

Scheda informativa

Studio sui cavi in Svizzera: limiti tecnici e operativi dei cavi interrati nella rete svizzera di trasmissione

Data

9 aprile 2025

1 Situazione di partenza

1.1 Crescente percentuale di cavi interrati nella rete svizzera di trasmissione

La costruzione di cavi interrati nella rete svizzera di trasmissione è oggi possibile solo in misura molto limitata, come dimostra lo studio sui cavi di Swissgrid. In qualità di azienda innovativa, Swissgrid è aperta alle nuove tecnologie e, per i progetti di rete, esamina sia le varianti di linea aerea che quelle di cablaggio. Nella procedura del piano settoriale, il Consiglio federale decide se un tratto di linea deve essere realizzato come cavo interrato o linea aerea. Attualmente, nella rete svizzera di trasmissione, sono stati costruiti cavi interrati per 42 km ed è già stata stabilita ufficialmente la realizzazione di altri 250 km, come ad esempio la nuova linea di cavi nel secondo tubo della galleria stradale del San Gottardo.

1.2 Lo studio sui cavi mostra gli effetti durante l'esercizio e in caso di perturbazione

Swissgrid evidenzia da tempo le sfide tecniche e operative poste dall'aumento dei cavi interrati nella rete ad altissima tensione. Per oggettivare la discussione sulla scelta della tecnologia e potenziare l'ammissibilità della base decisionale, Swissgrid ha realizzato uno studio dettagliato sui cavi basato su scenari, convalidato dall'azienda RTEinternational e coordinato dall'Ufficio federale dell'energia (UFE) nonché dalla Commissione federale dell'energia elettrica (EiCom). I risultati dello studio commissionato dall'UFE sono inoltre stati confermati dal Politecnico federale di Zurigo (ETH).

Il presente studio sui cavi mostra che una percentuale troppo elevata di cavi interrati nella rete di trasmissione ha un impatto negativo sulla stabilità della rete e sulla sicurezza dell'approvvigionamento in Svizzera. Ciò è dovuto alle proprietà fisiche dei cavi interrati, che rendono molto più difficile sia l'esercizio della rete di trasmissione che l'eliminazione delle perturbazioni. Poiché queste proprietà fisiche aumentano in modo sproporzionato con l'aumento della tensione, le sfide tecniche e operative del crescente cablaggio nella rete ad altissima tensione (380 e 220 chilovolt) sono particolarmente grandi. A livelli di tensione inferiori (fino a 145 chilovolt), tuttavia, sono significativamente più piccole.

2 Limiti tecnici e operativi in sintesi

2.1 Esercizio affidabile e stabile della rete: mantenimento della tensione

Una tensione costante è fondamentale per l'esercizio affidabile della rete svizzera di trasmissione. A causa delle loro caratteristiche fisiche, i cavi interrati aumentano la tensione in misura maggiore rispetto alle linee aeree. Inoltre, i cavi interrati lunghi riducono la potenza effettiva di una linea (potenza attiva) o richiedono impianti di compensazione della potenza reattiva, sfida che aumenta proporzionalmente alla lunghezza della linea di cavi interrati.

La tensione è regolata principalmente dai generatori delle centrali elettriche, che immettono l'energia elettrica direttamente nella rete di trasmissione. Se nella rete c'è più potenza reattiva di quella che le centrali elettriche sono in grado di assorbire, si corre il rischio di sovratensioni, aumentando il pericolo di oscillazioni perturbanti e amplificazioni delle oscillazioni che causano instabilità nelle centrali elettriche e nella gestione della rete. Questo può portare a guasti della rete e danni agli impianti o allo scatto di apparecchiature di protezione e, pertanto, al disinserimento di componenti della rete. Già oggi si verificano situazioni in cui il potenziale di assorbimento di potenza reattiva delle centrali elettriche non è sufficiente per mantenere la tensione entro i limiti ammessi in tutte le regioni. Pertanto, Swissgrid pianifica già investimenti in impianti supplementari per la compensazione di potenza reattiva.

Rispetto alle linee aeree, i cavi interrati generano più potenza reattiva a causa della struttura compatta, in cui i conduttori sono molto più vicini tra loro rispetto alle linee aeree e sono avvolti da una spessa guaina isolante. Questa conformazione aumenta la capacità dei cavi interrati – o in parole semplici, la capacità di assorbire e restituire la carica elettrica – e, con essa, anche la potenza reattiva. Con un ulteriore aumento del cablaggio nella rete di trasmissione, il fabbisogno di impianti di compensazione aumenterebbe ancora in modo massiccio, incrementando la complessità dell'esercizio e, con essa, anche la suscettibilità della rete di trasmissione ai guasti. Inoltre, gli impianti di compensazione richiedono molto spazio, che spesso manca nelle sottostazioni – le ubicazioni più adatte per essi – e sono rumorosi. Lo studio sui cavi mostra che gli impianti di compensazione necessari per la maggior parte dei cavi interrati comporterebbero costi pari a circa 1,4 miliardi di franchi. In generale, i cavi interrati sono da 2 a 10 volte più costosi per l'intero ciclo di vita rispetto alle linee aeree della stessa lunghezza. Questi costi aggiuntivi per i cavi interrati dovrebbero essere sostenuti da tutte le consumatrici e tutti i consumatori di corrente.

2.2 Esercizio affidabile e stabile della rete: risonanze

Ogni infrastruttura tecnica ha una frequenza detta propria alla quale «oscilla» da sola una volta «avviata», come un'altalena che oscilla avanti e indietro alla sua frequenza propria dopo essere stata spinta. Anche le reti elettriche hanno frequenze proprie, dette frequenze di risonanza. Per evitare perturbazioni nella rete di trasmissione, le loro frequenze di risonanza devono essere il più distanti possibile dalle frequenze che possono causare perturbazioni sulle linee. Tra queste, le cosiddette armoniche presenti nella rete, causate dall'interazione di un numero elevato di consumatrici e consumatori di elettricità non lineari o dall'elettronica di potenza, come raddrizzatori, convertitori di frequenza o unità di comando del motore.

Come già detto, un cavo interrato nella rete ad altissima tensione ha proprietà fisiche fondamentalmente diverse rispetto a una linea aerea, dovute alla struttura compatta e solida. La frequenza di risonanza delle reti con cavi interrati è inoltre significativamente più bassa rispetto a quella delle reti costituite esclusivamente da linee aeree, paragonabile a un diapason che, più è grande, «meno ronzia». Tuttavia, più bassa è la frequenza di risonanza delle reti, più vicina è la frequenza delle influenze esterne potenzialmente perturbanti. Ciò significa che i cavi interrati rischiano di amplificare pericolosamente le oscillazioni, simile all'effetto dei soldati che marciano su un ponte: se la frequenza dei loro passi è uguale alla frequenza propria del ponte, l'amplificazione delle oscillazioni può causarne il crollo.

Se il numero di chilometri di cavi interrati della rete di trasmissione di una determinata regione aumenta, la sua frequenza di risonanza complessiva diminuisce, aumentando il rischio di risonanze potenzialmente dannose e di amplificazione delle oscillazioni e, con esso, il rischio di guasti alla rete o di danni ai componenti della rete e ai dispositivi elettrici. A differenza della potenza reattiva, i fenomeni fisici che portano a problemi di risonanza non possono essere ammortizzati mediante gli impianti di compensazione. Solo i cosiddetti filtri sono in grado di farlo. Tuttavia, la loro introduzione nella rete è rischiosa, in quanto, in funzione dello stato della rete, possono rivelarsi utili o perturbanti. Ad esempio, un filtro può non fornire alcun ammortizzamento o addirittura amplificare le oscillazioni, qualora determinate linee siano fuori servizio.

2.3 Riattivazione delle linee dopo perturbazioni o disinserimenti pianificati

Le perturbazioni dell'approvvigionamento elettrico limitate a livello regionale possono essere provocate, ad esempio, da eventi naturali (fulmini, ghiaccio, caduta di alberi). Nella rete di trasmissione, i disinserimenti di linea pianificati da Swissgrid per eseguire lavori di manutenzione o per realizzare progetti di ampliamento della rete sono di gran lunga i più frequenti. In tutti questi casi, è importante che le linee vengano (re)inserite rapidamente e nel modo più fluido possibile. Questo genera oscillazioni elettriche.

Poiché le reti con cavi interrati della rete ad altissima tensione hanno una frequenza di risonanza inferiore, come descritto in precedenza, l'amplificazione e il potenziale di danno di queste oscillazioni sono notevolmente maggiori. Ogni volta che i cavi interrati vengono riattivati dopo perturbazioni o disinserimenti pianificati, si corre il rischio di danni. Un ulteriore fattore è che i cavi interrati spesso rimangono fuori servizio per settimane o mesi in caso di danni, poiché la loro riparazione è molto più complessa e costosa di quella delle linee aeree, in quanto sono posati nel suolo.

2.4 Ripristino della rete dopo un collasso

I collassi della rete sono perturbazioni su larga scala dell'approvvigionamento elettrico causate dal guasto simultaneo di diversi elementi della rete di trasmissione. A differenza delle perturbazioni limitate a livello regionale o dei disinserimenti pianificati, i collassi della rete sono molto rari. In termini di effetti, tuttavia, possono essere drammatici. Per questo motivo, dopo un collasso della rete su larga scala, il ripristino della rete rapido e il più fluido possibile è fondamentale per la sicurezza dell'approvvigionamento della Svizzera. Per questo scenario, Swissgrid ha suddiviso la rete svizzera di trasmissione in quattro cellule di ripristino della rete, ognuna delle quali comprende un'area con le cosiddette centrali elettriche con capacità di avviamento autonomo. Dopo il collasso della rete, queste ultime possono utilizzare la propria generazione di energia elettrica per ricostruire la frequenza, la tensione e la potenza necessarie, ripristinando così gradualmente le reti circostanti e alimentandole con energia elettrica.

Lo studio sui cavi in Svizzera mostra che, a seconda della lunghezza dei cavi e della vicinanza a centrali elettriche con capacità di avviamento autonomo, gli effetti di risonanza possono impedire a una cellula di ripristinare la rete dopo un collasso su larga scala.

3 Uno sguardo al futuro

Il sistema elettrico vive la più grande trasformazione della sua storia. In questo contesto, Swissgrid si occupa anche degli sviluppi generali nel settore della tecnologia di trasmissione ad altissima tensione. In quanto azienda innovativa, Swissgrid è aperta alle nuove tecnologie. Per la pianificazione dei progetti in corso, Swissgrid si affida a tecnologie testate e collaudate, ma monitora il mercato tecnologico e partecipa a processi di innovazione e progetti pilota. A tal fine, Swissgrid è in stretto contatto con i gestori di rete europei e conduce un dialogo tecnico con le autorità, la ricerca e l'industria. Per quanto riguarda le sfide dei cavi interrati nella rete svizzera di trasmissione, tuttavia, è necessario affermare con chiarezza che i problemi identificati nello studio sui cavi richiedono urgentemente e rapidamente condizioni quadro adeguate per il cablaggio, nell'interesse di uno sviluppo sostenibile e sicuro della rete.

Lo studio sui cavi mostra che la percentuale di cavi interrati nella rete di trasmissione deve essere mantenuta bassa da un punto di vista tecnico e operativo. Il cablaggio incontrollato secondo il principio del «first come, first served» ha un impatto negativo sulla stabilità della rete e sulla sicurezza dell'approvvigionamento in Svizzera. Per i futuri progetti di rete, occorre quindi valutare attentamente da una prospettiva olistica in quali punti della rete di trasmissione il cablaggio interrato rappresenti una variante di implementazione necessaria e accettabile.

Swissgrid mira a sviluppare una sistematica che definisca le condizioni quadro tecniche e operative per il cablaggio. Per i futuri progetti di costruzione della rete, al più tardi nell'ambito dei progetti preliminari e della procedura di pianificazione settoriale, devono essere disponibili basi decisionali fondate per il calcolo della lunghezza accettabile dei cavi, in relazione alla rete globale e ad altri progetti di rete pianificati. Queste devono essere abbinare a ulteriori condizioni quadro, come gli aspetti di pianificazione del territorio o i collegamenti infrastrutturali esistenti, per formare un catalogo completo di criteri orientati ai requisiti del sistema globale.

Poiché i cavi interrati possono avere un impatto non solo sulla rete locale, bensì anche su regioni della rete distanti, non è possibile quantificare la massima lunghezza possibile dei cavi per regione. La sistematica ha lo scopo di indicare quali linee devono essere escluse dal cablaggio per motivi tecnici e operativi. Swissgrid coordinerà la sistematica con le autorità e la presenterà ai vari gruppi di interesse e al grande pubblico.

4 Conclusione

Nella rete svizzera di trasmissione, la costruzione di cavi interrati è possibile solo in misura molto limitata. Il presente studio sui cavi in Svizzera conferma le grandi sfide tecniche e operative legate al crescente cablaggio nella rete ad altissima tensione, che Swissgrid evidenzia da tempo. Queste sfide si basano sulle specifiche proprietà fisiche dei cavi interrati. Lo studio giunge alle seguenti conclusioni.

1. **Più impianti, maggiore complessità e costi più elevati:** i cavi interrati generano una potenza reattiva significativamente maggiore rispetto alle linee aeree. Per evitare dannose sovratensioni e guasti alla rete, questa potenza reattiva deve essere assorbita mediante impianti di compensazione supplementari. Gli impianti di compensazione aumentano la complessità della gestione della rete, comportano costi elevati, richiedono molto spazio e sono rumorosi.
2. **Dopo un collasso, il ripristino della rete è più complicato:** i cavi interrati riducono le frequenze di risonanza della rete di trasmissione, aumentando il rischio che, dopo un collasso, in intere regioni sia impossibile ripristinare la rete a causa degli effetti di risonanza. Gli effetti di risonanza aumentano anche il rischio di danni ai componenti della rete e ai dispositivi elettrici.
3. **Più bassa è la percentuale di cavi, più stabile è l'esercizio della rete:** a causa dei fenomeni dimostrati nello studio sui cavi, la percentuale di cavi interrati nella rete di trasmissione deve essere mantenuta bassa.
4. **Pianificazione con lungimiranza:** il cablaggio incontrollato secondo il principio del «first come, first served» ha un impatto negativo sulla sicurezza dell'approvvigionamento in Svizzera. Di concerto con le autorità, Swissgrid mira a sviluppare una sistematica che le consenta di valutare da una prospettiva olistica in quali punti della rete di trasmissione il cablaggio interrato rappresenti una variante di implementazione necessaria e accettabile per i futuri progetti di rete.
5. **Tempi di riparazione più lunghi in caso di danni:** mentre in caso di perturbazione le linee aeree sono di nuovo disponibili in pochi minuti o ore, per i cavi interrati possono essere necessarie settimane o mesi. Infatti, la perturbazione di un cavo interrato generalmente significa che c'è stato un danno.

I risultati dello studio sostengono il principio introdotto nella discussione in merito al progetto in consultazione della legge sugli impianti elettrici per la conversione e l'ampliamento delle reti elettriche («Accelerazione della rete»), secondo cui in futuro nella rete di trasmissione si dovrebbe applicare il principio della linea aerea e i cavi interrati dovrebbero essere esaminati solo se vengono soddisfatti i criteri pertinenti.