



CONVEGNO ON LINE
LUNEDÌ 6 LUGLIO 2026, ORE 15.00 - 18.00

Lavori su impianti elettrici: introduzione ad un linguaggio per le procedure di sicurezza e di integrità su sistemi complessi

Un focus sulla Norma CEI 11-27

Cenni di elementi di sicurezza elettrica, del fenomeno di arc flash e misure di protezione

Giuseppe Parise

Normative sugli impianti elettrici

Nord America (USA, Canada e Messico)	Europa	Italia
NFPA70A (NEC)	IEC 60364	CEI 64-8
NFPA70E	EN50110	CEI 11-48, 11-27

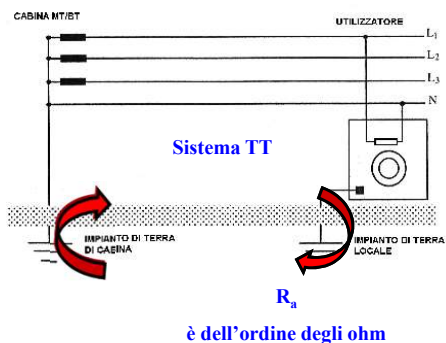
La norma NFPA 70 e la direttiva 2014/35/EU contengono disposizioni considerate necessarie per la sicurezza di un impianto, ma non necessariamente perchè efficiente, pratico o adeguato ad un buon funzionamento

RISCHI ELETTRICI

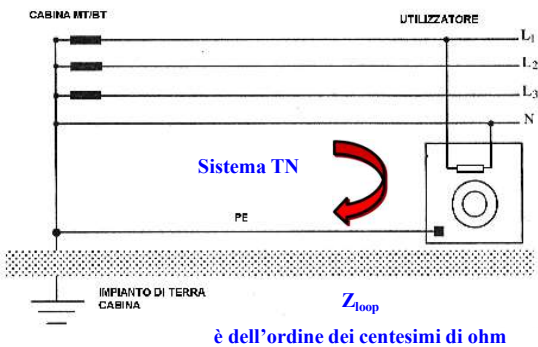
i rischi connessi con l'uso dell'energia elettrica possono essere sinteticamente raggruppati in:

- **SHOCK ELETTRICO**
 - CONTATTI DIRETTI (protezione base)
 - CONTATTI INDIRETTI (protezione per guasto)
- **INNESCO DI INCENDIO**
 - SOVRACCORRENTI (SOVRACCARICHI E CORTOCIRCUITI)
- **ARC FLASH**
- **PERDITA CONTINUITA' DEL SERVIZIO:** procedure di sicurezza e di integrità

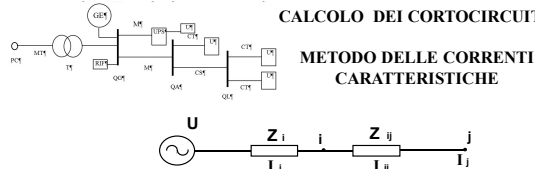
SHOCK ELETTRICO



SHOCK ELETTRICO



CALCOLO DEI CORTOCIRCUITI



$$I_j = U / (Z_i + Z_{ij})$$

$$I_j = 1 / ((Z_i / U) + (Z_{ij} / U))$$

$$1/I_j = (1/I_i) + (1/I_{ij}) \text{ controcorrenti}$$

G. Parise, "The Method of "Characteristic" Currents and Countercurrents for Short Circuits Diagnosis," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 57, no. 3, pp. 2138-2145, May-June 2021, doi: 10.1109/TIA.2021.3057340.

la somma dei due vettori $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$ è:

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos(\alpha - \beta)}$$

CALCOLO DEI CORTOCIRCUITI

$I_{kj}^{\pm 1} = \sqrt{(I_{ki}^{\pm 2} + I_{kij}^{*\pm 2} + 2I_{ki}^{\pm 1} I_{kij}^{*\pm 1} \cos(\Delta\phi))}$

$\cos\phi_j = (I_{ki}^{\pm 1} \cos\phi_i + I_{kij}^{*\pm 1} \cos\phi_{ij}) / I_{kj}^{\pm 1}$

$I_{kj}^{-1} = 1/I_{kj} = \text{controcorrente}$

CALCOLO DEI CORTOCIRCUITI

Caso generale **Possibili esemplificazioni**

G. Parise, "The Method of "Characteristic" Currents and Countercurrents for Short Circuits Diagnosis," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 57, no. 3, pp. 2138-2145, May-June 2021, doi: 10.1109/TIA.2021.3057340.

la somma dei due vettori $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$ è:

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos(\alpha - \beta)}$$

CALCOLO DEI CORTOCIRCUITI

Trasformatore di potenza T

I_{kT} $\cos\phi_T$

$$I_{kT} = \frac{U_{nT}}{\sqrt{3}Z_t} = \frac{100}{u_{kT} \%} \cdot I_n$$

$$\cos\phi_T = \frac{p_{cu} \%}{u_{kT} \%} = \frac{u_{RT} \%}{u_{kT} \%}$$

$1/I_j = (1/I_{PC}) + (1/I_{KT})$

Corrente I_{PC} riportata al secondario = $k I_{PC} = 50 I_{PC}$
 $k = \text{rapporto di trasformazione } 20000/400 = 50$

Viraggio del fattore di potenza

$\cos\phi \cong 0$ presenza a monte generatori e trasformatori

$\cos\phi = R/Z$

$\cos\phi \cong 1$ Circuiti terminali

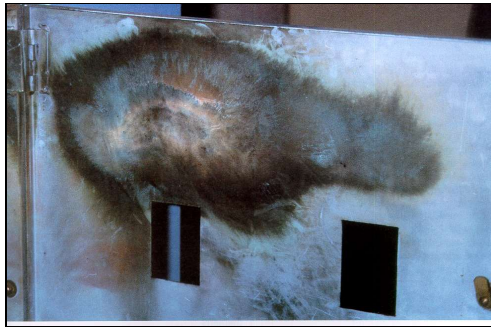
$\cos\phi < 1$ presenza di induttanze – generatori, motori, trasformatori con basse impedenze Z_X

$\cos\phi \cong 1$ vicino ad 1 circuiti finali – terminali che con le resistenze relativamente elevate sovrastano le impedenze reattive

$$R \gg Z_X$$

Rischio Arc flash

Durante l'esecuzione dei lavori elettrici sono presenti i pericoli derivanti dall'energia elettrica come l'elettrocuzione e l'esposizione ad arco elettrico.



Impronta di gatto sull'interno di un quadro ad opera dell'arco elettrico

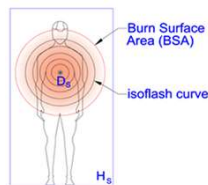
I danni che complessivamente possono interessare una persona in caso di arc-flash possono essere riassunti come segue:

1. danni alla cute;
2. danni agli occhi;
3. danni agli organi della respirazione;
4. danni dovuti all'effetto del colpo di pressione.

Nelle ustioni di **I grado** si ha solo un arrossamento della cute e mucose accompagnata da una desquamazione epidermica; in quelle di **II grado** si formano vesciche causate dalla linfa che si raccoglie nella bolla;

in quelle di **III grado** si ha la distruzione o addirittura la carbonizzazione di zone di tessuto.

in quelle di **IV grado** si ha il danno al muscolo sottostante



Workplace Safety Awareness Council

Dove sono coinvolte alte correnti d'arco sono comuni ustioni debilitanti alla distanza di ≈ 50 cm.

Gli indumenti possono prendere fuoco già a distanze non molto elevate; gli indumenti stessi possono causare ustioni fatali, nel caso in cui non vengono tolti o spenti abbastanza velocemente così da prevenire ustioni serie.

**QUANDO GLI
ABITI BRUCIANO**

**LE PARTI VESTITE
POSSONO
USTIONARSI IN
MANIERA PIU'
SEVERA DELLA
PELLE
DIRETTAMENTE
ESPOSTA**



**NELLA
ESPOSIZIONE
ALL' ARCO**

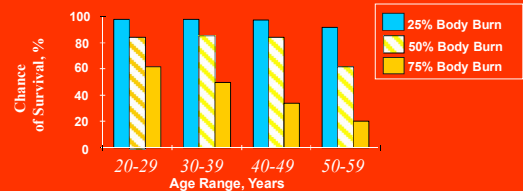
***NUDI PUO'
ESSERE MEGLIO
CHE VESTITO
CON ABITI
INFIAMMABILI***



La gravità del rischio di ustione è riflessa nei dati di sopravvivenza ad ustione forniti dall'**American Burn Association**, essa indica che per una persona con età compresa tra 30 e 39 anni c'è solo il 50% di possibilità di sopravvivenza se il 75% della superficie del corpo è ustionata.



CHANCE OF SURVIVAL FROM BURN INJURY



Source: American Burn Association (1991-1993 Study)

Rischio Arc flash

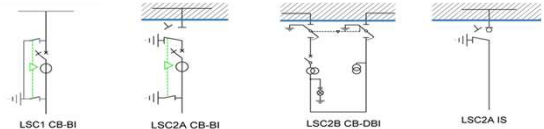
In una corretta gestione del rischio è buona norma mettere in atto azioni preventive al fine di limitare il rischio: il D.Lgs. 81/08 indica l'impiego dei DPC sempre prioritario rispetto all'uso dei DPI

Esempi DPC:

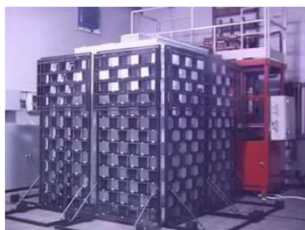
lavoro fuori tensione, sistema elettrico complesso, CEI 62271-200 IAC MT, CEI 61439-1 LV gradi IP (0-6) (0-9) assenti in Nord America

La sigla **IAC AFLR** (Internal Arc Classification) secondo la norma IEC 62271-200 definisce il livello di protezione di un quadro elettrico di media tensione contro i guasti da arco interno.

Essa certifica che il quadro è in grado di proteggere efficacemente il personale che si trova all'esterno dell'involucro su quattro lati: F (Front): lato frontale. L (Lateral): lati laterali. R (Rear): lato posteriore.

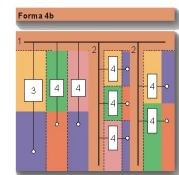


La norma CEI EN IEC 62271-200 impone il test **IAC AFLR** (Internal Arc Classification) per garantire che le sovrappressioni e i gas caldi vengano scaricati in sicurezza attraverso canali controllati, senza proiettare materiale all'esterno



La norma CEI EN IEC 61439-1 è lo standard di riferimento per i **quadri elettrici di bassa tensione (BT)**. Uno degli aspetti chiave normati (spesso dettagliato nella Parte 2) è la **forma di separazione interna**. Questa definisce il livello di segregazione fisica e di protezione tramite barriere o involucri (metallici o isolanti) all'interno del quadro elettrico.

Le forme principali vanno dalla **1 alla 4** e servono a proteggere gli operatori dal contatto con parti attive, limitare gli archi elettrici e facilitare gli interventi di manutenzione



Rischio Arc flash CEI 78-25

Calcolo energia incidente in bassa tensione (fino a 1 kV in a.c.) – Metodo semplificato dello Standard IEEE 1584-2018

Il calcolo dell'energia incidente e dell' Arc Flash Boundary, nei sistemi elettrici in bassa tensione in c.a., può essere calcolata attraverso l'utilizzo del metodo semplificato proposto da

G. Parise e P.A. Scarpino

e pubblicato in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 57, no 5, September/October 2021 "A Basic Assessment of Arc Flash in Low Voltage AC".

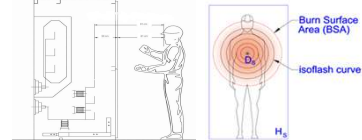
Rischio Arc flash

DW-AF Distanza di lavoro, per i calcoli Arc Flash: Distanza a cui si trova l'operatore misurata in [cm] tra la parte attiva dove si sviluppa l'arco e la testa o il torace dell'operatore. È la distanza alla quale viene calcolata l'energia incidente sull'operatore

Dc o AFB Dc o Arc Flash Boundary (Distanza Limite d'arco): È la distanza misurata in [cm] dagli elettrodi dove si sviluppa l'arco alla quale l'energia incidente si reduce al valore di

1,2 cal/cm² o 5 J/cm².

Tale valore è considerato il minimo necessario per causare ferite da ustioni.



Rischio Arc flash

Il calcolo dell'energia incidente (E_i), nei sistemi elettrici in bassa tensione in c.a., calcolata con il metodo semplificato

G. Parise e P.A. Scarpino

$$E_i = x \lambda V_n I_{kb} t_a / D_{W-AF}^2$$

$x = 0,0344$ per [J/cm²] $x = 0,008222$ per [cal/cm²]

V_n = tensione nominale trifase in [V];

I_{kb} = corrente di cortocircuito in [A]

t_a = tempo di apertura in [s] della protezione al cortocircuito;

D_{W-AF} = Distanza di lavoro in [cm]

Rischio Arc flash

Dc o AFB Dc o Arc Flash Boundary (Distanza Limite d'arco):

Il calcolo della Distanza Limite d'arco (Arc Flash Boundary) indicata con Dc o AFB,

$$AFB = \sqrt{y \lambda V_n I_{kb} t_a} \quad y = 0,00685$$

$$\lambda = \sqrt{2} K_V K_G K_E K_B$$

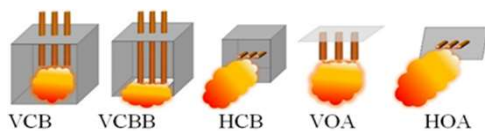
Voltage System [V]	K _V
208	1.15
230	1.15
400	1
480	0.95
600	0.80

$$K_G = \log_{10} \left(\frac{G+1}{\sqrt{G}} \right)$$

GAP [mm]	K _G
32	0.77
52	0.87
72	0.93
100	1
254	1.2

five electrode configurations

Guide IEEE Standard 1584 edition 2018



VCB: Elettrodi verticali all'interno di una scatola o in un box metallico;

VCBB: Elettrodi come VCB ma terminanti con una barriera isolante

HCB: Elettrodi orizzontali all'interno di una scatola o in un box metallico

VOA: Elettrodi verticali in aria aperta

HOA: Elettrodi orizzontali in aria aperta

CONFIGURATION	K _B
HOA	1
VOA	0.36
HCB	0.91
VCB	0.50
VCBB	0.64

$$K_B = \left(\frac{L+H}{L} \right) \sqrt{\left(\frac{L+70}{H} \right)}$$

HOA e VOA in aria aperta
K_B = 1

Box Width [mm]	Box Height [mm]	K _B
600	200	2.44
	400	2.16
	600	2.11
700	200	2.52
	400	2.18
	600	1.05
800	200	2.62
	400	2.21
	600	2.11
1000	200	2.78
	400	2.29
	600	2.14

Raccomandazioni su abiti FR (resistenti al fuoco)

Tessuti di cotone di più grande peso, tessuti con alto contenuto di umidità (traspirazione), e tessuti di cotone di colore più chiaro richiederanno una energia incidente più grande per potersi incendiare. Al contrario, tessuti di cotone di minor peso e dal colore più scuro richiederanno minore energia incidente per l'ignizione.



Le classi di abbigliamento sono 5 (0-4). A ciascuna classe di abito corrisponde un peso totale dell'abbigliamento protettivo, variabile da 150-240 g/m² (per abiti di classe 0 fino 1,2 cal/cm²), fino a 1000 g/m² (per abiti di classe 4 fino 40 cal/cm²).



Completo Giacca e Pantalone per uso quotidiano – CEI EN 61482-2

Completo Cappuccio, Giacca e Pantalone per operazioni di sezionamento - CEI EN 61482-2

Energia Incidente [cal/cm ²]	Categoria di Rischio e dei DPI (NFPA 70E)	Valori di prestazione termica degli indumenti IEC 61482-1-1 ATPV [cal/cm ²]	Classe dei DPI Per la protezione all'arco elettrico APC (CEI EN 61482-1-2)	Colore dello sfondo dell'etichetta in funzione della categoria di rischio
0 < Ei ≤ 1,2	0	0	0	Verde
1,2 < Ei ≤ 4	1	4-12	1	Giallo
4 < Ei ≤ 8	2		2	
8 < Ei ≤ 25	3	13-25	2 (3)	Rosso
25 < Ei ≤ 40	4	>25		

ATTENZIONE
WARNING

RISCHIO DA ARC FLASH
RISCHIO LOCO DI UOMINI ESPOSTI IN PROTEZIONE
ARC FLASH HAZARD
APPROPRIATE PPE REQUIRED

QUADRO ELETTRICO: - Metriaco

$I_n = 15,00 \text{ kA}$, $L=0,04 \text{ m}$ - Distanza esposizione $D=30 \text{ cm}$ - $V=0 \text{ kV}$ - HCB
Analisi Arc Flash condotta con il Metodo Semplificato - data Febbraio 2025
Energia incidente = 6,48 cal/cm² - Distanza di confine D_{min} (AFBI) 69,00 cm
Categoria di rischio NFPA 70E C-2
Classificazione DPI: APC 2 (CEI EN 61482-1-2) ELM 8 (CEI EN 61482-1-1)

Nota DPI: giubbotto e pantaloni arco elettrico Classe 2 (CEI EN 61482-1-2), elmetto elettrico con visiera ELM 8 (CEI EN 62819-1-1), guanti in materiale composito ATPV 8 (ASTM F 2675)

Energia Incidente [cal/cm ²]	Categoria di Rischio e dei DPI (NFPA 70E)	Valori di prestazione termica degli indumenti IEC 61482-1-1 ATPV [cal/cm ²]	Classe dei DPI Per la protezione all'arco elettrico APC (CEI EN 61482-1-2)	Colore dello sfondo dell'etichetta in funzione della categoria di rischio
0 < E _i ≤ 1,2	0	0	0	
1,2 < E _i ≤ 4	1	4-12	1	
4 < E _i ≤ 8	2		2	
8 < E _i ≤ 25	3	13-25	2 (3)	
25 < E _i ≤ 40	4	>25		

ATPV Arc Thermal Performance Value - Valore numerico di energia incidente attribuita ad un prodotto

APC Arc protection class – Classe di protezione termica da arco elettrico di un materiale

ATTENZIONE

WARNING



RISCHIO DA ARC FLASH
 RICHIESTO USO DI IDONEI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE
ARC FLASH HAZARD
 APPROPRIATE PPE REQUIRED

Stabilimento _____ - Matricola _____

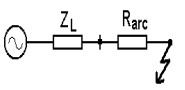
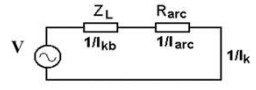
QADRO ELETTRICO _____

*i*_{kb} = 19,00 kA; *t*_a = 0,04 s - Distanza esposizione D = 30 cm - V = 0,4 kV - HCB
 Analisi Arc Flash condotta con il Metodo Semplificato - data Febbraio 2025
 Energia incidente = 6,48 cal/cm²; Distanza di confine D_c (AFB) = 68,00 cm
 Categoria di rischio NFPA 70 E = 2
 Classificazione DPI: APC 2 (CEI EN 61482-1-2) ELIM 8 (CEI EN 61482-1-1)
 Nota DPI: giubbotto e pantaloni arco elettrico Classe 2 (CEI EN 61482-1-2), elmetto dielettrico con visiera ELIM 8 (CEI EN 62819-1-1), guanti in materiale composito ATPV 8 (ASTM F 2675)

Fattore di potenza, grado IP e DPC

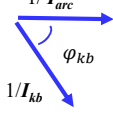
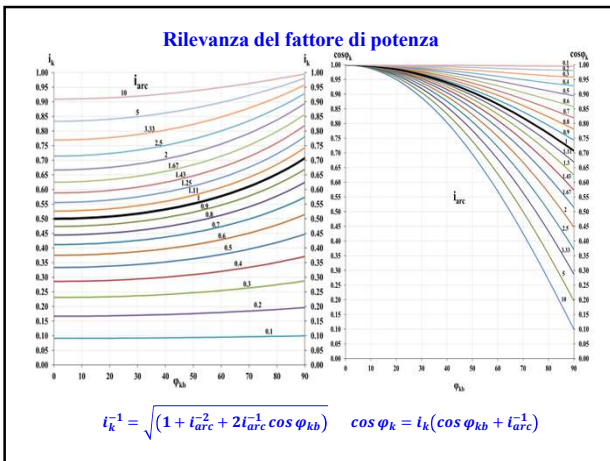
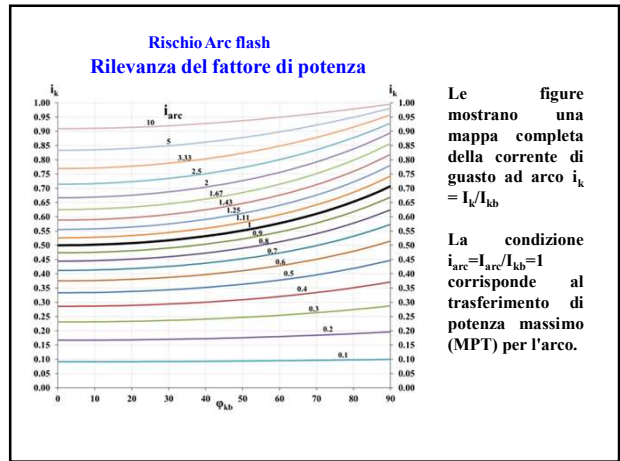
Rischio Arc flash ulteriori sviluppi

Calcolo della corrente I_k di guasto con arco
Rilevanza del fattore di potenza

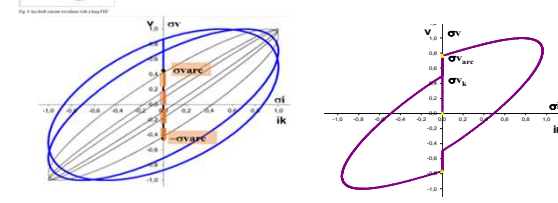



$1/I_k = 1/I_{kb} + 1/I_{arc}$ the vector sum of $1/I_{kb}$ and $1/I_{arc}$

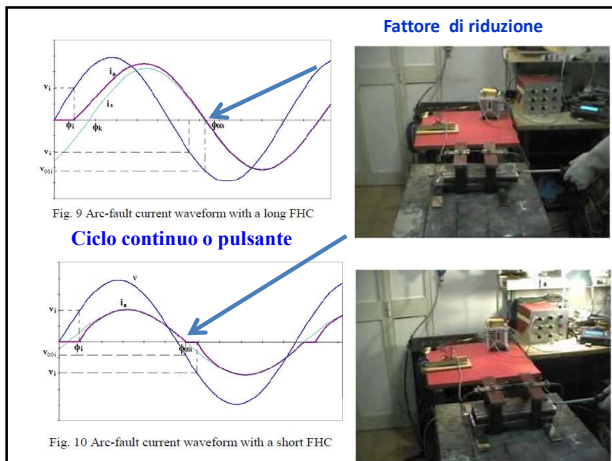
$$I_k^{-1} = \sqrt{(I_{kb}^{-2} + I_{arc}^{-2} + 2I_{kb}^{-1}I_{arc}^{-1} \cos \varphi_{kb})}$$

$$\cos \varphi_k = I_k(I_{kb}^{-1} \cos \varphi_{kb} + I_{arc}^{-1})$$



Il fattore zero sin φ_k



Il **fattore zero sin φ_k** cioè il fattore di attraversamento dello zero della corrente di guasto dell'arco, *come complemento al fattore di potenza $\cos \varphi_k$* facilita la compressione del comportamento, continuo o pulsante, della stessa corrente di guasto dell'arco.



The Body Surface Area

raccoglie i punti esposti a energie incidenti superiori ai punti esposti all'energia limite che descrivono un anello circolare che delimita la stessa area

Ala distanza AFB il BSA è zero