

REGIONE  
LAZIO



COMUNE DI  
ARDEA



COMUNE DI  
APRILIA





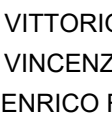
**Il Committente:**

**NP Ardea Wind**

**NP Ardea Wind S.r.l.**  
Via Galleria Passerella, 2 - 20122 Milano (MI)  
P.Iva: 12753720965/ Rea: MI - 2682010  
Pec: npardeawind@legalmail.it

**Il Progettista:**

**Agon engineering**  **Entrope srl**  **Seahorse Wind** 

 **dott. ing. VITTORIO RANDAZZO**  
 **dott. ing. VINCENZO DI MARCO**  
 **dott. ENRICO FORCUCCI**

**Titolo del progetto:**

**PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"**

Documento:

**PROCEDURA DI SCOPING**

N. Documento:

**REL\_05**

ID PROGETTO:

TIPOLOGIA:

FORMATO:

**A4**

TITOLO:

**RELAZIONE ELETTRICA**

FOGLIO:

SCALA:

NA:

Rev:	Data	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	12/12/2023		L.C.	V.D.	V.R.



	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 2

## INDICE

1.	LISTA DELLE FIGURE .....	3
2.	LISTA DELLE TABELLE.....	4
3.	PREMESSA .....	5
4.	DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	6
4.1.	PANORAMICA DEL PROGETTO .....	10
4.2.	DATI AMBIENTALI.....	11
5.	DESCRIZIONE DELLE OPERE ELETTRICHE.....	12
5.1.	AEROGENERATORI .....	12
5.1.1.	COMPONENTI ELETTRICI E TECNOLOGICI A SERVIZIO DEGLI AEROGENERATORI.....	15
5.1.2.	POSIZIONAMENTO DELLE TURBINE .....	17
5.2.	STAZIONI DI TRASFORMAZIONE OFFSHORE (SdT) .....	19
5.3.	CAVI ELETTRICI DI COLLEGAMENTO.....	21
5.3.1.	CARATTERISTICHE DEL CAVO DINAMICO MARINO A 66 KV .....	22
<b>5.4.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL CAVO MARINO A 220 kV .....</b>	<b>23</b>
<b>5.5.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL CAVO TERRESTRE A 220 KV.....</b>	<b>25</b>
<b>5.6.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL CAVO TERRESTRE A 380 KV.....</b>	<b>26</b>
<b>5.6.1.</b>	<b>CALCOLO PRELIMINARE DELLE CORRENTI .....</b>	<b>26</b>
<b>5.7.</b>	<b>APPROCCIO ALLA COSTA.....</b>	<b>27</b>
<b>5.8.</b>	<b>PUNTO DI GIUNZIONE TERRESTRE, STAZIONE DI SEZIONAMENTO E DI COMPENSAZIONE DELLA POTENZA REATTIVA.....</b>	<b>27</b>
6.	STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE 220/380 kV ONSHORE – SdT “D”.....	32
7.	IMPIANTO DI STORAGE DI POTENZA COMPLESSIVA PARI A 200 MW .....	35
8.	CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DAI CAVI .....	42

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 3

## 1. LISTA DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento area di impianto.....	5
Figura 2 - Schema logico del parco .....	8
Figura 3 - Schema elettrico delle WTG (in rosse stringhe, in verde i cavi 66 kV, in blu le SdT e in viola i cavi marini 220 kV).....	9
Figura 4 - Turbina Vestas 236-14/15 MW .....	14
Figura 5 Sezione tipica di SdT offshore .....	20
Figura 6 Layout della SdT "D" con annesso Storage .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 7 - Cavo sottomarino 66 kV con conduttori di rame.....	23
Figura 8 - Esempio di nave posa cavo .....	25
Figura 9 - Giunzione mare terra .....	28
Figura 10 GIS tipo per una tensione di esercizio fino a 245 kV.....	29
Figura 11 - dettaglio di uno dei punti di compensazione della potenza reattiva .....	30
Figura 12 - Stazione con fossa giunti, sezionamento e compensazione potenza reattiva su ortofoto .....	31
Figura 13 - Configurazione cavi terrestri 220 kV.....	32
Figura 14 Layout della SdT "D" con annesso Storage .....	33
Figura 15 - Inquadramento area Stazione di Trasformazione onshore con, in verde, il confine recintato: in blu l'area di storage; in arancio l'area di connessione e in viola la trasformazione 220/380 kV .....	34
Figura 15- Sistema di accumulo BESS (Battery Energy Storage System) .....	37
Figura 16 BESS - Container tipo.....	38
Figura 18 - Layout del sistema di accumulo BESS (Battery Energy Storage System) .....	42
Figura 18 - -- Modello di calcolo per più terne a trifoglio.....	47
Figura 18 - -- Modello di calcolo per più terne a trifoglio.....	51

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 4

## 2. LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1 - Dati generali aerogeneratore Vestas .....	15
Tabella 2 - Posizionamento dei singoli aerogeneratori.....	18
Tabella 3 - Valori limite fissati dal DPCM 08/07/2003 .....	43
Tabella 4 - Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m .....	49
Tabella 4 - Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m .....	53

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE “ARDEA”</p>			
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 5</p>

### 3. PREMESSA

Il presente elaborato descrive la progettazione elettrica preliminare di un impianto di produzione elettrica da fonte eolica di tipo *offshore floating* da realizzare al largo delle coste Laziali, antistante il comune di Ardea, avente una potenza nominale complessiva di 800 MW a cui si aggiunge un impianto di accumulo di 200 MW con capacità di 800 MWh.

L’area di impianto sarà ubicata al di fuori delle acque territoriali italiane, a circa 22 km dalla costa italiana, corrispondenti a circa 12 miglia nautiche. Il parco, comprensivo di un impianto storage di potenza pari a 200 MW, erogherà energia elettrica al sistema elettrico nazionale mediante connessione alla Rete di Trasmissione elettrica Nazionale (RTN). Per tale connessione è stata già rilasciata da Terna S.p.A. Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) con codice pratica 202202239 che prevede la connessione in antenna a 380 kV su futura Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea 380 kV “Roma Sud – Aprilia 380”

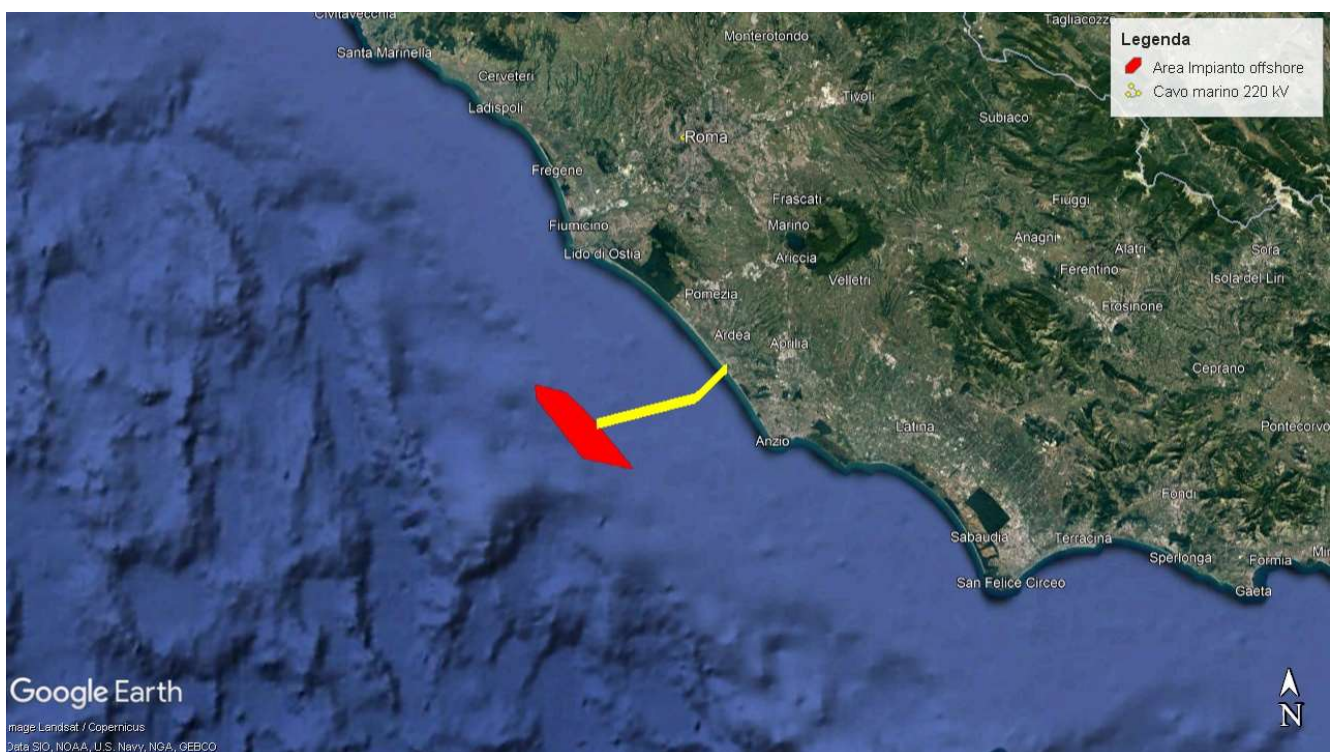


Figura 1 - Inquadramento area di impianto

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 6</p>

#### 4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il parco eolico *offshore* in progetto prevede, per la parte *offshore*, l'installazione di 54 aerogeneratori su fondazione galleggiante (*FOWT, Floating Offshore Wind Turbine*), di cui 44 aerogeneratori di potenza unitaria di 15 MW e 10 aerogeneratori di potenza unitaria di 14 MW. L'energia elettrica prodotta in bassa tensione da ciascuna turbina eolica verrà elevata alla tensione di 66 kV dal trasformatore presente all'interno della navicella. L'interconnessione tra le turbine sarà effettuata mediante cavo elettrico dinamico sottomarino a 66 kV, i cui nodi sono posizionati internamente alle torri eoliche. Dal punto di vista elettrico l'impianto eolico sarà suddiviso in 9 stringhe in cui le torri formano i nodi. Le stringhe, in gruppi di 3, faranno capo ognuna ad una propria Stazione di Trasformazione fissata al fondale tramite **Jacket** (struttura di acciaio tubolare a forma di traliccio con gambe ancorate al fondo marino per mezzo di pali) e su cui saranno successivamente posati i restanti moduli di produzione e servizi.

Saranno presenti n. 3 SdT *offshore*, denominate "A", "B" ed "C", che raccoglieranno l'energia prodotta dalle turbine (a 66 kV), la eleveranno alla tensione di 220 kV e la indirizzeranno verso la costa lungo un percorso di ca 24 km.

Approcciandosi alla costa i cavidotti provenienti dalle SdT si immetteranno in una fossa giunti che realizzerà la giunzione tra cavidotti marini e cavidotti terrestri, entrambi i tipi di cavidotto opereranno alla tensione di 220 kV.

Il punto di giunzione mare-terra sarà ubicato dentro una stazione, denominata Stazione di Giunzione e Compensazione SGC, che svolgerà anche funzione di sezionamento tramite interruttori compatti di tipo GIS, e da stazione di rifasamento grazie all'installazione di n.3 reattori, di tipo induttivo, con funzione di compensazione della potenza reattiva prodotta dall'energia che fluisce dai cavi.

In uscita dalla SGC si dipartirà il cavidotto terrestre in corrente alternata AT 220 kV, per una lunghezza di circa 12,7 km, fino al punto di connessione alla Stazione di Trasformazione onshore che eleverà la tensione al valore di 380 kV e realizzerà la connessione (tramite cavidotto interrato di lunghezza pari a circa 1,7 km) in antenna a 380 kV, su futura Stazione

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE “ARDEA”</p>			
	<p><b>RELAZIONE ELETTRICA</b></p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 7</p>

Elettrica (SE) di trasformazione 380/150 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea 380 kV “Roma Sud – Aprilia 380”.

È prevista inoltre la realizzazione di un sistema di accumulo di potenza complessiva pari a 200 MW da immettere in rete in caso di fabbisogno energetico.

Il funzionamento del parco eolico sarà gestito mediante sistema SCADA ed il controllo a distanza permetterà di gestire le turbine secondo le esigenze della Rete Elettrica Nazionale. A seguire si illustrano lo schema logico (Figura 2) e di collegamento (Figura 3) elettrico.



PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"



RELAZIONE ELETTRICA

12/12/2023

REV.1

Pag. 8

PARCO EOLICO OFFSHORE DI "ARDEA" - P<sub>n</sub> = 800 MW  
n.54 Turbine - Vestas V236-15.0-14.0 MW

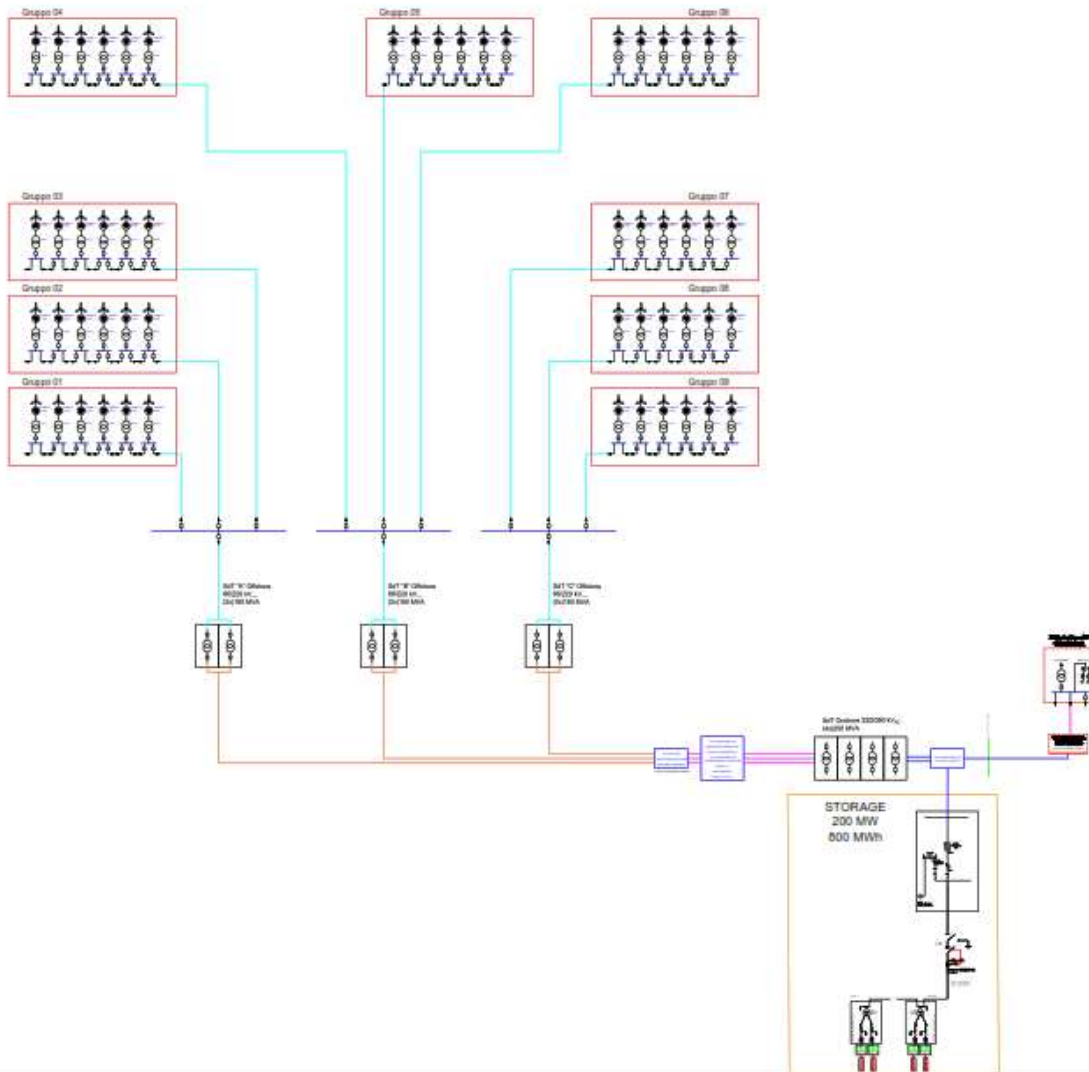


Figura 2 - Schema logico del parco

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</b>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 9

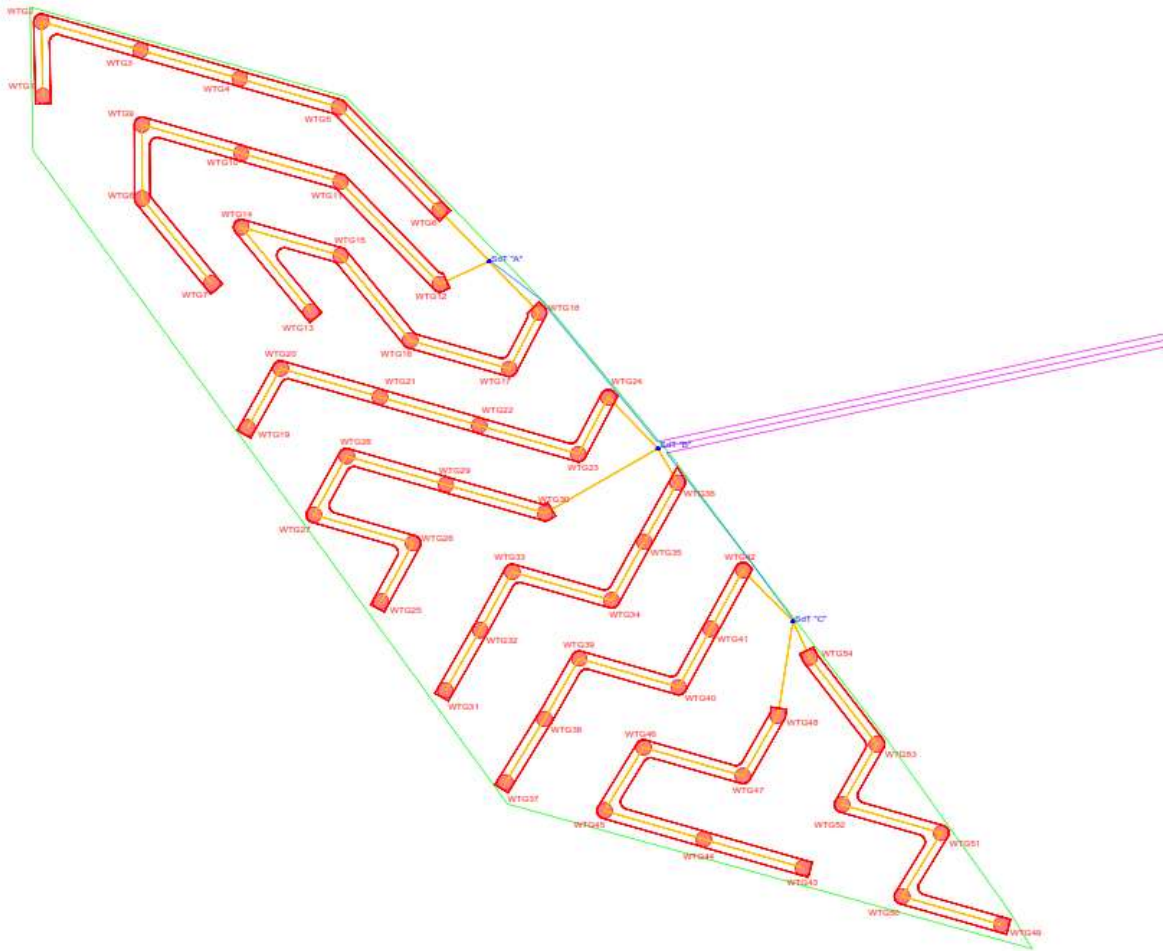


Figura 3 - Schema elettrico delle WTG (in rosse stringhe, in senape i cavi 66 kV, in blu le SdT e in viola i cavi marini 220 kV)

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 10</p>

## 4.1. PANORAMICA DEL PROGETTO

L'impianto eolico prevede l'installazione di 54 aerogeneratori su fondazioni galleggianti e sarà suddiviso in 9 stringhe di cui:

- Per la SdT "A":
  - n.3 stringhe da 5 aereogeneratori da 15 MW + 1 aereogeneratore da 14 MV, potenza di stringa 89 MW potenza totale 267 MW;
- Per la SdT "B":
  - n.3 stringhe da 5 aereogeneratori da 15 MW + 1 aereogeneratore da 14 MV, potenza di stringa 89 MW potenza totale 267 MW;
- Per la SdT "C":
  - n.2 stringhe da 5 aereogeneratori da 15 MW + 1 aereogeneratore da 14 MV, potenza di stringa 89 MW che, sommati, danno una potenza di 178 MW;
  - n.1 stringa da 4 aereogeneratori da 15 MW + 2 aereogeneratore da 14 MV, potenza di stringa 88 MW;

Le Stazioni di Trasformazione *offshore* (SdT) presentano il collettore elettrico di stringa e l'interfaccia tra l'impianto di produzione e la rete di trasmissione di energia elettrica verso la terra ferma. La tecnologia relativa alle turbine eoliche galleggianti permette di realizzare impianti distanti dalla costa su fondali profondi con impatti ambientali trascurabili. La tipologia realizzativa indicata consente il miglior sfruttamento della risorsa eolica in loghi particolarmente favorevoli altrimenti inutilizzabili a causa della profondità del fondale.

La Stazione di Giunzione e Compensazione, comprensiva di fossa giunti e sezionamento GIS AT 220 kV, presenta n.3 reattori (uno per linea) di compensazione della potenza reattiva, ogni reattore è dimensionato per fornire una potenza reattiva dinamica fino ad un massimo di 40 MVar a compensazione della potenza reattiva capacitiva generata dal collegamento in cavo del parco alla SdT onshore.

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 11

La Stazione di Trasformazione *onshore* (SdT "D") riceve la potenza trasmessa da tutte le SdT *offshore* (A, B e C), porta la tensione dal livello di trasmissione (220 kV) alla tensione di Rete 380 kV e la dirige alla RTN.

Completa il quadro un sistema di accumulo in batterie della potenza di 200 MW di tipo *BESS* con capacità di accumulo pari a 800 MWh.

Una parte della SdT "D", composta da una stazione di parallelo, ha funzione di consegna che raccoglie le linee uscenti dalla SdT "D" e dall'accumulo e realizza la connessione con la rete TERNA.

## 4.2. DATI AMBIENTALI

Nella selezione di apparecchiature e materiali per opere a mare sono stati considerati i seguenti dati d'installazione:

- altitudine clima: 0 m s.l.m.;
- temperatura ambiente: -10 ÷ +50°C;
- umidità relativa: 20 ÷ 90%;
- velocità del vento max esterna: 40 m/s.

Nella selezione di apparecchiature e materiali per opere a terra sono stati considerati i seguenti dati d'installazione:

- altitudine clima: ≤ 1000 m s.l.m.;
- temperatura ambiente: -10 ÷ +45°C;
- umidità relativa: 10 ÷ 90%;
- velocità del vento max: 30 m/s.

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 12

## 5. DESCRIZIONE DELLE OPERE ELETTRICHE

Gli elementi tecnici da considerare per la descrizione dell'intero impianto sono:

- gli aerogeneratori;
- le Stazioni elettriche *offshore* di Trasformazione (abbreviate in *SdT* "A", "B" "C" *offshore*);
- i cavi di interconnessione tra aerogeneratori e le relative *SdT*;
- i cavi di collegamento tra le *SdT* e il punto di giunzione;
- La Stazione di Giunzione e Compensazione, comprendente:
  - a. il punto di giunzione marino-terrestre;
  - b. stazione di sezionamento;
  - c. la stazione di compensazione della potenza della potenza reattiva.
- i cavi di collegamento con la stazione elettrica *onshore* di Trasformazione (abbreviato in *SdT* "D" *onshore*);
- la *SdT* "D" per la trasformazione da tensione di trasporto (220 kV) a tensione di rete (380 kV) per l'immissione della potenza generata nella RTN;
- il sistema di accumulo;
- stazione di parallelo e consegna
- i cavi di collegamento con la rete nazionale in alta tensione.

### 5.1. AEROGENERATORI

Le macchine di generazione individuate per il presente intervento hanno una potenza nominale di 15 MW e 14 MW. In particolare, 44 aerogeneratori avranno una potenza nominale di 15 MW e 10 aerogeneratori di potenza unitaria da 14 MW. Le turbine eoliche scelte per la progettazione del parco *offshore* sono della gamma Vestas, azienda che ad oggi ha installato oltre 145 GW di turbine eoliche, *onshore* e *offshore*, in 85 paesi. Ogni generatore V236-15.0 MW, posto all'interno della navicella, è costituito, oltre che dalla navicella stessa, da una torre,

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE “ARDEA”</p>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 13

un rotore, sorretti da fondazione galleggiante, quest’ultima fissata al fondo del mare attraverso ancore collegate da linee di ormeggio. Ogni generatore sarà dotato dal costruttore delle protezioni elettriche per prevenire l’alimentazione della rete in caso di disservizio a valle e per proteggerlo dalla risalita di potenza di corto proveniente dalla rete in caso di guasto elettrico interno. Nella navicella, trovano posto anche gli asservimenti oleodinamici ed elettrici per l’eccitazione del rotore sincrono, il telecontrollo, l’ottimizzazione della produzione e la sicurezza generale della macchina.

Il rotore, composto da 3 pale, avrà un diametro di 236 m. I motori elettrici del “sistema pitch” consentono la regolazione dell’inclinazione della pala e dunque la variazione della velocità di rotazione del rotore. Le pale sono normalmente costruite in fibra di vetro e resina epossidica con rinforzi in materiali compositi. La torre eolica è realizzata in acciaio e divisa in diverse sezioni.

	<p>PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 14</p>



Figura 4 - Turbina Vestas 236-14/15 MW

Le turbine eoliche sono in genere configurate per iniziare a funzionare a partire da circa 3 m/s di vento e per arrestarsi automaticamente quando il vento supera i 30 m/s.

<b>Potenza nominale aerogeneratore</b>	15000 -14000 kW
<b>Diametro del Rotore</b>	236 m
<b>Superficie spazzata</b>	43,742 m <sup>2</sup>
<b>Livello di tensione del generatore</b>	0,69 kV

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 15

<b>Livello di tensione in uscita dal trasformatore di macchina</b>	66 kV
<b>Cut-in wind speed</b>	3 m/s
<b>Cut-out wind speed 30 m/s</b>	30 m/s

Tabella 1 - Dati generali aerogeneratore Vestas

La turbina è equipaggiata con un sistema generatore - inverter a velocità variabile.

Un convertitore di frequenza (inverter) viene acceso nel circuito del rotore ed impone una tensione con frequenza regolabile sul rotore. I componenti interni all'aerogeneratore hanno generalmente una classe di protezione IP54. È prevista la messa a terra dell'alloggiamento del generatore per la compensazione del potenziale. Il generatore è supportato da elementi, posti sulla base del telaio, che disaccoppiano rumore e vibrazioni, per un'ottimale insonorizzazione e riduzione delle vibrazioni.

### 5.1.1. COMPONENTI ELETTRICI E TECNOLOGICI A SERVIZIO DEGLI AEROGENERATORI

Ogni turbina eolica dovrà essere conforme agli standard internazionali per la sicurezza degli impianti. A tal proposito tutte le funzioni dell'aerogeneratore sono monitorate da un sistema di controllo a microprocessore. Per poter gestire le turbine costituenti il parco eolico esse dovranno essere controllate da un sistema centralizzato di tipo SCADA System. Questa tipologia di impianti necessita di un elevato livello di affidabilità e disponibilità. Infatti, tutte le funzioni critiche sono dotate di controllo ridondante; ad esempio il sistema di arresto di emergenza è azionato sia da un circuito di sicurezza cablato sia dal software gestionale operativo (SCADA System). Ciò permette alla turbina di portarsi in condizioni di sicurezza in caso di guasto di uno dei due sistemi. L'uso di fibre ottiche garantisce un elevato valore del *baud rate* e al tempo stesso costituisce una protezione contro eventuali interferenze



	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 16

elettromagnetiche di natura atmosferica. Le turbine *offshore* sono dotate anche di un sistema radio point to point.

Per l'alimentazione dei servizi ausiliari dell'aerogeneratore sarà previsto un sistema di alimentazione in bassa tensione a 0.4 kV, derivato dal generatore, configurato in accordo e conformità alle specifiche CEI. Per tutti i servizi sarà previsto un quadro BT 0,4 kV del tipo ad armadio a pannelli metallici chiusi, con comandi e segnalazioni accessibili. Saranno quindi realizzati i seguenti impianti tecnologici:

- impianto illuminazione;
- impianti forza motrice;
- impianti alimentazione privilegiata e UPS (gruppo di continuità);
- impianti di climatizzazione e ventilazione;
- sistema di rilevazione, telesegnalazione ed estinzione incendi.

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 17

## 5.1.2. POSIZIONAMENTO DELLE TURBINE

Nella successiva tabella è presentata la lista delle posizioni degli aerogeneratori, divisi in funzione della stringa di appartenenza (da #01 a #9).

SdT	STRINGA	N. TURBINA	COORDINATE (UTM 33 N)	
			COORDINATE EST	COORDINATE NORD
SdT "A"	#01	1	262506.71	4600969.11
	#01	2	262483.62	4602124.08
	#01	3	264021.24	4601681.67
	#01	4	265558.86	4601239.27
	#01	5	267096.48	4600796.86
	#01	6	268657.19	4599199.49
	#02	7	265123.84	4598067.85
	#02	8	264045.37	4599381.97
	#02	9	264044.33	4600526.71
	#02	10	265581.95	4600084.30
	#02	11	267119.57	4599641.90
	#02	12	268658.23	4598054.75
	#03	13	266661.47	4597625.45
	#03	14	265582.99	4598939.56
	#03	15	267120.61	4598497.16
	#03	16	268199.09	4597183.04
	#03	17	269736.71	4596740.64
	#03	18	270195.86	4597612.35

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 18

SdT	STRINGA	N. TURBINA	COORDINATE (UTM 33 N)	
			COORDINATE EST	COORDINATE NORD
SdT "B"	#04	19	265678.79	4595831.23
	#04	20	266195.05	4596747.81
	#04	21	267732.67	4596305.40
	#04	22	269270.29	4595862.10
	#04	23	270807.92	4595420.59
	#04	24	271274.33	4596298.23
	#05	25	267749.12	4593134.27
	#05	26	268247.19	4594036.98
	#05	27	266709.57	4594479.38
	#05	28	267216.41	4595388.83
	#05	29	268754.03	4594946.42
	#05	30	270291.65	4594504.02
	#06	31	268746.35	4591756.99
	#06	32	269286.74	4592691.87
	#06	33	269784.81	4593594.57
	#06	34	271322.43	4593152.17
	#06	35	271829.27	4594061.61
	#06	36	272345.54	4594978.19

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 19

SdT	STRINGA	N. TURBINA	COORDINATE (UTM 33 N)	
			COORDINATE EST	COORDINATE NORD
SdT "C"	#07	37	269676.89	4590334.29
	#07	38	270283.97	4591314.59
	#07	39	270824.36	4592249.46
	#07	40	272361.98	4591807.05
	#07	41	272860.05	4592709.76
	#07	42	273366.89	4593619.21
	#08	43	274289.75	4589007.07
	#08	44	272752.13	4589449.48
	#08	45	271214.51	4589891.88
	#08	46	271821.59	4590872.18
	#08	47	273359.21	4590429.78
	#08	48	273899.60	4591364.65
	#09	49	277364.10	4588122.26
	#09	50	275827.38	4588564.67
	#09	51	276434.45	4589544.97
	#09	52	274896.83	4589987.37
	#09	53	275437.22	4590922.24
	#09	54	274397.67	4592267.36

*Tabella 2 - Posizionamento dei singoli aerogeneratori*

## 5.2. STAZIONI DI TRASFORMAZIONE OFFSHORE (SdT)

Le stazioni di trasformazione *offshore*, indicate per brevità SdT "A", "B" ed "C" saranno posizionate in maniera tale da garantire una facile connessione alle stringhe e una semplice uscita dal parco eolico.

Nelle SdT alloggeranno gli arrivi dei cavi a 66 kV provenienti dagli aerogeneratori, connessi alla semi-sbarra da cui partiranno le linee che porteranno ai trasformatori elevatori 66/220 kV.

Nella seguente figura viene riportata uno schema di sezione dell'area di trasformazione di una SdT.

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 20</p>

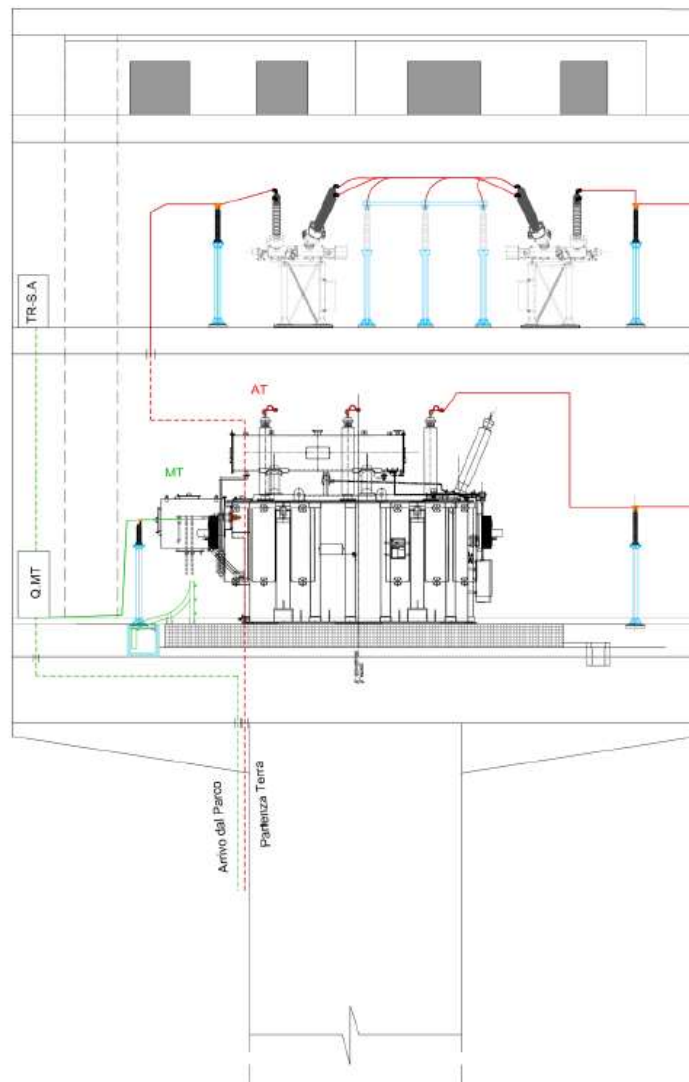


Figura 5 Sezione tipica di SdT offshore

Le opere elettriche principali previste sono sintetizzabili in:

- Montante e quadri di arrivo linea 66 kV dotato di scomparto, misure e protezioni, interruttore arrivo linea ed interruttore di partenza trasformatore;
- Due trasformatori elevatori 66/220 kV per ogni sottostazione di taglia 160 MVA;
- Un gruppo di compensazione della potenza reattiva (opzionale);

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 21

- Montante 220 kV di uscita dal trasformatore e partenza verso stazione di arrivo a terra tramite i moduli PASS;
- Alimentazioni privilegiate;
- servizi ausiliari.

Tutte le apparecchiature sono interamente isolate in SF6.

I trasformatori saranno del tipo ONAN (Olio Naturale Ventilazione naturale), utilizzabile anche in modalità ONAF (Olio Naturale Ventilazione Forzata).

Il trasformatore tipo avrà in dotazione sonde termometriche PT100 installate sugli avvolgimenti secondari per le misure di temperatura e dispositivi per la rilevazione della pressione dell'olio isolante. I segnali delle protezioni sopra descritte saranno inviati al quadro di controllo e utilizzati per segnalazioni di allarme e blocco.

### 5.3. CAVI ELETTRICI DI COLLEGAMENTO

In relazione allo schema logico di collegamento (Figura 2.), si adotteranno le tipologie distinte di cavi:

- cavo marino dinamico a 66 kV per interconnessione tra le turbine e per la connessione degli aereogeneratori alla relativa SdT;
- cavo marino a 220 kV tripolare (3x1x1000 mm<sup>2</sup>) per connessione di una SdT al punto di giunzione a terra (TJB)
- Cavo terrestre 220 kV per la connessione dalla TJB alla SdT "D" onshore per l'immissione nella RTN a 380 kV;
- cavo terrestre a 380 kV per la connessione SdT "D" onshore, il sistema di accumulo e la sottostazione di consegna e misura;

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 22

- cavo terrestre a 380 kV per la connessione dalla sottostazione di consegna futura Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea 380 kV “Roma Sud – Aprilia 380”.

### 5.3.1. CARATTERISTICHE DEL CAVO DINAMICO MARINO A 66 KV

In relazione al calcolo delle correnti nominali, il cavo dinamico marino in alta tensione sarà del tipo tripolare con conduttori in rame con sezioni elettriche nominali fino a 630 mm<sup>2</sup>, isolamento in EPR o XLPE e doppia schermatura longitudinale/radiale a tenuta stagna del tipo *Water Resistant*.

Caratteristiche del cavo dinamico marino a 66 kV:

- Conduttore: conduttori in rame (o eventualmente in alluminio) sigillati longitudinalmente;
- Schermo conduttore: composto semiconduttivo estruso;
- Isolamento: EPR o XLPE;
- Schermo isolante: composto estruso;
- Schermo: schermatura individuale del nastro in rame su ciascuna fase;
- Unità a fibra ottica: fino a 3 unità FO con tubo metallico;
- *Lay up*: tre nuclei di potenza con riempimento estruso;
- Armatura di estensione: filati in polipropilene;
- Armatura: uno strato di fili di acciaio zincato, lavato con bitume;
- Protezione esterna: filati in polipropilene in colori personalizzabili.

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 23



*Figura 6 - Cavo sottomarino 66 kV con conduttori di rame*

#### **5.4. CARATTERISTICHE DEL CAVO MARINO A 220 kV**

Il cavo marino a 220 kV è di tipo tripolare con conduttori in rame con sezione elettrica nominale pari a 1000 mm<sup>2</sup> (adeguata alla corrente nominale di esercizio), isolato in EPR o XLPE, con schermatura longitudinale / radiale a tenuta stagna del tipo "Water Resistant". Il cavo sarà del tipo dinamico per il tratto di discesa dalle *SdT* fino al fondale e statico tradizionale sul percorso fino a terra.

##### **Caratteristiche del cavo marino a 220 kV:**

- Conduttore: fili di rame solidi (sigillati longitudinalmente);
- Guaina conduttiva: estrusa semiconduttiva;
- Isolamento: EPR o XLPE;
- Schermo metallico: nastri di rame;
- Riempitivi: corde in PP e / o riempitivi in plastica sagomati;
- Fasciatura: foglio sintetico + strisce di rame;
- Imbottitura dell'armatura: filato PP;
- Armatura: singolo strato di fili di acciaio zincato;
- Protezione tessile: singolo strato di PP;
- Diametro esterno: 241,0 mm;
- Standard di riferimento: IEC 60287.



	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 24</p>

- Tensione di progetto (U): 220 kV;
- Numero di core di potenza: 1;
- Sezione trasversale conduttore: 1000 mm<sup>2</sup>;

### **Protezione dei cavi sottomarini**

A causa delle azioni antropogeniche e delle perturbazioni naturali che possono agire sui cavi di trasmissione dell'energia elettrica sarà necessario proteggere questi dai danni causati da attrezzi da pesca, ancore o forti azioni idrodinamiche. La protezione dei cavi sottomarini, per le sezioni di cavo che attraversano aree che presentano scarse criticità a livello di fondale ma che possono presentarle al di sotto, potrà essere effettuata mediante posa di ogni linea mediante sistema *trenchless* (senza scavi di trincee) con protezione esterna, con successiva posa di una protezione fatta da massi naturali o materassi prefabbricati di materiale idoneo (cubicoli in cemento/calcestruzzo).

### **Posa del cavo sottomarino**

L'installazione del cavo di collegamento in mare fino allo sbarco è normalmente suddivisa da lavori preparatori in cui a monte dell'installazione del cavo e della relativa protezione dello stesso dovranno essere avviate operazioni di ricognizione geofisica per confermare i dati ottenuti durante gli studi tecnici preliminari, identificare nuovi possibili rischi (rocce, detriti, ecc.); in seguito si prevede la posa e l'installazione del cavo: una nave posacavi specializzata trasporta il cavo srotolandolo sul fondale del mare con l'assistenza di altre imbarcazioni. A seconda del tipo di protezione si procede con opportuni mezzi all'operazione di messa in opera della protezione che può essere realizzata in un secondo tempo oppure simultaneamente alla posa del cavo. Si ricorda che verrà scelta la migliore soluzione tecnologica per la posa del cavo in funzione della caratteristica del fondale.

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 25</p>

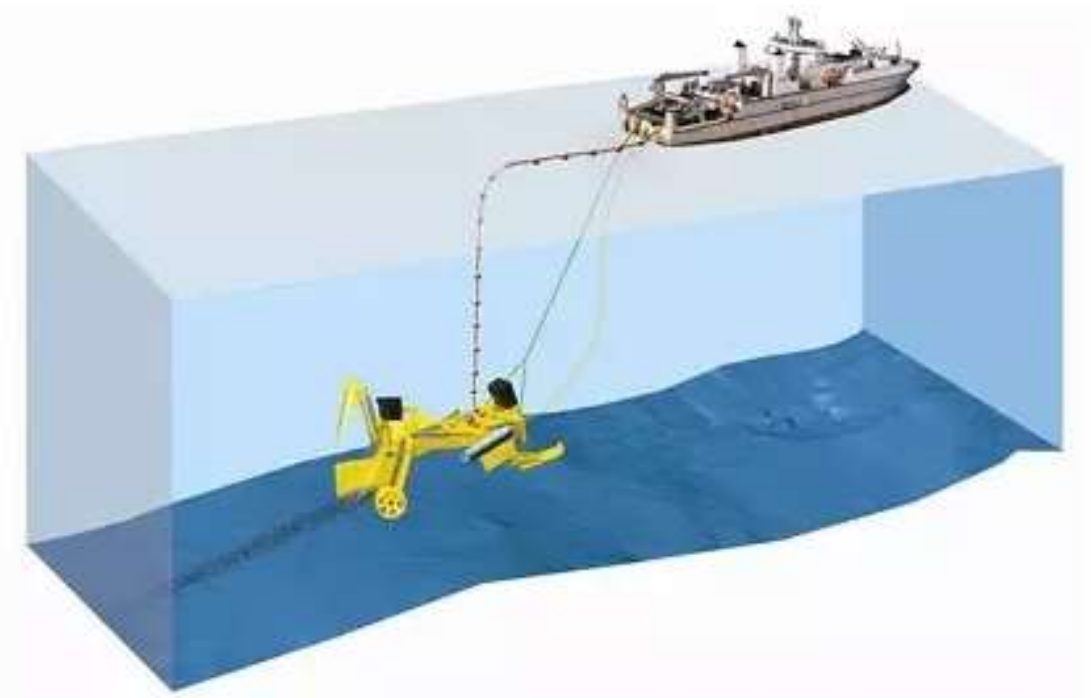


Figura 7 - Esempio di nave posa cavo

### **Corridoio cavi sottomarini**

Da ogni *SdT* si dipartirà i cavi tripolari che trasporteranno l'energia del parco alla terraferma e da qui alla rete Terna S.P.A.

Nelle nostre considerazioni iniziali si è previsto un percorso di avvicinamento alla costa con un corridoio di 200 m di diametro; distanza che si andrà riducendo lungo il suo avvicinarsi alla costa (si veda in merito la relativa tavola **CORRIDOI CAVIDOTTI MARINI**).

## **5.5. CARATTERISTICHE DEL CAVO TERRESTRE A 220 KV**

I cavi terrestri saranno di tipo tripolare con conduttori in rame e sezione elettrica nominale pari a 1000 mm<sup>2</sup>, con isolamento in XLPE e schermatura in fili di rame, fino alla *SdT* "D", dopo la conversione in AC a 380 kV si utilizzeranno cavi in alluminio (si ci riserva la possibilità di

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 26

utilizzare cavi in Rame se necessario dopo le opportune valutazioni in fase progettuale più avanzata) di sezione pari a 1600 mm<sup>2</sup>.

## 5.6. CARATTERISTICHE DEL CAVO TERRESTRE A 380 KV

- Materiale del conduttore: Rame/Alluminio;
- Schermo: filo di rame.
- Sezione del conduttore: 1600 mm<sup>2</sup>;
- Sezione schermo: 170 mm<sup>2</sup>;
- Diametro esterno, D: 127 mm;
- Peso approssimativo: 26(Cu) / 16(Al) kg/m;
- Tensione operativa: 230/400 kV;
- Capacità nominale: 0,188 μF/km;
- Portata in corrente con posa interrata: > 1125 A.
- Massimo sforzo di tiro posa fissa: 80(Cu) / 48 (Al) kN;
- Fattore di curvatura durante l'installazione: 3,15 m;

### 5.6.1. CALCOLO PRELIMINARE DELLE CORRENTI

La corrente erogata a 66 kV dal generatore  $k$ -esimo è stimabile tramite la seguente relazione:

$$I_{n,gen,k} = P_{n,gen} / \sqrt{3} V_n \cos \varphi_{gen} = 14 \times 10^6 / \sqrt{3} \times (66 \times 10^3) \times 0.99 \cong 124 \text{ A}$$

$$I_{n,gen,k} = P_{n,gen} / \sqrt{3} V_n \cos \varphi_{gen} = 15 \times 10^6 / \sqrt{3} \times (66 \times 10^3) \times 0.99 \cong 133 \text{ A}$$

Dove:

- $P_{n,gen}$  = potenza attiva nominale erogata dal singolo generatore (W);
- $\cos \varphi_{gen}$  = fattore di potenza;
- $V_n$  = livello di tensione nominale in uscita dalla turbina (V);

La massima corrente nominale  $I_{n,sc,m}$  relativa al sottocampo  $m$ -esimo, formato da 5 turbine da 15 MW + 1 turbina da 14 MW, vale quindi:

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 27

$$I_{n,sc,m,tot} = \sum_{K=1}^k I_{n,sc,k} = 5 \times 133A + 124A = 789 A$$

in cui  $K$  è il numero di generatori sul sottocampo  $m$ -esimo.

## 5.7. APPROCCIO ALLA COSTA

A seguito di analisi preliminare della conformazione del punto di approdo si è optato, a questo stadio di progettazione, un approccio alla costa tramite *Trivellazione Orizzontale Controllata* (T.O.C.).

Il diametro della perforazione sarà in seguito esaminato e scelto in maniera tale da poter garantire un adeguato spazio per il cavo consentendone un agevole posizionamento e la successiva adeguata areazione in condizioni di normale esercizio.

## 5.8. PUNTO DI GIUNZIONE TERRESTRE, STAZIONE DI SEZIONAMENTO E DI COMPENSAZIONE DELLA POTENZA REATTIVA

È prevista la realizzazione di una prima stazione a terra che avrà funzione di:

- punto di giunzione tra il cavidotto marino e quello terrestre;
- sistema di sezionamento compatto di tipo GIS;
- stazione di compensazione della potenza reattiva capacitiva.

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 28

La stazione sarà ubicata catastalmente al Foglio 55, P.I. 57-66 nel Comune di Ardea (RM). La parte relativa alla fossa giunti sarà formata da una vasca interrata di dimensioni pari a circa 27x10x2,5 m.

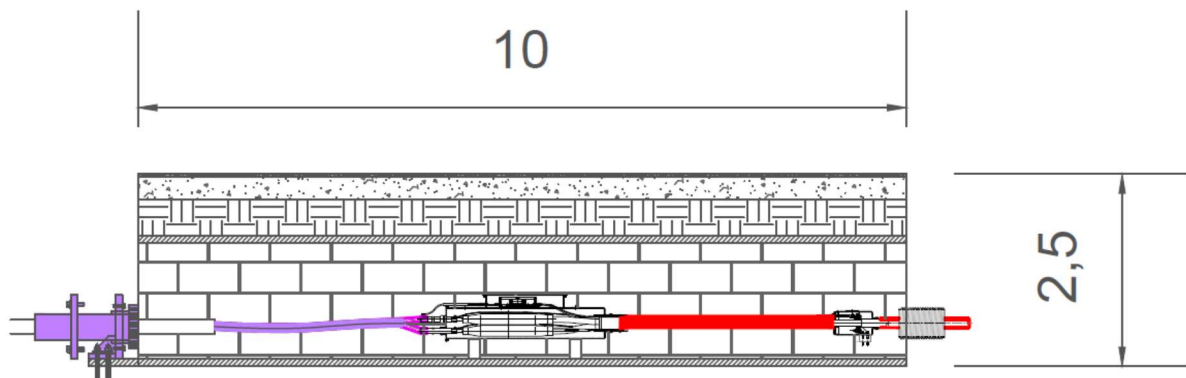


Figura 8 - Giunzione mare terra

In uscita dalla fossa giunti i cavi verranno indirizzati ad un sistema di interruttori compatti isolati a gas (GIS acronimo di *Gas-insulated Switchgear*). Tali dispositivi permettono l'interruzione di circuiti elettrici, anche a tensioni elevate, in spazi compatti; nel caso in esame sono stati previsti n.3 interruttori tripolari con tensione di isolamento AC a 220 kV come mostrato in **XXXX**, il punto di sezionamento sarà ubicato nella stessa stazione che ospiterà la già citata fossa giunti e il sistema di compensazione della potenza reattiva.

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p><b>RELAZIONE ELETTRICA</b></p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 29</p>



*Figura 9 GIS tipo per una tensione di esercizio fino a 245 kV*

A seguire gli interruttori ogni cavidotto sarà indirizzato ad un proprio stallo 220 kV che realizzerà l'allaccio al sistema di compensazione della potenza reattiva capacitiva dovuta all'estensione delle linee elettriche. Il sistema di compensazione sarà composto da n.3 reattori (uno per linea) dimensionato per una potenza reattiva capacitiva di 40 MVar ognuno. Tali reattori saranno di tipo dinamici per permettere la compensazione dell'aliquota di potenza reattiva capacitiva proporzionale alla potenza immessa in rete in un dato momento.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</b>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 30

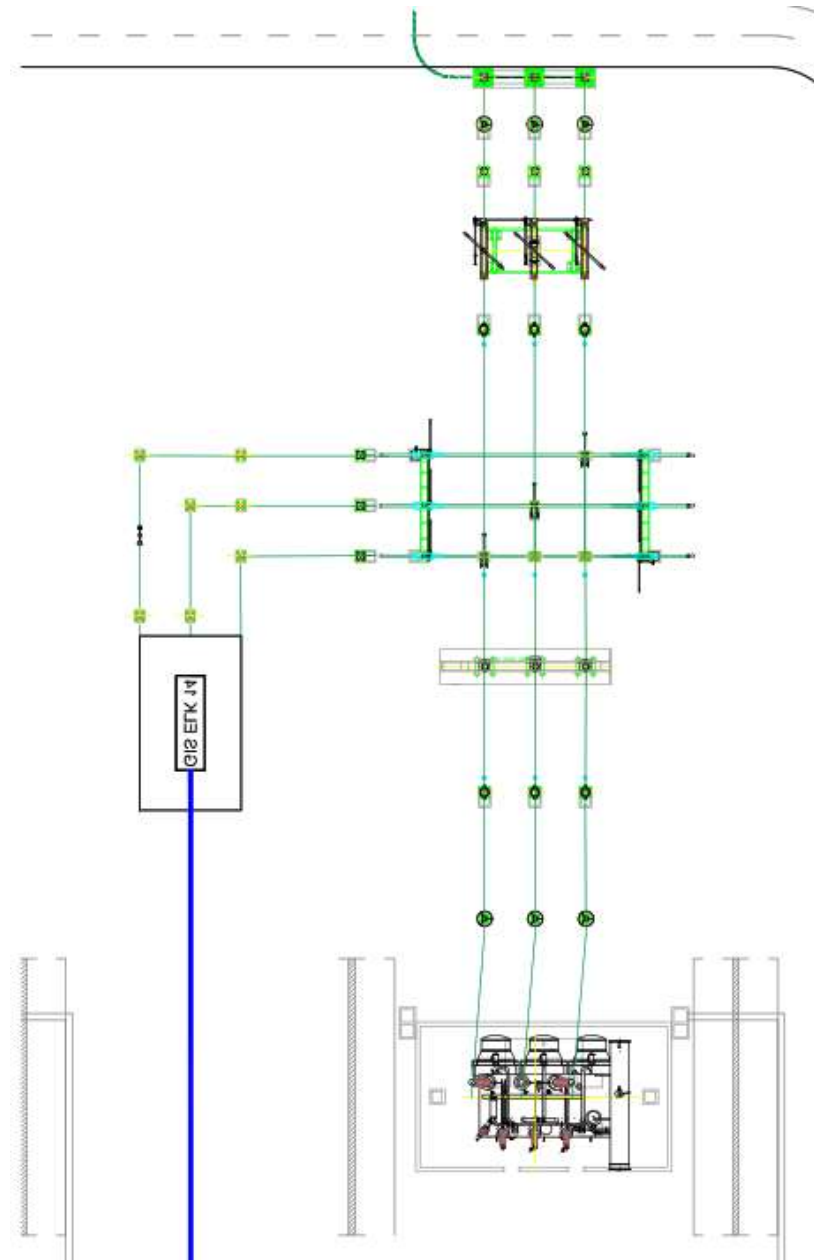


Figura 10 - dettaglio di uno dei punti di compensazione della potenza reattiva



	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE “ARDEA”</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 31</p>



*Figura 11 - Stazione con fossa giunti, sezionamento e compensazione potenza reattiva su ortofoto*

### **Posa del cavo terrestre**

A seguito della giunzione con i cavi marini è previsto un percorso interrato dei cavi terrestri per una distanza totale di circa 12,7 km fino alla Stazione di Trasformazione 220/380 kV situata nel comune di Ardea (RM).

Data la maggior precisione di posa dei cavi, seguendo in fase preliminare le pratiche attualmente utilizzate in ambito ingegneristico, la configurazione dei cavi risulta più contenuta



	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 32

come da Figura 12. I cavi saranno adeguatamente segnalati tramite l'utilizzo di nastro monitorare interrato in prossimità delle installazioni.

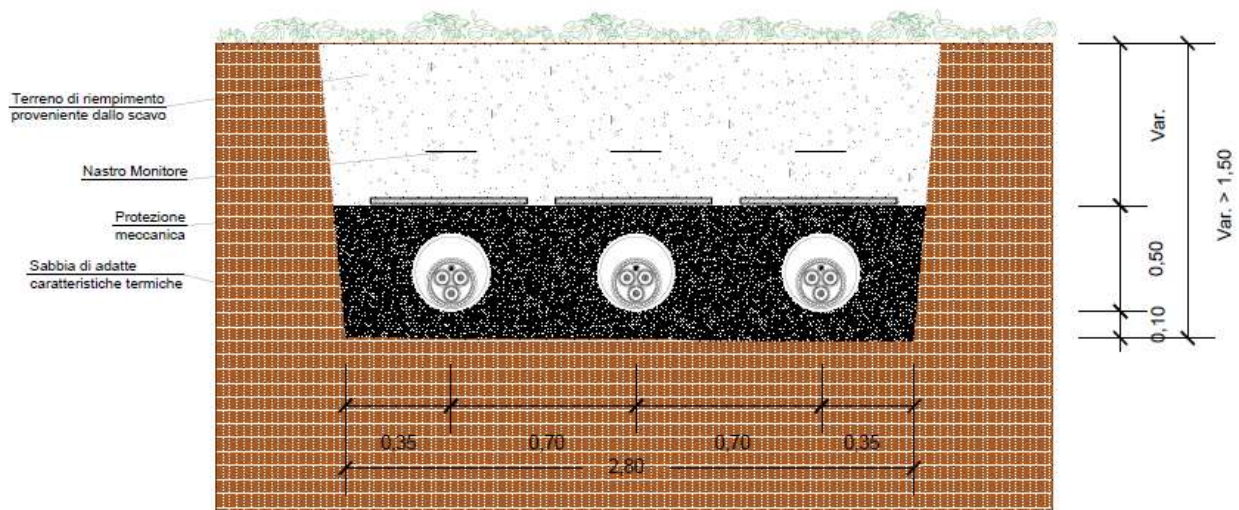


Figura 12 - Configurazione cavi terrestri 220 kV

## 6. STAZIONE ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE 220/380 kV ONSHORE – SdT “D”

La connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale dell'energia elettrica è prevista in configurazione consegna a 380 kV presso la futura Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea 380 kV “Roma Sud – Aprilia 380”.

Al fine di realizzare l'allaccio alla RTN Terna 380 kV si realizzerà una stazione di trasformazione 220/380 kV. Tale stazione si occuperà di elevare la tensione di trasmissione proveniente dal parco eolico offshore, di interfacciarsi con l'adiacente stazione Storage da 200 MW e di realizzare la connessione con la RTN.

La stazione di trasformazione *onshore*, indicata per brevità SdT “D”, alloggerà n. 4 trasformatori elevatori 220/380 kV da 200/250 MVA ONAN/ONAF ognuno a cui si aggiungerà un quinto

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 33</p>

trasformatore, 30/380 kV sempre da 200/250 MVA ONAN/ONAF, con funzione di interfaccia tra SdT e Storage.

Lo Storage stesso sarà posizionato nella medesima area dove sorgerà la SdT "D" e sarà separata da quest'ultima da una seconda recinzione (interna).



*Figura 13 Layout della SdT "D" con annesso Storage*



	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 34

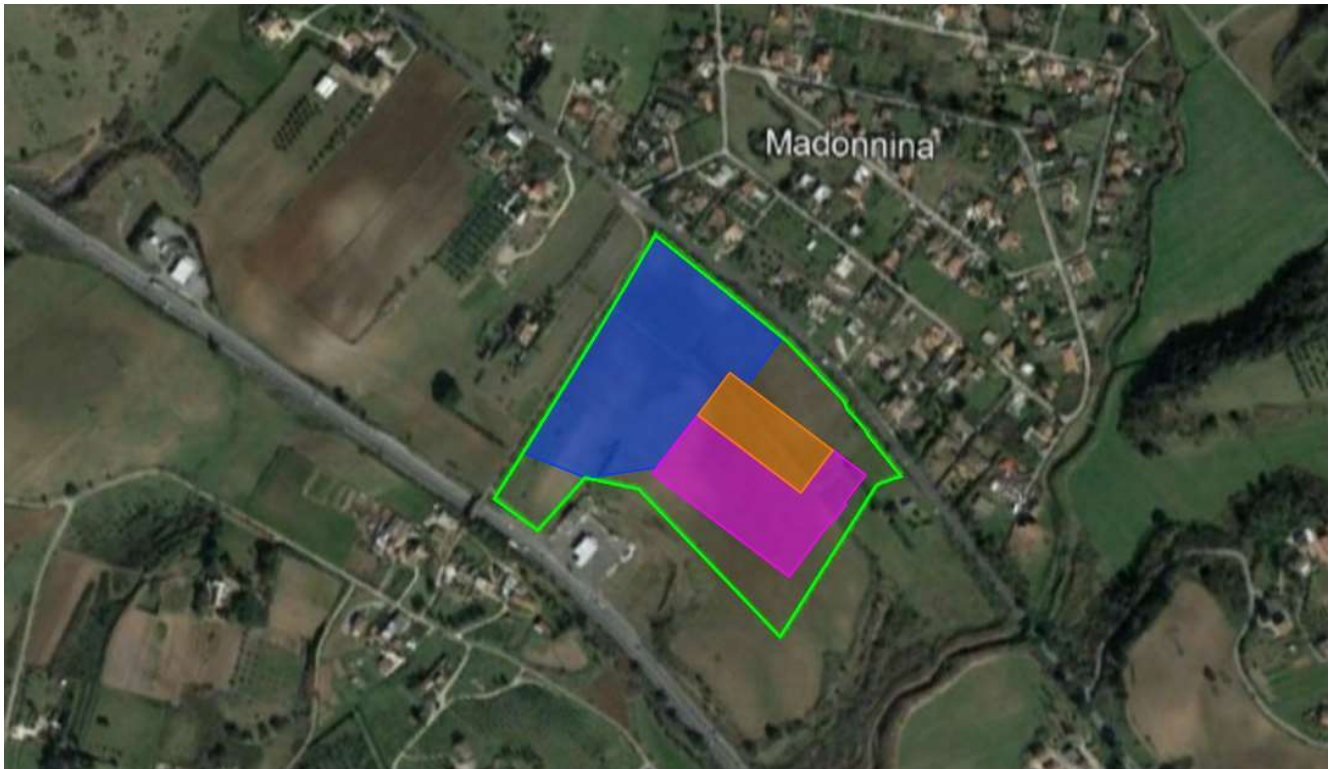


Figura 14 - Inquadramento area Stazione di Trasformazione onshore con, in verde, il confine recintato; in blu l'area di storage; in arancio l'area di connessione e in viola la trasformazione 220/380 kV

Quest'area ha una superficie di circa 9,7 ha, viene identificata catastalmente dalle p.lle 1637 - 1586 - 602 - 876 - 877 - 1501 del FG. 42 del comune di Ardea (RM) prese interamente o in porzione e presenta una morfologia piuttosto uniforme. Gli elementi che compongono la SdT "D" sono:

- sbarre di parallelo a 220 kV con:
  - n. 7 stalli di cui 3 di arrivo linea 220 kV e 4 per le partenze trasformatori elevatori 220/380 kV;
- n. 4 trasformatori elevatori 220/380 kV da 200/250 MVA ognuno di tipo ONAN/ONAF;
- n. 1 trasformatore elevatore 30/380 kV da 200/250 MVA ognuno di tipo ONAN/ONAF asservito all'impianto di storage;
- sbarre di parallelo a 380 kV con:

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 35

- n.6 stalli di cui 4 per gli arrivi dei trasformatori 200/250 MVA lato 380 (di cui uno condiviso con l'uscita in cavo interrato);
- n. 1 stallo arrivo trasformatore 200/250 MVA 30/380 kV asservito all'impianto di storage;
- n. 1 stallo disponibile.
- N.1 partenza in cavo, protetta da interruttore 380 kV, sezionatore, TA e TV;
- Edificio consegna MT da distributore per alimentazione servizi ausiliari
- Edificio comandi;
- Edificio magazzino.

## 7. IMPIANTO DI STORAGE DI POTENZA COMPLESSIVA PARI A 200 MW

In un'ottica di efficientamento degli impianti e degli investimenti, il progetto prevede la realizzazione di un sistema di accumulo agli ioni di litio con 200 MW di potenza e con una capacità di circa 800 MWh.

L'area destinata alla realizzazione dello storage, caratterizzato da una capacità di accumulo di 200 MW, è identificata come porzione dell'area della Sdt "D", ha un'estensione di circa 4,0 ha di cui ca 0,5 ha saranno destinati alla realizzazione dell'area di trasformazione MT/AT 30/380 kV.

Il progetto prevede il posizionamento di container batteria/inverter nonché la realizzazione del relativo collegamento elettrico dei container tramite cavidotti interrati nonché un sistema di trasformazione MT/AT 30/380 da 200/250 MVA ONAN/ONAF che si conetterà ad uno stallo reso disponibile presso il sistema a sbarre 380 kV della SdT "D".

Il sistema di accumulo storage previsto è caratterizzato da un pacco batterie agli ioni di litio (tipo container). La tecnologia delle batterie Li-ion è attualmente la soluzione più avanzata e facilmente disponibile sul mercato per lo stoccaggio di energia. La tipologia impiegata per lo

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 36

storage è, come già detto, quella BESS (Battery Energy Storage System). Un BESS è un sistema di accumulo di energia che cattura energia da diverse fonti, accumula questa energia e la immagazzina in batterie ricaricabili per un uso successivo.

Le parti principali della tipologia BESS includono:

- Un sistema di batterie che contiene singole celle della batteria che convertono l'energia chimica in energia elettrica. Le celle sono disposte in moduli che, a loro volta, formano pacchi batteria;
- Un sistema di gestione della batteria (BMS) che garantisce la sicurezza del sistema di batterie. Monitora le condizioni delle celle della batteria, misura i loro parametri e stati, come lo stato di carica (SOC) e lo stato di salute (SOH), e protegge le batterie da incendi e altri pericoli;
- Un inverter o un sistema di conversione di potenza che converte la corrente continua (DC) prodotta dalle batterie in corrente alternata (AC) fornita alle strutture. I sistemi di accumulo dell'energia a batteria dispongono di inverter bidirezionali che consentono sia la carica che la scarica;
- Un sistema di gestione dell'energia (EMS) che è responsabile del monitoraggio e del controllo del flusso di energia all'interno di un sistema di accumulo a batteria. Un EMS coordina il lavoro di un BMS, un PCS e altri componenti di un BESS. Raccogliendo e analizzando i dati energetici, un EMS può gestire in modo efficiente le risorse energetiche del sistema.

Ogni tipo di batteria ha determinate specifiche tecniche che designano gli usi BESS e influiscono sull'efficienza dell'immagazzinamento dell'energia della batteria. Le principali caratteristiche della batteria comprendono:

- **Capacità di stoccaggio**, che è la quantità di carica elettrica immagazzinata da una batteria o la quantità di elettricità disponibile in un BESS;

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 37</p>

- **Potenza**, che determina la quantità di energia fornita da una batteria o la potenza di uscita che può fornire un BESS;
- **Efficienza andata e ritorno**, che visualizza il rapporto tra l'energia fornita da una batteria durante la scarica e l'energia fornita alla batteria durante un ciclo di carica;
- **Profondità di scarica (DoD)**, che mostra la percentuale di energia scaricata da una batteria rispetto alla sua capacità totale;
- **A vita**, che può essere definito come il numero di cicli di carica e scarica di una batteria o la quantità di energia che una batteria può fornire durante il suo ciclo di vita (rendimento della batteria);
- **Sicurezza** che è una caratteristica importante che mostra la conformità ai requisiti di sicurezza, ad esempio in termini di chimica della batteria.

Oltre alle specifiche della batteria, i sistemi di accumulatori hanno altre caratteristiche che ne descrivono le prestazioni. Ad esempio, **il tempo di risposta** è il tempo necessario a un BESS per passare dallo stato di inattività e iniziare a lavorare a piena potenza. **La velocità di rampa** è la velocità alla quale il sistema può aumentare o diminuire la propria potenza, rispettivamente aumentarla o diminuirla.

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE “ARDEA”</p>			
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 38</p>

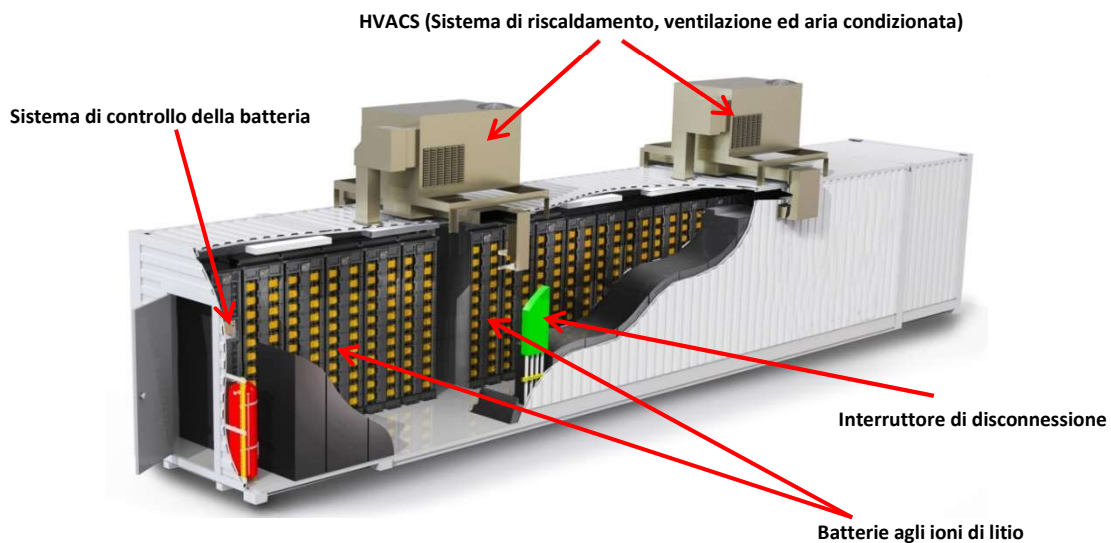


Figura 16 BESS - Container tipo

L'impianto sarà idoneamente recintato e dotato dei dovuti sistemi di allarme e videosorveglianza.

I container previsti sono progettati per ospitare le apparecchiature elettriche, garantendo idonee segregazioni per le vie cavi (canalizzazioni), isolamento termico e separazione degli ambienti, spazi di manutenzione e accessibilità dall'esterno.

I container rispetteranno i seguenti requisiti:

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 39

- Resistenza al fuoco REI 120;
- Contenimento di qualunque fuga di gas o perdita di elettrolita dalle batterie in caso di incidente;
- Segregazione delle vie cavi (canalizzazioni e pavimento flottante);
- Adeguati spazi di manutenzione e accessibilità dall'esterno ai singoli compartimenti;
- Isolamento termico in poliuretano o lana minerale a basso coefficiente di scambio termico;
- Pareti di separazione tra i diversi ambienti funzionali (stanze o locali);
- Porte di accesso adeguate all'inserimento/estrazione di tutte le apparecchiature (standard ISO + modifica fornitore) e alle esigenze di manutenzione;
- I locali batterie saranno climatizzati con condizionatori elettrici "HVAC". Ogni container sarà equipaggiato con minimo due unità condizionatore al fine di garantire della ridondanza;
- Particolare cura sarà posta nella sigillatura della base del container batterie. Per il locale rack batterie saranno realizzati setti sottopavimento adeguati alla formazione di un vascone di contenimento, che impedisca la dispersione di elettrolita nel caso incidentale;
- Sicurezza degli accessi: i container sono caratterizzati da elevata robustezza, tutte le porte saranno in acciaio rinforzato e dotate di dispositivi anti-intrusione a prevenire l'accesso da parte di non autorizzati.

I container batterie e inverter saranno appoggiati su travetti in cemento armato, appositamente dimensionati. La quota di appoggio dei container sarà sopraelevata rispetto al piano, al fine di evitare il contatto dei container con il suolo e con l'umidità in caso di pioggia.



	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 40

La superficie della piazzola di collocamento dei container sarà ricoperta con misto stabilizzato. Anche tutti gli impianti elettrici saranno realizzati a regola d'arte, progettati e certificati ai sensi delle norme CEI EN vigenti.

Le principali attività previste ai fini dell'installazione dei diversi impianti, si presume saranno le seguenti:

- preparazione dell'area;
- realizzazione della pavimentazione in CLS e posa misto stabilizzato;
- trasporto e posa dei container e delle BESS;
- operazioni di assemblaggio dei diversi impianti;
- montaggio e assemblaggio tubazioni, passerelle e allacciamenti.

Data l'entità e la tipologia delle opere da costruire, si prevede che le attività in fase di cantiere consentano di riutilizzare sul posto la ghiaia ed il limitato volume scavato per la realizzazione della pavimentazione, senza ulteriori obblighi in materia di gestione delle terre da scavo.

Il progetto previsto prevede dunque l'installazione di una serie di batterie agli ioni di litio posizionate all'interno di container in acciaio, oltre che di trasformatori e inverter, quadri elettrici e apparecchiature elettriche/elettroniche dedicate anche all'interfaccia con la rete. Le batterie e i gruppi di conversione (inverter) saranno connessi ai trasformatori BT/MT presenti all'interno dell'area, uno per ogni due unità base, i quali saranno collegati tra di loro in configurazione "entra-esci" e avranno il compito di distribuire la potenza erogata/assorbita dalle batterie verso i quadri MT allocati negli edifici all'interno della Stazione di Condivisione.

I quadri MT saranno collegati, tramite cavi interrati MT, al secondario del nuovo trasformatore elevatore MT/AT, localizzato all'interno della Stazione di trasformazione a 30/380 kV facente parte dell'area di storage.

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 41

Infine, dal lato AT del nuovo trasformatore verrà effettuato il collegamento al sistema a sbarre della SU che realizzerà la connessione con l'impianto del parco e con la RTN Terna.

Nello specifico gli interventi necessari per l'impianto di connessione prevedono:

- la realizzazione della sottostazione di trasformazione a 30/380 kV realizzata nell'area di trasformazione della SdT "D" ;
- realizzazione della connessione nella stazione elettrica di trasformazione di storage e SU, costituito da un collegamento sulle sbarre AT 380 kV ed un sezionatore di interfaccia per la connessione dello stallo TR al sistema di sbarre;

L'area di impianto sarà mitigata da una fascia arborea della larghezza di circa 5 m prevista su tutto il perimetro dell'area di impianto. Le aree di finitura saranno realizzate con conglomerato bituminoso con strato binder (10 cm) e strato di usura (5 cm); mentre le aree sottostanti le apparecchiature AT verranno inghiaiate. Si prevedono, inoltre, un ingresso pedonale della larghezza di 0,9 e un ingresso carrabile della larghezza di 7 m per l'ingresso rispettivamente all'area di impianto ed all'area di trasformazione.

Qui di seguito si riporta un'immagine di layout del sistema di accumulo storage previsto.

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 42</p>



*Figura 17 - Layout del sistema di accumulo BESS (Battery Energy Storage System)*

## 8. CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DAI CAVI

Le apparecchiature elettromeccaniche previste nella realizzazione del parco eolico offshore in oggetto generano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

Nel caso specifico sono da considerarsi come sorgenti di campo elettromagnetico di interesse per questa relazione le linee elettriche terrestri a servizio del parco:

Le possibili sorgenti di onde elettromagnetiche di minore rilevanza (linee ed apparecchiature in BT, inverter bidirezionali, ecc.), sono da considerarsi non significative ai fini della valutazione del campo elettromagnetico indotto, come peraltro riscontrato anche nella letteratura di settore.

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 43

Il DPCM 08.07.2003 fissa limiti di esposizione (indicati nella Tabella 3) e valori di attenzione per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, e stabilisce un obiettivo di qualità per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.

Soglia	Valore limite del campo magnetico
<b>Limite di esposizione</b>	<b>100 <math>\mu</math>T</b> (da intendersi come valore efficace)
<b>Valore di attenzione</b>  (misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere)	<b>10 <math>\mu</math>T</b>  (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)
<b>Obiettivo di qualità</b>  (nella progettazione di nuovi elettrodotti in aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio)	<b>3 <math>\mu</math>T</b>  (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)

Tabella 3 - Valori limite fissati dal DPCM 08/07/2003

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 44</p>

L'analisi delle emissioni elettromagnetiche generate dagli elettrodotti di collegamento del parco eolico offshore dovrà essere effettuata considerando la posa dell'elettrodotto terrestre in AT mediante interrimento a un'adeguata profondità.

L'emissione elettromagnetica imputabile al cavo terrestre può essere, per le caratteristiche fisiche di arrangemento dei conduttori elettrici all'interno del corpo del cavo, assai limitata. Per esempio, la disposizione a trifoglio con cordatura elicoidale determina infatti l'annullamento della risultante di campo nel dominio del cavo e il suo rapido decadimento all'esterno dello stesso cosicché, l'obiettivo di qualità di 3  $\mu\text{T}$ , sia già raggiunto entro un metro di distanza dal cavo.

Tali prescrizioni sono al fine della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati da linee e cabine elettriche che il DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art 4, c. 2):

- I limiti di esposizione del campo elettrico (5 kV/m) e del campo magnetico (100  $\mu\text{T}$ ) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- Il valore di attenzione (10  $\mu\text{T}$ ) e l'obiettivo di qualità (3  $\mu\text{T}$ ) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati). Tali luoghi non dovranno risultare posizionati all'interno della DPA.

Con il D.M. 29.05.2008 DPCM 08.07.2003 viene approvata la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti elaborata dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici nel rispetto dei principi della Legge Quadro n.36/2001 e del D.P.C.M. 08.07.2003.

La metodologia approvata dal D.M. Ambiente 29.05.2008, elaborata dall'ARPAT ai sensi dell'art.6 comma 2 del DPCM 08.07.2003, ha lo scopo di fornire la procedura per la

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 45</p>

determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree ed interrato, esistenti ed in progetto, che devono attribuirsi ove sia applicabile, in base allo stesso DPCM, l'obiettivo di qualità.

Secondo la metodologia ARPAT, per "Fascia di rispetto" si intende lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra ed al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità, con la conseguenza che, in base all'art.4 comma 1 lettera h della Legge Quadro n.36/2001, all'interno delle fasce di rispetto non è con

sentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore; in particolare, la determinazione della fascia di rispetto è finalizzata alla definizione del volume, attorno ai conduttori, al cui interno si potrebbe avere una induzione magnetica superiore a 3  $\mu$ T e non all'individuazione della proiezione verticale al suolo di detto volume, come invece definito in maniera semplificata dalla procedura di calcolo della Dpa.

In base alla stessa metodologia, per "Distanza di prima approssimazione" (Dpa) per le linee si intende la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di Dpa si trovi all'esterno delle fasce di rispetto.

Pertanto, per linee elettriche aeree e non, lo spazio costituito da tutti i punti caratterizzati da valori di induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità, definisce attorno ai conduttori un volume e, la superficie di questo volume delimita la fascia di rispetto pertinente ad una o più linee elettriche aeree e non.

La corrente utilizzata per il calcolo del campo magnetico tiene conto del fatto che la rete di alta tensione a servizio del parco eolico non è impiegata alla distribuzione di energia elettrica, ma al convogliamento dell'energia prodotta dagli aerogeneratori.

Il valore del campo magnetico viene valutato ad 1 metro dal suolo, come previsto dall'art. 5 del DPCM 08/07/03 e dalla guida CEI 211-6, anche in virtù del fatto che nel caso di linee elettriche

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 46

interrate i campi elettrici già al di sopra delle linee sono insignificanti e sempre minori rispetto alle linee aeree grazie all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

Per la corrente è stato considerato il valore massimo generato da ciascuna SdT offshore così calcolata:

$$I_{SdT,n} = \frac{P_{SdT,n} (kW)}{\sqrt{3} * 220 kV * 0,9};$$

Per le SdT "A" ed "B" tale valore risulta pari a:

$$I = \frac{267 \cdot 10^3 kW}{\sqrt{3} * 220 kV * 0,9} = 778,55 A;$$

mentre per la SdT "C" il valore sarà:

$$I = \frac{266 \cdot 10^3 kW}{\sqrt{3} * 220 kV * 0,9} = 775,63 A;$$

Va anche considerato il tratto di connessione tra la SdT "D" e la futura SE Terna realizzato, sempre in cavo interrato ma alla tensione di 380 kV, che trasporta l'intera potenza generata dal parco eolico e, potenzialmente, l'intera potenza dello storage per un totale di 1 GW (1.000 MW). Per tale situazione la corrente nominale che attraversa il cavo risulta pari a:

$$I = \frac{1.000 \cdot 10^3 kW}{\sqrt{3} * 380 kV * 0,9} = 1.688,16 A;$$

L'algoritmo di calcolo utilizza il seguente modello semplificato:

- tutti i conduttori costituenti la linea sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra loro;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante;



	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 47

- nel caso di conduttori a fascio, supponendo che tutti i sub conduttori siano uguali tra loro e che, in relazione alla sezione normale del fascio, i loro centri giacciono sulla circonferenza circoscritta al fascio, si sostituisce al fascio di sub conduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
- tensione e corrente su ciascun conduttore attivo sono considerati in fase tra di loro.

### Sezione 220 kV – tre terne

Per quanto concerne il caso dei cavi in uscita dalla stazione di giunzione e compensazione si avranno tre terne di cavi interrati di alta tensione (220 kV) posati a trifoglio, la norma CEI 106-11 al cap.6.2.3 indica le modalità di calcolo.

Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato:

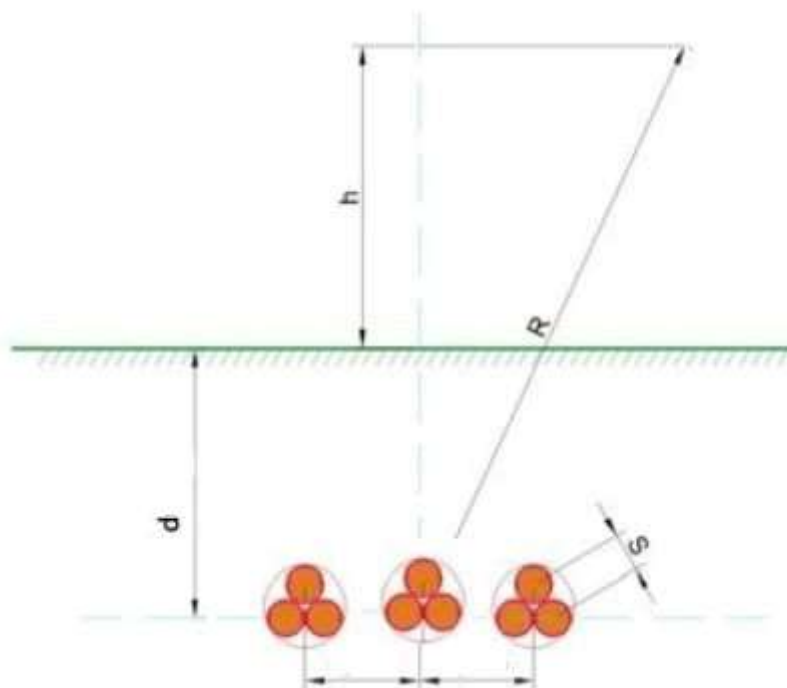


Figura 18 - - Modello di calcolo per più terne a trifoglio



	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 48

In questo caso una delle tre terne di cavi sarà posizionata coincidente con l'origine degli assi e la distanza con le altre due sarà  $\pm 35$  cm.

Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$$

dove B [ $\mu$ T] in questo caso è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi).

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto. Considerata quindi la disposizione spaziale delle tre terne, e fissando l'asse centrale del sistema coincidente con la terna centrale, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B_{tot} = 0,1 * \sqrt{6} * \left[ \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} + \frac{S_3 * I_3}{(x - x_3)^2 + (y - d)^2} \right]$$

Dove:

- $S_1=S_2= S_3$  0,092 m;
- $I_1=I_2= 778,55$  A;
- $I_3= 775,63$  A;
- $d=1,5$  m;
- $x_1 =-0,35$  m;

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 49

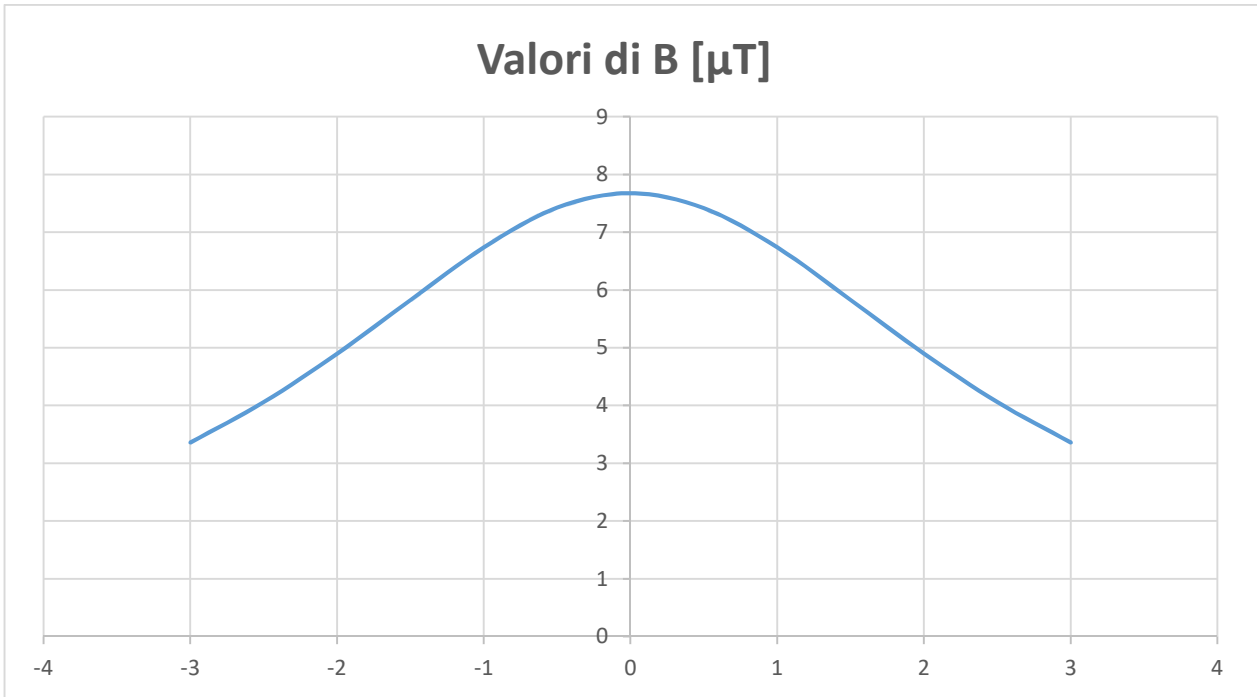
- $x_2 = 0$  m;
- $x_3 = 0,35$  m;

Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,5 m, due correnti di impiego di 778,55 A ed una corrente di impiego di 775,63 A calcolando il valore di B a distanza di 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 m dall'asse centrale:

Distanza dall'asse centrale [m]	$B_{tot}$ a 1,1 m dal suolo [ $\mu T$ ]
-3,00	3,36
-2,50	4,06
-2,00	4,90
-1,50	5,83
-1,00	6,74
-0,50	7,43
0,00	7,68
0,50	7,42
1,00	6,74
1,50	5,83
2,00	4,90
2,50	4,06
3,00	3,36

Tabella 4 - Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 50</p>



Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a  $3 \mu\text{T}$ , si rileva che il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio, pari a  $22,56 \mu\text{T}$ , superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di  $100 \mu\text{T}$ .

Risulta quindi necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale (ad altezza  $h=1,1 \text{ m}$ ) dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a  $3 \mu\text{T}$ .

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa  $3,4 \text{ m}$ , alla quale il campo residuo risulta essere pari  $3,00 \mu\text{T}$ .

Pertanto, relativamente al cavidotto indicato in sez. 3 viene individuata una fascia di rispetto complessiva di  $6,8 \text{ m}$ , centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a  $3,4 \text{ m}$ ), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

	<p style="text-align: center;">PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</p>			
	<p>RELAZIONE ELETTRICA</p>	<p>12/12/2023</p>	<p>REV.1</p>	<p>Pag. 51</p>

### Sezione 380 kV – una terna

Per quanto concerne il caso dei cavi in uscita dalla SdT "D" verso il punto di connessione alla RTN si considera una terna di cavi interrati di alta tensione (380 kV) posati a trifoglio, la norma CEI 106-11 al cap.6.2.3 indica le modalità di calcolo.

Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato:

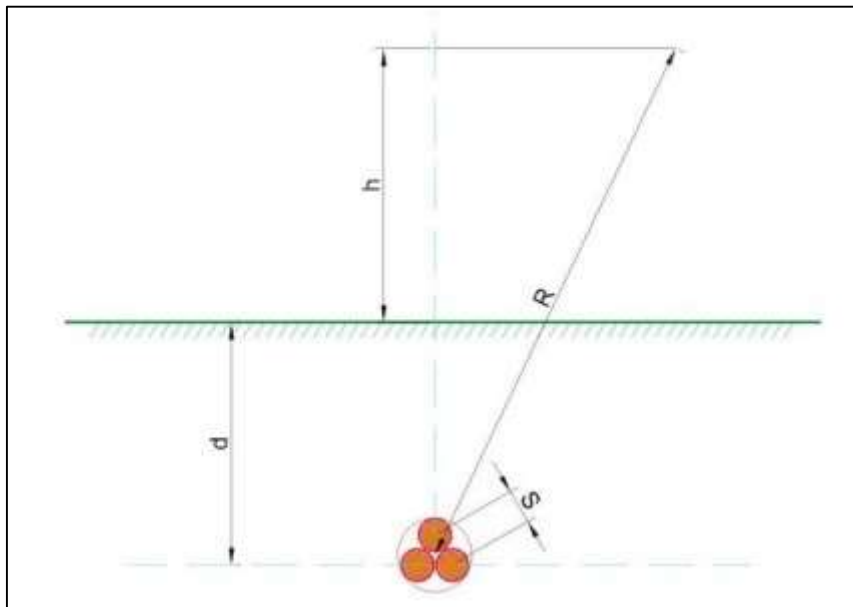


Figura 19 – Modello di calcolo per più terne a trifoglio

In questo caso una terna di cavi coincidente con l'origine degli assi.

Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$$

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 52

dove  $B$  [ $\mu T$ ] in questo caso è l'induzione magnetica in un generico punto distante  $R$  [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi).

Dove:

- $S = 0,127$  m;
- $I = 1.688,16$  A;
- $d = 1,5$  m;

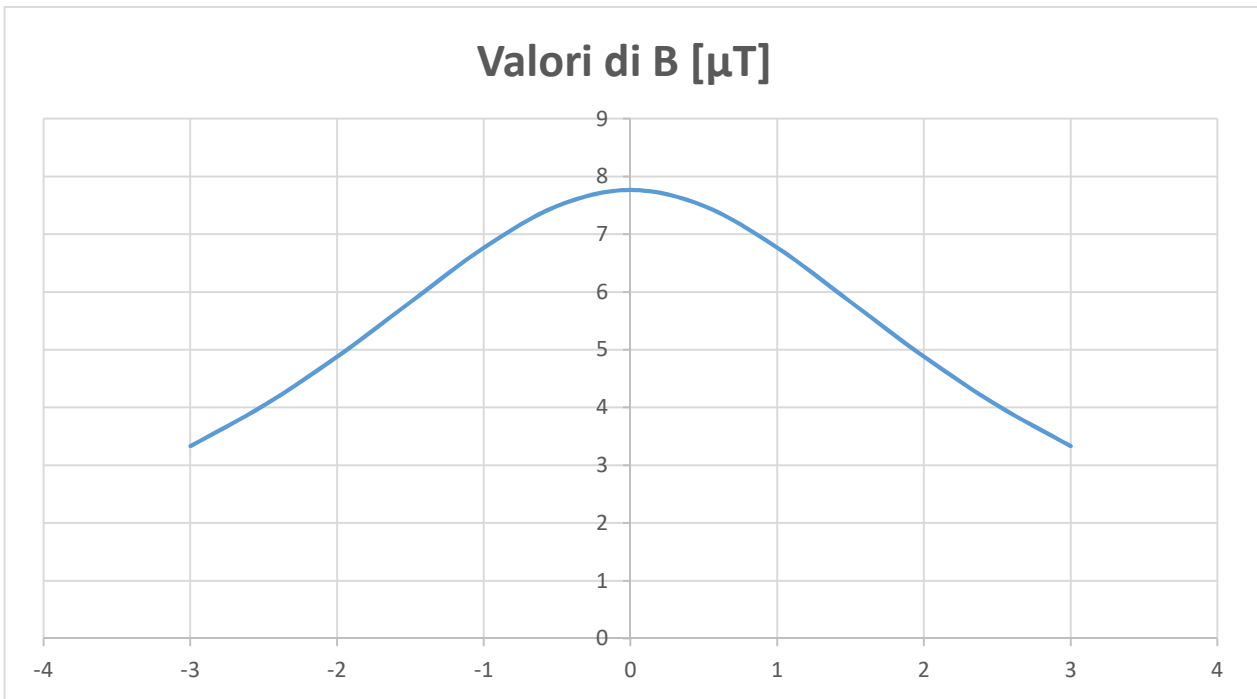
Di seguito vengono riportati i risultati del caso in esame considerando una profondità di posa di 1,5 m, due correnti di impiego di 778,55 A ed una corrente di impiego di 1.688,16 A calcolando il valore di  $B$  a distanza di 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 m dall'asse centrale:

	PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"			
	RELAZIONE ELETTRICA	12/12/2023	REV.1	Pag. 53

Distanza dall'asse centrale [m]	$B_{tot}$ a 1,1 m dal suolo [ $\mu T$ ]
-3,00	3,33
-2,50	4,04
-2,00	4,88
-1,50	5,83
-1,00	6,77
-0,50	7,49
0,00	7,77
0,50	7,49
1,00	6,77
1,50	5,83
2,00	4,88
2,50	4,04
3,00	3,33

Tabella 5 - Valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE "ARDEA"</b>			
	<b>RELAZIONE ELETTRICA</b>	12/12/2023	REV.1	Pag. 54



Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a  $3 \mu\text{T}$ , si rileva che il cavidotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale sul piano di calpestio, pari a  $23,34 \mu\text{T}$ , superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di  $100 \mu\text{T}$ .

Risulta quindi necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale (ad altezza  $h=1,1 \text{ m}$ ) dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a  $3 \mu\text{T}$ .

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa  $3,4 \text{ m}$ , alla quale il campo residuo risulta essere pari  $3,00 \mu\text{T}$ .

Pertanto, relativamente al cavidotto indicato in sez. 3 viene individuata una fascia di rispetto complessiva di  $6,8 \text{ m}$ , centrata sull'asse del cavidotto (DPA pari a  $3,4 \text{ m}$ ), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.