

REVISIONI						
					N.Rivabene SRI/SVT-ASI	M.Rebolini SRI/SVT
	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

TIPOLOGIA DELL'ELABORATO	CODIFICA DELL'ELABORATO	
PLANIMETRIA	ALLEGATO 1	
PROGETTO	TITOLO	
	<u>Elettrodotto 150 kV Doppia Terna "S.E. Troia - Roseto/Alberona"</u>	
RICAVATO DAL DOC. TERNA	<b>PROCEDURA DI VIA - INTEGRAZIONI</b>	
	<b>DOC. UXLK01 TERNA</b>	
CLASSIFICAZIONE DI SICUREZZA	<b>Utilizzo dei cavi interrati per la trasmissione di energia ad alta ed altissima tensione nella rete di trasmissione nazionale</b>	

NOME DEL FILE	SCALA CAD	FORMATO	SCALA	FOGLIO
	1 unità = CAD			

incarico e coordinamento:	gruppo di consulenza:	collaboratori:
arch. Fedele ZACCARA	arch. Carla IERARDI <u>PAESAGGIO, BENI CULTURALI</u>	arch. Cristian CASTRIGNANO
	dott. geol. Giovanni LAVECCHIA <u>SUOLO, SOTTOSUOLO, RISORSE IDRICHE</u>	
	dott. Giuseppe NAVAZIO dott. Michele BUX <u>VEGETAZIONE, FAUNA, ECOSISTEMI</u>	

Questo documento contiene informazioni di proprietà Terna S.p.A. e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Terna S.p.A.

This document contains information proprietary to Terna S.p.A. and it will have to be used exclusively for the purposes for which it has been furnished. Whichever shape of spreading or reproduction without the written permission of Terna S.p.A. is prohibit.

# Utilizzo dei cavi interrati per la trasmissione di energia ad alta ed altissima tensione nella rete di trasmissione nazionale

## Storia delle revisioni

Rev. n°	Data	Descrizione
00	11/03/2010	Prima emissione

Elaborato		Verificato	Approvato
L. Colla SRI-SVT-STZ	G. Lavecchia / M. Forteleoni SRI-SVT-LIN	A. Posati SRI-SVT-LIN	M. Rebolini SRI-SVT

M04IO001SQ-r00

Questo documento contiene informazioni di proprietà Terna SpA e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Terna SpA.

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	3
2	CONSISTENZA DEI COLLEGAMENTI IN CAVO E STATISTICHE DI IMPIEGO.....	3
2.1	L'impiego dei cavi in Italia.....	3
2.2	L'impiego dei cavi a livello internazionale.....	4
2.3	Altre tipologie di collegamenti in cavo.....	6
3	LE TECNOLOGIE.....	7
4	PROBLEMATICHE RELATIVE ALL'IMPIEGO DEI CAVI NELLA RETE DI TRASMISSIONE NAZIONALE.....	9
4.1	Problemi elettrici e di esercizio .....	9
4.2	Affidabilità delle linee in cavo.....	10
4.3	Guasti e tempi di ripristino .....	10
4.4	Problemi ambientali .....	10
4.5	Sensibilità ad eventi idrogeologici.....	13
4.6	Sensibilità ad eventi sismici .....	15
5	CONFRONTO TECNICO/ECONOMICO LINEE AEREE-LINEE IN CAVO .....	16
6	CONCLUSIONI .....	17
7	BIBLIOGRAFIA .....	19

## 1 PREMESSA

Tradizionalmente la trasmissione dell'energia elettrica è stata effettuata mediante elettrodotti aerei in alta tensione che hanno sempre rappresentato la tecnologia più semplice e più affidabile, oltre che la più economica.

Oggi ci viene spesso rivolta dai diversi portatori di interesse presenti sul territorio allorché si devono realizzare nuove linee di trasmissione una domanda: "perché non in cavo?"

Con il presente documento cercheremo di mettere in evidenza vantaggi e svantaggi delle tecnologie, prenderemo in considerazione gli aspetti tecnici ed economici che nel campo dell'alta e altissima tensione **in corrente alternata** presentano peculiarità diverse da quelle delle linee in cavo a media e bassa tensione.

Saranno trattati gli aspetti impiantistici, di realizzabilità e di affidabilità delle linee in cavo AT con una attenzione particolare alla realizzazione di elettrodotti in cavo sulla rete di altissima tensione (380 kV).

## 2 CONSISTENZA DEI COLLEGAMENTI IN CAVO E STATISTICHE DI IMPIEGO

### 2.1 L'impiego dei cavi in Italia

Considerando tutta la rete elettrica nazionale con tensione  $\geq 132$  kV la consistenza **attuale** delle linee in cavo è 975 km su circa 63.000 km, vale a dire poco più dello 1,5% della consistenza dell'intera rete elettrica nazionale.

Di questi la parte in altissima tensione (380 kV) è pari a solo 25 km su 10.700 km pari a circa lo 0,2% del totale.

Per i due livelli di tensione inferiori (220 kV e 132-150 kV) la percentuale di linee in cavo è pari circa il 1,8% delle linee esistenti (950 km su 52.000 km).

Tale proporzione risulta confrontabile e *allineata* con quanto realizzato a livello internazionale.

In figura 1 si riporta la consistenza dei km di terne di linee AT in Italia aggiornate al 30/06/2009.

Il maggior utilizzo di cavi per livelli di tensione inferiori a 380 kV, che si evince dai dati sopra riportati, si rende possibile per i seguenti motivi:

- minore potenza trasportata dalle singole linee. La portata di una semplice terna in cavo è *paragonabile* a quella di una linea elettrica aerea standard a 220 kV o 132-150 kV corrispondente.

- un eventuale guasto sui cavi a 150 kV viene generalmente più facilmente tollerato dal sistema elettrico.
- minore potenza reattiva prodotta dai cavi eserciti a tensioni inferiori: la produzione di potenza reattiva capacitiva aumenta con il quadrato della tensione di esercizio a parità di capacità elettrostatica.

Altri brevi collegamenti in cavo interrato, non di proprietà di Terna, sono utilizzati per collegare alcune centrali di produzione (p.e. Mantova, Ferrara Focomorto, Brindisi) alla rete di trasmissione nazionale sulla quale la potenza prodotta viene trasmessa verso i centri di carico. Il collegamento alla rete di trasmissione di gruppi di generazione mediante cavi avviene in prevalenza su aree di proprietà del produttore (con riduzione dei rischi di guasti causati da terzi, che provocherebbero inoltre la mancata produzione della centrale) e non incidendo in modo significativo sull'affidabilità complessiva dell'impianto di generazione (costituito da una serie numerosa di componenti e apparecchiature).

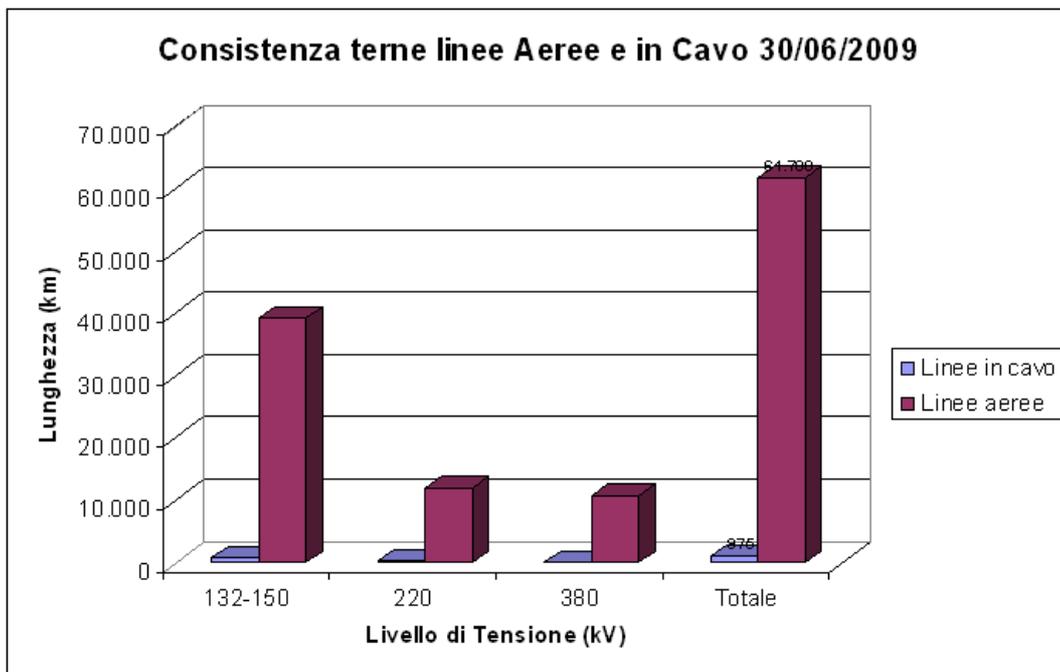


Figura 1 – ITALIA - Grafico di consistenza dei km di linee aeree e in cavo aggiornate al 30/06/2009

## 2.2 L'impiego dei cavi a livello internazionale

Il documento CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Électriques) "Statistics of AC underground cables in power networks" prodotto nel dicembre 2007 fornisce una serie di dati sull'utilizzo a livello internazionale dei cavi terrestri ad alta ed altissima tensione in corrente alternata (sono esclusi collegamenti marini in corrente continua).

Dalla figura 2 si può osservare come a livello internazionale l'utilizzo della tecnologia in cavo interrato in corrente alternata nel campo dell'altissima tensione (315-500kV) sia molto limitato.

Tali collegamenti sono pari a meno dello 0,5% del totale della rete elettrica ad altissima tensione<sup>1)</sup>.

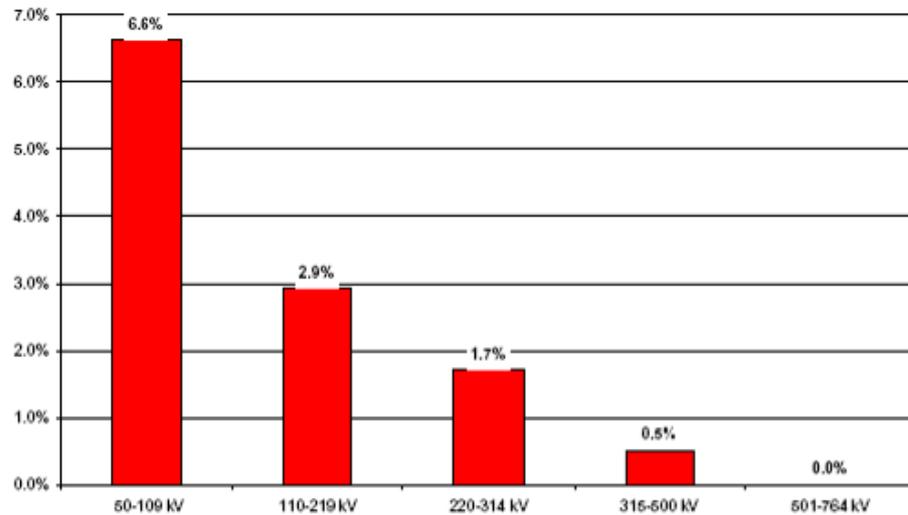


Figura 2 –Percentuale di linee in cavo rispetto a linee aeree per differenti livelli di tensione a livello internazionale [1]

In particolare la percentuale di km in cavo nella rete di trasmissione in Italia è confrontabile con quella di altri paesi europei quali Germania e Spagna, e superiore ad altri come la Francia.

Dall'indagine statistica si evince che l'utilizzo della tecnologia in cavo interrato per la trasmissione in alta e altissima tensione va analizzato e calato nel relativo contesto territoriale. Ci riferiamo ad esempio al caso dei collegamenti in cavo interrato a 380 kV presenti nelle grandi metropoli (Londra, Vienna, Berlino, Copenaghen o Seul). In tal caso, l'ovvia impossibilità di realizzare elettrodotti aerei ed al contempo la necessità di alimentare grossi carichi cittadini comporta inevitabilmente il ricorso a cavi interrati (in molti casi disposti in gallerie realizzate ad hoc) necessari per alimentare le stazioni di trasformazione presenti nelle aree metropolitane dove la magliatura di rete risulta adatta al loro impiego.

La lunghezza complessiva della rete in cavo terrestre a 380 kV in corrente alternata in Europa equivale a poco meno di 250 km.

Le maggiori città italiane (Roma, Milano, Napoli) sono attraversate da una fitta rete di collegamenti in cavo a 220 kV in analogia alle più grandi metropoli europee che, come sopra descritto, sono attraversate da collegamenti in cavo AT e AAT.

L'impiego del cavo interrato trova applicazione anche in zone vincolate in cui le strutture fuori terra non possono superare certe altezze come nella realizzazione dell'interramento delle linee a 380kV richiesto per l'ampliamento dell'aeroporto internazionale di Madrid, figura 4.

<sup>1)</sup> Il valore è stato calcolato sulla base dei dati dei seguenti Paesi che hanno aderito all'indagine statistica: Germania, Olanda, Spagna, Gran Bretagna, Austria, Italia, Danimarca, Svezia, Stati Uniti, Giappone, Canada, Corea, Australia e Brasile



Figura 3 - Realizzazione di galleria in cui alloggiare cavo a 380 kV sotto aeroporto di Barajas a Madrid

### 2.3 Altre tipologie di collegamenti in cavo

Altre tipologie di collegamenti in cavo sono i cavi marini che possono essere realizzati sia in corrente continua che alternata.

In Italia abbiamo ad oggi i seguenti collegamenti sottomarini in corrente continua:

- SACOI Sardegna-Corsica-Italia a 200kVcc che unisce la Sardegna alla penisola italiana attraverso la Corsica
- SAPEI SARdegna PENisola Italiana a 500kVcc che unisce direttamente la Sardegna alla penisola italiana
- ITALIA-GRECIA a 400 kVcc

I principali collegamenti sottomarini in corrente alternata AT e AAT in esercizio in Italia sono:

- Isola d'Elba – Penisola Italiana a 132 kV
- Ischia – Penisola Italiana a 150 kV
- SARCO Sardegna Corsica a 150 kV
- “Sorgente-Rizziconi” a 380 kV che collega la Sicilia alla Penisola Italiana attraverso lo stretto di Messina

### 3 LE TECNOLOGIE

L'isolamento più impiegato per molti decenni nei cavi di AT ed AAT in c.a. è stato la carta impregnata in olio fluido (cavi OF) o in qualche caso azoto in pressione, secondo due tecnologie:

- A. Cavi autocontenuti, figura 5, per tensione fino a 500kV, prevalentemente unipolari, con conduttori di rame a sezione anulare; in essi il condotto centrale è utilizzato per addurre l'olio fluido di impregnazione della carta; una guaina in lega di piombo (o alluminio) impedisce la fuoriuscita dell'olio e l'ingresso di sostanze estranee nel cavo.
- B. Cavi contenuti in tubo d'acciaio, figura 6, costituiti generalmente da tre conduttori di rame cordati isolati in carta e singolarmente schermati, infilati in un tubo d'acciaio; negli interstizi viene immesso l'olio in pressione (cavi fino a 500kV) oppure in qualche caso l'azoto in pressione (cavi fino a 138kV).

I cavi O.F. (invenzione dell'ingegnere italiano Emanuelli, del 1920), hanno avuto diffusione in tutto il mondo. La tecnologia dei cavi OF ad AAT è stata migliorata in epoca relativamente recente usando l'isolamento in laminato carta – polipropilene, che ha consentito una forte riduzione delle perdite nel dielettrico.

Fino ai primi anni '80 il cavo isolato con carta impregnata di olio fluido ha rappresentato l'unica soluzione realmente affidabile per la trasmissione dell'energia elettrica in tutte quelle situazioni praticamente o tecnicamente non risolvibili con linee aeree.

Sono stati realizzati collegamenti in cavo nei vari paesi del mondo alle tensioni di 550 kV e 750 kV e collegamenti sperimentali fino a 1.000 kV (Suvereto - Italia).

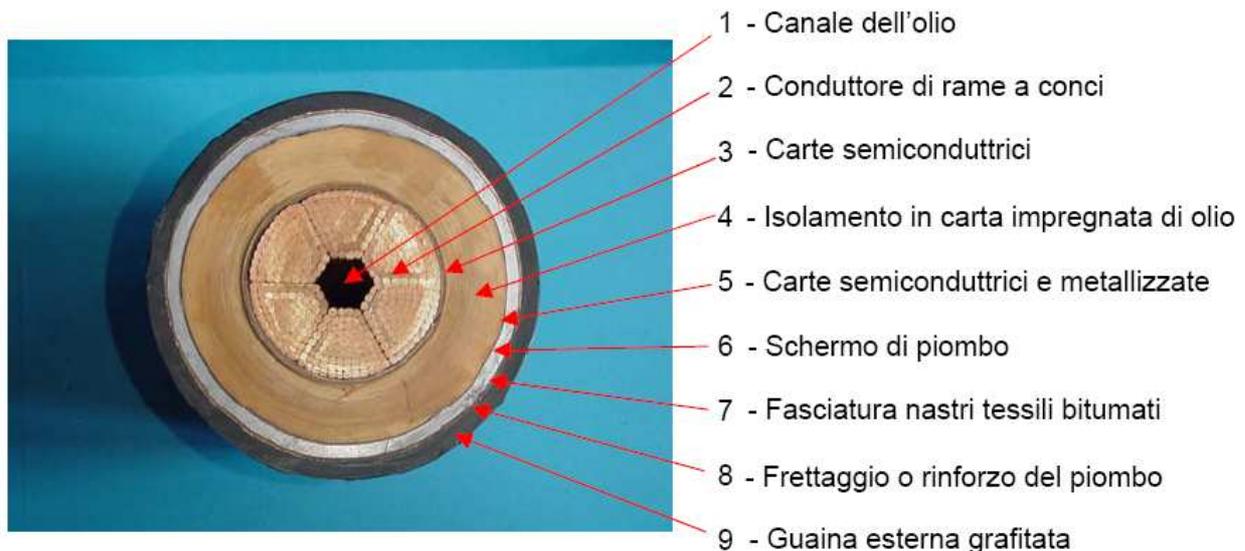


Figura 4 – Cavo autocontenuto con isolamento in carta impregnata di olio fluido



Figura 5 Cavi con isolamento in carta impregnata di olio fluido contenuti in tubo d'acciaio

Rispetto ai cavi ad isolamento estruso la tecnologia e l'esercizio dei cavi OF sono più complessi ed i costi d'impianto e d'esercizio sono maggiori. Ciò ha giustificato un lungo e grande impegno di ricerca da parte dei principali costruttori di cavi mondiali nel campo di isolanti sintetici alternativi, quali:

- **Gomma Etilen Propilenica (EPR):** isolamento elastomerico ottenuto con mescolazione di opportuni ingredienti, utilizzato per cavi di bassa, media ed alta tensione fino a 150 kV. Questo isolamento, opportunamente formulato, ha eccezionali doti di resistenza alla temperatura ed all'umidità che lo rendono particolarmente adatto per collegamenti sottomarini in media tensione. Pur essendo stato utilizzato molto positivamente anche per cavi fino a 132-150 kV, i valori di perdite dielettriche e la limitazione nei gradienti elettrici massimi ammissibili hanno portato, per questo livello di tensione, a preferire altri materiali.
- **Polietilene reticolato (XLPE):** isolamento elastomerico che rappresenta uno dei migliori compromessi tra proprietà dielettriche, termiche e meccaniche. Tali qualità hanno reso oggi questo materiale quello di gran lunga più utilizzato in tutto il mondo nella produzione di cavi, dalla media tensione fino all'altissima tensione (500 kV) – figura 7.



Figura 6 - Cavo con isolamento in XLPE

## 4 PROBLEMATICHE RELATIVE ALL'IMPIEGO DEI CAVI NELLA RETE DI TRASMISSIONE NAZIONALE

### 4.1 Problemi elettrici e di esercizio

I parametri che definiscono la potenza trasportabile da un cavo sono la massima temperatura ammissibile nell'isolante e la tensione nominale. Si deve tuttavia tener presente che nei conduttori circolano anche correnti capacitive, tanto più elevate quanto maggiore è la capacità elettrostatica e la tensione di esercizio del cavo<sup>2)</sup>, che determinano i seguenti due fenomeni:

- *limitano la potenza attiva trasmissibile* dal cavo stesso. Tale limitazione incide in maniera crescente con la lunghezza del cavo. La potenza attiva trasmissibile dal cavo dipende inoltre dalle condizioni di magliatura della rete.
- *provocano la sopraelevazione della tensione* in rete nel funzionamento a vuoto o su carico capacitivo, la quale, in assenza di compensazione, può superare sensibilmente la tensione massima di esercizio del sistema, aumentando il rischio di guasti.

In determinate condizioni di rete l'installazione di una o più linee in cavo interrato può favorire il rischio di sovratensioni, fenomeni di risonanza, malfunzionamenti sui sistemi di protezione etc.

La ripartizione dei flussi di potenza è, come noto, dettata dalla topologia della rete, dall'entità e dalla ubicazione dei carichi e dei generatori, e dalle impedenze dei collegamenti. Queste ultime risultano, a parità di lunghezza, di valore inferiore per le linee in cavo.

La presenza nella rete di linee in cavo può pertanto causare degli squilibri nei flussi di potenza con possibili sovraccarichi che si manifestano nelle parti di rete in cui sono presenti cavi. Oltre alle normali protezioni di linea, potrebbe essere necessario la messa in opera di un sistema di rilevazione in tempo reale delle condizioni termiche dei cavi, per evitare sovraccarichi tali da comprometterne l'integrità.

I differenti valori di impedenza delle linee aeree rispetto a quelle in cavo possono creare inoltre difficoltà nella taratura delle protezioni distanziometriche. Conseguentemente nei collegamenti in cui sono presenti lunghe tratte in cavo l'intervento selettivo delle protezioni può non essere facilmente assicurabile.

---

<sup>2)</sup> Ad esempio la potenza reattiva prodotta dai cavi di tensione maggiore ai 200 kV è dell'ordine di 20 volte più alta di quella prodotta da una linea aerea della stessa tensione.

## 4.2 Affidabilità delle linee in cavo

Le valutazioni sull'affidabilità dei collegamenti in cavo possono essere effettuate solo sulla base di statistiche relative alle poche linee in cavo ad alta tensione, buona parte delle quali di recente realizzazione.

Il parametro affidabilità può diventare molto rilevante se l'intervento di realizzazione riguarda una sezione critica del sistema elettrico italiano.

Tenuto conto dell'importanza delle linee di trasmissione, è necessario, per i collegamenti in cavo, adottare opportuni sistemi di protezione meccanica per minimizzare il rischio di danneggiamenti esterni. La durata media di indisponibilità, legata ai soli difetti intrinseci del cavo, risulterebbe comunque molto superiore all'indisponibilità media di una linea elettrica aerea.

## 4.3 Guasti e tempi di ripristino

Ad Aprile 2009 è stato pubblicato il documento [2] elaborato sulla base di un campione di 855 guasti segnalati nel corso del quinquennio 2001-2005. Nel dettaglio sono stati identificate due categorie di tensione, 60÷219 kV e superiore ai 220 kV. Quasi il 50% dei guasti erano associati a difetti interni e i restanti attribuiti a fattori esterni.

Le riparazioni sui cavi XLPE richiedono mediamente dai 25 ai 35 giorni anche se ci sono state situazioni nelle quali a causa della indisponibilità dei materiali a scorta si sono superati i 200 giorni di indisponibilità dell'impianto.

## 4.4 Problemi ambientali

Anche i collegamenti in cavo hanno un impatto sull'ambiente che va tenuto in debito conto. Si ricordano, a titolo esemplificativo, i seguenti problemi:

- la posa dei cavi comporta l'asservimento, per tutto il loro percorso, di una fascia di terreno larga dai 5 ai 20 m sulla quale è interdotta qualsiasi coltivazione arborea, le cui radici potrebbero danneggiare i cavi stessi;
- per lo scavo della trincea potrebbe rendersi necessario un abbassamento della falda freatica in determinate zone, con ripercussioni temporanee sulle condizioni idriche del sottosuolo e, conseguentemente, sull'agricoltura dell'area interessata;
- il cavo è posato in pezzature la cui lunghezza è determinata dalla possibilità di trasporto delle bobine in relazione al diametro del cavo stesso. Ad esempio, per un cavo XLPE 400 kV, rame 2500 mm<sup>2</sup>, la lunghezza di ogni singola pezzatura è dell'ordine di 500-650 m. Per realizzare l'unione delle varie pezzature si impiegano giunti. Le dimensioni delle buche giunti, idonee per ospitare 3 giunti, sono circa 10m di lunghezza per 3m di larghezza e 2m di profondità. In corrispondenza dei giunti

viene previsto un opportuno sistema di connessione delle guaine, per ridurre al massimo le perdite prodotte dalle correnti indotte.

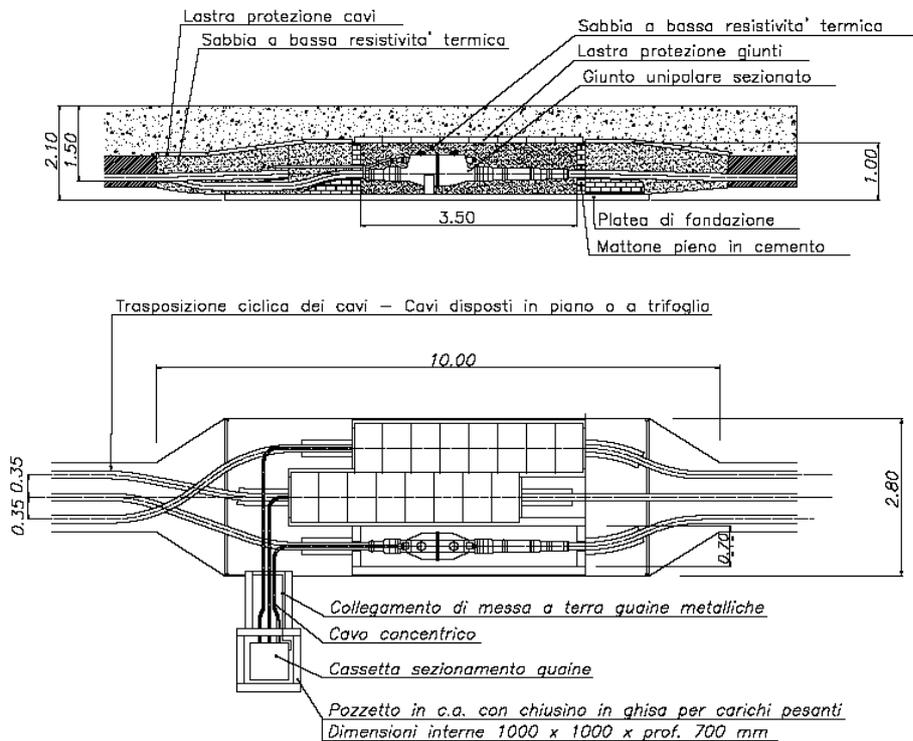


Figura 7 – Esempio di buca Giunti con ingombro 10x2,8 m

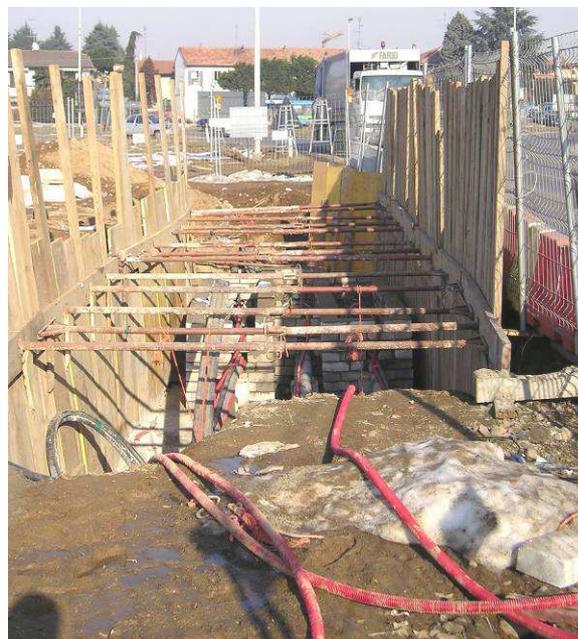


Figura 8 – Vista interna ed esterna di buca giunti in fase di realizzazione

- il collegamento a linee aeree e l'installazione delle apparecchiature di compensazione, necessarie come si è visto per l'esercizio di lunghi collegamenti, richiede la realizzazione di stazioni ad intervalli regolari, con le indispensabili apparecchiature di manovra e di protezione. Le strutture di queste stazioni possono interferire con l'ambiente in modo pronunciato;



Figura 9 - Stazione di transizione aereo/cavo priva di reattanze per linea 380 kV in semplice terna aerea/doppia terna in cavo

- il calore prodotto dai cavi può modificare il microambiente dei coltivi e delle zone boschive attraversate dalla linea in cavo;
- analogamente a quanto avviene per le linee aeree, la corrente che circola nei cavi produce, in corrispondenza della superficie sovrastante la terna di cavi, un campo magnetico l'intensità del quale dipende dalla profondità di posa, dalla distanza tra le fasi e dal tipo e connessione delle guaine e può essere paragonabile a quello di una linea aerea;
- durante la posa dei cavi si ha una occupazione temporanea di suolo che varia da 15 a 30 giorni per km. La fascia di terreno occupata temporaneamente può variare da alcuni metri fino a 30 m (per lato) nel caso di installazioni in aree extraurbane mentre, nel caso di attraversamento urbano, l'occupazione di suolo origina disservizi temporanei paragonabili a quelli per la costruzione di assi stradali;
- al trasporto dei materiali, alle operazioni di scavo e alle successive operazioni di ripristino è associabile un'immissione di rumore nell'ambiente;
- la predisposizione della trincea e delle vie d'accesso determina l'eliminazione meccanica di flora e vegetazione presente nelle aree extraurbane. In aree urbanizzate la flora non risulta normalmente impattata ma è evidente la problematicità di scavo dovuta alla presenza di reti ed infrastrutture tecnologiche preesistenti;

il tracciato al di fuori delle sedi stradali deve essere accessibile ai mezzi di posa, di ispezione e riparazione in esercizio. Il tracciato deve essere chiaramente segnalato con paline e placche, per impedire ogni tipo di costruzione nella fascia di asservimento, e per impedire l'attività agricola e quant'altro (arature, scavi, perforazioni, ecc.) a profondità maggiore di 0,5 m.

A titolo esemplificativo viene riportato in Figura 10 l'impegno di territorio necessario a realizzare una linea in cavo avente pari capacità di trasporto di una doppia terna aerea

a 380 kV, mentre in Figura 11 è riportato un esempio di posa di cavi interrati in campagna.

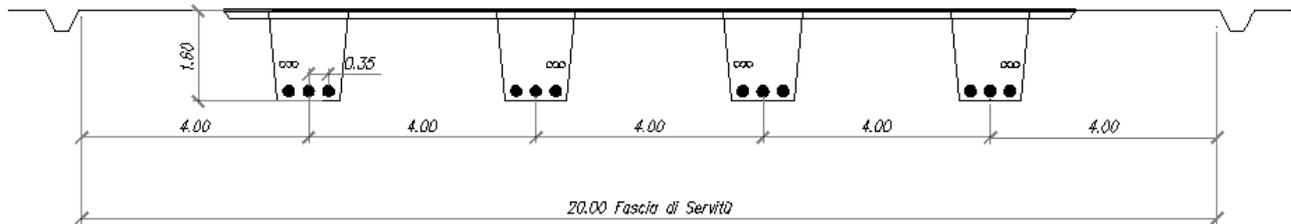


Figura 10 - Schema di posa di 4 trincee di cavi a 380 kV



Figura 11 - Posa di cavi interrati in campagna

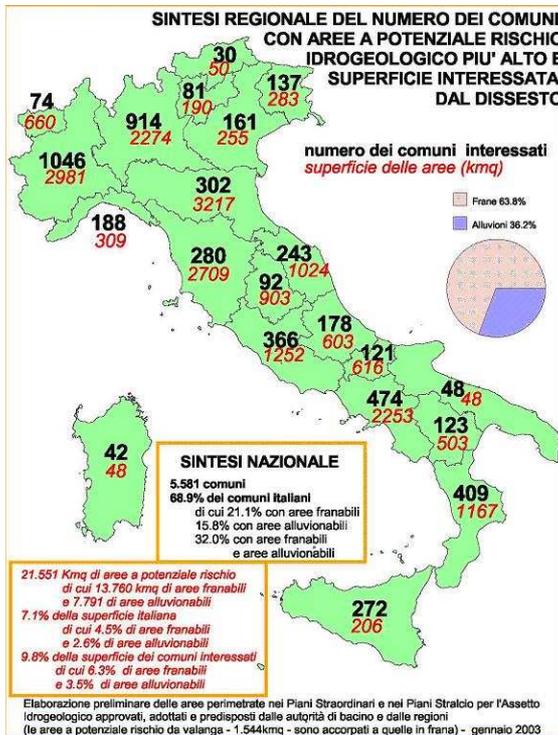
#### 4.5 Sensibilità ad eventi idrogeologici

Nell'ambito dei rischi geologici che caratterizzano il nostro paese, uno di quelli che comporta un maggior impatto socio-economico è il rischio geologico-idraulico; con questo termine si fa riferimento al rischio derivante dal verificarsi di eventi meteorici estremi che inducono a tipologie di dissesto tra loro strettamente interconnesse, quali frane ed esondazioni.

Per apprezzare le dimensioni del fenomeno basti pensare agli eventi che hanno interessato l'area italiana negli ultimi 80 anni: 5.400 alluvioni e 11.000 frane con conseguenti danni inestimabili.

Il Ministero dell'Ambiente e gli Enti istituzionalmente competenti (Anpa, Dipartimento dei Servizi tecnici nazionali e Dipartimento della Protezione civile) hanno svolto un'analisi conoscitiva delle condizioni di rischio su tutto il territorio nazionale che ha portato all'individuazione e perimetrazione, attraverso una metodologia qualitativa, dei comuni suddivisi per le varie regioni con diverso "livello di attenzione per il rischio idrogeologico"[8]. Tale analisi (conclusasi nel 2003) ha portato al risultato che 5.581 comuni italiani (68,9% del totale) ricadono in aree classificate a potenziale rischio idrogeologico più alto. Questi sono così suddivisi: il 21,1% dei comuni ha nel proprio territorio di competenza aree franabili, il 15,8% aree alluvionabili e il 32,0% aree a dissesto misto (aree franabili e aree alluvionabili). (Figura 12)

La superficie nazionale, classificata a potenziale rischio idrogeologico più alto, è pari a 21.551,3 Km<sup>2</sup> (7,1% del totale nazionale) suddivisa in 13.760 Km<sup>2</sup> di aree franabili e 7.791 Km<sup>2</sup> di aree alluvionabili.



STATISTICHE COMUNI SOGGETTI A RISCHIO	
Comuni a rischio frana	1.700
Comuni a rischio alluvioni	1.285
Comuni a rischio frana e alluvioni	2.596
<b>TOTALE</b>	<b>5.581</b>

**Comuni con costruzioni in aree a rischio**

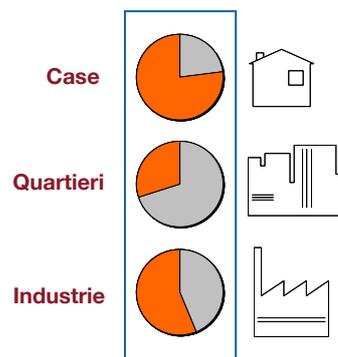


Figura 12 – Comuni e superfici a rischio idrogeologico in Italia

Le linee in cavo possono essere sensibili a problematiche di carattere idrogeologico (frane, inondazioni) Figura 13. In tal caso diventa ovvia la criticità sia per i tempi di ripristino (che possono raggiungere alcuni mesi) sia perché i cavi sono posati sulla viabilità ordinaria che non potrà essere oggetto di interruzione in caso di emergenza.

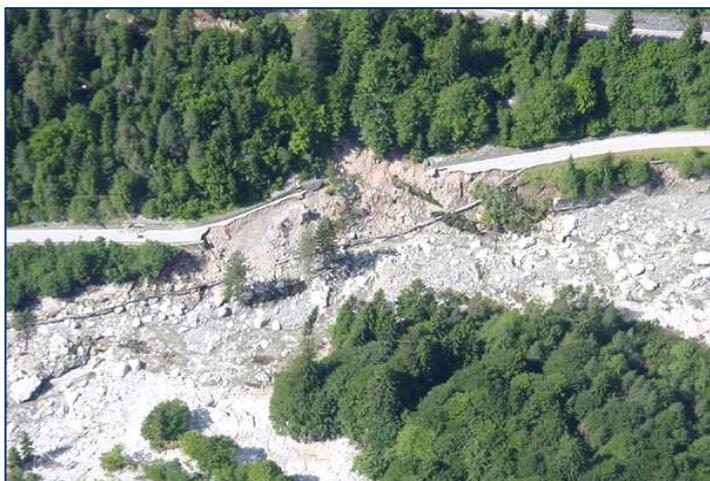


Figura 13 - Esempio di frana su carreggiata stradale

#### 4.6 Sensibilità ad eventi sismici

Il 45% del territorio italiano è catalogato ufficialmente come sismico.

In vaste aree del territorio italiano la sismicità costituisce una delle più importanti sorgenti di pericolosità naturale che, associate all'elevata vulnerabilità del territorio, dovuta alla massiccia presenza di insediamenti umani e delle relative infrastrutture, determinano un elevato livello di rischio.

Gli eventi sismici di magnitudo anche molto elevata di cui si ha riscontro in epoca storica o in tempi geologicamente recenti sono numerosissimi. Sono questi, ovvero le faglie che li hanno generati, a destare la maggiore preoccupazione, dal momento che la probabilità che le stesse strutture tettoniche possano riattivarsi è elevata.

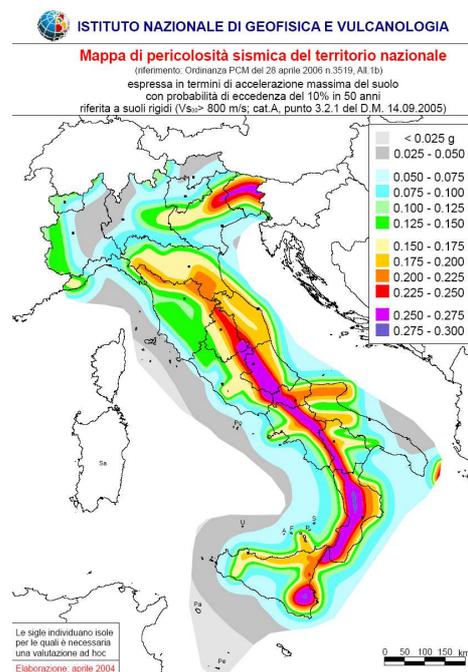


Figura 14 – Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano [9]

Casi di danneggiamenti a cavi interrati si sono verificati nel passato in zone a forte intensità sismica (es. California Loma Prieta quake (1989), San Francisco Bay Area e Northridge quake (1994), area di Kobe in Giappone (1995)- cfr. [1]), anche in associazione a fenomeni di liquefazione di terreni in condizioni sismiche ed ai movimenti del terreno [7].



Figura 15 – effetti derivanti da liquefazione (evento sismico a Chuetsu in Giappone)

In caso di guasto per un evento sismico diventa ovvia la criticità dei cavi interrati sia per i tempi di ripristino (che possono raggiungere alcuni mesi) sia perché essi sono posati in genere sulla viabilità ordinaria che non potrà essere oggetto di interruzione in caso di emergenza.

La linea aerea è una struttura flessibile, in grado di sopportare un l'evento sismico anche di forte intensità, e risulta facilmente ispezionabile anche con mezzi aerei (elicotteri) richiedendo, nella eventualità di guasti o disservizi, tempi contenuti di ripristino del servizio di trasporto (massimo 24 ore).

## **5 CONFRONTO TECNICO/ECONOMICO LINEE AEREE-LINEE IN CAVO**

A parità di potenza trasmissibile una linea aerea a 380 kV (singola terna trifase con conduttore trinato All.Acc.  $\Phi$  31,5 mm) equivale ad una doppia terna in cavo (interasse fra le terne pari ad almeno 5 m), realizzate con cavi da 2500 mm<sup>2</sup> in rame. Ne consegue che una linea aerea in doppia terna a 380 kV corrisponde a quattro terne in cavo con una fascia di ingombro di circa 20÷25 m.

Il confronto tecnico/economico tra linea aerea e linea in cavo andrebbe svolto caso per caso, tenendo in conto tutti gli aspetti tecnici e ambientali del progetto.

A titolo indicativo, a parità di potenza trasmissibile, il costo di un collegamento a 380 kV in cavo è circa 10÷13 volte quello di una linea aerea e può anche aumentare per collegamenti oltre i 15-20 km di lunghezza, nei quali si rende indispensabile la compensazione reattiva.

Sulla classe di tensione inferiore, 220 kV, si ha invece che a parità di potenza trasmissibile una linea aerea (singola terna trifase con conduttore singolo All.Acc.  $\Phi$  31,5 mm) equivale ad una singola terna in cavo, realizzata con cavi da 1600 mm<sup>2</sup> in alluminio. Ne consegue, grazie all'utilizzo dell'alluminio ed alla singola terna invece della doppia terna, che a parità di potenza trasmissibile, il costo di un collegamento 220 kV in cavo è pari a circa 5÷6 volte quello di una linea aerea, esclusa l'eventuale compensazione reattiva.

Prendendo a base quanto pubblicato dalle maggiori Utilities Europee riportiamo sinteticamente i costi espressi in rapporto al costo delle linee elettriche aeree.

- **Cigré Technical Brochure n.338 (2007)** - Costo linea in cavo 10÷20 volte una generica linea AAT
- **Nationalgrid (UK)** - Costo linea in cavo 12÷17 volte costo linea aerea
- **Terna (IT)** - Costo linea in cavo 10÷13 volte costo linea aerea
- **Tennet (NL)** - Costo linea in cavo per alta tensione 4-8 volte; per altissima tensione 10 milioni per km
- **ETSO (A)** - Costo linea in cavo 10÷12 volte costo linea aerea
- **ENERGINET (DK)** Costo linea in cavo 14 volte costo linea aerea
- **RTE (FR)**: Costo linea in cavo 7÷8 volte costo linea aerea

## 6 CONCLUSIONI

Cambiamenti significativi sono stati fatti durante gli ultimi quindici anni in termini di introduzione di nuovi materiali e tecnologie per la trasmissione dell'energia elettrica con cavi interrati.

L'attuale stato dell'arte rende possibile, in assenza di specifiche problematiche locali e di rete, la realizzazione di linee di trasmissione ad altissima tensione in cavo anche di lunghezze considerevoli al prezzo di installare stazioni di compensazioni del reattivo ed occupare una considerevole fascia di terreno.

Fermo restando il problema dei costi che sono di un ordine di grandezza superiore rispetto alle linee aeree, permangono tutte le problematiche relative all'affidabilità di esercizio ai lunghi tempi di ricerca guasto e riparazione nonché di impatto ambientale.

Inoltre criteri che possono aiutare nell'individuazione della tipologia di collegamento (cavo o aereo), non possono mai prescindere dallo stato della rete (magliatura) e dalle eventuali criticità del collegamento stesso.

In Tabella 1 sono riportati, in forma sintetica, alcuni dei parametri di confronto tra linee aeree e in cavo.

Parametro	Linea in Cavo	Linea Aerea
Lunghezza del tracciato	Limitata (circa 50km)	Nessun limite
Vita utile	30 anni	60 anni
Indisponibilità in caso di guasto	Minimo 1 Mese	Alcune ore
Perdite	Basse	Medie
Necessità di monitoraggio	Media	Bassa
Necessità di compensazione reattiva	Si	No
Riduzione della potenza trasmissibile in funzione della lunghezza (senza compensazione reattiva)	Alta	Nulla
Esperienza operativa	Bassa	Alta
Rischi di sovratensioni per fenomeni transitori	Alto	Basso
Penetrazione in area urbana	Media	Bassa
Riciclabilità dei materiali	Solo la parte metallica	Completamente riciclabile escluso calcestruzzo fondazioni
Fascia di rispetto a 3 $\mu$ T senza mitigazione dei campi magnetici	Fasc. di rispetto < 10 m	Fasc. di rispetto < 50 m
Problemi di Criticità rete elettrica	Alta	Basso
Costo	Alto	Basso
Sensibilità ad eventi sismici	Media	Nulla
Manutenibilità	Media	Alta
Impatto ambientale paesaggistico	Basso	Alto
Impatto ambientale idrogeologico	Alto	Basso
Impatto ambientale avifauna	Nulla	Medio
Impatto ambientale sulla coltivabilità del suolo	Medio	Basso

**Tabella 1 Parametri di confronto linea in cavo/linea aerea sul livello di tensione 380 kV c.a.**

I parametri di confronto possono subire valutazioni diverse dovute alle particolarità e specificità derivanti dal territorio realmente attraversato e dalle interferenze presenti.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] Cigré technical brochure n.338 “*Statistics of AC Underground Cables in Power Networks*” (2007);
- [2] Cigré technical brochure n.379 *Update of service experience of HV underground and submarine cable systems* (2009)
- [3] *ETSO position on use of underground cables* (2003);
- [4] *Undergrounding High Voltage - Electricity Transmission - The Technical Issues* (2009)
- [5] Tennet (NL): *Responsible and innovative underground cable installation - Position Paper*;
- [6] RTE: *Projet Cotentin-Maine - Le choix de la technologie aerienn*e (2007);
- [7] Hang, Tsan-Hui *Guideline and Procedure for Post Earthquake Safety Evaluation and Retrofitting of Underground Lifeline System* — Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taiwan (2001)
- [8] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale <http://www.apat.gov.it>
- [9] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia <http://portale.ingv.it>