

N O R M A I T A L I A N A C E I

Progetto

C. 1045

Data Scadenza Inchiesta

31-01-2010

Data Pubblicazione

2009-...

Classificazione

11-...

Titolo

Norme tecniche per la costruzione di linee elettriche aeree esterne

Title



CEI COMITATO Elettrotecnico Italiano

AEIT FEDERAZIONE ITALIANA DI Elettrotecnica, Elettronica, Automazione, Informatica e Telecomunicazioni

CNR CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

INDICE

1	Scopo Oggetto.....	4
2	Campo di applicazione.....	4
3	Definizioni ed elenco dei simboli	4
3.1	Affidabilità	4
3.2	Azioni.....	4
3.3	Combinazioni di azioni	4
3.4	Componente.....	5
3.5	Conduttore (di una linea aerea).....	5
3.6	Conduttore di terra.....	5
3.7	Conduttore ottico	5
3.8	Dispersore.....	5
3.9	Distanza d'isolamento	5
3.10	Distanza d'isolamento interna	5
3.11	Distanze d'isolamento esterne.....	5
3.12	Effetto delle azioni	5
3.13	Coefficiente di combinazione di un'azione	5
3.14	Coefficiente parziale di un'azione	5
3.15	Coefficiente parziale di sicurezza relativo ad una proprietà di un materiale.....	5
3.16	Fune di guardia.....	6
3.17	Fune di guardia a fibre ottiche	6
3.18	Funzione	6
3.19	Impianto di terra.....	6
3.20	Linee elettriche aeree esterne.....	6
3.21	Manutenzione	6
3.22	Messa a terra.....	6
3.23	Periodo di riferimento.....	6
3.24	Periodo di ritorno	6
3.25	Resistenza strutturale.....	6
3.26	Resistenza caratteristica.....	6
3.27	Resistenza di progetto	6
3.28	Sicurezza delle persone.....	7
3.29	Sicurezza funzionale.....	7
3.30	Sistema elettrico.....	7
3.31	Sistema meccanico	7
3.32	Situazione di progetto	7
3.33	Sostegno.....	7
3.34	Sostegno d'angolo	7
3.35	Sostegno di amarro.....	7
3.36	Sostegno di rettilo	7
3.37	Sostegno di sospensione	7
3.38	Sostegno rompitratta.....	7
3.39	Sostegno terminale (capolinea)	7
3.40	Sostegno contro l'effetto cascata.....	8
3.41	Specifiche di progetto	8
3.42	Stato limite di una struttura	8
3.43	Stato limite ultimo	8
3.44	Tensione massima del sistema.....	8

3.45	Tensione nominale.....	8
3.46	Valore caratteristico di un'azione.....	8
3.47	Valore di combinazione di un'azione.....	8
3.48	Valore di progetto di un'azione.....	8
3.49	Valore di progetto di una proprietà di un materiale.....	8
3.50	Vita nominale di un'opera.....	8
4	Basi per il progetto.....	10
4.1	Generalità.....	10
5	Azioni sulle linee.....	10
5.1	Azioni, approccio generale.....	10
6	Prescrizioni elettriche e distanze di rispetto.....	19
6.1	Ipotesi di carico per il calcolo delle distanze di isolamento.....	19
6.2	Distanza tra i conduttori e verso le parti a terra dei sostegni.....	19
6.3	Altezza dei conduttori da terra e da acque non navigabili.....	22
6.4	Attraversamenti.....	23
6.5	Distanze di rispetto per i conduttori.....	23
6.6	Distanze di rispetto dai fabbricati.....	24
6.7	Angolo di incrocio tra linee elettriche ed opere attraversate.....	25
6.8	Attraversamento di linee elettriche o di telecomunicazione in cavo sotterraneo.....	25
6.9	Prescrizioni particolari per linee con sostegni non-autoportanti.....	25
6.10	Distanze di rispetto per i sostegni.....	25
6.11	Limiti massimi di esposizione ai campi elettrici e magnetici in fabbricati abitati e ambiente esterno - Limiti di esposizione e criteri di applicazione.....	26
6.12	Interferenze con circuiti di telecomunicazione.....	26
7	Impianti di terra.....	27
7.1	Dimensionamento degli impianti di terra alla frequenza industriale.....	27
7.2	Messa a terra dei sostegni e di altre opere.....	27
8	Sostegni.....	27
8.1	Tralicci in acciaio.....	27
8.2	Pali di acciaio.....	28
8.3	Pali di legno.....	28
8.4	Pali di calcestruzzo.....	28
8.5	Strutture strallate.....	28
8.6	Altre strutture.....	28
9	Fondazioni.....	29
9.1	Progetto geotecnico mediante calcolo.....	29
9.2	Progetto geotecnico mediante misure prescrittive.....	29
10	Conduttori e funi di guardia aerei con o senza circuiti di telecomunicazione.....	29
10.1	Coefficiente parziale per i conduttori.....	29
11	Isolatori.....	29
11.1	Isolatori rigidi.....	29
11.2	Isolatori sospesi.....	30
11.3	Impiego dell'attacco rinforzato.....	30
12	Equipaggiamenti di linee – Morsetteria per linee aeree.....	30
13	Assicurazione della qualità, controlli e presa in carico.....	30
14	Aspetti ambientali.....	30

Premessa

Le presenti Norme per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne, di cui al successivo articolo 2, sono emanate ai sensi della legge 28 Giugno 1986 n° 339.

1 Scopo Oggetto

Le presenti norme forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto e le relative combinazioni, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti ed ogni altro aspetto attinente la sicurezza delle linee elettriche aeree di cui al successivo articolo 2; in mancanza di specifiche indicazioni, l'integrazione delle presenti Norme si applicano le disposizioni delle Norme tecniche per le costruzioni, per quanto concerne la sicurezza strutturale, nonché le disposizioni delle Norme CEI EN 50341-1 e CEI EN 50423-1, per quanto concerne la sicurezza elettrica.

2 Campo di applicazione

Le presenti Norme si applicano solo alle nuove linee elettriche aeree in conduttori nudi con tensione maggiore di 1 kV in corrente alternata. Per gli aspetti strutturali possono essere applicate anche alle linee in corrente continua.

Le presenti Norme non si applicano alle linee esistenti prima dell'entrata in vigore del presente decreto né per la manutenzione, né per la sostituzione dei conduttori; possono invece trovare applicazione per le varianti significative di linee esistenti.

Per dettagli circa l'applicazione delle presenti Norme su sistemi di telecomunicazione utilizzando fibre ottiche o incorporate nelle funi di guardia o avvolte sulle funi di guardia o sui conduttori ovvero sospese a supporti sulle linee elettriche, si dovrà fare riferimento alle specifiche di progetto.

3 Definizioni ed elenco dei simboli

Ai fini delle presenti Norme valgono le definizioni riportate nel seguito.

Nel prosieguo delle presenti Norme, per la dizione "Norme tecniche sulle costruzioni" si intendono le nuove Norme tecniche, di cui al D.M. 14.01.2008, emanate in forza dell'art. 5, comma 2, del D.L. 28 maggio 2004 n. 136 convertito in legge 27.07.2004 n. 186 e degli articoli 52 e 83 del D.P.R. 06.06.2001, n. 380, recante il "Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".

3.1 Affidabilità

Probabilità che un sistema assolva la sua funzione, dato un insieme di condizioni, durante un periodo di riferimento.

3.2 Azioni

Si intendono quelle definite nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quelle indicate nelle presenti Norme.

3.3 Combinazioni di azioni

Si intendono quelle definite nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quelle indicate nelle presenti Norme.

3.4 Componente

Una delle differenti parti del sistema linea aerea avente una funzione specificata. I principali componenti sono i sostegni, le fondazioni, i conduttori, le funi di guardia, le catene d'isolatori e i materiali d'equipaggiamento.

3.5 Conduttore (di una linea aerea)

Componente di una linea aerea formato da uno o più fili di alluminio, di lega di alluminio, di rame, o di acciaio zincato o rivestito di alluminio o di una combinazione di tali fili cordati tra loro ed aventi, insieme, la funzione di condurre una corrente.

3.6 Conduttore di terra

Conduttore che collega una parte dell'impianto che deve essere messo a terra ad un dispersore e ubicato al di fuori del terreno (funi di guardia) o interrato.

3.7 Conduttore ottico

Conduttore contenente fibre ottiche di telecomunicazione.

3.8 Dispersore

Conduttore che è immerso nella terra e in contatto elettrico con la stessa o annegato nel calcestruzzo e a contatto con la terra attraverso un'ampia superficie (per esempio un dispersore di fondazione).

3.9 Distanza d'isolamento

Distanza tra due parti conduttrici lungo il più breve percorso possibile tra le stesse.

3.10 Distanza d'isolamento interna

Distanza d'isolamento tra conduttori di fase e parti messe a terra quali elementi strutturali di acciaio e funi di guardia, ed anche tra conduttori di fase. Sono incluse le distanze di isolamento da altri circuiti disposti sullo stesso sostegno.

3.11 Distanze d'isolamento esterne

Tutte le distanze di isolamento che non sono distanze di "isolamento interne". Queste distanze d'isolamento comprendono quelle dal suolo, dalle strade, dalle costruzioni, dagli impianti e dagli oggetti che possono trovarsi su una qualsiasi di dette strutture.

3.12 Effetto delle azioni

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.13 Coefficiente di combinazione di un'azione

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.14 Coefficiente parziale di un'azione

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.15 Coefficiente parziale di sicurezza relativo ad una proprietà di un materiale

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.16 Fune di guardia

Conduttore messo a terra in corrispondenza di alcuni o di tutti i sostegni, disposto generalmente, ma non necessariamente, al di sopra dei conduttori di fase per assicurare un certo grado di protezione contro i fulmini.

3.17 Fune di guardia a fibre ottiche

Fune di guardia costituita da un conduttore ottico.

3.18 Funzione

Finalità del sistema linea elettrica aerea capace di trasmettere l'energia elettrica tra le sue estremità o finalità di una parte di detto sistema.

3.19 Impianto di terra

Sistema elettrico, limitato localmente, costituito da dispersori, da conduttori di terra e da conduttori equipotenziali elettricamente collegati.

3.20 Linee elettriche aeree esterne

Linee installate all'aperto, al di sopra del suolo e costituite dai conduttori nudi con i relativi isolatori, dai sostegni ed accessori. Le linee che fanno parte di stazioni elettriche situate in aree elettriche chiuse sono da considerare linee interne.

3.21 Manutenzione

Insieme delle attività svolte nel periodo di vita nominale di progetto sul sistema al fine di mantenerne la funzione.

3.22 Messa a terra

Tutti i mezzi e tutte le misure adottati per realizzare un appropriato collegamento elettrico con la terra.

3.23 Periodo di riferimento

Periodo che tiene conto dalla vita nominale di progetto del sistema o di uno dei suoi elementi e/o del valore caratteristico di un'azione.

3.24 Periodo di ritorno

Intervallo medio di tempo tra ricorrenze successive di un'azione climatica di ampiezza minima definita. L'inverso del periodo di ritorno è la probabilità annuale di superamento di detta azione minima.

3.25 Resistenza strutturale

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.26 Resistenza caratteristica

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.27 Resistenza di progetto

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.28 Sicurezza delle persone

Attitudine di un sistema a non causare né danni alle persone né perdite di vite umane durante la sua costruzione, il suo esercizio e la sua manutenzione.

3.29 Sicurezza funzionale

Attitudine di un sistema ad essere protetto da guasti maggiori (effetto cascata) se si innesca un cedimento in un determinato componente. Ciò può essere causato da fattori elettrici o strutturali.

3.30 Sistema elettrico

Insieme di opere e di materiali usati in combinazione per produrre, trasportare e distribuire l'energia elettrica.

3.31 Sistema meccanico

Insieme di componenti connessi tra loro in modo da formare una linea elettrica aerea.

3.32 Situazione di progetto

Insieme di condizioni fisiche relative ad un periodo di riferimento in cui il progetto dimostra che gli stati limite non verranno superati.

3.33 Sostegno

Termine generico riferito a diversi tipi di strutture che sostengono i conduttori della linea elettrica aerea.

3.34 Sostegno d'angolo

Sostegno di sospensione o di amarro collocato in un vertice di angolo sul tracciato della linea.

3.35 Sostegno di amarro

Sostegno equipaggiato con catene di isolatori in amarro.

3.36 Sostegno di rettililo

Sostegno di sospensione o di amarro utilizzato in un tratto rettilineo del tracciato della linea.

3.37 Sostegno di sospensione

Sostegno equipaggiato con isolatori in sospensione.

3.38 Sostegno rompitratta

Sostegno di amarro, situato in corrispondenza di un angolo o meno del tracciato della linea, che ha lo scopo di costituire un punto rigido atto a costituire una separazione meccanica tra due sezioni di linea adiacenti.

3.39 Sostegno terminale (capolinea)

Sostegno di amarro capace di resistere alle forze di trazione di tutti i conduttori e funi di guardia in una sola direzione.

3.40 Sostegno contro l'effetto cascata

Sostegno di amarro o di sospensione progettato, in particolare, con maggior resistenza per evitare collassi con effetto a cascata ed installato ogni numero limitato di sostegni, al fine di limitare i danni ed allo scopo di permettere rapide riparazioni.

3.41 Specifica di progetto

Documento fornito dal cliente all'appaltatore contenente adeguati dettagli di tutte le prescrizioni relative ai materiali, al calcolo, alla costruzione e all'installazione di un particolare sistema o componente di una linea. La specifica di progetto può integrare ma non ridurre le prescrizioni tecniche delle presenti Norme né sostituirsi alle prescrizioni minime enunciate nelle stesse.

3.42 Stato limite di una struttura

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.43 Stato limite ultimo

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.44 Tensione massima del sistema

Il più elevato valore di tensione tra fase e fase (valore efficace) che può verificarsi in qualunque momento ed in qualunque punto della linea aerea in condizioni regolari di esercizio e per il quale la linea aerea viene progettata.

3.45 Tensione nominale

Tensione elettrica tra fase e fase con la quale si designa una linea aerea ed alla quale si riferiscono alcune caratteristiche di esercizio.

3.46 Valore caratteristico di un'azione

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.47 Valore di combinazione di un'azione

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.48 Valore di progetto di un'azione

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.49 Valore di progetto di una proprietà di un materiale

Si intende quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, quanto indicato nelle presenti Norme.

3.50 Vita nominale di un'opera

Determinato periodo durante il quale una struttura viene utilizzata per la sua funzione specificata, tenendo conto della manutenzione preventiva, ma senza che si rendano necessarie riparazioni importanti.

Elenco dei simboli utilizzati nelle presenti Norme

Simbolo	Significato
ρ	Densità dell'aria
α	Fattore di riduzione dei carichi di ghiaccio
γ_M	Coefficiente parziale di sicurezza relativo ad una proprietà di un materiale
A	Proiezione di una superficie sul piano ortogonale al vento
a_s	Quota effettiva sul livello del mare
C	Coefficiente di resistenza aerodinamica
$D_{50Hz_p_e}$	Minima distanza di isolamento in aria prescritta per prevenire scariche distruttive a frequenza industriale tra conduttori di fase ed oggetti a potenziale di terra. $D_{50Hz_p_e}$ è una distanza di isolamento interna.
$D_{50Hz_p_p}$	Minima distanza di isolamento in aria prescritta per prevenire scariche distruttive a frequenza industriale tra conduttori di fase. $D_{50Hz_p_p}$ è una distanza di isolamento interna.
D_{el}	Minima distanza di isolamento in aria prescritta per prevenire scariche distruttive tra conduttori di fase ed oggetti a potenziale di terra, in caso di sovratensioni a fronte rapido o lento. D_{el} può essere sia interna, se si considerano le distanze d'isolamento tra conduttori e struttura del sostegno, sia esterna, se si considerano le distanze di isolamento tra conduttori ed ostacoli.
D_{pp}	Minima distanza di isolamento in aria prescritta per prevenire scariche distruttive tra conduttori di fase in caso di sovratensioni a fronte rapido o lento. D_{pp} è una distanza di isolamento interna.
E	Modulo di elasticità
E_d	Valore di progetto dell'effetto delle azioni
F	Freccia in m del conduttore alla temperatura di +15 °C in assenza di vento
G_q	Fattore di risposta alla raffica di vento
H	Altezza dal suolo
I_{50}	Carico di ghiaccio estremo con periodo di ritorno di 50 anni
I_{mm}	Valore medio del carico di ghiaccio massimo annuale
I_T	Carico di ghiaccio estremo con periodo di ritorno di T anni
K	Coefficiente per il calcolo della distanza minima conduttore/conduttore e conduttore/fune di guardia interna alla campata tra punti suscettibili di avvicinamento.
k_1	Coefficiente per il calcolo della distanza minima di isolamento tra parti metalliche in tensione e parti metalliche a terra, alla temperatura di 15 °C e vento a 7,5 m/s.
l_k	Lunghezza in m della parte di armamento con sbandamento ortogonale alla direzione della linea
q_h	Pressione dinamica del vento
Q_w	Valore della forza dovuta al vento che spira orizzontalmente al suolo e perpendicolarmente a qualsiasi elemento della linea
R_k	Valore caratteristico della resistenza di un componente
S	Spessore di riferimento del ghiaccio o della neve
T	Periodo di ritorno (anni)
U_n	Tensione nominale del sistema

U_s	Tensione massima del sistema
V_{50}	Velocità del vento estrema con periodo di ritorno di 50 anni
V_{mm}	Velocità del vento media dei valori massimi annuali
V_b	Velocità del vento di riferimento
V_T	Velocità estrema del vento con periodo di ritorno T

4 Basi per il progetto

4.1 Generalità

La filosofia progettuale delle linee aeree italiane è basata sull'“Approccio Generale” di cui alla CEI EN 50341-1. Tale approccio coincide con il criterio di verifica agli stati limite di cui alle Norme tecniche per le costruzioni.

La formula generale di progetto ha la seguente forma:

$$E_d \leq R_k / \gamma_M$$

dove:

- E_d è il valore di progetto del carico strutturale,
- R_k è il valore caratteristico della resistenza del materiale,
- γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza del materiale.

4.2 Affidabilità delle linee aeree

In generale secondo la CEI EN 50341-1 e in accordo con l'esperienza, l'affidabilità è la seguente:

Livello 1: periodo di ritorno di 50 anni.

Livelli di affidabilità superiori potranno essere indicati nelle specifiche di progetto.

5 Azioni sulle linee

5.1 Azioni, approccio generale

Le azioni sulle linee sono dovute alla spinta del vento, all'azione del tiro dei conduttori e delle funi di guardia nei sostegni di angolo o in caso di ipotesi di rottura dei conduttori e delle funi di guardia medesime, al peso proprio dei componenti, al peso di formazioni di ghiaccio o neve sui conduttori e sulle funi di guardia, agli effetti della temperatura, alle azioni di costruzione e manutenzione e ai fenomeni sismici. La combinazione delle azioni citate viene fatta con i criteri nel seguito indicati, tenendo conto che l'approccio generale è quello del metodo agli stati limite e che sia per le azioni singole che per la loro combinazione, trattandosi di azioni variabili, si tiene opportunamente conto del periodo di ritorno al fine di conseguire la voluta affidabilità delle linee.

5.1.1 Spinta del vento

La spinta del vento sui componenti si basa sulla velocità di riferimento del vento nel seguito definita, applicando fattori di maggiorazione che tengono conto del fenomeno delle raffiche in relazione alla rugosità del suolo ed all'altezza del componente rispetto al suolo.

5.1.1.1 Velocità di riferimento del vento

La velocità di riferimento del vento, V_b , è definita come il valore caratteristico, con periodo di ritorno di 50 anni, della velocità media del vento in m/s su un periodo di 10 min ad un'altezza di 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II come definita nelle Norme Tecniche per le Costruzioni. Per la velocità di riferimento al variare del sito e dell'altitudine sul livello del mare si utilizzeranno le specifiche delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Per ottenere la velocità del vento con un diverso periodo di ritorno si applicheranno i fattori di conversione indicati nella seguente Tab. 5.1.1.1a ricavata dalla CEI EN 50341-1.

Tab. 5.1.1.1a – Fattori di conversione per differenti periodi di ritorno della velocità del vento

Periodo di ritorno T [Anni]	Rapporto estremo (V_T/V_{mm})	Fattore di conversione (V_T/V_{50})	Fattore di conversione (V_T/V_{50}) ²
3	1,04	0,76	0,58
50	1,36	1,00	1,00
150	1,48	1,09	1,18
500	1,61	1,18	1,40

Dove:

V_T è la velocità del vento estrema con periodo di ritorno T ;

V_{mm} è la velocità del vento media dei valori massimi annuali;

V_{50} è la velocità del vento estrema con periodo di ritorno di 50 anni.

La velocità di riferimento del vento, V_b , si ricava dalle Norme tecniche per le costruzioni.

5.1.1.2 Categoria di esposizione

Per la valutazione della rugosità del sito e dei parametri necessari per la stima dell'azione del vento si farà riferimento alle categorie di rugosità indicate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, a quanto indicato dalle Norme CEI EN 50341-1 e CEI EN 50423-1.

5.1.1.3 Fattore di raffica k_g

Fattore che viene determinato secondo le Norme tecniche per le costruzioni in funzione dell'altezza dell'opera e delle caratteristiche del terreno circostante. E' la radice quadrata del coefficiente di esposizione indicato nelle Norme tecniche sulle costruzioni.

Moltiplicando V_b per il fattore di raffica si ottiene il valore di picco della velocità (vento estremo) all'altezza dell'opera.

5.1.1.4 Velocità del vento ad altezza arbitraria dal suolo

Si determina in base alle Norme tecniche sulle costruzioni.

5.1.1.5 Pressione dinamica del vento

La pressione dinamica del vento (N/m^2) è data da

$$q_h = \frac{1}{2} \rho V_b^2$$

dove

si assume la densità dell'aria $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$;

V_b è la velocità di riferimento.

5.1.1.6 Spinta del vento su qualsiasi elemento della linea

Il valore della forza Q_W dovuta al vento che spira orizzontalmente, ortogonalmente a qualsiasi elemento della linea, è dato da

$$Q_W = q_h \times G_q \times G \times C \times A$$

dove

q_h è la pressione dinamica del vento definita in 5.1.1.5;

G_q è il fattore di risposta alla raffica e coincide con il coefficiente di esposizione indicato nelle Norme tecniche sulle costruzioni;

G è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali, secondo quanto definito nelle Norme tecniche sulle costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, secondo quanto indicato dalle Norme CEI EN 50341-1 e CEI EN 50423-1.

C è il coefficiente di resistenza aerodinamica che dipende dalla forma dell'elemento considerato; si possono considerare i seguenti valori:

- | | |
|---|------------|
| — conduttori | $C = 1,00$ |
| — corpi cilindrici (barre, pali tubolari) | $C = 0,80$ |
| — corpi sferici | $C = 0,35$ |
| — superfici piane (angolari, pali rettangolari) | $C = 1,60$ |
| — isolatori | $C = 1,20$ |
| — mentre per ulteriori informazioni sulle strutture a traliccio si può fare riferimento a quanto indicato in CEI EN 50341-1 e CEI EN 50423-1; | |

A è la superficie dell'elemento considerato proiettata su un piano ortogonale alla direzione del vento.

La spinta del vento sui conduttori o sulle funi di guardia non disposti ortogonalmente alla direzione del vento può essere calcolata tenendo conto dell'effettivo angolo di incidenza.

Il coefficiente parziale di carico per la spinta del vento, applicato simultaneamente a tutti i conduttori e funi di guardia, si assume pari a 1 (uno).

5.1.2 Carichi di ghiaccio o neve

I carichi di ghiaccio o neve vengono valutati come carichi variabili caratterizzati da un periodo di ritorno e da uno spessore di formazione convenzionalmente cilindrica diverso in relazione alla zona e alla quota sul livello del mare come nel seguito specificato.

5.1.2.1 Spessori tipici di ghiaccio e neve

Si indica con s_k lo spessore di riferimento del ghiaccio o della neve sui conduttori con un periodo di ritorno di 50 anni; trattasi di spessore di valore estremo con cui valutare il sovraccarico dovuto ad un manicoito, per i conduttori, di forma cilindrica a sezione circolare.

Per quote sopra il livello del mare $a_s > 1500$ m si assume $a_s = 1500$ m.

A questo riguardo vengono individuati sul territorio italiano tre tipi di carico:

- **Carico di tipo 1**

Regioni: Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia, Trentino Alto Adige, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Veneto, Abruzzo e Molise con quota sopra il livello del mare $a_s > 600$ m

Densità del ghiaccio $\rho_i = 900$ kg/m³

$$s_k = 18 + 16 (a_s - 600)/1000 \text{ mm} \quad a_s > 600 \text{ m}$$

- **Carico di tipo 2**

Regioni: Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia, Trentino Alto Adige, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Veneto e Marche, Abruzzo, Molise, Toscana (con esclusione delle Province di Pisa, Livorno e Grosseto), Umbria, Lazio (con esclusione delle Province di Viterbo, Roma e Latina), Campania (con esclusione delle Province di Napoli e Caserta), Puglia (con esclusione delle Province di Brindisi e Lecce), Basilicata, Calabria (con esclusione delle Province di Vibo Valentia e di Reggio Calabria)

Densità della neve $\rho_i = 500$ kg/m³

$$s_k = 24 \text{ mm} \quad a_s \leq 600 \text{ m}$$

$$s_k = 24 + 20 (a_s - 600)/1\,000 \text{ mm} \quad a_s > 600 \text{ m}$$

- **Carico di tipo 3**

Regioni: Toscana (Province di Pisa, Livorno e Grosseto), Lazio (Province di Viterbo, Roma e Latina); Campania (Province di Napoli e Caserta), Puglia (Province di Brindisi e Lecce), Sardegna, Calabria (Province di Vibo Valentia e di Reggio Calabria), Sicilia:

Densità della neve $\rho_i = 500$ kg/m³

$$s_k = 0 \text{ mm} \quad a_s \leq 600 \text{ m}$$

$$s_k = 20 + 15 (a_s - 600)/1\,000 \text{ mm} \quad a_s > 600 \text{ m}$$

5.1.3 Carichi di ghiaccio o neve sui conduttori

Il carico di ghiaccio I_T (N/m) si calcola con gli spessori e con le densità ρ_i indicate nella precedente clausola e rappresenta il carico di ghiaccio estremo. Per ottenere il carico del ghiaccio per un periodo di ritorno diverso si applicano i fattori di conversione indicati nella Tab. 5.1.3, ricavata dalla CEI EN 50341-1, riportata di seguito.

Tab. 5.1.3 – Fattori di conversione per differenti periodi di ritorno dei carichi di ghiaccio.

Periodo di ritorno T Anni	Rapporto estremo I_T/I_{mm}	Fattore di conversione I_T/I_{50}
3	1,30	0,37
50	3,51	1,00
150	4,33	1,23
500	5,22	1,49

Dove:

I_T è il carico di ghiaccio estremo con periodo di ritorno T;

I_{mm} è il valore medio dei massimi valori annuali di carico di ghiaccio;

I_{50} è il carico di ghiaccio estremo con periodo di ritorno 50 anni.

Il coefficiente parziale di carico per i carichi di ghiaccio o neve, applicato simultaneamente a tutti i conduttori e funi di guardia, si assume pari a 1 (uno).

5.1.4 Combinazione di carichi di vento e ghiaccio o neve

In presenza di spessori di ghiaccio o neve come definiti in 5.1.2.1, le azioni di vento, neve e ghiaccio si cumulano utilizzando le regole di combinazione definite nelle presenti Norme secondo quanto indicato nella Tabella 5.1.5.

5.1.5 Effetti della temperatura

Per il calcolo dei tiri nei conduttori e nelle funi di guardia e delle conseguenti azioni d'angolo trasmesse ai sostegni, come pure per la verifica geometrica dei franchi e delle distanze elettriche sono considerate le temperature riportate di seguito.

- La minima temperatura da considerare è in relazione alle seguenti zone A e B del Territorio Italiano:
 - Zona A – Territorio con quota inferiore a 800 m s.l.m. in aree del Centro e Sud Italia e delle isole; la temperatura minima è di $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - Zona B – Territorio con quota superiore a 800 m s.l.m. in aree del Centro e Sud Italia e delle isole, oltre a tutto il territorio del Nord Italia; la temperatura minima è di $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La normale temperatura di riferimento per la velocità estrema del vento è $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Le azioni della temperatura e del vento si cumulano utilizzando le regole di combinazione definite nelle presenti Norme secondo quanto indicato nella Tabella 5.1.5. La temperatura in presenza di ghiaccio: per entrambi i tipi di ghiaccio si assume una temperatura di $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La temperatura da considerare per la combinazione di vento e ghiaccio è $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La temperatura in condizioni di EDS (Every Day Stress) è $15\text{ }^{\circ}\text{C}$: in questa condizione, in assenza di vento, il tiro dei conduttori non deve superare il 25% del tiro di rottura.
- I franchi elettrici sulle opere attraversate devono essere verificati a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispettivamente per le zone A e B del territorio italiano; con questa verifica la portata in corrente a cui può essere esercitata la linea risulta determinata dal rischio di scarica sulle opere attraversate. Se si desidera aumentare la portata in corrente fino a quella massima ammissibile, per la salvaguardia delle caratteristiche meccaniche dei conduttori e accessori, occorre procedere ad una verifica complementare dei franchi elettrici con il criterio dello stato limite alla temperatura di $96\text{ }^{\circ}\text{C}$ e con franchi ridotti nella misura specificata in 6.3 e in 6.4. Temperature maggiori possono essere considerate nel caso di conduttori ad alto limite termico.

In Tab. 5.1.5 sono riportate le combinazioni di temperatura, di vento e di ghiaccio/neve.

Tab. 5.1.5 - Combinazioni di temperatura, vento e ghiaccio/neve

Condizioni di verifica	Temperatura (°C)	Vento estremo	Ghiaccio/Neve
Temperatura minima	Zona A -7 Zona B -20	kg V _b 0,76 kg V _b	0
Azione del vento	-7	kg V _b	0
Coesistenza di vento e ghiaccio (*) o neve	-2	0,6 V _b	s _k
Verifica dei franchi di progetto	Zona A 55 Zona B 48	0	0
Verifica dei franchi allo stato limite	96	0	0

(*) Questa condizione di verifica non viene presa in considerazione nelle zone per le quali risulta s_k = 0 (carico di ghiaccio di tipo 3 con a_s ≤ 600 m), mentre comporta due verifiche distinte per le zone ove è previsto sia il carico di ghiaccio di tipo 1 sia il carico di ghiaccio di tipo 2.

Nel caso di successioni di campate in sospensione e di uniformità di carichi agenti sulle varie campate, si potrà, per il calcolo dei tiri nei conduttori, fare riferimento alla nozione di campata equivalente.

5.1.6 Carichi di costruzione e manutenzione

I carichi di costruzione e manutenzione devono essere indicati nelle specifiche di progetto; il coefficiente parziale dell'azione deve comunque essere non inferiore a 1,5.

Detto E il valore di lavoro di uno di tali carichi risulta pertanto E_d = 1,5 E.

5.1.7 Carichi di sicurezza

Si intendono carichi di sicurezza quelli dovuti a conduttori rotti e quelli dovuti a fenomeni sismici.

5.1.7.1 Carichi dovuti a conduttori rotti.

I carichi devono essere calcolati in presenza del ghiaccio con periodo di ritorno 3 anni e con il carico di vento con velocità di picco 0,6 V_b agente sul cilindro di diametro equivalente al sovraccarico di ghiaccio, oppure con il vento estremo con periodo di ritorno 3 anni nelle zone ove non è prevista la formazione di ghiaccio.

Devono essere considerate le condizioni di carico nel seguito indicate.

In ogni sostegno di linea con tensione ≤ 45 kV si devono considerare separatamente:

- le parti sulle quali agiscono non più di quattro conduttori;
- le parti sulle quali agiscono più di quattro conduttori.

In ogni sostegno di linea con tensione > 45 kV si devono invece considerare separatamente:

- a) le parti sulle quali agiscono non più di sei conduttori;
- b) le parti sulle quali agiscono più di sei ma non più di diciotto conduttori.

I conduttori da considerare rotti devono essere scelti, a seconda della parte di sostegno considerata, in base al seguente criterio. Ciascuna delle parti di cui in a) deve essere verificata per la rottura di uno dei conduttori o di una delle eventuali funi di guardia che agiscono su di essa. Ciascuna delle parti di cui in b) deve essere verificata per la rottura di due qualunque fra i conduttori o funi di guardia che agiscono su di essa, questi due conduttori o funi di guardia, però, non devono agire entrambi su una stessa parte fra quelle considerate in a).

Entro i limiti sopra indicati si devono di volta in volta considerare rotti i conduttori o funi di guardia che danno luogo alle più sfavorevoli condizioni di carico per i singoli elementi della struttura del sostegno.

Non è prescritta la verifica per i sostegni di rettilineo, o calcolati per angoli di deviazione non superiore a 5° , delle linee con tensione ≤ 45 kV quando i sostegni stessi hanno, nel senso longitudinale della linea, una resistenza meccanica almeno eguale a quella nel senso trasversale della linea.

I coefficienti parziali di carico si assumono pari a 1 (uno), mentre i coefficienti parziali di sicurezza dei materiali si assumono pari al 90% di quelli indicati nei seguenti punti 8, 9, 10, 11 e 12.

Per i conduttori ancorati a catene di isolatori in sospensione, i carichi differenziali devono essere calcolati tenendo conto dello sbandamento della catena.

5.1.7.2 Azioni sismiche

I sostegni delle linee aeree devono essere verificati con le azioni sismiche in accordo con le Norme tecniche per le costruzioni tenendo conto della classificazione sismica del territorio Italiano e della classe di uso dell'opera.

In base a quanto riportato nella CEI EN 50341-1, Allegato C, poiché la frequenza propria dei sostegni è molto maggiore di quella dei conduttori e delle funi di guardia, i carichi sismici trasmessi dai conduttori e dalle funi di guardia sono trascurabili e pertanto nella definizione dei carichi sismici si deve tenere conto soltanto della massa dei sostegni e delle fondazioni e di quella delle catene di isolatori e degli accessori.

Le verifiche devono essere fatte in assenza di vento e i carichi verticali permanenti dei conduttori e delle funi di guardia devono essere calcolati, nelle zone dove è prevista la formazione di manicotti di ghiaccio o neve, con sovraccarichi di ghiaccio corrispondenti ad un periodo di ritorno di 3 anni. Nelle zone ove non è prevista la formazione di ghiaccio o neve la temperatura si assume pari a -7°C , mentre nelle zone ove è prevista la formazione di ghiaccio o neve, la temperatura si assume pari a -20°C in assenza di ghiaccio o neve e -2°C in presenza di ghiaccio o neve.

I coefficienti parziali di carico si assumono pari a 1 (uno).

Nel caso di sostegni con fondazioni a piedini separati, si procederà alla verifica, da effettuarsi considerando uno spostamento orizzontale differenziale dei piedini, da valutare secondo le Norme tecniche sulle costruzioni.

5.1.8 Ipotesi di carico

Si considerano le condizioni di carico indicate nella Tab. 5.1.8 seguente.

Tab. 5.1.8 – Ipotesi di carico normale

Ipotesi di carico	Carichi riferiti ai paragrafi	Condizioni
1a	5.1.1	Massima spinta del vento
1b		Spinta del vento alla temperatura minima
2a	5.1.2	Carichi uniformi di ghiaccio/neve su tutte le campate
2b		Carichi uniformi di ghiaccio/neve, flessione trasversale
2c		Carichi asimmetrici di ghiaccio/neve, flessione longitudinale
2d		Carichi asimmetrici di ghiaccio/neve, flessione e torsione
3	5.1.4	Carichi combinati di vento e di ghiaccio/neve
4	5.1.6	Carichi di costruzione e manutenzione
5a	5.1.7 (a)	Carichi di sicurezza, carichi torsionali
5b	5.1.7 (b)	Carichi di sicurezza, carichi sismici

Con riferimento alle Fig. 2, 3 e 4 tratte dalla CEI EN 50341-1 per la determinazione dei casi di carico 2b, 2c, 2d si applicano al carico di ghiaccio I_g , se non diversamente indicato nelle specifiche di progetto, i fattori di riduzione

$$\alpha = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0,3$$

$$\alpha_2 = 0,7$$

$$\alpha_3 = 0,3$$

$$\alpha_4 = 0,7$$

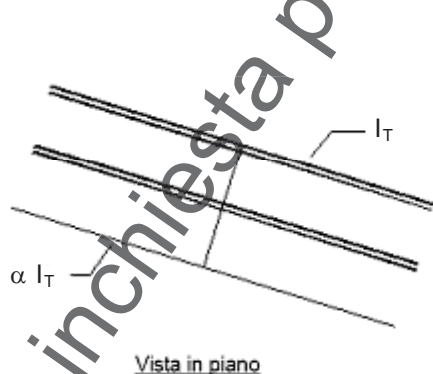


Fig. 2 – Flessione trasversale

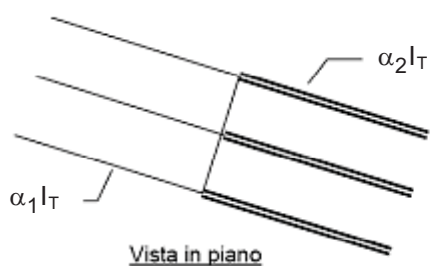


Fig. 3 – Flessione longitudinale



Fig. 4 – Flessione e torsione

Con riferimento allo schema della Fig. 3, se necessario e se indicato nelle specifiche di progetto, si considera anche il caso $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 1$ in assenza di vento; questo caso di carico rappresenta la condizione di "versante" che si suggerisce di applicare ai soli sostegni di culmine che separano tratte di linea che si sviluppano su pendii opposti.

5.1.9 Condizioni di carico per linee con sostegni non autoportanti

Nel caso di linee con sostegni non autoportanti, si applicano le seguenti condizioni di carico:

- con riferimento alle ipotesi di carico nel caso 1a e 3 del par. 5.1.8 viene considerato un vento spirante alternativamente in direzione trasversale e longitudinale rispetto all'asse della linea;
- con riferimento ai carichi di sicurezza in tutti i tratti della linea corredati di sostegni non autoportanti, i conduttori o i fasci di conduttori nei quali si verifichi una rottura, sono considerati interamente mancanti. In questo tratto della linea, di volta in volta i due sostegni non autoportanti, adiacenti alla campata nella quale si verifica la rottura, sono soggetti a:
 - carichi longitudinali opposti e pari al tiro dei conduttori o della corda di guardia e diretti verso l'esterno della campata;
 - carichi trasversali e verticali uguali a quelli esercitati dai conduttori o dai fasci di conduttori o dalle eventuali corde di guardia nelle quali si è verificata la rottura;
 - carichi dei conduttori o dei fasci di conduttori o delle eventuali corde di guardia integre.

I punti di applicazione dei carichi riportati in 5.1.7.1 e 5.1.7.2 sono localizzati in corrispondenza dei punti di ancoraggio dei conduttori o dei fasci di conduttori in cui si verifica la rottura.

In tali condizioni il vento viene considerato spirante alternativamente in direzione trasversale e longitudinale rispetto all'asse della linea.

Il calcolo nelle condizioni descritte implica di tenere in considerazione le reazioni stabilizzanti dei conduttori e delle eventuali funi di guardia che sono considerati integri sui sostegni non autoportanti.

6 Prescrizioni elettriche e distanze di rispetto.

6.1 Ipotesi di carico per il calcolo delle distanze di isolamento

Le distanze di isolamento in generale devono essere verificate con riferimento alle ipotesi di carico 1a e 2a del punto 5.1.8 e alle condizioni di temperatura f) e g) del punto 5.1.5.

6.2 Distanza tra i conduttori e verso le parti a terra dei sostegni

La distanza deve essere calcolata come nel seguito indicato.

Nel progetto dei sostegni devono essere mantenute le seguenti minime distanze elettriche di isolamento:

Distanze elettriche di isolamento	Unità	
Distanza minima conduttore/conduttore interna alla campata tra punti suscettibili di avvicinamento; tale distanza si riduce a D_{pp} nel caso di punti non suscettibili di avvicinamento	m	$k \cdot \sqrt{f + l_k} + D_{pp}$
Distanza minima conduttore/fune di guardia interna alla campata	m	$k \cdot \sqrt{f + l_k} + D_{el}$
Distanza minima di isolamento tra parti metalliche in tensione e parti metalliche a terra con vento $V = 7,5$ m/s	m	$k_1 D_{el}$
Distanza minima di isolamento tra parti metalliche in tensione e parti metalliche a terra per sostegni in sospensione con sbandamento massimo (con velocità del vento con periodo di ritorno 3 anni)	m	$D_{50Hz_p_e}$

Dove:

f è la freccia in metri del conduttore alla temperatura di +15 °C in assenza di vento;

l_k è la lunghezza in metri della parte di armamento con sbandamento ortogonale alla direzione della linea: nel caso di lunghezza diversa sui due sostegni della campata si assume il valore medio;

k è un coefficiente da assumere uguale a 0,6 per conduttori omogenei di alluminio o di lega di alluminio e uguale a 0,5 per gli altri conduttori;

k_1 è un coefficiente da assumere pari a 0,75.

D_{pp} è la distanza minima di isolamento (fase-fase) in metri, funzione della tensione, secondo la EN 50423-1 e EN 50341-1 come riportato in Tab. 6.2.2;

D_{el} è la distanza minima di isolamento (fase-terra) in metri, funzione della tensione, secondo la EN 50423-1 e EN 50341-1 come riportato in Tab. 6.2.2;

$D_{50Hz_p_p}$ è la distanza minima di isolamento (fase-fase) in metri, funzione della tensione, necessaria per la tenuta alle tensioni a frequenza industriale secondo la Tab. 6.2.1 ricavata da CEI EN 50341-1; per le linee a tensione ≤ 45 kV si assume $0,17 \times U_n/45$ (m);

$D_{50Hz_p_e}$ è la distanza minima di isolamento (fase-terra) in metri, funzione della tensione, necessaria per la tenuta alle tensioni a frequenza industriale, secondo la Tab. 6.2.1 ricavata da CEI EN 50341-1; per le linee a tensione ≤ 45 kV si assume $0,11 \times U_n/45$ (m).

Le distanze indicate non si applicano per l'esecuzione di lavori sotto tensione.

Per i sostegni ai quali i conduttori sono assicurati con isolatori in amarro, con catene di sospensione a V nel piano trasversale oppure con isolatori rigidi, si assume $l_k = 0$; inoltre per le linee a tensione minore di 45 kV con isolatori rigidi, i valori risultanti dalla formula vanno ridotti del 30%.

La formula di cui sopra non si applica nelle campate in cui risulta $f + l_k > 40$ m.

In tali casi è sufficiente che la distanza, in metri, tra i conduttori non sia minore di:

- $(3,8 + D_{pp})$ m per conduttori di alluminio o in lega di alluminio
- $(3,2 + D_{pp})$ m per gli altri conduttori.

Le prescrizioni suddette non si applicano, in caso di conduttori a fascio, ai singoli conduttori di uno stesso fascio.

Tab. 6.2.1 – Minime distanze elettriche di isolamento in aria necessarie alla tenuta della tensione a frequenza industriale (da utilizzare in condizioni di vento estreme)

Tensione max. del sistema U_S (Tensione nom. del sistema) (U_n) [kV]	$D_{50Hz_p_e}$ (m)	$D_{50Hz_p_p}$ (m)
	$K_g = 1,45$ Conduttore-struttura	$K_g = 1,60$ Conduttore-conduttore
52 (45)	0,11	0,17
72,5 (60)	0,15	0,23
82,5 (70)	0,16	0,26
100 (90)	0,19	0,30
123 (110)	0,23	0,37
145 (132)	0,27	0,42
170 (150)	0,31	0,49
245 (220)	0,43	0,69
300 (275)	0,51	0,83
420 (380)	0,70	1,17
525 (480)	0,86	1,47
765 (700)	1,28	2,30

Tab. 6.2.2 - Distanze di isolamento D_{el} e D_{pp}

Tensione max. del sistema U_s (Tensione nom. del sistema) (U_n) [kV]	D_{el} [m]	D_{pp} [m]
3,6 (3)	0,08	0,1
7,2 (6)	0,09	0,1
12 (10)	0,12	0,15
17,5 (15)	0,16	0,2
24 (20)	0,22	0,25
25 (22)	0,23	0,26
36 (30)	0,35	0,4
38,5 (35)	0,38	0,45
52 (45)	0,60	0,70
72,5 (60)	0,70	0,80
82,5 (70)	0,75	0,85
100 (90)	0,90	1,05
123 (110)	1,00	1,15
145 (132)	1,20	1,40
170 (150)	1,30	1,50
245 (220)	1,70	2,00
300 (275)	2,10	2,40
420 (380)	2,80	3,20
525 (480)	3,50	4,00
765 (700)	4,90	5,60

Nell'ipotesi di carico 1a del punto 5.1.8, ma con una temperatura ambiente di 15°C, la distanza d , in metri, non deve essere minore di $D_{50Hz_p_e}$; per le linee a tensione ≤ 45 kV si assume $0,11 \times U_n/45$ (m).

Alla temperatura di 15°C la distanza d in metri, con vento a 7,5 m/s, non deve essere inferiore di $k_1 \times D_{el}$ con $k_1 = 0,75$.

Le prescrizioni suddette non si applicano agli eventuali spinterometri di coordinamento dell'isolamento.

6.3 Altezza dei conduttori da terra e da acque non navigabili

Tenuto conto sia del rischio di scarica sia dei possibili effetti causati dall'esposizione a campi elettrici e magnetici, i conduttori delle linee, nelle condizioni g) riportate in 5.1.5 e nella condizione di carico 2a riportata in 5.1.8, non devono avere in alcun punto una distanza verticale dal terreno o da specchi lagunari o lacuali non navigabili minore di:

$$(5 + D_{el}) \text{ m}$$

e, in ogni caso, non inferiore a 6 m, dove D_{el} è la distanza minima di isolamento (fase-terra) in metri, funzione della tensione, come da Tab. 6.2.2.

Le distanze di isolamento specificate si riferiscono a conduttori integri in tutte le campate e devono essere misurate prescindendo sia dall'eventuale manto di neve, sia dalla vegetazione e dalle ineguaglianze del terreno dovute alla lavorazione.

Non è richiesta la verifica delle distanze di rispetto con conduttori rotti o caricati in modo disuniforme.

È ammesso derogare dalle prescrizioni suddette nel caso in cui si tratti di linee sovrappassanti i terreni recintati con accesso riservato al personale addetto all'esercizio elettrico.

Per le verifiche delle prescrizioni suddette per linee a tensione > 45 kV, nell'ipotesi di temperatura estrema dei conduttori, il termine D_{el} si sostituisce con $D_{50Hz_p_e}$, distanza minima di isolamento (fase-terra) in metri, funzione della tensione, necessaria per la tenuta alle tensioni a frequenza industriale, come da Tab. 6.2.1.

Fatto salvo quanto sopra, i conduttori devono essere ad altezza tale da rispettare i limiti fissati dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 Luglio 2003.

6.4 Attraversamenti

Ai fini del presente Decreto, una data opera si dice attraversata quando la proiezione verticale di almeno uno dei conduttori della linea elettrica interseca l'opera nelle condizioni riportate nell'ipotesi di carico 2a di 5.1.8. e nella condizione g) riportata in 5.1.5, assumendo che il piano della catenaria formi un angolo di 30° con la verticale.

6.5 Distanze di rispetto per i conduttori

I conduttori e le funi di guardia di linee aeree nelle condizioni indicate nelle ipotesi di carico 2a di 5.1.8 e nelle condizioni g) riportate in 5.1.5. Sia con catenaria verticale, sia con catenaria supposta inclinata di 30° sulla verticale, non devono avere in alcun punto una distanza espressa in metri minore di:

- $(9 + D_{el})$ m dal piano di autostrade, strade statali e provinciali e loro tratti interni agli abitati, dal piano delle rotaie di ferrovie, tranvie, funicolari terrestri, e dal livello di morbida normale di fiumi navigabili. Tale distanza si riduce a $(7 + D_{el})$ m nel caso di linee a tensione ≤ 45 kV. Per le zone lacuali o lagunari con passaggio di natanti, l'altezza dei conduttori è prescritta dall'autorità competente.
- $(6,5 + D_{el})$ m dal piano delle rotaie di funicolari terrestri in servizio privato per trasporto esclusivo di merci.
- $(4,4 + D_{el})$ m, col minimo di 4 m dall'organo più vicino o dalla sua possibile più vicina posizione, quando l'organo è mobile, di funivie, sciovie e seggiovie in servizio pubblico o privato, palorci, fili a sbalzo o telefoni; le prescrizioni non si applicano alle linee di alimentazione ed alle linee di telecomunicazione al servizio delle funivie, per le quali valgono le prescrizioni dei seguenti commi d) ed e).
- $(2 + D_{pp})$ m dai conduttori di altre linee elettriche (essendo D_{pp} la distanza minima di isolamento (fase-fase) della linea a tensione maggiore). Tale minimo è ridotto a $(1,75 + D_{pp})$ m per le funi di guardia o quando entrambi i conduttori considerati sono fissati ai sostegni mediante isolatori rigidi o isolatori sospesi disposti in amarro. Negli attraversamenti di linee elettriche con altre linee elettriche si deve tener conto separatamente, ma non simultaneamente, tanto dell'inclinazione della campata inferiore quanto di quella della campata superiore. La distanza dai conduttori di telecomunicazione deve essere $(3 + D_{el})$ m (essendo D_{el} la distanza minima di isolamento (fase-terra) della linea).

- e) $(3,5 + D_{el})$ m dai sostegni di altre linee elettriche e di telecomunicazione. Tale distanza può essere ridotta a $(1 + D_{el})$ m quando ci sia l'accordo tra i proprietari delle due linee.

La distanza dai conduttori della linea di trazione elettrica di ferrovie, tranvie, filovie e funicolari terrestri deve essere $(4,4 + D_{el})$ m. Quest'ultima prescrizione non si applica alla distanza tra conduttori di linee di trazione elettrica e conduttori di linee elettriche poste in sede ferroviaria.

Le stesse prescrizioni si applicano alle distanze dalle antenne radiotelevisive riceventi delle utenze private.

- f) $(3,5 + D_{el})$ m da tutte le posizioni praticabili delle altre opere o del terreno circostante, esclusi i fabbricati. Questa prescrizione si applica anche nel caso di sottopassaggi di ponti e viadotti.

- g) $(1,5 + D_{el})$ m da tutte le posizioni, che non possono essere praticabili, delle altre opere o dal terreno circostante, esclusi i fabbricati, e dai rami degli alberi.

È da considerare praticabile una posizione nella quale una persona normale può agevolmente stare in piedi, anche se per raggiungerla bisogna superare posizioni impraticabili.

Per le verifiche delle prescrizioni suddette per linee a tensione > 45 kV, nell'ipotesi di temperatura estrema dei conduttori, il termine D_{el} si sostituisce con $D_{50Hz_p_e}$ e D_{pp} si sostituisce con $D_{50Hz_p_p}$, distanze minime di isolamento in metri, funzione della tensione, necessarie per la tenuta alle tensioni a frequenza industriale, secondo la Tab. 6.2.1.

Le distanze di cui sopra devono essere verificate con conduttori integri in tutte le campate e devono essere misurate prescindendo sia dell'eventuale manto di neve, sia dalla vegetazione, sia dalle ineguaglianze del terreno dovute alla lavorazione.

Non è richiesta la verifica delle distanze di rispetto con conduttori rotti o caricati in modo disuniforme.

È ammesso derogare dalle prescrizioni suddette nel caso in cui si tratti di linee sovrappassanti i terreni recintati con accesso riservato al personale addetto all'esercizio elettrico.

6.6 Distanze di rispetto dai fabbricati

Tenuto conto sia del rischio di scarica sia dei possibili effetti provocati dall'esposizione a campi elettrici e magnetici, i conduttori delle linee, sotto le condizioni indicate nelle ipotesi di carico 2a di 5.1.8 e nelle condizioni g) riportate in 5.1.5, non devono avere alcun punto a distanza dai fabbricati minore di:

- $(4,0 + D_{el})$ m con catenaria verticale;
- $(2 + D_{el})$ m con catenaria supposta inclinata di 30° rispetto alla verticale.

Le distanze dovranno comunque essere tali da rispettare i limiti fissati dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 Luglio 2003.

Per le verifiche delle prescrizioni suddette per linee a tensione > 45 kV nell'ipotesi di temperatura estrema dei conduttori il termine D_{el} si sostituisce con $D_{50Hz_p_e}$, distanza minima di isolamento (fase-terra) in metri, funzione della tensione, necessaria per la tenuta alle tensioni a frequenza industriale, secondo la Tab. 6.2.1.

6.7 Angolo di incrocio tra linee elettriche ed opere attraversate

Quando una linea elettrica attraversa una ferrovia o una tranvia in sede propria, esclusi i binari morti ed i raccordi a stabilimento, una funicolare terrestre in servizio pubblico, una funivia, una sciovvia o seggiovia, una strada statale o un'autostrada, l'angolo di incrocio tra la linea e l'asse dei binari o della funivia o della strada non deve essere minore di:

- 15° per linee con tensione > 45 kV
- 30° per linee con tensione ≤ 45 kV.

La prescrizione non si applica agli attraversamenti all'interno dell'abitato.

In casi eccezionali quando, per particolari condizioni locali, l'angolo di incrocio non può essere mantenuto nei limiti sopraindicati, può essere consentita dall'ente proprietario o concessionario dell'opera attraversata una deroga alla disposizione di cui sopra.

Negli attraversamenti di opere diverse da quelle sopra elencate l'angolo di incrocio non è soggetto ad alcuna limitazione.

6.8 Attraversamento di linee elettriche o di telecomunicazione in cavo sotterraneo

Le prescrizioni del presente Decreto, riguardanti gli attraversamenti, non si applicano alle campate di linee che attraversano superiormente altre linee elettriche o di telecomunicazione in cavo sotterraneo.

6.9 Prescrizioni particolari per linee con sostegni non-autoportanti

Le distanze di rispetto dei conduttori e delle funi di guardia, nelle condizioni riportate nelle ipotesi di carico 1a e 3 del punto 5.1.8 sia con catenaria verticale sia con catenaria supposta inclinata di un angolo pari a 30° rispetto alla verticale, dal terreno, dalle acque non navigabili, dalle opere attraversate e dai fabbricati non devono essere inferiori a quelle minime previste in 6.3, 6.5 e 6.6.

6.10 Distanze di rispetto per i sostegni

Queste distanze vengono indicate alla luce dell'esperienza acquisita nella costruzione e nell'esercizio delle linee elettriche aeree esterne e in base ad alcune disposizioni legislative vigenti; distanze diverse possono essere adottate, ove particolari circostanze lo consiglino, con l'accordo tra le competenti autorità o gli enti coinvolti dalla problematica.

I sostegni di linee elettriche e le relative fondazioni non devono avere alcun punto fuori terra ad una distanza orizzontale minore di:

- a) 6 m dalla rotaia più vicina di ferrovie e tranvie in sede propria fuori dell'abitato, esclusi i binari morti ed i raccordi a stabilimenti, col minimo di 3 m dal ciglio delle trincee e di 2 m dal piede dei rilevati;
- b) 4 m dalla rotaia più vicina di funicolari terrestri, dal conduttore di contatto più vicino di filovie fuori dell'abitato, dall'organo più vicino, o dalla sua possibile più vicina posizione se l'organo è mobile, di funivie, sciovvie e seggiovie in servizio pubblico o in servizio privato per trasporto di persone (escluse le linee elettriche o di telecomunicazione al servizio delle funivie);
- c) 2 m dalla rotaia più vicina di ferrovie o tranvie, in sede propria o su strada, nell'interno dell'abitato e per i binari morti ed i raccordi a stabilimenti anche fuori dell'abitato, dal più vicino conduttore di contatto di filovie nell'interno dell'abitato, dall'organo più vicino o dalla sua possibile più vicina posizione se l'organo è mobile, di funivie private per trasporto esclusivo di merci, palorci, fili a sbalzo, telefoni;

- d) 15 m dal confine (come definito dall'art. 3 punto 10 del D. Lgs. 30/04/1992 n. 285 e successive modifiche ed integrazioni) di strade statali; tale minimo è ridotto sino all'altezza fuori terra del sostegno per le linee a tensione ≤ 45 kV;
25 m dal confine delle autostrade (art. 9 della legge del 24 luglio 1961 n. 729 e successive modifiche ed integrazioni);
- e) 7 m dal confine, come sopra definito, di strade regionali e provinciali esterne agli abitati; tale minimo è ridotto sino a due quinti dell'altezza fuori terra del sostegno per le a tensione ≤ 45 kV.;
- f) 3 m per le linee di qualsiasi classe dal confine, come sopra definito, delle strade comunali esterne agli abitati.;
- g) 5 m dal piede, sia interno che esterno, di argini delle opere idrauliche di 3a categoria (regio decreto 25 luglio 1904 n. 523 e successive modifiche ed integrazioni).

Inoltre i sostegni, le relative fondazioni ed i dispersori per la messa a terra non devono avere alcun punto a distanza minore di:

- h) 6 m da gasdotti eserciti a pressione massima eguale o superiore a 25 atmosfere; tale minimo è ridotto a 2 m quando, nella zona in cui si avvicina alla linea, il gasdotto è contenuto in un robusto tubo di protezione, le cui estremità siano munite di sfoghi e si trovino a non meno di 6,50 m dai sostegni e dalle relative parti accessorie;
- i) 2 m da gasdotti eserciti a pressione massima inferiore a 25 atmosfere e da oleodotti; tale minimo è ridotto a 1,5 m quando, nella zona in cui si avvicina alla linea, il gasdotto o l'oleodotto è contenuto in un robusto tubo di protezione, le cui estremità siano munite di sfoghi e si trovino a non meno di 2,50 m dai sostegni e dalle relative parti accessorie.

Nessuna prescrizione di distanza è data per le linee a tensione ≤ 45 kV, se in cavo per l'illuminazione pubblica in serie, dalle strade vicinali. Per i sostegni delle linee elettriche sorreggenti anche lampade di illuminazione pubblica si applicano, in deroga ai paragrafi d), e) ed f), le distanze prescritte dal regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada (decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285 e s.m.i.) relative alla segnaletica verticale.

Le distanze dei sostegni dai conduttori di altre linee elettriche o di telecomunicazione devono essere non inferiori a quelle determinabili applicando le prescrizioni di cui a 6.5 e) ai conduttori ai quali i sostegni si avvicinano. Fra sostegni di linee elettriche e conduttori di linee di telecomunicazione si applica la distanza di cui in 6.5 e).

Per i sostegni delle linee elettriche sorreggenti anche lampade d'illuminazione pubblica le distanze di cui ai paragrafi h) e i) possono essere ridotte previa autorizzazione dell'ente proprietario dei gasdotti od oleodotti.

6.11 Limiti massimi di esposizione ai campi elettrici e magnetici in fabbricati abitati e ambiente esterno - Limiti di esposizione e criteri di applicazione

Si fa riferimento alla legge 36 – Febbraio 2000 e relativi decreti attuativi.

6.12 Interferenze con circuiti di telecomunicazione

L'interferenza con linee telefoniche è trattata dalla Norma Italiana CEI 103-6.

7 Impianti di terra

7.1 Dimensionamento degli impianti di terra alla frequenza industriale

L'impianto di terra deve essere progettato secondo la CEI EN 50341-1.

In generale il progetto degli impianti di terra deve rispettare le seguenti prescrizioni:

- assicurare resistenza alle sollecitazioni meccaniche e alla corrosione;
- sopportare, dal punto di vista termico, la massima corrente di guasto calcolata;
- evitare danni alle proprietà ed alle apparecchiature;
- salvaguardare la sicurezza delle persone con riferimento alle tensioni che si manifestano sugli impianti di terra durante un guasto;
- assicurare una certa affidabilità della linea.

7.2 Messa a terra dei sostegni e di altre opere

Tutti i sostegni non direttamente infissi nel terreno devono essere messi a terra singolarmente.

I conduttori di terra devono avere una sezione non inferiore a 16 mm^2 se di rame e 50 mm^2 se di altro materiale. Per sostegni di cemento armato il conduttore di terra deve essere connesso agli attacchi metallici degli isolatori rigidi o delle catene di isolatori sospesi e deve seguire internamente il sostegno, quando questo è cavo, ed essere protetto contro i furti quando questo non è cavo.

L'armatura dei sostegni di cemento armato può essere utilizzata come conduttore di terra, purché ne sussista la continuità metallica.

Gli stralli metallici devono essere messi a terra oppure isolati con isolatori intercalati nello strallo a partire da una altezza di almeno 3,00 m dal suolo.

Nel caso di sottopassaggi di ponti e viadotti in cui non può essere rispettata la distanza di cui al punto 6.5. f) i conduttori debbono essere protetti con adeguati ripari o involucri che, se metallici, devono essere messi a terra.

Le linee che sottopassano le opere indicate in 6.5. c) devono essere protette nella campata di attraversamento da un adeguato riparo che, se metallico, deve essere messo a terra.

8 Sostegni

Ai fini del calcolo e della costruzione dei sostegni, si fa riferimento a quanto indicato nelle Norme CEI EN 50341-1 e CEI EN 50423-1 e nelle Norme tecniche sulle costruzioni.

In particolare, con riferimento ai coefficienti parziali dei materiali, si richiama quanto segue.

8.1 Tralicci in acciaio

I coefficienti parziali γ_M per gli stati limite ultimi devono essere assunti come segue:

- resistenza delle sezioni $\gamma_{M1} = 1,10$
- resistenza delle membrature al carico critico $\gamma_{M1} = 1,10$
- resistenza della sezione netta dei bulloni di fissaggio $\gamma_{M2} = 1,25$

- resistenza di connessioni bullonate $\gamma_{Mb} = 1,25$
- resistenza di connessioni rivettate $\gamma_{Mr} = 1,25$
- resistenza di connessioni saldate $\gamma_{MW} = 1,25$

8.2 Pali di acciaio

I coefficienti parziali γ_M per gli stati limite ultimi devono essere assunti come segue:

- resistenza delle sezioni $\gamma_{M1} = 1,10$
- resistenza della sezione netta dei fori per bulloni $\gamma_{M2} = 1,25$
- resistenza dei bulloni al taglio o alla pressione $\gamma_{Mbs} = 1,25$
- resistenza dei bulloni a trazione $\gamma_{Mbt} = 1,25$
- resistenza delle connessioni saldate $\gamma_{MW} = 1,25$

8.3 Pali di legno

I coefficienti parziali γ_M per gli stati limite ultimi devono essere assunti come segue:

- resistenza delle sezioni e degli elementi $\gamma_{M1} = 1,50$
- resistenza delle unioni $\gamma_{Mu} = 1,50$

Nel calcolo della capacità portante del collegamento realizzato con mezzi di unione del tipo a gambo cilindrico, si dovrà tener conto, tra l'altro, della tipologia e della capacità portante ultima del singolo mezzo d'unione, del tipo di unione (legno-legno, pannelli-legno, acciaio-legno), del numero di sezioni resistenti e, nel caso di collegamento organizzato con più unioni elementari, dell'allineamento dei singoli mezzi di unione.

8.4 Pali di calcestruzzo

I coefficienti parziali γ_M per gli stati limite ultimi devono essere assunti come segue:

- forza di precompressione $\gamma_{Pt} = 0,90$ o $1,20^*$
- resistenza del calcestruzzo $\gamma_{MC} = 1,50$
- resistenza dell'acciaio (per calcestruzzo armato o precompresso) $\gamma_{MS} = 1,15$

8.5 Strutture strallate

Il coefficiente parziale γ_M per gli stati limite ultimi deve essere assunto $\gamma_{M2} = 1,60$ per gli stralli, mentre per gli altri componenti vige quanto indicato per le strutture precedenti.

8.6 Altre strutture

Le altre strutture devono essere progettate in accordo con le Norme tecniche sulle costruzioni.

L'analisi ed il progetto per altre strutture non trattate nei paragrafi precedenti devono essere concordati tra cliente e progettista/costruttore.

* secondo che l'azione sia favorevole o no per l'effetto calcolato.

9 Fondazioni

9.1 Progetto geotecnico mediante calcolo.

Il dimensionamento e le verifiche delle fondazioni devono essere effettuate in base a metodi e modelli consolidati dell'ingegneria geotecnica, nel rispetto degli approcci progettuali e dei requisiti minimi di sicurezza fissati dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni, nonché, per gli aspetti peculiari delle linee aeree, secondo quelli indicati nelle presenti Norme.

9.1.1 Fondazioni su terreni in pendio

Nel caso di fondazioni in pendio si provvederà alla verifica globale secondo i criteri indicati dalle Norme tecniche sulle costruzioni.

9.2 Progetto geotecnico mediante misure prescrittive.

Per i sostegni a stelo unico nelle linee a tensione inferiore a 45 kV, si può far riferimento a regole pratiche di comprovata efficacia, purché le condizioni geotecniche del volume di terreno significativamente interessato dai sostegni siano attentamente valutate e giustificate.

10 Conduttori e funi di guardia aerei con o senza circuiti di telecomunicazione

Con riferimento al dimensionamento dei conduttori e delle funi di guardia, le linee elettriche aeree con conduttori nudi devono essere progettate secondo quanto indicato in CEI EN 50341-1, CEI EN 50423-1 e nelle presenti Norme.

10.1 Coefficiente parziale per i conduttori.

Il coefficiente parziale per i conduttori, indicato nelle specifiche di progetto, non deve essere inferiore a 1,25.

Nelle campate dove vengono installati i giunti questi devono essere tali da non aumentare la resistenza elettrica del conduttore; la resistenza meccanica a trazione non deve essere inferiore al 90% di quella del conduttore.

Nelle campate che attraversano superiormente ferrovie, tramvie, filovie, funicolari terrestri e funivie in servizio pubblico o in servizio privato per trasporto di persone, sciovie, seggiovie, autostrade, strade statali e loro collegamenti nell'interno degli abitati, linee di telecomunicazione, non sono ammessi giunti che non siano di modello approvato e certificato da istituti qualificati.

11 Isolatori

I progetti per isolatori comprendono catene e isolatori per catene di tipo a cappa e perno o a fusto lungo ed isolatori rigidi. Essi possono essere costruiti con materiale ceramico o in vetro, o prodotti come isolatori compositi.

Gli isolatori devono essere progettati, scelti e provati per rispettare le prescrizioni elettriche e meccaniche come stabilito dai parametri di progetto della linea aerea.

11.1 Isolatori rigidi

Gli isolatori rigidi ed i relativi perni, nelle ipotesi di carico del punto 5.1.8, con conduttori integri in tutte le campate, devono essere assoggettati ad uno sforzo orizzontale non superiore al 50% del loro carico di rottura completa (coefficiente parziale = 2,0).

11.2 Isolatori sospesi

Gli isolatori sospesi, nelle ipotesi di carico del punto. 5.1.8, con conduttori integri in tutte le campate, devono essere assoggettati ad un carico di trazione non superiore al 50% del loro carico critico (coefficiente parziale = 2,0).

11.3 Impiego dell'attacco rinforzato

I conduttori delle linee devono essere fissati ai sostegni mediante attacco rinforzato in tutte le campate in cui attraversano superiormente ferrovie o tranvie, (sia in sede propria che sulle strade), filovie, funicolari terrestri, funivie (esclusi palorci, fili a sbalzo o telefoni), autostrade, strade statali o provinciali e le loro parti all'interno dei centri abitati, sciovie, seggiovie, fiumi navigabili, linee di telecomunicazione, fabbricati ad utilizzo abitativo.

Inoltre l'impiego dell'attacco rinforzato non è richiesto per fissare ai sostegni conduttori di linee nel caso di utilizzo di isolatori a cappa e perno in vetro temperato o di materiale ceramico conformi alle prescrizioni riportate nella Guida CEI 36:1997-10 - Fasc. 3775 R.

12 Equipaggiamenti di linee – Morsetteria per linee aeree

La morsetteria per linee aeree deve essere progettata, costruita e messa in opera in modo da rispettare le prescrizioni di esercizio, manutenzione ed impatto ambientale come stabilito dai parametri di progetto della linea, sulla base di informazioni contenute indicate nella Norma CEI EN 50341-1, in CEI EN 50423-1 e nelle presenti Norme.

Il coefficiente parziale γ_M per gli stati limite ultimi deve essere assunto pari a 1,6.

13 Assicurazione della qualità, controlli e presa in carico

Durante il progetto, la fabbricazione e la costruzione, le disposizioni per l'assicurazione della qualità devono essere conformi alle pertinenti prescrizioni delle Norme tecniche sulle costruzioni e, per gli aspetti peculiari delle linee, delle CEI EN 50341-1 e CEI EN 50423-1.

14 Aspetti ambientali

Per gli aspetti ambientali, si deve far riferimento alla legislazione in vigore ed in particolare al decreto 152/2006, che recepisce la Dir. 42/2001/CE, e successive modificazioni ed integrazioni, nonché alle linee guida del CT 307 del CEI preparate con la collaborazione dei rappresentanti dei Ministeri competenti.

La presente Norma è stata compilata dal Comitato Elettrotecnico Italiano e beneficia del riconoscimento di cui alla legge 1° Marzo 1968, n. 186.
Editore CEI, Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano – Stampa in proprio
Autorizzazione del Tribunale di Milano N. 4093 del 24 Luglio 1956
Responsabile: Ing. R. Bacci

Comitato Tecnico Elaboratore
CT 11/7 – Linee elettriche aeree e materiali conduttori (ex CT 7, SC 11B)

Altre norme di possibile interesse sull'argomento

€ _

