

PROPONENTE  
**Repower Renewable Spa**  
Via Lavaredo, 44  
30174 Mestre (VE)  
  
PROJECT MANAGER : Dott. Davide Serani



PROGETTAZIONE

Tenproject Srl - loc. Chianarile snc Area Industriale  
82010 S. Martino Sannita (BN)  
t +39 0824 337144 - f +39 0824 49315  
tenproject.it - info@tenproject.it

N° COMMESSA

1529

IMPIANTO EOLICO LOCALITA' "CONTRADA VALLETTA"  
PROVINCIA DI BRINDISI  
COMUNI DI SAN DONACI - CELLINO SAN MARCO

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE




CODICE ELABORATO

RELAZIONE DI COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA E CALCOLO  
INTERFERENZA CON CONDOTTE AQP

INT.AQP.05


NOME FILE  
GE.GGN02.INT.AQP.05.R00

|      |         |                       |         |          |              |
|------|---------|-----------------------|---------|----------|--------------|
|      |         |                       |         |          |              |
| 00   | 01/2024 | PRIMA EMISSIONE       | DM-MF   | NF       | NF           |
| REV. | DATA    | DESCRIZIONE REVISIONE | REDATTO | VERIFICA | APPROVAZIONE |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>1 di 17 |
|--|---|---|--|

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. PREMESSA .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO .....</b>                              | <b>4</b>  |
| <b>3. OGGETTO E SCOPO DELLA RELAZIONE ELETTROMAGNETICA .....</b>              | <b>5</b>  |
| <b>4. LOCALIZZAZIONE DELLE INTERFERENZE TRA LE DUE INFRASTRUTTURE ....</b>    | <b>6</b>  |
| 4.1. Tipi di accoppiamenti da considerare .....                               | 7         |
| 4.2. Effetti dell'interferenza da considerare .....                           | 8         |
| 4.3. Limiti delle tensioni indotte .....                                      | 8         |
| 4.4. Danni alle tubazioni .....   | 9         |
| 4.5. Disturbi alle apparecchiature connesse al sistema di tubazioni.....      | 9         |
| <b>5. SITUAZIONI D'INTERFERENZA E CONDIZIONI DI VERIFICA .....</b>            | <b>10</b> |
| 5.1. Interferenze .....   | 10        |
| 5.2. Verifiche e descrizione dei fenomeni elettromagnetici di esercizio ..... | 11        |
| 5.3. Metodo di calcolo delle tensioni indotte .....                           | 12        |
| 5.4. Interferenze parallele alla condotta.....                                | 14        |
| 5.5. Interferenze perpendicolari alla condotta.....                           | 14        |
| 5.5.1 Calcolo interferenza Cavidotto MT "N.1" e "N.3" .....                   | 14        |
| 5.5.2 Calcolo interferenza Cavidotto MT "N.2" .....                           | 15        |
| <b>6. CONCLUSIONI .....</b>   | <b>17</b> |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>2 di 17 |
|--|--|---|--|

## 1. PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 4 aerogeneratori della potenza di 7,2 MW ciascuno, per una potenza di 28,8 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 41,6 MW, per una potenza complessiva in immissione di 70,4 MW da installare nel comune di San Donaci (BR) alla località “Contrada Valletta”, con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune di Cellino San Marco in località “Le Arene”.

Proponente dell’iniziativa è la società Repower Renewable SpA (anche solo Repower nel prosieguo).

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di San Pancrazio Salentino e San Donaci, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 4,1 km e 2,7 km.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante un cavidotto in media tensione interrato che sarà posato al di sotto di viabilità esistente.

Gli aerogeneratori sono collegati tramite un cavidotto interrato in media tensione “interno” ad una cabina di raccolta collocata nelle vicinanze dell’aerogeneratore A07, nei pressi della SP75 all’altezza della Masseria Nuova.

Dalla cabina di raccolta parte il tracciato del cavidotto interrato in media tensione “esterno”, che corre su strada esistente e che, dopo circa 7.2 km, raggiunge la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di progetto (in breve SE di utenza).

La SE di utenza, infine, è collegata in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 380/150 kV da inserire in entra-esce alla linea a 380 kV “Brindisi Sud – Galatina”.

All’interno della stazione utente è prevista l’installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System, basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia. Il sistema di accumulo è dimensionato per 41,6 MW con soluzione containerizzata, composto sostanzialmente da:


- 32 Container metallici Batterie HC ISO con relativi sistemi di comando e controllo;
- 16 Container metallici PCS HC ISO per le unità inverter completi di quadri servizi ausiliari e relativi pannelli di controllo e trasformazione BT/MT.

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori.

In fase di realizzazione dell’impianto sarà necessario predisporre un’area logistica di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore).


**Ten Project S.r.l.**

Sede legale ed operativa: Località Chianarile Z.I., 82010 San Martino Sannita (BN) - Sede Operativa: Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>3 di 17 |
|--|--|---|--|

Al termine dei lavori di costruzione dell'impianto, le aree di cantiere, le opere temporanee di adeguamento della viabilità e quelle funzionali alla realizzazione dell'impianto saranno rimosse ed i luoghi saranno ripristinati come ante operam.


La presente relazione tecnica ha per oggetto lo studio delle interferenze elettromagnetiche delle linee elettriche in Media Tensione, che dovranno erigersi a seguito dell'approvazione del progetto eolico, con le condotte dell'Acquedotto Pugliese S.p.A.

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>4 di 17 |
|--|--|---|--|

## 2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Di seguito si elencano i principali riferimenti normativi, in forma non esaustiva, ad utilizzo per le necessarie valutazioni del rischio di folgorazione e/o di danno e disturbo a cose e persone.

- **CEI EN 50443:** Effetti delle interferenze elettromagnetiche sulle tubazioni causate da sistemi di trazione elettrica ad alta tensione in corrente alternata e/o da sistemi di alimentazione ad alta tensione in corrente alternata;
- **Linea Guida CIGRE' n. 95:** Guide on the influence of high voltage AC power systems on metallic pipelines 1995;
- **CEI 103-6:** Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto;
- **CEI EN 50522:** Messa a terra degli impianti a tensione superiori a 1 kV in c.a.;
- **CEI 11-1:** Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata;
- **DPCM del 17/04/2008:** Regola tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto;
- **Norme interne:** Disciplinare AQP.

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>5 di 17 |
|--|--|---|--|

### 3. OGGETTO E SCOPO DELLA RELAZIONE ELETTRROMAGNETICA

La presente relazione tecnica ha per oggetto lo studio delle interferenze elettromagnetiche delle linee elettriche in Media Tensione, di proprietà della Società Repower, con le condotte dell'Acquedotto Pugliese S.p.A.

Lo studio delle interferenze elettromagnetiche ha lo scopo di analizzare le eventuali zone di pericolo entro le quali sono richiesti particolari misure di protezione contro la fulminazione di persone e danni, nonché disturbi al sistema interferito, rispettando i provvedimenti organizzativi per la tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori, ai sensi del D. Lgs. 81 del 09/04/2008.

Lo studio delle interferenze elettromagnetiche sarà eseguito in conformità alla Norma CEI EN 50443 che fornisce i limiti relativi all'interferenza elettromagnetica prodotta da linee elettriche in corrente alternata su tubazioni metalliche.

La presente relazione è basata sui seguenti presupposti:

- l'impianto interferente e quello interferito siano interferenti secondo le grandezze caratteristiche di progetto (funzionamento normale e/o esercizio ordinario);
- l'impianto interferente e quello interferito siano interferenti secondo le grandezze fuori progetto (funzionamento in caso di guasto).

Si presuppone inoltre che:

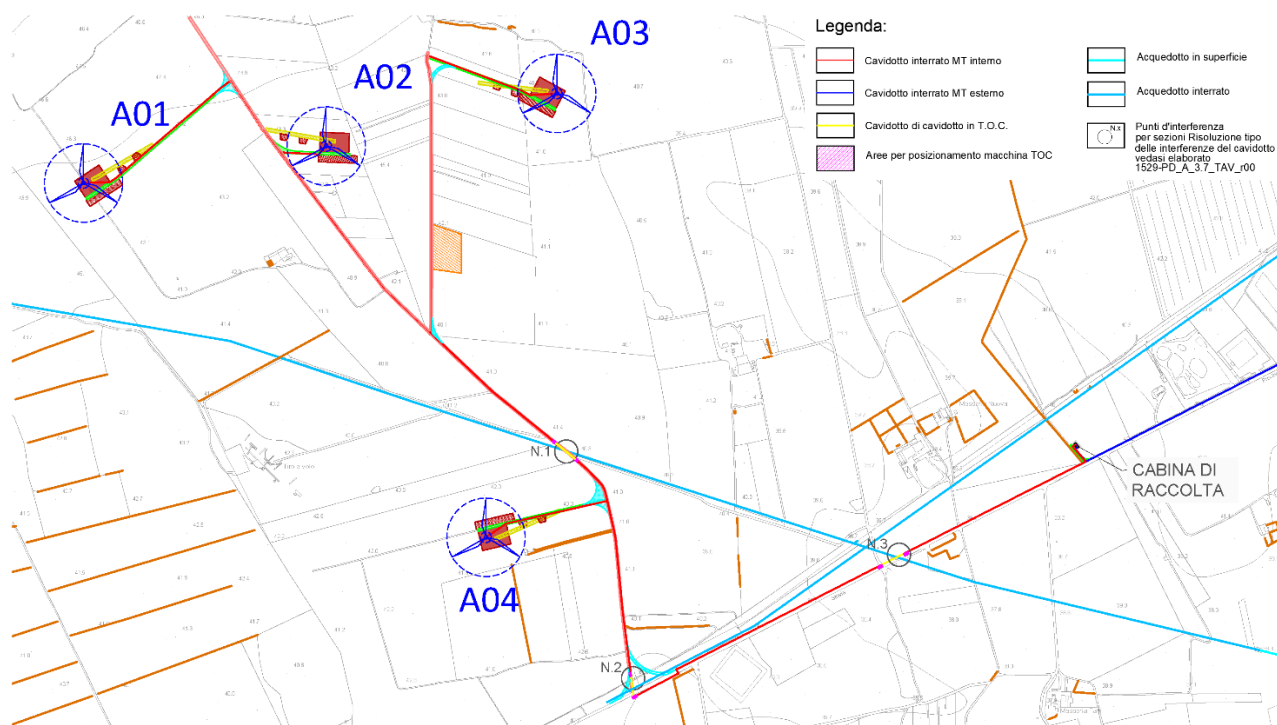
- l'impianto interferito sia continuamente sottoposto a controllo e sorveglianza attraverso le misure puntuali atte a verificare la corrispondenza di quanto calcolato con le reali condizioni di esercizio, in base alle variazioni periodiche dei carichi di rete;
- che il personale addetto all'esercizio e alla manutenzione dell'impianto interferito sia informato dei pericoli presenti negli impianti, sia addestrato e fornito di mezzi adeguati alle attività di competenza, in particolare, l'avvicinarsi a distanze inferiori a quelle previste dalle vigenti disposizioni di legge (artt. 83 e 117 del D.lgs. 81/08 e D. lgs. 106/09) al sistema interferente.



#### 4. LOCALIZZAZIONE DELLE INTERFERENZE TRA LE DUE INFRASTRUTTURE

In “Figura 1” sono rappresentate le due infrastrutture e le relative interferenze indicate con “N.1”-“N.2”-“N.3”. Come si evince dalla figura sotto riportata, il tracciato del cavidotto MT impatta con due condotte e precisamente le interferenze individuate dall’Acquedotto Pugliese sono due:

- 1) con il vettore idrico denominato “Acquedotto del Pertusillo-Sinni” in corrispondenza delle coordinate 40.438 – 17.897, costituita da condotta in cemento del dn. 1900;
- 2) con nr.3 condotte parallele, in corrispondenza delle coordinate 40.436 – 17.890, costituite:
  - dal vettore denominato RADDOPPIO SIFONE LECCESE RAMO ADRIATICO, con in acciaio del DN 700, spessore circa 10mm;
  - dal vettore denominato SIFONE LECCESE - RAMO ADRIATICO in cemento armato del dn. 900;
  - suburbana di competenza Struttura Territoriale AQP Taranto/Brindisi, costituito da condotta in acciaio del DN 350.

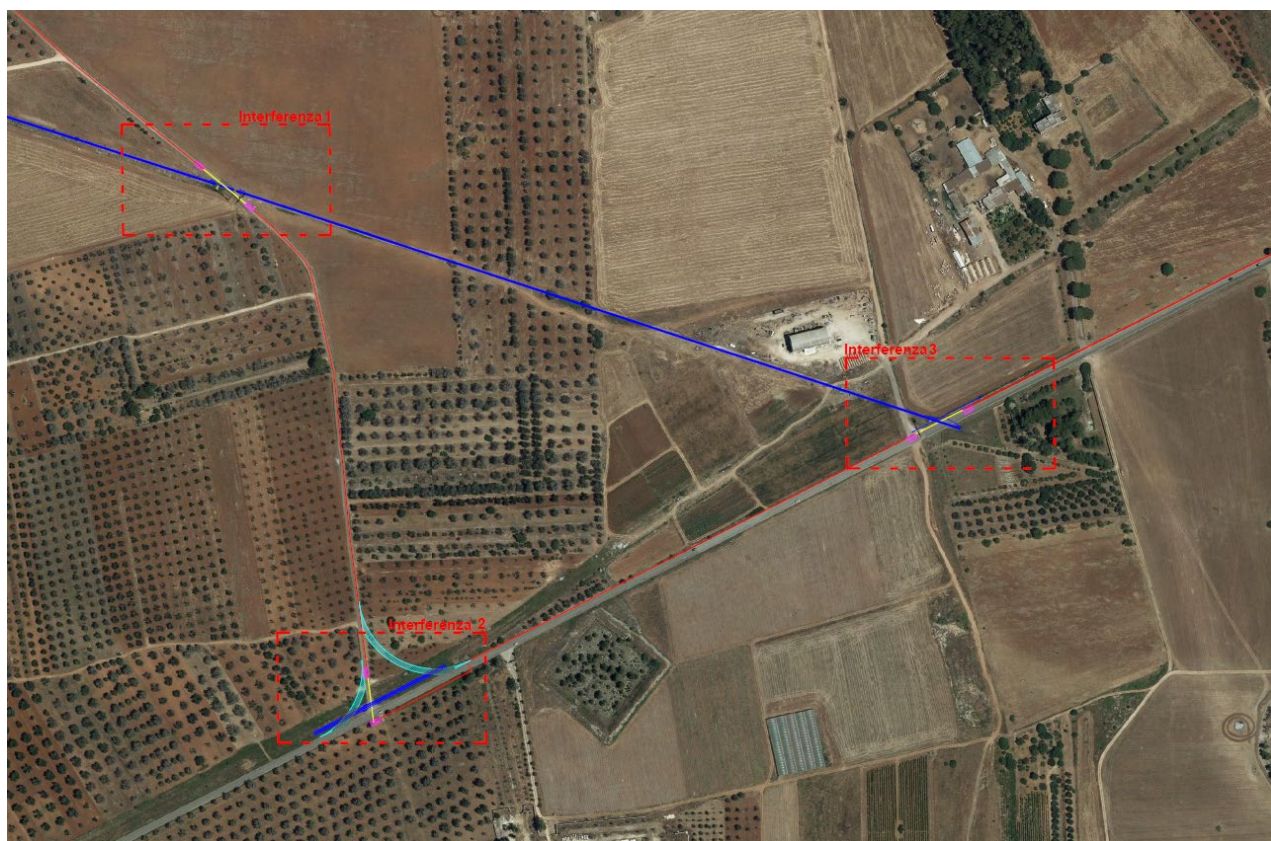


**Figura 1 - Localizzazione geografica dell'area interessata dalle interferenze con la condotta di acquedotto**

In “Figura 1”, inoltre, è presente anche l'interferenza “N.1” non citata dall’ Acquedotto Pugliese S.p.A, ma considerata nel presente studio, poiché anche in questo punto, il cavidotto MT interferisce con il vettore idrico denominato “Acquedotto del Pertusillo-Sinni”.

In “Figura 2” è riportata in dettaglio la planimetria su ortofoto con individuazione dei punti di interferenze.





*Figura 2 - Inquadrimento su ortofoto delle interferenze del cavidotto MT.*

#### 4.1. Tipi di accoppiamenti da considerare

Le norme CEI EN 50443 specificano i tipi di accoppiamento da considerare nella condizione di normale esercizio della linea elettrica in c.a. e nella condizione di guasto della linea elettrica in c.a. Per una qualsiasi tubazione metallica interrata vale quanto segue:

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Accoppiamento induttivo</b>  | Condizione di normale esercizio della linea elettrica in c.a. |
| <b>Accoppiamento conduttivo</b> |   |
| <b>Accoppiamento induttivo</b>  | Condizione di guasto della linea elettrica in c.a.            |
| <b>Accoppiamento conduttivo</b> |   |

L'accoppiamento conduttivo deve essere considerato in caso di attraversamento o avvicinamento ad una distanza minore di 20 m.



## 4.2. Effetti dell'interferenza da considerare

Le norme CEI EN 50443 specificano gli effetti di interferenza da considerare, nella condizione di normale esercizio e nella condizione di guasto della linea elettrica in c.a. Devono essere valutati i seguenti risultati d'interferenza:

- a) per il pericolo alle persone che vengono in contatto diretto o attraverso parti conduttrici con il sistema di tubazioni metalliche o con le apparecchiature connesse, devono essere valutate, in condizioni di normale esercizio ed in condizioni di guasto, la tensione verso terra della tubazione e la differenza di potenziale sui giunti isolanti.
- b) per i danneggiamenti alle tubazioni o alle apparecchiature connesse, devono essere valutate, in condizioni di normale esercizio ed in condizioni di guasto, la tensione verso terra della tubazione e la differenza di potenziale sui giunti isolanti.
- c) per i disturbi sulle apparecchiature elettriche/elettroniche connesse alle tubazioni, deve essere valutata, nella sola condizione di normale esercizio, la tensione sulle apparecchiature elettriche/elettroniche in questione, nei punti di connessione.

## 4.3. Limiti delle tensioni indotte

La Norma CEI EN 50443 nella Tabella 3, indica, in caso di guasto, i limiti per la tensione, per diverse durate di tempo di guasto, causata dall'interferenza in relazione al pericolo per le persone:


| <b><i>Durata del guasto [s]</i></b> | <b><i>Tensione d'interferenza (valore efficace)</i></b><br><b><i>[V]</i></b> |
|-------------------------------------|--|
| $t \leq 0.1$                        | 2000   |
| $0.1 < t \leq 0.2$                  | 1500   |
| $0.2 < t \leq 0.35$                 | 1000   |
| $0.35 < t \leq 0.5$                 | 650  |
| $0.5 < t \leq 1$                    | 300  |
| $1 < t \leq 3$                      | 150  |
| $t > 3$                             | 60   |

**Tabella 1 Limiti per le tensioni d'interferenza relative al pericolo per le persone istruite (nel campo elettrico)**

Le tensioni ammissibili fissate in "Tabella 1", sono in accordo con le situazioni e le procedure di lavoro tipiche. Nel caso di situazioni più severe (condizioni di bagnato, spazi di lavoro ristretti, operazioni di riparazione, ecc.) o nel caso in cui persone comuni (cioè né persone istruite nel campo elettrico né persone esperte) possano venire a contatto con la tubazione in condizioni di esercizio, dovrebbero essere prese in considerazione precauzioni aggiuntive (ad esempio la riduzione della tensione ammissibile, l'utilizzo di rivestimenti isolanti, l'adozione di speciali istruzioni per il personale, ecc.).

**Ten Project S.r.l.**

Sede legale ed operativa: Località Chianarile Z.I., 82010 San Martino Sannita (BN) - Sede Operativa: Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>9 di 17 |
|--|--|---|--|

In **condizioni di esercizio** la tensione d'interferenza (valore efficace) del sistema di tubazioni verso terra o ai capi dei giunti isolanti in ogni punto normalmente accessibile ad una qualunque persona non deve superare i 60 V.

In **condizioni di guasto** la tensione d'interferenza (valore efficace) del sistema di tubazioni verso terra o ai capi dei giunti isolanti in ogni punto normalmente accessibile alle persone istruite (nel campo elettrico) non deve superare, in funzione della durata del guasto, i valori riportati in "Tabella 1".

#### **4.4. Danni alle tubazioni**

Come specificato dalle Norme CEI EN 50443 in caso di guasto per una durata minore di 1s, la tensione che si stabilisce tra tubazione metallica e terra remota causata dall'interferenza non deve superare i 2000 V. In condizioni ordinarie di esercizio la tensione che si stabilisce tra tubazione metallica e terra remota causata dall'interferenza non deve superare i 60 V.

#### **4.5. Disturbi alle apparecchiature connesse al sistema di tubazioni**

Come specificato dalle Norme CEI EN 50443, alla frequenza fondamentale può essere tollerata una tensione che si stabilisce tra tubazione metallica e terra remota causata dalle interferenze di 60 V.

## 5. SITUAZIONI D'INTERFERENZA E CONDIZIONI DI VERIFICA

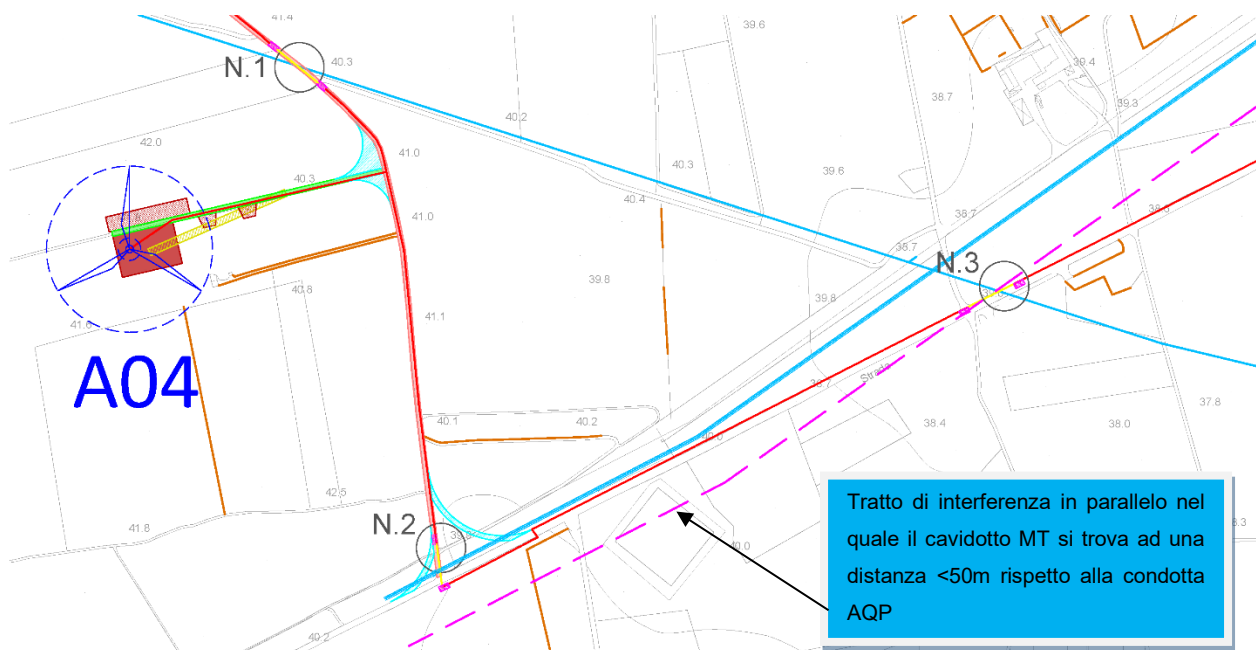
### 5.1. Interferenze

Ai fini della situazione d'interferenza, di seguito, si riportano le caratteristiche progettuali dei cavidotti MT interferenti.

| Interferenza | Conduttore | Tensione | Corrente | Diametro    | Lungh.m      | Diametro Nominale Tubazione AQP | Profondità tubazione AQP |
|--------------|------------|----------|----------|-------------|--------------|---------------------------------|--------------------------|
| N.1          | Alluminio  | 30 kV    | 273 A    | 2x3x(1x400) | Intersezione | 1900                            | 2,10 m                   |
| N.2          | Alluminio  | 30 kV    | 273 A    | 2x3x(1x400) | Intersezione | 900                             | 1,40 m                   |
| N.3          | Alluminio  | 30 kV    | 273 A    | 2x3x(1x400) | Intersezione | 1900                            | 2,10 m                   |
| N.2          | Alluminio  | 30 kV    | 273 A    | 2x3x(1x400) | 600 m        | 900                             | 1,40 m                   |

**Tabella 2 Caratteristiche progettuali delle linee elettriche interferenti**

In "Tabella 2" sono definite le interferenze considerate nello studio di compatibilità elettromagnetica. Per l'interferenza "N.2" oltre all'interferenza perpendicolare è stato considerato il parallelo che il cavidotto MT, per circa 600 m, ha con le tre condotte definite nel paragrafo 4 punto 2. Nel tratto in oggetto, infatti, la distanza minima tra le condotte e il cavidotto è inferiore a 50 m.



**Figura 3 - Dettaglio sull'interferenza "N.2" dovuta al parallelo del cavidotto MT con le condotte AQP**



PROFILO LONGITUDINALE TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA  
scalo 1:200

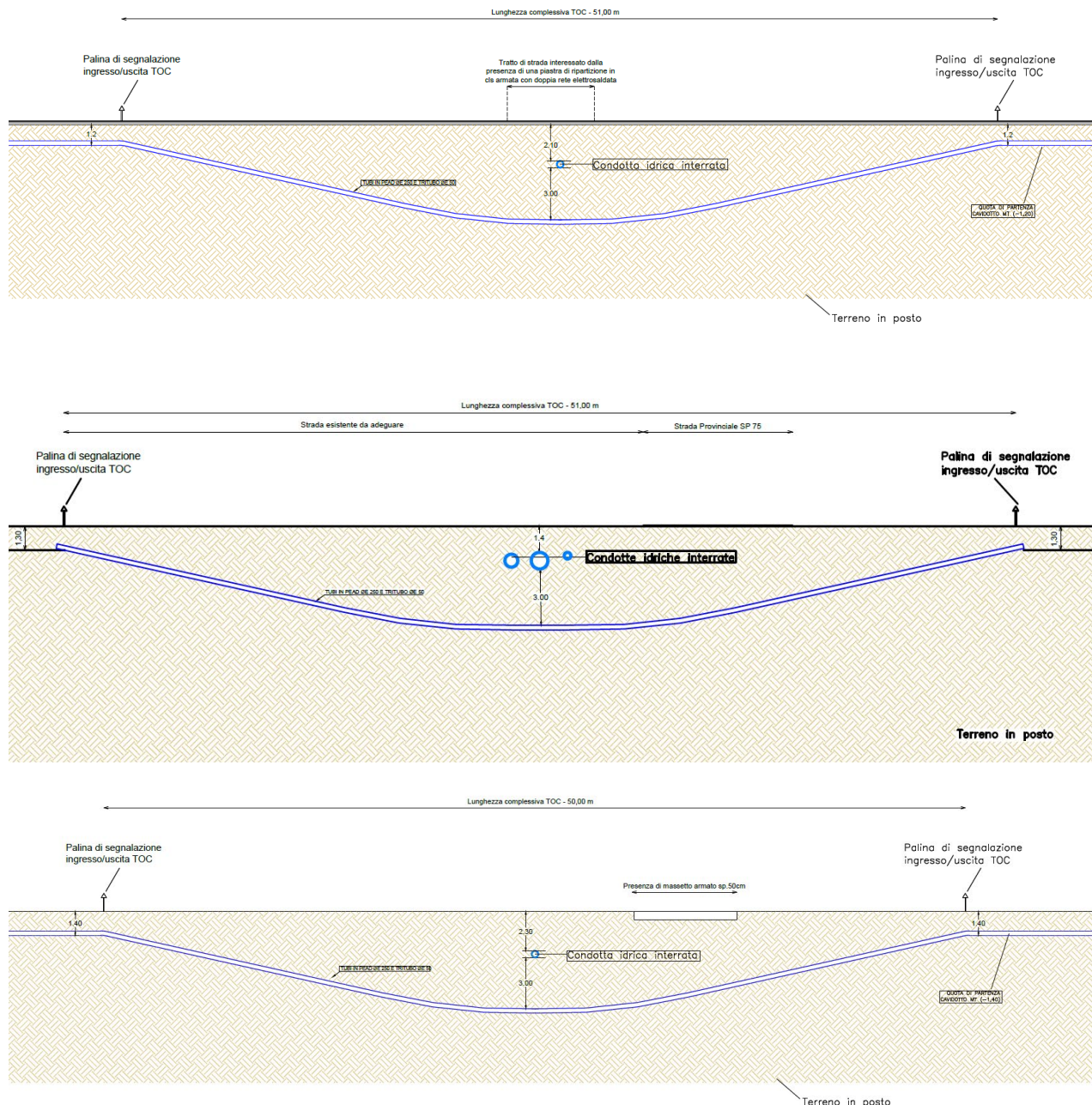



Figura 4 - Individuazione delle interferenze (in ordine N.1, N.2 e N.3) e modalità di risoluzione in TOC distanza minima 3 m

## 5.2. Verifiche e descrizione dei fenomeni elettromagnetici di esercizio

Come prescritto dalle Norme CEI EN 50443, la distanza da considerare per l'interferenza, tra la linea elettrica interrata in c.a. e la tubazione metallica, è di 50m.

Ten Project S.r.l.

Sede legale ed operativa: Località Chianarile Z.I., 82010 San Martino Sannita (BN) - Sede Operativa: Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>12 di 17 |
|--|--|---|---|

Mentre non si eseguirà la verifica con accoppiamento conduttivo giacchè l'attraversamento avviene a distanza maggiore di 20 m.

Le linee elettriche possono funzionare in condizione ordinaria di esercizio o, in caso eccezionale, in condizione di guasto.

Nel seguito vengono individuate quali interferenze elettromagnetiche possono verificarsi sulla condotta. Le condizioni di interferenza possono aver luogo nelle condizioni di:

1. ordinario esercizio;
2. guasto monofase a terra.

Nelle condizioni di esercizio ordinario le linee trifasi costituiscono, con buona approssimazione, un sistema simmetrico nelle tensioni ed equilibrato nelle correnti. Per distanze molto maggiori della distanza tra i conduttori di linea, il sistema equilibrato di correnti crea un campo magnetico variabile quasi nullo per cui anche una tensione indotta in quel punto risulta pressoché trascurabile. Tuttavia il calcolo verrà eseguito trascurando l'effetto di compensazione, per porsi nel caso peggiore possibile. Le condizioni di funzionamento delle linee elettriche interferenti sono rilevate in "Tabella 2" e in "Figura 4".

Per la corrente totale di guasto delle linee elettriche si è presa in considerazione la corrente di guasto monofase a terra nel punto di vicinanza della linea elettrica con la condotta. I valori delle correnti di guasto associati agli impianti con neutro isolato da terra e risonanti, sono generalmente bassi e non determinano pericoli o rischi significativi di danno o disturbo.

La norma CEI 50443, presupposto quanto soprascritto, prevede, nel caso in esame, il calcolo della tensione indotta e la successiva verifica in quanto si riscontra effettivamente l'interferenza.

### 5.3. Metodo di calcolo delle tensioni indotte


I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche e la loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m). L'intensità dei campi è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Essi vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in Tesla. I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza. Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune che ne vengono facilmente attraversati.

Il calcolo del campo elettrico e del campo magnetico generati da una linea elettrica composta da un certo numero di conduttori è dettato dalla norma CEI 211-4.

Tuttavia, nel caso di linee interrate la valutazione vale solo per il campo magnetico, in quanto, in linea con quanto espresso dalla norma CEI 211-4, il campo elettrico per linee in cavo interrato può essere considerato trascurabile per la presenza degli schermi dei cavi, del terreno e dei materiali costituenti le trincee e i cunicoli dei cavidotti.



|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>13 di 17 |
|--|--|---|---|

L'elettrodotto è attraversato da tre correnti all'istante  $t$ , esse generano, nello spazio circostante, un campo di induzione magnetica  $B_T$  che è proporzionale, per la prima legge di Laplace, alle correnti circolanti nei conduttori dell'elettrodotto.

L'induzione magnetica  $B_T$  concatenandosi con l'acquedotto, nel tratto di parallelismo, crea un flusso  $\Phi$  proporzionale alle correnti circolanti nei conduttori dell'elettrodotto.

Per cui si può porre:

$$B_T = \frac{\mu_0 i_t}{2\pi d}$$

Dove:

- $\mu_0$  è la permeabilità magnetica nel vuoto;
- $d$  è la minima distanza tra l'elettrodotto e l'acquedotto;
- $i_t$  è il contributo totale delle tre correnti  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  nella determinazione di  $B_T$

Nel concatenamento tra i due conduttori, cavidotto e tubazione metallica, si suppone che il coefficiente di mutua induzione sia simmetrico fra i due circuiti.

Se l'induzione magnetica  $B_T$  coinvolgesse un conduttore avvolto da spire, il potenziale  $V$  su di esso indotto sarebbe:

$$V = 2\pi \cdot f \cdot N \cdot S \cdot B_T$$

Dove:

- $f$  è la frequenza di rete;
- $N$  è il numero di spire coinvolte dal campo  $B$ ;
- $S$  è la sezione delle spire.

Ovviamente la condotta in tubazione metallica non si comporta come una spira, per cui si assumeranno nel calcolo le ipotesi di seguito precisate:

- 1) **In caso di condotte parallele al cavidotto MT:** la schematizzazione di calcolo prevede una spira unica (nel calcolo quindi  $N = 1$ ), la cui sezione concatenata al campo generato dal cavo aereo, sarà calcolata secondo la seguente:

$$S = D_C \cdot L_C$$


Dove:

$D_C$  è il diametro massimo del tratto di condotta parallela all'elettrodotto;

$L_C$  è la lunghezza della condotta per il tratto parallelo all'elettrodotto.

- 2) **In caso di condotte pressoché perpendicolari alla linea aerea:** la schematizzazione di calcolo prevede un numero di spire per le quali il campo si possa ritenere pressoché uniforme (nel calcolo orientativamente  $N = 100$ , valore ampiamente cautelativo), la cui sezione concatenata al campo generato dal cavidotto sarà calcolata secondo la seguente:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D_C^2$$

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>14 di 17 |
|--|---|---|---|

Dove:

$D_c$  è il diametro massimo del tratto della condotta in prossimità dell'attraversamento.

#### 5.4. Interferenze parallele alla condotta

Per le condotte con sviluppo parallelo al cavidotto, la schematizzazione di calcolo prevede una spira unica (nel calcolo quindi  $N = 1$ ).

Nel caso in esame la condotta idrica percorre un tratto parallelo ai cavidotti MT, per una lunghezza totale di circa  $L=600$  m ed una distanza nel punto più vicino di circa  $D=4$  m. *Di seguito si riportano i dati e le risultanze del calcolo.*

| Dati   | simbolo  | valore      | unità |
|--|----------|-------------|-------|
| Corrente nominale                                    | $I_n^*$  | 273         | A     |
| Corrente di guasto monofase a terra (di picco)       | $I_p^*$  | 249         | A     |
| Distanza minima fra le infrastrutture parallele      | $d$      | 4           | m     |
| Frequenza di rete                                    | $f$      | 50          | Hz    |
| Lunghezza del parallelismo                           | $L$      | 600         | m     |
| Diametro medio della condotta                        | $D_{mc}$ | 0,9         | m     |
| Permeabilità magnetica                               | $\mu_0$  | 1,25664E-06 | H/m   |
| <b>Risultati</b>                                     |          |             |       |
| Induzione magnetica in condizioni di esercizio       | $B_t$    | 0,0000273   | T     |
| Potenziale indotto in condizioni di esercizio        | $V$      | 4,63133589  | V     |
| Induzione magnetica in condizioni di guasto monofase | $B_{tg}$ | 0,0000249   | T     |
| Potenziale indotto in condizioni di guasto monofase  | $V_g$    | 4,224185482 | V     |

**Tabella 3 Calcoli eseguiti per l'interferenza con sviluppo parallelo "N.2"**

\* valore ottenuto dallo studio di Load Flow e analisi di cortocircuito monofase a terra

**CONDIZIONE DI VERIFICA SODDISFATTA**

#### 5.5. Interferenze perpendicolari alla condotta

Per le condotte con sviluppo pressoché perpendicolare al cavidotto, la schematizzazione di calcolo prevede un numero di spire per le quali il campo si possa ritenere pressoché uniforme (nel calcolo orientativamente  $N = 100$ , valore ampiamente cautelativo).


##### 5.5.1 Calcolo interferenza Cavidotto MT "N.1" e "N.3"

Le interferenze "N.1" e "N.3" con il vettore idrico denominato "Acquedotto del Pertusillo-Sinni" risultano essere interferenze pressoché perpendicolare. Nel contesto specifico, i calcoli sono stati eseguiti soltanto per l'interferenza denominata "N.3". La verifica dell'interferenza "N.1" è automaticamente soddisfatta in seguito

**Ten Project S.r.l.**

Sede legale ed operativa: Località Chianarile Z.I., 82010 San Martino Sannita (BN) - Sede Operativa: Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)



|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>15 di 17 |
|--|---|---|---|

alla verifica della prima, poiché il cavidotto MT interessato dall'interferenza “N.1” conduce una corrente minore, trovandosi prima dell'incrocio con la turbina A04. Di seguito si riportano i dati e i risultati del calcolo.

| Dati   | simbolo  | valore      | unità |
|--|----------|-------------|-------|
| Corrente nominale                                    | $I_n^*$  | 273         | A     |
| Corrente di guasto monofase a terra (di picco)       | $I_p^*$  | 249         | A     |
| Distanza minima fra le infrastrutture intersecanti   | d        | 3           | m     |
| Frequenza di rete                                    | f        | 50          | Hz    |
| Numero di spire a induzione uniforme                 | N        | 100         |       |
| Diametro medio della condotta                        | $D_{mc}$ | 1,9         | m     |
| Permeabilità magnetica                               | $\mu_0$  | 1,25664E-06 | H/m   |
| <b>Risultati</b>                                     |          |             |       |
| Induzione magnetica in condizioni di esercizio       | $B_t$    | 0,0000364   | T     |
| Potenziale indotto in condizioni di esercizio        | V        | 3,242263742 | V     |
| Induzione magnetica in condizioni di guasto monofase | $B_{tg}$ | 0,0000332   | T     |
| Potenziale indotto in condizioni di guasto monofase  | $V_g$    | 2,957229567 | V     |

**Tabella 4 Calcoli eseguiti per l'interferenza perpendicolare “N.1” e “N.3”**

\* valore ottenuto dallo studio di Load Flow e analisi di cortocircuito monofase a terra

#### CONDIZIONE DI VERIFICA SODDISFATTA


##### 5.5.2 Calcolo interferenza Cavidotto MT “N.2”

L'interferenza “N.2” con le 3 condotte parallele costituite:

- dal vettore denominato RADDOPPIO SIFONE LECCESE RAMO ADRIATICO, con in acciaio del DN 700, spessore circa 10mm;
- dal vettore denominato SIFONE LECCESE - RAMO ADRIATICO in cemento armato del dn. 900;
- suburbana di competenza Struttura Territoriale AQP Taranto/Brindisi, costituito da condotta in acciaio del DN 350;

risulta essere perpendicolare.

In questo caso specifico, poiché sono presenti tre condotte separate che si sviluppano in parallelo, la verifica si basa sull'analisi della condotta avente il diametro nominale (DN) maggiore. Questa specifica situazione è quella che genera il potenziale indotto più elevato, rendendo quindi possibile condurre l'analisi nelle circostanze più sfavorevoli. Pertanto, tenendo conto di ciò, l'analisi delle condizioni sopra indicate elimina la necessità di esaminare ulteriormente le altre condutture. Di seguito si riportano i dati e i risultati del calcolo.


|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>16 di 17 |
|--|---|---|---|

| Dati   | simbolo  | valore      | unità |
|--|----------|-------------|-------|
| Corrente nominale                                    | $I_n^*$  | 273         | A     |
| Corrente di guasto monofase a terra (di picco)       | $I_p^*$  | 249         | A     |
| Distanza minima fra le infrastrutture intersecanti   | d        | 3           | m     |
| Frequenza di rete                                    | f        | 50          | Hz    |
| Numero di spire a induzione uniforme                 | N        | 100         |       |
| Diametro medio della condotta                        | $D_{mc}$ | 0,9         | m     |
| Permeabilità magnetica                               | $\mu_0$  | 1,25664E-06 | H/m   |
| <b>Risultati</b>                                     |          |             |       |
| Induzione magnetica in condizioni di esercizio       | $B_t$    | 0,0000364   | T     |
| Potenziale indotto in condizioni di esercizio        | V        | 0,72748854  | V     |
| Induzione magnetica in condizioni di guasto monofase | $B_{tg}$ | 0,0000332   | T     |
| Potenziale indotto in condizioni di guasto monofase  | $V_g$    | 0,663533504 | V     |

**Tabella 5 Calcoli eseguiti per l'interferenza perpendicolare "N.2"**

\* valore ottenuto dallo studio di Load Flow e analisi di cortocircuito monofase a terra

**CONDIZIONE DI VERIFICA SODDISFATTA**

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  <b>TENPROJECT</b> | <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA'<br/>ELETTRROMAGNETICA E CALCOLO<br/>INTERFERENZA CON CONDOTTE<br/>AQP</b> | Codice<br>Revisione<br>Data creazione<br>Data ultima modif.<br>Pagina | GE.GGN02.INT.AQP.05.R00<br>00<br>08/01/2024<br>10/01/2024<br>17 di 17 |
|--|--|---|---|

## 6. CONCLUSIONI

Le modalità di funzionamento delle reti elettriche MT dell'impianto eolico generano tensioni indotte sull'acquedotto che **rientrano nei limiti imposti dalle normative nazionali vigenti**, come si evince dalle tabelle precedenti. In caso di cortocircuito le protezioni in cabina assicurano l'isolamento elettrico del guasto. Tuttavia, stante i modesti valori delle tensioni indotte, non risulta strettamente obbligatorio ipotizzare drastici interventi di mitigazione per gli effetti degli accoppiamenti elettromagnetici.

In fase di esercizio sarà comunque d'obbligo, durante i normali controlli di conduzione e/o manutenzione sulla tubazione interferita e/o sulle apparecchiature elettriche connesse ad essi, utilizzare D.P.I. (es. calzature, guanti isolanti) contro scariche elettriche.

Il personale addetto all'esercizio e alla manutenzione dell'impianto interferito dovrà ricevere una formazione specializzata riguardante i potenziali pericoli presenti negli impianti di M.T. Questa formazione includerà sia elementi teorici che pratici, focalizzandosi sulle norme comportamentali e sull'uso corretto dei mezzi appropriati per svolgere le attività previste. In particolare, si presterà particolare attenzione all'avvicinarsi a distanze inferiori rispetto a quanto previsto dalle leggi vigenti (come gli articoli 83 e 117 del D.lgs. 81/08 e D.lgs. 106/09) al sistema interferente.

Si riportano, di seguito, gli interventi consigliati per una migliore protezione della condotta in acciaio/cemento armato. Si ritiene di consigliare il miglioramento dell'isolamento elettrico della condotta nei punti potenzialmente interessati dalle correnti indotte mediante:

- applicazione di vernice ricca di zinco o zinco metallico applicato a spruzzo (con spessori secondo UNI EN 545), in caso di rivestimento di zinco o sua lega;
- posa in opera di nastri di polietilene e manicotti termorestringenti di polietilene, in caso di rivestimento preesistente di polietilene;
- applicazione di resina poliuretanica, in caso di rivestimento preesistente di poliuretano;
- in alternativa, posa in opera di limitatori di sovratensione (SPD), posizionati in punti opportuni della condotta, stabiliti caso per caso da Acquedotto Pugliese, al fine di collegare la tubazione a terra, limitando in tal modo i valori di tensione generati sulla condotta in condizioni di guasto della linea elettrica;
- realizzazione di connessioni di messa a terra, al fine di ridurre le tensioni indotte, in condizioni di guasto e in condizioni ordinarie di esercizio;
- in alternativa alle precedenti tecniche di isolamento, adozione di tratti di condotta preesistente con nuovi tratti costituiti da tubazioni in ghisa sferoidale con rivestimento esterno in polietilene o poliuretano.