

Corso High Voltage Technology

“Livello Direttivo D.M. 15 Febbraio 2016”

Italian Maritime Academy Technologies



Struttura del corso:

- Norme tecniche e procedure per operare in sicurezza sugli apparati ad alta tensione;
- Comprensione del sistema di distribuzione dell'energia elettrica ad alta tensione e l'importanza della sua manutenzione;
- Capacità di identificare i guasti sul sistema di distribuzione dell'energia elettrica ad alta tensione e ripristinare il sistema mantenendo l'alimentazione.

Struttura corso:

Il corso ha una durata non inferiore alle 32 ore e ripartite in 18 ore di lezioni teoriche e 14 ore di attività pratica.

Requisiti di ammissione al corso:

Al corso del livello direttivo possono essere ammessi marittimi, in possesso della certificazione relativa all'addestramento del livello operativo.

Materiale didattico reperibile su:

www.IMATSRL.ORG

corso HV PSWW: HVIMAT

INDICE

<i>Introduzione.....</i>	<i>1</i>
<i>Principali enti normatori.....</i>	<i>4</i>
<i>Sistemi elettrici.....</i>	<i>7</i>
<i>Pericoli legati ai sistemi ad alta tensione.....</i>	<i>19</i>
<i>Permit to work.....</i>	<i>26</i>
<i>Test di isolamento.....</i>	<i>29</i>
<i>Caratteristiche operative di sicurezza associate ai rischi elettrici.....</i>	<i>36</i>
<i>La switchboard.....</i>	<i>56</i>
<i>Sistemi di protezione e di manovra.....</i>	<i>64</i>
<i>Termografia.....</i>	<i>104</i>

INTRODUZIONE

Il recepimento da parte dell'ordinamento giuridico italiano di otto direttive comunitarie in materia di miglioramento della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, ha comportato una nuova attenzione da parte di tutta la società civile nei riguardi delle problematiche inerenti la prevenzione degli infortuni e la tutela dell'igiene e della sicurezza dei lavoratori.

La normativa a tutela dei lavoratori nasce alla fine del 1800 e si sviluppa di pari passo all'evoluzione lavorativa; i cardini sui quali ruotava prima del Decreto Legislativo 626/94 tutta la disciplina in materia erano costituiti fondamentalmente dal D.P.R. 547/55 e dal D.P.R. 303/56 che, in alcuni casi, sono ancora attuali.

Questi decreti prevedevano, tra l'altro, quali obblighi fondamentali del datore di lavoro, l'attuazione delle misure di igiene e sicurezza, l'informazione dei lavoratori sui rischi, la fornitura dei mezzi di protezione ed il controllo sui singoli lavoratori, affinché osservassero le misure previste.

Il sistema di sicurezza così impostato aveva il limite di dettagliare in modo molto specifico determinati

obblighi tecnici, lasciando in secondo piano molti altri aspetti rilevanti. Inoltre l'applicazione era lasciata ad un rapporto tradizionale di imposizione e controllo da parte degli organi di Stato.

Negli anni seguenti il sistema si è evoluto, anche sotto le spinte sindacali, portando ad un maggior dettaglio ed un necessario aggiornamento tecnico scientifico della normativa.

Battistrada in questo ambito è il D.Lgs. 277 del 15 agosto 1991, sull'esposizione a rumore, piombo ed amianto, in quanto introduce la VALUTAZIONE DEL RISCHIO "DVR", come forma primaria di intervento da parte del datore di lavoro, da ripetersi periodicamente e da cui far seguire le misure preventive e formative.

Queste regole riprese ed ampliate dal D.Lgs. 626/94, incidono profondamente sul sistema normativo e ribaltano l'ottica precedente ponendo l'uomo, anziché la macchina, al centro della nuova organizzazione della sicurezza, comportando un'evoluzione della tutela della sicurezza sul lavoro ed una maggiore attenzione alla prevenzione degli infortuni.

Con questa normativa i lavoratori assumono assieme al datore di lavoro un ruolo da protagonisti nella gestione della sicurezza.

L'INFORMAZIONE e la FORMAZIONE hanno infatti lo scopo di far conoscere dettagliatamente i rischi connessi con l'ambiente di lavoro, le misure adottate per prevenirli nonché i comportamenti da assumere e le procedure da seguire nei casi di emergenza, con l'obiettivo di diminuire (ove possibile eliminare) i rischi.

Tutti i lavori elettrici ad oggi, con l'obiettivo di ridurre al minimo i rischi, vengono eseguiti basandosi su una serie di leggi e norme.

Una norma può essere vista come un mezzo contrattuale tra costruttore e cliente necessario per:

- parlare lo stesso linguaggio;
- identificare i prodotti;
- definire i livelli di prestazione;
- accettare le modalità di prova.

PRINCIPALI ENTI NORMATORI

Ad oggi i principali enti normatori in ambito elettrotecnico sono rappresentati dall' IEC "*Internation Electrotechnical Commission*", la quale risulta essere un'organizzazione internazionale per la definizione di standard in materia di elettricità, elettronica e tecnologie correlate. Molti dei suoi standard sono definiti in collaborazione con l'ISO (Organizzazione internazionale per la normazione). Questa commissione è formata da rappresentanti di enti di standardizzazione nazionali riconosciuti. La IEC è stata fondata nel 1906 ed inizialmente aveva sede a Londra; nel 1948 ha spostato la sua sede a Ginevra. Ad essa attualmente partecipano più di 60 paesi. Inoltre fu la prima a proporre un sistema di standard, il Sistema Giorgi, che intorno al 1960 si è modificato nel sistema delle unità SI.

CENELEC "*Comitato Europeo di normalizzazione Elettrotecnica*" responsabile della normalizzazione europea nell'area dell'ingegneria elettrica. Insieme all'ETSI (telecomunicazioni) e al CEN (altre zone tecniche), il CENELEC forma il sistema europeo per la normalizzazione. E' stato fondato nel 1973; prima di

allora, due organizzazioni erano responsabili della normalizzazione elettrotecnica; il CENELCOM ed il CENEL. Il CENELEC è un'organizzazione senza scopo di lucro secondo la legge belga, con sede a Bruxelles. Sebbene il CENELEC lavori in stretta collaborazione con l'Unione europea, esso non è un'istituzione di quest'ultima.

Infine abbiamo il CEI “Comitato Elettrotecnico Italiano” il quale risulta essere diviso in diversi sotto comitati specializzati nei vari settori e ciascuno di questi emana delle norme nel campo di sua competenza. Le norme emanate dal CEI sono contraddistinte da quattro numeri:

1. il numero che indica il sotto comitato che le ha formulate;
2. il numero della norma;
3. l'anno di emissione;
4. il numero del fascicolo.

In generale è possibile dividere le norme in:

- Principali norme impiantistiche;
- Impiantistiche;
- Generali di prodotto (trasversali);
- Specifiche di prodotto.

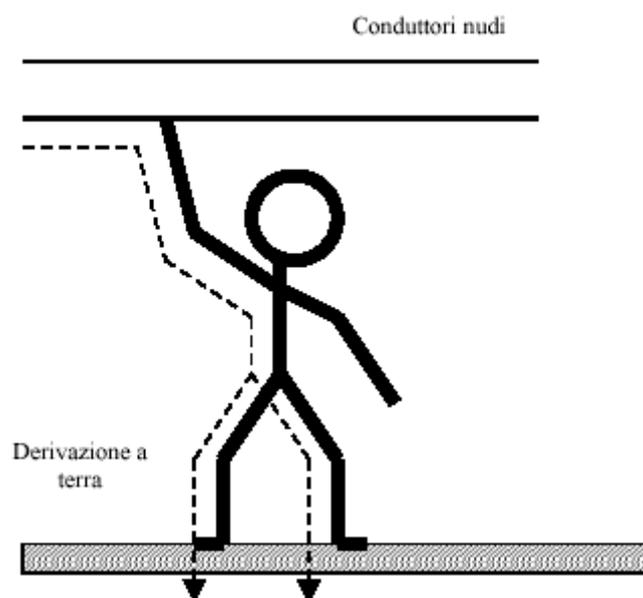
Per quanto concerne la gestione dei sistemi elettrici superiori ad 1Kv la norma di riferimento è la CEI 99 che sostituisce la vecchia norma CEI 11-1; tale CEI 99 si sottoclassifica in:

- CEI 99-2 (CEI EN 61963-1), che rappresenta la parte della IEC 61936 che fornisce le prescrizioni comuni per la progettazione e costruzione di impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a. e frequenze fino a 60 Hz tali da provvedere alla sicurezza e al funzionamento idonei secondo la destinazione d'uso.
- CEI 99-3 (CEI EN 61936-2), che invece rappresenta la parte della IEC 61936 che fornisce le prescrizioni per la progettazione e la costruzione di sistemi di messa terra di impianti elettrici con tensione nominale superiore a 1 kV in c.a. e frequenza nominale fino a 60Hz, tali da provvedere alla sicurezza e al funzionamento idonei secondo la destinazione d'uso.

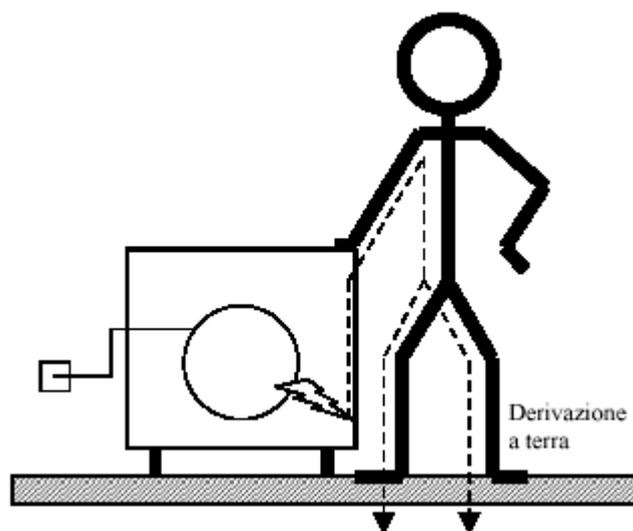
SISTEMI ELETTRICI

I sistemi elettrici possono essere suddivisi in impianti di tipo aperto o chiuso, dove per i primi si intendono tutti quegli impianti i cui componenti non hanno protezioni contro i contatti diretti, mentre per i secondi tutti quegli impianti i cui componenti hanno protezioni contro i contatti diretti.

La norma CEI 64/8 prevede due condizioni di contatto elettrico pericolose per la persona, il contatto diretto che si verifica quando la persona entra in contatto con parti attive dell'impianto.



Poi abbiamo il contatto indiretto che si verifica quando la persona tocca parti normalmente non in tensione, ma che in condizioni di guasto o di difetto di isolamento possono trovarsi in tensione. Questo tipo di contatto risulta essere molto più pericoloso del precedente nel senso che normalmente non si adottano le precauzioni che anche le persone inesperte usano verso elementi dell'impianto elettrico normalmente in tensione, come cavi, interruttori etc.



Gli impianti e gli apparecchi elettrici devono essere isolati e protetti in modo che le persone non possano venire in contatto con parti in tensione senza deliberato proposito.

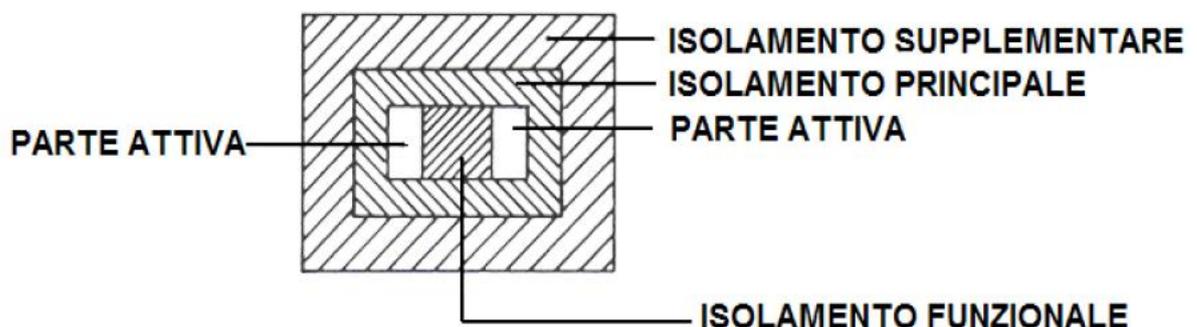
Le misure di protezione contro i contatti diretti possono essere suddivise in protezioni di grado totale, contro il contatto volontario, ottenuta mediante l'isolamento delle parti attive senza possibilità di rimozione oppure utilizzando involucri o barriere che sono rimovibili mediante utensili, interblocchi, barriere intermedie; poi ci sono le protezioni di grado parziale contro il contatto involontario ottenute per il tramite dell'allontanamento delle parti a tensione diversa simultaneamente accessibili; infine abbiamo le protezioni addizionali che sono ottenute utilizzando relè differenziali ad alta sensibilità ($I_{D_{MAX}}=30 \text{ mA}$).

Per quanto riguarda i tipi di isolamento ogni apparecchio elettrico è dotato di un isolamento tra le parti attive e tra queste e la carcassa, senza il quale ne sarebbe impedito il funzionamento. Tale tipo di isolamento prende il nome di isolamento funzionale.

Si definisce isolamento principale quello utilizzato per la protezione delle persone contro il pericolo di folgorazione. Talvolta, al fine di garantire la sicurezza delle persone in caso di guasto dell'isolamento principale, viene introdotto un ulteriore isolamento, detto isolamento supplementare.

L'insieme dell'isolamento principale e supplementare prende il nome di doppio isolamento. In luogo dei due isolamenti distinti, principale e supplementare, si può inoltre realizzare un unico isolamento avente proprietà elettriche e meccaniche equivalenti; questo tipo di isolamento viene chiamato isolamento doppio o rinforzato (CEI 64/8 413.2.1.1).

I componenti elettrici aventi isolamento doppio o rinforzato vengono detti di Classe II (CEI 64/8 413.2.1.1).



In relazione al rischio di contatto diretto, i componenti elettrici vengono classificati secondo quattro diverse classi:

- Classe 0: apparecchiature elettriche provviste del sol isolamento principale e non aventi alcun dispositivo per il collegamento delle masse ad un conduttore di protezione; esse quindi non possono

essere collegate a terra e nel caso di guasto all'isolamento la protezione risulta essere affidata soltanto alle caratteristiche dell'ambiente in cui si trovano;

- Classe 1: apparecchiature elettriche provviste del sol isolamento principale ed aventi un dispositivo per il collegamento delle masse ad un conduttore di protezione;
- Classe 2: apparecchiature elettriche provviste di isolamento doppio o rinforzato e non aventi alcun dispositivo per il collegamento delle masse ad un conduttore di protezione;
- Classe 3: apparecchiature elettriche provviste di isolamento ridotto in quanto destinate ad essere alimentate da sistemi a bassissima tensione.

Per quanto riguarda la classificazione degli involucri e delle barriere, in sede internazionale, viene utilizzato il codice IP "*International protection*" seguito da due o al massimo tre cifre numeriche.

Per quanto riguarda la prima cifra del codice IP questa sta ad identificare il grado di protezione dell'involucro o della barriera rispetto ai corpi solidi, mentre la seconda indica il grado di protezione rispetto ai liquidi ed

un'eventuale terza indicherebbe la protezione rispetto alle sostanze aeriformi.

1a Cifra	Descrizione
1	Protezione da oggetti solidi maggiori di 50 mm
2	Protezione da oggetti solidi maggiori di 12 mm
3	Protezione da oggetti solidi maggiori di 2.5 mm
4	Protezione da oggetti solidi maggiori di 1 mm
5	Protezione da polveri
6	Protezione forte da polveri

2a Cifra	Descrizione
1	Protezione da gocce d'acqua
2	Protezione da gocce d'acqua deviate fino a 15°
3	Protezione da vapori d'acqua
4	Protezione da spruzzi d'acqua
5	Protezione da getti d'acqua
6	Protezione da getti forti d'acqua o mareggiate
7	Protezione contro l'immersione
8	Protezione contro l'immersione continua
9	Protezione contro l'immersione continua e da getti d'acqua ad elevata pressione e temperatura.

Grado IP	Descrizione
IP 44	Protezione contro la penetrazione di corpi solidi maggiori di 1 mm. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori o spruzzi in qualsiasi direzione. La penetrazione di corpi solidi inferiori a 1 mm e liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 54	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori o spruzzi in qualsiasi direzione. La penetrazione di polveri e liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 55	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori, spruzzi e getti d'acqua in qualsiasi direzione. La penetrazione di polveri e liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 65	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori, spruzzi e getti d'acqua in qualsiasi direzione. La penetrazione liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 66	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro la penetrazione di liquidi da spruzzi, mareggiate e forti getti d'acqua in qualsiasi direzione. La penetrazione liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 67	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro l'immersione in acqua momentanea per 30 minuti a 1 metro di profondità.
IP 68	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro l'immersione in acqua permanente a 1 metro di profondità.
IP 68-xx	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro l'immersione in acqua permanente a xx metri di profondità.

Quando si vuole indicare soltanto una delle cifre di protezione, quelle mancanti sono sostituite dalla lettera X. Le parti attive devono essere poste entro involucri, o dietro barriere, tali da assicurare almeno il grado di protezione IP2X, salvo le eccezioni previste per alcuni apparecchi per i quali le norme relative richiedono un grado inferiore di protezione (CEI 64/8 412.2).

Le barriere e gli involucri devono essere saldamente fissati e rimovibili soltanto con l'uso di un attrezzo (CEI 64-8) o di una chiave, purché la chiave sia in possesso soltanto del personale elettricamente addestrato. Colui che abbia avuto accesso alle parti attive, deve di regola, sezionare il circuito prima di intervenire sulle parti attive o nelle loro vicinanze. In casi di riconosciuta necessità è ammesso di eseguire lavori su parti in tensione, purché l'ordine sia dato dal capo responsabile (DPR 547/55 art. 344). Nei lavori su parti in tensione l'operatore deve indossare guanti isolanti, visiera di protezione, elmetto dielettrico, utilizzare idonei strumenti di protezione.

Tra i DPI necessari annoveriamo i guanti dielettrici, i quali offrono una protezione individuale contro lo choc elettrico in occasione di lavori sotto tensione o nella vicinanza di parti attive. Gli stessi devono essere conformi alle esigenze delle norme IEC 60903 e EN 60903. A questo titolo subiscono, prove di tenuta elettrica, d'invecchiamento e meccanica, e devono essere provati individualmente e commercializzati in sacchetti di plastica sigillati.

I Guanti dielettrici si suddividono in due principali tipi, quelli in lattice che garantiscono alte caratteristiche

dielettriche, ma che allo stesso tempo devono essere utilizzati con sovra guanto in cuoio, per garantire la protezione meccanica e quelli in composito che invece garantiscono una protezione meccanica superiore alla perforazione ed allo strappo evitando l'utilizzo del sovra guanto.

Il loro impiego è legato alla classe che a sua volta risulta essere funzione del livello e del tipo di tensione di utilizzo.

Classe	Tensione a.c.	Tensione c.c
00	500 V	750 V
0	1.000 V	1.500 V
1	7.500 V	11.250 V
2	17.000 V	25.500 V
3	26.500 V	39.750 V
4	36.000 V	54.000 V

Inoltre i guanti isolanti possono avere altre proprietà di resistenza all'ambiente e sono classificati in categorie.

Categoria	Resistente a:
A	Acidi
H	Olio
Z	Ozono
R	Acidi, olio, ozono
C	Basse temperature

Prima dell'uso si deve effettuare un controllo visivo ed una verifica della presenza di eventuali fughe d'aria, effettuando il gonfiaggio del guanto tramite verificatore pneumatico.

Per i guanti di Classe 1, 2, 3 e 4, si raccomanda un esame dell'interno dei guanti. Se uno dei due guanti è ritenuto non sicuro, il paio non deve essere utilizzato e deve essere restituito per la verifica.

Preferibilmente evitare il contatto con prodotti corrosivi quali oli, lubrificanti, essenza di Trementina, paraffina e tutti gli acidi aggressivi e possibilmente non usare guanti umidi. Con guanti classe 00, che hanno uno spessore sottile, usare i sovra-guanti per dare protezione meccanica. Pulire i guanti con acqua e sapone, e quelli che diventano umidi durante l'uso devono essere asciugati accuratamente, ma in modo tale che la temperatura non superi i 65°C.

Per le ispezioni nessuna delle classi 1, 2, 3 e 4, inclusi quelli conservati in magazzino, devono essere utilizzati senza che siano stati verificati da meno di sei mesi.

L'ispezione periodica consiste in due verifiche, una verifica pneumatica, dove il paio viene gonfiato con aria per rilevare le fughe d'aria, seguito da un'ispezione visiva sul guanto gonfiato ed una verifica elettrica, dove i guanti vengono ritestati dielettricamente, secondo la norma IEC 60903 Part. 8.4.2.1 e 8.4.3.1. Per quanto riguarda i guanti della classe 0 e 00 è considerata sufficiente la sola verifica pneumatica, tuttavia il test dielettrico può essere effettuato su richiesta del proprietario.

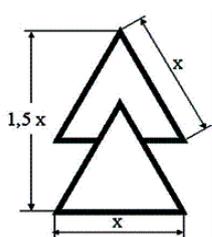
Tutti i paia di guanti sono soggetti a scadenza annuale anche se va precisato che gli stessi potranno essere

utilizzati fino a quando supereranno le verifiche semestrali.

Inoltre è sempre presente un'etichetta per fornire tutta una serie di informazioni; a titolo di esempio un'etichetta relativa ad un paio di guanti dielettrici in composito con protezione meccanica conformi alla IEC 60903/EN 60903 standard.



** Testati per arco elettrico IEC 61482-1-2 in classe 2



Indica una protezione di natura elettrica.

PERICOLI LEGATI AI SISTEMI AD ALTA TENSIONE

La corrente elettrica è un flusso di cariche elettriche, tra due punti di un corpo conduttore, avente un diverso potenziale elettrico. Si definisce conduttore un qualunque materiale attraversato da una corrente elettrica, esso può essere un buon conduttore ed opporre poca resistenza al passaggio di corrente od un cattivo conduttore ed opporre un'elevata resistenza. In tutti i conduttori attraversati da una corrente elettrica si sviluppa una quantità di calore (effetto Joule), che è direttamente proporzionale al quadrato dell'intensità di corrente, alla resistenza del conduttore ed al tempo. Conseguentemente al passaggio di un flusso di elettroni si viene a generare un campo elettrico ed uno magnetico. L'induzione elettromagnetica è il fenomeno per cui un circuito percorso da corrente, genera una tensione su un circuito vicino senza una connessione fisica, ma solo per via magnetica.

Il passaggio della corrente elettrica nei conduttori solidi avviene solo lungo la loro superficie. Quando una scarica elettrica attraversa il corpo umano, per la

particolarità del conduttore, esso subisce varie modifiche chimiche, fisiche e biologiche.

Negli USA lo shock elettrico primario è associato ad una mortalità di circa l'1%. Per 100.000 persone l'anno, 1.000 sono decessi e 5.000 necessitano di un trattamento d'emergenza.

In Italia le folgorazioni rappresentano circa il 4% degli infortuni mortali sul lavoro e sono tra il 3% e il 5% dei ricoveri per ustioni.

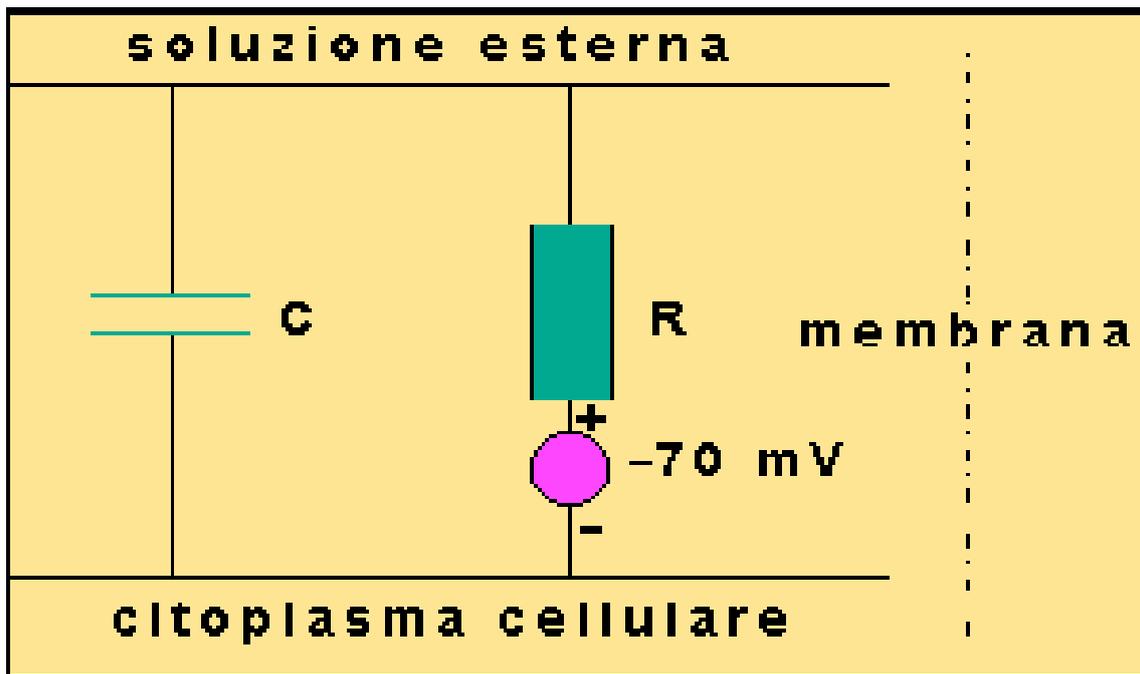
In presenza di un incidente di natura elettrica, dove la persona colpita diventa parte di un circuito o peggio quando interposto tra due conduttori chiude prima il circuito, i danni spesso sono attribuiti al solo valore della tensione mentre invece vi concorrono altre variabili:

- Tipo di onda elettromagnetica (sinusoidale, continua, pulsante);
- Effetto Joule (quantità di calore dissipato);
- Frequenza delle onde (le basse frequenze Hertziane risultano essere quelle più pericolose);
- Impedenza del conduttore (la resistenza opposta alla penetrazione);

- Tipo di conducibilità (flusso elettronico o conducibilità elettrochimica);
- La tensione (alte tensioni alta intensità, maggiore lavoro elettrico prodotto);
- L'intensità (espressa come quantità di elettroni movimentati nell'unità di tempo);
- Durata del contatto (la gravità dei danni dipende anche dalla prolungata esposizione).

Per meglio comprendere gli effetti che la corrente produce al corpo umano annoveriamo il comportamento delle cellule sottoposte a tale condizione.

La membrana cellulare separando cariche elettriche si comporta come un condensatore, poiché non è perfettamente isolante la stessa viene attraversata da un certo numero di ioni perciò oltre ad un valore di capacità presenta anche una resistenza elettrica. Pertanto volendo associare il comportamento della cellula, durante lo choc elettrico, ad un circuito elettrico semplificato il modello che ne risulta è il seguente:



Come si può osservare tale circuito risulta essere composto da un condensatore C in parallelo con una resistenza R e da un generatore di tensione che rappresenta il potenziale di riposo determinato dalla diversa concentrazione di ioni della cellula.

Il corpo umano, è in gran parte composto da una soluzione salina conduttrice, di fatto è costituito da un insieme di atomi o gruppi di atomi che in ragione della loro affinità elettrochimica si scambiano gli elettroni dell'ultimo orbitale assumendo le caratteristiche di ioni (cationi se hanno perso elettroni oppure anioni se hanno acquistato elettroni); sono tali le cellule o il liquido interstiziale che le separa.

Gli ioni K^+ , Na^+ , Cl^+ , etc., si muovono verso zone di minor concentrazione e che sono soggetti al campo elettrico generato dall'insieme degli altri ioni.

Poiché la cellula ha verso gli ioni un comportamento di tipo selettivo, questi non si diffondono allo stesso modo dentro e fuori la cellula; ad esempio la cellula è molto permeabile allo ione potassio piuttosto che allo ione sodio. Lo ione K^+ viene trasportato all'interno della cellula mentre lo ione Na^+ viene espulso con la tipica azione di pompaggio biochimico a spese dell'organismo (pompa metabolica). La cellula viene quindi a possedere un potenziale negativo all'interno rispetto all'esterno (potenziale di riposo). Nei mammiferi le cellule del sistema nervoso centrale presentano un potenziale di riposo di -70 mV, una cellula miocardica ha delle escursioni tra circa -90 mV e +35mV una differenza di potenziale notevole se si considerano le piccole dimensioni delle cellule.

Se si applica ad una cellula eccitabile un impulso di corrente di polarità inversa a quella della cellula stessa, il potenziale da negativo diviene positivo per ritornare di nuovo al valore iniziale. Quando lo stimolo elettrico eccita la cellula, aumenta notevolmente la permeabilità della membrana agli ioni sodio, i quali entrando nel

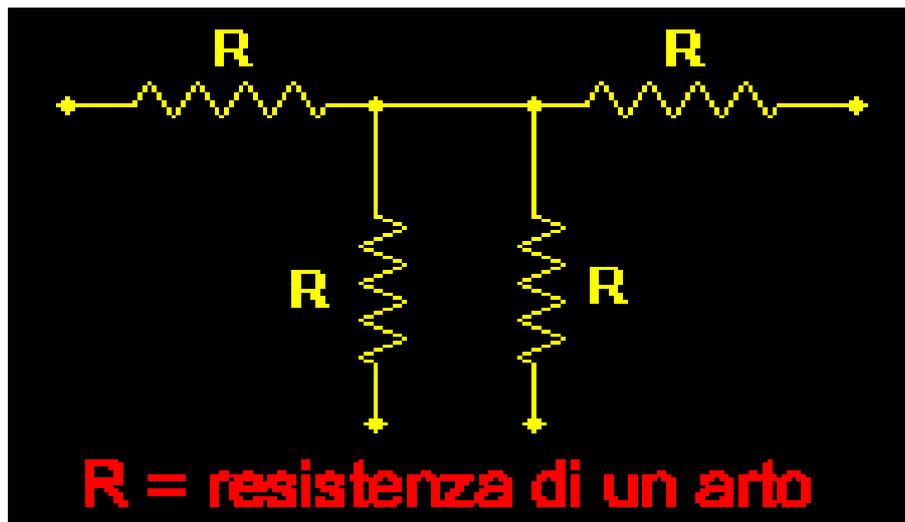
citoplasma della cellula, prima la depolarizzano, annullando la differenza di potenziale tra interno ed esterno, e poi ne causano l'inversione di polarità.

L'ampiezza minima dell'impulso di corrente necessario ad eccitare la cellula, ed a determinarne l'inversione del potenziale, decresce all'aumentare della durata per poi tendere ad un valore costante secondo una curva simile ad un'iperbole equilatera denominata curva di eccitabilità.

Uno stimolo elettrico riesce ad eccitare la cellula soltanto se produce un flusso di corrente la cui intensità e durata sono superiori ad una soglia che è propria del tipo di tessuto e prende il nome di reobase.

Una corrente elettrica che attraversa il corpo umano superata la resistenza cutanea si ripartisce in tante ramificazioni in ragione della conducibilità incontrata nei vari tessuti sottostanti, più facilmente sono attraversabili i vasi, i nervi, le ossa.

Da un punto di vista circuitale, il corpo umano, può essere rappresentato tramite un circuito a quattro resistenze (quadripolo equivalente ad una persona).



PERMIT TO WORK

Un permesso di lavoro elettrico in alta tensione è soprattutto una dichiarazione che un circuito o un elemento dell'apparecchiatura è sicuro alla manutenzione; come è stato isolato e nel caso di necessità collegato alla messa a terra.

Non si deve mai rilasciare un permesso di lavoro elettrico per lavori su apparecchiature che sono ancora vive. Le informazioni in esso contenute devono essere precise e dettagliate, esso dovrebbe affermare che un'apparecchiatura è stata messa in sicurezza, le procedure con le quali questa sicurezza è stata raggiunta, ed esattamente ciò che deve essere fatto durante il lavoro. Se un programma di lavoro sulla stessa zona di intervento deve essere cambiato, il permesso di lavoro elettrico esistente deve essere annullato ed uno nuovo rilasciato prima di ogni variazione da effettuare per il lavoro. L'unica persona che ha l'autorità di accettare il cambiamento di programma e rilasciare il nuovo permesso a lavori elettrici, o è la persona che ha rilasciato il permesso originale o la persona designata dal management per assumerne la responsabilità.

Un permesso di lavoro elettrico HV deve essere rilasciato solo da una persona competente, valutata tale per mezzo di conoscenze tecniche ed esperienza, e che abbia familiarità con il sistema e le attrezzature.

Prima di rilasciare l'autorizzazione, che dovrebbe contenere in modo dettagliato e per iscritto quali sono i vari passi per scollegare, isolare, dimostrare morti, blocchi OFF ed il collegamento a terra dell'attrezzatura, l'autorizzante deve anche identificare le attrezzature adiacenti ancora vive.

Quindi un buon permesso di lavoro elettrico deve indicare chiaramente:

- la persona destinataria del permesso, nominare il leader del gruppo di lavoro che sarà presente durante tutta l'operazione;
- le apparecchiature che sono state fatte morte e la loro collocazione precisa;
- I punti di isolamento;
- dove sono stati collegati a terra i conduttori;
- dove sono affissi avvisi e montate serrature di sicurezza speciali;
- la natura del lavoro da effettuare;

- la presenza di qualsiasi altra fonte di pericolo, con riferimenti incrociati con altri eventuali permessi;
- ulteriori precauzioni da prendere durante il corso del lavoro.

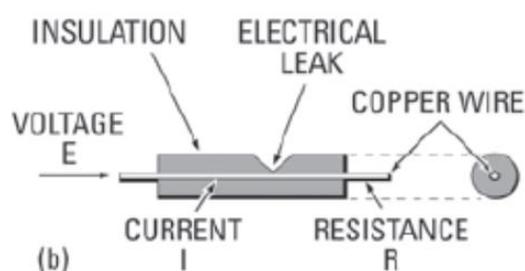
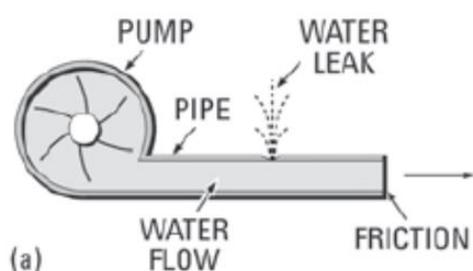
È buona norma che il permesso di lavoro venga rilasciato nel luogo in cui dovrà essere svolto il lavoro. L'autorizzante del lavoro dovrebbe spiegare il lavoro e concordarne l'accuratezza e la completezza dei dettagli con la persona che effettuerà prima che lo stesso abbia inizio. La persona che rilascia il permesso deve quindi essere sicura che tutte le misure necessarie siano state prese per rendere l'apparecchiatura sicura alla manutenzione.

TEST DI ISOLAMENTO

Ogni cavo elettrico di un impianto, che si tratti di un motore, generatore, interruttore, trasformatore, ecc. risulta accuratamente coperto con qualche forma di isolante elettrico. Il cavo stesso è di solito di rame o di alluminio, noti per essere buoni conduttori di corrente elettrica atti ad alimentare le utenze.

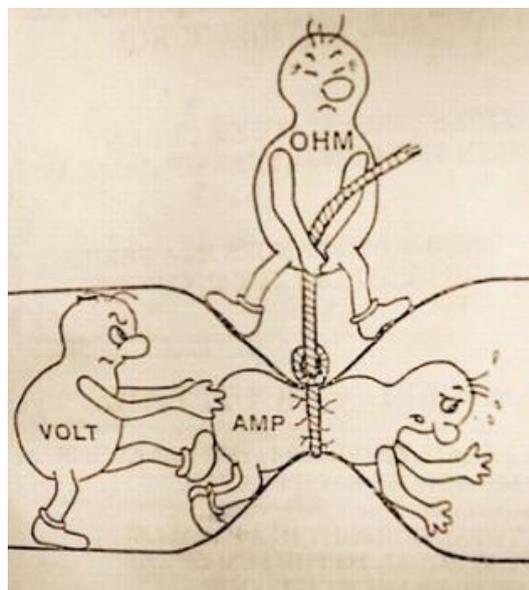
Un materiale isolante è invece, l'opposto di un conduttore; ossia resiste alla corrente e la mantiene nel suo percorso lungo lo stesso.

Per comprendere il test di isolamento è sufficiente far riferimento alla legge di Ohm ($V=RI$) e si può asserire che lo scopo di un isolante intorno ad un conduttore è molto simile a quella di un tubo dell'acqua.



La pompa esercita una pressione sull'acqua facendola scorrere lungo il tubo. Se il tubo avesse una perdita, questa provocherebbe uno spreco di acqua ed anche un abbassamento della pressione. Analogamente con l'elettricità, la tensione è come la pressione della pompa, che causa lo scorrere lungo il filo di rame dell'elettricità.

Quindi più tensione avremo, maggiore sarà lo scorrere di corrente elettrica; inoltre la legge di Ohm ci dice che minore è la resistenza del conduttore maggiore è la corrente a parità di tensione.



Nessun isolante è perfetto cioè ha resistenza infinita; quindi, parte della corrente elettrica scorre lungo l'isolante o attraverso di esso a terra. Inoltre una tensione maggiore tende a causare più corrente attraverso l'isolante che non è dannosa se lo stato dell'isolante risulta essere buono. Si può quindi affermare che un isolante è buono quando oppone una resistenza elevata al passaggio di elettricità.

Quando un sistema elettrico è nuovo, l'isolamento elettrico deve risultare di valore molto elevato, Nel tempo però, il suo stato si può deteriorare a causa di una serie di eventi quali danni meccanici, vibrazioni eccessive, caldo o freddo, sporcizia, olio, vapori corrosivi, umidità, ecc.

Questo processo di corrosione causa un eccessivo passaggio di corrente attraverso l'isolante. Talvolta il calo di resistenza di isolamento è improvviso, ma in genere però scende a poco a poco dando quindi un avvertimento; per cui è possibile controllare la tendenza del materiale verso il suo deterioramento attraverso il rilievo di misure a periodi regolari. Tali controlli previsti permettono il ricondizionamento del materiale prima del guasto completo.

Se non ci sono controlli, un motore con scarso isolamento non solo può essere pericoloso al tatto quando viene applicata tensione, ma anche essere causa di incendio.

La qualità di un isolante dipende dalla resistenza che è possibile misurare attraverso l'utilizzo del tester di isolamento megaohmetro, misuratore di resistenza con un generatore di corrente continua incorporato, senza provocare il deterioramento dell'isolamento.

I valori di resistenza effettivi possono essere influenzati da fattori quali il contenuto di temperatura o umidità dell'isolamento; tali valori, secondo le prescrizioni regolamentari, devono essere di 1Mega Ohm per 1000V di tensione.



I voltaggi in continua per i test sono, per una buona manutenzione, i seguenti:

Equipment AC Rating	DC Test Voltage
up to 100 volts	100 and 250 volts
440 to 550 volts	500 and 1,000 volts
2,400 volts	1,000 to 2,500 volts or higher
4,160 volts and above	1,000 to 5,000 volts, or higher

Nel caso in cui si voglia effettuare un calcolo più preciso, si può applicare la seguente formula:

$$\text{DC Proof After Service} = 0.6 \times \text{Factory AC Test} \times 1.6$$

Per ben comprendere lo stato dell'isolamento è tuttavia necessario far riferimento a degli indici, i quali rappresentano rapporti tra le resistenze di isolamento misurate ad istanti diversi.

Il primo indice che consideriamo è il DAR "Dielectric Absorption Ratio". Il rapporto di assorbimento dielettrico è un indice adimensionale e rappresenta il

rapporto tra la resistenza di isolamento misurata a 30'' e quella misurata a 60''. Se tale rapporto risultasse essere inferiore all'unità implicherebbe un danneggiamento del dielettrico, mentre per altri valori:

$$DAR = \frac{R_{60}}{R_{30}}$$

DAR	Insulation Condition
<1	Dangerous
<1.25	Questionable
≤ 1.6	Adequate
>1.6	Good

L'altro indice al quale si fa riferimento e che prevede un tempo di analisi maggiore è PI "Polarization Index". L'indice di polarizzazione è anch'esso un indice adimensionale e rappresenta il rapporto della resistenza di isolamento misurata a 60'' e quella misurata a 600''. Se tale rapporto risultasse essere inferiore all'unità implicherebbe un danneggiamento

del dielettrico, mentre per altri valori:

$$PI = \frac{R_{600}}{R_{60}}$$

PI	Insulation Condition
<1	Dangerous
<2	Questionable
<4	Good
>4	Excellent

Il test di isolamento inoltre può tornare molto utile su apparecchiature che sono state interessate da un allegamento, in questi casi se l'apparecchiatura è stata bagnata da acqua dolce si procede con l'essiccazione; invece in caso di acqua salata, sarà necessario innanzitutto lavare via il sale con acqua fresca.

Poi si procede a monitorare periodicamente il processo di essiccazione con test di isolamento periodici e risulta fondamentale il comparamento dei risultati con quelli effettuati prima che l'apparecchiatura si allagasse.

CARATTERISTICHE OPERATIVE DI SICUREZZA ASSOCIATE AI RISCHI ELETTRICI

Tutti i lavori su impianti elettrici sono regolati da leggi e norme tecniche. In Italia le norme sono emesse dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) che segue le impostazioni del Comitato Europeo di normazione elettrotecnica (CENELEC). Infine, dobbiamo considerare i regolamenti dei Registri di Classifica.

Le condizioni ambientali a bordo possono risultano diverse rispetto alle condizioni di servizio in ambienti industriali terrestri; l'applicazione marina deve considerare l'installazione in particolari condizioni, quali ad esempio ambienti caratterizzati da temperature e umidità elevate, anche in atmosfera salina (ambiente caldo-umido salino), presenza di vibrazioni di ampiezza e durata rilevanti.

I registri navali, al fine di assicurare il corretto funzionamento in tali ambienti, richiedono che questi apparati, siano sottoposti a specifiche prove di omologazione. Tra le più significative vi sono quelle relative alla resistenza alle vibrazioni, a sollecitazione dinamiche, all'umidità ed al caldo-secco.

Oggi giorno a livello mondiale operano una molteplicità di registri navali, fra questi i più importanti appartengono ad un'associazione internazionale dei registri navali IACS "International Association of Classification Societies" nata l' 11 settembre del 1968 con lo scopo di utilizzare degli standard comuni tra i vari registri. La sua attività si svolge principalmente in coordinamento con l'IMO e seguendo i criteri stabiliti nella convenzione internazionale SOLAS per garantire al massimo le condizioni di sicurezza della navigazione. L'Italia è rappresentata nell'associazione dal Registro Italiano Navale RINA.

Fondamentale per la sicurezza a bordo delle navi è la realizzazione di impianti elettrici sicuri. Uno dei criteri più importanti al fine del raggiungimento di quest'obiettivo, è preservare le condizioni di progetto senza manomissioni.

Inoltre tutti i lavori elettrici devono essere svolti secondo le prescrizioni imposte dalle norme e dalle leggi.

Secondo la norma CEI 11-48 al punto 3.4.2 si definisce lavoro elettrico un lavoro svolto su, con od in prossimità di un impianto elettrico, quali prove e

misure, sostituzioni, modifiche, ampliamenti, montaggi, ispezioni e riparazioni.

Secondo la norma CEI 11-27 sono quei lavori eseguiti su impianti elettrici con accesso alle parti attive e conseguente rischio di folgorazione o arco elettrico.

Il D.M. 4 febbraio 2011 all'articolo 2 definisce parte attiva un conduttore o parte conduttrice che in condizioni di servizio ordinario risulta essere sotto tensione. Inoltre risulta fondamentale la suddivisione, secondo la legge, tra lavori elettrici sotto tensione, che riguardano tutti quei lavori eseguiti su parti attive di un impianto che si trovano in tensione o che sono fuori tensione ma non collegate a terra ed in corto circuito, ed i lavori fuori tensione, che invece riguardano tutti quei lavori eseguiti su parti attive, dopo che queste sono state rese prive di tensione e di carica elettrica, sezionate da ogni possibile fonte di alimentazione e collegate a terra ed in corto circuito.

Inoltre la stessa legge definisce per messa a terra ed in corto circuito quell'operazione attraverso la quale le parti attive costituenti un impianto elettrico vengono collegate con la terra, direttamente o tramite un impianto di terra, e tra loro, direttamente o tramite parti conduttrici.

Risulta evidente quindi come i lavori elettrici riguardano sempre parti attive, mentre lavori riguardanti parti isolanti o involucri di apparecchi o componenti elettrici non sono considerati lavori elettrici.

Pertanto l'installazione di un impianto elettrico non costituisce lavoro elettrico almeno sino a quando non si dà tensione all'impianto.

Quindi in generale è possibile affermare che si configura lavoro elettrico ogni qualvolta si deve aver accesso alle parti attive di un sistema, siano esse in tensione, ed in tal caso bisogna adottare tutte le misure protettive al fine di isolare l'operatore, che fuori tensione.

Inoltre è fondamentale ricordare che per intervento su parti attive non si intende soltanto il contatto con queste ma anche l'avvicinamento eccessivo ad esse.

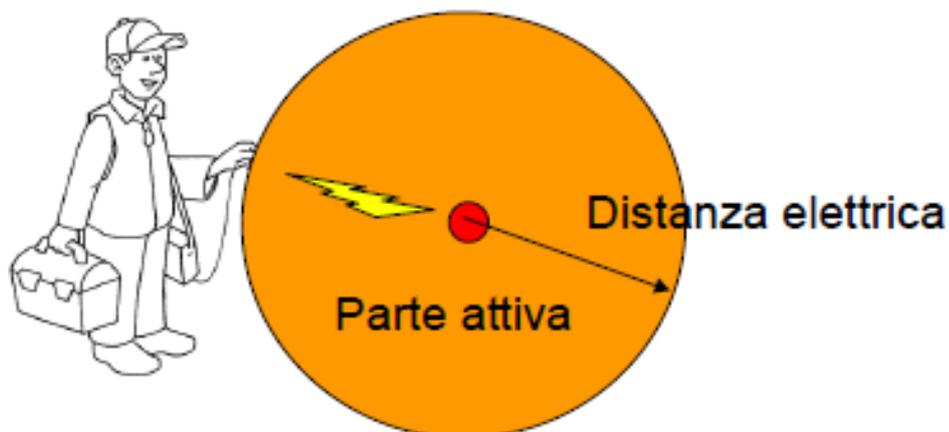
In ambito navale, secondo i registri, sono considerati sistemi elettrici ad alto voltaggio tutti quegli impianti in corrente alternata a tensione nominale superiore a 1000 V valore efficace ed impianti in corrente continua con valore istantaneo massimo della tensione in condizioni nominali di funzionamento superiore a 1500 V. In generale comunque la tensione nominale del sistema non deve superare i 15Kv.

Tutti quei sistemi elettrici in ambito navale in corrente alternata a tensione nominale inferiore o uguale a 1000 V valore efficace e tensione nominale superiore a 50 V valore efficace ed impianti in corrente continua con valore istantaneo massimo della tensione in condizioni nominali di funzionamento inferiore o uguale a 1500 V e con valore istantaneo massimo della tensione in condizioni nominali di funzionamento superiore a 50 V si definiscono sistemi elettrici in bassa tensione; infine tutti quei sistemi elettrici in corrente alternata a tensione nominale inferiore o uguale a 50 V valore efficace ed impianti in corrente continua con valore istantaneo massimo della tensione in condizioni nominali di funzionamento inferiore o uguale a 50 V si definiscono in bassissima tensione o tensione di sicurezza.

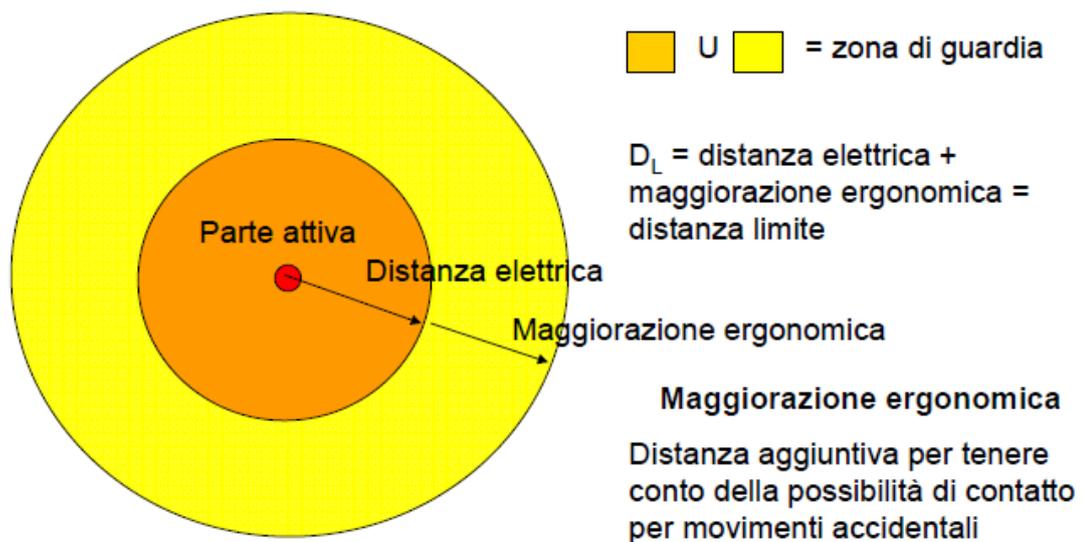
Vista la pericolosità dei predetti sistemi è necessario ricordare che soltanto attraverso l'adozione di opportuni precauzioni e di dispositivi che le norme e le leggi ci impongono o che lo sviluppo tecnico ci mette a disposizione, è possibile garantire quel livello di sicurezza accettabile che comunque non potrà mai essere assoluto.

Siccome i lavori elettrici non necessariamente prevedono un contatto diretto, risulta fondamentale definire una serie di distanze.

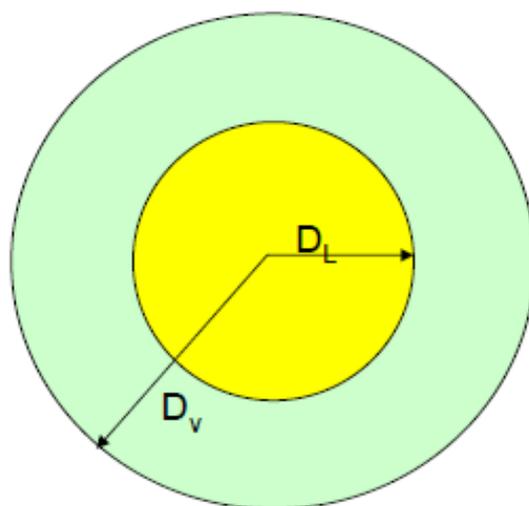
Si definisce distanza elettrica quella distanza alla quale può avvenire una scarica in aria.



Si definisce distanza limite, o anche detta zona di guardia, la somma tra la distanza elettrica e la maggiorazione ergonomica, dove quest'ultima rappresenta quella distanza aggiuntiva per tener conto della possibilità di contatto per movimenti accidentali.



La zona subito circostante alla zona di guardia viene definita zona di prossimità o di prossimità.



Zona di guardia

Zona prossima

Tutte queste distanze risultano essere direttamente proporzionali al valore del voltaggio del sistema elettrico. Le norme, attraverso una tabella, forniscono direttamente i valori relativi alla distanza limite ed alla zona di prossima:

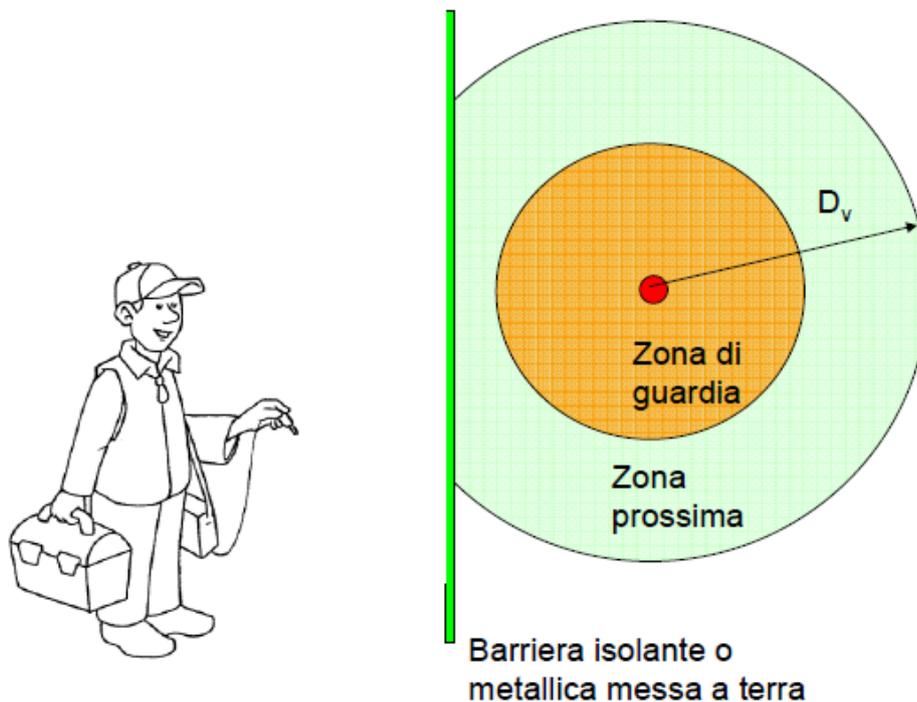
V_n [kV]	D_L [mm]	D_V [mm]
≤ 1	150	650
10	150	1150
15	200	1200
20	280	1280
30	400	1400
45	600	1600
66	780	1780
132	1520	3520
150	1670	3670
220	2300	4300
380	3940	5940

A seconda della distanza, alla quale si procede con il lavoro, cambia il livello di rischio, per cui le norme dividono i lavori elettrici in:

- lavoro elettrico a contatto se effettuato all'interno della zona di guardia;

- lavoro elettrico in prossimità se effettuato all'interno della zona di prossimità;
- lavoro elettrico a distanza se effettuato all'esterno della zona di prossimità.

In caso di presenza di barriere tali distanze non andranno considerate.



In caso di sistema elettrico posto e confermato in sicurezza tali distanze non andranno considerate.

Il lavoro elettrico a contatto risulta quello più pericoloso, in quanto si è più vicini alla parte attiva, ed infatti questa distanza rappresenta il limite da non valicare né direttamente, con parti del corpo, né indirettamente, con oggetti maneggiati, quando non si opera secondo le procedure previste per i lavori sotto tensione. È la distanza al di sotto della quale non è garantita la tenuta elettrica in qualsiasi condizione, vale a dire che essa considera le condizioni ambientali estreme come umidità, pressione, ecc. e la presenza delle sovratensioni possibili.

Per le tensioni fino a 1000 V, la distanza limite di 15 cm, come da tabella, risulta essere di gran lunga superiore a quella necessaria a garantire la tenuta elettrica; è stata scelta per motivi storici, considerando la diffusa consuetudine degli operatori di ritenere tale valore un limite entro cui adottare misure di protezione. Per quanto riguarda i lavori elettrici in prossimità non si considerano come lavori elettrici sotto tensione.

Inoltre in base al tipo di lavoro elettrico dovranno essere scelti gli opportuni dispositivi di sicurezza individuali.

	Lavori elettrici			
<i>Stato delle parti attive</i>	Parti attive fuori tensione	Parti attive in tensione		
<i>Tipo di lavoro</i>	Lavoro elettrico fuori tensione	Lavoro elettrico sotto tensione		Lavoro elettrico in prossimità <small>(previsti nella CEI 11-48 e non dalla CEI 11-27)</small>
		A contatto	A distanza	

Parti attive fuori tensione	Parti attive in tensione		
Lavoro elettrico fuori tensione	Lavoro elettrico sotto tensione		Lavoro elettrico in prossimità
	A contatto	A distanza	
Sezionamento e messa in sicurezza	Attrezzi isolati e/o DPI	Aste isolanti e DPI	Barriere o distanza con sorveglianza

In definitiva si parla di lavori elettrici se la persona svolge attività, durante le quali compie movimenti, manovra oggetti, aziona dispositivi ecc., in presenza di parti attive. Se la persona fosse immobile vicino alle parti attive, la distanza di sicurezza sarebbe quella di isolamento in aria (distanza elettrica), ma l'attività giustifica la maggiorazione di distanza (distanza ergonomica).

In generale, lavori in alta tensione a bordo devono essere svolti sempre fuori tensione. La sicurezza dei lavori elettrici dipende prevalentemente dalla preparazione professionale dell'operatore e dalla sua sensibilità alla sicurezza, prudenza, ecc., nonché al rispetto delle procedure.

Quindi preventivamente bisognerà sezionare il circuito, adottare tutta una serie di misure contro la richiusura accidentale del dispositivo ed infine verificare che il sistema elettrico sia in sicurezza.

È importante tenere presente che anche per i lavori non sotto tensione ma in vicinanza di parti in tensione occorre valutare la competenza di chi li esegue.

Il legislatore si è preoccupato anche di chi deve eseguire dei lavori generici di tipo non elettrico ma con la presenza di rischio elettrico.

Di fatto il riferimento legislativo al quale far riferimento per i lavori elettrici in alta tensione a bordo delle lavi è rappresentato dal testo unico sicurezza D.Lgs 81/08, il quale all'art.82 stabilisce che è vietato lavorare su apparecchiature in tensione salvo il caso in cui le tensioni siano di sicurezza, o quando i lavori siano eseguiti nel rispetto di alcune condizioni, tra le quali che le procedure adottate e le attrezzature utilizzate siano conformi ai criteri definiti nelle norme tecniche. In particolare sono ammessi lavori sotto tensione per (<1000V), purché l'esecuzione di lavori su parti in tensione sia affidata a lavoratori riconosciuti idonei per tale attività secondo le indicazioni della pertinente normativa tecnica.

Sulla base del fatto che il rischio elettrico non può essere eliminato, l'obiettivo concreto risulta quello di garantire un livello di sicurezza accettabile. Tutto ciò risulta possibile grazie all'adozione di buone procedure, di un buon metodo di lavoro ed il corretto utilizzo delle attrezzature di supporto e dei dispositivi individuali di sicurezza.

A tal fine, la persona autorizzata ad eseguire il lavoro, effettua una sorta di valutazione dei rischi, tenendo in considerazione una serie di aspetti, come ad esempio le condizioni e le caratteristiche specifiche del lavoro, ivi comprese eventuali interferenze, i rischi presenti nell'ambiente di lavoro e le conseguenze dell'interruzione dell'energia elettrica.

Sulla base di queste analisi egli dovrà adottare tutte le misure atte a ridurre al minimo i rischi.

Una buona procedura consiste in una sequenza di azioni e controlli che devono essere eseguiti prima dell'inizio dei lavori su impianti in alta tensione e terminare dopo l'ultimazione degli stessi.

Inoltre è importante che siano scritte in forma di check list, ordinate in senso cronologico e risultare come un set di istruzioni.

Va ricordato comunque che è consentito lavorare su apparati in alta tensione solo se preventivamente è stato aperto un permesso di lavoro. Quest'ultimo deve essere scritto in maniera univoca e chiara e deve avere una struttura come sopra descritto.

Section 1 Permit to Work Initiation

Time Permit Expires: □□□□

Ship: □□□□□ □□□□□ DD Mmm YYYY - hh:mm Maximum Validity 12 hours	Location: □□□□□ Work Description: □□□□□ Crew name; rank: □□□□□	Permit number: □□□□□
Bridge (OOW) and ECR (EOOW) informed when work begins/ends. Time notified: □□□□□ Ends: □□□□□		
Is this Permit linked to another Permit? If yes, confirm permit type and number:		Yes No
Will work affect the watertight integrity or stability of the ship or will work reduce ship's firefighting capabilities? If yes, Master's or Second in Command's approval required. If approved, Master to sign in Section 4*.		
Will work affect fire/smoke boundary integrity or Structural Fire Protection (SFP), or require removal or isolation of critical safety equipment? If yes, Authorizing Officer to inspect verify that the arrangement is properly reinstated and/or re-commissioned and sign Section 5†.		
Port Authority notified and all necessary approvals have been obtained, if applicable.		

Section 2 Permit to Work Checklist

#	Item	Checked
1.	Work activity fully documented	
2.	The current Risk Assessment has been reviewed and accepted	
3.	Disconnection confirmed effective by testing on all poles (indicator function tested)	
4.	All Lockout and Tagout measures required are in place to secure against reconnection	
5.	Switchboard grounding closed and short-circuit device connected	
6.	Necessary barriers and shielding established	
7.	Voltage tested on all poles and neutral of the local equipment where work will take place (indicator function tested)	
8.	Local grounding and short-circuit device connected and visible at the point of work	
9.	All other safety measures required by Job Safety Review in place	

Section 3 Work Review and Inspection

I have reviewed this permit with the workers/contractors and briefed them on work activity and safety precautions. I have personally inspected the work site and adjacent spaces and verified the information as per this permit and that safety procedures and equipment are in place.

Responsible Officer/ Supervisor Signature _____

Responsible Officer/ Supervisor Name: □□□□□

Date & Time: □□□□□

Section 4 Authorization to Commence Work

I am satisfied that all the necessary precautions have been taken and that the Responsible Officer/Supervisor is competent to carry out the work. I authorize the work to commence.

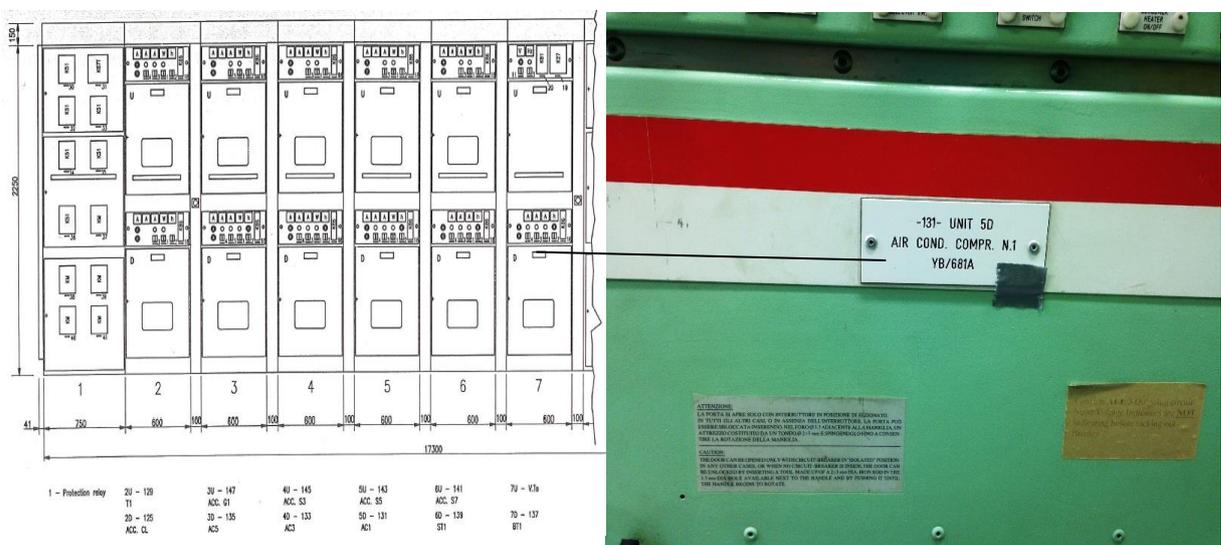
Authorizing Officer Signature _____ Rank □□□□□ Date & Time □□□□□

*From Section 1, if required. Master's approval Signature _____

Section 5 Permit to Work Completion

<p>The work has been completed and materials and equipment have been withdrawn and is considered safe. Bridge OOW and Engine OOW have been informed.</p> <p>Responsible Officer/Supervisor Signature _____</p> <p>Date & Time: □□□□□</p>	<p>†From Section1, if required: Certificate of Completion to confirm that fire/smoke boundary integrity and Structural Fire Protection has been reinstated; and that critical safety equipment has been re-commissioned in full compliance with statutory and company requirements.</p> <p>Authorizing Officer Signature _____</p> <p>Date & Time: □□□□□</p>
--	--

Di fondamentale importanza è l'individuazione puntuale del componente da manutenzionare, per questo motivo tutti i quadri sono dotati di marca pezzo unica.



Inoltre il permesso di lavoro assume anche che l'apparecchiatura da ispezionare deve essere provata morta sul punto di lavoro prima che chiunque sia autorizzato a lavorarci. Chi autorizza il lavoro quindi sarà tenuto a spiegare e dimostrare a chi farà il lavoro che il sistema è stato posto correttamente in sicurezza, tramite ispezione visiva. Se il destinatario del PTW, è soddisfatto si procede alla rimozione del pannello e si

verifica che l'apparato è morto sul posto di lavoro. Ciò avviene utilizzando una sonda, e tale prova prende il nome di prova del morto. Questa, secondo i regolamenti, deve essere effettuata in presenza sia della persona autorizzante che della persona incaricata del lavoro.

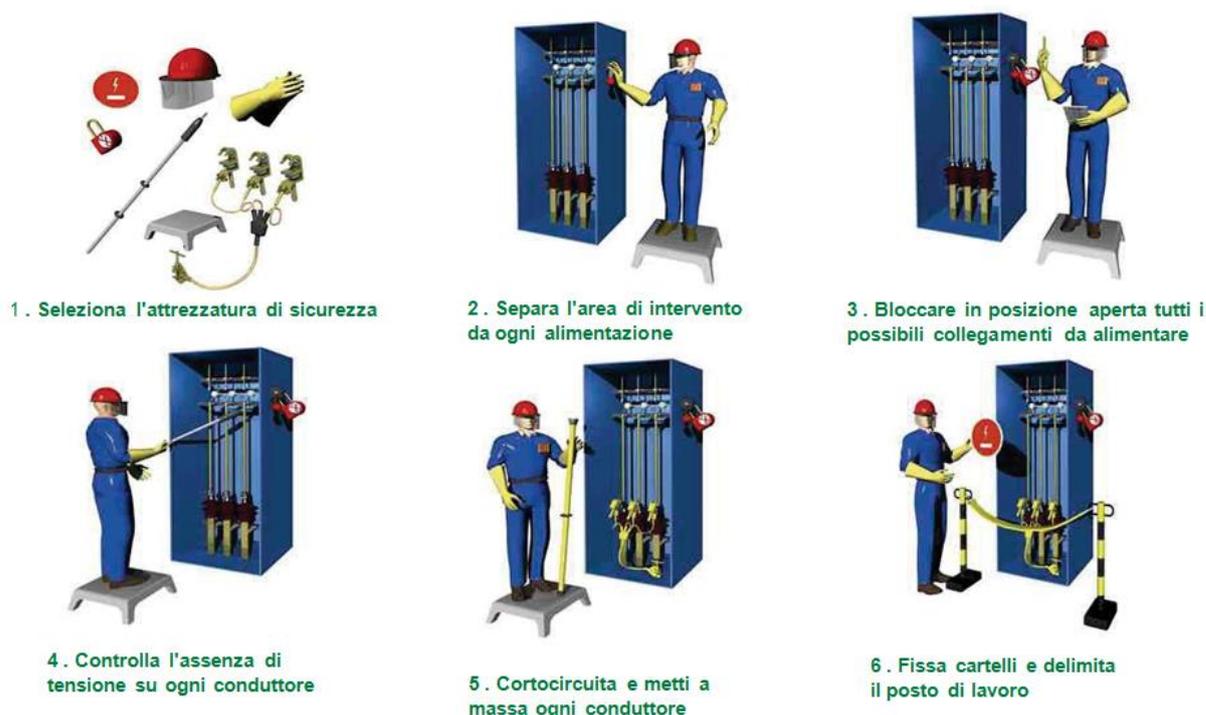


La sonda HV deve essere testata in prossimità del posto di lavoro; soltanto se si è certi del suo funzionamento allora si procede alla verifica dell'assenza di tensione.

Qualora la sonda dia esito positivo, per l'assenza di tensione, deve essere nuovamente testata al fine di verificarne ancora il corretto funzionamento.

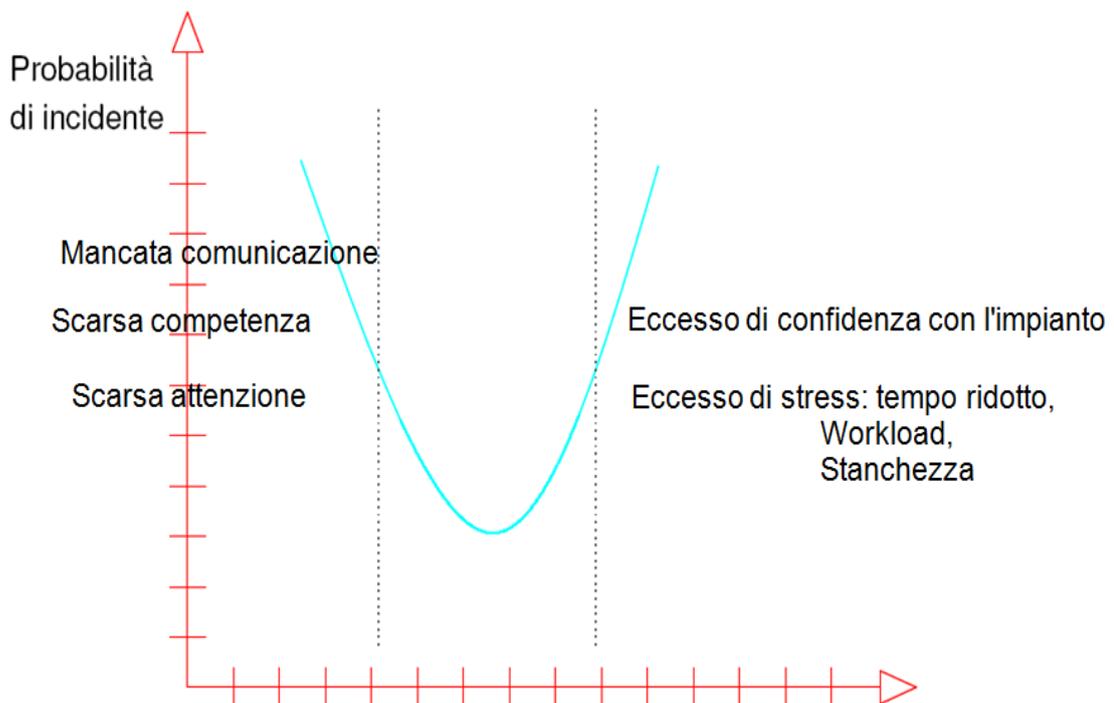
Soltanto a questo punto l'autorizzante potrà dichiarare la parte testata ufficialmente morta.

Di seguito viene mostrata una possibile sequenza di intervento su un apparato ad alto voltaggio.



In definitiva per ridurre al minimo i rischi sarà opportuno operare sempre in un ambiente sgombro da attrezzature ingombranti che possono intralciare le normali operazioni e procedure; non permettere a persone non autorizzate di sostare e disturbare le operazioni; effettuare sempre comunicazioni brevi e chiare con le altre persone coinvolte; non operare sugli

impianti di cui non se ne conosce bene il loro funzionamento, per definizione in tal caso si è considerati come persona non competente.



LA SWITCHBOARD

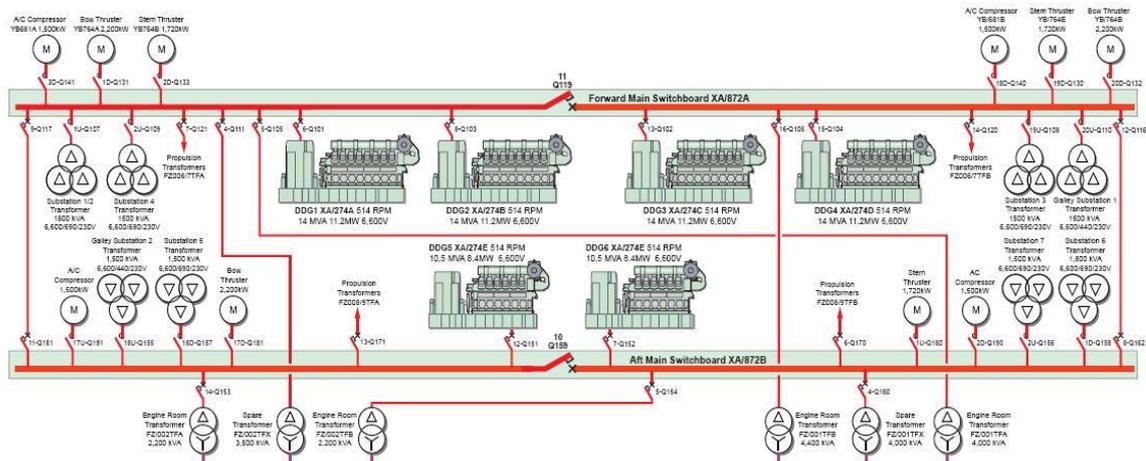
La parte di impianto in alta tensione di maggiore considerazione è la Switchboard, intesa come locale adibito all'installazione di tutti quei dispositivi ed ausiliari, atti al trasporto, a mantenere, ed interrompere il flusso di energia elettrica, sia in condizioni ordinarie di lavoro, che in condizioni di guasto.

Tutti i dispositivi elettrici in essa contenuti devono essere progettati, costruiti, installati e protetti. Inoltre deve essere garantito l'accesso ad ogni suo componente, in modo da prevenire in modo ragionevole il pericolo di incidenti.



La funzione della switchboard è quella di controllare e distribuire l'energia elettrica agli utenti/generatori ad essa collegati. Assolve principalmente a due funzionalità e cioè esegue operazioni di controllo di tipo operativo per la normale conduzione degli impianti, apertura e chiusura di breakers, e deve effettuare operazioni di apertura e messa a terra delle linee di alimentazione in modo tale da permettere la manutenzione in tutta sicurezza.

A titolo illustrativo viene mostrata una possibile configurazione di switchboard adottata su alcune navi.



Le switchboard sono ubicate in locali dedicati a tale scopo, i quali sono serviti da sistemi di rilevazione ed estinzione incendi appropriati per il tipo di utenze. In genere sistemi di estinzione incendio sono del tipo a CO₂.

Bisogna considerare che tutti questi locali devono essere dotati di aria climatizzata, in quanto tutte le apparecchiature in sito sono molto sensibili alla temperatura, di fatto black out preventivi sono automaticamente applicati nel caso vengono a generarsi surriscaldamenti nei quadri elettrici.

Il controllo dell'aria nel locale si riferisce anche a condizioni di umidità; non sono rari i casi di formazione di condensa all'interno dei cubicoli, e questo fenomeno costituisce una fonte di pericolo di esplosione.

Generalmente nessun tipo di tubo per il trasporto di qualunque liquido dovrebbe intersecare il locale contenente la switchboard.

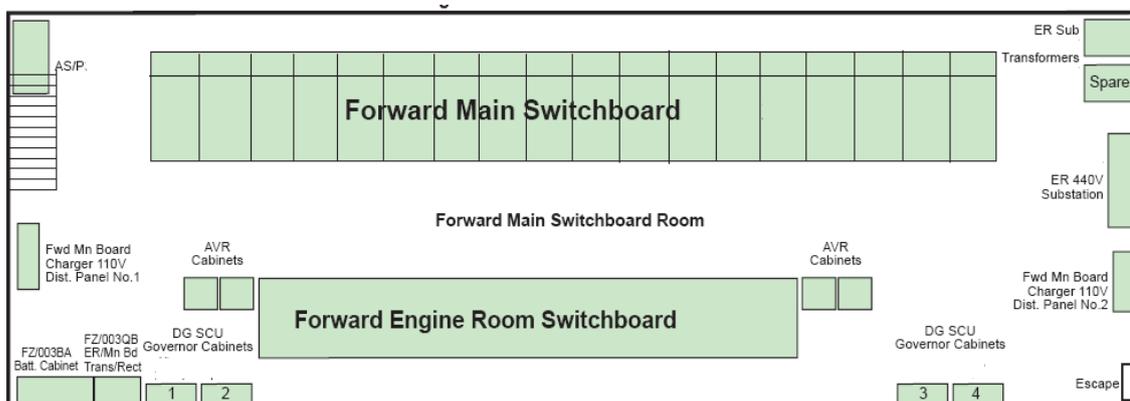
Le apparecchiature ausiliare dei quadri elettrici ed i quadri elettrici, sono generalmente inclusi in armadi metallici di concezione modulare, generalmente chiamati cubicoli.



Unitamente ai cubicoli dell'alta tensione ci possono essere altri apparati asserventi alle funzioni della MSB, come ad esempio gli UPS della switchboard (Uninterruptible Power Supply), i quali forniscono costantemente, anche in condizione di black out, la potenza necessaria per il funzionamento di tutti gli ausiliari necessari al corretto funzionamento dei vari breakers. Ad esempio annoveriamo l'alimentazione ai motori per il caricamento delle molle per la chiusura dei breakers, l'alimentazione dei relè di protezione dei breakers, ecc.

Poi ci sono gli AVR cabinet (Automatic Voltage regulator), che servono a regolare la corrente di eccitazione dell'alternatore al fine di mantenere la tensione in uscita dal generatore costante.

Un altro componente fondamentale è il Governor Control System, per il controllo degli rpm del motore diesel, al fine di poter regolare il numero di giri.



Per motivi di sicurezza, la switchboard è in genere divisa in più parti che risultano connesse tra loro per il tramite di congiuntori ed interconnettori.

Per motivi di sicurezza e operatività della nave i carichi connessi alla switchboard sono distribuiti, per importanza, su più sbarre, ad esempio i thrusters, i generatori, i compressori dell'aria condizionata, i trasformatori di macchina e dell'hotel, i breaker della propulsione, ecc.

Questo perché nel caso in cui una sbarra risultasse fuori servizio, o a causa di un guasto o per manutenzione, solo alcuni carichi ed alcuni generatori saranno inutilizzabili, mentre il resto della nave risulterà ancora operativa.

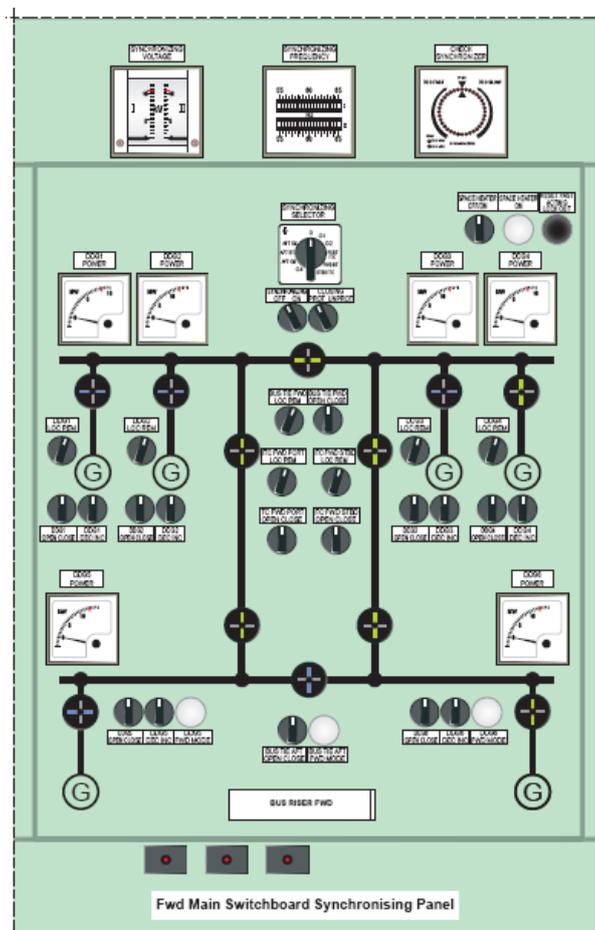
Esaminando la struttura dei cubicoli di una switchboard, si nota che ognuno di questi è dotato di una o più parti ad alta tensione, ed un vano secondario di bassa tensione, in cui sono presenti tutti quei circuiti necessari al controllo, monitoraggio del breaker stesso.

In questo vano è generalmente ubicato il relè di protezione, ed i comandi manuali per eseguire azioni da locale (apertura, chiusura, del breaker), prendere visione della lista degli allarmi e soprattutto la gestione

delle chiavi di interblocco per operazioni di isolamento dello specifico cubicolo o sistema di sbarre.



Altro elemento essenziale nella switchboard sono i pannelli per la sincronizzazione dei vari generatori o tra sbarre. Grazie a questi è possibile operare la messa in parallelo in manuale di tutti quei sistemi già alimentati, per esempio i Generatori, i congiuntori e gli interconnettori.



SISTEMI DI PROTEZIONE E DI MANOVRA

Gli impianti di bordo differiscono da quelli di terra per le condizioni particolari in cui sono chiamati a funzionare. Sulle navi l'importanza di alcuni servizi è vitale, perciò le protezioni devono essere in grado di eliminare il guasto nel più breve tempo possibile. Tra i servizi vitali si devono considerare quelli necessari per navigare, governare, manovrare e tutti quei servizi connessi con la sicurezza delle persone.

Gli obiettivi concreti restano quelli di limitare i danni alle persone ed agli impianti, di poter permettere le diverse condizioni di esercizio e contestualmente garantire la massima continuità del servizio nelle zone non interessate dal guasto. Di fatto i vari sistemi di protezione non prevengono i guasti, ma ne riducono gli effetti.

Alcuni tipi di guasti sono generati da errori umani, come il by pass degli interblocchi, e per questi tipi di guasti non esistono protezioni che possono prevenirli.

Per quanto riguarda la manutenzione dei quadri elettrici la norma CEI EN 62271-200 chiarisce che, se il quadro è installato, utilizzato e mantenuto secondo le

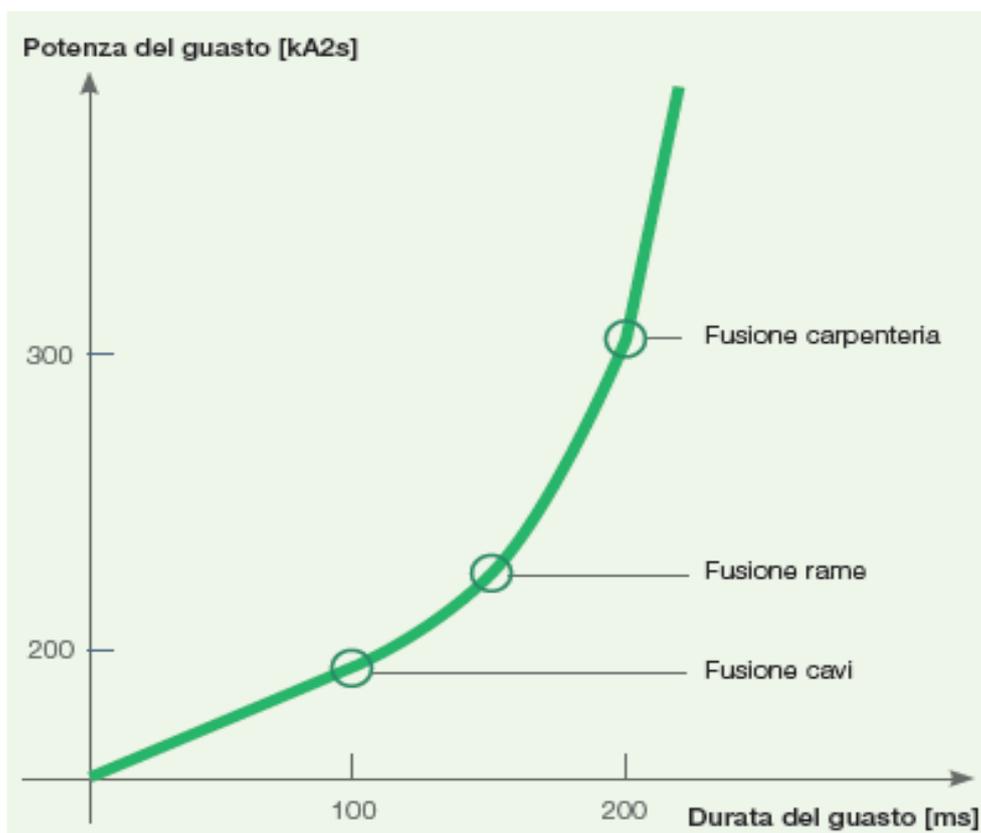
istruzioni indicate dal costruttore, la probabilità che occorra un arco interno è piccola ma non può ovviamente essere ignorata.

Quando si progetta un impianto elettrico di media tensione e si sceglie un'apparecchiatura con involucro metallico, si deve tener conto della possibilità che si verifichino guasti per arco interno.

Un progetto intrinsecamente sicuro è il primo e più importante passo nel processo di riduzione del rischio.

Questo perché l'esperienza insegna che le misure protettive intrinseche al prodotto o al sistema rimangono efficaci nel tempo mentre gli altri passi, protezioni e informazioni, possono essere rimosse o non seguite.

Un altro aspetto fondamentale, affinché l'intervento delle protezioni risulti efficace, è far in modo che il tempo di intervento sia quanto più ridotto, questo perché all'aumentare del tempo di permanenza del guasto aumenta la potenza del guasto.



Come si può osservare, un guasto della durata di 500 ms causerebbe notevoli danni all'impianto. Mentre uno di circa 100 ms provocherebbe danni limitati; se invece questo dovesse durare meno di 4 ms gli effetti risulterebbero trascurabili.

Bisogna considerare che la parte più importante del tempo di estinzione del guasto è dovuta al tempo di interruzione dell'interruttore, mentre i sistemi di rilevamento agiscono in tempi inferiori ai 15 ms. È quindi possibile rimanere complessivamente al di sotto dei 100 ms a patto però che l'interruttore sia sufficientemente veloce nell'apertura. Soltanto in questo modo è possibile diminuire gli effetti termodinamici del guasto limitando così i danni all'impianto e diminuendo la pericolosità dell'evento.

In generale il tempo complessivo d'intervento si realizza in un tempo totale costituito dalla somma di alcuni tempi elementari, quali il tempo T_1 che rappresenta il tempo d'intervento, ovvero il ritardo che intercorre tra l'istante in cui si manifesta il guasto e quello in cui il relè è in condizioni di inviare il comando d'intervento all'interruttore, un tempo T_2 tempo di ritardo applicato al relè, un tempo T_3 che è il tempo proprio d'intervento meccanico dell'interruttore,

legato alle caratteristiche costruttive e all'inerzia delle masse ed infine un tempo T_4 tempo d'arco tra i contatti.

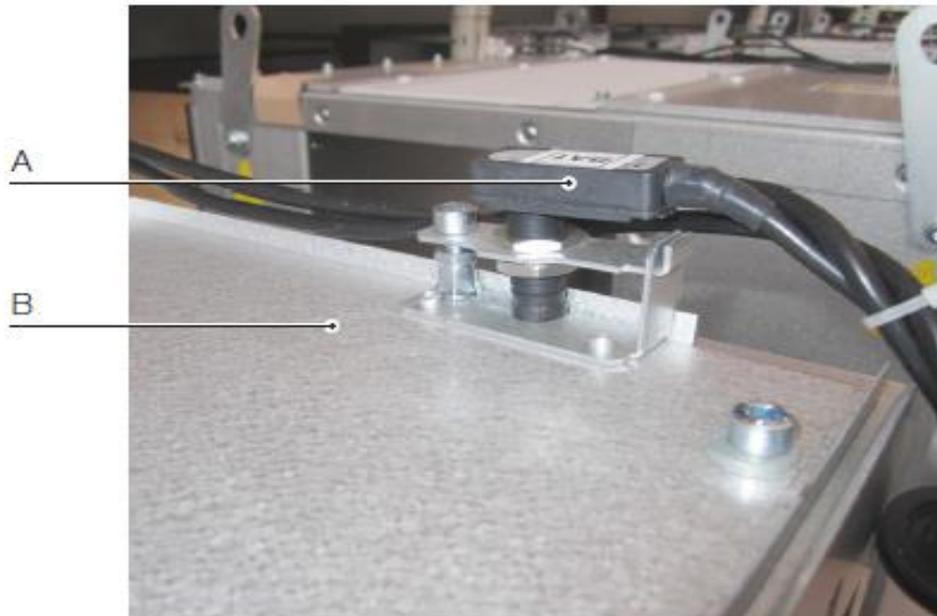
Pertanto dall'istante in cui la corrente di guasto si manifesta a quello in cui è estinta intercorre un tempo dato dalla somma dei tempi predetti $T=T_1+T_2+T_3+T_4$.

Questo non può in ogni modo essere inferiore a $T_1+T_3+T_4$. Il tempo T_2 invece è quello che consente di gestire l'intervento di più interruttori sistemati in serie su una linea interessata da guasto.

Di fondamentale importanza, all'interno dei quadri elettrici, risultano essere i sistemi di rilevazione ed estinzione degli archi elettrici "arc detector – arc eliminator".

Tra i più diffusi annoveriamo quelli a rilevamento della pressione, i quali consistono nell'utilizzare sensori di pressione che vengono posizionati nella parte alta del quadro in vicinanza ai flap di uscita dei gas caldi generati dall'arco interno. L'onda d'urto di pressione generata dall'arco si propaga in tempi brevissimi all'interno del quadro elettrico facendo intervenire i sensori che inviano il comando di apertura all'interruttore di alimentazione del quadro.

Il sensore è inserito direttamente nel circuito di comando degli interruttori di protezione. I contatti generano immediatamente un segnale di guasto non appena i flap di sovrappressione dell'unità si aprono a causa del guasto. Essendo i contatti dei sensori del tipo a posizione mantenuta, realizzano il blocco della chiusura degli interruttori dei quali hanno comandato l'apertura. Il tempo tipico di intervento dei sensori di pressione è di 15 ms al quale va aggiunto il tempo di interruzione dell'interruttore.



A) Ith limiter
B) flap di sfogo della pressione in acciaio

Poi ci sono i sensori a rilevamento di luce. I primi sistemi di questo tipo risalgono agli inizi degli anni '90; questi utilizzavano sensori di luce localizzati denominati "sensori a lente" che venivano dislocati in più punti del quadro in modo da proteggerlo contro l'arco interno.

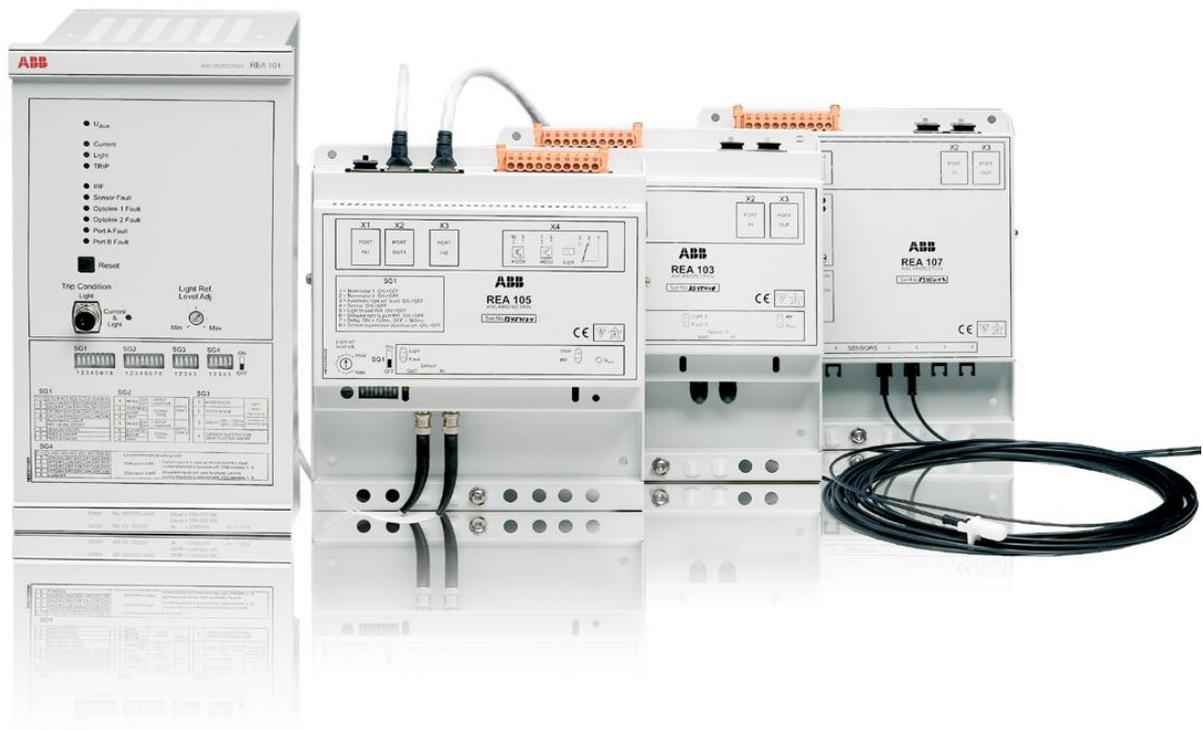
Successivamente, più di dieci anni dopo, sono apparsi sul mercato sistemi di seconda generazione che utilizzavano sensori di luce a fibra ottica in grado di assorbire la luce lungo tutta la lunghezza della fibra stessa. Il sistema a fibra ottica è lungo fino a 60 metri e viene fatto opportunamente scorrere nei

compartimenti. Essendo l'assorbimento della luce distribuito, non sussiste il rischio che a causa della struttura del quadro, il sensore a lente venga coperto e non "veda" l'arco. Inoltre, utilizzando la configurazione ad anello, è molto semplice realizzare un'autodiagnosi del sensore stesso.

In termini di sicurezza, contro i falsi interventi, il sistema legge solo la parte bassa dello spettro visibile, incluso l'ultravioletto. In secondo luogo, lo stesso è collegato normalmente a dei sensori di corrente posti nelle unità di alimentazione principale del quadro che leggono istantaneamente le correnti di guasto di fase e di terra.

In questo modo è possibile controllare la correttezza della lettura dei sensori, in quanto, durante un guasto per arco interno, si genera sia la luce dell'arco che la corrente di guasto. Il sistema agisce indipendentemente da quello di protezione tradizionale esistente e quindi non vi è la necessità di coordinamento con le altre protezioni.

Il tempo tipico di intervento di questa tipologia di sensore è di 2,5 ms al quale va aggiunto il tempo di interruzione dell'interruttore.



Fondamentali, per tutti i sistemi di protezione, sono tre caratteristiche; quella di individuare il guasto al più basso livello possibile “Sensitività”, in quanto vi è la necessità d’interrompere l’alimentazione di energia elettrica in quel punto e nel più breve tempo possibile; quella di interrompere l’alimentazione limitatamente a quell’apparato o porzione del network in cui è presente il guasto “Selettività”; infine garantire il corretto funzionamento dell’impianto da essa protetto evitando false attivazioni “Semplicità”.

L'aspetto legato alla selettività dei sistemi risulta una condizione molto importante viste le esigenze di una sempre maggiore continuità del servizio, e quindi della necessità di creare il minimo disturbo alla rete a seguito di un guasto. Per questo motivo vengono attuati degli studi per l'ottimizzazione di quest'aspetto.

Per definizione si dice che un impianto è dotato di protezioni selettive se, in caso di guasto, le caratteristiche costruttive e d'intervento dei vari apparecchi di protezione sono tali da causare soltanto l'intervento dell'apparecchio più vicino al guasto, con la conseguenza di porre fuori servizio un settore limitato dell'impianto.

Risulta evidente la necessità di garantire un certo coordinamento tra le varie protezioni e tutto ciò può essere realizzato in dipendenza dalle caratteristiche dell'impianto, e delle relative correnti di guasto, secondo due criteri fondamentali, il primo consiste nell'adottare una selettività in grandezza (selettività amperometrica); l'altra di adottare una selettività in tempo (selettività cronometrica).

La selettività amperometrica tra le due protezioni è calcolata regolando la protezione a monte al di sopra

della massima corrente che può interessare la protezione a valle.

Questo tipo di selettività si ottiene graduando la soglia di intervento delle protezioni a valori di corrente superiori a quelli che possono interessare le protezioni a valle.

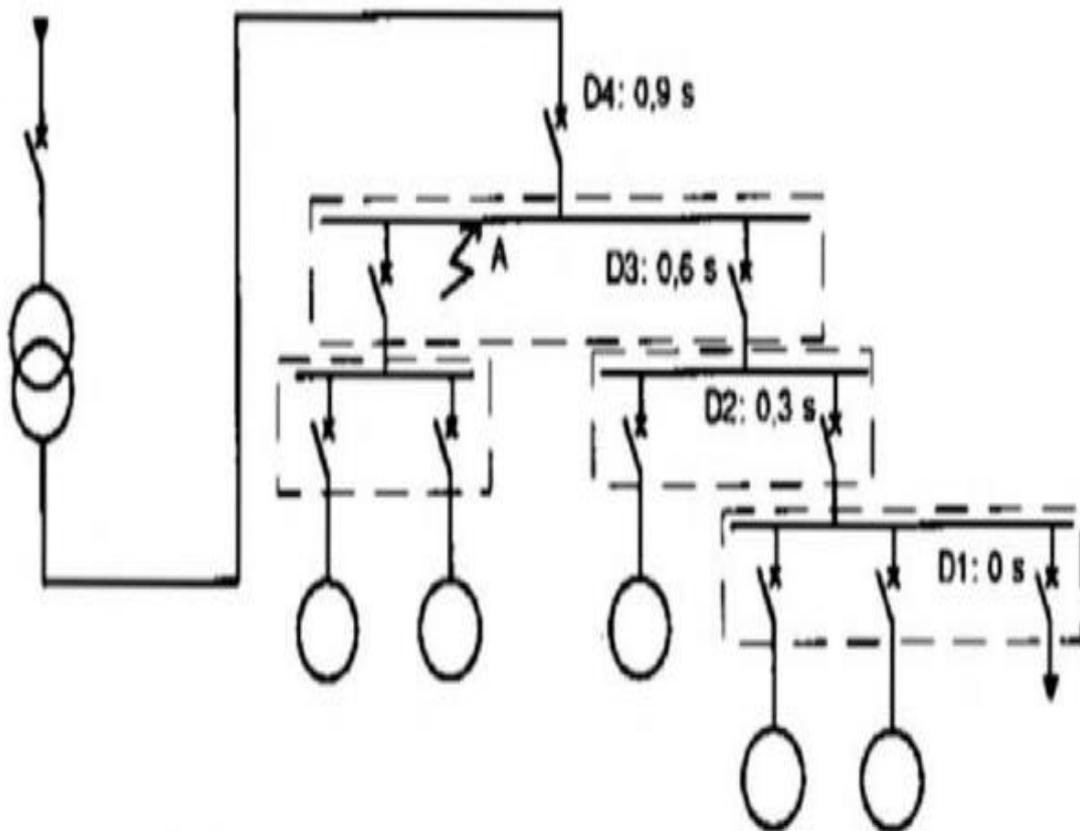
Con questa regolazione non è necessario introdurre tempi di ritardo tra le due protezioni e la protezione a monte può essere di tipo istantaneo in quanto interviene solo per guasti nella parte di impianto compresa tra le due protezioni.

La selettività amperometrica è adottata quando le impedenze in gioco nell'impianto sono sufficientemente elevate per permettere una differenziazione netta dei valori di corrente di guasto nei diversi gradini dell'impianto stesso.

Per quanto riguarda la selettività di tipo cronometrico questa è ottenuta invece graduando i tempi di intervento delle protezioni in modo che il relè più vicino al guasto intervenga in un tempo inferiore rispetto a quelli più lontani. Le regolazioni delle protezioni sono calcolate assegnando tempi man mano crescenti a partire dall'utenza fino ad arrivare alle

sorgenti di energia. Per la graduazione in tempo si deve tenere conto delle caratteristiche delle apparecchiature presenti nell'impianto, generalmente bisogna considerare un tempo di apertura degli interruttori di circa 60 ms, un tempo di inerzia delle protezioni di circa 20 ms, un massimo errore dell'intervento, temporizzato in circa 60 ms ed un margine di sicurezza di circa 50-100 ms; dalla somma di tutti questi tempi esce un delta totale di circa 250 ms.

Si ricorda che tempi troppo lunghi di persistenza del guasto possono creare seri danni all'apparecchiatura.



La selettività in tempo è il sistema più completo che consente una protezione selettiva totale sull'intero impianto anche nel caso che le impedenze di collegamento e dei diversi componenti non siano tali da differenziare a sufficienza le correnti di corto.

La scelta degli interruttori, per effettuare la protezione, viene fatta in base ad alcuni elementi quali la corrente nominale, il potere di interruzione, che viene espresso dalla più alta corrente presunta che l'interruttore è in grado di interrompere sotto una data tensione e sotto determinate condizioni del circuito e d'uso, ed dal potere di chiusura sotto corto circuito, rappresentato dalla più alta corrente di picco presunta che l'interruttore è in grado di stabilire sotto una data tensione e sotto una determinata condizione del circuito e d'uso.

Un'altra caratteristica fondamentale per gli interruttori è il principio sulla quale basano il loro intervento; quelli che intervengono in base al principio del confronto proteggono solo le apparecchiature ad esse direttamente collegate.

Il principio base del loro funzionamento è che la corrente entrante e quella uscente devono essere uguali, ed un eventuale differenza provoca l'intervento della protezione "interruttore differenziale".

Un problema rilevante per tutte le reti elettriche è la protezione contro le sovracorrenti. In tale ottica è necessario che i conduttori attivi di un circuito elettrico siano protetti da uno o più dispositivi in grado di

interrompere automaticamente l'alimentazione quando si produce sovracorrente.

Si definisce sovracorrente una qualsiasi corrente superiore alla portata I_z che può circolare nel cavo. Si tratta di correnti dannose, giacché producono aumenti di temperatura oltre il limite ammissibile. In funzione della loro entità e del tempo di mantenimento, le sovracorrenti possono generare aumenti lenti o repentini della temperatura con conseguente fusione degli isolanti se non addirittura del conduttore di rame.

Per meglio studiare il problema si usa suddividere le sovracorrenti in due famiglie:

- i sovraccarichi;
- i corto circuiti.

La protezione contro i sovraccarichi ed i corto circuiti può essere assicurata sia in modo separato, con dispositivi distinti, sia in modo unico con dispositivi che assicurano entrambe le protezioni. Per assicurare la protezione il dispositivo deve interrompere sia la corrente di sovraccarico sia quella di corto circuito, in qualunque punto della linea, prima che esse provochino nel conduttore un riscaldamento tale da

danneggiare l'isolamento; in generale deve essere installato all'origine di ogni circuito e di tutte le derivazioni aventi portate differenti (diverse sezioni dei conduttori, diverse condizioni di posa e ambientali, nonché un diverso tipo di isolamento del conduttore).

La frontiera tra sovraccarico e cortocircuito è quanto mai labile e soggettiva, mancando un oggettivo criterio per fissarla.

Anche le norme CEI non si sbilanciano eccessivamente a riguardo; pur tuttavia studiano separatamente queste correnti e prevedendone il controllo e l'interruzione secondo procedure diverse e quasi indipendenti.

Nella tabella seguente sono evidenziate le differenze principali.

	<i>Sovraccarichi</i>	<i>Corto Circuito</i>
<i>Stato dell'Impianto</i>	Integro	Guasto
<i>Range di Valori</i>	$I_z \div 10I_z$	$\geq 10I_z$
<i>Termodinamica</i>	Fenomeno lento e diabatico	Fenomeno velocissimo e adiabatico
<i>Cause</i>	Umane volontarie	Umane involontarie o accidentali
<i>Tempo-Durata</i>	dai secondi, ai minuti alle ore	Millisecondi
<i>Apparecchio di Protezione</i>	Interruttore automatico	Interruttore automatico o fusibile
<i>Installazione della Protezione</i>	Qualsiasi punto sulla linea	All'inizio della linea
<i>Relè di Sgancio dell'Interruttore</i>	Termico bimetallo	Bobina elettromagnetica

Una prima differenza riguarda lo stato dell'impianto.

I sovraccarichi si manifestano mentre l'impianto è elettricamente sano, cioè privo di guasti e sottoposto a normali modalità di lavoro. In questo caso responsabile dell'evento è ovviamente un operatore, che sta sfruttando oltre misura, per la quantità o per la sollecitazione unitaria, gli apparecchi utilizzatori a sua disposizione (motori, pompe, corpi illuminanti, ecc.) e di conseguenza, sollecita eccessivamente le condutture coinvolte che assorbono correnti elevate, superiori alla portata e provocando un sovraccarico nei cavi.

Il corto circuito avviene invece in un impianto o in un componente in seguito ad un guasto. Per guasto s'intende un cedimento casuale e involontario dell'isolamento di uno o più cavi in tensione verso massa o fra loro. Tale situazione causa un assorbimento di corrente elevatissima tra i due punti in avaria.

Una seconda differenza è puramente quantitativa e convenzionale e riguarda corrente e tempo. Consiste nel limitare ad una corrente pari ad esempio a 10 volte la I_z , il confine di demarcazione tra correnti di sovraccarico o di corto circuito e nel fissare in pochi secondi (fino a cinque) il tempo di mantenimento, che

caratterizza i cortocircuiti, mentre tempi di durata superiore si considerano dovuti a sovraccarichi.

Una terza differenza riguarda la termodinamica del fenomeno. Il sovraccarico, per le limitate correnti in gioco, può essere tollerato per qualche tempo e poi interrotto, con assoluta facilità, dai dispositivi interni di apertura degli interruttori automatici. Il cortocircuito, al contrario, deve essere interrotto istantaneamente e inoltre l'apertura della corrente sollecita pesantemente i dispositivi spegni arco interni agli interruttori.

Una quarta differenza s'intravede nel diverso modo di rilevazione e sgancio. Il sovraccarico è controllato da relè a bimetallo precisi, ma lenti e tolleranti, mentre il corto è individuato e sganciato da relè elettromagnetici, sensibilissimi e alquanto rapidi. Del problema della protezione contro le sovracorrenti si fa carico per antonomasia l'interruttore magnetotermico, che deve essere costruito rispettando le specifiche di costruzione, di taratura e di prova fissate dalle norme nazionali e internazionali.

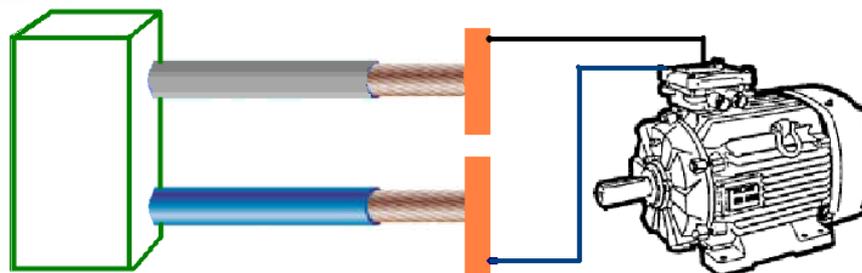
Quindi:

- ***sovracorrenti dovute a sovraccarichi*** caso tipico di un circuito elettricamente sano, interessato da una

corrente fino ad un massimo di 6 - 8 volte la corrente nominale e che può essere sopportata per un tempo determinato producendo sollecitazioni termiche. Un sovraccarico non controllato può degenerare rapidamente in un corto circuito e quindi sarà necessario adottare delle protezioni che intervengano in tempi tanto più brevi quanto maggiore è l'entità del sovraccarico;

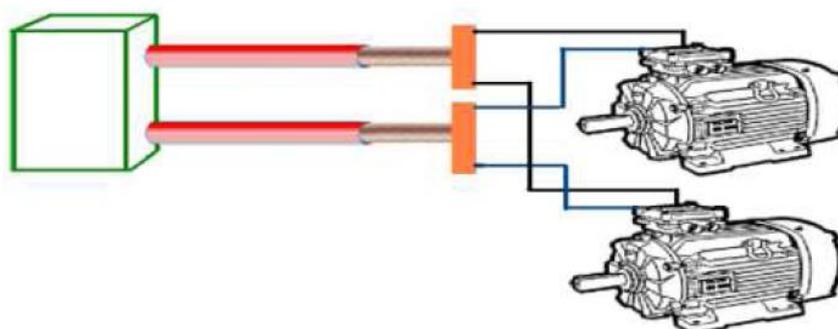
- ***sovracorrenti dovute a guasti o corto circuiti*** si verificano in un circuito elettricamente guasto a causa di un contatto di impedenza nulla tra due parti in tensione con esclusione della parte di impianto a valle del guasto. La corrente diventa molto intensa in poco tempo sottoponendo il circuito a sollecitazioni termiche, a sforzi elettrodinamici e provocando archi elettrici che possono essere causa d'innescò d'incendio o di esplosioni. Poiché il funzionamento in corto circuito provoca danni in tempi brevissimi, il guasto deve essere eliminato quasi istantaneamente.

Vediamo alcuni esempi di sovraccarico.



nel funzionamento normale la temperatura dell'isolante dei cavi non supera il valore massimo ammissibile (70 °C per PVC – 90 °C per EPR):

$$\text{corrente di impiego } I_b \leq \text{portata } I_z$$



nel funzionamento in sovraccarico la temperatura dell'isolante dei cavi supera il valore massimo

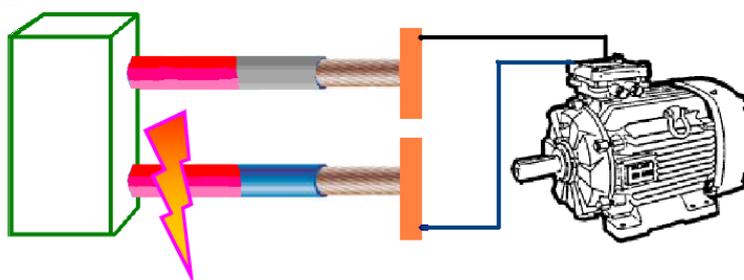
ammissibile, e a lungo andare, ne causa il degrado:

$$\text{corrente di sovraccarico } I_b > \text{portata } I_Z$$

Nota bene:

- *lungo il circuito non è presente alcun guasto di isolamento;*
- *la corrente di sovraccarico si manifesta in tutta la tratta della conduttura;*
- *la corrente di sovraccarico non è in genere molto elevata (tipicamente fino a qualche multiplo della portata).*

In caso di corto circuito



la perdita d'isolamento tra due parti a diverso potenziale; la temperatura dell'isolante dei cavi supera

notevolmente il valore massimo ammissibile, ed in tempi brevi, ne causa il degrado:

corrente di corto circuito ICC >> portata IZ

Nota bene:

- *lungo il circuito è presente un guasto di isolamento;*
- *la corrente di corto circuito si manifesta a monte del punto di guasto ma non a valle;*
- *la corrente di corto circuito può essere molto elevata (dell'ordine di decine di kA);*
- *agli effetti termici sono associati anche fenomeni di sforzi elettrodinamici.*

Molto importante è la temperatura ambiente in cui un cavo è installato; è evidente che quanto più è elevata, tanto minore è la corrente che può circolare in un cavo. Al limite un conduttore isolato in PVC non può essere adottato in un locale la cui temperatura è maggiore di 70°C.

Per valori di corrente molto maggiori della portata non si può più parlare di sovraccarico ma di corto circuito. Poiché il funzionamento in corto circuito provoca danni in brevissimo tempo (sollecitazioni termiche, elettrodinamiche, archi elettrici che possono innescare esplosioni e incendi) i relativi dispositivi di protezione devono intervenire istantaneamente.

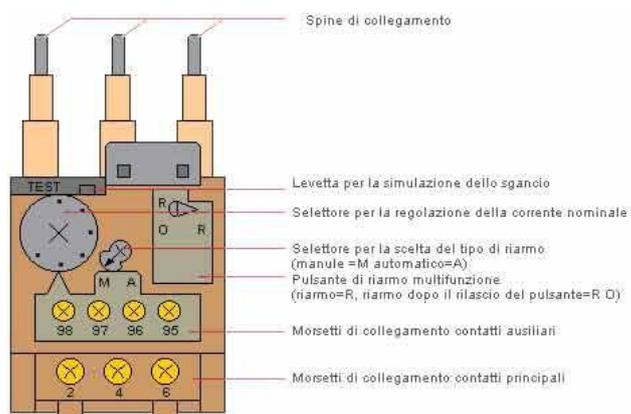
<i>Sigla</i>	<i>Tipo di materiale</i>	<i>Temperatura Massima di esercizio (°C)</i>	<i>Temperatura Massima di cortocircuito (°C)</i>
EI1	Gomma naturale	60	200
EI2	Gomma siliconica	180	350
TI1	Polivinilcloruro (posa fissa)	70	160
TI2	Polivinilcloruro (posa mobile)	70	150
G5/G7	Gomma etilpropilenica (EPR)	90	250
G9/10	Gomma reticolata (XLPE)	90	250
R2	Polivinilcloruro (posa fissa)	70	160

Tab 8.1 - Massima temperatura di funzionamento per gli isolanti più comuni

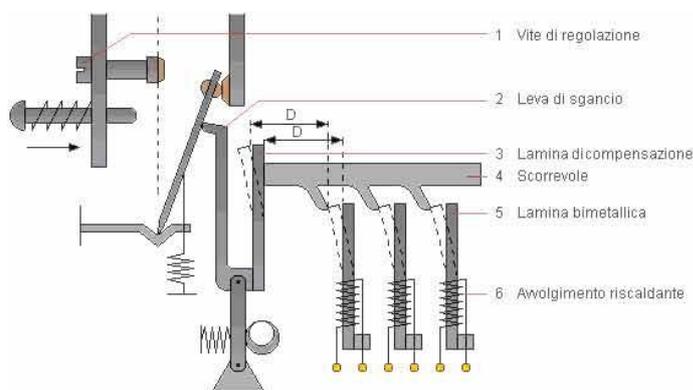
L'art. 431-1 delle norme CEI 64-8 impone che i conduttori attivi debbano essere protetti da uno o più dispositivi che interrompano automaticamente l'alimentazione quando si produce un sovraccarico o un cortocircuito.

Queste situazioni, entrambe pericolose, possono essere affrontate in modo distinto oppure contemporaneamente utilizzando i seguenti dispositivi:

Relè termici i quali sono elementi dotati di un dispositivo sensibile alla temperatura del cavo e di una caratteristica di intervento tempo corrente e che proteggono dai sovraccarichi; interruttori automatici magnetotermici che sono dotati di un dispositivo sensibile alla temperatura del cavo (relè termico) e di un dispositivo che interviene istantaneamente per le elevate correnti di corto circuito (relè magnetico), essi garantiscono la protezione sia per i sovraccarichi che per i corto circuiti.



Costruttivamente si presenta costituito da un certo numero di lamine bimetalliche, una per fase, che si deformano col calore generato da un assorbimento eccessivo di corrente che permane nel circuito per un certo tempo.



La deformazione è resa possibile dall'accoppiamento di due metalli che possiedono un coefficiente di dilatazione termica diverso, agendo su di un cinematismo determina lo sgancio del relè. Con lo sgancio si provoca generalmente la commutazione di due contatti ausiliari di cui uno utilizzato per la diseccitazione della bobina del contattore che alimenta il circuito del motore e l'altro per una eventuale segnalazione.

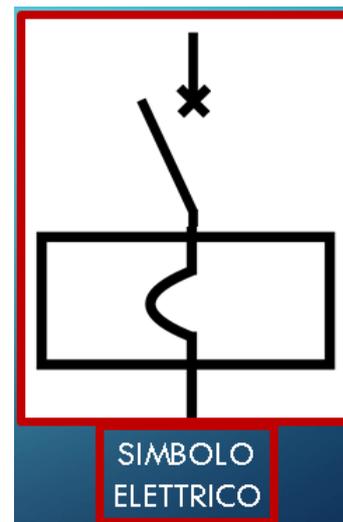
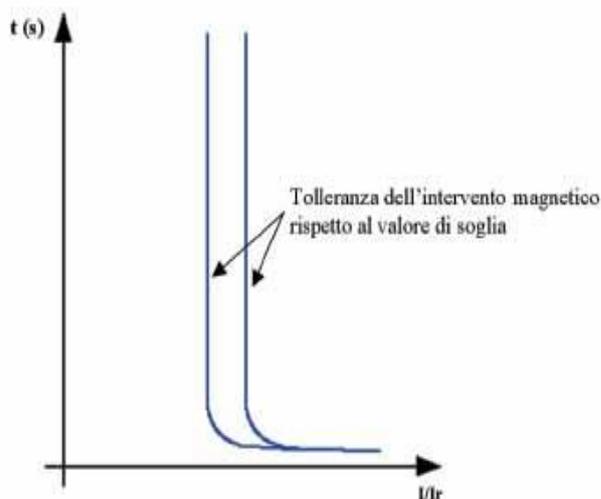
Il termico è una protezione a tempo di intervento inverso dove il tempo di intervento risulta inversamente proporzionale all'entità del guasto (sovraccarico).

Nel relè termico i bimetalli possono essere attraversati direttamente dalla corrente assorbita dall'utilizzatore; in altri casi la corrente di sovraccarico riscalda il bimetallo tramite un conduttore avvolto sulle lamine bimetalliche stesse, oppure nel caso di correnti elevate, dalla corrente secondaria di un trasformatore di corrente. I relè termici possono essere utilizzati anche in corrente continua ma in questo caso l'uso è limitato per impieghi in corrente alternata. In quest'ultimo caso è possibile utilizzare TA a ferro saturo che permettono di ritardare l'intervento del relè quando si devono proteggere motori con avviamento pesante (pompe, centrifughe, ventilatori, ecc..).

Il relè magnetico è costituito da un'ancora di materiale ferromagnetico, su cui è avvolto un conduttore.

Quando tale conduttore è percorso da una corrente adeguata, il materiale si magnetizza ed attira a sé un contatto, provocando l'apertura del circuito in cui è inserito il relè. Questo dispositivo, a differenza di quello termico, non

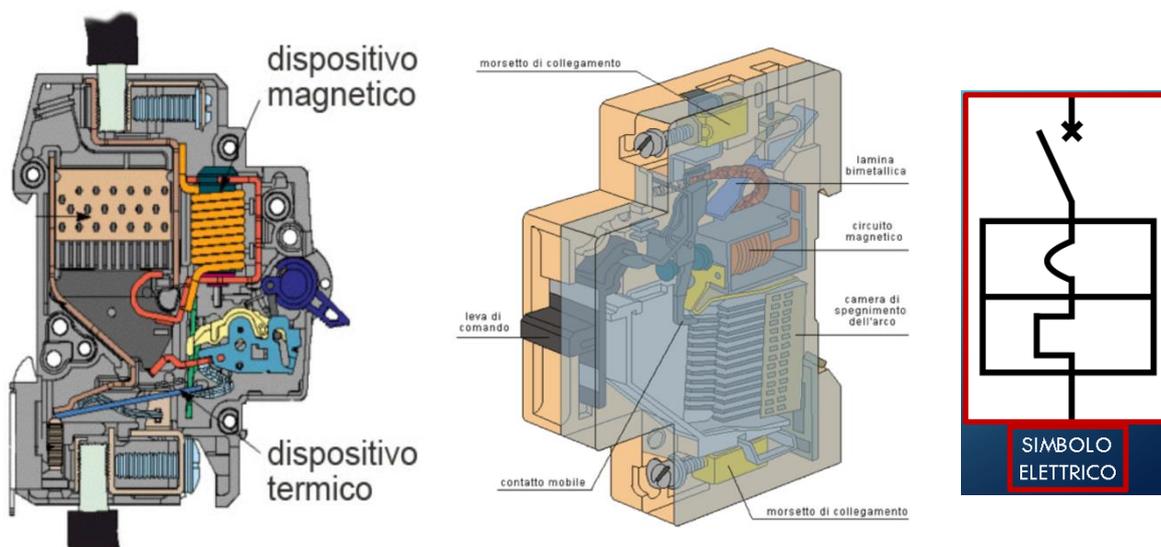
è un relè a tempo inverso, ma ad intervento istantaneo, in quanto il circuito viene interrotto quando viene superato il valore di soglia del relè.



Dall'unione del relè termico e di quello magnetico si ottiene l'interruttore magnetotermico, la cui caratteristica di intervento tempo-corrente è data dalla fusione delle caratteristiche dei due relè che lo costituiscono.

La prima parte della curva è una curva a tempo inverso e corrisponde al relè termico, mentre la seconda parte della curva è ad intervento istantaneo e corrisponde al relè magnetico.

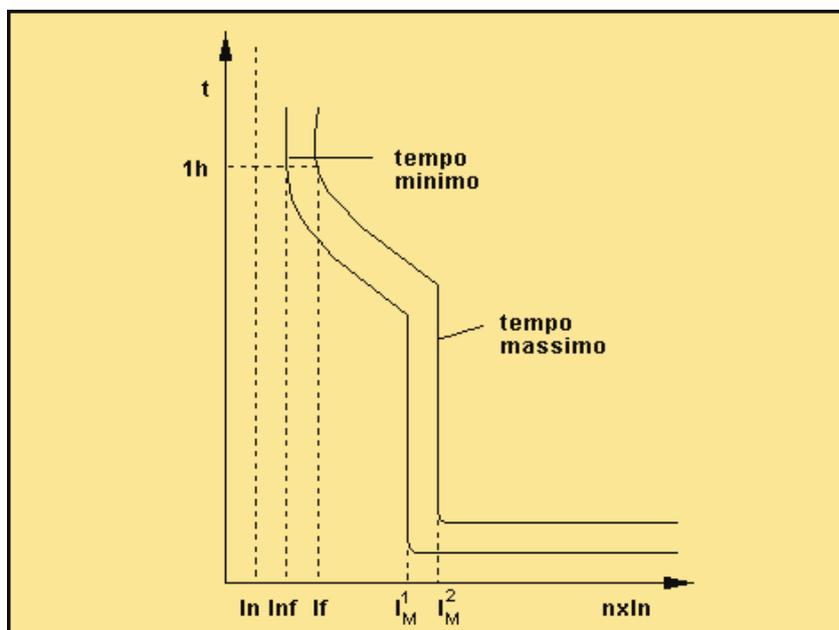
Questo tipo di relè risulta essere l'interruttore più diffuso della distribuzione elettrica mondiale.



Si definisce caratteristica d'intervento il comportamento dell'interruttore nei confronti del tempo necessario per l'intervento all'apparire di una sovracorrente. Le caratteristiche, i cui valori minimi sono fissati dalle norme, vengono fornite dai costruttori sotto forma di curve e devono essere riferiti ad un valore della temperatura ambiente.

La scala delle correnti è normalmente espressa quali multipli della corrente nominale (I/I_n - rapporto tra la

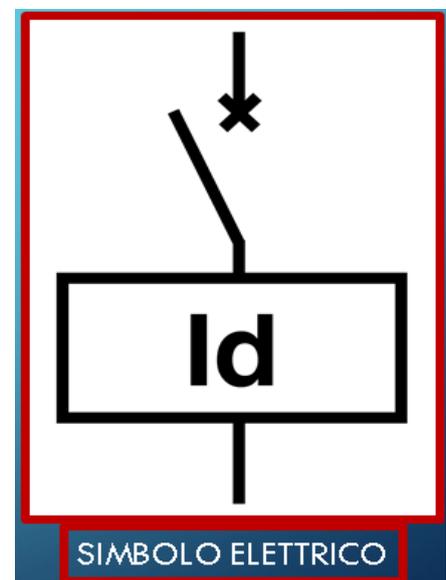
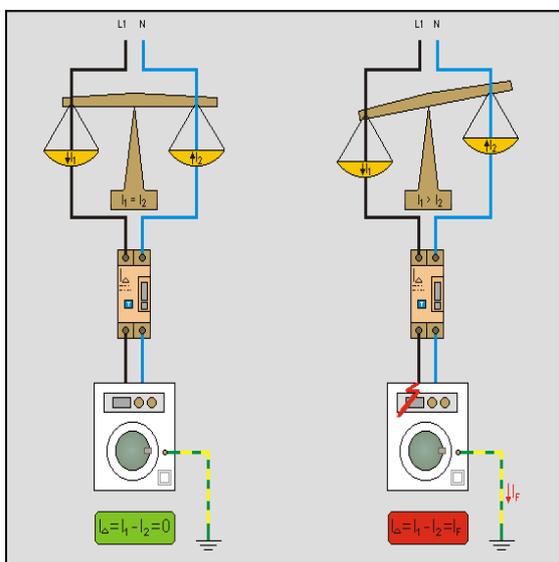
corrente che transita e la corrente nominale dell'interruttore).



Tipo	Intervento secondo la norma di riferimento		Protezione
	CEI EN-60947-2	CEI 23-3(EN 60898)	
 Curva B	$I_M 3,2 + 4,8I_n$	$I_M 3 + 5I_n$	Di generatori, delle persone e di grandi lunghezze di cavi. Sovraccarico: termici standard
 Curva C	$I_M 7 + 10I_n$	$I_M 5 + 10I_n$	Di cavi che alimentano apparecchi utilizzatori classici. Sovraccarico: termici standard
 Curva D	$I_M 10 + 14I_n$	$I_M 10 + 20I_n$	Di cavi che alimentano apparecchi utilizzatori a forte corrente di avviamento. Sovraccarico: termici standard
 Curva K	$I_M 10 + 14I_n$		Di cavi che alimentano apparecchi utilizzatori a forte corrente di avviamento. Sovraccarico: termici standard
 Curva Z	$I_M 2,4 + 3,6I_n$		Di circuiti elettronici
 Curva MA	$12I_n^{(1)}$		Di motori (senza protezione termica)

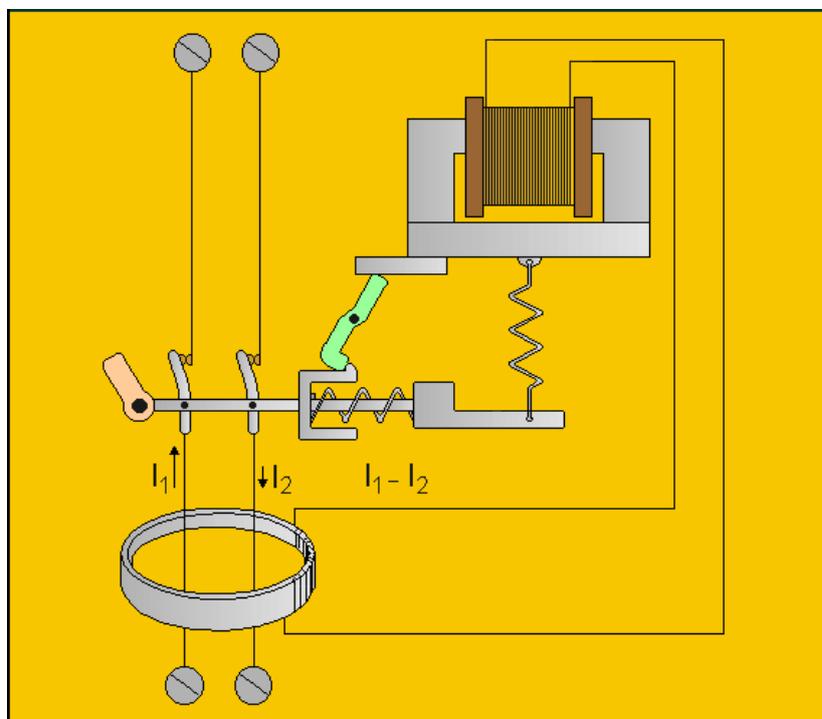
(1) Tolleranza ammessa $\pm 20\%$

Per quanto concerne il relè differenziale, la somma vettoriale delle correnti che percorrono i conduttori attivi di alimentazione di un circuito, compreso il neutro se esiste, risulta nulla in condizioni di normale isolamento, mentre quando si verifica un guasto verso terra assume valori maggiori di zero e prende il nome di corrente di guasto verso terra o corrente differenziale. L'interruttore automatico differenziale è un dispositivo sensibile alla somma di tali correnti in grado di intervenire quando si presenta una corrente di dispersione verso terra.

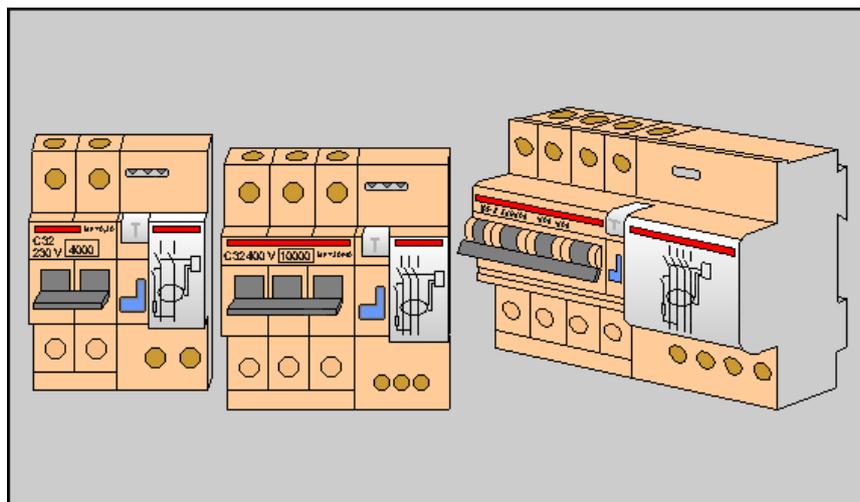


Costruttivamente è costituito da un trasformatore toroidale nel quale, in condizioni di normale funzionamento, il flusso risultante dovuto alle correnti che percorrono il circuito è uguale a zero.

Al manifestarsi di un guasto d'isolamento, ad esempio fase-terra, il flusso risultante non è più nullo ed induce su un appropriato avvolgimento secondario, una forza elettromotrice in grado di provocare, tramite l'intervento del relè differenziale, l'apertura dell'interruttore.

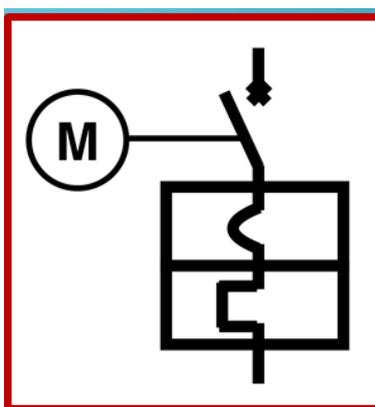


Nei piccoli interruttori modulari per attivare lo sganciatore a basso consumo può essere sufficiente l'energia fornita dalla stessa corrente di guasto mentre per gli interruttori di taglia superiore, a causa delle maggiori energie di sgancio necessarie, può essere indispensabile ricorrere ad un apposito amplificatore di segnale.



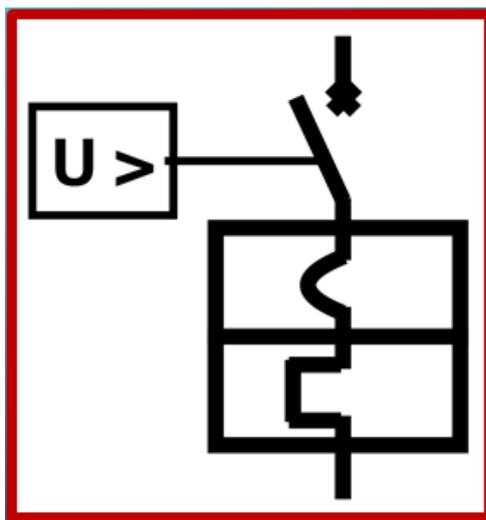
In commercio è possibile trovare interruttori automatici con una serie di accessori.

Ad esempio quelli motorizzati che possono essere utilizzati quando si necessita di comandarli a distanza, ovvero si voglia aprirli e chiuderli a distanza.

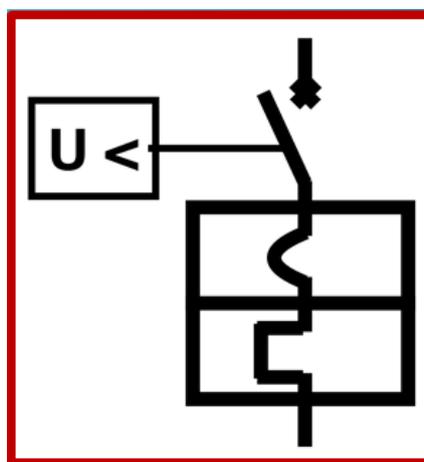


Con bobina di sgancio a lancio di corrente, azionato da un pulsante con contatto in chiusura (normalmente aperto). In questo caso il contatto del pulsante è normalmente aperto e la bobina non è percorsa da corrente. La norma CEI 64-8 permette questa soluzione solo se accompagnata da una segnalazione luminosa che indichi la funzionalità del circuito. Occorre, in pratica, collegare in parallelo al contatto del pulsante una lampada a basso consumo di colore verde, la cui

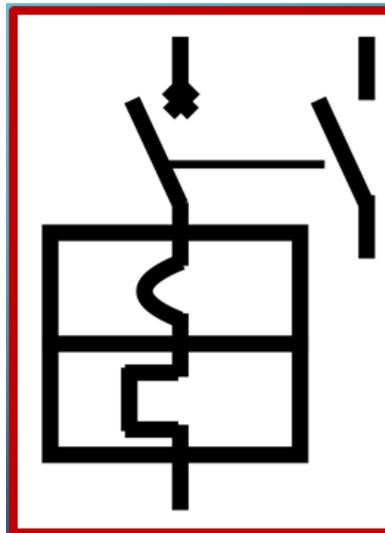
accensione è indice di presenza di tensione sul circuito e quindi di comando di emergenza pronto ad intervenire. Se la lampada è spenta significa che il circuito di alimentazione della bobina è interrotto. Poiché questo tipo di segnalazione non è comprensibile da tutti, è consigliato l'utilizzo della bobina a lancio di corrente solo in impianti dove è presente personale addestrato.



Poi ci sono gli interruttori con bobina di sgancio di minima tensione azionati da un pulsante con contatto in apertura (normalmente chiuso). In questo caso il contatto del pulsante è normalmente chiuso e la bobina è percorsa da corrente. Il difetto di questa soluzione è che, in caso di assenza della tensione di rete o anche soltanto di un buco di tensione, la bobina non risulta più percorsa da corrente, come conseguenza il contatto del pulsante si apre, e si ottiene un intervento di emergenza indesiderato. La soluzione circuitale realizzata normalmente per ovviare a questo inconveniente, è quella di utilizzare dispositivi che oltre alla bobina di sgancio possiedono un soccorritore, alimentato da una batteria tampone, il quale mantiene alimentata la bobina anche in caso di mancanza della tensione di rete.



Ci sono anche i contatti ausiliari o segnalatori di guasto, dove l'apertura o chiusura dell'interruttore principale agisce su un interruttore secondario che eventualmente agisce in base ad una segnalazione luminosa.



Tra i dispositivi di protezione annoveriamo anche i fusibili, trattati dalle norme CEI del Comitato Tecnico 32 (norme 32-1 32-7), che sono dispositivi di protezione contro le sovracorrenti (sovraccarichi e corto circuiti) caratterizzati da:

- rapidità d'intervento (per corto circuito);
- elevato potere d'interruzione;
- dimensioni ridotte;
- costo limitato.



Per queste ragioni hanno trovato e trovano tuttora impiego negli impianti elettrici, in alternativa agli

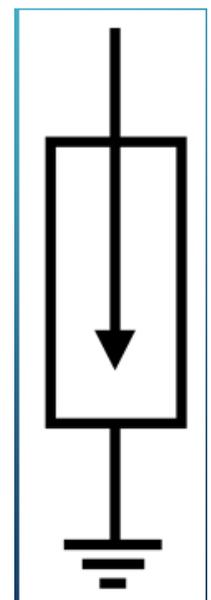
interruttori automatici. Rispetto a questi ultimi presentano però degli aspetti negativi:

- non assicurano, in caso d'intervento, la contemporanea interruzione di tutte le fasi del circuito, per cui un'eventuale alimentazione bifase, ad esempio, può essere dannosa per i motori;
- richiedono tempi di ripristino del circuito relativamente alti;
- non sempre sono immediatamente disponibili ricambi identici a quelli da sostituire, per cui c'è il rischio che non vengano ripristinate le precedenti condizioni di protezione;
- non sono unificate le dimensioni.

La Norma CEI 32-1 definisce fusibile quel dispositivo che mediante la fusione di uno o più elementi fusibili, a tal fine progettati e proporzionati, apre il circuito nel quale è inserito, interrompendo così la corrente quando questa supera un valore specificato per una durata sufficiente. Il fusibile comprende tutte le parti che costituiscono il dispositivo completo.

L'elemento fusibile è, in generale, racchiuso in un contenitore isolante di materiale ceramico, vetro o porcellana, completo di contatti per il collegamento con un supporto (base), e tramite i morsetti di questo, con il circuito in cui deve essere inserito. L'insieme costituito dall'elemento fusibile, dal contenitore e dai contatti si definisce cartuccia e costituisce la parte che deve essere rimossa per la sostituzione dopo l'intervento protettivo.

I Surge Protection Device “SPD” comunemente scaricatori o limitatori di sovratensione, sono progettati per proteggere i sistemi e le apparecchiature elettriche contro le sovratensioni transitorie e impulsive. Senza un adeguato SPD di protezione, la sovratensione potrebbe raggiungere l'apparecchiatura elettrica, e nel caso in cui essa superi il valore di tenuta all'impulso dell'apparecchio elettrico, l'isolamento dell'apparecchiatura verrebbe meno e la corrente impulsiva si propagherebbe liberamente attraverso di essa, danneggiandola o addirittura distruggendola.



Il sezionatore è un apparecchio in grado di assicurare nella posizione di aperto, una distanza di isolamento tra le parti in tensione, questo deve essere aperto solo quando la corrente nel circuito è già stata interrotta ed essere chiuso prima che venga stabilita. Quindi è un dispositivo di sicurezza necessario per sezionare il circuito elettrico.

Il sezionatore di terra è un apparecchio per la messa a terra delle parti di un circuito, è capace di sopportare per un tempo determinato le correnti di corto circuito, ma non è in grado di portare continuamente una determinata corrente. E' un dispositivo di sicurezza necessario per poter accedere al circuito di alta tensione.

TERMOGRAFIA

La termografia (misura della temperatura con una termocamera) è un metodo di misura passivo, senza contatto. Oggi giorno, i crescenti prezzi dell'energia e gli elevati costi per i tempi di fermo macchina o impianto, hanno comportato che la termografia si sia affermata sempre più anche per la manutenzione di impianti navali.

I surriscaldamenti costituiscono la causa del 75% dei guasti negli impianti elettrici e sono causa di guasti anche nei motori. Le ispezioni sono condotte di norma sotto carico e senza interrompere la produzione. Tale procedura operativa espone l'operatore ad un rischio elettrico in particolare modo per la verifica degli impianti elettrici ad alta tensione.

Tutti i componenti degli impianti elettrici soggetti ad azioni e sollecitazioni degradanti, possono presentare nel tempo il decadimento delle loro caratteristiche costruttive e funzionali per allentamento, ossidazione, sovraccarico, carenza progettuale, carenza di manutenzione, isolamento difettoso, ecc... Questi fenomeni provocano in maniera ricorrente una

variazione di resistenza che genera il surriscaldamento del componente.

Il servizio programmato di ispezioni termografiche a raggi infrarossi è l'unico sistema di prevenzione dei guasti derivanti da tali decadimenti.

All'estero le verifiche termografiche sugli impianti sono molto diffuse.

Solo ultimamente il CEI ha affrontato lo spinoso problema della manutenzione degli impianti, suggerendo tre modalità di manutenzione:

- **Manutenzione preventiva:** si mettono in atto delle azioni per cercare di prevenire eventuali problemi che si potrebbero presentare in futuro. Viene effettuata preferibilmente con scadenze programmate. Le azioni possono essere di tipo elettrico, quali sostituzione di componenti che sono in fin di vita, o anche di tipo non elettrico, ma che vanno a preservare l'impianto;
- **Manutenzione correttiva:** effettuata solo quando non se ne può fare a meno, quindi in presenza di un guasto, o di una avaria che obbligano alla sostituzione del componente o dell'apparecchiatura. E' sicuramente il tipo di

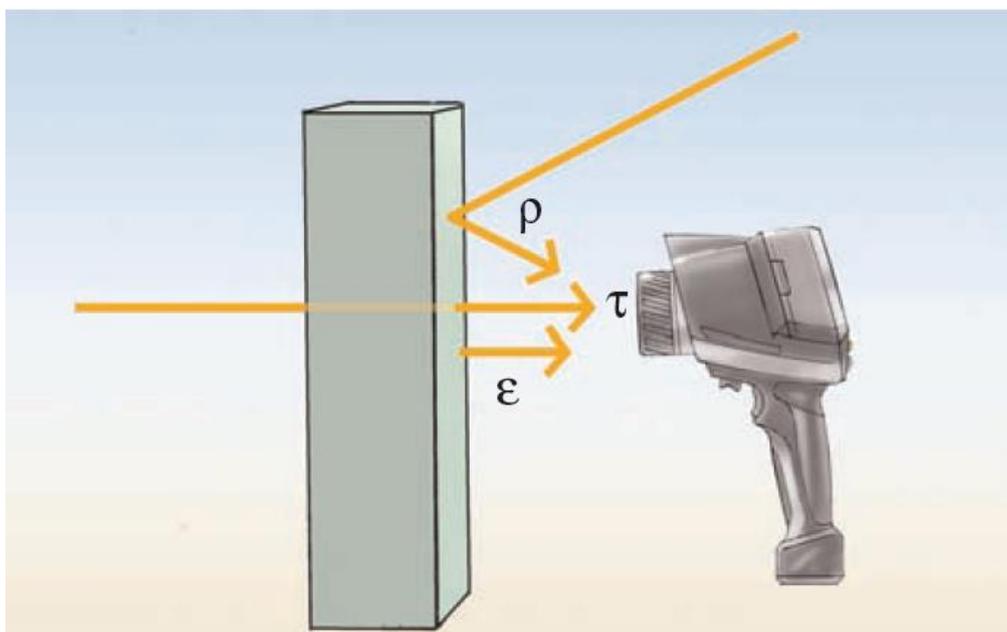
manutenzione che va per la maggiore, anche se non si può certo affermare che sia la migliore. Facciamo infatti presente che molte volte i guasti non comportano solo il fermo dell'impianto o della macchina, ma determinano guai più seri come incendi o addirittura esplosioni;

- **Manutenzione predittiva:** si tratta di una manutenzione preventiva (programmata) mirata, che permette, attraverso diverse tecniche, di individuare sintomi e segnali dell'impianto non di facile interpretazione e di conseguenza di mirare con maggior precisione gli interventi manutentivi. La termografia ad infrarossi è una delle tecniche utilizzate per mirare questi interventi; nel settore elettrico è sicuramente una delle più efficaci, insieme ovviamente alle attività di monitoraggio continuo delle grandezze fisiche in gioco (in particolare corrente, tensione, e temperatura).

Ogni oggetto con una temperatura sopra lo zero assoluto (0 Kelvin= -273,15 °C) emette raggi infrarossi. Questi raggi infrarossi sono invisibili all'occhio umano.

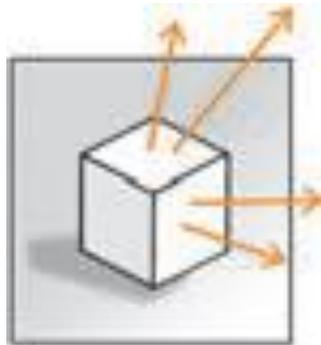
Una termocamera misura i raggi infrarossi a onda lunga ricevuti nel suo campo visivo. In base a questi, calcola la temperatura dell'oggetto da misurare. La radiazione registrata dalla termocamera è composta da raggi a onda lunga:

- emessi (ϵ);
- riflessi (ρ);
- trasmessi (τ).

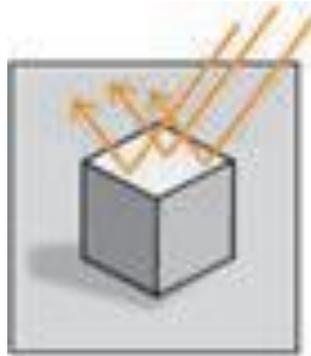


L'emissività (ϵ) è un indicatore della capacità di un materiale di emettere (emanare) raggi infrarossi; varia in base alle proprietà superficiali, al materiale e, per alcuni materiali, anche in base alla temperatura dell'oggetto di misura; l'emissività massima è $\epsilon = 1$; non si verifica mai nella realtà in quanto i corpi reali hanno un $\epsilon < 1$, poiché oltre ad emettere, riflettono ed eventualmente trasmettono le radiazioni.

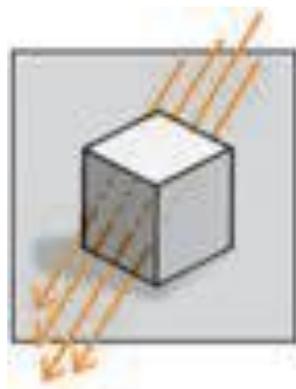
I metalli, in particolare quelli con una superficie lucida, hanno una bassa emissività che varia con il variare della temperatura.



Il fattore di riflessione (ρ) misura la capacità di un materiale di riflettere i raggi infrarossi; tale capacità dipende dalle proprietà superficiali, dalla temperatura e dal tipo di materiale. In generale, le superfici lisce e lucide riflettono più delle superfici ruvide e opache fatte dello stesso materiale.



Il fattore di trasmissione (τ) misura la capacità di un materiale di trasmettere (lasciar passare) i raggi infrarossi; tale capacità dipende dal tipo e dallo spessore del materiale. La maggior parte dei materiali non sono trasmissivi, vale a dire permeabili ai raggi infrarossi a onda lunga.



I raggi infrarossi registrati dalla termocamera sono composti:

- dalla radiazione emessa dall'oggetto di misura,
- dalla riflessione della temperatura ambiente e
- dalla trasmissione della radiazione da parte dell'oggetto di misura.

Si assume che la somma di queste parti sia sempre 1

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

Poiché la trasmissione raramente è rilevante nella pratica, questa è omessa e la formula è semplificata in:

$$\varepsilon + \rho = 1$$

Per la termografia questo significa che quanto minore è l'emissività:

- tanto maggiore è la quota di raggi infrarossi riflessi;
- tanto più difficile è effettuare una misura precisa della temperatura ;

- tanto più importante è che la compensazione della temperatura riflessa (RTC) sia impostata correttamente.

Assicurarsi che l'impostazione dell'emissività sia corretta è particolarmente importante se vi sono grandi differenze di temperatura tra l'oggetto di misura e l'ambiente di misura.

Se la temperatura dell'oggetto di misura è superiore alla temperatura ambiente:

- Impostazioni di emissività eccessivamente alte determinano letture della temperatura eccessivamente basse;
- Impostazioni di emissività eccessivamente basse determinano letture della temperatura eccessivamente alte.

Se la temperatura dell'oggetto di misura è inferiore alla temperatura ambiente:

- Impostazioni di emissività eccessivamente alte determinano letture della temperatura eccessivamente alte;

- Impostazioni di emissività eccessivamente basse determinano letture della temperatura eccessivamente basse.

Quanto maggiore è la differenza tra la temperatura dell'oggetto di misura e la temperatura ambiente e quanto minore è l'emissività, tanto maggiori sono gli errori di misura. Questi errori aumentano se l'impostazione dell'emissività è scorretta.

Con una termocamera si possono misurare soltanto le temperature superficiali; non è possibile guardare dentro qualcosa o attraverso qualcosa.

Molti materiali come il vetro, che sono trasparenti all'occhio umano, non sono trasmissivi (permeabili) ai raggi infrarossi a onda lunga .

Se necessario, rimuovere qualsiasi copertura dall'oggetto di misura, altrimenti la termocamera misurerà soltanto la temperatura superficiale della copertura.

Materiale (temperatura del materiale)	Emissività
Alluminio, laminato lucido (170 °C)	0,04
Alluminio, non ossidato (25 °C)	0,02
Alluminio, non ossidato (100 °C)	0,03
Alluminio, molto ossidato (93 °C)	0,20
Alluminio, molto lucidato (100 °C)	0,09
Cotone (20 °C)	0,77
Cemento (25 °C)	0,93
Piombo, ruvido (40 °C)	0,43
Piombo, ossidato (40 °C)	0,43
Piombo, ossidato grigio (40 °C)	0,28
Cromo (40 °C)	0,08
Cromo, lucidato (150 °C)	0,06
Ghiaccio, liscio (0 °C)	0,97
Ferro, smerigliato (20 °C)	0,24
Ferro con pelle del getto (100 °C)	0,80
Ferro con pelle di laminazione (20 °C)	0,77
Gesso (20 °C)	0,90
Vetro (90 °C)	0,94
Granito (20 °C)	0,45
Gomma, dura (23 °C)	0,94
Gomma, morbida, grigia (23 °C)	0,89
Ghisa, ossidata (200 °C)	0,64
Legno (70 °C)	0,94
Sughero (20 °C)	0,70
Corpo, nero, anodizzato (50 °C)	0,98
Rame, leggermente ossidato (20 °C)	0,04
Rame, ossidato (130 °C)	0,76
Rame, lucidato (40 °C)	0,03
Rame, laminato (40 °C)	0,64
Plastica: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Vernice, blu su foglio di alluminio (40 °C)	0,78
Vernice, nera, opaca (80 °C)	0,97
Vernice, gialla, 2 rivestimenti su foglio di alluminio (40 °C)	0,79
Vernice, bianca (90 °C)	0,95
Marmo, bianco (40 °C)	0,95
Mattoni (40 °C)	0,93
Ottone, ossidato (200 °C)	0,61
Vernici a olio (tutti i colori) (90 °C)	da 0,92 a 0,96
Carta (20 °C)	0,97
Porcellana (20 °C)	0,92
Arenaria (40 °C)	0,67
Acciaio, superficie trattata term. (200 °C)	0,52
Acciaio, ossidato (200 °C)	0,79
Acciaio, laminato a freddo (93 °C)	0,75 a 0,85
Argilla, bruciata (70 °C)	0,91
Vernice per trasformatori (70 °C)	0,94
Mattone, malta, intonaco (20 °C)	0,93
Zinco, ossidato	0,1