



Elettrodotto a 380 kV in DT "Udine Ovest-Redipuglia"
Valutazioni sull'utilizzo di cavi interrati

Codifica RVCR10001BGL00001	
Rev. n° 00 del 29/12/2010	Pag. 1 di 19

Elettrodotto a 380 kV in DT "Udine Ovest-Redipuglia"
Valutazioni sull'utilizzo dei cavi interrati

Storia delle revisioni

Rev. n°	Data	Descrizione
00	29/12/2010	Prima emissione

Redatto			Verificato			Approvato

Sommario

1	INTRODUZIONE	3
2	UTILIZZO DEI CAVI INTERRATI.....	4
2.1	Premessa	4
2.2	Consistenza dei collegamenti in cavo e statistiche di impiego	4
2.2.1	L’impiego dei cavi in Italia	4
2.2.2	L’impiego dei cavi a livello internazionale	5
2.2.3	Altre tipologie di collegamenti in cavo	6
2.3	Le Tecnologie	7
2.4	Problematiche relative all’impiego dei cavi nella rete di trasmissione nazionale	9
2.4.1	Problemi elettrici e di esercizio	9
2.4.2	Affidabilità delle linee in cavo	9
2.4.3	Guasti e tempi di ripristino	9
2.4.4	Problemi ambientali	10
2.4.5	Sensibilità ad eventi idrogeologici	13
2.4.6	Sensibilità ad eventi sismici	15
2.4.7	Confronto tecnico/economico - Linee Aeree vs Linee in Cavo	16
2.4.8	La situazione della rete elettrica AT in Friuli Venezia Giulia	17
2.5	Conclusioni	19

1 INTRODUZIONE

Il presente documento è stato redatto per dare risposta alla richiesta formulata dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali – Direzione Generale per il paesaggio, le belle arti, l’architettura e l’arte contemporanea, nella lettera prot. n. 341904/38241 del 20 dicembre 2010, con la quale chiede a Terna SpA di valutare l’opportunità di interrare l’elettrodotto a 380 kV “Udine Ovest–Redipuglia” nelle fasce sottoposte a tutela paesaggistica, ed in particolare nelle aree golenali dei fiumi Isonzo e Torre.

Il presente documento riprende in parte il documento (doc. n. PSRARI09012) presentato da Terna SpA nell’ambito del procedimento di valutazione di impatto ambientale al Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e alla Regione Friuli Venezia Giulia nel quale venivano riportate le situazioni per le quali il cavo interrato è l’unica soluzione praticabile per la realizzazione di una linea elettrica.

In quel documento, così come nel presente, venivano messe in evidenza le problematiche legate alla posa dei cavi, e agli aspetti ambientali in fase di realizzazione ed esercizio, indicate le soluzioni di realizzazione normalmente adottate, e sostenuto che l’interramento di un elettrodotto a 380 kV pone seri problemi nella fase di realizzazione e, in particolare per quello tra le stazioni elettriche di Redipuglia e Udine Ovest, gravi limitazioni di affidabilità e sicurezza nell’esercizio della rete, che potrebbero condurre a distacchi forzati di utenze su vaste aree del territorio friulano, nel caso in cui la linea in cavo dovesse essere messa fuori servizio per ragioni tecniche o accidentali.

In sostanza, Terna SpA non ha addotto mai, nel sopra citato documento, l’impossibilità di trovare una soluzione tecnica di posa in opera ma, invece, l’infattibilità per questioni relative allo svolgimento delle proprie attività istituzionali, che prevedono l’obbligo di fronteggiare situazioni di emergenza o legate alla temporanea indisponibilità delle infrastrutture di trasmissione e di ripristino delle condizioni di normale esercizio.

Per Terna SpA l’obiettivo della sicurezza è la prevenzione e la minimizzazione delle conseguenze dei disservizi di rete, con particolare riguardo a quelli che possono comportare la perdita del controllo del sistema elettrico e, quindi, lo persegue ai sensi del Codice di Rete, con tutti gli strumenti ed i mezzi di cui può dotarsi, compresa l’adozione di alternative tecnologiche e progettuali che concorrano a conseguire l’obiettivo di sicurezza piuttosto che a mancarlo.

In quest’ottica deve quindi intendersi la decisione di Terna SpA di non presentare un’alternativa in cavo nello Studio di Impatto Ambientale dell’elettrodotto 380 kV Udine Ovest-Redipuglia, visto che questa alternativa tecnologica, nell’attuale assetto di rete, rende inaffidabile e non sicuro l’esercizio della rete elettrica.

2 UTILIZZO DEI CAVI INTERRATI

2.1 Premessa

Tradizionalmente la trasmissione dell’energia elettrica è 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 sono messi in evidenza vantaggi e svantaggi delle tecnologie, e considerati 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.

Sono 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).

Sono riportate le caratteristiche della rete elettrica friulana e considerati gli effetti di un rafforzamento della magliatura con l’eventuale adozione del cavo per la realizzazione del collegamento a 380 kV tra le stazioni elettriche di Redipuglia ed Udine Ovest.

2.2 Consistenza dei collegamenti in cavo e statistiche di impiego

2.2.1 L’impiego dei cavi in Italia

Considerando tutta la rete elettrica nazionale con tensione ≥ 132 kV la consistenza **al 30/06/2009** delle linee in cavo è 975 km su circa 63.000 km, vale a dire poco più dello 0,2% 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, di cui circa 6,5 km senza alternativa trattandosi di cavi sottomarini.

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 Errore. L’origine riferimento non è stata trovata. riporta la consistenza dei km di terne di linee AT in Italia aggiornate al 30/06/2009.

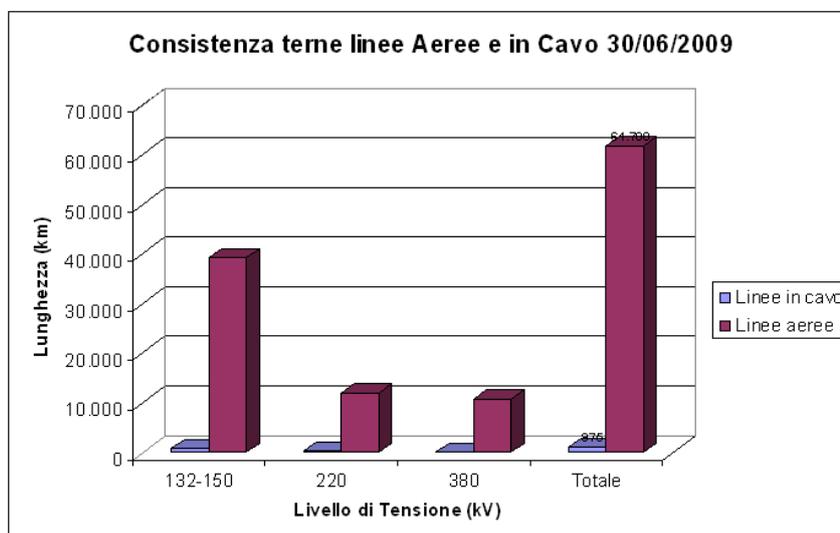


Figura 2-1– ITALIA - Grafico di consistenza dei km di linee aeree e in cavo aggiornate al 30/06/2009

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

- qualifica per esperienza operativa sul comportamento all'invecchiamento dei cavi a seguito del consistente valore di km-anno esercizio di detti cavi ed il valore di gradiente di tensione sull'isolante significativamente inferiore a quello previsto per i cavi a 380kV;
- minore potenza trasportata dalle singole linee. La portata di una semplice terna 380 kV 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;
- altri brevi collegamenti in cavo interrato, non di proprietà di Terna, sono utilizzati per collegare alcune centrali di produzione alla rete di trasmissione nazionale sulla quale la potenza prodotta viene trasmessa verso i centri di carico. Si tratta di collegamenti corti, di impieghi particolari, a stress limitato, in cui la corrente è controllata e pari a quella immessa dalla centrale e non variabile come in una rete di trasmissione. *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).*

2.2.2 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 2-2 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 tensione¹.

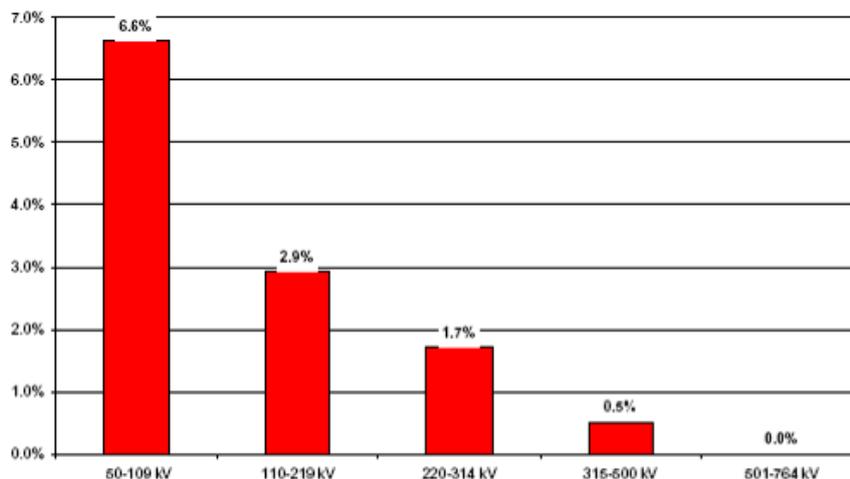


Figura 2-2–Percentuale di linee in cavo rispetto a linee aeree per differenti livelli di tensione a livello internazionale

¹ 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

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’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 2-3.



Figura 2-3- Realizzazione di galleria in cui alloggiare cavo a 380 kV sotto aeroporto di Barajas a Madrid

2.2.3 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

2.3 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 2-4, 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 2-5, 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).

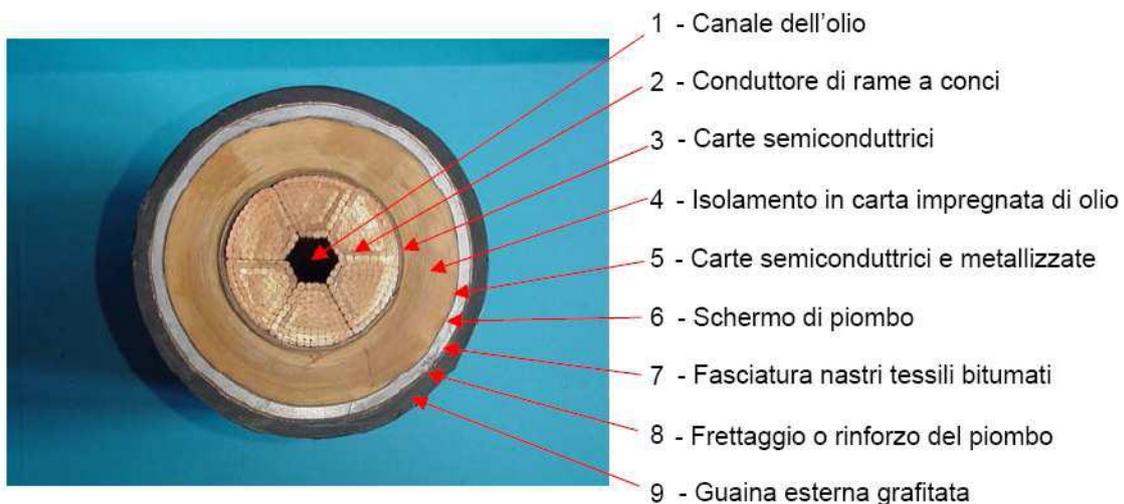


Figura 2-4– Cavo autocontenuto con isolamento in carta impregnata di olio fluido



Figura 2-5 - 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 2-6.

Altro elemento da considerare, oltre alla criticità che riveste il gradiente di tensione sul materiale isolante, è il limitato valore di km-anno esercizio che possono garantire la vita attesa desunta da prove d'invecchiamento accelerato (che per il 380kV risale al 1997-98).



Figura 2-6 - Cavo con isolamento in XLPE

2.4 Problematiche relative all'impiego dei cavi nella rete di trasmissione nazionale

2.4.1 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 cavo², 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** la quale, può superare sensibilmente la tensione massima di esercizio del sistema, aumentando il rischio di guasti. La compensazione risolve parzialmente il problema e comporta inevitabilmente la costruzione di stazioni intermedie a distanza ravvicinata ad elevato impatto, nonché difficoltà di gestione.

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.

In breve l'impiego di cavi in corrente alternata in reti a 380 kV aggrava i problemi di tensioni elevate che a loro volta aumentano il rischio di deterioramento dei cavi stessi. Nel Sistema Elettrico Nazionale il problema delle tensioni elevate sta assumendo connotati di criticità in quanto la giusta diffusione capillare di linee in MT in cavo aumenta la produzione di potenza reattiva che viene immessa nella rete di Trasmissione in quantità eccedenti le capacità di assorbimento.

L'impiego di cavi nel sistema di Trasmissione va inoltre limitato in quanto uno dei fondamenti della continuità del servizio è la possibilità di richiudere automaticamente le linee in caso di guasto. Ciò è possibile per le linee aeree ad isolamento c.d. ripristinabile dove il tasso di successo è superiore all'80%. Nei tratti in cavo questa tecnica non è praticabile in quanto il rilancio di tensione aggrava il danno, se il guasto è interno al cavo.

2.4.2 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.

2.4.3 Guasti e tempi di ripristino

Ad Aprile 2009 è stato pubblicato il documento “Cigré technical brochure n.379 Update of service experience of HV underground and submarine cable systems (2009)” 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.

² 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.

2.4.4 Problemi ambientali

Anche i collegamenti in cavo hanno un impatto sull'ambiente che va tenuto in debito conto.



Figura 2-7 – Tratto interrato dell'elettrodotto 380kV S. Barbara - Tavarnuzze in ambiente agricolo-boschivo

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 interdetta 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 mm², 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 10 m di lunghezza per 3 m di larghezza e 2 m 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 2-8 – 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 2-9- 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 50 a 60 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;



Figura 2-10 – Esempio di posa cavi in campagna

- nel caso di attraversamento urbano, l'occupazione di suolo origina disservizi temporanei paragonabili a quelli per la costruzione di assi stradali;
- nel caso di attraversamenti con lunghezze significative di fiumi e torrenti in subalveo, con caratteristiche geologiche di matrice ghiaiosa, sussistono delle criticità sia realizzative (anche con le tecnologie ad oggi adottate come T.O.C. e Microtunneling), sia di esercizio in considerazione di eventuali modifiche dell'alveo con scalzamenti, erosioni, ecc.;
- 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 2- l'impegno di territorio necessario a realizzare una linea in cavo avente pari capacità di trasporto della doppia terna aerea a 380 kV “Udine Ovest-Redipuglia”, mentre in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è riportato un esempio di posa di cavi interrati in campagna.

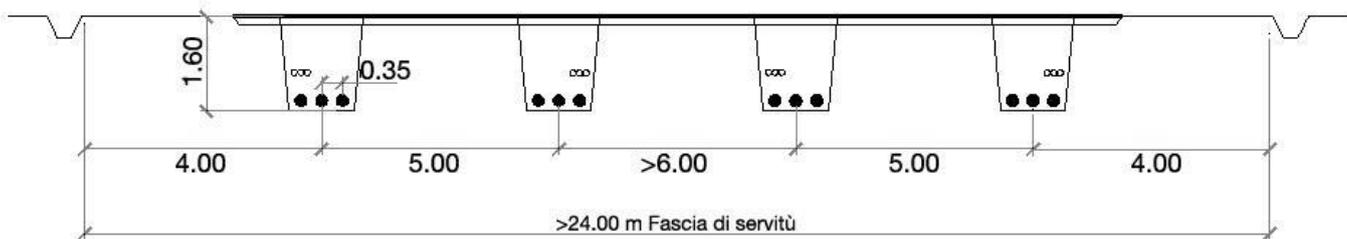


Figura 2-11 - Schema di posa di 4 terne di cavi a 380 kV

Va tuttavia evidenziato che una posa come quella riportata in Figura 2- va assolutamente evitata in quanto un guasto lungo il tracciato può determinare anche la disalimentazione della terna adiacente per le attività di riparazione.

Si ritiene quindi opportuno per una linea in doppia terna (realizzata come schematizzato sopra con 4 terne di cavi), per fare salvi i principi della continuità del servizio, utilizzare due tracciati distinti (1 tracciato per 2 terne di cavi), per evitare la concentrazione dei cavidotti su aree potenzialmente modificabili ambientalmente (si pensi all'eventualità di frane o esondazioni oppure ad interferenze con altre opere esistenti e/o di nuova realizzazione).

Tali soluzioni comportano comunque delle maggiori aree occupate dai cavidotti stessi.

Nel complesso, quindi, l'attività agricola sembra essere più soggetta a vincoli al di sopra dei cavi interrati che sotto i conduttori delle linee aeree.

Al fine di limitare, per quanto possibile, l'interferenza della presenza di cavi con attività agricole, questi di norma sono posati su infrastrutture viarie esistenti, sempre che siano presenti e di dimensioni sufficienti. Tuttavia, in questo caso i tracciati sono considerevolmente più lunghi, determinando, quindi, un maggior impatto sul territorio, oltre naturalmente ad un maggior costo dell'infrastruttura.

Nella Figura 2-8 sono riportate alcune immagini relative ai lavori di posa di una terna in cavo a 380 kV su infrastruttura viaria: i lavori vengono effettuati lungo la viabilità esistente ed impegnano due delle corsie di marcia sia per la posa dei cavi che per la movimentazione dei macchinari (escavatori, gru, camion, etc.), provocando un notevole disagio alla circolazione ordinaria.

Appare evidente come la realizzazione di quattro trincee su una qualsiasi infrastruttura stradale presente nel territorio in esame sia assolutamente infattibile.



Figura 2-8 - Esempio di posa di una terna di cavi su strada statale per linea 380 kV.

2.4.5 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 il territorio italiano 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”. 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 2-9)

La superficie nazionale, classificata a potenziale rischio idrogeologico più alto, è pari a 21.551,3 km² (7,1% del totale nazionale) suddivisa in 13.760 Km² di aree franabili e 7.791 km² di aree alluvionabili.

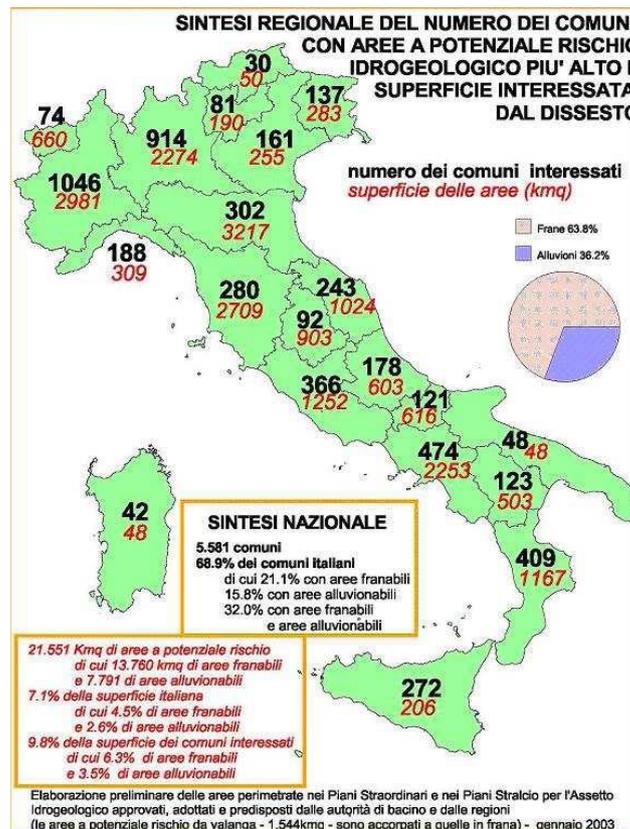


Figura 2-9- Comuni e superfici a rischio idrogeologico in Italia

Le linee in cavo possono essere sensibili a problematiche di carattere idrogeologico (frane, inondazioni) Figura 2-10. 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 2-10- Esempio di frana su carreggiata stradale

2.4.6 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.

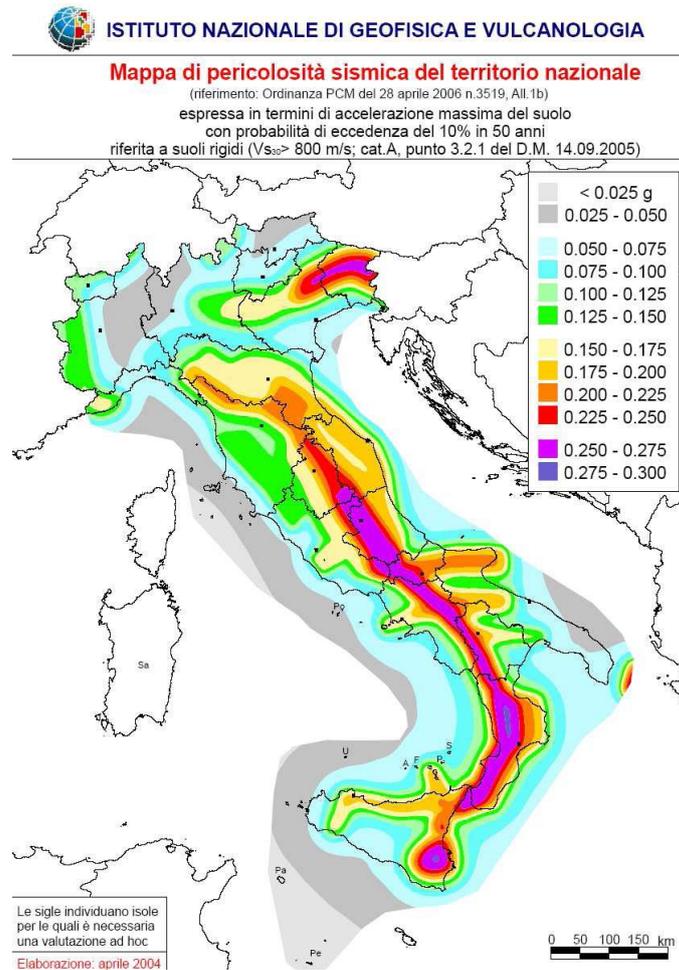


Figura 2-11– Mapa di pericolosità sismica del territorio italiano [9]

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)), anche in associazione a fenomeni di liquefazione di terreni in condizioni sismiche ed ai movimenti del terreno.

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, invece, 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).



Figura 2-12– effetti derivanti da liquefazione (evento sismico a Chuetsu in Giappone)

2.4.7 Confronto tecnico/economico - Linee Aeree vs Linee in Cavo

A parità di potenza trasmissibile una linea aerea a 380 kV (singola terna trifase con conduttore trinato All.Acc. Φ 31,5 mm) equivale ad una doppia terna in cavo (interasse fra le terne pari ad almeno 5 m), realizzate con cavi da 2500 mm² in rame. Ne consegue che la futura linea aerea in doppia terna a 380 kV “Udine Ovest-Redipuglia” 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. Φ 31,5 mm) equivale ad una singola terna in cavo, realizzata con cavi da 1600 mm² in alluminio.

A titolo indicativo, 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

2.4.8 La situazione della rete elettrica AT in Friuli Venezia Giulia

La realizzazione di linee di trasmissione ad altissima tensione in cavo, anche di lunghezze considerevoli, oltre che sottostare a verifiche di fattibilità tecniche/economiche/ambientali è subordinata all'assenza di specifiche problematiche locali della rete elettrica di trasmissione.

Infatti, i 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, che possono influenzare l'affidabilità di esercizio della rete.



Figura 2-13 - Rete elettrica AAT in Friuli Venezia Giulia

Nello specifico, la rete elettrica friulana risulta squilibrata sulla stazione elettrica di Redipuglia, attraverso la quale transitano sia i flussi di potenza provenienti dall'interconnessione Italia-Slovenia, sia la produzione dei poli produttivi di Monfalcone e Torviscosa.

La scarsa magliatura della rete, vale a dire la mancanza di nodi (stazioni elettriche) nei quali si interconnettono le reti a tensione più elevata (380 kV e 220 kV), non rende disponibili percorsi alternativi per i flussi di corrente nel caso di congestione o fuori servizio di uno o più tratti di linea, non consentendo quindi di garantire adeguati margini di sicurezza di esercizio della rete e di mutua riserva tra le linee e le stazioni che compongono la rete.

Da un punto di vista tecnico, quindi, tenuto conto dell'attuale situazione della rete elettrica friulana, la realizzazione in cavo interrato dell'elettrodotto “Udine Ovest-Redipuglia” non è praticabile.

Il problema più rilevante è che, in caso di guasto al cavo, occorrendo giorni per la localizzazione e settimane per la riparazione, durante le quali la linea, fuori servizio, non potrebbe servire il sistema, non sono presenti altre linee che potrebbero assolvere il lavoro svolto dalla linea in cavo fuori servizio.

Tale situazione di debolezza del sistema elettrico metterebbe in serio pericolo la continuità del servizio su larga parte del territorio friulano.

Inoltre, la razionalizzazione della rete proposta da Terna prevede anche la demolizione di circa 20 km della linea a 220 kV nel tratto tra la stazione di Redipuglia e la futura stazione di Udine Sud che, se attuata contestualmente all'interramento della linea a 380 kV, contribuirebbe ulteriormente ad indebolire il sistema elettrico in Friuli e ad ampliare gli effetti, negativi, conseguenti il fuori servizio della linea in cavo.

Oltre a ciò il cavo interrato non contribuisce a migliorare i margini di sicurezza di esercizio della rete e la mutua riserva tra le linee in quanto, considerato che una terna di cavi a 380 kV interrati ha capacità di trasporto inferiore ad un’equivalente terna aerea per questioni legate allo smaltimento del calore sviluppato dal passaggio della corrente nei conduttori, soltanto l’elevata capacità di trasporto di un elettrodotto aereo consente di avere un’adeguata riserva in caso di guasto di un altro elettrodotto in zona, evitando in tal modo il verificarsi di black out. Nel caso, piuttosto raro, del verificarsi di un guasto su un elettrodotto aereo, comunque intrinsecamente più robusto, questo verrebbe riparato in tempi brevi, qualche ora, non mettendo a rischio la continuità di esercizio del servizio.

In conclusione, per quanto detto sopra e nei precedenti paragrafi, non si capisce come, per la realizzazione del nuovo elettrodotto Udine Ovest-Redipuglia, si possano considerare equivalenti soluzioni tecniche, linea aerea e cavo interrato, che non diano uguali garanzie di sicurezza al sistema elettrico regionale.

In Tabella 2-1 sono riportati, in forma sintetica, alcuni dei parametri di confronto tra linee aeree e linee in cavo.

Parametro	Linea in Cavo	Linea Aerea
Lunghezza del tracciato	Limitata (circa 50km)	Praticamente Nessun limite (centinaia di km)
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 µT senza mitigazione dei campi magnetici	circa 10+10 m³	circa 50+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 2-1 - 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.

³ Per il cavo si considera una portata di corrente pari alla metà di quella di una linea aerea come già detto al par. 2.2.1

2.5 Conclusioni

L'introduzione di cavi 380 kV in corrente alternata è iniziata, dopo lunghe prove di qualifica in laboratori specializzati, a partire dagli anni '90. La vita utile per cavi terrestri a 380 kV è stimata in circa 30 anni; tale valore è molto inferiore alla vita utile consolidata di un elettrodotto aereo di pari tensione (50 anni). Peraltro, interventi di manutenzione preventiva possono estendere ulteriormente, senza particolari difficoltà, la vita degli elettrodotti aerei, mentre ciò non è possibile per i cavi.

La minore affidabilità del cavo rispetto all'elettrodotto aereo è un aspetto fondamentale, considerato che l'inserimento in serie di differenti elementi con minore affidabilità (stazione di transizione con relative apparecchiature, pezzature di cavi, giunti di collegamento), ognuno dei quali caratterizzato da una propria probabilità di guasto, comporta un valore complessivo di quest'ultima più alto.

I lunghi tempi di riparazione e la conseguente minore disponibilità dei collegamenti in cavo determina una inidoneità all'utilizzo esteso in reti magliate a 380 kV.

Le cause di guasto dei cavi sono dovute in gran parte anche a fattori esterni (ad esempio scavi per opere civili condotte da terzi), sovratensioni, giunti non perfettamente eseguiti; anche le impurità presenti nell'isolante possono essere ulteriore causa di fuori servizio. In tutti i casi la sostituzione di pezzature di cavi o il rifacimento di giunti comporta un fuori servizio del collegamento elettrico di molte settimane, difficilmente tollerabile per elettrodotti a 380 kV aventi principalmente funzioni di trasmissione della potenza elettrica. Al contrario, la riparazione di guasti su linee aeree è di norma eseguita nel giro di poche ore, riducendo l'indisponibilità del collegamento elettrico a valori tollerabili.

Pertanto, l'adozione di tratti in cavo sul livello di tensione a 380 kV comporta la necessità di prevedere una più forte magliatura della rete di trasmissione con conseguente realizzazione di nuovi collegamenti.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra e delle problematiche evidenziate, Terna ha ritenuto che non sussistano le condizioni per un'alternativa in cavo interrato dell'elettrodotto 380 kV “Udine Ovest-Redipuglia”.