



Direttiva

Protezione parasismica della rete di distribuzione di energia elettrica in Svizzera



Valido dal: 01.10.2012
Aggiornato: 01.04.2015

Nota editoriale

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

Autore: Martin Koller (Résonance Ingénieurs-Conseils SA)
Coautore: Sven Heunert (Ufficio federale dell'ambiente UFAM)
in collaborazione con: Axpo, UFT, ESTI, ewz, IWB e FFS

Titolo del documento: ESTI_248_0415_i (pubblicato in formato PDF)

Download: www.esti.admin.ch Documentazione – ESTI Pubblicazioni
www.bav.admin.ch Basi - Direttive

Versioni linguistiche: 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.

Ispettorato federale degli impianti a corrente forte Ufficio federale dei trasporti
Divisione Sicurezza

Daniel Otti, Direttore

Pieter Zeilstra, Vicedirettore

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

Indice

Premessa	4
1. Introduzione.....	5
1.1 Obiettivi	5
1.2 Campo d'applicazione	5
1.3 Procedura di approvazione dei piani	6
2. Definizioni.....	7
3. Azione sismica	9
3.1 Zone sismiche.....	9
3.2 Classi di terreno	9
3.3 Classi d'opera.....	10
3.4 Coefficiente di comportamento q	11
4. Disposizioni per la sicurezza parasismica degli impianti	11
4.1 Sicurezza parasismica di trasformatori.....	13
4.2 Sicurezza parasismica di apparecchi ad alta tensione	15
4.3 Impianti d'approvvigionamento energetico ad armadio	16
4.4 Giunzioni di conduttori conformi alle norme sismiche	17
4.5 Sicurezza parasismica di sistemi secondari e altri elementi non strutturali	21
5. Disposizioni per la sicurezza parasismica di edifici	22
6. Disposizioni per la sicurezza parasismica di linee	22
6.1 Linee aeree	22
6.2 Linee in cavo	23
7. Raccomandazioni per sottostazioni "importanti" esistenti	23
8. Fonti	24
Allegato A: Zone sismiche secondo la norma SIA 261.....	25
Allegato B: Ancoraggio dei trasformatori.....	26
Allegato C: Argomentazioni complementari relative alla necessità di imbando .	29
Allegato D: Foglio di calcolo per la verifica sismica	30
Allegato E: Esempi di protezione dei sistemi secondari	37
Allegato F: Convenzione d'utilizzazione.....	39

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 nuovi edifici, per i quali è necessaria un'autorizzazione federale o che sono sovvenzionati dalla Confederazione, vengano costruiti secondo le norme antisismiche vigenti. Dal 2003 per gli edifici e i ponti sono in vigore le norme strutturali SIA 260-267, in particolare la norma SIA 261. In caso di ristrutturazione si deve controllare e all'occorrenza migliorare la sicurezza sismica, nella misura in cui ciò è possibile con investimenti sostenibili.

Nell'ambito della fornitura di energia elettrica nei livelli più alti di tensione mancavano finora 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 intende colmare 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 ad ogni occasione la vulnerabilità sismica della distribuzione di energia elettrica va ridotta gradatamente.

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.).

Nel caso delle linee aeree la direttiva contiene prescrizioni particolari soltanto per quelle principali, poiché in genere anche le linee aeree hanno una buona resistenza sismica.

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 presente direttiva.

Sicurezza parasismica di	Livelli di tensione
Trasformatori	Tutti i livelli di tensione ^{1) 2)}
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

1) a seconda della zona sismica (v. tab. 5 e tab. 7)

2) a seconda del grado di snellezza (v. tab. 5)

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 per iscritto all'autorità di vigilanza (ESTI o UFT) che, salvo le deroghe ammesse, le disposizioni della presente direttiva vengono interamente rispettate. Per gli edifici nuovi di sottostazioni si deve inoltre 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. Per le sottostazioni situate nelle zone sismiche Z2, Z3a o Z3b occorre inoltre presentare i piani e le verifiche per l'ancoraggio dei trasformatori nonché i certificati prima dell'inizio dei lavori di costruzione. Ulteriore documentazione può essere richiesta dall'autorità di vigilanza caso per caso per un controllo a campione.

2. Definizioni

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

Alta tensione: Con il termine "alta tensione" si intendono 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 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: 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, 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 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.

Livelli di qualificazione "AF2", "AF3" e "AF5": 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"), "AF2", "AF3" risp. "AF5". Questi livelli corrispondono alle accelerazioni del suolo massime (nelle pubblicazioni dell'IEC denominate "Zero Period Acceleration ZPA") di 2, 3 risp. 5 m/s². Il rispettivo contenuto in frequenze dell'effetto sismico, di cui si deve tener conto, viene usualmente definito in base agli spettri di risposta (nelle pubblicazioni dell'IEC denominati "Required Response Spectrum RRS"). Un apparecchio viene qualificato come sismico, se supera l'RRS corrispondente al rispettivo livello di qualificazione sia in base ai calcoli o sperimentalmente, senza che la sua funzione venga pregiudicata sostanzialmente.

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 moderne normative strutturali l'effetto di un terremoto viene descritto sotto forma di spettri di risposta livellati, con una cosiddetta zona plateau, in cui l'accelerazione spettrale è indipendente dal periodo proprio, tipicamente tra 0,1 s e 1 s (con differenze a dipendenza della classe di terreno).

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 (2014), capitolo 16, definisce per la Svizzera quattro zone sismiche: Z1, 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.

Tabella 2: Valori di dimensionamento dell'accelerazione orizzontale del suolo conformemente alla norma SIA 261 (2014); essi vanno moltiplicati per lo spettro di risposta S e per il coefficiente d'importanza γ .

Zona sismica	Z1	Z2	Z3a	Z3b
Valore di riferimento SIA 261: a_{gd}	0,6 m/s ²	1,0 m/s ²	1,3 m/s ²	1,6 m/s ²

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

In caso di terremoto i movimenti del suolo dipendono fortemente dalla geologia del sottosuolo locale. Nella norma SIA 261 si tiene conto di ciò, dato che in

funzione della cosiddetta classe di terreno il valore di riferimento a_{gd} viene moltiplicato per lo spettro di risposta S . Per le classi di terreno A - E questo coefficiente può assumere valori variabili da 1 a 1,4, che possono essere desunti dalla tabella 3. Per la classe (poco frequente) di terreno F il valore di S deve essere determinato per mezzo di uno studio sismico del sito. Per la classe di terreno C più diffusa nell'Altipiano lo spettro di risposta S è uguale a 1,15.

Tabella 3: spettro di risposta S in funzione della classe di terreno conformemente alla norma SIA 261, tabella 24.

Classe di terreno	A	B	C	D	E	F
Spettro di risposta S	1,0	1,2	1,15	1,35	1,4	?

Sulla pagina web dell'UFAM (<http://map.bafu.admin.ch>) si trovano le carte delle classi di terreno per numerose regioni della Svizzera, in cui si può facilmente rilevare la classe di terreno di un dato sito.

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, si raccomanda di considerarla. 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 γ_f pari a 1,2 rispettivamente a 1,4 (tabella 4). Il coefficiente 1,4 porta ad accelerazioni massime del suolo, che corrispondono a un periodo di ritorno di circa 1'000 anni.

Tabella 4: coefficiente d'importanza γ_f in funzione della classe d'opera.

Classe d'opera	I	II	III
Coefficiente d'importanza γ_f	1,0	1,2	1,4

Gli oggetti con "funzione d'infrastruttura d'importanza 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 attribuite alla CO III; i valori di riferimento della tabella 2 devono perciò essere moltiplicati per il coefficiente d'importanza $\gamma_f = 1,4$.

Le sottostazioni, il cui livello massimo di tensione è inferiore a 220 kV, come pure le stazioni importanti di trasformazione devono essere attribuite per lo meno alla 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 dello spettro di risposta pari a 1,4 (tabella 3) e per il coefficiente massimo d'importanza di 1,4 (tabella 4), nella zona sismica del massimo pericolo, Z3b, può quindi risultare un'accelerazione massima del suolo di 3,1 m/s².

3.4 Coefficiente di comportamento q

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.

Nell'ambito della presente direttiva per le verifiche di ribaltamento di trasformatori, apparecchi ad alta tensione, quadri elettrici ecc. si deve calcolare con $q = 1,0$. Per le verifiche di resistenza, ad es. di bulloni di ancoraggio, per considerare l'iperresistenza si aumentano le resistenze di dimensionamento del materiale aumentate con il coefficiente di comportamento $q = 1,5$ (cfr. esempio di calcolo nell'allegato D).

Per gli edifici si possono 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 4.3 e 4.5. I valori delle accelerazioni spettrali e dell'imbandito necessario indicati nei capitoli 4.1, 4.2 e 4.4. 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 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. Il capitolo 4.3 è dedicato agli impianti dell'approvvigionamento energetico ad armadio. L'importante problematica di un imbando sufficiente viene regolamentata nel capitolo 4.4. Nell'allegato D vi è un foglio di calcolo, con l'ausilio del quale 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 4.5 è dedicato ai 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,

- la cui tensione al primario è pari o superiore a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz),
- oppure la cui tensione al primario è inferiore a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz), ma il cui grado di snellezza supera il valore limite corrispondente alla zona sismica.

Tabella 5: Disposizioni sismiche per trasformatori nuovi. I valori indicati per l'accelerazione spettrale¹⁾ valgono per la classe d'opera III ($\gamma_r = 1,4$) e per la peggiore classe di terreno E; per le altre classi di terreno i valori possono essere calcolati a partire dalla tabella 6a, risp. desunti dalla tabella 6b.

	Trasformatori, per i quali valgono le disposizioni	Certificato sismico da richiedere al costruttore, se la potenza > 2,5 MVA	Ancoraggio con riferimento al sollevamento e alla tranciatura
Zona Z3a/Z3b	tutte le tensioni	per accelerazioni spettrali ²⁾ di 9,4 m/s ² (Z3b) risp. 7,6 m/s ² (Z3a)	è necessaria una verifica con calcolo
Zona Z2	tutti quelli con tensioni ≥ 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) OPPURE tutti quelli con un grado di snellezza > 2	per accelerazioni spettrali ²⁾ di 5,9 m/s ²	è necessaria una verifica con calcolo
Zona Z1	tutti quelli con tensioni ≥ 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) OPPURE tutti quelli con un grado di snellezza > 3	–	è necessaria una verifica con calcolo per tranciatura risp. rotolamento; è inoltre consigliata un'assicurazione costruttiva contro il sollevamento

¹⁾ Le corrispondenti accelerazioni massime del suolo sono inferiori di un fattore 3.

²⁾ Per i trasformatori attribuiti alla classe d'opera II (caso tipico nel settore ferroviario) si deve richiedere il certificato sismico per un'accelerazione spettrale ridotta del fattore 1,17 (1,4/1,2).

Il grado di snellezza s rappresenta il rapporto tra l'altezza del baricentro h_c e la distanza orizzontale minima a_c tra il baricentro e il punto determinante per il ribaltamento (cfr. figura 1). Per informazione: nel caso dei trasformatori della rete

ad altissima tensione (livello di rete 1) i gradi di snellezza tipici si situano nell'intervallo tra 3,3 e 3,6, nei trasformatori di rete con una potenza < 2,5 MVA invece piuttosto tra 2,0 e 2,5.

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.

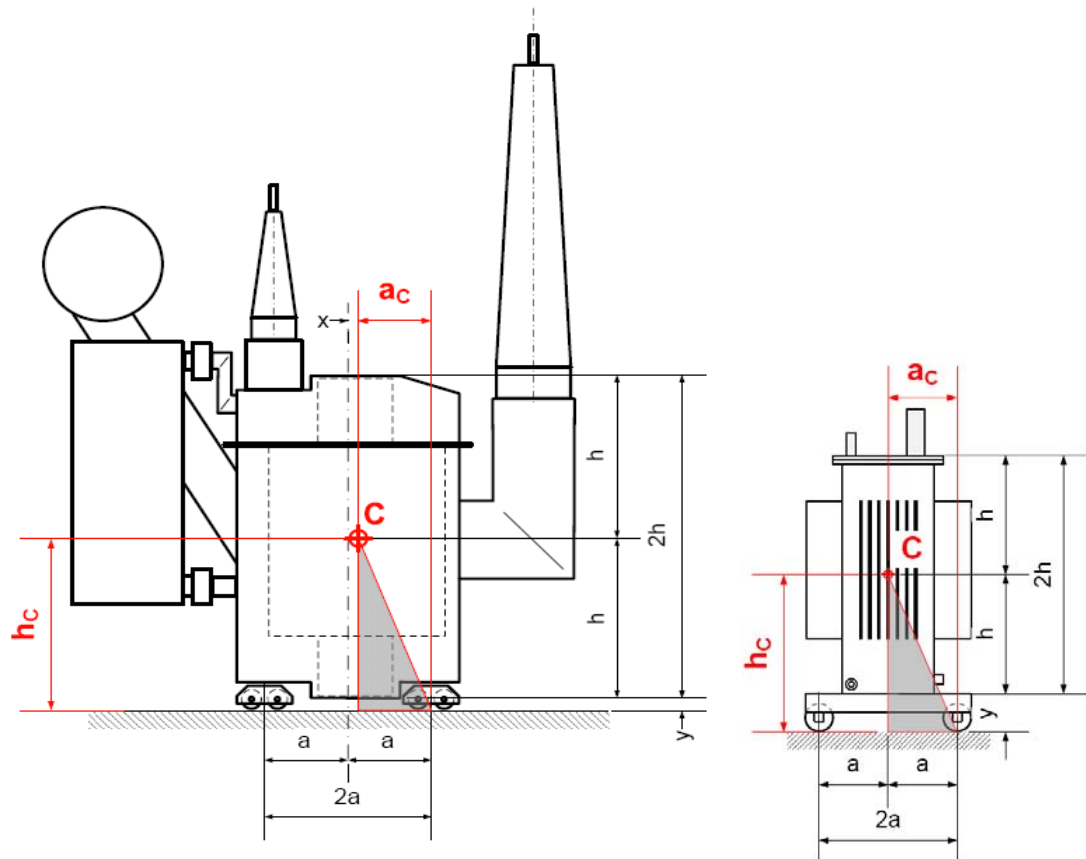


Figura 1: Grado di snellezza s di un trasformatore: $s = h_c/a_c$
 h_c è l'altezza del baricentro e a_c la distanza orizzontale minima tra il baricentro C e il punto determinante per il ribaltamento.

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 6a: Valori di riferimento delle accelerazioni spettrali ($3 a_{gd}$), da impiegare per calcolare le forze di ancoraggio in caso di trasformatori e apparecchi ad alta tensione. I valori elencati devono ancora essere moltiplicati per lo spettro di risposta S e per il coefficiente d'importanza γ .

Zona sismica	Z1	Z2	Z3a	Z3b
Valore di riferimento dell'accelerazione spettrale	1,8 m/s ²	3,0 m/s ²	3,9 m/s ²	4,8 m/s ²

Tabella 6b: Accelerazioni spettrali effettive per le classi più frequenti di terreno, da impiegare per calcolare le forze di ancoraggio in caso di trasformatori e apparecchi ad alta tensione per la CO III ($\gamma = 1,4$).

Zona sismica	Z1	Z2	Z3a	Z3b
Classe di terreno C	2,9 m/s ²	4,8 m/s ²	6,3 m/s ²	7,7 m/s ²
Classe di terreno D	3,4 m/s ²	5,7 m/s ²	7,4 m/s ²	9,1 m/s ²
Classe di terreno E	3,5 m/s ²	5,9 m/s ²	7,6 m/s ²	9,4 m/s ²

In caso di collegamenti diretti – senza imbando – a trasformatori a partire da impianti GIS, nelle zone sismiche Z2, Z3a e Z3b si devono effettuare approfondimenti specifici.

4.2 Sicurezza parasismica di apparecchi ad alta tensione

Le disposizioni per la sicurezza parasismica di apparecchi ad alta tensione figurano nella tabella 7. Esse si applicano a tutti gli apparecchi ad alta tensione con tensione pari o superiore a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz); per gli apparecchi con tensioni comprese tra 110 kV (50 Hz) e 220 kV (50 Hz) tali disposizioni hanno carattere di raccomandazione.

Se, come generalmente avviene, gli apparecchi ad alta tensione vengono montati su basamenti flessibili, d'intesa con il fornitore si deve chiarire il loro comportamento; in questi casi è presumibilmente necessaria una qualificazione sismica degli apparecchi ad un livello più alto (ad es. "AF5" anziché "AF3"). Nel caso di un rinnovo di apparecchi, se si riutilizzano basamenti esistenti, essi devono necessariamente essere adeguati a livello edilizio.

Tabella 7: Disposizioni sismiche per apparecchi nuovi ad alta tensione.

	Apparecchi ad alta tensione, per i quali valgono le disposizioni	Certificato sismico secondo l'IEC [5, 6, 7] da richiedere al costruttore	Ancoraggio con riferimento al ribaltamento e alla tranciatura
Zona 3a/3b	tutti quelli con tensioni ≥ 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz); raccomandato per tensioni > 110 kV	basamenti flessibili inclusi idoneo per "AF3"	è necessaria una verifica con calcolo
Zona 2	tutti quelli con tensioni ≥ 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz); raccomandato per tensioni > 110 kV	basamenti flessibili inclusi idoneo per "AF2"	è necessaria una verifica con calcolo
Zona 1	tutti quelli con tensioni ≥ 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz)	–	costruttivo

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 della sollecitazione sismica. Se non vengono effettuati approfondimenti specifici, 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 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 Impianti d'approvvigionamento energetico ad armadio

Per gli impianti ad alta tensione e per i dispositivi della distribuzione di energia con tensioni ≤ 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.

4.4 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 comprese tra 110 kV (50 Hz) e 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.

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.

Altre configurazioni idonee di conduttori, come quelle raccomandate dalla norma americana IEEE Std 1527-2006 [8], emergono dalla figura 3. Normalmente un netto sfalsamento verticale tra i punti di raccordo da collegare è vantaggioso, per soddisfare le esigenze a priori contrastanti relative al possibile spostamento relativo da un lato e riguardo al rispetto delle distanze elettriche minime dall'altro.

Secondo la norma americana IEEE Std 693-2005 [9] capitolo 5.9, la lunghezza minima richiesta del conduttore L_0 tra due punti di raccordo collegati tra loro è data dalla seguente equazione:

$$L_0 = L_1 + 1,5 \Delta + L_2. \quad (1)$$

in cui

L_0 è la lunghezza minima richiesta del conduttore,

L_1 è la distanza più breve tra i punti di raccordo,

Δ è lo spostamento relativo massimo dei punti di raccordo, che vi è da attendersi durante il terremoto di dimensionamento,

L_2 è una lunghezza addizionale, dipendente dalla configurazione del conduttore (vedere testo).

La lunghezza addizionale L_2 dipende dalla configurazione del conduttore e dalla resistenza alla flessione del conduttore, che normalmente non è trascurabile; essa deve assicurare che i punti di raccordo non debbano sopportare momenti di flessione inutili. La lunghezza L_2 può essere determinata mediante esperimenti o calcoli. Si può evitare di effettuare la determinazione teorica di L_2 , prestando direttamente attenzione durante il montaggio di un conduttore al fatto che la distanza tra i due punti di raccordo da collegare tra loro possa essere aumentata di $1,5 \Delta$, prima che il conduttore si tenda e senza che risultino grandi momenti di flessione (momenti di compressione) nei punti di raccordo dei conduttori.

Se non vengono fatti calcoli sismici, per " $1,5 \Delta$ " si possono utilizzare in modo approssimativo i valori della tabella 8, che nella maggior parte dei casi sono dalla parte sicura e valgono per la classe d'opera III.

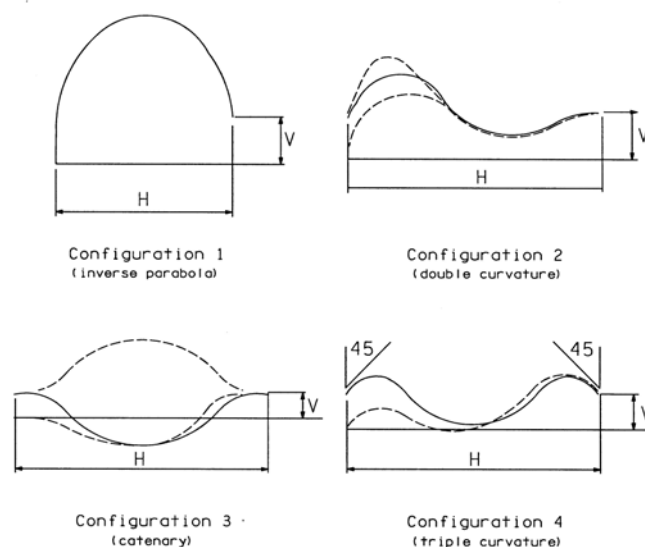


Figura 3: Configurazioni di giunzioni di conduttori raccomandate dalla norma americana IEEE Std 1527-2006 [8].

Apparecchi a 50 Hz

Se non vengono eseguiti calcoli sismici, per "1,5 Δ " 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.

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.

Tabella 8: Imbando necessario "1,5 Δ " in [mm], che deve essere disponibile nel conduttore tra due apparecchi ad alta tensione (senza trasformatori), in funzione delle frequenze proprie fondamentali f_{01} e f_{02} degli apparecchi collegati tra loro, della zona sismica e della classe di terreno, 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_{01} e f_{02}	Classe di terreno	Zona Z1 1,5 Δ [mm]	Zona Z2 1,5 Δ [mm]	Zona Z3a 1,5 Δ [mm]	Zona Z3b 1,5 Δ [mm]
2 Hz – 2 Hz	A	45	75	95	115
	B, C	65	110	140	170
	D, E	75	125	165	200
2 Hz – 3 Hz	A	35	60	80	95
	B, C	50	85	110	135
	D, E	60	100	130	160
2 Hz – 4 Hz	A	35	55	70	85
	B, C	50	80	105	125
	D, E	55	95	120	145
3 Hz – 3 Hz	A	30	45	60	75
	B, C	35	55	70	90
	D, E	40	65	85	100
3 Hz – 4 Hz	A	30	35	45	60
	B, C	30	45	55	70
	D, E	30	50	65	80

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

- interruttori di potenza, trasformatori di corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2 Hz,

- isolatori rigidi e sezionatori a pantografo: 3 Hz,
- scaricatori di sovratensione e sezionatori girevoli: 4 Hz.

Nel caso di apparecchi con basamenti particolarmente alti (come in caso di rischio di inondazione, ad esempio a Benken o Chamoson), 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 elencate sopra.

La tabella 8 può anche essere utilizzata per determinare gli imbandi 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.

La tabella 8 è redatta in modo tale da poter essere utilizzata in tutti i casi usuali e i valori sono quasi sempre dalla parte sicura. Se si presentano dei problemi per realizzare l'imbandito necessario, può essere opportuno effettuare misurazioni della frequenza propria e stimare più precisamente il coefficiente di partecipazione, per permettere la definizione maggiormente affinata della necessità di imbandito. Una tale procedura perfezionata può essere appropriata in particolare per le zone sismiche Z3a e Z3b.

Apparecchi a 16,7 Hz

Se non vengono eseguiti calcoli sismici, per "1,5 Δ " si possono utilizzare in modo approssimativo i valori della tabella 9, i quali sono nella maggior parte dei casi dalla parte sicura e valgono per la classe d'opera II. La tabella 9 vale per il livello di tensione 132 kV; per livelli inferiori di tensione la tabella è inutile; in questi casi non è necessario rispettare un imbandito minimo.

Se le frequenze proprie fondamentali, basamento *incluso*, non sono note, basandosi sulla tabella 9 si può approssimativamente partire dalle seguenti ipotesi:

- interruttori di potenza, trasformatori di corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2,5 Hz,
- isolatori rigidi e sezionatori a pantografo: 3 Hz,
- scaricatori di sovratensione e sezionatori girevoli: 4 Hz.

Nel caso di apparecchi con basamenti particolarmente alti (come in caso di rischio di inondazione, ad esempio a Benken o Chamoson), i valori della tabella 9 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 elencate sopra.

La tabella 9 può anche essere utilizzata per determinare gli imbandi necessari nelle giunzioni di conduttori con passanti di trasformatori. In questo caso si deve però inserire una frequenza di 2,5 Hz verso il passante, sebbene la frequenza propria fondamentale effettiva potrebbe essere da 3 a 4 Hz o superiore. L'utilizzazione di 2,5 Hz anziché 3 Hz o più copre il coefficiente di partecipazione nettamente più elevato, che compare nel caso di passanti di trasformatori.

Tabella 9: *Imbando necessario "1,5 Δ " in [mm], che deve essere disponibile nel conduttore tra due apparecchi ad alta tensione (senza trasformatori), in funzione delle frequenze proprie fondamentali f_{01} e f_{02} degli apparecchi collegati tra loro, della zona sismica e della classe di terreno, valido per la classe d'opera II. Se si utilizza la tabella anche per i trasformatori, verso il trasformatore si deve considerare una frequenza propria di 2,5 Hz.*

Frequenze proprie fondamentali f_{01} e f_{02}	Classe di terreno	Zona Z1 1,5 Δ [mm]	Zona Z2 1,5 Δ [mm]	Zona Z3a 1,5 Δ [mm]	Zona Z3b 1,5 Δ [mm]
2,5 Hz – 2,5 Hz	A	30	50	65	80
	B, C	40	60	80	95
	D, E	45	70	90	110
2,5 Hz – 3 Hz	A	30	45	55	70
	B, C	35	55	70	85
	D, E	40	60	80	95
2,5 Hz – 4 Hz	A	30	40	50	60
	B, C	30	45	60	75
	D, E	35	55	70	85
3 Hz – 3 Hz	A	30	35	45	55
	B, C	30	45	55	65
	D, E	30	50	65	80
3 Hz – 4 Hz	A	30	30	40	45
	B, C	30	35	45	55
	D, E	30	40	55	65

La tabella 9 è redatta in modo tale da poter essere utilizzata in tutti i casi usuali e i valori sono quasi sempre dalla parte sicura. Se si presentano dei problemi per realizzare l'imbando necessario, può essere opportuno effettuare misurazioni della frequenza propria e stimare più precisamente il coefficiente di partecipazione, per permettere la definizione maggiormente affinata della necessità di imbando. Una tale procedura perfezionata può essere appropriata in particolare per le zone sismiche Z3a e Z3b.

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, le batterie di emergenza o i gruppi elettrogeni di emergenza ecc. 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, ad es. 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 es. 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" [11].

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

I nuovi edifici vanno dimensionati secondo le vigenti norme strutturali della SIA (SIA 260 a 267), indipendentemente dai livelli di tensione. Per gli edifici nuovi si deve redigere una convenzione d'utilizzazione. Non solo la struttura portante, ma anche gli elementi non strutturali nonché i dispositivi e gli impianti devono essere eseguiti conformemente alle norme sismiche (cfr. capitolo 4.5).

In caso di rinnovo di una parte considerevole degli impianti ad alta tensione in un edificio esistente con insufficiente sicurezza parasismica si deve procedere ad un rinforzo sismico dell'edificio, a condizione che ciò sia possibile con un onere proporzionato e che la situazione patrimoniale lo consenta. Per valutare la "proporzionalità", si deve consultare la norma SIA 269/8 [10]. 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 comprese tra 110 kV (50 Hz) e 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 un rinforzo sismico 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.

I gestori di rete sono ritenuti responsabili dell'identificazione delle parti straordinariamente importanti di impianti esistenti e della verifica della "proporzionalità" di un rinforzo sismico. 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 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,

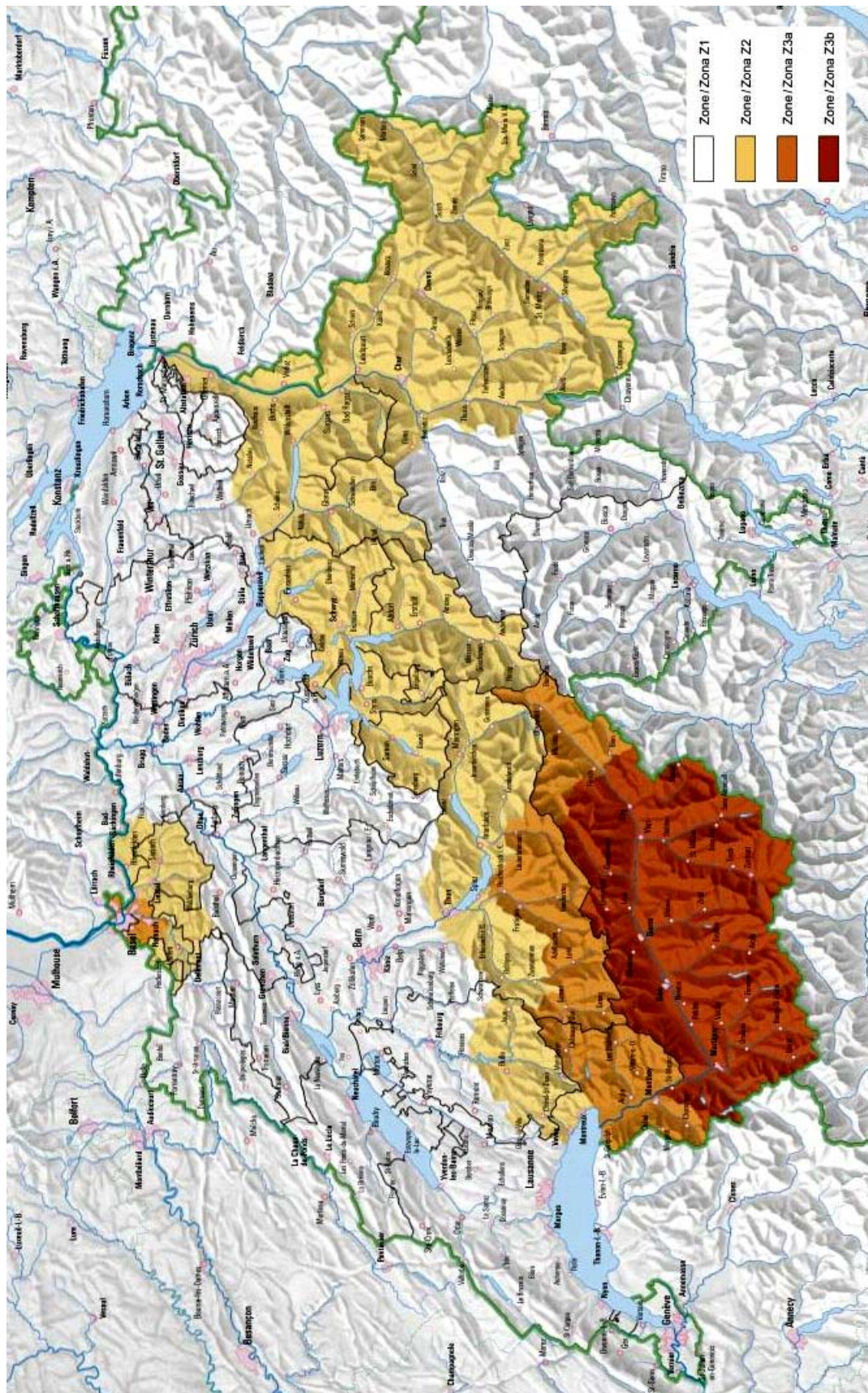
- se con un onere proporzionato i trasformatori possano essere successivamente fissati per impedirne il sollevamento,
- se i basamenti e gli ancoraggi degli apparecchi ad alta tensione con una tensione pari o superiore a 220 kV (50 Hz) o 132 kV (16,7 Hz) sono sufficientemente resistenti o, in caso contrario, se sia possibile effettuare un rinforzo con un onere proporzionato,
- se l'imbandito 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.

Laddove un rinforzo completo o anche solo parziale 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 (2014): 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] IEEE Std 693-2005 (2005): IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations, recognized as an American National Standard, IEEE Power Engineering Society, New York.
- [10] SIA 269/8 (2017): Conservazione delle strutture portanti - terremoto, Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, Zurigo. Fino all'entrata in vigore della norma 269/8 vale il foglio informativo della SIA 2018 (2004), Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben.
- [11] BAFU (2016): "Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen", BAFU-Publikation, Bern. www.bafu.admin.ch/erdbeben.
- [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.

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 l'autorizzazione di axpo).



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



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



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



Figura B.5: Trasformatore 50 kV / 25 MVA – Zona sismica Z2 – Ancoraggio su un basamento di fondazione esistente rinforzato (con l'autorizzazione di energie thun).



Figura B.6: Trasformatore 110 kV / 40 MVA – Zona sismica Z1 – Ancoraggio con due staffe di arresto per ruota. Prestare attenzione alla flessione trasversale e alla stabilità del binario; da utilizzare SOLO nella zona sismica Z1 (con autorizzazione di ekz).

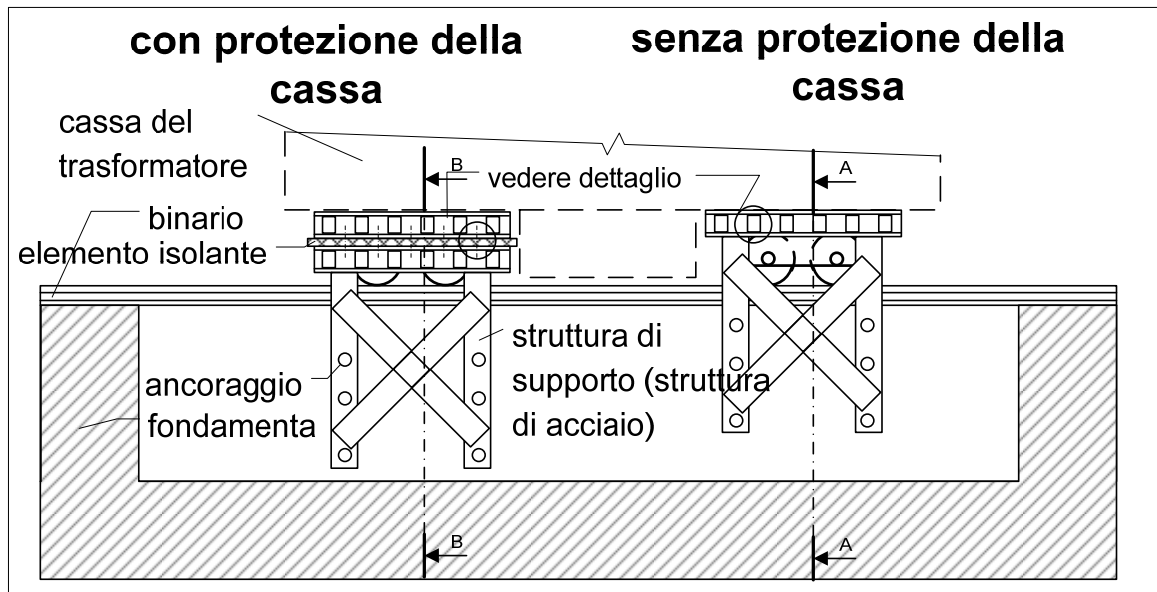


Figura B.7: Rappresentazione schematica di un ancoraggio per trasformatori su binari

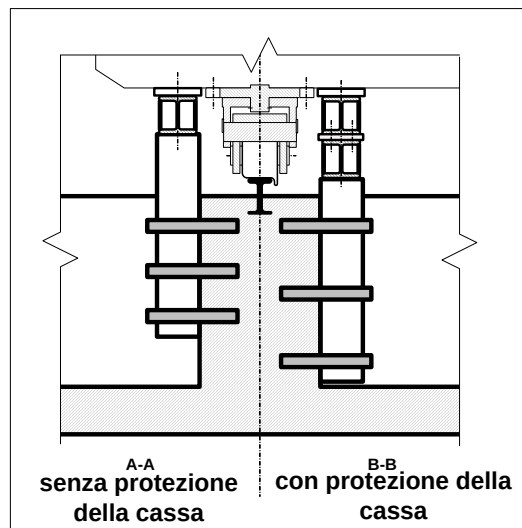


Figura B.8: dettaglio Figura B.7

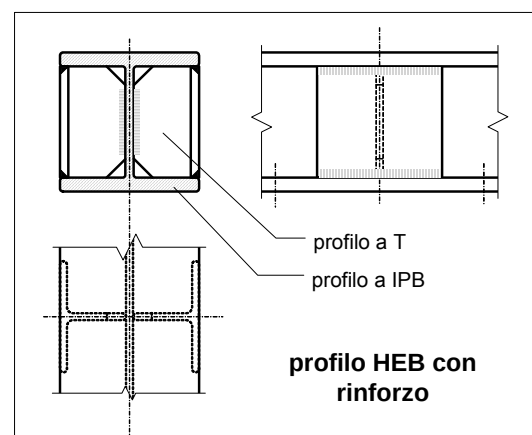


Figura B.9: profilo con rinforzo

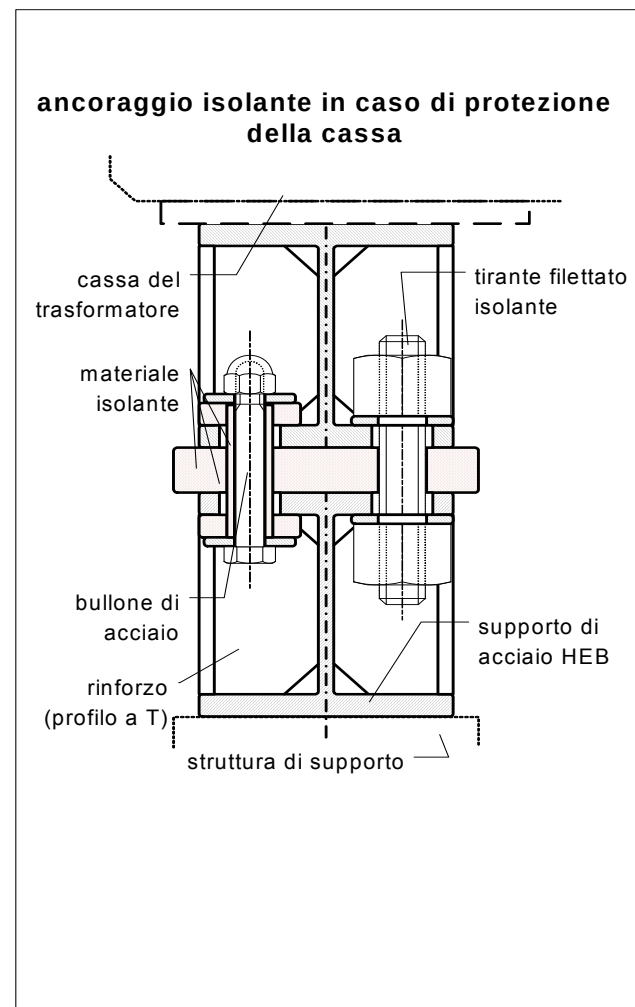


Figura B.10: possibilità per un ancoraggio d'isolamento

Allegato C: Argomentazioni complementari relative alla necessità di imbando

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 dei conduttori.

Conformemente alla norma americana IEEE Std 693-2005 [9], secondo l'equazione (1) l'imbando necessario è pari a $1,5 \Delta$, in cui Δ dovrebbe essere calcolato, in modo estremamente conservativo come somma degli spostamenti singoli. La presente direttiva ammette però che Δ venga calcolato mediante la classica regola SRSS ("Square Root of the Sum of Squares") come radice quadrata della somma dei quadrati degli spostamenti singoli. Questa regolamentazione poco conservativa si basa su una pubblicazione di Dastous and Pierre [13], i cui risultati sono stati integrati anche nella norma americana IEEE Std 1527-2006 [8].

In caso di terremoto i singoli spostamenti dei punti di raccordo possono essere determinati in funzione della frequenza propria fondamentale degli apparecchi, della zona sismica e della classe di terreno con gli usuali strumenti dell'ingegneria sismica, supponendo uno smorzamento equivalente pari al 2 % dello smorzamento critico. Da questi valori per lo spostamento si possono poi facilmente calcolare i valori di Δ per mezzo della regola SRSS.

Se non vengono eseguiti calcoli sismici, per " $1,5 \Delta$ " nell'equazione (1) si possono utilizzare in modo approssimativo i valori delle tabelle 8 e 9, 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 [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 delle tabelle 8 e 9 valgono per un presunto coefficiente di partecipazione di 1,6, che potrebbe coprire secondo [8] 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.

I valori delle tabelle 8 e 9 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.

Allegato D: Foglio di calcolo per la verifica sismica

Foglio di calcolo delle forze di ancoraggio e della necessità di imbando Data: pagina 1

Sottostazione: Livelli di tensione /

Richiedente: Progetto / Domanda:.....

Azione sismica

Zona sismica	Z1	Z2	Z3a	Z3b
Accelerazione del suolo a_{gd} [m/s ²]	0.6	1.0	1.3	1.6

Classe di terreno ⁽¹⁾	A	B	C	D	E	F
Spettro di risposta S	1.0	1.2	1.15	1.35	1.4	— ⁽²⁾

⁽¹⁾ La classe di terreno può essere determinata mediante la tabella 25 della norma SIA 261 o, se esistente, in base alla carta delle classi di terreno (vedere all'indirizzo: <http://erdbeben.admin.ch>).

⁽²⁾ La classe di terreno F richiede una microzonazione del sito eseguita da uno specialista.

Classe d'opera (CO) ⁽³⁾	II	III.
Coefficiente d'importanza γ_f	1.2	1.4

⁽³⁾ Se la tensione massima della sottostazione è pari a 220 kV o superiore, la sottostazione deve essere obbligatoriamente assegnata alla CO III. Altrimenti il gestore è libero di scegliere la CO II o III.

=> accelerazione effettiva del suolo: $a_{gd} S \gamma_f = \dots\dots\dots$ [m/s²]

=> accelerazione spettrale effettiva⁽⁴⁾: $S_e = 3 a_{gd} S \gamma_f = \dots\dots\dots$ [m/s²]

⁽⁴⁾ 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:.....

.....

.....

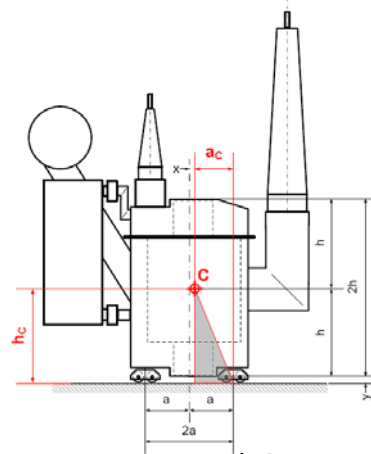
.....

.....

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] $\Rightarrow$ grado di snellezza $s = h_c/a_c =$ [-]se $10 [m/s^2] / S_e^{(5)} < h_c/a_c$: misura costruttiva contro il sollevamento necessaria! $\Rightarrow$ misura costruttiva contro il sollevamento necessaria: sì / noAzione sismica orizzontale totale: $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2]^{(6)} =$ [kN]Momento di ribaltamento per azione sismica: $M = 1.2 h_c [m] H [kN]^{(6, 7)} =$ [kNm]Trazione dovuta a $M^{(8)}$: $Z = (M [kNm] / 2a_c [m]) - (1/2 m_{tot} [t] 10 [kN/t]) =$ [kN]⁽⁵⁾ Valore calcolato a pagina 1.⁽⁶⁾ Si tratta di grandezze elastiche; se si utilizzano queste grandezze nelle prove di resistenza, si possono moltiplicare i valori di resistenza del materiale per il fattore $q = 1.5$ (cfr. capitolo 3.4).⁽⁷⁾ 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.⁽⁸⁾ Forza di trazione verticale, dovuta al ribaltamento, da ancorare su entrambi i lati. Considera l'azione sismica destabilizzante e il peso proprio stabilizzante (m_{tot} in tonnellate, ipotesi: $g = 10 [m/s^2]$).**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] (rispetto alla base dell'apparecchio)Azione sismica orizzontale totale: $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2]^{(6)} =$ [kN]Momento di ribaltamento dovuto al sismo: $M = 1.2 h_c [m] H [kN]^{(6, 7)} =$ [kNm]⁽⁶⁾ Si tratta di grandezze elastiche; se si utilizzano queste grandezze nelle prove di resistenza, si possono moltiplicare i valori di resistenza del materiale per il fattore $q = 1.5$ (cfr. capitolo 3.4).⁽⁷⁾ Il fattore 1.2 considera in modo approssimativo che l'apparecchio ad alta tensione esegue in parte un movimento di ribaltamento, cosicché il punto di applicazione dell'intera forza sismica viene a trovarsi più in alto del centro di gravità.

Osservazioni:.....

.....

.....

Necessità di imbando nei conduttori (valido per apparecchi a 50 Hz)

Apparecchi collegati tra loro:

Apparecchio 1: Apparecchio 2:

Frequenze proprie stimate $f_{0i}^{(9)}$:Apparecchio 1: $f_{01} = \dots\dots$ [Hz]Apparecchio 2: $f_{02} = \dots\dots$ [Hz]

⁽⁹⁾ Se non sono disponibili studi più approfonditi, in caso di utilizzazione della tabella 8 della direttiva dell'ESTI per le frequenze proprie sono ammesse le seguenti ipotesi:

- interruttori di potenza, trasformatori da corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2 Hz
- isolatori rigidi a base e separatori a pantografo: 3 Hz
- scaricatori di sovratensione e separatori girevoli: 4 Hz

Immissione nella tabella 8 con i parametri di immissione f_{01} , f_{02} , classe di terreno e zona sismica:

Imbando necessario ⁽¹⁰⁾ $= 1.5 \Delta = \dots\dots\dots$ [mm]

⁽¹⁰⁾ Importanza dell'imbando necessario (1.5Δ): occorre accertarsi che i punti di raccordo dei conduttori possano allontanarsi l'uno dall'altro di una distanza pari a questo valore, prima che il conduttore si tenda.

Attenzione: l'ammissibilità dell'imbando necessario per una data configurazione del conduttore, ad es. per quanto riguarda il rispetto delle distanze elettriche minime, deve essere verificata!

Se problematico: modificare la configurazione del conduttore oppure determinare in modo affinato la necessità di imbando mediante calcoli o misurazioni delle frequenze proprie fondamentali degli apparecchi (ne risulta spesso una necessità di imbando un po' più piccola).

Tabella 8 della direttiva dell'ESTI: Imbando necessario " 1.5Δ " per la CO III⁽¹¹⁾.

Frequenze proprie fondamentali f_{01} e f_{02} degli apparecchi	Classe di terreno	Zona Z1 1.5Δ [mm]	Zona Z2 1.5Δ [mm]	Zona Z3a 1.5Δ [mm]	Zona Z3b 1.5Δ [mm]
2 Hz – 2 Hz	A	45	75	95	115
	B, C	65	110	140	170
	D, E	75	125	165	200
2 Hz – 3 Hz	A	35	60	80	95
	B, C	50	85	110	135
	D, E	60	100	130	160
2 Hz – 4 Hz	A	35	55	70	85
	B, C	50	80	105	125
	D, E	55	95	120	145
3 Hz – 3 Hz	A	30	45	60	75
	B, C	35	55	70	90
	D, E	40	65	85	100
3 Hz – 4 Hz	A	30	35	45	60
	B, C	30	45	55	70
	D, E	30	50	65	80

⁽¹¹⁾ – Per la CO II moltiplicare i valori della tabella per 0.85, senza però risultare al di sotto di 30 mm
 – In caso di sottostrutture straordinariamente alte aumentare i valori della tabella del 20 %

Necessità di imbando nei conduttori (valdo per apparecchi da 16,7 Hz)

Apparecchi collegati tra loro:

Apparecchio 1: Apparecchio 2:

Frequenze proprie stimate $f_{0i}^{(12)}$:Apparecchio 1: $f_{01} = \dots$ [Hz]Apparecchio 2: $f_{02} = \dots$ [Hz]

⁽¹²⁾ Se non sono disponibili studi più approfonditi, in caso di utilizzazione della tabella 9 della direttiva dell'ESTI per le frequenze proprie sono ammesse le seguenti ipotesi:

- interruttori di potenza, trasformatori da corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2,5 Hz
- isolatori rigidi a base e separatori a pantografo: 3 Hz
- scaricatori di sovratensione e separatori girevoli: 4 Hz

Immissione nella tabella 8 con i parametri di immissione f_{01} , f_{02} , classe di terreno e zona sismica:

Imbando necessario ⁽¹⁰⁾ $= 1.5 \Delta = \dots$ [mm]

⁽¹⁰⁾ Importanza dell'imbando necessario (1.5Δ): occorre accertarsi che i punti di raccordo dei conduttori possano allontanarsi l'uno dall'altro di una distanza pari a questo valore, prima che il conduttore si tenda.

Attenzione: l'ammissibilità dell'imbando necessario per una data configurazione del conduttore, ad es. per quanto riguarda il rispetto delle distanze elettriche minime, deve essere verificata!

Se problematico: modificare la configurazione del conduttore oppure determinare in modo affinato la necessità di imbando mediante calcoli o misurazioni delle frequenze proprie fondamentali degli apparecchi (ne risulta spesso una necessità di imbando un po' più piccola).

Tabella 9 della direttiva dell'ESTI: Imbando necessario " 1.5Δ " per la CO II⁽¹¹⁾.

Frequenze proprie fondamentali f_{01} e f_{02} degli apparecchi	Classe di terreno	Zona Z1 1.5Δ [mm]	Zona Z2 1.5Δ [mm]	Zona Z3a 1.5Δ [mm]	Zona Z3b 1.5Δ [mm]
2 Hz – 2 Hz	A	30	50	65	80
	B, C	40	60	80	95
	D, E	45	70	90	110
2 Hz – 3 Hz	A	30	45	55	70
	B, C	35	55	70	85
	D, E	40	60	80	95
2 Hz – 4 Hz	A	30	40	50	60
	B, C	30	45	60	75
	D, E	35	55	70	85
3 Hz – 3 Hz	A	30	35	45	55
	B, C	30	45	55	65
	D, E	30	50	65	80
3 Hz – 4 Hz	A	30	30	40	45
	B, C	30	35	45	55
	D, E	30	40	55	65

⁽¹¹⁾ – In caso di sottostrutture straordinariamente alte aumentare i valori della tabella del 20 %

Foglio di calcolo relativo al calcolo sismico – esempio completo (pagina 1)

Foglio di calcolo delle forze di ancoraggio e della necessità di imbando Data: 13.7.2014 pagina 1Sottostazione: Benken (SG) Livelli di tensione 380 / 220 kVRichiedente: EWZ Progetto / Domanda: xyz**Azione sismica**

Zona sismica	Z1	<u>Z2</u>	Z3a	Z3b
Accelerazione del suolo a_{gd} [m/s ²]	0.6	<u>1.0</u>	1.3	1.6

Classe di terreno ⁽¹⁾	A	B	C	<u>D</u>	E	F
Spettro di risposta S	1.0	1.2	1.15	<u>1.35</u>	1.4	— ⁽²⁾

⁽¹⁾ La classe di terreno può essere determinata mediante la tabella 25 della norma SIA 261 o, se esistente, in base alla carta delle classi di terreno (vedere all'indirizzo: <http://erdbeben.admin.ch>).

⁽²⁾ La classe di terreno F richiede una microzonazione del sito eseguita da uno specialista.

Classe d'opera (CO) ⁽³⁾	II	<u>III.</u>
Coefficiente d'importanza γ_f	1.2	<u>1.4</u>

⁽³⁾ Se la tensione massima della sottostazione è pari a 220 kV o superiore, la sottostazione deve essere obbligatoriamente assegnata alla CO III. Altrimenti il gestore è libero di scegliere la CO II o III.

=> accelerazione effettiva del suolo: $a_{gd} S \gamma_f = \dots\dots\dots \underline{1.89} \dots\dots\dots$ [m/s²]

=> accelerazione spettrale effettiva⁽⁴⁾: $S_e = 3 a_{gd} S \gamma_f = \dots\dots\dots \underline{5.67} \dots\dots\dots$ [m/s²]

⁽⁴⁾ 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:

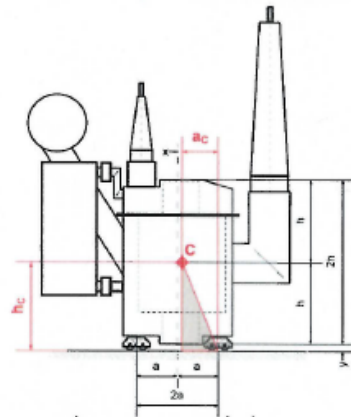
Foglio di calcolo relativo al calcolo sismico – esempio completo (pagina 2)

Foglio di calcolo delle forze di ancoraggio e della necessità di imbandito

Data: 13.7.2014 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] $\Rightarrow$ grado di snellezza $s = h_c/a_c = \sim 3.3$ [-]se $10 [m/s^2] / S_e^{(5)} < h_c/a_c$: misura costruttiva contro il sollevamento necessaria! $\Rightarrow$ misura costruttiva contro il sollevamento necessaria: sì / noAzione sismica orizzontale totale: $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2]^{(6)} = \sim 910$ [kN]Momento di ribaltamento per azione sismica: $M = 1.2 h_c [m] H [kN]^{(6,7)} = 2400$ [kNm]Trazione dovuta a $M^{(8)}$: $Z = (M [kNm] / 2a_c [m]) - (1/2 m_{tot} [t] 10 [kN/t]) = \sim 1000$ [kN]⁽⁵⁾ Valore calcolato a pagina 1.⁽⁶⁾ Si tratta di grandezze elastiche; se si utilizzano queste grandezze nelle prove di resistenza, si possono moltiplicare i valori di resistenza del materiale per il fattore $q = 1.5$ (cfr. capitolo 3.4).⁽⁷⁾ 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.⁽⁸⁾ Forza di trazione verticale, dovuta al ribaltamento, da ancorare su entrambi i lati. Considera l'azione sismica destabilizzante e il peso proprio stabilizzante (m_{tot} in tonnellate, ipotesi: $g = 10 [m/s^2]$).**Forze di ancoraggio in caso di apparecchi ad alta tensione**

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

Massa totale in esercizio m_{tot} : 1.0 [t]Altezza del baricentro h_c : 3.57 [m] (rispetto alla base dell'apparecchio)Azione sismica orizzontale totale: $H = m_{tot} [t] S_e [m/s^2]^{(6)} = 5.67$ [kN]Momento di ribaltamento dovuto al sismo: $M = 1.2 h_c [m] H [kN]^{(6,7)} = 24.3$ [kNm]⁽⁶⁾ Si tratta di grandezze elastiche; se si utilizzano queste grandezze nelle prove di resistenza, si possono moltiplicare i valori di resistenza del materiale per il fattore $q = 1.5$ (cfr. capitolo 3.4).⁽⁷⁾ Il fattore 1.2 considera in modo approssimativo che l'apparecchio ad alta tensione esegue in parte un movimento di ribaltamento, cosicché il punto di applicazione dell'intera forza sismica viene a trovarsi più in alto del centro di gravità.

Osservazioni:.....

.....

.....

Foglio di calcolo relativo al calcolo sismico – esempio completo (pagina 3)

Foglio di calcolo delle forze di ancoraggio e della necessità di imbando Data: 13.7.2014 pagina**Necessità di imbando nei conduttori** (valido per apparecchi a 50 Hz)

Apparecchi collegati tra loro:

Apparecchio 1: isolatore rigido a base Apparecchio 2: interruttore di potenzaFrequenze proprie stimate $f_{01}^{(9)}$: Apparecchio 1: $f_{01} = \underline{3}$ [Hz]Apparecchio 2: $f_{02} = \underline{2}$ [Hz]⁽⁹⁾ Se non sono disponibili studi più approfonditi, in caso di utilizzazione della tabella 8 della direttiva dell'ESTI per le frequenze proprie sono ammesse le seguenti ipotesi:

- interruttori di potenza, trasformatori da corrente e trasformatori di tensione come pure gruppi di misurazione combinati: 2 Hz
- isolatori rigidi a base e separatori a pantografo: 3 Hz
- scaricatori di sovratensione e separatori girevoli: 4 Hz

Immissione nella tabella 8 con i parametri di immissione f_{01} , f_{02} , classe di terreno e zona sismica:Imbando necessario $^{(10)} = 1.5 \Delta = \underline{1.2 \cdot 100 = 120}$ [mm]⁽¹⁰⁾ Importanza dell'imbando necessario (1.5Δ): occorre accertarsi che i punti di raccordo dei conduttori possano allontanarsi l'uno dall'altro di una distanza pari a questo valore, prima che il conduttore si tenda.**Attenzione: l'ammissibilità dell'imbando necessario per una data configurazione del conduttore, ad es. per quanto riguarda il rispetto delle distanze elettriche minime, deve essere verificata!**

Se problematico: modificare la configurazione del conduttore oppure determinare in modo affinato la necessità di imbando mediante calcoli o misurazioni delle frequenze proprie fondamentali degli apparecchi (ne risulta spesso una necessità di imbando un po' più piccola).

Tabella 8 della direttiva dell'ESTI: Imbando necessario "1.5 Δ " per la CO III⁽¹¹⁾.

Frequenze proprie fondamentali f_{01} e f_{02} degli apparecchi	Classe di terreno	Zona Z1 1.5 Δ [mm]	Zona Z2 1.5 Δ [mm]	Zona Z3a 1.5 Δ [mm]	Zona Z3b 1.5 Δ [mm]
2 Hz – 2 Hz	A	45	75	95	115
	B, C	65	110	140	170
	D, E	75	125	165	200
2 Hz – 3 Hz	A	35	60	80	95
	B, C	50	85	110	135
	D, E	60	<u>100</u>	130	160
2 Hz – 4 Hz	A	35	55	70	85
	B, C	50	80	105	125
	D, E	55	95	120	145
3 Hz – 3 Hz	A	30	45	60	75
	B, C	35	55	70	90
	D, E	40	65	85	100
3 Hz – 4 Hz	A	30	35	45	60
	B, C	30	45	55	70
	D, E	30	50	65	80

⁽¹¹⁾ – Per la CO II moltiplicare i valori della tabella per 0.85, senza però risultare al di sotto di 30 mm– In caso di sottostrutture straordinariamente alte aumentare i valori della tabella del 20 %

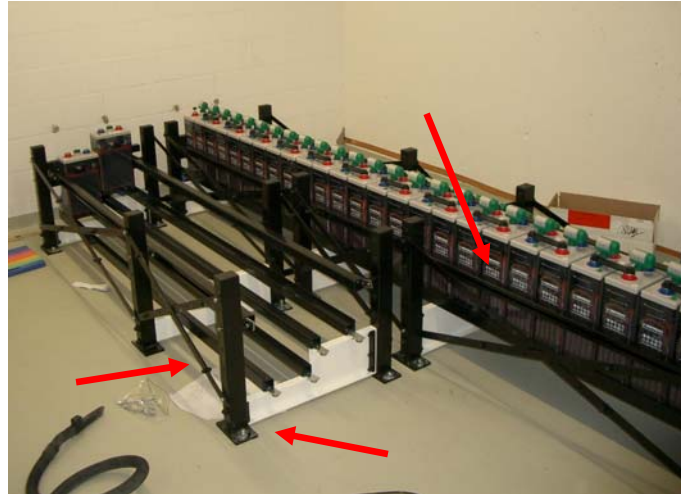
Allegato E: Esempi di protezione dei sistemi secondari

Figura E.1 Protezione contro il ribaltamento e le cadute di batterie di emergenza nella sottostazione Münchwilen (Axpö AG): Piedini dei supporti controventati diagonalmente e fissati con viti al pavimento, i profili orizzontali impediscono il ribaltamento delle batterie.



Figura E.2 Sottostazione Münchwilen (Axpö AG): inserti ondulati in materia plastica posizionati tra batterie adiacenti impediscono che esse battano l'una contro l'altra.

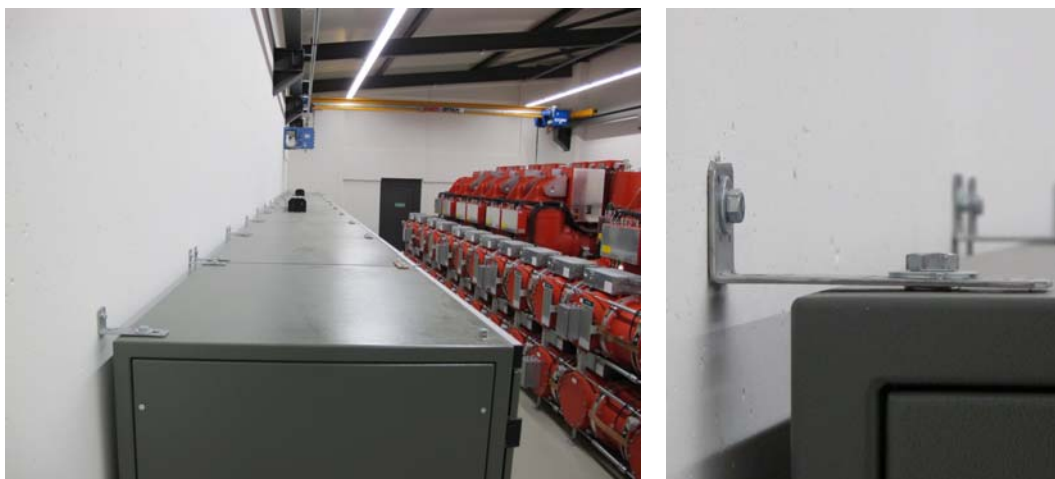


Figura E.3/E.4: Armadi di comando fissati alla parete attraverso barre di metallo ad angolo (axpo AG)



Figura E.5: Armadi di comando fissati alla parete attraverso cavi (organizzazione di crisi Cantone di Basilea Città)



Figure E.6/E.7: Armadi di comando fissati alla parete dal centro del locale (axpo AG)

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 (motivazione secondo direttiva ESTI), zona sismica, terreno (classe di terreno, analisi geologiche o microzonazione sismica);
- progetto strutturale conforme alle norme sismiche, misure concettuali e costruttive (inclusi la pianta e il profilo frontale e laterale con gli elementi stabilizzanti);
- 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);
- requisiti concreti di efficienza funzionale per la classe d'opera III al fine di garantire la funzionalità dopo un terremoto (per l'edificio e gli elementi rilevanti dell'intero sistema).

Per ampliamenti, modifiche o il ripristino di impianti già esistenti occorrono ulteriori riflessioni per definire i requisiti e le basi normative rilevanti secondo la serie SIA 269 segg. (ossia SIA 269/8) per la conservazione delle strutture portanti.

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