza di sicurezza e isolamento, come per esempio cacciaviti isolati o i guanti isolanti dotati di doppio triangolo di sicurezza (rif par DPI 3.3).

3.2.4. Procedure per i lavori elettrici

Nell'ambito dei lavori elettrici, in particolare per quanto riguarda in BT e Bassissima Tensione, esistono tre tipologie di lavoro, che consentono all'operatore di lavorare in sicurezza rispettando determinate regole, osservando la CEI 11-27.

- A. Lavoro Fuori Tensione. È inteso come il lavoro a *distanza* $\geq D_{A9}$ da parte attiva (in tensione) o non sufficientemente protetta, oppure lavoro in prossimità di un impianto elettrico in sicurezza, previa misurazione di assenza di tensione da personale esperto.
- B. Lavoro in Prossimità. Si ha un lavoro di questa tipologia, quando per l'esecuzione di un'attività di D_{A9} è prevista la possibilità di invadere direttamente o indirettamente la zona prossima D_v . Per il controllo delle pericolosità elettriche è possibile porre dei rimedi con barriere e schermi isolanti. Art 83 D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6].
- C. Lavoro Sotto Tensione. Sono intesi lavori sotto tensione, tutti i lavori in cui un lavoratore che sia PES o PAV, debba entrare in contatto con le parti attive in tensione o ritenute tali se non verificato il contrario, e/o deve raggiungere l'interno della zona di lavoro sotto tensione con parti del corpo e equipaggiamenti. Il lavoratore deve essere dunque

idoneo e riconosciuto dal datore di lavoro a questa tipologia di operazione elettriche ai sensi dell'art 82 del D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6].

3.2.5. Il concetto di rischio

In ogni azienda nel settore industriale, ma in generale per ogni attività lavorativa, il lavoratore deve essere messo nelle condizioni di lavorare in sicurezza. In maniera preventiva, il D.lgs. del 9 aprile 2008 – Art. 28 e s.m.i.,[6] prevede che ogni datore di lavoro o persona demandata da esso debba in maniera obbligatoria compilare e redigere il D.V.R. (Documento Valutazione dei Rischi), il quale è redatto secondo procedure standardizzate descrivente i possibili rischi per chi opera all'interno dell'attività [9]. Il D.V.R è obbligatorio per tutte le Aziende, Liberi Professionisti, Negozi, Uffici con almeno 2 dipendenti, situazioni riscontrabili frequentemente con il campo lavorativo delle piccole medie imprese che attuano manutenzione su veicoli elettrici e ibridi. Si vuole dunque definire i due concetti chiave che sono alla base del Documento: il **Pericolo** è una fonte o una situazione che può creare un potenziale danno alla salute, all'ambiente o ad entrambi. Il **Rischio** è definito come la probabilità che un fattore, un oggetto, una situazione o la combinazione possa creare pericolo in condizioni specifiche.

$$R = P \cdot D$$

Dove P è la probabilità che avvenga tale rischio, e D è il danno che tale rischio può creare a cose e persone. La valutazione del rischio è quindi un'operazione necessaria, ovvero un processo di riconoscimento del pericolo esistente, valutandone le possibili conseguenze quantificando il danno che il pericolo può recare e della probabilità che tale evento dannoso si verifichi. Il rischio sintetizza in un solo parametro la credibilità che il pericolo possa concretizzarsi in un danno in termini di frequenza, rappresentata dalla variabile P, e l'entità del danno atteso in termini di magnitudo delle conseguenze che si possono verificare, indicata nella figura con M. Orientandosi verso un intervento preventivo, si accetta una magnitudo di entità media, ma con probabilità bassissima, definendola trascurabile, che accada l'evento dannoso, mentre in direzione di interventi di protezione si accetta una probabilità più alta che avvenga l'evento, ma con una magnitudo di impatto notevolmente ridotta.

È bene fare presente che in termini matematici potremmo raggiungere il rischio pari a zero, ma nella realtà è impossibile azzerare la probabilità che un evento dannoso possa verificarsi con l'incidenza di magnitudo che esso porta con sé, in definitiva non è definibile il rischio ZERO.

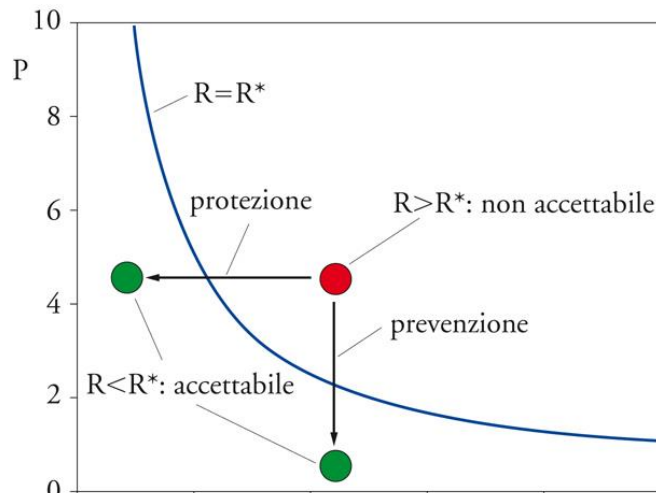


Figura 3.4: Curva di rischio, Treccani.

R = Rischio Accettabile; R* = rischio non accettabile

3.2.6. Gli obblighi del datore di lavoro

Il datore di lavoro deve essere consapevole dei rischi che esso stesso o l'operatore incaricato corre durante le fasi di lavoro, devono essere dunque prescritte e applicate misure preventive volte alla riduzione della pericolosità del lavoro che si deve andare a compiere; i danni che si possono subire mediante *elettrocuzione* (Appendice A), ovvero il passaggio della corrente tramite il corpo umano, possono essere di carattere reversibile, come ustioni lievi, traumi indiretti dovuti a movimenti incontrollati, oppure di carattere irreversibile con danni permanenti alle vie respiratorie, apparato neuro-cognitivo, fibrillazione ventricolare fino al possibile decesso. È indispensabile che il datore di lavoro segua i corsi di formazione in materia di primo soccorso, egli deve adempiere ad alcuni obblighi non delegabili come la valutazione dei rischi elaborando uno specifico documento e la designazione del Responsabile del servizio di prevenzione e protezione, secondo gli articoli 17,18 previsti dal D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6], mentre per i lavoratori PES o PAV sono previsti solamente dei cenni alla guida del primo soccorso, come l'essere informati, istruiti e addestrati dal datore di lavoro in materia sicurezza, ai sensi degli articoli 18 come obbligo del datore di lavoro e 36,37 inerenti alla formazione. Alcune misure di prevenzione che possono essere messe in campo sono sicuramente il divieto di eseguire lavori, in condizioni ambientali sfavorevoli come indicato nella CEI 11-27, l'utilizzo di idonei D.P.I. forniti dal datore di lavoro con riferimento alla norma sopracitata, conformi dunque alle norme tecniche e infine è necessario apporre un'adeguata segnaletica monitoria vietante l'accesso alle persone non autorizzate ai luoghi di lavoro elettrico pericoloso.

Nell'ambito delle manutenzioni automotive, è estremamente necessario porre delle limitazioni a personale non addetto ai lavori, nell'intorno dell'autoveicolo stesso, è bene dunque evitare ogni forma di curiosità durante le lavorazioni, anticipando o posticipando spiegazioni inerenti alla manutenzione alla clientela. Esistono cinque tipologie di segnaletica, descritte dal D.lgs. del 9 aprile 2008 (ALLEGATO XXV) [6]:

1. **SEGNALETICA DIVIETO:** forma circolare, con pittogrammi neri su sfondo bianco e bordo rosso con striscia trasversale rossa. Di carattere fondamentale, ogni persona che non sia stata almeno avvisata sui rischi delle lavorazioni su veicoli elettrici e ibridi, in generale su autovetture, deve essergli impedito l'accesso alla zona di lavoro.



Figura 3.5: Divieto di accesso ai non autorizzati.

2. **SEGNALETICA DI AVVERTIMENTO:** forma triangolare, con pittogrammi neri su sfondo giallo e bordo nero. Quando si ha a che fare con parti in tensione, oltre alla colorazione obbligatoria dei cavi facenti parte dell'impianto, è opportuno segnalare qualora non fosse sufficiente la colorazione o mancante, un'ulteriore segnaletica di pericolo: ad esempio su batterie, inverter, connessioni al motore di trazione elettrica.



Figura 3.6: Tensione elettrica pericolosa.

3. **SEGNALETICA DI PRESCRIZIONE:** sono di forma circolare con pittogrammi bianchi su sfondo azzurro. È sempre utile, all'interno dell'azienda e nelle zone di lavoro, ricordare agli operatori l'obbligo di indossare le attrezzature di protezione, come possono essere tronchetti isolanti o scarpe antiinfortunistiche se vi è presenza di possibili cadute

improvvisi di gravi, oppure l'uso dei guanti isolanti di sicurezza nelle lavorazioni su parti attive.



Figura 3.7: Protezione obbligatoria delle mani.

4. **SEGNALETICA DI SALVATAGGIO:** sono di forma rettangolare-quadrata con pittogrammi bianchi su sfondo verde. Dovesse verificarsi un infortunio, è obbligatorio segnalare dove vi sia presente una cassetta di soccorso, o un punto di ricovero per l'infortunato, e allo stesso tempo segnali di evacuazione nel caso di calamità o incendio.



Figura 3.8: Pronto soccorso.

5. **SEGNALETICA PER ATTREZZATURE ANTINCENDIO:** sono di forma rettangolare-quadrata con pittogrammi bianchi su sfondo rosso. Obbligatorie e previste dalla legge antincendio per ogni azienda e attività commerciale.



Figura 3.9: Estintore.

Nel caso in cui dovesse verificarsi un incidente sul lavoro o una qualsiasi causa di emergenza, ai sensi dell'art. 45 del D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6], il datore di lavoro, consultandosi con il medico aziendale da lui obbligatoriamente nominato se presente, deve prendere provvedimenti necessari in materia di primo soccorso e di assistenza di emergenza, tenendo conto delle eventuali altre persone presenti all'interno dell'azienda e accordandosi con i

sistemi di trasporto e soccorso. Gli obblighi del datore di lavoro sono dunque: a) prendere provvedimenti affinché i lavoratori possano immediatamente cessare la propria attività in caso di emergenza mettendosi al sicuro; b) designare i lavoratori (che non possono rifiutarsi senza un serio motivo) per attuare le misure di primo soccorso, antincendio e gestione dell'emergenza. Fondamentale è dunque mettere in condizione ogni lavoratore di attuare misure di emergenza, avere a disposizione mezzi di soccorso indispensabile per le prime cure agli eventuali feriti, ed è infine obbligatorio fornire un'adeguata formazione ai lavoratori in merito ai comportamenti da tenere in caso di pericolo. Il datore di lavoro, in un'ottica di gestione decentralizzata può definire un opportuno organigramma della sicurezza che sia rispondente alle esigenze delle singole strutture. È utile individuare sistematicamente dei preposti che costituiscono così parte attiva di controllo seguendo la filosofia del D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6] che prevede che i soggetti con responsabilità siano vicini al luogo dove è presente un potenziale rischio elettrico.

3.2.7. Gli obblighi del lavoratore

Ai sensi dell'art. 20 del D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6], ogni lavoratore deve prendersi cura della propria salute, sicurezza e di quella di altre persone presenti sul luogo di lavoro. I lavoratori inoltre devono contribuire insieme al datore di lavoro, alla dirigenza e ai preposti, all'adempimento degli obblighi previsti a tutela della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro osservando le disposizioni e le istruzioni impartite dai superiori. È obbligatorio per i lavoratori utilizzare correttamente le attrezzature di lavoro e i dispositivi di protezione messi a loro disposizione. Viene fatto obbligo al lavoratore di segnalare immediatamente deficienze dei mezzi e dei dispositivi forniti o di qualsiasi eventuale condizione di pericolo cui vengano a conoscenza. Non è possibile per il lavoratore rimuovere o modificare i dispositivi di sicurezza o di segnalazione o di controllo, tantomeno di compiere azioni di propria iniziativa che non sono di sua competenza che possa compromettere la sicurezza propria o altrui. Infine è obbligatorio prendere parte ai programmi di formazione e addestramento organizzati dal datore di lavoro e sottoporsi a controlli sanitari del D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6].

3.3. Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)

I dispositivi di protezione individuale stabiliscono una barriera fisica tra l'operatore e la parte attiva dell'impianto elettrico in questione, proteggendolo da shock elettrico e dall'arco elettrico. Devono essere impiegati nel caso in cui i rischi non possono essere evitati o ridotti da misure di prevenzione e protezione a tal punto da garantire un pericolo per il lavoro dell'operatore.

I DPI devono essere conformi al decreto legislativo n. 475 del 4 dicembre 1992² [15], dove sono introdotti i criteri di progettazione e produzione degli stessi. L'adozione e l'uso dei DPI è illustrata del D.lgs. del 9 aprile 2008, n. 81[6]. Nell'articolo 74 del decreto sono definiti i DPI come qualsiasi attrezzatura destinata a essere indossata e tenuta dal lavoratore allo scopo di proteggerlo contro uno o più rischi suscettibili di minacciarne la sicurezza o la salute durante il lavoro, nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo. Di conseguenza, a partire dalla definizione, non costituiscono DPI gli indumenti normalmente indossati in officine meccaniche come per esempio le ordinarie tute di lavoro, o le uniformi non destinate a proteggere la sicurezza e la salute del lavoratore. Inoltre si possono elencare tutte le categorie di attrezzature non riguardanti prettamente la protezione e la sicurezza del lavoratore. L'articolo 75 definisce l'obbligatorietà dell'utilizzo di DPI nel momento in cui i rischi non possono essere evitati o sufficientemente ridotti dalle misure tecniche di prevenzione e protezione collettiva. I requisiti tecnici e di utilizzo sono elencati nell'articolo 76, come la conformità al d.lgs. 475/92, l'adeguatezza alla protezione del rischio da prevenire, l'ergonomia e la vestibilità volta al minore intralcio per le condizioni di lavoro dell'operatore e infine la compatibilità di utilizzo nel caso ci dovessero essere utilizzi multipli in presenza di rischio proveniente da più fonti. Un esempio in merito potrebbe essere per l'appunto un veicolo ibrido o elettrico, ispezionato su un ponte sollevatore, esso richiederà l'utilizzo di guanti di protezione isolanti, e caschetto protettivo essendoci probabilità di caduta di componenti (se per esempio il veicolo è incidentato). All'articolo 77 è affidato il compito di illustrare gli obblighi del datore di lavoro di fornire adeguati dispositivi di protezione individuali ad ogni singolo lavoratore, dopo un'attenta valutazione del rischio riscontrabile nella lavorazione, l'individuazione delle caratteristiche dei DPI necessarie affinché si riduca la probabilità di contrarre il rischio, la consultazione delle norme e le caratteristiche dei DPI in gioco e l'aggiornamento della scelta dei DPI ogni qualvolta ve ne sia il bisogno. il datore di lavoro è dunque il responsabile dei DPI in termine di *igiene, efficienza, manutenzione, riparazione e sostituzione*. Parafrasando l'art. 77, il datore di lavoro deve avere un'ottima conoscenza sull'utilizzo dei DPI, del rischio che possono correre i lavoratori, valutando attentamente le situazioni in cui i dispositivi è bene utilizzarli e quali no. Il DPI potrebbe infatti essere fonte d'impedimento del lavoratore, o motivo di rischio se utilizzato in maniera scorretta,

² Il D.lgs. 475/92, che fa capo alla direttiva 89/686/CEE, è abrogato a decorrere dal 21 aprile 2018 secondo il REGOLAMENTO (UE) 2016/425 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2016 [16]. Il quale introduce un nuovo regolamento sostitutivo alla presente poiché è "opportuno sostituire la direttiva 89/686/CEE con un regolamento, che è lo strumento giuridico adeguato per imporre norme chiare e dettagliate, che non lascino spazio a differenze di recepimento da parte degli Stati membri". Il presente regolamento entra in vigore a decorrere dal 21 aprile 2018 fatta eccezione per gli articoli da 20 a 36 (inerenti agli organismi di notifica) che sono già in vigore dal 21 ottobre 2016 e l'art. 45 par 1(Sanzioni) che entrerà in vigore a decorrere dal 21 marzo 2016.

se per esempio viene mantenuto anche in condizioni di rischio basso e non è necessario indossarlo.

Nell'esempio dell'autoriparazione su veicoli elettrici, una volta terminata la manutenzione specificatamente elettrica, nel caso in cui l'operatore debba perseguire un ulteriore incarico, come la sostituzione di componenti meccaniche quali possono essere le normali sostituzioni di filtri, dispositivi dell'impianto frenante o riguardanti la trazione termica di un altro veicolo, il DPI elettrico non deve più essere indossato, poiché potrebbe costituire un impedimento alle lavorazioni successive non inerenti il rischio elettrico. Per quanto riguarda i lavoratori, oltre al sottoporsi al programma di informazione e formazione previsto dal datore di lavoro, devono utilizzare correttamente i dispositivi loro forniti conformemente le istruzioni impartite e apprese durante l'addestramento espletato. Devono inoltre avere cura del DPI, avvisare se esso non è ben costruito o presenti imperfezioni. I requisiti essenziali per un DPI sono dunque riassunti in:

- Soddisfacenti specifiche normative tecniche e dotati di marcatura.
- Utilizzati in osservanza delle istruzioni e direttive del costruttore.
- Obbligo di controllo precedente all'utilizzo e riposizione al termine del lavoro in perfetto stato.
- Custodia e trasporto adeguato.
- Mantenimento degli stessi in condizioni idonee all'uso (controlli periodici a vista, esecuzione di prove elettriche, se necessario, per verifica dell'integrità elettrica e meccanica).

Nel nuovo Regolamento [16] e nel precedente decreto 475/92 vengono definite le tre categorie di DPI:

1. CATEGORIA I. DPI di progettazione semplice destinati a salvaguardare la persona da rischi di danni fisici di lieve entità.
2. CATEGORIA II. Tutti gli altri DPI quali guanti, elmetti, calzature, filtri facciali e otoprotettori.
3. CATEGORIA III. DPI di progettazione complessa destinati a salvaguardare da rischi di morte o lesioni gravi e di carattere permanente: apparecchi di respirazione, protezione isolanti, protezioni contro radiazioni ionizzanti e radiazioni chimiche, salvaguardia per le cadute dall'alto e DPI di protezione da tensioni elettriche pericolose.

Ogni DPI per il rischio elettrico deve essere classificato secondo due importanti simboli che deve avere per essere omologato e ottenere dunque la conformità: il doppio triangolo che indica l' idoneità ai lavori sotto tensione, garanzia dell'isolamento doppio da parte attiva, e la presenza della marcatura CE per essere conforme alla direttiva 89/686/CEE e il nuovo regolamento [15], che indica la possibilità e quindi la sicurezza che quel prodotto può essere venduto e, in linea generale, installato all'interno dell'Unione Europea.

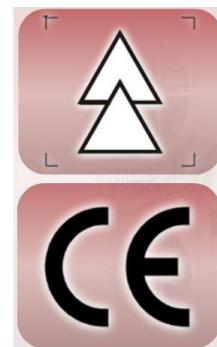


Figura 3.10: Doppio triangolo e marcatura CE [14].

3.3.1. Guanti Isolanti

Dispositivo di protezione fondamentale nell'esercizio di manutenzione su veicoli elettrici e ibridi, viste le tensioni in gioco, l'operatore deve essere doppiamente isolato dalla parte attiva, di conseguenza il guanto deve riportare il doppio triangolo e la marcatura CE. I guanti isolanti possono presentare altre proprietà oltre a quelle elettriche, e sono classificati in categoria tramite una lettera, in base alla resistenza che essi hanno nei confronti di agenti aggressivi o aventi maggiore prestazioni meccaniche (come i guanti in composito). Devono essere immagazzinati e conservati in un contenitore, distanti da fonti di calore, protetti dall'esposizione delle radiazioni solari; prima dell'uso devono essere esaminati a vista per verificare l'assenza di forature mediante opportuno gonfiaggio; devono essere inoltre puliti e asciugati correttamente. Esistono tre tipologie di guanto a seconda del materiale (gomma, lattice, composito) con cui è costruito, ovviamente di carattere dielettrico. La norma CEI EN 60903 prevede 5 classi distintive per i guanti isolanti elencati in tabella:

Classe	Colore distintivo del doppio triangolo	Tensione max di impiego (kV)	Lunghezza standard (mm)	Marcatura (dati principali)
00	Beige	0,5	270-360	Doppio triangolo CE Taglia Classe Data
0	Rosso	1,0	270-360 410-460	
1	Bianco	7,5	360-410 460	
2	Giallo	17	360-410 460	
3	Verde	26,5	360-410 460	

Tabella 3.2: Tabella classe guanti isolanti [14]



Figura 3.11: Guanti isolanti idonei al lavoro elettrico.

3.3.2. Calzature Isolanti

Come per i guanti isolanti le calzature devono garantire l'isolamento da terra per potenziali scariche che si possono verificare nei pressi dell'impianto in manutenzione e quindi del veicolo. Allo stesso modo, devono essere conservate pulite ed esaminate prima di ogni utilizzo. Esistono due classi di calzatura isolante, indicate con targhetta sul DPI: la 00 per impianti con tensione di utilizzo fino a 500V (colore Beige) e 0 per tensioni fino a 1000V (colore Rosso); vengono contraddistinte a seconda dell'altezza crescente della protezione della caviglia, con le lettere A, B, C e D (Stivale). Norma CEI EN 50321.



Figura 3.12: Tronchetti isolanti. Roberti

3.3.3. Casco Elettrico con Visiera

Il casco elettrico con visiera, deve assolutamente riportare: **Marchatura CE, Sigla del DPI e data di fabbricazione**. Esso serve principalmente per evitare che in caso di arco elettrico il viso venga interessato dalla sfiammata che esso produce, ovvero nei casi in cui vi sia stato un riarmo improvviso dell'impianto elettrico e un cortocircuito accidentale. Le precauzioni per l'impiego sono le medesime dei precedenti DPI, ricordando che in presenza di rotture, fessurazioni o altri elementi di danno devono essere scartati, distrutti e sostituiti con un prodotto nuovo. Norma EN 50365.



Figura 3.13: Casco protettivo archi elettrici e collo. SECRA

3.3.4. Attrezzi di Lavoro Isolati

Gli attrezzi di lavoro isolati devono proteggere l'operatore contro i contatti accidentali, minimizzando il rischio di cortocircuito. Essi devono riportare: Marcatura CE, temperatura di impiego tra -20 °C e +40 °C, Doppio triangolo con dicitura 1000V, Anno di costruzione. Le precauzioni sono le medesime di cui sopra. È bene ricordare che sono strumenti di lavoro quotidiani per chi effettua riparazioni, in particolare nel settore auto elettriche e ibride, quindi la presenza di questi DPI sul luogo di lavoro è di fondamentale importanza. Per quanto riguarda i cacciaviti con la parte terminale scoperta e quindi conduttiva, la lunghezza di tale parte deve essere < 15 mm per cacciaviti a taglio e < 18 mm per gli altri cacciaviti, misure che garantiscono un'adeguata distanza tra mano e parte attiva pericolosa. Norma CEI EN 60900 (con aggiornamento alla versione 12/2015).



Figura 3.14: Attrezzi di Lavoro isolati. Beta

CAPITOLO 4

Procedure operative veicoli elettrici ed ibridi

4.1. Principali definizioni

Prima di cominciare a trattare delle procedure operative di lavoro in sicurezza sui veicoli alimentati elettricamente o mediante propulsione ibrida, è ben avere chiare le principali definizioni elencate nella Norma CEI 64-8, oltre a quelle precedentemente citate come parte attiva, tensione di contatto e contatto diretto. In ambito delle riparazioni automotive, ricorrono spesso delle incomprensioni riguardanti appunto queste definizioni che brevemente vengono elencate per completezza [17]:

CONTATTO DIRETTO: contatto di persone con parti attive;

CONTATTO INDIRETTO: contatto di persone con una massa in tensione per guasto;

MASSA: parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che non è in tensione in condizioni ordinarie, ma che può andare in tensione in condizioni di guasto;

CORRENTE DI DISPERSIONE: corrente che, in assenza di guasto, fluisce verso terra;

CORRENTE DIFFERENZIALE: somma vettoriale dei valori istantanei delle correnti che percorrono tutti i conduttori attivi di un circuito in un punto dell'impianto;

INVOLUCRO: parte che assicura la protezione di un componente elettrico contro determinati agenti esterni e, in ogni direzione, contro i contatti diretti;

ISOLAMENTO PRINCIPALE: isolamento delle parti attive utilizzato per la protezione base contro i contatti diretti e indiretti.

TERRA: il terreno come conduttore il cui potenziale elettrico in ogni punto è convenzionalmente considerato uguale a zero;

DISPERSORE: corpo conduttore o gruppo in contatto elettrico con il terreno che realizza il collegamento con la terra;

PE: Protection Earth, conduttore prescritto per alcune misure di protezione contro i contatti indiretti per il collegamento di alcune parti come masse estranee, dispersore ecc. (esiste anche il PEN che funge sia da neutro che da PE);

Esistono poi due tipologie di correnti di guasto, la prima che si stabilisce a seguito di un cedimento dell'isolamento o quando l'isolamento è cortocircuitato, e la seconda, nonché la più pericolosa, ovvero la corrente di guasto verso terra che viene provocata da una perdita di isolamento tra un conduttore in tensione e una massa. Un operatore potrebbe dunque trovarsi in contatto indiretto ad alto rischio con una parte normalmente non in tensione, ma che a causa del guasto viene a trovarsi ad un potenziale pericoloso. Questi concetti sono da tenere ben presenti durante le lavorazioni, perché sono fonte di errore comune e di conseguenti infortuni dovuti ad una disinformazione diffusa.

4.1.1. Grado di protezione IP

Partendo dalla definizione precedente di involucro, e volendo proteggere i dispositivi elettrici o meccanici da agenti esterni e da contatti diretti pericolosi, è stato definito il grado di protezione IP, ovvero il livello di protezione di tale involucro contro l'accesso a parti pericolose, contro la penetrazione di corpi solidi estranei e contro l'ingresso di acqua. Il grado di protezione è identificato, conforme alle prescrizioni della norma CEI EN 60529, dalle lettere IP (International Protection) seguite da due cifre ed eventualmente due lettere.

Prima Cifra: indica il grado di protezione contro la penetrazione all'interno dell'involucro da parte di corpi solidi e contro il contatto delle persone con parti interne pericolose. È compresa tra 0 (livello minimo, nessuna protezione) a 6 (protezione totale contro le polveri).

Seconda Cifra: indica il grado di protezione dell'involucro contro l'ingresso dannoso dell'acqua. È compresa tra 0 (nessuna protezione) e 8 (protetto contro gli effetti dell'immersione continua).

Lettera Aggiuntiva: indica il grado di protezione per le persone contro l'accesso a parti attive pericolose.

Se dovesse essere presente solo la lettera aggiuntiva, la prima cifra viene sostituita con una X, in ugual modo se le indicazioni dovessero presentare solo informazioni riguardanti l'aspetto della sicurezza delle persone contro i contatti diretti, vengono tralasciate entrambe le cifre e sostituite con due XX. Un esempio di applicazione del grado di protezione IP in ambito automotive è quello dell'invertitore/convertitore con grado di protezione IP44: ai sensi della norma CEI EN 50110, tutte le attività lavorative in prossimità di un componente con grado di protezione IP44 non vengono considerati lavori elettrici. Invece, per quanto riguarda ad esempio la scatola di derivazione di ricarica clima con IP56 è considerata pericolosa e segnalata mediante segnale di pericolo. Per le parti attive scoperte, le norme CEI prescrivono un grado di protezione dell'involucro almeno pari a IPXXB. [17]

4.2. Manutenzione in sicurezza su Veicoli Ibridi ed Elettrici

È possibile applicare le definizioni, normative e disposizioni precedentemente discusse anche nel settore automotive, in particolare nell'ambito della manutenzione e riparazione. In questo capitolo vengono illustrate le procedure da seguire per operare in sicurezza su un veicolo alimentato da energia elettrica e avente elementi ad alto voltaggio installati al suo interno. Ogni dispositivo della rete di bordo montato sulle auto elettriche e avente tensioni di alimentazione pericolose, è contrassegnato con un adesivo di avvertimento e di pericolo. Durante l'intervento bisogna delimitare la zona di lavoro mediante apposita cartellonistica ed elementi separatori come divisori o apposite linee di lavoro a pavimento, riportando il divieto di accesso e avvicinamento a persone non addette. È bene far rispettare ideogrammi e segnali di pericolo al personale addetto ai lavori, attenendosi alle diciture presenti. Durante il lavoro in officina, utilizzare sempre un abbigliamento adeguato e un comportamento professionale idoneo, riassunto in questi quattro punti:

- i. Indossare DPI prescritti in base alla tipologia di lavorazione da effettuare;
- ii. NON indossare indumenti con parti volanti, potrebbero causare impedimenti nella lavorazione e contatti indesiderati;
- iii. Utilizzare strumenti di misurazione a norma;
- iv. Rispettare e far rispettare la segnaletica di pericolo e avvertimento;

i rischi che si possono correre lavorando su veicoli elettrici sono i medesimi riportati quando si lavora con apparecchi elettrici, in particolare l'alta tensione dell'accumulatore rappresenta un elevato potenziale di pericolo, così come i condensatori (supercondensatori) anche se non alimentati al momento dell'intervento, mantengono immagazzinata energia precedentemente sfruttata, o utile per un'accensione veloce del mezzo, insieme agli accumulatori comportano elevati rischi per la sicurezza:

- Messa in pericolo di persone e cose;
- Pericoli di natura elettrica (archi elettrici, elettrocuzione);
- Pericoli di natura termica;
- Pericoli di incendio;
- Rischi fisici da esposizione di onde (UV, rumore);
- Infortuni secondari (taglio, cadute, ecc.).

Un veicolo elettrico o ibrido necessita dunque di essere privo di alimentazione al momento dell'intervento, disinserendo il dispositivo di alimentazione presente su ogni vettura avente queste due tipologie di alimentazione.

Il sezionamento della vettura segue le medesime regole del sezionamento di un impianto elettrico, seguendo le cinque regole della messa in sicurezza e ricordando che gli interventi su sistemi ad alta tensione sono consentiti solo in assenza di tensione oppure mediante precauzioni adottate con sistemi di protezione individuale:

- 1) Disinserire l'alta tensione
- 2) Prendere le misure necessarie per impedire il reinserimento
- 3) Verificare l'assenza di tensione
- 4) Mettere a terra e cortocircuitare
- 5) Proteggersi dagli elementi vicini sotto tensione

In particolare nell'ambito automobilistico, i primi tre punti sono fondamentali per procedere in sicurezza. **Disinserire la tensione** in modo improprio può comportare pericoli considerevoli a causa di scosse elettriche e archi elettrici. Pertanto si rende necessario l'impiego di personale qualificato, in possesso di una formazione adeguata sui sistemi ad alta tensione. Il disinserimento completo come pure il reinserimento della tensione devono essere effettuati solo da personale qualificato e autorizzato PES o PAV. I sistemi ad alta tensione si differenziano per fabbricante, marca e tipo: in alcuni veicoli è possibile il disinserimento indiretto mediante apparecchio diagnostico, in altri invece il disinserimento viene effettuato direttamente sul sistema ad alta tensione. Altrettanto varie sono le procedure da seguire, perciò per tutti i tipi di veicoli, si devono rispettare rigorosamente le istruzioni aziendali interne e le disposizioni del fabbricante. È fondamentale **impedire il reinserimento** della tensione, mediante corretta e adeguata cartellonistica o impedimento fisico mediante lucchetti e chiavi. Il reinserimento improvviso dell'impianto è una delle fonti di maggiore danno, poiché l'operatore non si aspetta di trovare tensione su elementi precedentemente sezionati. La **misura di assenza di tensione** è un'operazione fondamentale, eseguibile solo da personale esperto e qualificato, con opportuna strumentazione di misura prevista dalla norma BS EN 61010 la quale definisce le categorie di misurazione (da I a IV) che si riferiscono a sovratensioni transitorie e alla posizione all'interno di dispositivi elettrici, puntalini e cavi conformi alla norma EN 6101-1 (2001) e categoria di misura 600V cat III / 1000V cat IV, operando quindi un *disinserimento diretto*.



Figura 4.1: strumento di misurazione di tensione, multimetro.

La verifica di assenza di tensione può essere effettuata anche mediante strumento di diagnosi con software dedicati, connessi tramite connettore di diagnosi OBD, in questo caso terminata l'operazione di misura per verificare l'assenza di tensione dopo il sezionamento, si parla di *disinserimento indiretto*. [8]

4.2.1. Disinserimento diretto

Il disinserimento diretto viene effettuato senza l'ausilio dello strumento diagnostico, seguendo un'attenta procedura in seguito proposta per minimizzare la pericolosità dell'intervento

- 1. Disinserire la tensione:** si delimita l'area di lavoro contrassegnando il veicolo; si stacca il contatto previsto nella vettura in lavorazione; viene scollegato il conduttore al polo negativo della batteria da 12V; è obbligatorio verificare i DPI previsti (guanti, abbigliamento di protezione, casco di protezione contro gli archi elettrici) prima di utilizzarli; infine si scollega il connettore di servizio dalla batteria.
- 2. Prendere le misure necessarie per impedire il reinserimento:** riporre la chiave di accensione del veicolo in un luogo sicuro; riporre la chiave keyless ad una distanza sufficiente (circa 5m) dal veicolo per impedirne l'entrata in funzione nel suo raggio d'azione; riporre il connettore di servizio in un luogo di sicuro, ala riparo da qualsiasi accesso non autorizzato; assicurarsi che la batteria non possa essere riavviata.
- 3. Verificare l'assenza di tensione:** verifica dello strumento di misura prima dell'utilizzo per esempio su una batteria da 12V; aprire con cautela l'alloggiamento dell'elettronica di potenza del veicolo; verificare mediante multimetro l'assenza di tensione; riverifica dello strumento di misura.

La figura dell'operatore in gioco al momento del disinserimento è il PL che può coincidere con un PES.



Figura 4.2: Operatore con appositi DPI che scollega il connettore di servizio.
SUVA-CFSL [8]

4.2.2. Disinserimento indiretto

In questo caso, a seconda quindi del veicolo, l'operatore deve eseguire l'operazione di disinserimento mediante strumento diagnostico con apposito software.

1. **Disinserire la tensione:** Spegnerne l'accensione e collegare il sistema diagnostico del veicolo; viene fatta un'identificazione del veicolo mediante sistema diagnostico con codice telaio, motore e modello; successivamente si scollega il connettore di manutenzione presente.
2. **Prendere le misure necessarie per impedire il reinserimento:** contrassegna del veicolo mediante cartelli di avvertimento e pericolo, delimitando inoltre l'area se possibile; impedire infine la ricarica del veicolo.
3. **Verificare l'assenza di tensione:** verifica dello strumento di misura prima dell'utilizzo per esempio su una batteria da 12V; aprire con cautela l'alloggiamento dell'elettronica di potenza del veicolo; verificare mediante multimetro l'assenza di tensione; riverifica dello strumento di misura.

L'operazione di verifica di assenza di tensione è la medesima del disinserimento diretto, e deve essere effettuata in condizioni di sicurezza con apposite protezioni sopraelencate.



Figura 4.3: disinserimento indiretto mediante strumento diagnostico. SUVA-CFSL [18]

4.2.3. Operazioni di carattere generale

Ogni veicolo elettrico o ibrido, è dotato di precise istruzioni riguardanti le procedure di disinserimento di tensione e dei posizionamenti dei connettori di servizio presenti all'interno della vettura. I connettori di servizio servono dunque per sezionare l'impianto in questione, ovvero l'autoveicolo: per ogni intervento che richieda la rimozione della presa di servizio, necessita di un tempo di attesa di 10 minuti, non essendo presente una resistenza di zavorra, in

modo tale che l'energia immagazzinata nei condensatori presenti nell'impianto elettrico venga dissipata, prima di iniziare le lavorazioni.

La presa di servizio non deve mai essere rimossa quando il sistema è in modalità READY-ON, ovvero a quadro acceso. In seguito alla rimozione della presa di servizio, il posizionamento su ON (READY) del commutatore di accensione potrebbe causare un guasto. Salvo specifica dalle procedure di riparazione, non porre il commutatore di accensione su ON; questo perché il contatto potrebbe essere rimasto incollato e trarre in inganno l'operatore. È bene ricordare che nel blocco di alimentazione comprendente batteria, inverter-converter è presente una carica residua.

Gli ideogrammi presenti negli schemi tecnici delle autovetture sono raffigurati come segue:



Figura 4.4: Simbologia. [9]

4.2.3. Cenni sulle misure di soccorso su veicoli elettrici ed ibridi

Le misure di soccorso stradale e di recupero di veicoli elettrici ed ibridi devono seguire procedure ben precise, essendo un luogo incidentato con presenza di tensione non disinserita. La procedura prevede l'identificazione del veicolo incidentato, verificando le diciture sulla carrozzeria del veicolo se visibili e facendo attenzione alle connessioni adibite alla ricarica e alimentazione ad alto voltaggio. Fondamentale è la messa in sicurezza del luogo incidentato con una triplice protezione antincendio che consta di polvere, acqua e schiuma. Contrassegnare il veicolo e immobilizzarlo con apposite calzatoie sono le operazioni da effettuare dopo aver avvertito gli interessati. Viene dunque fatta una verifica dello stato del motore, sia termico che elettrico, rimuovendo i dispositivi di accensione.

Per i soccorritori è indispensabile cercare la scheda di soccorso dove vengono elencati i dispositivi ad alto voltaggio. Successivamente si deve scollegare la batteria da 12V, isolandone i morsetti dei poli. Viene poi eseguito un *disinserimento diretto* della tensione, se possibile seguendo le procedure precedentemente descritte, seguendo le disposizioni del fabbricante. Come ultima operazione tecnica, il soccorritore deve verificare lo stato meccanico della batteria ad alta tensione rilevando formazioni di calore mediante telecamera a infrarossi. Compilare infine il verbale di consegna. I pericoli elettrici presenti in un intervento di soccorso sono quelli delle scosse elettriche e di possibili archi voltaici con conseguenti gravi lesioni al corpo umano. È obbligatorio indossare dunque opportuni DPI appartenenti alla classe 1 comprendenti guanti, abbigliamento e casco di protezione isolanti. Una volta messo in sicurezza il veicolo, è fatto divieto di trasportare l'autovettura mediante traino, ma obbligatoriamente con carroattrezzi. Le batterie ad alto voltaggio devono essere conservate in speciali container all'aperto per elevato rischio d'incendio.

CONCLUSIONI

Nell'elaborato proposto, sono state elencate le problematiche inerenti al lavoro sicuro sull'auto elettrica e ibrida nelle fasi di manutenzione e riparazione. L'importanza di seguire determinate regole e procedure rendono l'azienda e i lavoratori figure professionali di qualità, garantendo un servizio efficiente e sicuro al cliente e a loro stessi. La corretta consultazione delle norme tecniche, e dei decreti legislativi fanno sì che i lavori compiuti rispettino la regola d'arte, senza dover inoltre incorrere in sanzioni. Un'azienda quindi deve dotarsi di tecnici specializzati, istruiti e professionali che sappiano gestire problematiche di rischio elettrico sulla base di corsi di aggiornamento, per la sicurezza propria e altrui, in particolare, il datore di lavoro ha l'obbligo di rendere sicura la propria azienda, delegando personalmente e annualmente i compiti a figure ben delineate come PES e PAV. Nelle officine di manutenzione e riparazione di veicoli, la presenza di vetture ad alimentazione alternativa sarà sempre più frequente, vista la richiesta e la proposta del mercato di auto ibride in particolare, incentivate da misure statali per ridurre sensibilmente l'inquinamento generato dalle automobili.

La corretta conoscenza degli elementi che generano componenti di alta tensione all'interno del veicolo, devono entrare a far parte del bagaglio personale di un autoriparatore, così come la precisa conoscenza delle normative, sono un ausilio al lavoratore a procedere correttamente nella manutenzione e nella messa in sicurezza della zona di lavoro. Le disposizioni fornite in questo documento vogliono essere una breve revisione di letteratura, ma anche un consulto sulle problematiche riscontrabili nell'ambito delle riparazioni automotive: la presenza di elementi "nuovi" al riparatore che ha sempre affrontato problematiche inerenti a veicoli a combustione interna, sono fonte di apprendimento per lo stesso, che si troverà sul campo a dover lavorare seguendo talvolta procedure a lui non comuni, ma più congeniali ad esempio ad un addetto alle lavorazioni elettriche, che è dedito quotidianamente fare. Il corretto uso di strumenti di misurazione e la loro conoscenza, verificando lo stato di buona salute prima e dopo l'utilizzo, sono di fondamentale importanza, così come l'avere a disposizione DPI conformi, garantiscono la sicurezza e la riduzione di rischio elettrico. Una buona soluzione aziendale, può essere quella di formare periodicamente i lavoratori, istituire un regolamento personale o consultabile in azienda, oltre ai fogli obbligatori che devono essere compilati dal datore di lavoro, delle procedure da seguire prima di affrontare una lavorazione su di un veicolo elettrico o ibrido. Verranno definiti i comportamenti e le sequenze di lavoro da osservare dall'accettazione in officina del veicolo fino alla riconsegna, per esempio mediante:

- i. Identificazione certa del veicolo preso in consegna (modello, telaio, codice motore, anno e mese di fabbricazione);
- ii. verifica della disponibilità della documentazione tecnica per poter intervenire attenendosi alle disposizioni di sicurezza del fabbricante (schede di servizio, altrimenti ricerca in software dedicati);
- iii. consenso da PL con inizio e consegna della scheda dei lavori (il PL può coincidere con il PES); delimitazione dell'area di intervento;
- iv. messa in sicurezza del veicolo con tecniche di disinserimento illustrate, provvedendo a possibili eventuali richiusure dell'impianto;
- v. controllo dell'assenza di tensione;
- vi. consenso da parte dell'incaricato PES per le operazioni; riattivazione dell'intero sistema al termine delle lavorazioni.

La consultazione di questo documento presente e disponibile in azienda, garantirebbe una corretta manutenzione in sicurezza e a regola d'arte.

Appendice A: L'elettrocuzione

In questa breve appendice, si vuole parlare dell'elettrocuzione, ovvero il passaggio della corrente nel corpo umano e i suoi effetti. Perché una corrente attraversi il corpo umano, esattamente come un circuito elettrico, deve essere applicata una differenza di potenziale alle sue estremità, quindi due polarità o due fasi facenti parte del medesimo sistema elettrico. Come spesso accade, una delle due parti che costituiscono la differenza di potenziale, può essere il terreno, o qualsiasi parte dell'impianto di terra.

La corrente elettrica, non appena attraversa il corpo umano, a seconda della sua entità, può avere effetti più o meno gravi. Luigi Galvani nel 1781, nel suo laboratorio domestico, aveva "preparato" una rana, con i nervi crurali e il midollo isolati, posta ad una certa distanza da una macchina elettrica. Durante lo scocco di una scintilla uno dei suoi assistenti toccò per sbaglio con un bisturi il nervo crurale interno della rana e ci fu un'intensa contrazione dei muscoli delle zampe dell'animale. Galvani rimase impressionato da questo evento e decise di approfondire e tentare di spiegare questo fenomeno. Gli studiosi di quel tempo, e anche i successivi, ritennero che l'eccitazione di Galvani, alla vista delle contrazioni della rana, derivasse dalla sua ignoranza per i più elementari concetti di elettro-fisica. Ma, a differenza degli altri, si era reso conto che vi era una relazione limitata tra l'intensità della carica elettrica e lo sviluppo delle contrazioni: se la forza della scarica veniva aumentata oltre un certo valore non venivano prodotte contrazioni più forti e, al contrario, quando si riduceva l'intensità dello stimolo al di sotto di un certo livello le contrazioni potevano cessare. Infine Galvani sottolineò che, se in alcune preparazioni non vi erano più contrazioni dopo ripetute applicazioni del fluido elettrico, queste si potevano riottenere se l'animale non veniva stimolato per un po' di tempo o era sottoposto ad alcuni trattamenti. Allora nella mente dello studioso bolognese era sorto il dubbio che le contrazioni muscolari non erano dovute a scariche elettriche esterne, ma derivassero invece da una forza interna, propria dell'animale, stimolata dalla forza elettrica esterna. Galvani aveva ipotizzato che ci fossero delle cariche elettriche interne presenti nel corpo umano che comandassero i muscoli mediante impulsi elettrici derivanti dal cervello. A questo proposito, la contrazione involontaria dei muscoli è derivata dal passaggio di una corrente esterna che entra in conflitto e prevale con gli impulsi elettrici cerebrali che porterebbero il muscolo ad agire diversamente. Le correnti esterne che attraversano il corpo umano possono dunque alterare sensibilmente il funzionamento vitale dell'uomo fino ad essere potenzialmente letale.

A.1 Tetanizzazione

La somma delle correnti interne del corpo umano con le correnti prodotte dal cervello per comandare i muscoli, possono portare a un malfunzionamento del muscolo interessato, facendolo contrarre in maniera involontaria. La “tetanizzazione dei muscoli” è la contrazione involontaria, spastica e continua dei muscoli interessati al passaggio della corrente: l’infornato che dovesse toccare il cavo in tensione ed essere attraversato da corrente, potrebbe rimanere incollato involontariamente senza possibilità di distogliere l’arto interessato dalla parte attiva toccata. La gravità della lesione che egli può subire è direttamente proporzionale all’intensità della corrente e al tempo di contatto. Esiste un valore in letteratura di riferimento, denominato *corrente di rilascio*, ovvero la più alta intensità di corrente cui un essere umano è in grado di liberarsi dalla morsa della parte attiva. Esso è differisce nel caso femminile, vista la maggiore possibilità di ritenzione idrica da parte della donna:

	Corrente Continua (c.c.)	Corrente alternata 50Hz (c.a.)
Corrente di soglia (lingua)		45µA
Corrente di soglia (polpastrelli)		0.5 mA
Corrente di soglia (mani)	5.2 mA	1.1 mA
Corrente di rilascio (uomo)	76 mA	16 mA
Corrente di rilascio (donna)	51 mA	10 mA
Fibrillazione cardiaca		100-300 mA

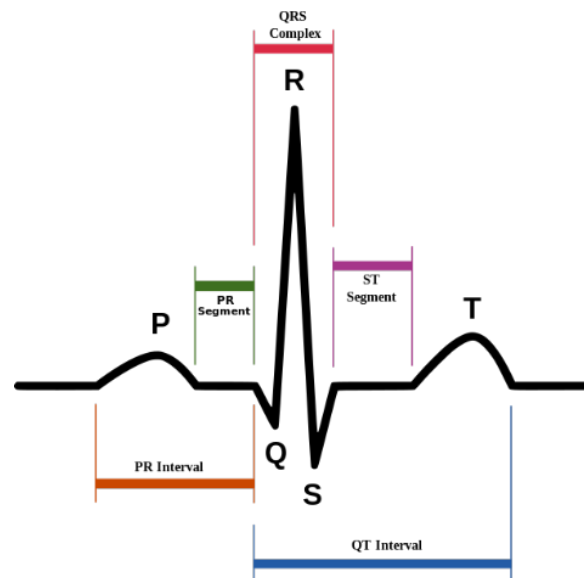
A.2 Arresto della Respirazione

Se i valori della corrente di passaggio nel corpo umano sono superiori a quelli indicati dalla corrente di rilascio, l’infornato può avere conseguenze a livello respiratorie, poiché viene interessato l’apparato respiratorio, bloccando i muscoli che si occupano dell’espansione polmonare e i nervi che sovrintendono le funzioni respiratori. Con il perdurare del passaggio della corrente, l’infornato può raggiungere l’asfissia fino ad essere letale. Il tempo di intervento necessario per impedire la morte dell’infornato è di circa 3-4 minuti.

A.3 Fibrillazione Ventricolare

Il cuore si contrae grazie a strutture cellulari specializzate che generano impulsi elettrici e regolano la loro distribuzione nel cuore stesso. In condizioni normali l’impulso elettrico origina nel nodo seno atriale, si propaga negli atri e raggiunge il nodo atrio-ventricolare, che è la sola via di comunicazione elettrica tra atri e ventricoli; da qui l’impulso passa al fascio di His e al sistema di conduzione intraventricolare.

Il battito cardiaco è dunque regolato biologicamente da impulsi elettrici, che possono entrare in interferenza con la corrente elettrica che attraversa il corpo umano, rendendo impossibile la generazione del battito regolare, inibendo le funzioni del nodo seno atriale che si trova in qualche modo interdetto ad agire. Lo spettro dell'onda T prodotta dal cuore, se analizzata mediante un oscilloscopio, non è più omogenea e periodica, ma assomiglia ad un rumore sovrapposto ad un segnale pulito. Il sangue non viene più pompato correttamente dal cuore, e con il passare del tempo, le lesioni cerebrali per mancato arrivo dell'ossigeno al cervello possono essere gravissime, se non letali. Si stima che sia il peggior effetto che la corrente elettrica produca sul corpo umano con il 90% dei decessi per fibrillazione ventricolare all'interno delle morti per folgorazione. È anche vero che con l'introduzione obbligatoria in molti luoghi pubblici e nelle aziende del DAE, Defibrillatore Semi-Automatico, la possibilità di ripristinare l'onda T è molto alta e quindi di salvare l'infortunato. La fibrillazione ventricolare si innesca nel tempo cosiddetto di vulnerabilità, all'interno di un periodo ripetitivo dell'onda T.

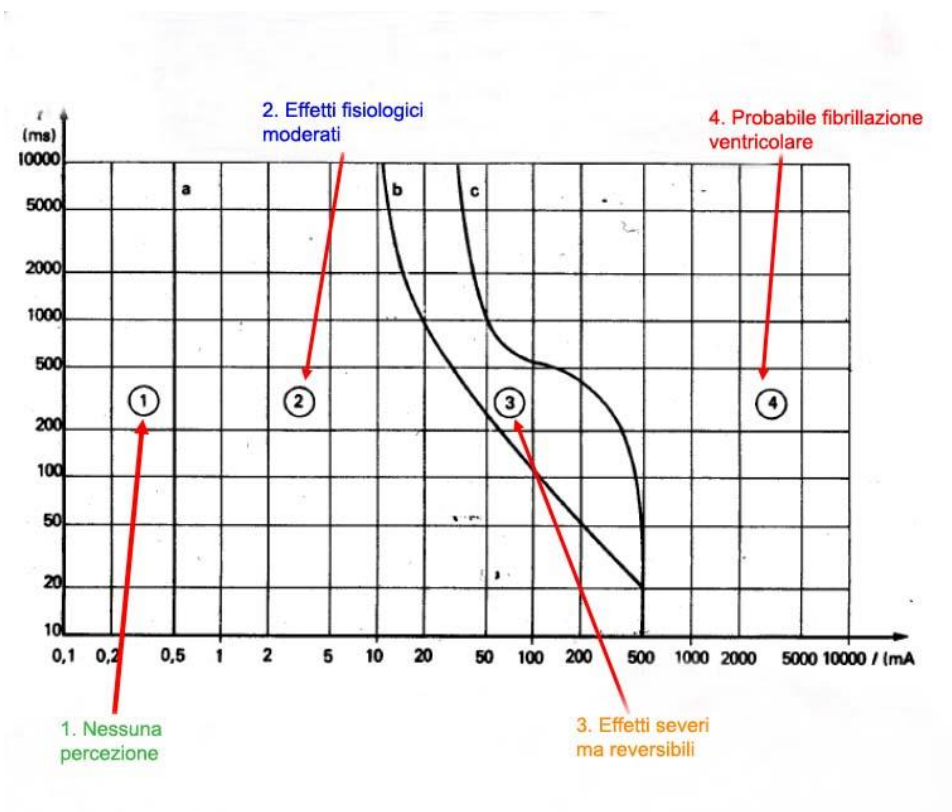


A.4 Ustioni

Il corpo umano è assimilabile ad un circuito con impedenza resistivo capacitiva oltre i 1000Hz di frequenza della corrente elettrica che fluisce all'interno dell'organismo. Le ustioni sono catalogabili a seconda dell'entità del danno visibile sul corpo umano, dal 1° al 4° grado, con entità crescente.

- 1° GRADO: interessano solo lo strato superficiale della cute ovvero l'epidermide.
- 2° GRADO: interessano l'epidermide e parzialmente il derma superficiale: con bolle; profondo: senza bolle.
- 3° GRADO: interessano epidermide, derma.
- 4° GRADO: il terzo grado con interessamento anche di muscoli ed ossa sottostanti.

Viene infine presentata la curva di soglia per le correnti elettriche nel corpo umano:



Bibliografia

1. Alessandrini – F. Cignini – C. Holguin – D. Stam, 2014-2015 “Corso di Sistemi di Trazione” Sapienza, Roma
2. Barsali, S. 2002. "Sistemi di propulsione ibrida per autoveicoli." In Giornata di Studio “Sistemi Elettrici di Bordo: attualità e prospettive” - Pisa
3. C.C. Chan,1993 “An Overview of Electric Vehicle Technology” in “Proceedings of the IEEE”, Vol. 81, NO. 9, SEPTTEBER 1993
4. CAMILLE JANATZY (https://it.wikipedia.org/wiki/Camille_Jenatzy) 17/10/2016
5. CEI NORME (<http://www.ceinorme.it/it/pagina-tecnica.html>) 15/10/2016
6. D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106, vers giugno 2016
7. Danielis R, 2015 "La diffusione dell'auto elettrica: uno sguardo a livello mondiale", in: Romeo Danielis (a cura di), "L'auto elettrica come innovazione radicale: scenari di penetrazione di mercato e ricadute economiche e sociali", Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2015, pp. 8-29
8. Disinserimenti diretti e indiretti:
(<https://extra.suva.ch/webshop/56/568D54B909354580E10080000A630358.pdf>)
SUVA, CFSL 20/11/2016
9. GROUPAUTO-MASTER PRO formazione, “Safety Work Hybrid” 2014
10. Husain, I, 2012 “Automotive Electric Motor Drives and Power Electronics”, North Carolina, IEEE Eastern North Carolina PES/IAS Section Raleigh, NC
11. Locatelli, P, “Stato dell'arte dei veicoli ibridi” Tesi di Laurea 2011-2012 Milano
12. Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2)
([http://www.ing.mo.it/Media/Default/Commissioni/Impianti%20ed%20Energia/CEI_99_2_PI20140418%20dist.%20\(2\)_784_3589.pdf](http://www.ing.mo.it/Media/Default/Commissioni/Impianti%20ed%20Energia/CEI_99_2_PI20140418%20dist.%20(2)_784_3589.pdf)) 5/11/2016
13. ORIZZONTEENERGIA(http://orizzontenergia.it/approfondimenti.php?id_approfondimenti=296) 16/10/2016
14. PMSM
([http://www.diegm.uniud.it/petrella/Azionamenti%20Elettrici%20\(PN\)/Complementary%20stuff%20chapter%205%20\(d\)%20-%20Azionamenti%20con%20MSMP.pdf](http://www.diegm.uniud.it/petrella/Azionamenti%20Elettrici%20(PN)/Complementary%20stuff%20chapter%205%20(d)%20-%20Azionamenti%20con%20MSMP.pdf)) 24/10/2016

15. REGOLAMENTO (UE) 2016/425 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del
9 marzo 2016
16. Riboli, G & Sala, F, “Studio di un veicolo ibrido serie con configurazione innovativa”
Tesi di Laurea 2008-2009 Milano
17. TuttoNormel, 2015, “Equipaggiamento elettrico delle macchine” Torino
18. Zigliotto, M & Bolognani, S, 2014 “Azionamenti Elettrici 1” Padova

Ringraziamenti

Lascio come ultimo pensiero il ringraziamento a chi, in questo percorso di studi, ha saputo sapientemente e pazientemente accompagnarmi verso questo primo importante traguardo.

Il primo ringraziamento va alla mia famiglia, nelle figure di mio padre e mia madre, che hanno assistito alla mia crescita sia come studente che come figlio, guidandomi sempre con affetto e amore anche nei momenti più difficili. Un grazie speciale va inoltre a mia sorella Alessandra, preziosa presenza nella mia famiglia. Un grazie ai nonni, materni e paterni, ai miei zii e i cugini con i quali ho sempre condiviso “gioie e dolori” della mia carriera studentesca.

Un enorme grazie va alla mia fidanzata, Martina e alla sua famiglia, che hanno saputo sopportarmi e supportarmi in questi anni di studio, con amore e pazienza.

Un grande grazie va agli amici più cari, con i quali ho avuto il privilegio di poter crescere durante la mia vita studentesca e al di fuori di essa.

Un ringraziamento particolare va al mio professore relatore di tesi, l'ingegner Diego Dainese, che ha accettato sin da subito il mio progetto di tesi, guidandomi con esperienza in questo periodo di stesura e revisione.