



---

## Direttiva

# Protezione parasismica della rete di distribuzione di energia elettrica in Svizzera

---



valido dal: 01.10.2012

aggiornato: 01.12.2020

**Nota editoriale**

Editore: Ispettorato federale degli impianti a corrente forte ESTI, 8320 Fehraltorf  
Ufficio federale dei trasporti, 3003 Berna

Gruppo di autori: Martin Koller (Résonance Ingénieurs-Conseils SA)  
Pia Hannewald (Résonance Ingénieurs-Conseils SA)  
Sven Heunert (Office fédéral de l'environnement OFEV)  
Ingo Schulz (AxpO AG)

in collaborazione con: Axpo, OFT, ESTI, ewz, IWB et CFF

Titolo del documento: ESTI\_248\_1220\_i (pubblicato in formato pdf)

Download su: [www.esti.admin.ch](http://www.esti.admin.ch) Documentazione – Direttive ESTI  
[www.bav.admin.ch](http://www.bav.admin.ch) Diritto – Direttive

Lingue: tedesco (originale)  
francese  
italiano

La presente direttiva è entrata in vigore il 1° ottobre 2012 ed è stata rivista il 1° dicembre 2014 per includere la rete da 16,7 Hz del settore ferroviario. Il 1° dicembre 2020 è entrata in vigore una nuova revisione, che considera la revisione parziale della norma SIA 261 (2020) per quanto attiene all'azione sismica e introduce nuove conoscenze in merito alla necessità di imbando (cap. 4.3).

Inspection fédérale des installations  
à courant fort



Daniel Otti, Directeur

Office fédéral des transports  
Division Sécurité



Dr. Rudolf Sperlich, Vice-directeur

**Versione / Modifiche**

Versione	Data	Autore	Modifica
V 1.0	01.10.2012	Urs Huber	
V 1.1	15.04.2013	Urs Huber	redazionale
V 2.1	01.04.2015	Sven Heunert	Integrazione settore ferroviario
V 3.1	01.12.2020	Sven Heunert	Norma SIA 261 (2020), necessità d'imbando

## Indice

<b>1.</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>5</b>
1.1	Obiettivi .....	5
1.2	Campo d'applicazione.....	5
1.3	Procedura di approvazione dei piani .....	6
<b>2.</b>	<b>Definizioni .....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Azione sismica .....</b>	<b>9</b>
3.1	Zone sismiche .....	9
3.2	Classi di terreno di fondazione .....	9
3.3	Classi d'opera.....	10
3.4	Coefficiente di comportamento .....	11
<b>4.</b>	<b>Disposizioni per la sicurezza parasismica degli impianti.....</b>	<b>11</b>
4.1	Sicurezza parasismica di trasformatori.....	12
4.2	Sicurezza parasismica di apparecchi ad alta tensione .....	14
4.3	Giunzioni di conduttori conformi alle norme sismiche.....	15
4.4	Impianti d'approvvigionamento energetico ad armadio .....	20
4.5	Sicurezza parasismica di sistemi secondari e altri elementi non strutturali .....	20
<b>5.</b>	<b>Disposizioni per la sicurezza parasismica di edifici.....</b>	<b>21</b>
<b>6.</b>	<b>Disposizioni per la sicurezza parasismica di linee .....</b>	<b>21</b>
6.1	Linee aeree .....	21
6.2	Linee in cavo .....	21
<b>7.</b>	<b>Raccomandazioni per sottostazioni "importanti" esistenti .....</b>	<b>22</b>
<b>8.</b>	<b>Fonti .....</b>	<b>23</b>
	<b>Allegato A: Zone sismiche secondo la norma SIA 261 .....</b>	<b>24</b>
	<b>Allegato B: Ancoraggio dei trasformatori.....</b>	<b>25</b>
	<b>Allegato C: Spiegazioni complementari relative alla necessità di imbandito.....</b>	<b>28</b>
	<b>Allegato D: Fogli di calcolo per il calcolo sismico .....</b>	<b>30</b>
	<b>Allegato E: Esempi di protezione dei sistemi secondari .....</b>	<b>36</b>
	<b>Allegato F: Convenzione d'utilizzazione .....</b>	<b>38</b>
	<b>Allegato F: Piano esecutivo con informazioni in merito alla necessità di imbandito.....</b>	<b>39</b>

## Premessa

Le esperienze dall'estero dimostrano che in caso di forte terremoto avvengono quasi sempre interruzioni di corrente a livello locale e spesso addirittura regionale, con durata da diverse ore fino ad alcuni giorni.

I danni di gran lunga maggiori all'infrastruttura di distribuzione di energia elettrica vengono osservati nelle sottostazioni costruite all'aperto, mentre normalmente le sottostazioni costruite secondo la tecnica blindata SF6 non sono critiche. Solitamente anche le linee aeree resistono bene ai terremoti. Quanto più elevato è il livello di tensione, tanto più vulnerabili sono le sottostazioni costruite all'aperto. Il terremoto causa danni tipici, quali ad esempio elementi di porcellana rotti e danni ai trasformatori a causa di ancoraggi mancanti o troppo deboli. Gli elementi di porcellana si rompono spesso a causa dell'interazione sfavorevole, laddove le giunzioni dei conduttori tra apparecchi adiacenti non presentano abbastanza "imbando". Ma anche urti importanti conseguenti al gioco nei loro ancoraggi possono provocare danni. Spesso si osservano anche problemi nei sistemi secondari, quali ad esempio la caduta di batterie di emergenza o il rovesciamento di armadi di comando.

In caso di forte terremoto in Svizzera sono prevedibili danni simili. Nel 2004 un gruppo di esperti ha sottoposto al Consiglio federale un rapporto sulla prevenzione sismica, nel quale l'approvvigionamento di energia elettrica è stato designato come uno dei settori prioritari, in cui vi è necessità di prendere dei provvedimenti.

Negli anni 2008-2010 il servizio di coordinamento per la prevenzione sismica dell'Ufficio federale dell'ambiente ha commissionato uno studio sulla vulnerabilità sismica della distribuzione di energia elettrica in Svizzera [1, 2]. Tale studio è stato accompagnato da un gruppo pilota formato da esperti nel settore della distribuzione di energia elettrica. La presente direttiva si basa sui risultati di questo studio.

Dal 2000 la Confederazione esige che tutti i progetti edili per i quali è necessaria un'autorizzazione federale, siano realizzati o sottoposti a manutenzione, secondo le norme antisismiche vigenti. Per la manutenzione di strutture portanti esistenti si applica la serie di norme SIA 269 segg, in particolare la norma SIA 269/8 [11], in base alla quale si deve verificare e all'occorrenza migliorare la sicurezza parasismica, nella misura in cui ciò sia economicamente congruo.

Nell'ambito della fornitura di energia elettrica nei livelli più alti di tensione in precedenza mancavano basi concrete per consentire alle competenti autorità di vigilanza (ESTI o UFT) di far rispettare questa regola. Le norme strutturali SIA 260-267 contengono sì indicazioni in merito agli elementi non portanti e agli impianti, ma tali indicazioni sono troppo poco specifiche per l'applicazione nel settore dell'approvvigionamento di energia elettrica. La presente direttiva dell'ESTI colma questa lacuna; essa si ispira alle norme strutturali della SIA di cui sopra, alle vigenti norme internazionali nel settore dell'energia elettrica e alla pubblicazione dell'ASCE [4].

## 1. Introduzione

### 1.1 Obiettivi

L'obiettivo della presente direttiva è di ridurre in caso di forte terremoto il rischio di un blackout esteso e a lungo termine con il minor dispendio possibile, come pure di contenere i danni diretti all'infrastruttura. Perciò, la vulnerabilità sismica della distribuzione di energia elettrica va ridotta gradatamente ogni qual volta se ne presenta l'occasione.

Prima ancora di calcoli dettagliati servono misure costruttive, efficienti ed economiche che accrescano sensibilmente la robustezza del sistema.

### 1.2 Campo d'applicazione

La presente direttiva si applica agli edifici e agli impianti di distribuzione di energia, ma di regola non si applica alle centrali elettriche. Gli impianti di produzione di energia elettrica, che sono oggetto di altre direttive e prescrizioni riguardo alla sicurezza parasismica, non rientrano nella presente direttiva. Nel settore ferroviario, la presente direttiva si applica agli impianti di distribuzione dell'energia di trazione di cui all'allegato 4, lettera b dell'ordinanza sulle ferrovie (OFerr).

Le disposizioni della presente direttiva fanno stato in tutta la Svizzera, per qualsiasi zona sismica; esse valgono per i nuovi impianti come pure per il rinnovo degli impianti esistenti. La sostituzione di un apparecchio ad alta tensione, mantenendo il basamento, è considerata come rinnovo di un impianto esistente. E pure considerato come rinnovo di un impianto esistente la sostituzione di un trasformatore con uno nuovo, con mantenimento del basamento di fondazione.

Le disposizioni valgono in parte per tutti i livelli di alta tensione, in parte solo per tensioni pari o superiori a 220 kV (50 Hz) e 132 kV (16,7 Hz); la tabella 1 offre una panoramica del campo di applicazione delle disposizioni. Dato che in genere gli apparecchi e le giunzioni dei conduttori dei livelli di tensione inferiori a 220 kV (50 Hz) e a 132 kV (16,7 Hz) hanno una buona resistenza sismica, anche se in origine non sono stati progettati per resistere al sisma, per i livelli di tensione inferiori a 220 kV (50 Hz) e a 132 kV (16,7 Hz) si può rinunciare per gli apparecchi a particolari prescrizioni antisismiche.

Mentre nel caso della rete da 50 Hz le presenti direttive si applicano solo per le tensioni uguali o superiori a 220 kV, nel caso della rete da 16,7 Hz esse valgono già a partire da tensioni pari a 132 kV. Le ragioni sono due: in primo luogo, la rete da 16,7 Hz è meno ridondante rispetto a quella da 50 Hz; in secondo luogo, a parità di tensione gli apparecchi ad alta tensione per i 16,7 Hz hanno una massa e dimensioni superiori e sono pertanto tendenzialmente più vulnerabili rispetto agli apparecchi corrispondenti per i 50 Hz.

Le disposizioni per trasformatori si applicano a tutti i trasformatori della distribuzione di energia. I trasformatori di macchina o i trasformatori principali di impianti di produzione non rientrano nel campo di applicazione di questa direttiva, se non servono ad approvvigionamenti di emergenza particolarmente importanti, da garantire in caso di terremoto (quali ad esempio l'alimentazione elettrica di emergenza di ospedali, aeroporti nazionali, ecc.).

Ritenuto che generalmente le linee aeree resistono bene ai terremoti, la direttiva contiene disposizioni particolari solo per le linee aeree più importanti.

Sono ammesse deroghe dalla presente direttiva, se mediante teorie riconosciute (ad es. metodi di calcolo approfonditi) o prove sperimentali è possibile dimostrare in modo comprensibile, che viene raggiunto un livello di sicurezza parasismica equivalente. Tali deroghe devono essere motivate e sufficientemente documentate.

Il capitolo 7 contiene raccomandazioni per gli impianti esistenti importanti. È facoltativo tenere conto di queste raccomandazioni.

*Tabella 1 Edifici e impianti rientranti nel campo di applicazione della direttiva.*

Sicurezza parasismica di	Livelli di tensione
Trasformatori	Tutti i livelli di tensione <sup>1)</sup>
Apparecchi elettrici	Tensioni di 220 kV (50 Hz) e 132 kV (16,7 Hz) o superiori
Impianti della distribuzione di energia del genere di costruzione ad armadio	Tutti i livelli di tensione
Giunzioni di conduttori (imbando)	Tensioni di 220 kV (50 Hz) e 132 kV (16,7 Hz) o superiori
Sistemi secondari e altri elementi costruttivi	Tutti i livelli di tensione
Edifici degli impianti e della tecnica secondaria	Tutti i livelli di tensione
Linee aeree	Tensioni di 220 kV (50 Hz) e 132 kV (16,7 Hz) o superiori
Linee in cavo	Tutti i livelli di tensione

<sup>1)</sup> a seconda della zona sismica (v. tab. 5 e tab. 7)

### 1.3 Procedura di approvazione dei piani

Nell'ambito della procedura di approvazione dei piani, prima dell'inizio dei lavori di costruzione, il richiedente deve confermare all'autorità di vigilanza (ESTI o UFT) nei formulari di domanda che, fatte salve le deroghe ammesse, le disposizioni della presente direttiva vengono interamente rispettate.

Per i progetti di costruzione concernenti gli edifici di sottostazioni (edifici nuovi e progetti di manutenzione) si deve presentare la convenzione d'utilizzazione conformemente alla norma SIA 260 (paragrafo 2.2). L'allegato F illustra gli aspetti rilevanti per la protezione parasismica che devono essere definiti nella convenzione d'utilizzazione.

Per le sottostazioni con una tensione massima pari o superiore a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) è sempre richiesto l'inoltro dei fogli di calcolo (v. allegato D) e degli schizzi sull'ancoraggio dei trasformatori. Inoltre, prima del montaggio, occorre presentare i piani e le prove per l'ancoraggio dei trasformatori. L'impiego di trasformatori certificati (tab. 5) o di apparecchi ad alta tensione (tab. 7) deve essere indicato nell'ambito della domanda e visibile o documentabile in occasione di ispezioni, preferibilmente per mezzo della targhetta o della scheda tecnica o di un giustificativo di calcolo. La necessità di imbando individuata deve essere indicata nell'ambito della richiesta e i piani esecutivi devono essere presentati al più tardi prima dell'inizio del montaggio (vedi cap. 4.3 e allegati D e G). Ulteriori documenti e giustificativi possono essere richiesti dall'autorità di vigilanza caso per caso per un controllo.

## 2. Definizioni

**Accelerazione del plateau:** Accelerazione spettrale massima in uno spettro di risposta, che viene utilizzata per il dimensionamento sismico.

**Alta tensione:** tutti i livelli di tensione uguali e superiori a 1 kV.

**Apparecchi ad alta tensione:** Apparecchi elettrici per l'alta tensione.

**Classe d'opera:** Riguardo ai terremoti la norma SIA 261 suddivide gli edifici, in base alla loro importanza, in tre classi d'opera (CO). La CO I corrisponde agli edifici comuni, la CO II agli edifici importanti, ad es. quelli con infrastrutture importanti, e la CO III corrisponde agli edifici particolarmente importanti, ad es. quelli con infrastrutture d'importanza vitale, denominati anche edifici "lifeline".

**Classe di terreno di fondazione:** In caso di terremoto i movimenti del suolo dipendono fortemente dalla natura del sottosuolo locale. La norma SIA 261 considera tale fatto in modo approssimato, come in gran parte delle norme antisismiche, distinguendo diverse classi di terreno di fondazione, per le quali definisce differenti spettri di risposta.

**Coefficiente di partecipazione:** Coefficiente, che compare nell'analisi modale (analisi delle oscillazioni). Nel presente rapporto laddove è menzionato, questo coefficiente indica di quanto lo spostamento nei punti di raccordo delle giunzioni dei conduttori è più grande rispetto allo spostamento spettrale dell'oscillatore sostitutivo a un grado di libertà. Lo spostamento spettrale è lo spostamento, che può essere rilevato direttamente dallo spettro di risposta dello spostamento (cfr. spettro di risposta).

**Frequenza propria:** Frequenza alla quale una struttura oscilla liberamente, dopo essere stata sollecitata mediante un impulso. Teoricamente le strutture continue hanno un numero infinito di frequenze proprie; di regola con il termine "frequenza propria" si intende implicitamente solo la frequenza propria più bassa, denominata "frequenza propria fondamentale".

**Frequenza propria fondamentale:** La frequenza più bassa, con cui una struttura oscilla liberamente, dopo essere stata sollecitata mediante un impulso (cfr. "frequenza propria").

**Impianti della distribuzione di energia ad armadio:** Questi impianti comprendono impianti ad alta tensione in custodie simili ad armadi come pure quadri elettrici ad armadio con impianti a bassa tensione (approvvigionamento e fabbisogno proprio). Questo raggruppamento, che dal profilo tecnico-energetico è piuttosto arbitrario, è comprensibile in relazione alla protezione parasismica, che ha come principale obiettivo di evitarne il rovesciamento in caso di terremoto.

**Livelli di qualificazione di apparecchi ad alta tensione:** Diverse pubblicazioni dell'IEC ([5], [6], [7]) definiscono una qualificazione sismica degli apparecchi ad alta tensione. Nella fattispecie si distinguono tre livelli di qualificazione: basso ("low"), medio ("moderate") e alto ("high"), un tempo "AF2", "AF3" risp. "AF5". Questi livelli corrispondono alle accelerazioni del suolo massime (nelle pubblicazioni dell'IEC denominate "Zero Period Acceleration ZPA") di 1, 2,5 risp. 5 m/s<sup>2</sup>. Un apparecchio viene qualificato come sismico, se supera lo spettro di risposta (nelle pubblicazioni dell'IEC denominato "Required Response Spectrum RRS") corrispondente al rispettivo livello di qualificazione, in base ai calcoli o sperimentalmente, senza che la sua funzione venga pregiudicata sostanzialmente.

**Livelli massimi di tensione o altissima tensione:** Nella presente direttiva con il termine "livelli massimi di tensione" o "altissima tensione" si intendono i livelli di tensione uguali o superiori a 220 kV.

**Imbando:** Per le giunzioni dei conduttori si utilizza il termine "imbando", ripreso dal linguaggio marinaresco, corrispondente al termine inglese "slack". Una fune allentata può essere tesa senza resistenza, prima che in essa si manifestino grandi forze. Ciò è particolarmente importante per le giunzioni dei conduttori tra diversi apparecchi ad alta tensione. I termini più ricorrenti "gioco" o "flessibilità" non sono del tutto appropriati, anche se designano qualcosa di analogo.

**Oscillazione propria:** Oscillazione libera di una struttura sollecitata mediante un impulso, corrispondente alla frequenza propria o al periodo proprio.

**Periodo proprio:** Periodo con il quale una struttura oscilla liberamente, dopo essere stata sollecitata mediante un impulso. È l'inverso della frequenza propria.

**Rete ad altissima tensione (livello di rete 1):** Rete svizzera di trasmissione nella gamma dei 50 Hz con una tensione di 380 kV o 220 kV.

**Spettro di risposta:** Risposta (ad es. risposta di accelerazione, denominata "accelerazione spettrale", oppure risposta di spostamento, denominata "spostamento spettrale") di un oscillatore a un grado di libertà in seguito a un'eccitazione dinamica in funzione del suo periodo proprio e del suo smorzamento. Di regola nelle normative strutturali l'azione sismica viene descritta sotto forma di spettri di risposta livellati, con una cosiddetta zona plateau, in cui l'accelerazione spettrale è indipendente dal periodo proprio, tipicamente in un range tra 0,07 s e 0,5 s, che varia in base alla classe di terreno di fondazione.

**Tensione al primario:** In un trasformatore, tensione del livello di rete più elevato che viene trasformata nella tensione del livello di rete più basso (tensione al secondario).

**Tensione al secondario:** Vedi Tensione al primario.

**Trasformatori:** Con il termine semplice "trasformatori" si intendono qui esclusivamente i trasformatori, che servono al trasporto di energia, ossia i trasformatori di potenza, con i poli di regolazione e i trasformatori di distribuzione inclusi, ma non ad esempio gli apparecchi di misura quali i trasformatori di tensione o i trasformatori di corrente (trasformatori amperometrici) (in francese denominati pure "transformateurs").

**Trasformatori di macchina:** I trasformatori, che servono esclusivamente per trasformare la tensione del generatore alla tensione di rete, quale parte di una centrale elettrica, vengono denominati trasformatori di macchina. Se collegati direttamente a un generatore vengono definiti anche trasformatori principali.

**Trasformatori di potenza:** vedere "trasformatori".

**Verifica:** Con il termine "verifica" si intendono sia verifiche standard sia verifiche singole basate su calcoli o su prove sperimentali. Se la verifica si basa su una verifica standard, si deve dimostrare che il caso concreto ha le medesime condizioni locali.

### 3. Azione sismica

#### 3.1 Zone sismiche

Il pericolo sismico determinante per un dato sito figura nell'attuale norma strutturale SIA 261 [3], capitolo 16.

La norma SIA 261, capitolo 16, definisce per la Svizzera cinque zone sismiche: Z1a, Z1b, Z2, Z3a e Z3b (allegato A). La zona sismica Z1 presenta il pericolo sismico minimo, la zona sismica Z3b il pericolo sismico massimo. Per ogni zona sismica viene definito un valore di riferimento per l'accelerazione massima del suolo, il cosiddetto valore di dimensionamento dell'accelerazione orizzontale del suolo  $a_{gd}$ , (cfr. tabella 2). Questi valori di riferimento corrispondono a un periodo nominale di ritorno di 475 anni rispettivamente a una probabilità di superamento di  $a_{gd}$  del 10 % in 50 anni. La mappa delle zone sismiche è consultabile alla pagina <https://map.geo.admin.ch> (parola chiave zone sismiche).

*Tabella 2 Valori di dimensionamento dell'accelerazione orizzontale del suolo conformemente alla norma SIA 261; essi vanno moltiplicati per il coefficiente del terreno di fondazione  $S$  e per il coefficiente d'importanza  $\gamma_f$ .*

Zona sismica	Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Valore di rif. SIA 261: $a_{gd}$	0,6 m/s <sup>2</sup>	0,8 m/s <sup>2</sup>	1,0 m/s <sup>2</sup>	1,3 m/s <sup>2</sup>	1,6 m/s <sup>2</sup>

Di norma non è necessario includere nel calcolo la componente verticale dell'azione sismica in quanto nel caso degli impianti per la distribuzione dell'energia elettrica la sua rilevanza è minima.

#### 3.2 Classi di terreno di fondazione

In caso di terremoto i movimenti del suolo dipendono fortemente dalla geologia del sotto-suolo locale. Nella norma SIA 261 si tiene conto di ciò, dato che in funzione della cosiddetta classe di terreno di fondazione il valore di riferimento  $a_{gd}$  viene moltiplicato per un coefficiente del terreno di fondazione  $S$ . Per le classi di terreno di fondazione A - E questo coefficiente può assumere valori da 1 a 1,70, (vedi tabella 3). Per la (rara) classe di terreno di fondazione F, il valore di  $S$  deve essere determinato per mezzo di uno studio spettrale del sito.

*Tabella 3 Coefficiente del terreno di fondazione  $S$  in funzione della classe di terreno di fondazione conformemente alla norma SIA 261, tabella 24.*

Classe di terreno di fondazione	A	B	C	D	E	F
Coefficiente del terreno di fond. $S$	1,00	1,20	1,45	1,70	1,70	-

Sulla pagina <https://map.geo.admin.ch> (parola chiave classi di terreno di fondazione), per determinate regioni della Svizzera sono consultabili delle mappe delle classi di terreno di fondazione.

Oltre all'accelerazione massima del suolo la norma SIA 261 definisce per mezzo dei cosiddetti spettri di risposta anche le frequenze dei movimenti del suolo, pure fortemente influenzate dalla geologia locale. Gli spettri di risposta mostrano che le accelerazioni sismiche di edifici e impianti possono essere sensibilmente amplificate, a dipendenza della loro caratteristica dinamica, in particolare della frequenza propria fondamentale. Per la definizione esatta degli spettri di risposta si rimanda alla norma SIA 261 [3], capitolo 16.2.

Gli spettri di risposta possono essere calibrati meglio con le caratteristiche geologiche specifiche di un sito mediante un'analisi sismologica detta microzonazione spettrale. Laddove esiste una tale microzonazione, la si deve impiegare. Se lo spettro di risposta risultante è più sfavorevole, ossia presenta accelerazioni spettrali superiori rispetto allo spettro di risposta previsto nella norma SIA 261, occorre chiedere l'intervento di un sismologo che valuti l'opportunità di considerare i requisiti della presente direttiva validi per una zona sismica superiore.

### 3.3 Classi d'opera

La norma SIA 261 suddivide gli edifici in tre diverse classi d'opera a seconda della loro importanza: CO I, CO II e CO III. I valori di riferimento della tabella 2 valgono per la CO I. Per CO II rispettivamente CO III questi valori devono essere moltiplicati per un cosiddetto coefficiente d'importanza  $\gamma_f$  pari a 1,2 rispettivamente a 1,5 (tabella 4).

Tabella 4 Coefficiente d'importanza  $\gamma_f$  in funzione della classe d'opera.

Classe d'opera	I	II	III
Coefficiente d'importanze $\gamma_f$	1,0	1,2	1,5

Gli oggetti con "funzione d'infrastruttura vitale" rientrano nella CO III. Dato che un'interruzione di corrente su grandi aree rende sensibilmente difficile realizzare operazioni efficienti di salvataggio dopo un terremoto, le sottostazioni, il cui livello massimo di tensione è pari a 220 kV o è superiore, devono essere classificate come CO III; i valori di riferimento della tabella 2 devono perciò essere moltiplicati per il coefficiente d'importanza  $\gamma_f = 1,5$ .

Le sottostazioni, il cui livello massimo di tensione è inferiore a 220 kV, come pure le stazioni importanti di trasformazione devono essere classificate per lo meno come CO II. In caso di sottostazioni particolarmente importanti in materia di sicurezza dell'approvvigionamento è però sensato attribuirle alla classe superiore CO III; una tale "rivalutazione" deve essere effettuata dal gestore della rete sotto la propria responsabilità.

Moltiplicando il valore di dimensionamento dell'accelerazione orizzontale del suolo (tabella 2) per il coefficiente massimo del terreno di fondazione pari a 1,7 (tabella 3) e per il coefficiente massimo d'importanza di 1,5 (tabella 4), nella zona sismica del massimo pericolo, Z3b, può quindi risultare un'accelerazione massima del suolo di 4,1 m/s<sup>2</sup>.

### 3.4 Coefficiente di comportamento

Nell'ingegneria sismica è molto diffusa la consuetudine di calcolare in modo puramente elastico e di tener conto forfettariamente sia dell'iperresistenza del materiale sia del comportamento plastico del sistema mediante un cosiddetto coefficiente di comportamento  $q$ ; a tal fine le sollecitazioni calcolate in modo elastico vengono divise per  $q$ .

Sulla base della Norma SIA 261 [3], le verifiche di sollevamento e di ribaltamento di trasformatori, apparecchi ad alta tensione, quadri elettrici ecc. devono essere condotte con  $q = 1,0$ . Per le verifiche di resistenza, ad es. di bulloni di ancoraggio, per considerare l'iperresistenza si può però applicare un coefficiente di comportamento  $q = 1,5$  (cfr. esempio di calcolo nell'allegato D).

Per gli edifici si devono utilizzare i coefficienti di comportamento conformemente alle norme strutturali della SIA.

## 4. Disposizioni per la sicurezza parasismica degli impianti

Le disposizioni seguenti, differenziate secondo le zone sismiche, si riferiscono alle sottostazioni costruite secondo la tecnica dello strato d'aria isolante e alle stazioni di trasformazione, ad eccezione delle disposizioni del capitolo presente come pure quelle dei capitoli 4.4 e 4.5. I valori delle accelerazioni spettrali e dell'imbandito necessario indicati nei capitoli 4.1, 4.2 e 4.3. valgono soltanto per trasformatori e apparecchi, che sono disposti a livello del suolo o in un piano rialzato dell'edificio. In caso d'installazione nei piani superiori di un edificio si deve considerare che in seguito ad un terremoto i movimenti dell'edificio possono essere amplificati. Ciò può essere considerato con l'ausilio della norma SIA 261, in particolare del capitolo 16.7.

Le esperienze fatte all'estero dimostrano che per quanto concerne il sisma atteso in Svizzera, generalmente gli impianti costruiti secondo la tecnica blindata SF6 non sono critici, a condizione che siano sufficientemente fissati. In caso di costruzione di nuovi impianti e di sostituzione di impianti esistenti costruiti secondo la tecnica blindata SF6 per tensioni pari o superiori a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) si raccomanda di richiedere al costruttore i corrispondenti certificati sismici e di prestare attenzione per tutti i livelli di tensione al fatto che tutte le parti dell'impianto siano sufficientemente fissate. Inoltre, specialmente nelle zone sismiche Z3a e Z3b si deve osservare che nei fori d'introduzione delle condotte o dei cavi negli edifici vi sia gioco sufficiente, in modo che possibili assestamenti differenziali di pochi centimetri non possano provocare una tranciatura delle condotte o dei cavi.

Per quanto riguarda la suddivisione delle sottostazioni in classi d'opera si rimanda al capitolo 3.3.

Gli elementi potenzialmente più vulnerabili sono i trasformatori come pure, nel settore dell'altissima tensione (livello di rete 1) o dei 132 kV (16,7 Hz), gli interruttori di potenza piuttosto vetusti e i trasformatori di corrente, poiché essi presentano masse relativamente grandi in alto, e in caso di terremoto ciò ha conseguenze sfavorevoli.

In linea di principio per i danni ai trasformatori e agli apparecchi ad alta tensione si possono constatare tre cause diverse. In ordine d'importanza decrescente esse sono:

1. Forze d'interazione a causa di spostamenti relativi di apparecchi collegati tra loro attraverso conduttori, che non presentano un imbando sufficiente, per assorbire gli spostamenti relativi, senza tendersi; se si verificasse oggi in Svizzera un forte terremoto, tali interazioni sarebbero molto probabilmente la causa più importante di danno agli apparecchi ad alta tensione.
2. Forze d'inerzia in seguito a colpi: tali forze risultano in caso di ancoraggi flessibili o di ancoraggi che presentano gioco; l'apparecchio viene accelerato e va a urtare il dispositivo d'arresto, e ciò può provocare punte di accelerazione nettamente più elevate delle accelerazioni sismiche del suolo in quanto tali. In caso di sollevamento momentaneo dal suolo dei trasformatori non ancorati risultano pure forti urti verticali.
3. Forze d'inerzia dovute all'accelerazione sismica del suolo.

Tutte queste cause portano tipicamente a rotture nelle parti fragili, ad es. in porcellana o in alluminio fuso, mentre gli isolatori in materiale plastico hanno un comportamento migliore.

Le disposizioni dei capitoli 4.1 e 4.2 mirano ad evitare danni a trasformatori e ad apparecchi ad alta tensione dovuti alle cause n. 2 e 3. L'importante problematica di un imbando sufficiente viene regolamentata nel capitolo 4.3 Nell'allegato D si trovano fogli di calcolo, con l'ausilio dei quali si possono determinare le forze di ancoraggio per trasformatori e apparecchi ad alta tensione, come pure la necessità di imbando nei conduttori secondo la tabella 8. Il capitolo 4.4 è dedicato agli impianti della distribuzione di energia del genere di costruzione ad armadio, mentre il capitolo 4.5 tratta la sicurezza parasismica dei sistemi secondari.

Nota: i tipi speciali di sottostazioni (come ad es. le sottostazioni mobili nel settore ferroviario) devono essere verificate singolarmente a causa delle loro particolari caratteristiche dinamiche.

#### **4.1 Sicurezza parasismica di trasformatori**

Le disposizioni per la sicurezza parasismica di trasformatori figurano nella tabella 5. Esse valgono per tutti i trasformatori. L'impiego definitivo di trasformatori di riserva deve essere illustrato caso per caso nella procedura di approvazione dei piani.

Si deve principalmente notare che il rischio di ribaltamento di un trasformatore è tanto maggiore quanto lo stesso è snello, ossia maggiore è il rapporto tra l'altezza del baricentro e la sua distanza rispetto al bordo più vicino.

Le verifiche necessarie per i certificati sismici richiesti possono essere prodotte mediante calcoli o prove sperimentali. È consentito riferirsi a verifiche già esistenti effettuate per trasformatori simili, se è possibile dimostrare che il comportamento è almeno corrispondente a quello già certificato.

**Tabella 5** Disposizioni sismiche per trasformatori nuovi. I valori di accelerazione spettrale<sup>1)</sup> indicati si applicano alle classi d'opera III ( $\gamma_f = 1,5$ ) e alle classi di terreno di fondazione più sfavorevoli D ed E; per altre classi di terreno di fondazione si possono usare i valori della tabella 6.

Zona	Certificato sismico da richiedere al costruttore, se la potenza > 2,5 MVA <sup>1)</sup>	Trasformatori di tutti i livelli di tensione Ancoraggio	
	per un'accelerazione spettrale <sup>2)</sup> di	la tranciatura o il rotolamento	il sollevamento
Z3b	12,2 m/s <sup>2</sup>	prova di calcolo necessaria	
Z3a	10,0 m/s <sup>2</sup>		
Z2	7,7 m/s <sup>2</sup>		
Z1b	6,1 m/s <sup>2</sup>		
Z1a	4,6 m/s <sup>2</sup>	per tensioni $\geq 220$ kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz)	
		prova di calcolo necessaria	necessaria assicurazione costruttiva contro il sollevamento
		altrimenti sempre almeno	
		necessaria assicurazione costruttiva contro la tranciatura o il rotolamento	consigliata assicurazione costruttiva contro il sollevamento

<sup>1)</sup> Se i trasformatori sono assegnati alla classe d'opera II (normalmente in ambito ferroviario), si deve esigere un certificato sismico per un'accelerazione spettrale (ridotta) moltiplicata per il coefficiente 0,8 (1,2/1,5).

<sup>2)</sup> Per le classi di terreno di fondazione A, B e C si possono utilizzare i valori inferiori della tabella 6.

Normalmente i trasformatori hanno frequenze proprie situate nella cosiddetta zona plateau dello spettro di risposta [2]. Se non vengono effettuati chiarimenti più precisi, per il dimensionamento degli ancoraggi si deve pertanto presupporre un'accelerazione spettrale effettiva (tabelle 6a e 6b) tre volte più elevata dell'accelerazione massima del suolo. Ciò tiene conto dell'amplificazione dell'accelerazione nella zona plateau (coefficiente 2,5) come pure di uno smorzamento pari al 2 % (coefficiente 1,2) dello smorzamento critico. Per calcolare le forze di ancoraggio si deve applicare la forza sismica risultante – accelerazione spettrale effettiva moltiplicata per la massa del trasformatore – leggermente sopra al baricentro, poiché in caso di terremoto il trasformatore esegue in parte un movimento di ribaltamento. Ciò significa che, in caso di distribuzione uniforme delle masse, le forze d'inerzia aumentano con l'altezza. Si consiglia di applicare la forza sismica risultante approssimativamente a un'altezza pari a  $1,2 h_c$ .

I trasformatori, che necessitano di un'assicurazione contro il sollevamento, ma che a causa di problemi relativi al rumore trasmesso per via solida devono essere posati con isolamento, vanno fissati in modo tale che le forze di trazione possano essere trasmesse al supporto senza creare un ponte acustico. Nell'allegato B sono elencati alcuni esempi di ancoraggi di trasformatori.

**Tabella 6** Accelerazioni spettrali effettive (3 x accelerazione massima del suolo) in funzione della classe di terreno di fondazione, da impiegare per calcolare le forze di ancoraggio in caso di trasformatori e apparecchi ad alta tensione per la CO III ( $\gamma_f = 1,5$ ).

Zona sismica	Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Classe di terreno di fondazione A	2,7 m/s <sup>2</sup>	3,6 m/s <sup>2</sup>	4,5 m/s <sup>2</sup>	5,9 m/s <sup>2</sup>	7,2 m/s <sup>2</sup>
Classe di terreno di fondazione B	3,2 m/s <sup>2</sup>	4,3 m/s <sup>2</sup>	5,4 m/s <sup>2</sup>	7,0 m/s <sup>2</sup>	8,6 m/s <sup>2</sup>
Classe di terreno di fondazione C	3,9 m/s <sup>2</sup>	5,2 m/s <sup>2</sup>	6,5 m/s <sup>2</sup>	8,5 m/s <sup>2</sup>	10,4 m/s <sup>2</sup>
Classe di terreno di fondazione D ed E	4,6 m/s <sup>2</sup>	6,1 m/s <sup>2</sup>	7,7 m/s <sup>2</sup>	10,0 m/s <sup>2</sup>	12,2 m/s <sup>2</sup>

Qualora i trasformatori siano collegati con rotaie d'alimentazione (ad es. esecuzione GIL), si devono effettuare approfondimenti specifici in merito a possibili spostamenti differenziali dei punti di raccordo. Se i componenti collegati sono ancorati correttamente, si devono attendere spostamenti differenziali rilevanti solo in caso di condizioni geotecniche difficili.

#### 4.2 Sicurezza parasismica di apparecchi ad alta tensione

Per tutti gli apparecchi ad alta tensione con tensioni pari o superiori a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz), è richiesta una qualificazione sismica certificata secondo IEC [5, 6, 7] in base alla zona sismica. Le disposizioni per gli apparecchi ad alta tensione sono indicate nella tabella 7. La qualificazione per un'azione sismica «moderata» corrisponde a un'accelerazione del suolo massima di 2,5 m/s<sup>2</sup>, mentre quella per un'azione sismica «elevata» corrisponde a un'accelerazione del suolo massima di 5,0 m/s<sup>2</sup>.

Se in occasione di un rinnovo degli apparecchi si mantengono le fondamenta esistenti, le stesse devono all'occorrenza essere adeguate dal punto di vista costruttivo.

Per gli apparecchi compresi tra 110 kV (50 Hz) e < 220 kV (50 Hz), nelle zone Z2 e Z3a si consiglia una qualificazione per un'azione sismica «moderata», mentre nella zona Z3b per un'azione sismica «elevata», se tali apparecchi sono assegnati alla classe d'opera II.

**Tabella 7** Disposizioni sismiche per apparecchi ad alta tensione con tensioni pari o superiori a 220 kV (50 Hz) risp. 132 kV (16,7 Hz).

	Qualificazione sismica secondo IEC [5, 6, 7] per	Basamenti e ancoraggio per ribaltamento e tranciatura
Zona Z3b e Z3a	azione sismica «elevata»	necessaria prova di calcolo
Zona Z2, Z1b e Z1a	azione sismica «moderata»	necessaria prova di calcolo

Gli apparecchi ad alta tensione per tensioni pari o superiori a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) hanno – basamento incluso – prevalentemente frequenze proprie, che si situano nella zona plateau dell'azione sismica. Se non vengono effettuati accertamenti più precisi, per il

dimensionamento degli ancoraggi si deve pertanto presupporre un'accelerazione spettrale effettiva (tabelle 6) tre volte più elevata dell'accelerazione massima del suolo. Ciò considera l'amplificazione dell'accelerazione nella zona plateau (coefficiente 2,5) come pure di uno smorzamento pari al 2 % (coefficiente 1,2) dello smorzamento critico. Per calcolare le forze di ancoraggio si deve applicare la forza orizzontale risultante – accelerazione spettrale effettiva moltiplicata per la massa dell'apparecchio – approssimativamente a 1,2 volte l'altezza del baricentro, a condizione che non vengano effettuate analisi più precise.

Se si tengono in stock apparecchi ad alta tensione di riserva, come ad esempio avviene nei centri di manutenzione, in caso di terremoto si deve prestare attenzione al fatto che non vengano danneggiati né a causa del loro ribaltamento, né dagli oggetti che cadono da scaffali adiacenti.

### 4.3 Giunzioni di conduttori conformi alle norme sismiche

Le disposizioni per giunzioni di conduttori conformi alle norme sismiche valgono per tutti gli apparecchi ad alta tensione con tensioni pari o superiori a 220 kV (50Hz) o 132 kV (16,7 Hz); per gli apparecchi con tensioni a partire da 110 kV (50 Hz) e inferiori a 220 kV (50 Hz) tali disposizioni hanno carattere di raccomandazione.

La giunzione dei conduttori tra due apparecchi ad alta tensione deve presentare un imbando tale che in caso di terremoto gli apparecchi possano oscillare indipendentemente l'uno dall'altro, senza che la giunzione dei conduttori si tenda. In caso contrario si possono sviluppare importanti forze d'interazione, che provocano la rottura degli isolatori in porcellana. Nel contempo devono essere rispettate le distanze minime necessarie a livello elettrico tra le singole fasi o rispetto alla terra e si deve evitare che le forze di cortocircuito possano provocare danni agli apparecchi. Spiegazioni complementari in merito alla necessità di imbando si trovano nell'Allegato C.

La configurazione del conduttore più diffusa in Svizzera, spesso denominata catenaria, è illustrata nella figura 1a). Una leggera modifica di questa configurazione, consistente unicamente in uno spostamento verticale tra i punti di raccordo, è rappresentata nella figura 1b).

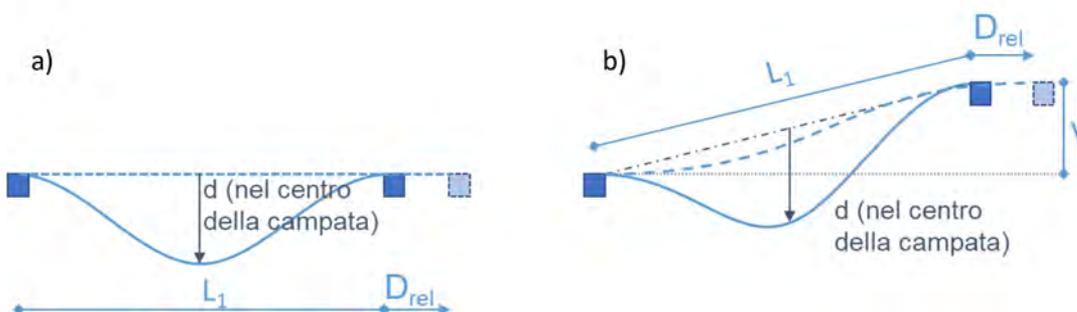


Figura 1 Configurazione del conduttore a) Catenaria (configurazione 3 secondo [8]) e b) Catenaria con spostamento verticale  $v$  dei punti di raccordo.

Per consentire spostamenti relativi molto grandi, senza essere al di sotto delle distanze elettriche minime, è possibile l'impiego di conduttori verticali, che collegano l'apparecchio con i conduttori orizzontali situati più in alto. Un esempio, proveniente dalla Svizzera, è illustrato nella figura 2.



*Figura 2 Interruttori di potenza da 380 kV collegati con gli apparecchi adiacenti mediante conduttori essenzialmente verticali: questa configurazione consente grandi spostamenti sismici senza che i conduttori si tendano.*

Per la configurazione mostrata nella figura 1, conformemente alla norma US IEEE Std 1527-2006 [8], la lunghezza minima del conduttore  $L_0$  necessaria tra due punti di raccordo collegati tra loro è pari a:

$$L_0 = L_1 + D_{rel} + L_2 \quad (1)$$

In cui

$L_0$  è la lunghezza minima richiesta del conduttore,

$L_1$  è la distanza più breve tra i punti di raccordo, anche denominata «linea retta»,

$D_{rel}$  è lo spostamento relativo massimo dei punti di raccordo, che vi è da attendersi durante il terremoto di dimensionamento: questo corrisponde all'imbando necessario,

$L_2$  è una lunghezza addizionale, dipendente dalla configurazione del conduttore; per la configurazione del conduttore usuale in Svizzera (figura 1) può essere fissata approssimativamente a zero.

In tal caso  $D_{rel}$  vale

$$D_{rel} = 1,25 \sqrt{x_{max,1}^2 + x_{max,2}^2} \quad (2)$$

dove  $x_{max,1}$  e  $x_{max,2}$  rappresentano gli spostamenti orizzontali massimi degli apparecchi collegati tra loro, i quali possono essere calcolati con gli usuali strumenti d'ingegneria sismica (cfr. Allegato C) o stimati con l'ausilio della tabella 8.

#### **4.3.1 Disposizioni per gli apparecchi 50 Hz (220 kV e 380 kV)**

Se non vengono eseguiti calcoli sismici, per  $D_{rel}$  si devono rispettare approssimativamente i valori della tabella 8; questi valori valgono per la classe d'opera III ( $\gamma_f = 1,5$ ) e nella maggior parte dei casi si situano dalla parte della sicurezza.

Se i valori della tabella 8 vengono utilizzati ai sensi di una raccomandazione anche per sottostazioni la cui tensione massima è superiore a 110 kV, ma inferiore a 220 kV, essi possono essere moltiplicati per il coefficiente 0,75. Ciò vale nel caso di sottostazioni della CO II, mentre nel caso di sottostazioni della CO III si raccomanda un coefficiente 0,9. Tra due apparecchi adiacenti non si dovrebbe però in nessun caso scendere al di sotto di un valore minimo di imbando pari a 30 mm. Per i livelli inferiori di tensione la tabella è inutile; in questi casi non è necessario rispettare un imbando minimo dal punto di vista della protezione parasismica.

**Tabella 8** *Imbando necessario "D<sub>rel</sub>" in [mm], che deve essere disponibile nel conduttore tra due apparecchi ad alta tensione (senza trasformatori), in funzione delle frequenze proprie fondamentali f<sub>01</sub> e f<sub>02</sub> degli apparecchi collegati tra loro, della zona sismica e della classe di terreno di fondazione, valido per la classe d'opera III. Se si utilizza la tabella anche per i trasformatori, verso il trasformatore si deve considerare una frequenza propria di 2 Hz.*

Frequenze proprie fondamentali f <sub>01</sub> e f <sub>02</sub>	Classe di terreno di fondazione	Zona Z1a D <sub>rel</sub> [mm]	Zona Z1b D <sub>rel</sub> [mm]	Zona Z2 D <sub>rel</sub> [mm]	Zona Z3a D <sub>rel</sub> [mm]	Zona Z3b D <sub>rel</sub> [mm]
2 Hz – 2 Hz	A	30	35	40	55	65
	B, E	40	55	70	90	110
	C	55	75	95	120	150
	D	80	110	135	180	220
2 Hz – 3 Hz	A	30	30	35	45	55
	B, E	35	45	60	75	95
	C	45	60	75	100	120
	D	65	85	105	140	170
3 Hz – 3 Hz	A	30	30	30	35	45
	B, E	30	35	45	60	75
	C	30	40	55	70	85
	D	35	50	60	80	100

Se le frequenze proprie fondamentali, basamento incluso, non sono note, basandosi sulla tabella 8 si può approssimativamente partire dalle seguenti ipotesi:

- interruptori di potenza, trasformatori di corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2 Hz,
- sezionatori girevoli, sezionatori a pantografo, isolatori rigidi e scaricatori di sovratensione: 3 Hz.

Nel caso di apparecchi con basamenti particolarmente alti (come ad esempio in caso di rischio di inondazione), i valori della tabella 8 vanno aumentati del 20 %. Si può rinunciare a questo aumento, se per mezzo di misurazioni della frequenza propria si può dimostrare che le frequenze proprie fondamentali non risultano più basse di quelle presupposte sopra.

La tabella 8 può anche essere utilizzata per determinare gli imbando necessari nelle giunzioni di conduttori con passanti di trasformatori. In questo caso si deve però inserire una frequenza di 2 Hz verso il passante, sebbene la frequenza propria fondamentale effettiva potrebbe essere pari o superiore a 3 Hz. L'utilizzazione di 2 Hz anziché 3 Hz o più copre il coefficiente di partecipazione nettamente più elevato, che compare nel caso di passanti di trasformatori.

Il rispetto della resistenza ai cortocircuiti deve essere verificato conformemente al capitolo 4.3.3 "Restrizioni per garantire la resistenza ai cortocircuiti". Se si presentano dei problemi per realizzare l'imbando necessario, si deve modificare la configurazione del conduttore. In alternativa, possono essere effettuate misurazioni della frequenza propria e stime più precise del coefficiente di partecipazione, per permettere di definire meglio la necessità di imbando.

### 4.3.2 Disposizioni per gli apparecchi 16,7 Hz (132 kV)

Le sottostazioni per gli apparecchi 16,7 Hz con una tensione superiore di 132 kV sono di regola assegnati alla classe d'opera II. Di conseguenza, per lo spostamento relativo necessario o per l'imbando necessario  $D_{rel}$  possono essere utilizzati i valori della tabella 8, moltiplicati per 0,80. Questa riduzione risulta dal rapporto dei relativi coefficienti d'importanza per le classi d'opera II e III (1,2 / 1,5).

### 4.3.3 Restrizioni per garantire la resistenza ai cortocircuiti

Al momento del montaggio di un conduttore, si deve prestare attenzione al fatto che l'imbando necessario sia montato nella maniera più precisa possibile. Se l'imbando è troppo esiguo, ne risulta una protezione parasismica insufficiente, ma se l'imbando è eccessivo, ne può risentire la resistenza ai cortocircuiti. Si consiglia pertanto di misurare e marcare al suolo la lunghezza necessaria del cavo già prima del montaggio, al fine di installare in seguito la lunghezza corretta del cavo.

L'imbando massimo consentito  $D_{rel}$ , in presenza del quale non si verifica alcun conflitto con la resistenza ai cortocircuiti, è indicato nella figura 3 per la configurazione del conduttore catenaria (figura 1). Secondo la norma IEC 60865-1 [9], in caso di cortocircuito non dovrebbero sorgere problemi con le forze di trazione del cavo di ricaduta, se tra i due punti di raccordo è presente uno spostamento verticale relativo pari ad almeno il 25% (riferito alla distanza orizzontale tra i punti di raccordo). Per questo motivo, nella figura 3 questa configurazione è definita ammissibile anche in caso di grandi imbando e grandi distanze tra i punti di raccordo.

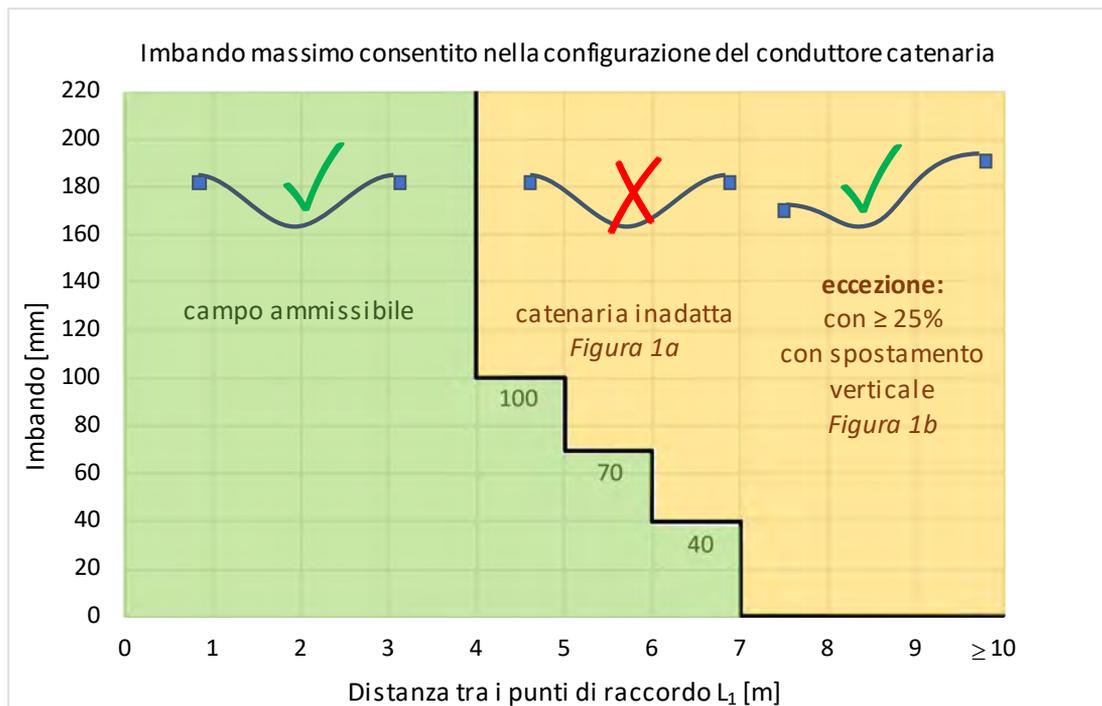


Figura 3 Imbando massimo ammissibile nella configurazione del conduttore catenaria a seconda della distanza tra i punti di raccordo.

#### 4.3.4 Aiuto per il controllo dell'imbando

Per le configurazioni del conduttore mostrate nella figura 1, la freccia  $d$ , che si presenta in funzione di  $L_1$  e  $D_{rel}$ , può essere stimata al centro della campata con una precisione di pochi punti percentuali, con la seguente formula di approssimazione:

$$d = \sqrt{(D_{rel} \cdot L_1 / 2)} \quad (3)$$

Per la configurazione indicata nella figura 1b, durante la verifica delle distanze di sicurezza elettrica, si deve notare che la freccia massima è leggermente superiore alla freccia al centro della campata.

#### 4.3.5 Alternative con giunzioni mediante tubi in caso di grandi distanze

Se si devono superare distanze più elevate tra apparecchi da collegare, solitamente ad esempio tra un sezionatore a pantografo e un isolatore rigido al di sotto di barre colletttrici, i conduttori non sono più adeguati per il raccordo. In presenza di tali distanze, un imbando esiguo provoca già frecce e forze di cortocircuito troppo elevate. In questi casi una giunzione mediante tubi rappresenta una possibile soluzione. Nella figura 4 è illustrato un esempio.

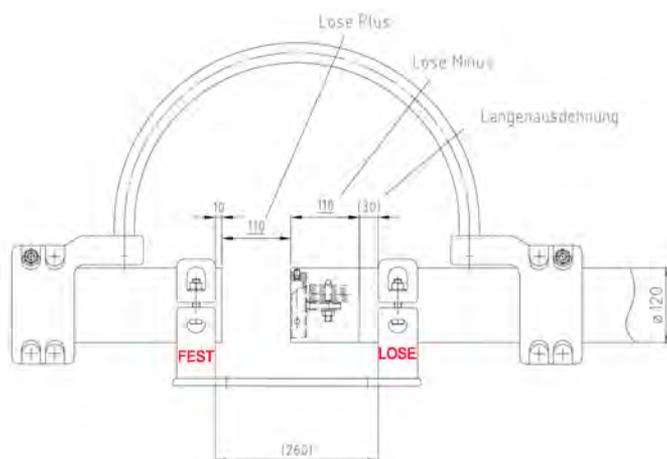


Figura 4 Giunto estensibile per giunzione mediante tubi con imbando di 110 mm.

Se anche con una tale giunzione mediante tubi non si raggiunge un imbando sufficiente, la soluzione consiste nell'installazione di due isolatori rigidi identici nella zona della condotta. Se tali isolatori sono identici, possono essere collegati con una giunzione relativamente rigida mediante tubi senza un imbando significativo (solo nella misura necessaria a compensare le variazioni di temperatura). Un collegamento rigido di questo genere garantisce che i due isolatori rigidi oscillino in fase in caso di terremoto e pertanto che non si generi una necessità significativa di imbando. Questi isolatori rigidi devono essere installati nei pressi degli apparecchi da collegare che si trovano molto distanti tra loro, di modo da poter essere collegati agli stessi mediante cavi corti, che possono presentare un imbando elevato, vedere figura 5.

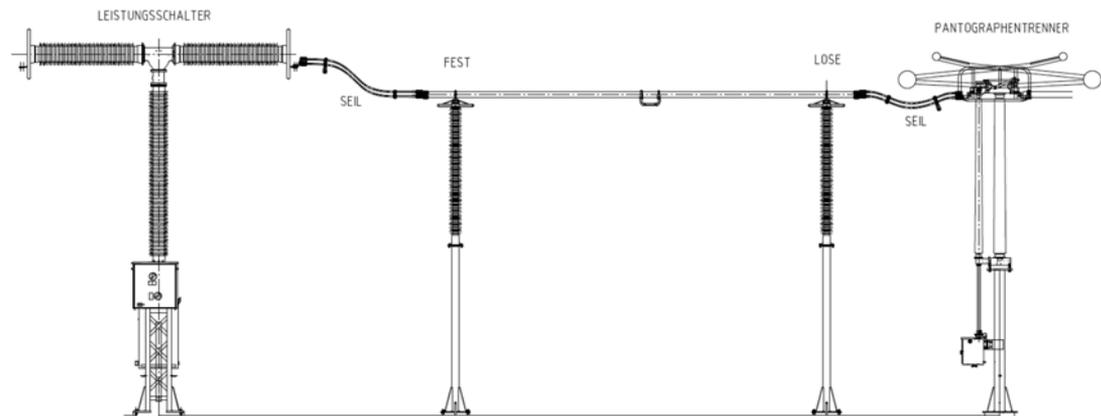


Figura 5 Giunzione di conduttori con tubo, isolatori rigidi e cavi di raccordo corti per superare distanze più elevate.

#### 4.4 Impianti d'approvvigionamento energetico ad armadio

Per gli impianti ad alta tensione e per i dispositivi della distribuzione di energia con tensioni  $\leq 1000$  V sistemati in armadi, si applicano per analogia le disposizioni contenute nel capitolo 4.5 della presente direttiva, con l'obiettivo di evitare un ribaltamento degli armadi per l'effetto di un terremoto. In ambito ferroviario occorre evitare che le misure meccaniche di sicurezza provochino migrazioni di potenziale.

L'assoggettamento di impianti di questo genere alla presente direttiva proviene dalle esperienze, che comprovano la straordinaria importanza dell'approvvigionamento di energia elettrica per le operazioni di recupero e di salvataggio dopo un terremoto. A causa del loro numero elevato e della loro fitta distribuzione geografica, gli impianti di approvvigionamento a media e bassa tensione (livello di rete da 3 a 5 [50 Hz] o al di sotto di 132 kV [16,7 Hz]) vengono sempre danneggiati in caso di terremoto. Il mantenimento delle funzioni di tali impianti nella zona sinistrata definisce in modo determinante l'approvvigionamento dopo una catastrofe dovuta a terremoto.

#### 4.5 Sicurezza parasismica di sistemi secondari e altri elementi non strutturali

Per tutte le zone sismiche e per tutti i livelli di tensione, i sistemi secondari quali ad es. gli armadi di comando, i gruppi elettrogeni di emergenza, le batterie di emergenza o i servizi ausiliari e le parti aggiunte quali ad es. i pavimenti tecnici, le pareti divisorie ecc. devono essere resi sicuri contro il terremoto; in particolare si deve comprovare la loro stabilità. Per ogni singolo progetto occorre definire specificamente gli elementi non strutturali, i dispositivi e gli impianti rilevanti nonché le misure e le responsabilità, tra l'altro nella convenzione d'utilizzazione (v. anche allegato F).

A seconda del piano di messa a terra, nel settore ferroviario può essere necessario realizzare degli ancoraggi isolati (ad esempio per supporti e apparecchi) dalle parti conduttrici degli edifici (ad es. armatura in ferro).

Per il dimensionamento o la verifica di tali elementi ci si deve basare sulla norma SIA 261 [3], capitolo 16.7. Sovente bastano solo semplici misure costruttive. Esempi di tali misure figurano nella pubblicazione dell'UFAM "Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen" [10].

Esempi per il fissaggio di sistemi secondari (batterie di emergenza, armadi di comando) sono illustrato nell'allegato E.

## 5. Disposizioni per la sicurezza parasismica di edifici

Indipendentemente dai livelli di tensione, i nuovi edifici devono essere realizzati secondo le prescrizioni in materia di sicurezza parasismica delle vigenti norme strutturali della SIA 260 e segg., mentre gli edifici esistenti devono essere sottoposti alla manutenzione secondo le indicazioni della SIA 269 e segg. Per gli edifici si deve redigere una convenzione d'utilizzazione (vedi allegato F). Oltre alla struttura portante, anche gli elementi non strutturali, nonché i dispositivi e gli impianti, devono essere eseguiti in maniera conforme alle norme sismiche (cfr. capitolo 4.5).

In caso di rinnovo di una parte considerevole di un impianto ad alta tensione in un edificio esistente che, sulla base di una verifica, presenta un'insufficiente sicurezza parasismica, si devono attuare misure di sicurezza parasismica, se tali misure sono possibili con un onere proporzionato e le condizioni di proprietà lo consentono. Per valutare la "proporzionalità", si deve consultare la norma SIA 269/8 [11]. Nella fattispecie si considera che in primo piano non è la sicurezza delle persone ma la sicurezza dell'approvvigionamento. Si deve valutare una possibile interruzione dell'approvvigionamento non solo in relazione al valore dell'energia non fornita, ma soprattutto alle ripercussioni sociali, in particolare al fatto di rendere probabilmente difficoltose le operazioni di salvataggio su grandi aree.

## 6. Disposizioni per la sicurezza parasismica di linee

### 6.1 Linee aeree

Le disposizioni per la sicurezza parasismica di linee aeree valgono per tensioni pari o superiori a 220 kV (50 Hz) e 132 kV (16,7 Hz). Per le linee aeree con tensioni a partire da 110 kV (50 Hz) e inferiori a 220 kV (50 Hz) tali disposizioni hanno carattere di raccomandazione.

Nella maggior parte dei casi le linee aeree resistono senza danni significativi anche a terremoti piuttosto forti. Sorgono però dei problemi, che possono provocare l'avaria totale di una linea, quando i basamenti dei tralicci subiscono grandi spostamenti permanenti. Tali spostamenti possono verificarsi in caso di scivolamento di pendio o di liquefazione del terreno.

Per la costruzione di linee aeree della rete ad altissima tensione (livello di rete 1) e - vista la sua ridondanza relativamente ridotta - della rete da 132 kV (16,7 Hz), si deve valutare almeno qualitativamente, se il verificarsi di scivolamenti di pendii o il manifestarsi di liquefazione del suolo nei punti di fondazione dei piloni di linee aeree, può essere escluso senza eseguire indagini più dettagliate. Se sono disponibili per il settore interessato, le carte di pericolo danno indicazioni preliminari riguardo ai scivolamenti di pendio. In caso di dubbio si deve effettuare uno studio quantitativo sulla base della norma SIA 267 [12].

### 6.2 Linee in cavo

Normalmente in caso di terremoto le linee in cavo non sono critiche.

Nel caso di opere d'introduzione di cavi (introduzione di cavi in ponti o edifici) si deve prestare attenzione ai possibili spostamenti differenziali, che possono essere di alcuni centimetri. Nell'attraversamento di pendii potenzialmente soggetti a scivolamento, si deve agire con la dovuta cautela; per quanto possibile tali pendii devono essere attraversati seguendo la linea di massima pendenza. Le linee in cavo non possono essere fatte transitare in ponti con insufficiente sicurezza sismica.

## 7. Raccomandazioni per sottostazioni "importanti" esistenti

Si raccomanda il miglioramento della sicurezza parasismica degli impianti esistenti,

- se è possibile con un dispendio esiguo (ciò è normalmente il caso per la protezione di sistemi secondari), in tutte le zone sismiche;
- se dal punto di vista della sicurezza regionale dell'approvvigionamento si tratta di parti "straordinariamente importanti" di impianti, per le quali nei prossimi 20 anni o più non ci si deve attendere alcun rinnovo; questa raccomandazione si limita alle zone sismiche Z2, Z3a e Z3b.

Compete ai gestori di rete identificare le parti particolarmente importanti di impianti esistenti e verificare se il miglioramento della sicurezza parasismica sia "proporzionato" o meno. Si deve valutare una potenziale interruzione dell'approvvigionamento non solo per quanto riguarda la perdita di rendimento in seguito all'energia non fornita, ma soprattutto alle ripercussioni sociali, in particolare al fatto di rendere probabilmente difficoltose le operazioni di salvataggio su grandi aree. Per valutare la proporzionalità si può considerare la norma SIA 269/8 [11].

Per le parti straordinariamente importanti di impianti esistenti con una lunga durata residua di vita situate nelle zone sismiche Z2, Z3a e Z3b si raccomanda di approfondire,

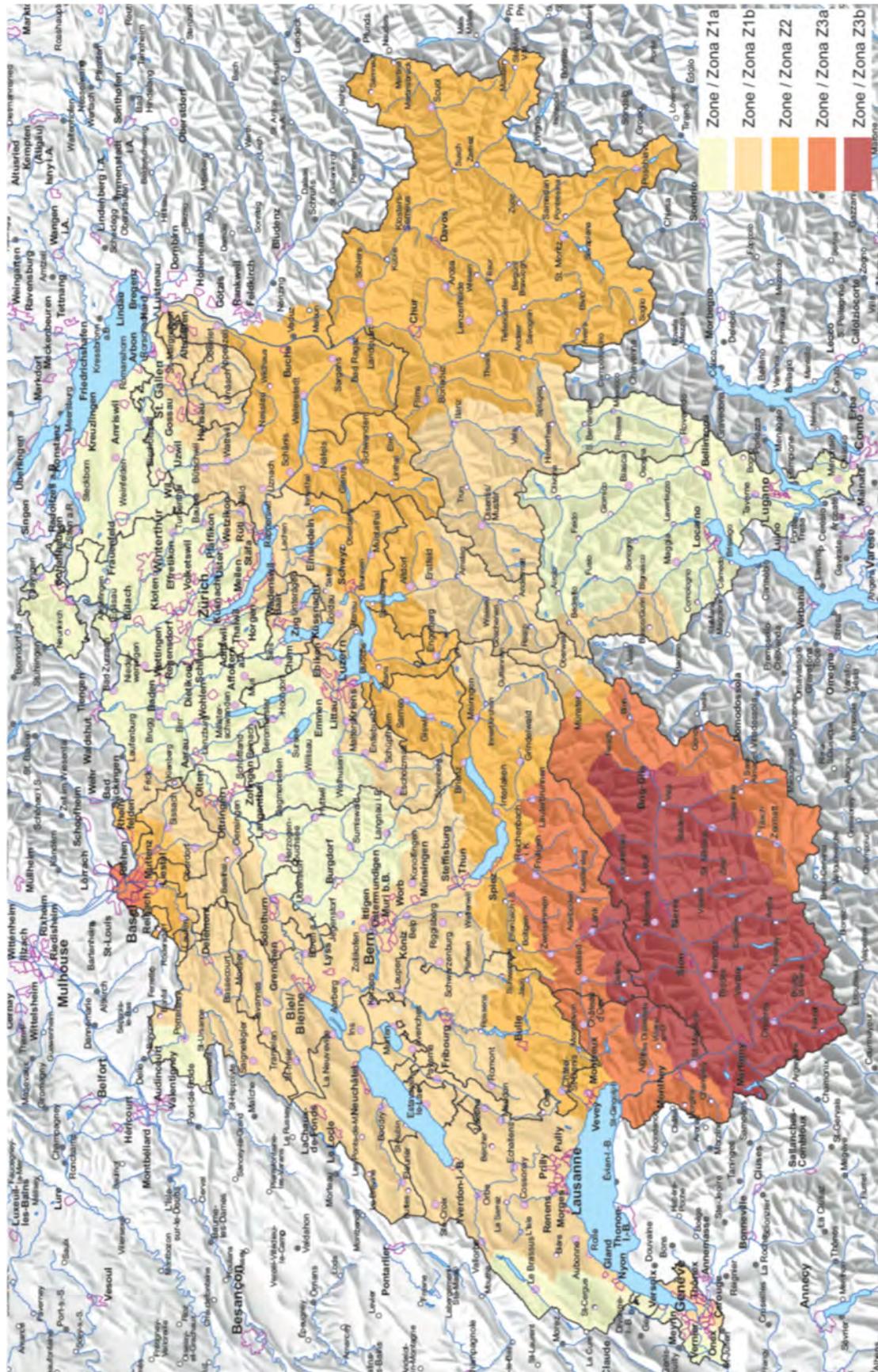
- se con un onere proporzionato i trasformatori possano essere successivamente fissati per impedirne il sollevamento,
- se i basamenti e gli ancoraggi degli apparecchi ad alta tensione con una tensione pari o superiore a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) sono sufficientemente resistenti o, in caso contrario, se sia possibile effettuare un rinforzo con un onere proporzionato,
- se l'imbando disponibile nei conduttori tra gli apparecchi di una tensione pari o superiore a 220 kV (50 Hz), 132 kV (16,7 Hz) o superiore è sufficiente o, in caso contrario, se sia possibile installare nuovi conduttori, senza modificare la configurazione generale del conduttore, né violare le disposizioni relative alle distanze minime e alla resistenza ai cortocircuiti.

Laddove un miglioramento completo o anche solo parziale della sicurezza parasismica è da considerare proporzionato, si raccomanda di eseguirlo.

## 8. Fonti

- [1] Koller M.G. (2009), "Erdbebensicherheit der elektrischen Energieversorgung in der Schweiz", 1° rapporto intermedio, su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente, Résonance, Carouge.
- [2] Koller M.G. (2011), "Erdbebensicherheit der elektrischen Energieversorgung in der Schweiz", 2° rapporto, su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente, Résonance, Carouge.
- [3] SIA 261 (2020): Azioni sulle strutture portanti, norma svizzera SN 505 261, Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, Zurigo.
- [4] ASCE (1999): "Guide to Improved Earthquake Performance of Electric Power Systems", ASCE Manual and Reports on Engineering Practice n° 96, editore Schiff, A. J., Reston, Virginia.
- [5] (SN) EN 62271-207:2007 [IEC 62271-207:2007]: Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 207: Erdbebenqualifikation für gasisolierte Schaltgerätekombinationen mit Bemessungsspannungen über 52 kV.
- [6] IEC TS 61463 (2000): Technical Specification, Bushings – Seismic qualification, IEC.
- [7] IEC TR 62271-300 (2006): Technical Report, High-voltage switchgear and controlgear – Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers, IEC.
- [8] IEEE Std 1527-2006 (2006): IEEE Recommended Practice for the Design of Flexible Buswork Located in Seismically Active Areas, IEEE Power Engineering Society, New York.
- [9] IEC 60865-1 (2011): « Short-circuit currents – Calculation of effects – art 1: Definitions and calculation methods », CEI, Genève.
- [10] BAFU (2016): "Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen", BAFU-Publikation, Bern. [www.bafu.admin.ch/erdbeben](http://www.bafu.admin.ch/erdbeben).
- [11] SIA 269/8 (2017): Conservazione delle strutture portanti - terremoto, Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, Zurigo.
- [12] SIA 267 (2003): Geotecnica, norma svizzera SN 505 267, Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, Zurigo.
- [13] Dastous J.-B. and Pierre J.-R. (2007), "Design Methodology for Flexible Buswork Between Substation Equipment Subjected to Earthquakes", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, n° 3, pp 1490–1497.
- [14] Dastous J.-B., Filiatrault A. and Pierre J.-R. (2004), "Estimation of Displacement at Interconnection Points of Substation Equipment Subjected to Earthquakes", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, n° 2, pp 618–628.

**Allegato A: Zone sismiche secondo la norma SIA 261**



Con l'approvazione della Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, Zurigo (<https://map.geo.admin.ch>).

## Allegato B: Ancoraggio dei trasformatori



Figura B.1 *Trasformatore 220 kV / 70 MVA – Zona sismica Z3b – Ancoraggi (8 rimovibili) direttamente sul basamento di fondazione (con autorizzazione di Axp).*



Figura B.2 *Trasformatore 236 kV / 60 MVA – Zona sismica Z3b - Cornice di rinforzo saldata su placche di ancoraggio fissate nel cemento (con autorizzazione di ewz).*



Figura B.3 *Trasformatore 110 kV / 60 MVA – Zona sismica Z2 – Ancoraggi (4 rimovibili) con ruote (con autorizzazione di axpo).*



Figura B.4 *Trasformatore 110 kV / 125 MVA – Zona sismica Z2 – Ancoraggi (4 rimovibili) con ruote (con autorizzazione di axpo).*



Figura B.5 *Trasformatore 50 kV / 25 MVA – Zona sismica Z1b – Ancoraggio su un basamento di fondazione esistente rinforzato (con autorizzazione di energie thun).*

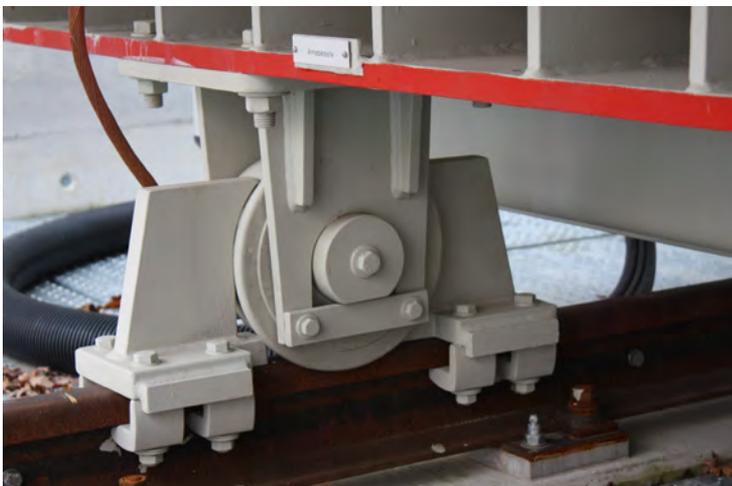


Figura B.6 *Trasformatore 110 kV / 40 MVA – Zona sismica Z1a – Ancoraggio con due staffe di arresto per ruota. Prestare attenzione alla flessione trasversale e alla stabilità del binario; da utilizzare SOLO nella zona sismica Z1a (con autorizzazione di ekz).*

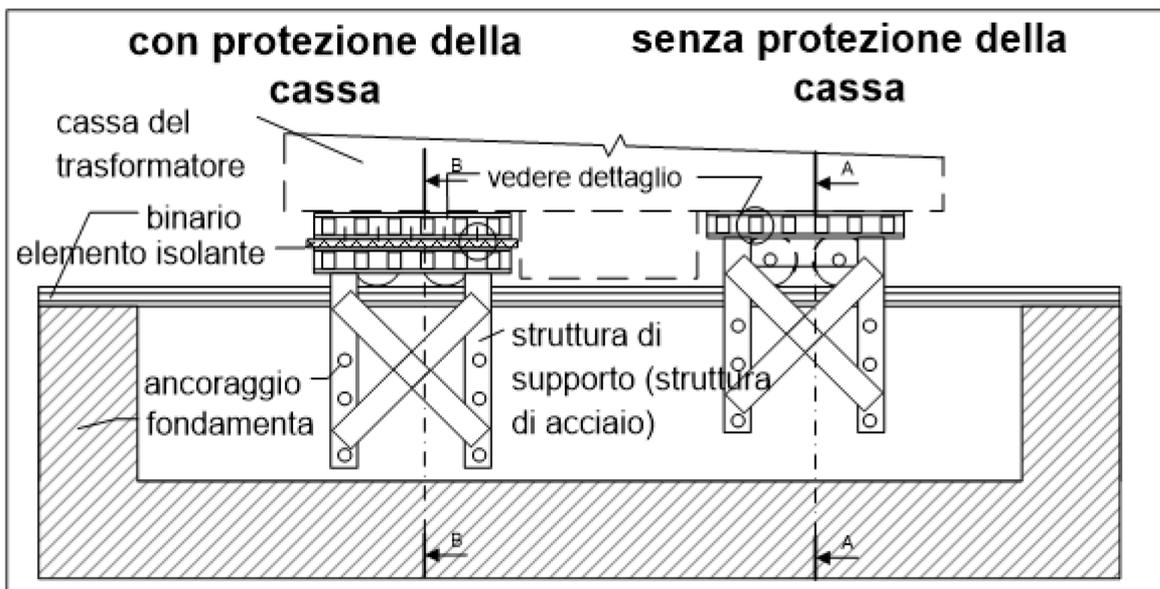


Figura B.7 Rappresentazione schematica di un ancoraggio per trasformatori su binari



Figura B.8 Dettaglio Figura B.7

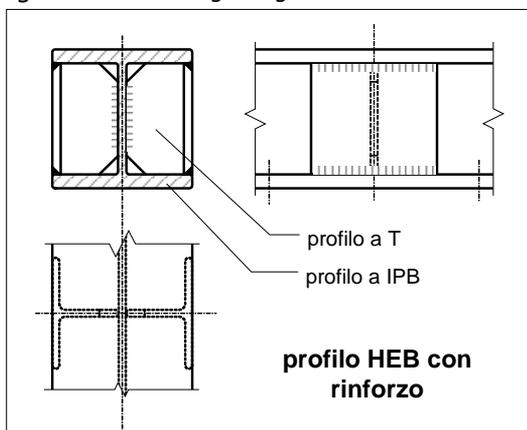


Figura B.9 Profilo con rinforzo

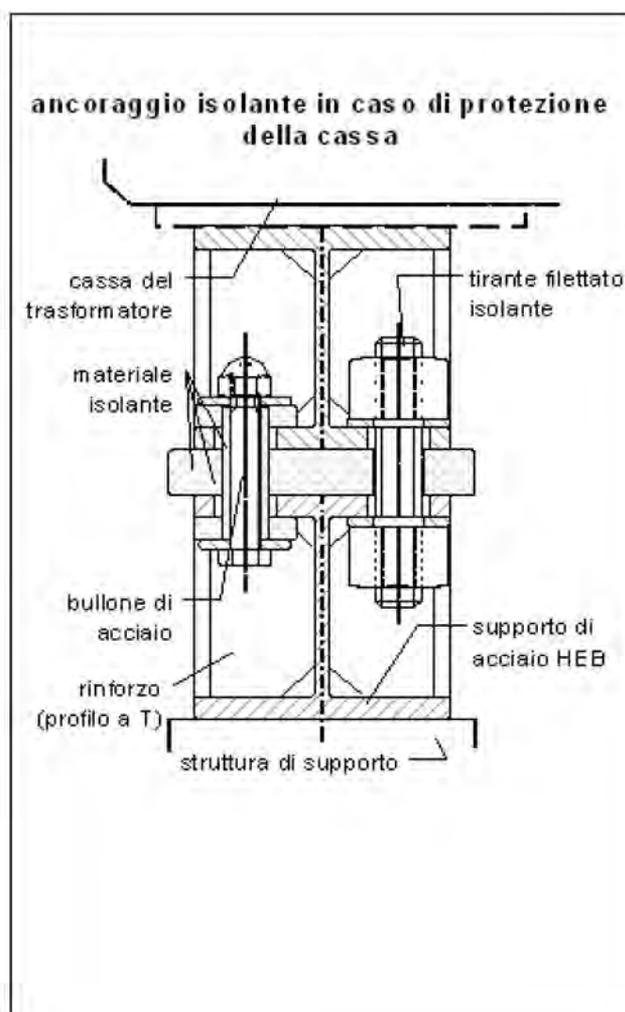


Figura B.10 Possibilità per un ancoraggio d'isolamento

## **Allegato C: Spiegazioni complementari relative alla necessità di imbando**

### **A cosa serve l'imbando?**

La giunzione dei conduttori tra due apparecchi ad alta tensione deve presentare un imbando tale che in caso di terremoto gli apparecchi possano oscillare indipendentemente l'uno dall'altro, senza che la giunzione dei conduttori si tenda. In caso contrario si possono sviluppare importanti forze d'interazione, che provocano la rottura degli isolatori in porcellana.

L'imbando necessario per un conduttore, dipende oltre che dalla sua configurazione anche dallo spostamento relativo risultante in caso di terremoto tra i punti di raccordo degli apparecchi collegati. Questo spostamento relativo dipende direttamente dagli spostamenti dei punti di raccordo. Tale spostamento – denominato "necessità di spostamento" – dipende fortemente dalla frequenza propria fondamentale dell'apparecchio esaminato. La frequenza propria per una usuale struttura di supporto si situa di regola nell'intervallo compreso tra 2 e 4 Hz. Determinante è la frequenza propria fondamentale per oscillazioni nella direzione delle giunzioni dei conduttori. I basamenti flessibili hanno effetti sfavorevoli, in quanto diminuiscono la frequenza propria fondamentale e quindi in caso di terremoto amplificano la necessità di spostamento dei punti di raccordo.

### **Calcolo della necessità di imbando**

In caso di terremoto i singoli spostamenti dei punti di raccordo possono essere determinati in funzione della frequenza di base propria degli apparecchi, della zona sismica e della classe di terreno di fondazione con gli usuali strumenti dell'ingegneria sismica, supponendo uno smorzamento equivalente pari al 2 % dello smorzamento critico. Partendo da questi valori di spostamento, è possibile calcolare facilmente i valori per  $D_{rel}$  con l'ausilio dell'equazione (2) della presente direttiva.

Se non vengono eseguiti calcoli sismici, per " $D_{rel}$ " nell'equazione (2) si possono utilizzare in modo approssimativo i valori della tabella 8, i quali sono nella maggior parte dei casi dalla parte sicura e valgono per la classe d'opera III. Questi valori si basano sul fatto che gli spostamenti dei punti di raccordo dipendono praticamente soltanto dall'oscillazione fondamentale dell'apparecchio [13, 14]. Gli spostamenti possono perciò essere determinati direttamente a partire dal coefficiente di partecipazione e dallo spostamento spettrale variabile in funzione della frequenza. I valori della tabella 8 valgono per un presunto coefficiente di partecipazione di 1,6, che potrebbe coprire secondo [8, 14] circa il 95 % dei casi. Ciò non vale per le esecuzioni di trasformatori, in cui nel calcolo degli spostamenti delle estremità possono risultare fattori di partecipazione da 3 a 4. Per compensare ciò, per i trasformatori si richiede dunque di partire da una frequenza propria di 2 Hz, anche se la frequenza propria effettiva è nettamente superiore, solitamente di 3 e fino a 4 Hz.

I valori della tabella 8 si basano su uno smorzamento del 2 %. Nel contempo si parte dagli spostamenti di apparecchi, che risulterebbero se non ci fossero le giunzioni dei conduttori, e ciò sta dalla parte sicura.

### **Potenziale conflitto con la resistenza ai cortocircuiti**

Maggiore è l'imbando che presenta un conduttore per garantire la protezione parasismica, maggiori sono le forze risultanti in caso di cortocircuito; ciò può causare danni agli apparecchi. Le esigenze della protezione parasismica, da un lato, e quelle della resistenza ai cortocircuiti, dall'altro, rischiano dunque di entrare in conflitto. Inoltre, maggiore è l'imbando che un conduttore deve presentare, più diventa difficile rispettare le distanze elettriche minime necessarie.

Per quanto attiene alle configurazioni indicate nella figura 1, in caso di cortocircuito le forze maggiori si verificano quando il conduttore oscilla a seguito di elevate correnti di cortocircuito, ricadendo dopo lo stesso nella sua posizione iniziale. Maggiore è la freccia e dunque l'imbando presente, più elevate divengono le forze di trazione del cavo di ricaduta. Da alcuni calcoli effettuati è risultato che queste forze di trazione del cavo di ricaduta potrebbero divenire troppo elevate già in caso di imbando relativamente modesto. Se l'imbando necessario è troppo elevato rispetto alla resistenza ai cortocircuiti, si deve quindi prevedere un'altra configurazione del conduttore, ad esempio una configurazione con un importante spostamento verticale.

Le forze di trazione del cavo di ricaduta dopo un cortocircuito sono solitamente calcolate secondo la norma IEC 60865-1 [9]. Questo metodo di calcolo si basa però su modelli (troppo) facili, che trascurano la resistenza alla flessione; ciò produce risultati irrealistici, soprattutto per i conduttori corti. Più è corto il conduttore, più le forze di trazione del cavo di ricaduta vengono sovrastimate nei calcoli. Inoltre, queste forze dipendono sensibilmente dalla rigidità dei punti di raccordo dei conduttori, che di regola non sono noti con sufficiente precisione. Infine, anche le forze massime che possono essere sopportate dai punti di raccordo degli apparecchi senza danni variano da apparecchio ad apparecchio. Pertanto, l'imbando massimo che non provoca ancora nessuna forza di trazione del cavo di ricaduta troppo elevata è pertanto noto solo in maniera molto imprecisa. Le prescrizioni in proposito riportate nella presente direttiva si basano quindi su stime degli esperti, fondate a loro volta su numerosi calcoli secondo la norma IEC 60865-1 [9]. Per i punti di raccordo si è supposta una forza del cavo massima tollerabile di 6 kN, ma si è inoltre tenuto conto del fatto che per le forze di trazione del cavo di ricaduta sono calcolati valori troppo elevati per lunghezze del cavo inferiori a 8 - 10 m.

## Allegato D: Fogli di calcolo per il calcolo sismico

Foglio di calcolo "Azione sismica"

Data:

Pagina 1

Sottostazione: .....

Livelli di tensione: ..... / .....

Richiedente : .....

Progetto / Domanda: .....

### Azione sismica

Classe di terreno di fondazione <sup>(1)</sup>	Zona sismica	Accelerazione spettrale effettiva $S_e$ [m/s <sup>2</sup> ] per CO III <sup>(2)</sup>				
		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
CTF A		2,7	3,6	4,5	5,8	7,2
CTF B		3,2	4,3	5,4	7,0	8,6
CTF C		3,9	5,2	6,5	8,5	10,4
CTF D e E		4,6	6,1	7,7	10,0	12,2
CTF F		studio spettrale dell'ubicazione necessario				

<sup>(1)</sup> La classe di terreno di fondazione può essere determinata mediante la tabella 24 della norma SIA 261 o, se esistente, sulla base di una mappa delle classi di terreno di fondazione (<https://map.geo.admin.ch> → classe di terreno di fondazione).

<sup>(2)</sup> Se la tensione massima della sottostazione è pari o supera i 220 kV, la sottostazione deve essere obbligatoriamente assegnata alla CO III. In caso contrario, il gestore è libero di scegliere la CO II o III. Per la CO II i valori indicati nella tabella devono essere moltiplicati per il coefficiente 0,8.

Classe d'opera (CO II / CO III) .....

Accelerazione spettrale effettiva <sup>(3)</sup>  $S_e =$  ..... [m/s<sup>2</sup>]

<sup>(3)</sup> Da utilizzare per trasformatori e apparecchi ad alta tensione, qualora non esistano studi più precisi sulla loro frequenza propria fondamentale; i risultati sono sempre dalla parte sicura. In caso contrario determinare  $S_e$  con l'ausilio della norma SIA 261, paragrafo 16.2.

Osservazioni generali: .....

.....  
 .....  
 .....  
 .....

Timbro:

**Forze di ancoraggio in caso di trasformatori**

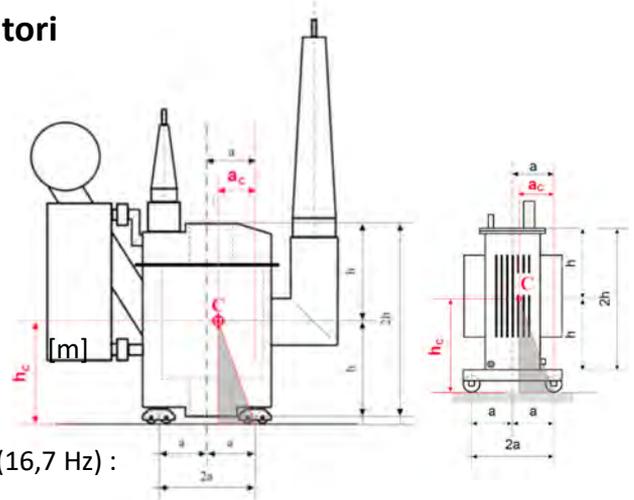
Designazione del trasformatore: .....

Massa totale in esercizio  $m_{tot}$ : ..... [t]

Altezza del baricentro  $h_c$ : ..... [m]

Distanza orizzontale minima  $a_c$ : ..... [m]

Distanza (di appoggio) tra le ruote  $2a$ : .....



Prove, nel caso

- Z1a: tensione < 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) : assicurazione costruttiva
- Z1a: tensione ≥ 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz): assicurazione costruttiva contro il sollevamento prova di calcolo assicurazione contro il sollevamento / rotolamento
- Z1b – Z3b: prova di calcolo

Azione sismica orizzontale:  $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2] = \dots\dots\dots [kN]$

Momento di ribaltamento per il terremoto <sup>(4)</sup>:  $M = 1,2 h_c [m] H [kN] = \dots\dots\dots [kN m]$

<sup>(4)</sup> Il fattore 1.2 considera in modo approssimativo che il trasformatore esegue in parte un movimento di ribaltamento, cosicché il punto di applicazione dell'intera forza sismica viene a trovarsi più in alto del baricentro di gravità.

Valori di mis.: Forza di tranciatura<sup>5)</sup>:  $V_{E,d} = H [kN] / 1,5 = \dots\dots\dots [kN]$

con  $q = 1,5$  secondo cap. 3.4

Forza di trazione <sup>(6)</sup>:  $Z_{E,d} = \frac{1}{1.5} \left( \frac{M[kNm] - 10 m_{tot} [t] a_c [m]}{2a [m]} \right) = \dots\dots\dots [kN]$

<sup>(5)</sup> Assicurare sempre (tutti i livelli di tensione e tutte le zone sismiche) perlomeno in via costruttiva.

<sup>(6)</sup> Ancorare la forza di trazione verticale a seguito del momento di ribaltamento su ciascun lato. Tiene conto dell'azione sismica destabilizzante e del peso proprio stabilizzante (si suppone:  $g = 10 [m/s^2]$ ).

**Forze di ancoraggio in caso di apparecchi ad alta tensione**

Designazione dell'apparecchio: .....

Massa totale in esercizio:  $m_{tot}$ : ..... [t]

Altezza del baricentro:  $h_c$ : ..... [m] (relativo al piede dell'apparecchio)

Azione sismica orizzontale:  $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2]^{(7)} = \dots\dots\dots [kN]$

Momento di ribaltamento dovuto al terremoto:  $M = 1,2 h_c [m] H [kN]^{(4,7)} = \dots\dots\dots [kN m]$

<sup>(7)</sup> Si tratta di grandezze elastiche; per le prove di resistenza, queste grandezze devono essere divise per il coefficiente di comportamento  $q = 1,5$  (cfr. Capitolo 3.4).

Osservazioni: .....  
 .....

### Necessità di imbando nei conduttori

Apparecchi collegati tra loro

Frequenze proprie stimate  $f_{0i}^{(8)}$

Distanza tra i punti di raccordo

Apparecchio 1: .....

$f_{01} = \dots\dots\dots$  [Hz]

$L_1 = \dots\dots\dots$  [m]

Apparecchio 2: .....

$f_{02} = \dots\dots\dots$  [Hz]

<sup>(8)</sup> Senza esami più dettagliati, quando si utilizza la tabella 8 sono consentite le seguenti supposizioni:  
 - interruttori di potenza, trasformatori di corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2 Hz  
 - sezionatori girevoli, sezionatori a pantografo, isolatori rigidi e scaricatori di sovratensione: 3 Hz.

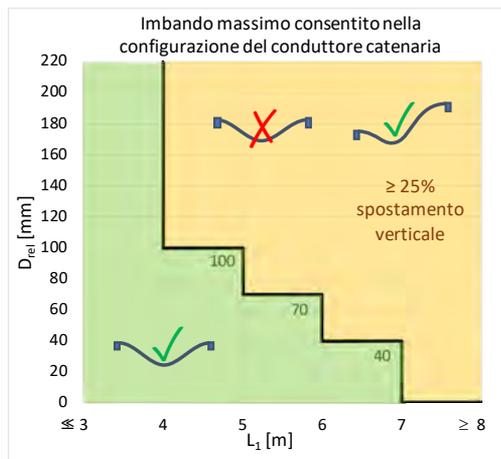
Imbando necessario secondo la tabella. 8 <sup>(9)</sup>  $D_{rel} = \dots\dots\dots$  [mm]

<sup>(9)</sup> Parametri d'entrata per la tabella:  $f_{01}$ ,  $f_{02}$ , classe di terreno di fondazione e zona sismica.  
**Attenzione: in caso di configurazioni del conduttore prestabilite, si deve verificare il rispetto delle distanze elettriche minime e della resistenza ai corto circuiti dell'imbando necessario (figura 3)!**  
 In caso di problemi: modificare la configurazione del conduttore (vedere ad es. le figure 4 e 5 della direttiva) oppure determinare la necessità d'imbando in modo più preciso con l'ausilio di calcoli o misurazioni delle frequenze proprie fondamentali degli apparecchi (spesso risulta una necessità di imbando leggermente minore).

Tab. 8 direttiva ESTI: imbando necessario  $D_{rel}$  per CO III <sup>(10)</sup>

Fig. 3 direttiva ESTI: imbando massimo ammissibile

$f_{01} - f_{02}$	Classe di terr. fond.	$D_{rel}$ [mm] nella zona sismica				
		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
2 Hz – 2 Hz	A	30	35	40	55	65
	B, E	40	55	70	90	110
	C	55	75	95	120	150
	D	80	110	135	180	220
2 Hz – 3 Hz	A	30	30	35	45	55
	B, E	35	45	60	75	95
	C	45	60	75	100	120
	D	65	85	105	140	170
3 Hz – 3 Hz	A	30	30	30	35	45
	B, E	30	35	45	60	75
	C	30	40	55	70	85
	D	35	50	60	80	100



<sup>(10)</sup> – Per la CO II moltiplicare i valori della tabella per 0,8, senza però scendere al di sotto di 30 mm  
 – In caso di sottostrutture straordinariamente alte aumentare i valori della tabella del 20 %

Foglio di calcolo per il calcolo sismico – esempio completo

pagina 1

Foglio di calcolo "Azione sismica" Data: 13.7.2020 Pagina 1

Sottostazione: Benken Livelli di tensione: 320 / 220kV

Richiedente : EWZ Progetto / Domanda: XYZ

Azione sismica

Classe di terreno di fondazione <sup>(1)</sup>	Zona sismica	Accelerazione spettrale effettiva $S_e$ [m/s <sup>2</sup> ] per CO III <sup>(2)</sup>				
		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
CTF A		2,7	3,6	4,5	5,8	7,2
CTF B		3,2	4,3	5,4	7,0	8,6
CTF C		3,9	5,2	6,5	8,5	10,4
<b>CTF D e E</b>		4,6	6,1	<b>7,7</b>	10,0	12,2
CTF F		studio spettrale dell'ubicazione necessario				

<sup>(1)</sup> La classe di terreno di fondazione può essere determinata mediante la tabella 24 della norma SIA 261 o, se esistente, sulla base di una mappa delle classi di terreno di fondazione (<https://map.geo.admin.ch> → classe di terreno di fondazione).

<sup>(2)</sup> Se la tensione massima della sottostazione è pari o supera i 220 kV, la sottostazione deve essere obbligatoriamente assegnata alla CO III. In caso contrario, il gestore è libero di scegliere la CO II o III. Per la CO II i valori indicati nella tabella devono essere moltiplicati per il coefficiente 0,8.

Classe d'opera (CO II / CO III) CO III

Accelerazione spettrale effettiva <sup>(3)</sup>  $S_e =$  7,7 [m/s<sup>2</sup>]

<sup>(3)</sup> Da utilizzare per trasformatori e apparecchi ad alta tensione, qualora non esistano studi più precisi sulla loro frequenza propria fondamentale; i risultati sono sempre dalla parte sicura. In caso contrario determinare  $S_e$  con l'ausilio della norma SIA 261, paragrafo 16.2.

Osservazioni generali: .....

Sottocostruzione alta per piena

Timbro:

Foglio di calcolo "Forze di ancoraggio" Data: 13.7.2020 Pagina 2

### Forze di ancoraggio in caso di trasformatori

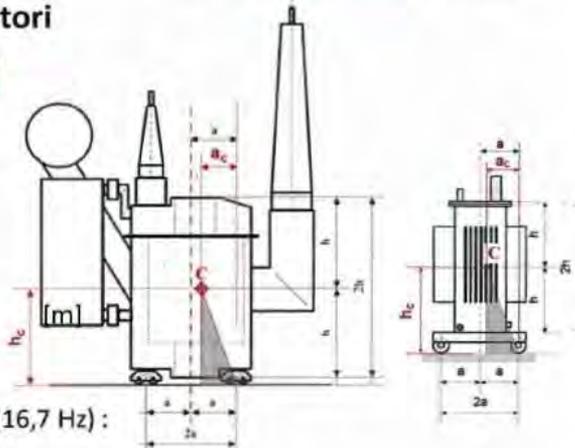
Designazione del trasformatore: xy 1000 HVA

Massa totale in esercizio  $m_{tot}$ : 160 [t]

Altezza del baricentro  $h_c$ : 2,4 [m]

Distanza orizzontale minima  $a_c$ : 0,72 [m]

Distanza (di appoggio) tra le ruote  $2a$ : 1,60



Prove, nel caso

Z1a: tensione < 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz): assicurazione costruttiva

Z1a: tensione ≥ 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz): assicurazione costruttiva contro il sollevamento  
prova di calcolo assicurazione contro il sollevamento / rotolamento

Z1b – Z3b: prova di calcolo

Azione sismica orizzontale:  $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2] = \underline{1'232}$  [kN]

Momento di ribaltamento per il terremoto <sup>(4)</sup>:  $M = 1,2 h_c [m] H [kN] = \underline{3'548}$  [kN m]

<sup>(4)</sup> Il fattore 1.2 considera in modo approssimativo che il trasformatore esegue in parte un movimento di ribaltamento, cosicché il punto di applicazione dell'intera forza sismica viene a trovarsi più in alto del baricentro di gravità.

Valori di mis.: Forza di tranciatura <sup>(5)</sup>:  $V_{E,d} = H [kN] / 1,5 = \underline{821}$  [kN]  
con  $q = 1,5$  secondo cap. 3.4

Forza di trazione <sup>(6)</sup>:  $Z_{E,d} = \frac{1}{1,5} \left( \frac{M [kNm] - 10 m_{tot} [t] a_c [m]}{2a [m]} \right) = \underline{998}$  [kN]

<sup>(5)</sup> Assicurare sempre (tutti i livelli di tensione e tutte le zone sismiche) perlomeno in via costruttiva.

<sup>(6)</sup> Ancorare la forza di trazione verticale a seguito del momento di ribaltamento su ciascun lato. Tiene conto dell'azione sismica destabilizzante e del peso proprio stabilizzante (si suppone:  $g = 10 [m/s^2]$ ).

### Forze di ancoraggio in caso di apparecchi ad alta tensione

Designazione dell'apparecchio: trasformatori di corrente xy (220 kV)

Massa totale in esercizio:  $m_{tot}$ : 1,3 [t]

Altezza del baricentro:  $h_c$ : 3,57 [m] (relativo al piede dell'apparecchio)

Azione sismica orizzontale:  $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2]^{(7)} = \underline{10,01}$  [kN]

Momento di ribaltamento dovuto al terremoto:  $M = 1,2 h_c [m] H [kN]^{(4,7)} = \underline{42,9}$  [kN m]

<sup>(7)</sup> Si tratta di grandezze elastiche; per le prove di resistenza, queste grandezze devono essere divise per il coefficiente di comportamento  $q = 1,5$  (cfr. Capitolo 3.4).

Osservazioni: .....

Foglio di calcolo "Necessità di imbando" Data: 13.7.2020 Pagina 3

### Necessità di imbando nei conduttori

Apparecchi collegati tra loro	Frequenze proprie stimate $f_{0i}^{(8)}$	Distanza tra i punti di raccordo
Apparecchio 1: <u>isolatore rigido</u>	$f_{01} = $ <u>3</u> $ [Hz]$	$L_1 = $ <u>3.5</u> $ [m]$
Apparecchio 2: <u>interruttore di potenza</u>	$f_{02} = $ <u>2</u> $ [Hz]$	

<sup>(8)</sup> Senza esami più dettagliati, quando si utilizza la tabella 8 sono consentite le seguenti supposizioni:  
interruttori di potenza, trasformatori di corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2 Hz  
 - sezionatori girevoli, sezionatori a pantografo, isolatori rigidi e scaricatori di sovratensione: 3 Hz.

Imbando necessario secondo la tabella. 8 <sup>(9)</sup>  $D_{rel} =$  $1,2 \cdot 105 = 126$  $[mm]$

<sup>(9)</sup> Parametri d'entrata per la tabella:  $f_{01}$ ,  $f_{02}$ , classe di terreno di fondazione e zona sismica.  
**Attenzione: in caso di configurazioni del conduttore prestabilite, si deve verificare il rispetto delle distanze elettriche minime e della resistenza ai corto circuiti dell'imbando necessario (figura 3)!**  
 In caso di problemi: modificare la configurazione del conduttore (vedere ad es. le figure 4 e 5 della direttiva) oppure determinare la necessità d'imbando in modo più preciso con l'ausilio di calcoli o misurazioni delle frequenze proprie fondamentali degli apparecchi (spesso risulta una necessità di imbando leggermente minore).

Tab. 8 direttiva ESTI: imbando necessario  $D_{rel}$  per CO III <sup>(10)</sup>

$f_{01} - f_{02}$	Classe di terr. fond.	$D_{rel} [mm]$ nella zona sismica				
		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
2 Hz – 2 Hz	A	30	35	40	55	65
	B, E	40	55	70	90	110
	C	55	75	95	120	150
	D	80	110	135	180	220
2 Hz – 3 Hz	A	30	30	35	45	55
	B, E	35	45	60	75	95
	C	45	60	75	100	120
	D	65	85	105	140	170
3 Hz – 3 Hz	A	30	30	30	35	45
	B, E	30	35	45	60	75
	C	30	40	55	70	85
	D	35	50	60	80	100

Fig. 3 direttiva ESTI: imbando massimo ammissibile

<sup>(10)</sup> – Per la CO II moltiplicare i valori della tabella per 0,8, senza però scendere al di sotto di 30 mm  
 – In caso di sottostrutture straordinariamente alte aumentare i valori della tabella del 20 %.

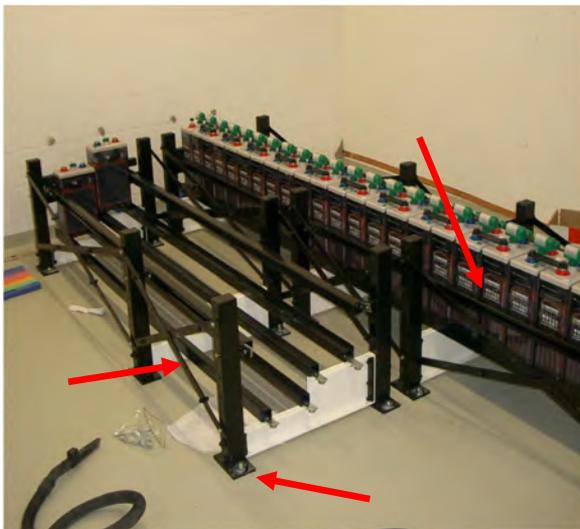
**Allegato E: Esempi di protezione dei sistemi secondari**

Fig. E.1/E.2 Assicurazione contro il ribaltamento e le cadute di batterie di emergenza: a sinistra, sottostazione Münchwilen (Axpö): Piedini dei supporti controventati diagonalmente e fissati con viti al pavimento / a destra, sottostazione Bassecourt (Swissgrid): assicurazione del supporto contro il ribaltamento mediante fissazione alla parete laterale / le due barre orizzontali impediscono alle batterie di ribaltarsi.



Figura E.3 Sottostazione Münchwilen (Axpö): inserti ondulati in materia plastica posizionati tra batterie adiacenti impediscono che esse battano l'una contro l'altra.



Fig. E.4/E.5 Armadi di comando fissati alla parete attraverso barre di metallo ad angolo (Axp)



Figura E.6 Armadi di comando fissati alla parete attraverso cavi (organizzazione di crisi Cantone di Basilea Città)



Fig. E.7/E.8 Armadi di comando fissati alla parete dal centro del locale (Axp)

## Allegato F: Convenzione d'utilizzazione

### Introduzione

Per una progettazione conforme alle norme sismiche è importante che il committente rispetti precisi requisiti e che la collaborazione con i progettisti inizi il prima possibile. Secondo il regolamento SIA 112 (2014), la definizione del progetto e il relativo mansionario del progetto permettono di fissare in tempo e nel miglior modo possibile gli obiettivi del committente e i requisiti dell'opera.

La convenzione d'utilizzazione è parte integrante del mansionario del progetto e fissa le esigenze d'utilizzazione per il committente relativamente all'utilizzo dell'opera (v. SIA 260). Essa va stabilita sulla base di un dialogo fra il committente e i progettisti. Spetta al committente durante la fase 2 della progettazione "Studi preliminari" integrare nel mansionario del progetto la tematica della protezione sismica e fissare le esigenze sia della struttura portante sia degli elementi non strutturali come pure dei dispositivi e degli impianti. Nel bando di concorso devono essere indicate le prestazioni specifiche richieste ai progettisti settoriali per un determinato progetto. Secondo la norma SIA103 (2014), la convenzione d'utilizzazione deve essere elaborata dal direttore generale del progetto o dal progettista settoriale, sulla base del mansionario del progetto, durante la fase 31 della progettazione "Progetto di massima" e deve essere approvata dal committente. Deve inoltre essere costantemente aggiornata secondo lo stadio del progetto e, se necessario, nuovamente approvata alla chiusura di ogni singola fase.

### Aspetti importanti

I seguenti aspetti della convenzione d'utilizzazione sono importanti per un suo impiego efficace e adeguato a ogni singola fase della progettazione: stadio (fase della progettazione, stato, versione, elenco delle modifiche, autorizzazione, destinatari, ecc.), rimandi alle basi normative (direttive ESTI), descrizione del progetto, firme (committente, direttore generale del progetto, ingegnere edile, altri progettisti, ecc.).

Qui di seguito sono elencati gli aspetti rilevanti ai fini della conformità degli impianti di distribuzione dell'energia elettrica alle prescrizioni della presente direttiva e che devono essere definiti nella convenzione d'utilizzazione (da integrare per ogni singolo progetto a seconda dell'azzardo e del significato):

- classe d'opera (inclusa y c. motivazione secondo direttiva ESTI), zona sismica, terreno di fondazione (classe di terreno di fondazione, analisi geologiche o microzonazione sismica);
- progetto strutturale conforme alle norme sismiche, misure concettuali e costruttive (incluse la semplice rappresentazione del concetto strutturale di puntellamento in pianta e in sezione verticale);
- elementi non strutturali, impianti e dispositivi: definizione degli elementi strutturali rilevanti, inclusi motivazione e indicazione delle responsabilità relativamente a dimensionamento, appalto, controllo e collaudo (ad es. in una tabella delle misure e delle responsabilità)
- per la classe d'opera III, definizione dei requisiti concreti di efficienza funzionale al fine di garantire la funzionalità dopo un terremoto (per l'edificio e gli elementi rilevanti dell'intero sistema).

Per progetti di manutenzione di impianti esistenti occorrono ulteriori riflessioni per definire i requisiti e stabilire le basi normative rilevanti secondo la serie SIA 269 e segg. (ossia SIA 269/8) per la conservazione delle strutture portanti (tra l'altro coefficienti di conformità, decisione motivata sulle misure, descrizione delle misure di sicurezza parasismica).

Ulteriori aspetti devono essere riportati nella base del progetto o in rapporti.

### Allegato F: Piano esecutivo con informazioni in merito alla necessità di imbando

La necessità di imbando individuata per ogni giunzione di conduttori (vedere Allegato D) nel rispetto delle disposizioni di cui al capitolo 4.3 deve essere indicata nella domanda e i piani esecutivi devono essere presentati al più tardi all’inizio del montaggio.

Idonei per consentire una visione d’insieme chiara risultano essere i piani delle sezioni, riportanti in una tabella le informazioni rilevanti in merito alla necessità di imbando. È inoltre utile una denominazione univoca delle singole giunzioni di conduttori con una suddivisione nella tabella.

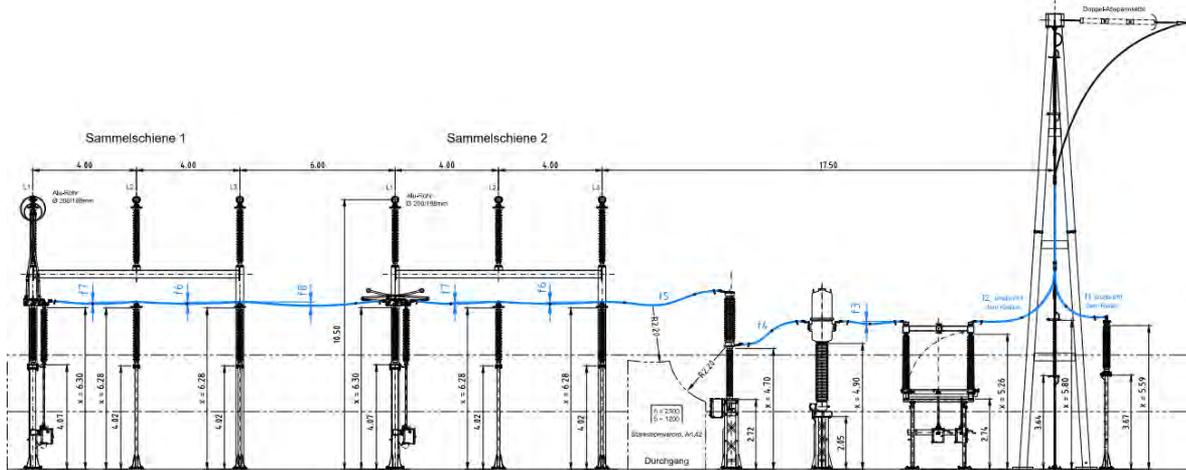


Figura G.1 Piano esecutivo (estratto) di una sezione di un impianto di distribuzione di 220 kV all’aperto, con designazione delle giunzioni di conduttori in blu.

La tabella riassume i parametri dell’azione sismica (zona sismica, classe del terreno di fondazione e classe d’opera), nonché le frequenze degli apparecchi adiacenti a ciascuna giunzione di conduttori. La lunghezza effettiva del conduttore  $L_0$  risulta dalla linea retta  $L_1$  e dall’imbando  $D_{rel}$ . Questi valori devono rispettare la limitazione per garantire la resistenza ai cortocircuiti o presentare il necessario spostamento verticale. La freccia indicata deve essere rispettata al momento del montaggio e può essere stimata secondo la formula (3) della direttiva.

Tabella G.2 Tabella riportata nel piano esecutivo con le informazioni rilevanti in merito alla necessità di imbando.

Necessità d’imbando secondo la direttiva ESTI n° 248								
Zone sismica: 3a			Classe di terreno di fondazione: C		Classe di costruzione: III			
Connessione	Frequenza		Imbando	Punto di raccordo				
	$f_{0,r}$ [Hz]	$f_{0,l}$ [Hz]		Linea retta	L. del conduttore	Freccia	Spost. verticale	
	$f_{0,r}$ [Hz]	$f_{0,l}$ [Hz]	$D_{rel}$ [mm]	$L_1$ [mm]	$L_0$ [mm]	$d$ [mm]	$v$ [mm]	[%]
f1	-	-	n.r.	-	-	-	grande	> 25
f2	-	3	n.r.	-	-	-	grande	> 25
f3	3	2	100	2350	2450	350	-	-
f4	2	2	120	2400	2520	380	890	37%
f5	2	3	100	4450	4550	480	440	10%
f6	3	3	70	4000	4070	380	-	-
f7	3	3	70	3340	3410	350	-	-
f8	3	3	70	5575	5645	450	-	-

Osservazione: lo spostamento verticale può essere approssimativamente calcolato in punti percentuali dal lato sicuro mediante la linea retta  $L_1$  (il procedimento corretto dal punto di vista matematico sarebbe dividere lo spostamento verticale per la distanza orizzontale tra i punti di raccordo).