

**CRITERI PER IL COORDINAMENTO DEGLI ISOLAMENTI NELLE RETI A TENSIONE
UGUALE O SUPERIORE A 120 KV**

Storia delle revisioni

| | | |
|------------|------------|--|
| Rev. N° 00 | 10/01/2004 | Prima emissione |
| Rev. N° 01 | 26/05/2015 | Revisione delle prescrizioni tecniche alla luce dell'innovazione tecnologica |

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | SCOPO | 3 |
| 2 | CAMPO DI APPLICAZIONE | 3 |
| 3 | RIFERIMENTI | 3 |
| 4 | DEFINIZIONI | 4 |
| 5 | LIVELLI DI ISOLAMENTO | 5 |
| 6 | DISPOSITIVI DI PROTEZIONE CONTRO LE SOVRATENSIONI | 9 |
| 6.1 | Spinterometro a corna | 9 |
| 6.2 | Scaricatore ad ossido metallico (ZnO)..... | 10 |
| 7 | CRITERI GENERALI DI PROTEZIONE | 11 |
| 7.1 | Stazioni isolate in aria (AIS) che non presentano tratti in cavo | 11 |
| 7.2 | Stazioni isolate in aria (AIS) che presentano tratti in cavo | 11 |
| 7.3 | Stazioni blindate isolate in SF ₆ (GIS)..... | 12 |
| 7.4 | Stazioni isolate in aria con apparecchiature compatte (moduli compatti multifunzione - MCM) | 12 |

1 SCOPO

La presente guida ha lo scopo di definire per le reti elettriche in corrente alternata:

- i livelli di isolamento delle apparecchiature e dei trasformatori;
- le caratteristiche tecniche ed i criteri di impiego dei dispositivi per la protezione delle apparecchiature e dei trasformatori contro le sovratensioni.

2 CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente guida si applica alle reti elettriche facenti parte della RTN con tensione nominale di 120, 132, 150, 220 e 380 kV.

Per quanto qui non esplicitamente disciplinato si applicano le prescrizioni contenute nelle Norme CEI EN 60071-1 "Coordinamento dell'isolamento Parte 1" e le prescrizioni contenute nelle norme CEI EN 60071-2 "Coordinamento dell'isolamento: Parte 2. Guida d'applicazione".

3 RIFERIMENTI

I riferimenti normativi di seguito riportati sono da considerarsi fondamentali per il coordinamento dell'isolamento, ma non esaustivi.

- CEI EN 60071-1 "Coordinamento dell'isolamento Parte 1: Definizioni, principi e regole"
- CEI EN 60071-2 "Coordinamento dell'isolamento Parte 2: Guida di applicazione"
- CEI EN 60815-1 "Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles"
- CEI EN 60099-4 "Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche a corrente alternata"
- CEI EN 60507 "Prove di contaminazione artificiale degli isolatori per alta tensione in sistemi a corrente alternata"
- CEI EN 60076-3 "Trasformatori di potenza - Parte 3: Livelli di isolamento, prove dielettriche e distanze isolanti in aria"
- CEI EN 62271-1 "Apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione - Parte 1: Prescrizioni comuni"
- CEI EN 62271-203 "Apparecchiatura ad alta tensione- Parte 203: Apparecchiatura di manovra con involucro metallico con isolamento in gas per tensioni nominali superiori a 52 kV"
- CEI EN 62271-205 "Apparecchiatura ad alta tensione - Parte 205: Moduli compatti multifunzione per tensioni nominali superiori a 52 kV"

4 DEFINIZIONI

- *Livello di protezione di un dispositivo di protezione* (CEI EN 60071-1): Massimi valori di cresta di tensione ammissibili ai terminali del dispositivo di protezione sottoposto, in condizioni specificate, rispettivamente a impulsi di manovra e a impulsi di origine atmosferica.

Per spinterometri, il livello di protezione a impulso atmosferico standard, (onda 1,2/50 μ s) coincide con il valore di sicura scarica. Tale valore è definito come il valore di picco dell'impulso atmosferico standard cui corrisponde una probabilità di sicura scarica (tensione di scarica convenzionale). Si rammenta che gli spinterometri sono caratterizzati da una curva tensione - tempo alla scarica e pertanto deve essere presa come riferimento la curva delle tensioni statistiche di scarica.

- *Scaricatore ad ossido metallico* (CEI EN 60099-4): apparecchiatura composta da resistori non lineari ad ossido metallico collegati tra loro in serie e/o in parallelo senza spinterometri in serie o in parallelo
- *Tensione di tenuta convenzionale* (CEI EN 60071-1): Valore della tensione di prova da applicare in condizioni specificate in una prova di tenuta, durante la quale l'isolamento non deve essere sede di alcuna scarica distruttiva. Si suppone che essa corrisponda a una probabilità di tenuta del 100%. (Le tensioni di prova hanno le forme normalizzate definite di seguito).

Forme di tensione normalizzate (CEI EN 60071-1)

- *Tensione standard a frequenza industriale*: tensione sinusoidale con frequenza compresa tra 48 e 62 Hz.
- *Impulso di manovra standard*: tensione impulsiva con tempo di picco di 250 μ s e tempo all'emivalore di 2500 μ s.
- *Impulso atmosferico standard*: tensione impulsiva con tempo di picco di 1,2 μ s e tempo all'emivalore di 50 μ s.
- *Tensione massima di un elemento di un sistema* (IEV 604-03-01): Valore efficace più elevato della tensione fra le fasi per il quale l'elemento è progettato per quanto riguarda il suo isolamento come pure per quanto riguarda altre caratteristiche che sono collegate a questa tensione nelle norme particolari dell'elemento stesso.
- *Tensione nominale del sistema* (IEV 601-01-21): un opportuno valore approssimato della tensione utilizzato per designare o identificare il sistema (tensione per cui viene denominato il sistema).

5 LIVELLI DI ISOLAMENTO

Si riportano di seguito i livelli di isolamento per le stazioni isolate in aria (spazi in aria ed equipaggiamenti), equipaggiamenti delle stazioni blindate, delle linee aeree e in cavo e dei trasformatori.

In Tabella 1 vengono riportati i valori di sicura tenuta per gli isolamenti non autoripristinanti e i valori di tenuta statistica (probabilità di scarica del 10%) per gli isolamenti autoripristinanti in accordo con le norme CEI EN 60071-1, CEI EN 62271-1 e CEI EN 62271-203.

Tabella 1. Livelli di tenuta a frequenza industriale e ad impulso per diverse tipologie di isolamento

| | TENSIONE NOMINALE DEL SISTEMA [kV] | TENSIONE MASSIMA DEL SISTEMA [kV] | TENSIONE DI TENUTA A FREQUENZA INDUSTRIALE [kV] | TENSIONE DI TENUTA AD IMPULSO ATMOSFERICO ¹ 1.2/50 µs [kV] | TENSIONE DI TENUTA AD IMPULSO DI MANOVRA FASE-TERRA 250/2500 µs [kV] | TENSIONE DI TENUTA AD IMPULSO DI MANOVRA FASE-FASE 250/2500 µs [kV] | TENSIONE DI TENUTA AD IMPULSO DI MANOVRA LONGITUDINALE ² 250/2500 µs [kV] |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|---|---|--|---|--|
| TRASFORMATORI, ATR e, REATTORI | 380 | 420 | 570 ^(*) | 1300 ^(*) | 1050 | 1575 | |
| | 220 | 245 | 395 ^(*) | 950 ^(*) | 750 | 1125 | |
| | 150 | 170 | 275 ^(*) | 650 ^(*) | | | |
| | 132 | 145 | 230 ^(*) | 550 ^(*) | | | |
| | neutro ³ | 72,5 | 140 | 325 | | | |
| STAZIONE ELETTRICA ISOLATA IN ARIA E LINEE ELETTRICHE AEREE | 380 | 420 | | 1425 | 1050 | 1575 | 950 |
| | 220 | 245 | 460 | 1050 | | | |
| | 150 | 170 | 325 | 750 | | | |
| | 132 | 145 | 275 | 650 | | | |
| STAZIONE IN ESECUZIONE BLINDATA ISOLATA IN SF₆ | 380 | 420 | 650 | 1425 | 1050 | 1575 | (**) |
| | 220 | 245 | 460 | 1050 | | | |
| | 150 | 170 | 325 | 750 | | | |
| | 132 | 145 | 275 | 650 | | | |
| MODULI COMPATTI MULTIFUNZIONE (MCM) | 380 | 420 | 520 | 1425 | 1050 | 1575 | (**) |
| | 220 | 245 | 460 | 1050 | | | |
| | 150 | 170 | 325 | 750 | | | |
| | 132 | 145 | 275 | 650 | | | |
| LINEE ELETTRICHE IN CAVO | 380 | 420 | | 1425 | 1050 | | |
| | 220 | 245 | 460 | 1050 | | | |
| | 150 | 170 | 325 | 750 | | | |
| | 132 | 145 | 325 | 750 | | | |

(*) per gli isolatori passanti dei trasformatori è richiesta una tensione di tenuta superiore di una classe (tra quelle delle tabelle 2 e 4 della norma CEI EN 60076-3) rispetto quella prevista nella presente tabella per il trasformatore.

¹ I valori delle tensioni di tenuta sono estendibili senza modifiche agli isolamenti fase-fase e longitudinali (qualora applicabile). Per quanto riguarda l'eventuale procedura alla tenuta all'impulso atmosferico di un isolamento longitudinale si estende quanto detto per l'impulso di manovra ad eccezione per il valore di picco della tensione a 50 Hz che dovrà essere pari a $0.7 \cdot \sqrt{2/\sqrt{3}}$ volte la massima tensione del sistema.

² La verifica di tenuta all'isolamento longitudinale va effettuata considerando la sovrapposizione di un'onda sinusoidale a 50 Hz applicata su un polo e l'impulso di manovra sull'altro polo. L'impulso dovrà essere applicato all'istante in cui la tensione a frequenza industriale raggiunga il valore di picco di polarità opposta a quello dell'impulso. La tensione di picco dell'onda a 50 Hz dovrà essere pari $\sqrt{2/\sqrt{3}}$ volte la tensione massima del sistema.

³ Solo per macchinario con isolamento non uniforme.

(**) Per i blindati e per i MCM è prescritta una tenuta all'impulso di manovra di +900 kV con impulsivi sovrainposti al valore di picco positivo della tensione fase-terra (345 kV).

Per quanto riguarda la tenuta degli isolamenti all'inquinamento superficiale delle linee aeree, i livelli di salinità di tenuta sono quelli riportati in tabella 2. La tabella 2 è valida per isolatori in vetro e materiale composito.

Tabella 2. Scelta degli isolamenti superficiali per le linee elettriche aeree

| Livello di inquinamento | Caratterizzazione delle zone ⁴ | Salinità equivalente [g/l] | Salinità di tenuta richiesta [g/l] ⁵ | Linea di fuga specifica minima ⁶ [mm/kV] |
|-------------------------|---|----------------------------|---|---|
| Leggero | <ul style="list-style-type: none"> distanza dal mare superiore a 10 km distanza da industrie superiore a 5 km venti prevalenti con provenienza non da siti industriali piogge con frequenza di almeno una al mese isolamenti all'interno di edifici | $> 5 \div \leq 14$ | 14 | ≥ 27.7 |
| Medio | <ul style="list-style-type: none"> distanza dal mare da 3 a 10 km distanza da industrie da 1 a 5 km venti prevalenti con provenienza non da siti industriali piogge con frequenza di almeno una al mese zone soggette a nebbia o piogge leggere alla fine di lunghi periodi di siccità (settimane o qualche mese) livelli di inquinamento non solubile (NSDD) dalle 5 alle 10 volte i livelli di inquinamento solubile (ESDD) | $> 14 \div \leq 56$ | 56 | ≥ 34.6 |
| Pesante | <ul style="list-style-type: none"> distanza dal mare minore di 3 km distanza da industrie minore di 1 km zone soggette a nebbia o piogge leggere/rugiada alla fine di lunghi periodi di siccità (settimane o qualche mese) piogge acide livelli di inquinamento non solubile (NSDD) dalle 5 alle 10 volte i livelli di inquinamento solubile (ESDD) | $> 56 \div \leq 160$ | 160 | ≥ 43.3 |
| Eccezionale | <ul style="list-style-type: none"> distanza dal mare minore di 3 km distanza da industrie minore di 1 km zone soggette a nebbia o piogge leggere/rugiada alla fine di lunghi periodi di siccità (settimane o qualche mese) zone direttamente soggette a venti marini zone soggette ad inquinanti altamente conduttivi, a polveri pesanti (ad esempio cemento) e frequentemente soggette a piogge leggere e nebbia zone soggette a depositi di sabbia e sale con conseguente formazioni di rugiada | > 160 | ≥ 224 | $\geq 53.7 \div \leq 61^7$ |

A titolo esemplificativo, nella generalità dei casi, a seconda del livello di tensione, sono impiegati armamenti con il seguenti numero di isolatori cappa e perno in vetro:

- 132–150 kV: n. 9 isolatori (n. 13 isolatori per inquinamento pesante),

⁴ La caratterizzazione riportata (cfr. IEC 60815) è da considerarsi generale e puramente indicativa.

⁵ La salinità di tenuta deve essere intesa sull'intera catena isolante alla massima tensione fase-terra.

⁶ La linea di fuga minima va calcolata moltiplicando il valore della linea di fuga specifica minima della Tabella 2 per la tensione massima ai capi dell'isolamento. I valori di tensione massima fase-fase sono riportati nella Tabella 1; i valori di tensione massima fase-terra si ottengono dividendo i valori di tensione massima fase-fase della Tabella 1 per $\sqrt{3}$.

⁷ Linee di fuga specifiche superiori a 61 mm/kV non sono consigliate e dovranno pertanto essere utilizzati accorgimenti particolari e/o soluzioni che prevedono operazioni di manutenzione periodiche di pulizia.

- 220 kV: n. 14 isolatori (n. 18 isolatori per inquinamento pesante),
- 380 kV: n. 18 isolatori / 21 isolatori (fino a 25 isolatori per inquinamento pesante).

Per quanto riguarda le apparecchiature delle stazioni elettriche i livelli di salinità di tenuta sono quelli riportati in tabella 3.

Tabella 3. Scelta degli isolamenti superficiali per le stazioni elettriche

| | | | | |
|--|--------|-----|-----|-----|
| Tensione massima del sistema (kV) | 145 | 170 | 245 | 420 |
| Linea di fuga minima (mm/kV) | ≥ 43.3 | | | |
| Salinità di tenuta (kg/m ³) | 56 | 56 | 40 | 40 |

6 DISPOSITIVI DI PROTEZIONE CONTRO LE SOVRATENSIONI

I dispositivi di protezione da adottare nelle reti elettriche sono:

- spinterometri a corna;
- scaricatori ad ossido metallico (ZnO).

Nonostante non siano dei dispositivi di protezione, per limitare il livello delle sovratensioni di manovra può essere utile l'utilizzo di dispositivi di sincronizzazione dei poli degli interruttori. Tali dispositivi devono essere previsti sugli interruttori relativi a stalli trasformatori (esclusivamente lato AT1 e per tensioni nominali uguali o superiori a 220 kV), reattanze shunt e banchi di condensatori.

6.1 Spinterometro a corna

Gli spinterometri a corna devono essere utilizzati agli ingressi linea delle stazioni di smistamento e mai a protezione diretta delle macchine e dei banchi di condensatori.

Gli stalli linea delle stazioni di trasformazione devono essere equipaggiati con scaricatori ad ossidi metallici ed essere privi di spinterometri a corna.

Le tensioni massime per elemento del sistema e i livelli di protezione degli spinterometri a corna, in funzione delle tensioni nominali di rete, sono indicati nella Tabella 4.

Tabella 4. Scelta delle tensioni di scarica per gli spinterometri a corna

| | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Tensione nominale del sistema ⁸ [kV] | 380 | 220 | 150 | 132 |
| Tensione di scarica 50% ad impulso atmosferico 1.2/50 μs [kV] | 1050 | 770 | 560 | 480 |
| Tensione di scarica 50% ad impulso di manovra 250/2500 μs [kV] | 1020 | | | |

⁸ Per i valori delle tensioni massime di sistema si veda la Tabella 1.

6.2 Scaricatore ad ossido metallico (ZnO)

Le caratteristiche degli scaricatori a ossido metallico da impiegare nelle reti elettriche sono indicate nella Tabella 5.

Come caratteristiche generali, gli scaricatori dovranno essere per installazioni all'esterno, con funzionamento garantito in un range termico compreso tra -25 °C e +40 °C, con altezza sul livello del mare fino a 1000 m e dovrà essere considerata una pressione del vento massima di 700 N/m².

Tabella 5. Caratteristiche degli scaricatori di sovratensione

| | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Tensione nominale del sistema ⁹ [kV] | 380 | 220 | 150 | 132 |
| Tensione massima continuativa [kV] | ≥ 265 | ≥ 156 | ≥ 108 | ≥ 94 |
| Sovratensione sostenuta massima per 1 s [kV] | ≥ 366 | ≥ 219 | ≥ 156 | ≥ 132 |
| Corrente nominale di scarica ¹⁰ [kA _p] | 20 | 20 | 10 | 10 |
| Corrente a fronte ripido ¹¹ [kA _p] | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Corrente a impulso di manovra ¹² [kA _p] | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Tensione residua alla corrente nominale [kV _p] | ≤ 830 | ≤ 520 | ≤ 396 | ≤ 336 |
| Tensione residua alla corrente di fronte ripido [kV _p] | ≤ 955 | ≤ 600 | ≤ 455 | ≤ 386 |
| Tensione residua all'impulso di manovra [kV _p] | ≤ 720 | ≤ 440 | ≤ 318 | ≤ 270 |
| Massima energia specifica [kJ/kV] | ≥ 10 | ≥ 10 | ≥ 7 | ≥ 7 |
| Classe di scarica della linea ¹³ | 4 | 4 | 3 | 3 |
| Corrente nominale di cortocircuito [kA] | 63 | 50 | 40 | 40 |

⁹ Per i valori delle tensioni massime di sistema si veda la Tabella 1.

¹⁰ Forma d'onda di corrente 8/20 μs.

¹¹ Fronte d'onda di corrente 1 μs.

¹² Forma d'onda di corrente 30/60 μs.

¹³ Secondo norma IEC 60099-4 edizione 2.2.

7 CRITERI GENERALI DI PROTEZIONE

Vengono di seguito illustrati i criteri di ubicazione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni.

7.1 Stazioni isolate in aria (AIS) che non presentano tratti in cavo

Il nuovo Progetto Unificato Terna (PU), descritto nell'Allegato 3 al Codice di rete, che rappresenta lo standard tecnico di riferimento per la progettazione e la realizzazione degli impianti RTN, prevede, per le stazioni di trasformazione, gli scaricatori a ossido metallico (ZnO) all'ingresso delle linee aeree ed in cavo ed in prossimità di ogni trasformatore, mentre per le stazioni di smistamento prevede la presenza di spinterometri sugli isolatori di amarro dei conduttori del portale di stazione all'entrata di ogni linea aerea.

Nel caso di interruttore di linea in posizione di aperto, la protezione delle apparecchiature del montante di linea (TVC, TA, interruttore) è affidata allo spinterometro sull'isolatore di amarro, che pertanto deve necessariamente essere presente, a meno che non sia presente uno scaricatore ad ingresso linea.

7.2 Stazioni isolate in aria (AIS) che presentano tratti in cavo

Nel caso di cavo che connette la stazione al trasformatore, sul montante deve essere presente uno scaricatore in prossimità del trasformatore, ed almeno un altro scaricatore, all'estremo del cavo lato stazione. In particolare:

- se la lunghezza del cavo è dell'ordine di qualche decina di metri è sufficiente lo scaricatore in prossimità del trasformatore.
- se la lunghezza del cavo è dell'ordine di grandezza che va dal centinaio di metri a qualche centinaio di metri la posizione dello scaricatore risulta critica in quanto la massima sovratensione si può raggiungere ad una delle due estremità del cavo in funzione di numerosi parametri (ampiezza dell'onda incidente, durata del fronte, durata della coda, lunghezza del cavo, etc.); oltre allo scaricatore in prossimità del trasformatore, il posizionamento dello scaricatore risulta necessario anche a valle del cavo, (lato stazione)
- se la lunghezza del cavo è superiore a circa 1 km il montante si considera autoprotetto per cui non è necessario installare gli scaricatori a protezione del cavo (è comunque necessario installare scaricatori per la protezione del trasformatore).

Nel caso di cavo (con lunghezza inferiore al km) che connette la linea aerea alla stazione è opportuno installare gli scaricatori all'ingresso della linea aerea, in prossimità del passante linea-cavo.

7.3 Stazioni blindate isolate in SF₆ (GIS)

Per tale tipologia di stazione, trattandosi di isolamenti non autoripristinanti, è necessario installare gli scaricatori ad ingresso linea.

Di norma gli scaricatori vanno collocati direttamente in corrispondenza del portale di amarro della linea e preferibilmente esternamente all'impianto blindato.

La presenza degli scaricatori in corrispondenza dell'arrivo delle linee è sufficiente, nella maggioranza dei casi a proteggere anche dalle sovratensioni di origine atmosferica i trasformatori all'interno di stazioni "GIS".

Nel caso di presenza di collegamenti AT in aria fra l'impianto GIS ed i trasformatori è necessario installare scaricatori in prossimità dei terminali AT di macchina, per garantire comunque la protezione dei trasformatori stessi, nonché del GIS.

In caso di collegamenti diretti di cavi ai GIS, valgono le analoghe considerazioni fatte per gli impianti AIS.

7.4 Stazioni isolate in aria con apparecchiature compatte (moduli compatti multifunzione - MCM)

In caso di stazioni dove sono installati MCM occorre prevedere l'installazione di scaricatori di sovratensione a resistenza non lineare, privi di spinterometri, in prossimità dei terminali di ingresso degli stessi, lato linea.

Nel caso di ampliamenti di stazioni esistenti ove sono presenti sia montanti in aria che montanti realizzati con MCM o in caso di presenza del modulo Parallelo Sbarre realizzato con MCM, è necessario prevedere l'installazione di scaricatori anche su entrambe le sbarre, in posizione il più possibile baricentrica rispetto alle stesse.

In caso di collegamenti diretti di cavi ai MCM, valgono le analoghe considerazioni fatte per gli impianti AIS e GIS.