

**METODOLOGIA DI VALUTAZIONE  
DELL'EFFICACIA DEI SISTEMI  
DI PROTEZIONE CATODICA  
DI UN IMPIANTO DI DISTRIBUZIONE GAS**



**© UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione**

Via Battistotti Sassi 11/b - 20133 Milano

Tel. 02 70024.1 – Fax. 02 70105993

[www.uni.com](http://www.uni.com)

**Autori:**

APCE – Associazione per la Protezione dalle Corrosioni Elettrolitiche

Via del Commercio, 11 – 00154 Roma

Tel. 06 57396337 -Telefax 06 57396338

[www.apce.it](http://www.apce.it)

**Pubblicato il 30/05/2005**

**Questa pubblicazione non è un documento normativo. La responsabilità dei concetti espressi è unicamente degli autori.**

**TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI**

Il documento è sottoposto alla tutela del diritto d'autore secondo la legislazione vigente: UNI intende avvalersi di tutti gli strumenti per tutelare il copyright.

La licenza d'uso del documento vieta (senza il consenso scritto di UNI):

- la modifica, l'adattamento e la riduzione;
- la traduzione;
- il noleggio/affitto;
- la vendita.

Il documento può essere riprodotto o diffuso integralmente con un mezzo qualsiasi a condizione che sia citato il "copyright UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione", l'indirizzo internet "www.uni.com" e gli Autori.

## SOMMARIO

Introduzione.....	1
Premessa.....	2
1 Generalità.....	3
2 Scopo.....	3
3 Campo di applicazione.....	3
4 Riferimenti.....	3
4.1 Riferimenti Legislativi.....	3
4.2 Riferimenti Normativi.....	4
4.3 Linee guida.....	5
5 Termini e definizioni.....	5
6 Caratteristiche dell'indicatore di protezione catodica.....	6
7 Metodologia di calcolo dell'indicatore di protezione catodica.....	6
7.1 Parametri di calcolo.....	6
7.2 Struttura dell'indicatore di protezione catodica.....	7
7.2.1 Coefficiente $K_1$ inerente la progettazione del sistema di protezione catodica.....	8
7.2.1.1 Coefficiente $K_{11}$ inerente il sezionamento elettrico del sistema di protezione catodica.....	8
7.2.1.2 Coefficiente $K_{12}$ inerente i posti di misura del sistema di protezione catodica.....	9
7.3 Coefficiente $K_2$ inerente la gestione del sistema di protezione catodica.....	10
7.3.1 Coefficiente di gestione $K_2^{OP}$ inerente controlli con operatore in campo.....	11
7.3.1.1 Coefficiente $K_{21}^{OP}$ inerente le misure di breve durata.....	11
7.3.1.2 Coefficiente $K_{22}^{OP}$ inerente le misure registrate.....	13
7.3.2 Coefficiente di gestione $K_2^{TLS}$ inerente i sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza.....	16
8 Legenda simboli.....	19

## **INTRODUZIONE**

Le presenti linee guida sono state elaborate dall'APCE (Associazione per la Protezione dalle Corrosioni Elettrolitiche, Sede legale c/o Italgas Via del Commercio, 11 - 00154 Roma).

L'APCE sin dalla sua costituzione ha perseguito l'obiettivo di promuovere e coordinare iniziative per attuare la collaborazione fra gli utenti del sottosuolo al fine di studiare e risolvere i problemi connessi con la protezione delle strutture metalliche dalle corrosioni elettrolitiche, anche riguardo alle interferenze elettriche che possono sorgere tra le stesse o con strutture installate sulla superficie del suolo (linee ferroviarie e tranviarie).

Ai sensi della delibera n. 168/04 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, allegato A, articolo 29.4, questo documento fornisce un metodo di valutazione dell'efficacia dei sistemi di protezione catodica degli impianti di distribuzione del gas per mezzo di un modello di calcolo.

## **PREMESSA**

Le indicazioni contenute in queste linee guida costituiscono i requisiti essenziali per l'effettuazione delle attività trattate e per aspetti non coperti o sufficientemente regolati da norme tecniche nazionali o europee.

Le presenti linee guida saranno periodicamente riviste e aggiornate per tenere conto dell'evoluzione tecnica e normativa nel suo campo di applicazione.

## **1 Generalità**

Questo documento definisce un modello di calcolo per valutare il livello di efficacia ed affidabilità della protezione catodica attuata sulle reti in acciaio di distribuzione gas, nel seguito denominato indicatore di protezione catodica ( $K_T$ ).

Il modello di calcolo consente di valutare i criteri utilizzati per la progettazione, la gestione e conduzione della protezione catodica, applicati ai singoli sistemi di protezione catodica degli impianti di distribuzione, in osservanza alle prescrizioni legislative e normative.

L'indicatore rappresenta un indice di risultato riguardante gli effetti che i processi interni o esterni attinenti la progettazione, la gestione e conduzione della protezione catodica producono sull'azione di difesa dai fenomeni di corrosione delle reti di distribuzione in acciaio.

Il dato numerico finale, calcolato con la metodologia di valutazione di seguito descritta, indica in modo non strettamente puntuale il livello di efficacia ed affidabilità di quanto attuato per ciascun sistema di protezione catodica.

## **2 Scopo**

La presente linea guida consente di calcolare l'indicatore dei singoli sistemi di protezione catodica, attraverso le caratteristiche progettuali e le informazioni della gestione, prendendo come riferimento le disposizioni legislative e norme tecniche vigenti in materia.

## **3 Campo di applicazione**

Le presenti linee guida si applicano alle condotte in acciaio di ciascun sistema di protezione catodica protetto con impianti a corrente impressa.

Le presenti linee guida non si applicano alle condotte in acciaio protette con anodi galvanici e alla reti in acciaio non protette catodicamente.

## **4 Riferimenti**

### **4.1 Riferimenti Legislativi**

La protezione catodica, applicata alle reti in acciaio di distribuzione del gas, è resa obbligatoria sin dal 1968 mediante disposizioni legislative.

Attualmente è prescritta dal D.M. del 24 Novembre 1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8" e successive modifiche del 1989, 1991 e 1999, e dal D.M. del 23 Febbraio 1971 n. 2445 "Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto" e successive modifiche del 2004.

È opportuno, inoltre, specificare che la legge 6.12.1971, n. 1083, "Norme per la sicurezza dell'impiego del gas combustibile" stabilisce che tutti i materiali, gli apparecchi, le installazioni e gli impianti alimentati con gas combustibile per uso domestico ed usi similari devono essere realizzati secondo le regole specifiche della buona tecnica, per la salvaguardia della sicurezza. Un

successivo articolo prevede che se realizzati secondo le norme specifiche per la sicurezza, pubblicate dall'Ente Nazionale di Unificazione (UNI-CIG), si considerano effettuati secondo le regole della buona tecnica.

L'Autorità per l'energia elettrica e il gas, il 29 settembre 2004 ha emesso la delibera 168/04 "Testo integrato delle disposizioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas in materia di qualità dei servizi di distribuzione, misura e vendita del gas" (pubblicata sulla G.U. n. 245 del 18.10.2004, supplemento ordinario n. 158), nella quale sono precisate le informazioni e i dati relativi alla protezione catodica che devono essere registrati dal distributore e la predisposizione del "Rapporto annuale dello stato elettrico dell'impianto di distribuzione".

## 4.2 Riferimenti Normativi

Salvo diversa ed esplicita indicazione si fa riferimento all'edizione della norma in vigore all'atto dell'applicazione delle presenti linee guida.

UNI EN ISO 8044	Corrosione dei metalli e leghe - Termini fondamentali e definizioni (Luglio 2001)
UNI EN 12954	Protezione catodica di strutture metalliche interrate o immerse - Principi generali e applicazione per condotte (Marzo 2002)
UNI 9783	Protezione catodica di strutture metalliche interrate. Interferenze elettriche tra strutture metalliche interrate (Luglio 1990)
UNI 11094	Protezione catodica di strutture metalliche interrate - Criteri generali per l'attuazione, le verifiche e i controlli ad integrazione di UNI EN 12954 anche in presenza di correnti disperse (Marzo 2004)
UNI EN 13509	Tecniche di misurazione per la protezione catodica (Marzo 2004)
UNI 10166	Protezione catodica di strutture metalliche interrate - Posti di misura (Febbraio 1993)
UNI 10167	Protezione catodica di strutture metalliche interrate - Custodie per dispositivi e posti di misura (Febbraio 1993)
UNI 10265	Protezione catodica di strutture metalliche interrate - Segni grafici (Settembre 1993)
UNI 10428	Protezione catodica di strutture metalliche interrate - Impianti di drenaggio unidirezionali (Dicembre 1994)
UNI 10405	Protezione catodica di condutture metalliche interrate - Localizzazione del tracciato, di falle nel rivestimento e di contatto con strutture estranee (Maggio 1995)
UNI CEI 8	Dispositivi di protezione catodica Alimentatore di protezione catodica (Giugno 1997)
UNI 10611	Rivestimenti isolanti di strutture metalliche interrate da associare alla protezione catodica - Criteri di progettazione e controllo (sperimentale Luglio 1997)
UNI 10835	Protezione catodica di condotte metalliche interrate - Anodi e dispersori per impianti a corrente impressa. Criteri di progettazione e installazione (Novembre 1999)

UNI 10875	Qualificazione e certificazione del personale addetto alla protezione catodica - Principi generali (Aprile 2000)
UNI 10950	Protezione catodica di condotte metalliche interrato - Telecontrollo dei sistemi di protezione catodica (Maggio 2001)
UNI EN 12501-1	Protezione dei materiali metallici contro la corrosione - Probabilità di corrosione nel terreno - Parte 1 Generalità (Settembre 2004)
UNI EN 12501-2	Protezione dei materiali metallici contro la corrosione - Probabilità di corrosione nel terreno - Parte 2 Materiali ferrosi basso legati e non legati (Settembre 2004)
UNI EN 13636	Protezione catodica di serbatoi metallici interrati e delle relative tubazioni (Novembre 2004)

#### 4.3 Linee Guida

A.P.C.E. "Protezione catodica delle reti in acciaio di distribuzione del gas" (codice 4.20.01 rev. 1) seconda edizione pubblicata dall'UNI, anno 2004.

### 5. Termini e definizioni

Oltre a quanto contenuto nei documenti di riferimento, ai fini delle presenti linee guida valgono le seguenti definizioni:

**Condizione di non efficace applicazione della protezione catodica alle condotte:** inosservanza di prescrizioni normative riguardanti la progettazione, gestione e conduzione dei sistemi di protezione catodica o situazioni in cui i valori rilevati mediante le diverse tipologie di misurazione non sono conformi ai valori dei criteri di protezione definiti dalle norme UNI.

**Condizione di efficace applicazione della protezione catodica alle condotte:** osservanza di prescrizioni normative riguardanti la progettazione, gestione, conduzione dei sistemi di protezione catodica e situazioni in cui i valori rilevati mediante le diverse tipologie di misurazione sono conformi ai valori dei criteri di protezione definiti dalle norme UNI.

**Rete in acciaio non protetta catodicamente:** è la rete in acciaio che ricade in una delle seguenti situazioni:

- a) inosservanza di disposizioni legislative per le quali le condotte o parti di condotte in acciaio dell'impianto di distribuzione non sono protette catodicamente con impianti a corrente impressa o con anodi galvanici.
- b) tratti di condotta di lunghezza limitata non protetti catodicamente di cui al DM 24 novembre 1984, (definite nella linea guida APCE, seconda edizione, come tubazione di lunghezza non maggiore ad una barra di tubo,  $\leq 12$  m, elettricamente indipendente dal resto della condotta).



## 6. Caratteristiche dell'indicatore di protezione catodica

L'indicatore  $K_T$  dell'efficacia della protezione catodica è calcolato sulla base di 100 punti per ogni singolo sistema di protezione catodica, confrontando i criteri di progettazione e di gestione adottati per la protezione catodica delle condotte in acciaio con quanto prescritto dalla legislazione, norme e linee guida vigenti in materia.

Il peso assegnato alla progettazione è di 30 punti, di cui 10 punti per la suddivisione della rete in sistemi di protezione catodica (sezionamento elettrico) e 20 punti per la dislocazione dei posti di misura. I restanti 70 punti sono assegnati alla gestione e conduzione dei sistemi di protezione catodica.

L'indicatore di protezione catodica  $K_T$  si può esprimere come:

- **indice insufficiente**

**valore < 60:** valore assunto dall'indicatore nelle condizioni di non efficace applicazione della protezione catodica alle condotte.

- **indice standard**

**valore  $\geq 60$ :** valore assunto dall'indicatore nelle condizioni di efficace applicazione della protezione catodica alle condotte.

I valori dell'indicatore compresi tra 60 e 80, corrispondono a situazioni in cui è assicurata l'efficacia della protezione catodica. L'intervallo di venti punti dell'indicatore, tra 60 e 80, considera le differenti condizioni operative in cui può trovarsi il gestore della protezione catodica.

Il valore dell'indicatore di protezione catodica maggiore di 80, corrisponde a situazione dove le verifiche ed i controlli sono stati intensificati a causa dell'entità e variabilità del campo elettrico interferente o ad una gestione particolarmente accorta e curata da parte del distributore.

Il valore dell'indicatore di protezione catodica  $K_T$ , determinato per ciascun sistema di protezione catodica e per ogni anno di riferimento, deve essere riportato nel rapporto annuale dello stato elettrico dell'impianto di distribuzione evidenziando la condizione di efficace applicazione della protezione catodica alle condotte o di non efficace applicazione della protezione catodica alle condotte appartenenti al sistema di protezione catodica in esame.

## 7 Metodologia di calcolo dell'indicatore di protezione catodica

### 7.1 Parametri di calcolo

Per il calcolo dell'indicatore di protezione catodica  $K_T$ , è necessario individuare i sistemi di protezione catodica che compongono l'impianto di distribuzione. Per ogni sistema di protezione catodica in esame è necessario disporre dei seguenti parametri:

- lunghezza in chilometri o frazione di chilometro (arrotondato al primo decimale) della rete in acciaio del sistema di protezione catodica ( $L_{SPC}$ );
- numero totale dei posti di misura presenti nel sistema di protezione catodica ( $N_{PM}$ );
- numero degli attraversamenti ferroviari presenti nel sistema di protezione catodica ( $N_{AF}$ );
- numero degli impianti di protezione catodica, degli impianti di drenaggio unidirezionale e dei collegamenti con strutture estranee presenti nel sistema di protezione catodica ( $N_{IPC}$ ).

Per accertare l'efficienza e l'efficacia dei sistemi di protezione catodica, i controlli possono essere eseguiti con operatori in campo o mediante telesorveglianza. Pertanto i parametri per il calcolo dell'indicatore di protezione catodica  $K_T$  devono essere classificati separatamente:

a) sistemi di protezione catodica con controlli eseguiti con operatore in campo

- numero di misure di breve durata conformi eseguite sul sistema di protezione catodica ( $N_{MBD}^{OP}$ );
- numero di misure registrate conformi (non triennali) eseguite sul sistema di protezione catodica ( $N_{MR}^{OP}$ );
- numero delle misure registrate triennali conformi attribuite all'anno di riferimento ( $N_{MR-T}^{OP}$ ).  
Tale parametro si calcola sommando le misure registrate triennali conformi eseguite nell'ultimo triennio sul sistema di protezione catodica e dividendo tale somma per il fattore tre;
- eventuale numero di posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura presenti sul sistema di protezione catodica ( $P_{TLC}^{OP}$ ).

b) sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza

- numero di posti di misura dotati di telesorveglianza conformi presenti nel sistema di protezione catodica ( $N_{PM}^{TLC}$ );
- eventuale numero di misure di breve durata conformi eseguite con operatore nei posti di misura non inseriti nel sistema di telesorveglianza ( $N_{MBD}^{TLC}$ );
- eventuale numero di misure registrate conformi eseguite con operatore sul sistema di protezione catodica dotato di telesorveglianza o ricavate dal sistema di telesorveglianza stesso in quei posti di misura che hanno espresso valori conformi (vedi parag. 7.3.2) nel periodo di efficiente ed efficace funzionamento oppure derivanti da posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura, norma UNI 10950, ( $N_{MR}^{TLC}$ ).

Le suddette tipologie di misurazioni (breve durata, registrate e telesorvegliate) e le soluzioni impiantistiche sono da ritenersi conformi se rispondenti a quanto indicato nelle linee guida "Protezione catodica delle reti in acciaio di distribuzione del gas" (APCE codice 4.20.01 rev.1), seconda edizione pubblicata dall'UNI, anno 2004.

## 7.2 Struttura dell'indicatore di protezione catodica

Per ogni sistema di protezione catodica l'indicatore di protezione catodica  $K_T$  è calcolato mediante la formula:

$$K_T = \left( K_1 \cdot \sqrt{\frac{K_2}{70}} + K_2 \right) \quad (1)$$

dove:

$K_1$  è il coefficiente di progettazione del sistema di protezione catodica;

$K_2$  è il coefficiente di gestione del sistema di protezione catodica.

Il coefficiente di gestione del sistema di protezione catodica  $K_2$  ha indirettamente una dipendenza dai parametri di progettazione adottati, poiché il numero delle misurazioni è determinato anche dal

numero dei posti di misura presenti nel sistema di protezione catodica. Per correlare il coefficiente di progettazione del sistema di protezione catodica al coefficiente di gestione, è necessario moltiplicare il coefficiente di progettazione  $K_1$  per il termine  $\sqrt{\frac{K_2}{70}}$  (con variazione lenta tra 0 e 1, per la presenza della radice quadrata).

L'inserimento di questo termine permette anche di non raggiungere il valore minimo dell'indice standard ( $K_T = 60$ ) avendo eseguito una buona progettazione ( $K_1 = 30$  punti su 30) associata ad una gestione insufficiente ( $K_2 = 30$  punti su 70).

### 7.2.1 Coefficiente $K_1$ inerente la progettazione del sistema di protezione catodica

Il coefficiente  $K_1$  costituisce il parametro di valutazione delle caratteristiche di progettazione di ciascun sistema di protezione catodica, poiché tiene conto sia dei chilometri di rete associati al sistema di protezione catodica ( $K_{11}$ ) sia dei posti di misura ( $K_{12}$ ) presenti nello stesso sistema di protezione catodica.

Il peso del coefficiente  $K_1$  rispetto l'indicatore  $K_T$  è valutato in 30 punti percentuali.

Esso è calcolato come segue:

$$K_1 = 30 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot K_{11} + \frac{2}{3} \cdot K_{12} \right) \quad (2)$$

dove:

$K_{11}$  coefficiente sezionamento elettrico del sistema di protezione catodica;

$K_{12}$  coefficiente posti di misura del sistema di protezione catodica.

#### 7.2.1.1 Coefficiente $K_{11}$ inerente il sezionamento elettrico del sistema di protezione catodica

Il coefficiente  $K_{11}$  valuta i chilometri di rete in acciaio che costituiscono il sistema di protezione catodica e quindi il grado di sezionamento elettrico.

Con riferimento alle linee guida APCE, che indicano in circa venti chilometri la lunghezza media dei tratti di condotte<sup>1</sup> che devono appartenere ad un sistema di protezione catodica, il coefficiente  $K_{11}$  è calcolato mediante la formula:

$$K_{11} = \begin{cases} -400 \cdot n_{SPC}^2 + 40 \cdot n_{SPC} & , \quad 0 \leq n_{SPC} \leq \frac{1}{20} \\ 1 & , \quad n_{SPC} > \frac{1}{20} \end{cases} \quad (3)$$

dove  $n_{SPC}$  è il parametro del sezionamento elettrico della rete protetta, calcolato come segue:

<sup>1</sup> "Parag. 6.1 Numero di sistemi di protezione catodica in cui è suddivisa la rete", Linee guida sulla protezione catodica delle reti in acciaio di distribuzione gas - seconda edizione, pubblicata dall'UNI, anno 2004.

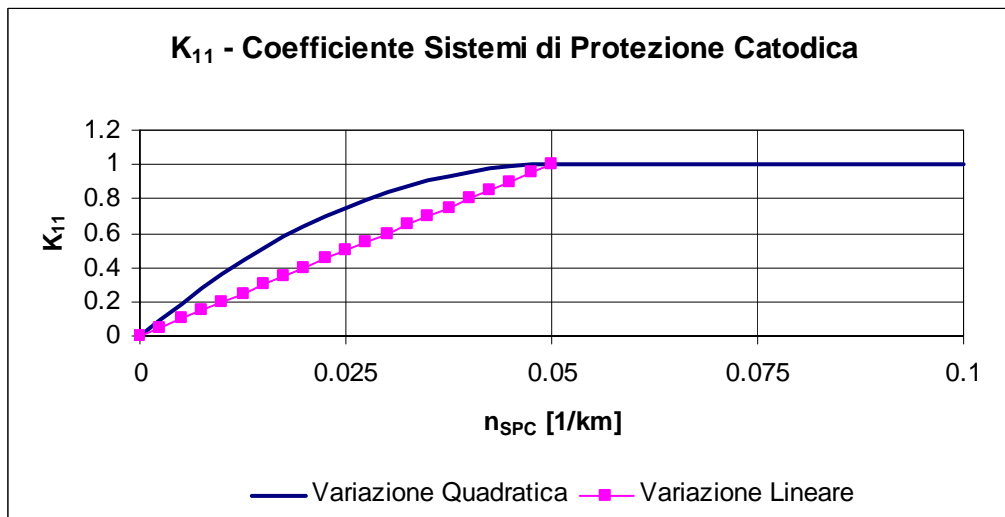
$$n_{SPC} = \frac{1}{L_{SPC}}$$

nel quale  $L_{SPC}$  è la lunghezza in chilometri o frazione di chilometro (arrotondato al primo decimale) della rete di acciaio del sistema di protezione catodica in esame.

Il criterio adottato per la suddetta legge di variazione di  $K_{11}$  in funzione di  $n_{SPC}$  è il seguente:

- il coefficiente  $K_{11}$  assume il valore massimo di 1 in corrispondenza di una lunghezza di 20 km di rete in acciaio;
- per lunghezze di rete maggiore al suddetto valore, il parametro diminuisce con legge quadratica annullandosi in  $n_{SPC}$  uguale a 0.

È stata scelta la legge quadratica, poiché in questo modo la variazione di  $K_{11}$  nell'intorno di  $n_{SPC} = \frac{1}{20}$  è limitata al diminuire di  $n_{SPC}$  (è stata adottata una funzione a derivata nulla in tale punto).



Come raffigurato nell'esempio del grafico precedente, la variazione quadratica dell'equazione (3) nell'intorno di  $n_{SPC} = 0,05$  è più lenta rispetto ad una variazione lineare, salvo avere una diminuzione maggiore nell'intorno di 0.

#### 7.2.1.2 Coefficiente $K_{12}$ inerente i posti di misura del sistema di protezione catodica

Il coefficiente  $K_{12}$  valuta il numero di posti di misura predisposti nel sistema di protezione catodica.

In conformità alle norme UNI in vigore, la spaziatura tra due posti di misura consecutivi deve essere in ogni caso compresa entro i 3 km e minore di 1 km in aree urbanizzate.

Il coefficiente  $K_{12}$  è stato rappresentato come segue:

$$K_{12} = \begin{cases} -\frac{9}{4} \cdot n_{PM}^2 + 3 \cdot n_{PM}, & 0 \leq n_{PM} \leq \frac{2}{3} \\ 1, & n_{PM} > \frac{2}{3} \end{cases} \quad (4)$$

dove il termine  $n_{PM}$  è il numero di posti di misura per chilometri di rete in acciaio del sistema di protezione catodica, calcolato come segue:

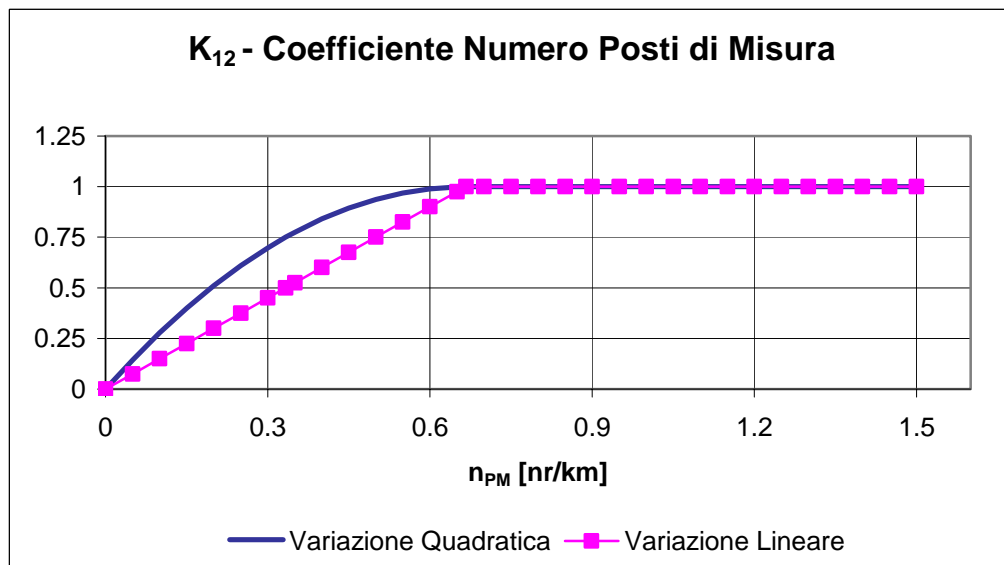
$$n_{PM} = \frac{N_{PM}}{L_{SPC}}$$

nel quale:

- $N_{PM}$  è il numero totale dei posti di misura presenti nel sistema di protezione catodica in esame;
- $L_{SPC}$  è la lunghezza in chilometri o frazione di chilometro (arrotondato al primo decimale) della rete in acciaio del sistema di protezione catodica.

Anche per questo coefficiente è stata scelta, nell'intervallo  $0 \leq n_{PM} \leq 2/3$ , la legge di variazione quadratica per contenere la diminuzione del coefficiente  $K_{12}$  almeno fino a  $n_{PM} = 1/3$ , valore per il quale il coefficiente  $K_{12}$  è uguale a 0,75 e quindi in ogni modo accettabile.

La norma prevede, infatti, che nel caso di condotte estese in lunghezza in ambito non cittadino la spaziatura dei posti di misura possa essere di 3 km.



Il grafico raffigura l'andamento del coefficiente  $K_{12}$  comparato con la legge di variazione lineare dello stesso.

### 7.3 Coefficiente $K_2$ inerente la gestione dei sistemi di protezione catodica

Il coefficiente attinente la gestione del sistema di protezione catodica  $K_2$  deve esprimere la valutazione sulla gestione e conduzione della protezione catodica, intesa come verifica dell'affidabilità e dell'efficacia del sistema di protezione catodica in esame.

Considerata la possibilità che la verifica dell'efficacia di un sistema di protezione catodica può essere assicurata per mezzo di controlli con operatori in campo o con sistemi di telesorveglianza, il calcolo del coefficiente di gestione del sistema di protezione catodica  $K_2$  deve essere eseguito con modalità differenti nei distinti casi:

$$K_2 = \begin{cases} 70 \cdot \sqrt{(K_2^{OP})^3} & \text{sistemi con operatore} \\ 70 \cdot \sqrt{(K_2^{TLS})^3} & \text{sistemi dotati di telesorveglianza} \end{cases} \quad (5)$$

I coefficienti  $K_2^{OP}$  e  $K_2^{TLS}$  sono calcolati con i criteri descritti nel parag. 7.3.1 e successivi e parag. 7.3.2

Il peso del coefficiente  $K_2$  rispetto l'indicatore di protezione catodica  $K_T$  è valutato in circa 70 punti percentuali.

### 7.3.1 Coefficiente di gestione $K_2^{OP}$ inerente controlli con operatore in campo

Per i sistemi di protezione catodica dove i controlli sono eseguiti con operatori, i parametri di riferimento nella valutazione del coefficiente di gestione  $K_2^{OP}$  sono:

- le misure di breve durata, calcolate con il coefficiente  $K_{21}^{OP}$  ;
- le misure registrate, calcolate con il coefficiente  $K_{22}^{OP}$  .

Il coefficiente di gestione controlli con operatore  $K_2^{OP}$  è calcolato come segue:

$$K_2^{OP} = 0.3 \cdot K_{21}^{OP} + 0.7 \cdot K_{22}^{OP} \quad (6)$$

#### 7.3.1.1 Coefficiente $K_{21}^{OP}$ inerente le misure di breve durata

Per le misure di breve durata da eseguire con operatori in campo, l'appendice A della norma UNI 11094 indica un modello di sistema di protezione catodica per le reti di distribuzione gas. Per tale modello convenzionale è specificato il numero minimo dei posti di misura interessati dai controlli e la relativa frequenza, secondo la variabilità del campo elettrico (bassa o nulla, media e alta - norma UNI 10950).

Per un sistema di protezione catodica costituito da una lunghezza di rete di 20 km, la norma indica il numero minimo dei punti caratteristici da controllare con misure di breve durata, pari a:

- n. 2 punti caratteristici nel caso di bassa variazione del campo elettrico;
- n. 3 punti caratteristici nel caso di media variazione del campo elettrico;
- n. 4 punti caratteristici nel caso di alta variazione del campo elettrico.

Con riferimento al modello convenzionale del sistema di protezione catodica, la tabella seguente riassume il numero di misure di breve durata da eseguire con operatore in campo sugli apparati e posti di misura nel corso di un anno.

I numeri delle misure di breve durata riportati nella tabella sono stati stabiliti tenendo presente il criterio che se nel corso dell'anno su uno stesso posto di misura deve essere eseguita anche la misura registrata, dal numero di misure di breve durata previsto deve essere sottratto il numero di misure registrate.

Il simbolo  $\Delta E$  indica la variazione del campo elettrico.

Numero di misure di breve durata/anno (per posto di misura)			
Tipologia dei posti di misura	Basso $\Delta E$	Medio $\Delta E$	Alto $\Delta E$
Alimentatori	11	11	11
Drenaggi unidirezionali	---	11	11

Punti caratteristici	2	4	12
Attraversamenti ferroviari	---	2	4
Altri posti di misura	---	---	---

Pertanto per ciascun sistema di protezione catodica in esame deve essere calcolato il numero minimo di misure di breve durata prescritte dalla norma UNI 11094, ( $M_{BD-UNI}^{OP}$ ).

Tale parametro è calcolato come segue<sup>2</sup>:

$$M_{BD-UNI}^{OP} = \begin{cases} 11 \cdot N_{IPC} + 0 \cdot N_{AF} + (1 \cdot 1 + 2) \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{basso } \Delta E \\ 11 \cdot N_{IPC} + 2 \cdot N_{AF} + (2 \cdot 2 + 4) \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{medio } \Delta E \\ 11 \cdot N_{IPC} + 4 \cdot N_{AF} + (10 \cdot 3 + 12) \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{alto } \Delta E \end{cases} \quad (7)$$

dove:

$N_{IPC}$  è il numero totale degli impianti di protezione catodica, degli impianti di drenaggio unidirezionale e dei collegamenti con strutture estranee presenti nel sistema in esame;

$N_{AF}$  è numero degli attraversamenti ferroviari presenti nel sistema in esame;

$\langle l \rangle_{20}$  è la lunghezza media dei tratti di condotta rapportata ai 20 km del sistema di protezione catodica in esame, calcolata come segue:

$$\langle l \rangle_{20} = \frac{1}{20} \cdot L_{SPC}$$

Il numero di punti caratteristici deve essere aumentato o diminuito proporzionalmente all'effettiva estensione della rete di ciascun sistema di protezione catodica in esame, con riferimento ai parametri indicati nella tabella precedente.

E' possibile, inoltre, che sui sistemi di protezione catodica controllati con operatore in campo esistano anche singoli posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura, UNI 10950. I dati da essi forniti sono assimilabili a misure di breve durata (nel seguito saranno tenuti in considerazione anche come misure registrate), considerandoli singolarmente equivalenti a 11 misure di breve durata annue.

Definito  $P_{TLC}^{OP}$  il numero dei posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura presenti sul sistema di protezione catodica controllato con operatore, il numero di misure di breve durata equivalenti  $N_{MBD-Eq}^{OP}$  si calcola come:

$$N_{MBD-Eq}^{OP} = N_{MBD}^{OP} + 11 \cdot P_{TLC}^{OP}$$

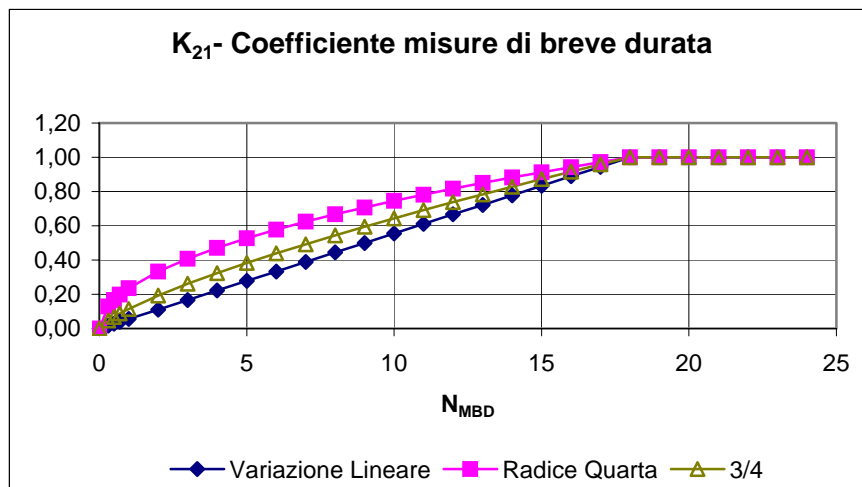
Il numero di misure di breve durata equivalenti  $N_{MBD-Eq}^{OP}$  è confrontato con il parametro  $M_{BD-UNI}^{OP}$  maggiorato del 15%, dal cui confronto si deduce il coefficiente  $K_{21}^{OP}$ .

Il calcolo è operato come segue:

$$K_{21}^{OP} = \sqrt[4]{\left( \frac{N_{MBD-Eq}^{OP}}{1.15 \cdot M_{BD-UNI}^{OP}} \right)^3} \quad (8)$$

<sup>2</sup> si è tenuto conto delle misure registrate da effettuarsi nei medesimi posti di misura.

in cui si utilizza la radice quarta del cubo del rapporto al fine di limitare la variazione di  $K_{21}^{OP}$  al diminuire dell'argomento della radice.



La variazione del coefficiente  $K_{21}^{OP}$  è in ogni caso limitato all'intervallo tra 0 e 1, cosicché qualora il rapporto  $\frac{N_{MBD-Eq}^{OP}}{M_{BD-UNI}^{OP}}$  superi l'unità,  $K_{21}^{OP}$  assume in ogni caso il valore 1.

Il grafico precedente presenta il confronto tra le diverse relazioni funzionali delle misure di breve durata riferite ad un sistema di protezione catodica costituito da una lunghezza di rete di 20 km.

### 7.3.1.2 Coefficiente $K_{22}^{OP}$ inerente le misure registrate

Per le misure registrate da eseguire con operatore in campo, l'appendice A della norma UNI 11094 indica, per il modello convenzionale di sistema di protezione catodica, il numero minimo dei posti di misura interessati dai controlli e la relativa frequenza, secondo la variabilità del campo elettrico (bassa o nulla, media e alta - norma UNI 10950).

Per il sistema di protezione catodica costituito da una lunghezza di rete di 20 km, il numero minimo dei punti caratteristici è uguale a:

- n. 1 nel caso di bassa variazione del campo elettrico;
- n. 2 nel caso di media variazione del campo elettrico;
- n. 3 nel caso di alta variazione del campo elettrico.

Con riferimento a tale modello convenzionale, la tabella successiva riassume il numero di misure registrate da eseguire con operatore in campo sugli apparati e posti di misura nel corso dell'anno.

Numero di misure registrate/Anno (per posto di misura)			
Tipologia dei posti di misura	Basso $\Delta E$	Medio $\Delta E$	Alto $\Delta E$
Alimentatori	1	1	1
Drenaggi unidirezionali	---	1	1
Punti caratteristici	1	2	2
Attraversamenti ferroviari	2	2	2



Pertanto per ciascun sistema di protezione catodica in esame deve essere calcolato il numero di misure registrate annue previste dalla norma 11094, ( $M_{R-UNI}^{OP}$ ).

Tale parametro è calcolato come segue:

$$M_{R-UNI}^{OP} = \begin{cases} N_{IPC} + 2 \cdot N_{AF} + 1 \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{basso } \Delta E \\ N_{IPC} + 2 \cdot N_{AF} + 2 \cdot 2 \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{medio } \Delta E \\ N_{IPC} + 2 \cdot N_{AF} + 2 \cdot 3 \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{alto } \Delta E \end{cases} \quad (9)$$

dove:

$N_{IPC}$  è il numero totale degli impianti di protezione catodica, degli impianti di drenaggio unidirezionale e dei collegamenti con strutture estranee presenti nel sistema in esame;

$N_{AF}$  è numero degli attraversamenti ferroviari presenti nel sistema in esame;

$\langle l \rangle_{20}$  è la lunghezza media dei tratti di condotta rapportata ai 20 km del sistema di protezione catodica in esame, calcolata come segue:

$$\langle l \rangle_{20} = \frac{1}{20} \cdot L_{SPC}$$

Anche in questo caso si considera un'equivalenza tra i dati forniti dai singoli posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura e le misure registrate. E' ragionevole che tali dati non solo siano assimilabili a misure registrate, ma abbiano un rilievo maggiore a condizione che sia rispettato il programma di misure registrate previsto dalla norma UNI 11094. Di conseguenza il criterio da adottare è che ogni posto di misura dotato di telesegnalazione o telemisura sia inizialmente paragonato ad una misura registrata annua. In seguito se il numero di misure registrate equivalenti è conforme alla UNI 11094, il peso della singola misura telesegnalata o telemisurata, che abbia espresso valori conformi nell'anno di riferimento, viene portato a due.

Si farà dunque riferimento al termine  $\delta$  pari a:

$$\delta = N_{MR}^{OP} + P_{TLC}^{OP}$$

dove:

- $\delta$  è il parametro di riferimento per il calcolo delle misure registrate equivalenti nel sistema di protezione catodica controllato con operatore;
- $N_{MR}^{OP}$  è il numero di misure registrate conformi eseguite sul sistema di protezione catodica in esame;
- $P_{TLC}^{OP}$  il numero dei posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura, con misure che hanno espresso valori conformi nell'anno di riferimento, presenti sul sistema di protezione catodica controllato con operatore.

Nel caso in cui il termine  $\delta$  è minore del numero di misure registrate minimo richiesto dalla norma  $M_{R-UNI}^{OP}$ , il numero di misure registrate equivalenti, sarà pari al termine  $\delta$  stesso, diversamente se il termine  $\delta$  è maggiore o uguale ad  $M_{R-UNI}^{OP}$  allora, per il calcolo delle misure registrate equivalenti, il peso del numero dei singoli punti dotati di telesegnalazione o telemisura è aumentato a 2 (numero massimo previsto da UNI 11094 in un singolo posto di misura).

Indicato con  $N_{MR-Eq}^{OP}$  il numero di misure registrate equivalenti eseguite sul sistema di protezione catodica, è possibile calcolarlo come segue:

$$N_{MR-Eq}^{OP} = \begin{cases} N_{MR}^{OP} + P_{TLC}^{OP} & \text{se } \delta < M_{R-UNI}^{OP} \\ N_{MR}^{OP} + 2 \cdot P_{TLC}^{OP} & \text{se } \delta \geq M_{R-UNI}^{OP} \end{cases}$$

La componente del coefficiente  $K_{22}^{OP}$  riguardante tali misure registrate non triennali sarà indicata come  $K_{22-R}^{OP}$  e sarà calcolata come:

$$K_{22-R}^{OP} = \frac{N_{MR-Eq}^{OP}}{1.15 \cdot M_{R-UNI}^{OP}} \quad (10)$$

ed è in ogni caso limitato all'intervallo tra 0 e 1, nel senso che qualora il numero di misure registrate ecceda il 15% del numero minimo prescritto dalla norma, il coefficiente  $K_{22-R}^{OP}$  è in ogni caso limitato ad assumere un valore pari all'unità.

È previsto, inoltre, dalla norma che in tutti i posti di misura rimanenti (oltre agli impianti di protezione catodica, drenaggi unidirezionali e collegamenti con strutture estranee) sia effettuata la misura registrata ogni tre anni. In pratica si può ipotizzare che un terzo di tali punti sono sottoposti annualmente ad una misura registrata.

Tali misurazioni saranno denominate misure registrate triennali prescritte dalla norma UNI 11094 ed indicate con  $M_{RT-UNI}^{OP}$ .

Considerando le prescrizioni della norma, si è ipotizzato che nel modello di sistema di protezione catodica costituito da una lunghezza di rete di 20 km siano presenti in totale 14 posti di misura (1 posto di misura ogni 1,5 km). Di conseguenza le “misure registrate triennali” che potrebbero essere eseguite annualmente sono:

$$M_{RT-UNI}^{OP} = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot \{f_1 - [N_{AF} + 1 \cdot \langle l \rangle_{20}]\} & \text{basso } \Delta E \\ \frac{1}{3} \cdot \{f_1 - [N_{AF} + 2 \cdot \langle l \rangle_{20}]\} & \text{medio } \Delta E \\ \frac{1}{3} \cdot \{f_1 - [N_{AF} + 3 \cdot \langle l \rangle_{20}]\} & \text{alto } \Delta E \end{cases} \quad (11)$$

dove:

$N_{AF}$  è numero degli attraversamenti ferroviari presenti nel sistema in esame;

$\langle l \rangle_{20}$  è la lunghezza media dei tratti di condotta rapportata ai 20 km del sistema di protezione catodica in esame, calcolata come segue:

$$\langle l \rangle_{20} = \frac{1}{20} \cdot L_{SPC}$$

mentre  $f_1$  è una funzione atta a valutare il numero dei posti di misura prescritti dalla norma (l'ipotesi è 1 ogni 1,5 km) relativi ai sistemi di protezione catodica controllati con operatore e si calcola come segue:

$$f_1 = \frac{1}{1,5} \cdot L_{SPC} \quad (12)$$

La componente del coefficiente  $K_{22}^{OP}$  concernente le misure registrate triennali sarà indicata come  $K_{22-RT}^{OP}$  e sarà calcolata come:

$$K_{22-RT}^{OP} = \left( \frac{N_{MR-T}^{OP}}{1.15 \cdot M_{RT-UNI}^{OP}} \right)^4 \quad (13)$$

dove:

$N_{MR-T}^{OP}$  è numero delle misure registrate triennali conformi attribuite all'anno di riferimento.

Tale parametro si calcola sommando le misure registrate triennali conformi eseguite nell'ultimo triennio sul sistema di protezione catodica e dividendo tale somma per il fattore tre.

Il coefficiente  $K_{22-RT}^{OP}$  è limitato all'intervallo tra 0 e 1, nel senso che qualora il numero di misure registrate triennali ecceda il 15% del numero minimo calcolato in base alla norma, il coefficiente  $K_{22-RT}^{OP}$  è in ogni caso limitato ad assumere un valore pari all'unità. L'elevamento alla quarta potenza del rapporto è stato previsto al fine di limitare l'influenza delle misure registrate triennali sul coefficiente  $K_{22}^{OP}$  (il rapporto è sempre minore di 1 e dunque elevandolo alla quarta potenza diminuisce ulteriormente).

Il coefficiente  $K_{22}^{OP}$  riguardante le misure registrate è calcolato come:

$$K_{22}^{OP} = 0.4 \cdot K_{22-RT}^{OP} + 0.6 \cdot K_{22-R}^{OP} \quad (14)$$

dove il peso associato alle misure registrate triennali è pari al 40% del peso totale delle misure registrate.

### 7.3.2 Coefficiente di gestione $K_2^{TLS}$ inerente i sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza

Nel caso di sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza, i parametri da tenere in considerazione per la valutazione del coefficiente di gestione  $K_2^{TLS}$  sono il numero di posti di misura telesorvegliati presenti nel sistema di protezione catodica e le eventuali misure di breve durata o misure registrate aggiuntive eseguite con operatore in campo o ricavate dal sistema di telesorveglianza stesso in quei posti di misura che hanno espresso valori conformi nel periodo di efficiente ed efficace funzionamento.

Queste ultime misure devono essere tenute in considerazione soltanto nel caso in cui il sistema di protezione catodica sia dotato di almeno il numero minimo dei posti di misura dotati di telesorveglianza previsti dalla norma UNI 11094.

Il modello convenzionale di sistema di protezione catodica, considerato nell'Appendice A della norma UNI 11094, prevede:

Numero minimo di posti di misura dotati di telesorveglianza		
Tipologia dei posti di misura	Basso e Medio $\Delta E$	Alto $\Delta E$
Alimentatori	Tutti	Tutti
Drenaggi unidirezionali	Tutti	Tutti
Punti caratteristici	1	2
Attraversamenti ferroviari	Tutti	Tutti

La norma e le linee guida APCE<sup>3</sup>, prevedono che un sistema di protezione catodica costituito da una lunghezza di rete di 20 km e dotato di telesorveglianza, deve comprendere, oltre agli impianti presenti ed agli attraversamenti ferroviari, n. 1 punto caratteristico per sistemi soggetti a bassa o media variazione del campo elettrico e n. 2 punti caratteristici per sistemi soggetti ad alta variazione del campo elettrico, purché non coincidenti con gli impianti di protezione catodica, con gli impianti di drenaggio e con gli attraversamenti ferroviari.

Pertanto il numero minimo di posti di misura telesorvegliati per ciascun sistema di protezione catodica può essere calcolato come:

$$PM_{TLS-UNI} = \begin{cases} N_{IPC} + N_{AF} + 1 \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{basso e medio } \Delta E \\ N_{IPC} + N_{AF} + 2 \cdot \langle l \rangle_{20} & \text{alto } \Delta E \end{cases} \quad (15)$$

dove:

$N_{IPC}$  è il numero totale degli impianti di protezione catodica, degli impianti di drenaggio unidirezionale presenti nel sistema in esame;

$N_{AF}$  è numero degli attraversamenti ferroviari presenti nel sistema in esame;

$\langle l \rangle_{20}$  è la lunghezza media dei tratti di condotta rapportata ai 20 km del sistema di protezione catodica in esame, calcolata come segue:

$$\langle l \rangle_{20} = \frac{1}{20} \cdot L_{SPC}$$

Il coefficiente di gestione dei sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza ( $K_2^{TLS}$ ), limitato nell'intervallo tra 0 e 1, dovrà essere calcolato operando il confronto tra il numero reale di punti presenti nel sistema e il numero dei posti di misura dotati di telesorveglianza prescritti dalla norma UNI ( $PM_{TLS-UNI}$ ) maggiorato del 20% con un semplice rapporto.

Considerata l'eventualità di un guasto al sistema di telesorveglianza, potrebbe essere necessario per supplire a tale inefficienza ricorrere a misure registrate conformi con operatore in campo o attingendo a misure ricavate dal sistema di telesorveglianza in quei posti di misura che hanno espresso valori conformi nel periodo di efficiente ed efficace funzionamento. In quest'ultimo caso, se nel mese sono presenti registrazioni conformi, il criterio da adottare è di considerare una misura conforme al mese per posto di misura telesorvegliato. Il peso di tali misure registrate  $N_{MR}^{TLS}$  è stato stimato in un dodicesimo del peso di un posto di misura dotato di telesorveglianza, come riportato nell'equazione successiva (16).

$$K_2^{TLS} = \frac{N_{PM}^{TLS} + N_{AF}^{CC} + \frac{1}{12} \cdot N_{MR}^{TLS}}{1.2 \cdot PM_{TLS-UNI}} + f_2 \quad (16)$$

dove  $f_2$  può contribuire proporzionalmente fino ad un peso di 0,05 qualora, oltre a quelli telesorvegliati, su tutti i posti di misura rimanenti fosse eseguita una misura di breve durata all'anno;

$f_2$  si calcola come segue:

<sup>3</sup> Linee guida APCE "Protezione catodica delle reti in acciaio di distribuzione gas", (codice 4.20.01 rev.1) seconda edizione pubblicata dall'UNI, anno 2004.

$$f_2 = 0.05 \cdot \left( \frac{N_{MBD}^{TLS}}{M_{MBD}^{TLS}} \right) \quad (17)$$

in cui il parametro:

$$M_{MBD}^{TLS} = \frac{1}{1.5} \cdot L_{SPC} - N_{PM} \quad (18)$$

rappresenta le misure di breve durata di riferimento per i sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza.

Qualora siano presenti, nel sistema di protezione catodica dotato di telesorveglianza, anche posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura (UNI 10950) che abbiano espresso valori conformi nell'anno di riferimento, per ogni singolo posto di misura telesegnalato o telemisurato sono da conteggiare due misure registrate al totale del numero di misure registrate conformi ( $N_{MR}^{TLS}$ ).

## 8. Legenda simboli

$K_T$	Indicatore di protezione catodica
$K_1$	Coefficiente di progettazione del sistema di protezione catodica
$K_{11}$	Coefficiente sezionamento elettrico del sistema di protezione catodica
$K_{12}$	Coefficiente posti di misura del sistema di protezione catodica
$K_2$	Coefficiente di gestione del sistema di protezione catodica
$K_2^{OP}$	Coefficiente di gestione inerente i controlli con operatore in campo
$K_{21}^{OP}$	Coefficiente inerente le misure di breve durata (sistemi di protezione catodica controllati con operatore)
$K_{22}^{OP}$	Coefficiente inerente le misure registrate (sistemi di protezione catodica controllati con operatore)
$K_{22-R}^{OP}$	Coefficiente misure registrate non triennali (sistemi di protezione catodica controllati con operatore)
$K_{22-RT}^{OP}$	Coefficiente misure registrate triennali (sistemi di protezione catodica controllati con operatore)
$K_2^{TLS}$	Coefficiente di gestione inerente i sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza
$L_{SPC}$	Lunghezza in chilometri o frazione di chilometro (arrotondato al primo decimale) della rete in acciaio del sistema di protezione catodica in esame
$N_{PM}$	Numero totale dei posti di misura presenti nel sistema di protezione catodica in esame
$N_{AF}$	Numero degli attraversamenti ferroviari presenti nel sistema di protezione catodica in esame
$N_{IPC}$	Numero degli impianti di protezione catodica, degli impianti di drenaggio unidirezionale e dei collegamenti con strutture estranee presenti nel sistema di protezione catodica in esame
$N_{MBD}^{OP}$	Numero di misure di breve durata conformi eseguite sul sistema di protezione catodica con operatore
$N_{MBD-Eq}^{OP}$	Numero di misure di breve durata equivalenti conformi eseguite sul sistema di protezione catodica con operatore
$M_{BD-UNI}^{OP}$	Numero di misure di breve durata prescritte dalla norma UNI 11094 sul sistema di protezione catodica controllato con operatore
$N_{MR}^{OP}$	Numero di misure registrate conformi (non triennali) eseguite sul sistema di protezione catodica con operatore
$N_{MR-Eq}^{OP}$	Numero di misure registrate equivalenti eseguite sul sistema di protezione catodica con operatore
$P_{TLC}^{OP}$	Eventuali posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura presenti sul sistema di protezione catodica controllato con operatore
$N_{MR-T}^{OP}$	Numero delle misure registrate triennali conformi attribuite all'anno di riferimento eseguite sul sistema di protezione catodica
$N_{PM}^{TLS}$	Numero di posti di misura dotati di telesorveglianza conformi presenti nel sistema di protezione catodica
$N_{MBD}^{TLS}$	Eventuale numero di misure di breve durata conformi eseguite con operatore nei posti di misura non inseriti nel sistema di telesorveglianza
$N_{MR}^{TLS}$	Eventuale numero di misure registrate conformi eseguite con operatore sul sistema di protezione catodica dotato di telesorveglianza in quei posti di misura che hanno espresso valori conformi nel periodo di efficiente ed efficace funzionamento oppure derivanti da posti di misura dotati di telesegnalazione o telemisura, norma UNI 10950.
$n_{SPC}$	Parametro del sezionamento elettrico della rete protetta
$n_{PM}$	Numero di posti di misura per chilometri di rete del sistema di protezione catodica
$M_{R-UNI}^{OP}$	Numero di misure registrate (non triennali) prescritte dalla norma UNI 11094 sul sistema di protezione catodica controllato con operatore
$M_{RT-UNI}^{OP}$	Numero di misure registrate triennali prescritte dalla norma UNI 11094 sul sistema di protezione catodica controllato con operatore
$\langle l \rangle_{20}$	Lunghezza media dei tratti di condotta rapportata a 20 km del sistema di protezione catodica
$PM_{TLS-UNI}$	Numero di posti di misura dotati di telesorveglianza prescritti dalla norma UNI 11094 sul sistema di protezione catodica da telesorvegliare

$N_{AF}^{CC}$	Numero punti caratteristici coincidenti con attraversamenti ferroviari sul sistema di protezione catodica dotato di telesorveglianza
$N_{MR}^{TLS}$	Numero di misure registrate eseguite con operatore sul sistema di protezione catodica dotato di telesorveglianza
$M_{MBD}^{TLS}$	Misure di breve durata di riferimento per sistemi di protezione catodica dotati di telesorveglianza
$\delta$	Parametro di riferimento per il calcolo delle misure registrate equivalenti nel sistema di protezione catodica controllato con operatore
$f_1$	Funzione atta a valutare il numero dei posti di misura prescritti dalla norma nel sistema di protezione catodica
$f_2$	Funzione atta a valutare le eventuali misure di breve durata nel sistema di protezione catodica dotato di telesorveglianza
$\Delta E$	Variazione del campo elettrico

