

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEI TERRITORI COMUNALI
DI PIOMBINO E CAMPIGLIA MARITTIMA (LI) LOC. CAMPO ALL'OLMO
POTENZA NOMINALE 57,6 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

ing. Giulia MONTRONE

ing. Francesco DE BARTOLO

STUDI SPECIALISTICI

GEOLOGIA

geol. Matteo DI CARLO

ACUSTICA

ing. Antonio FALCONE

NATURA E BIODIVERSITÀ

BIOPHILIA - dr. Gianni PALUMBO dr. Michele BUX

STUDIO PEDO-AGRONOMICO

dr. Gianfranco GIUFFRIDA

ARCHEOLOGIA

ARSARCHEO - dr. archeol. Manuele PUTTI dr. archeol. Gabriele MONASTERO

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI

R.9 Relazione specialistica Opere Elettriche

REV.	DATA	DESCRIZIONE
------	------	-------------



INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	2
3	DATI PRINCIPALI	3
3.1	DESCRIZIONE SINTETICA DEL SISTEMA ELETTRICO	3
3.2	DATI RELATIVI ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI	3
3.3	DATI ELETTRICI GENERALI DEL SISTEMA	3
3.4	DATI CARATTERISTICHE ELETTRICHE DEI COMPONENTI DELL'IMPIANTO	4
4	SISTEMA DI ACCUMULO ENERGIA ESS	5
4.1	IL PCS	5
4.2	DISPOSIZIONE INTERNA	7
5	CALCOLI	8
5.1	MODALITÀ DI CALCOLO	8
5.2	CALCOLO DELLA PORTATA	8
5.3	SCELTA DEL TIPO DI POSA CAVO MT	10
5.4	SCELTA DEL LIVELLO DI TENSIONE E DEL TIPO DI CAVO	10
5.5	RISULTATI	12
5.6	DIMENSIONAMENTO CAVIDOTTO AT	12
5.7	CONDIZIONI OPERATIVE E VINCOLI	13
6	SOTTOSTAZIONE AT/MT	14
6.1	NUOVO STALLO AT	14
	<i>Sezionatore AT</i>	15
	<i>Interruttore</i>	15
	<i>Trasformatori di tensione induttivi</i>	16
	<i>Scaricatori di sovratensione</i>	16
6.2	CONDUTTORI, MORSE E COLLEGAMENTI AT	16
	<i>TERMINALI PER CAVO 132 kV DA ESTERNO</i>	17
6.3	COLLEGAMENTI AUSILIARI	17
6.4	APPARECCHIATURE A MT	17
6.5	QUADRO GENERALE MT	17
6.6	SERVIZI AUSILIARI ESSENZIALI	18
6.7	RETE DI TERRA	18
6.8	ILLUMINAZIONE ESTERNA ED IMPIANTO FM	18
6.9	IMPIANTI SPECIALI	18
6.10	PROTEZIONE APPARECCHIATURE	19



1 INTRODUZIONE

Il presente documento ha lo scopo di definire la metodologia e i calcoli preliminari degli impianti elettrici relativi alla costruzione del parco eolico posizionato in un'area agricola nei territori comunali di Piombino e Campiglia Marittima (LI), della potenza complessiva di 57,6 MW.

Si dimensioneranno le apparecchiature MT e le sezioni dei cavi MT e i relativi criteri per i sistemi di protezione. In particolare i calcoli per il dimensionamento dei cavi sarà effettuato confrontando le correnti di impiego ricavate da calcoli di load flow con la portata limite del cavo in funzione del suo regime termico di funzionamento e delle sue condizioni di installazione (temperatura ambiente, modalità di posa, loro raggruppamento e resistività termica del terreno ecc.) tale da ottenere perdite inferiori al 2% sulla linea di vettoriamento, margine di sicurezza sulla portata superiore al 20% ed una caduta di tensione al massimo del 2%.



2 NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione sono stati utilizzati i seguenti documenti di riferimento:

- Norme CEI CEI 99-2, 11-17 e 20-21 (equivalenti a IEC 60287);
- Catalogo e documentazione tecnica PRYSMIAN, Nexans cavi ecc.;
- Varia letteratura e documentazione tecnica;
- DPR 547 del 27/04/1955;
- High voltage XLPE Cable systems-technical user Guide Brugg;
- XLPE Cable systems – user's guide ABB;
- Electrical power system – C.L Wadhawa;
- Impianti di terra – Cataliotti – Campoccia;
- Documentazione Enel: 3.3 esecuzione del giunto di isolamento dei cavi MT in uscita dalle cabine primarie
– 2.8 componenti per la messa a terra – 1.3 giunti e connettori.



3 DATI PRINCIPALI

3.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL SISTEMA ELETTRICO

La costruzione della centrale eolica con sistema di accumulo di energia e delle relative opere connesse interesserà i comuni di Piombino e Campiglia Marittima (LI).

La centrale è costituita da 8 aerogeneratori aventi una potenza nominale di 7200 kW, per una potenza complessiva installata di 57,6 MW.

Più in dettaglio, la centrale sarà costituita da:

- N. 8 aerogeneratori da 7200 kW di potenza nominale suddivisi in quattro sottocampi;
- 4 elettrodotti di vettoriamento costituiti ognuno da 1 terna di cavi interrati in media tensione a 30 kV di sezione variabile a seconda della potenza massima prodotta da ogni sottocampo;
- Una sottostazione di trasformazione AT/MT 132/30 kV;
- Un elettrodotto AT a 132 kV costituito da una terna di cavi interrati a 132 kV;
- Un sistema di accumulo elettrochimico di energia di potenza pari a 18 MW e 72 MWh di accumulo.

Gli 8 aerogeneratori saranno collegati in “entra-esce” attraverso i quadri MT inseriti a base palo di ciascun generatore, mediante linee in cavo interrato a 30 kV e verranno suddivisi in 4 sottocampi di produzione che raccoglieranno la potenza prodotta.

Tale soluzione è stata adottata al fine di limitare la potenza sulle linee in arrivo dal campo eolico alla sottostazione e la perdita di produzione di energia nel caso di fuori servizio di un gruppo e per evitare sprechi di materiale.

La suddivisione dei gruppi di sottocampo sarà la seguente:

- Sottocampo 1: CMP3-CMP2-CMP1-SEU;
- Sottocampo 2: PB5-PB4-SEU;
- Sottocampo 3: PB3-SEU;
- Sottocampo 4: PB2-PB1-SEU;

Il sistema di accumulo di energia sarà costituito da 36 container batteria ognuno di capacità di accumulo da 2 MWh e collegati ad un quadro di parallelo DC LV PANEL per essere poi collegati agli inverter ibridi posizionati a monte del DC PANEL. I container sono disposti ed assemblati per dare una potenza complessiva pari a 18 MW. Gli inverter BT a 800 V saranno collegati a tre trasformatori di taglia pari a 6,8 MW.

3.2 DATI RELATIVI ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI

Altezza sul livello del mare	<1000m
Temperatura ambiente	-5 + 40°C
Temperatura media	25°C
Umidità relativa	90%
Inquinamento	leggero
Tipo di atmosfera	non aggressiva

3.3 DATI ELETTRICI GENERALI DEL SISTEMA

Sistema:	trifase
Frequenza:	50 Hz



Numero di fasi:	3
Tensione nominale	30 kV
Tipo di messa a terra del neutro	isolato

3.4 DATI CARATTERISTICHE ELETTRICHE DEI COMPONENTI DELL'IMPIANTO

Di seguito si riportano i dati caratteristici degli elementi costituenti l'impianto che sono stati utilizzati nei calcoli. In particolare, nelle tabelle seguenti si riportano i dati relativi a:

- rete Terna;
- generatori asincroni (aerogeneratori);
- trasformatori MT/AT;

Rete	
Un [kV]	132

Tabella 1 - dati rete Terna

Generatore asincrono		Trasformatore MT/BT	
Un [kV]	0.69/6	Un1 [kV]	30
Pn [MW]	7,2	Un2 [kV]	0.69
Efficiency	0.98	Sr [MVA]	9 (AF)
Cos fi	0.95	Ukr [%]	6
I/n	5	Gruppo	Dyn11

Tabella 2 – dati generatore asincrono e trasformatore MT/BT



4 SISTEMA DI ACCUMULO ENERGIA ESS

La tecnologia più promettente, per le applicazioni di accumulo distribuito di taglia medio-grande, è quella delle batterie agli ioni di litio che presenta una vita attesa molto lunga (fino a 5000 cicli di carica/ scarica a DOD 80%), un rendimento energetico significativamente alto (generalmente superiore al 90%) con elevata energia specifica. Esse sono adatte ad applicazioni di potenza, sia tradizionali, sia quelle a supporto del sistema elettrico. Le caratteristiche delle batterie litio-ioni in termini di prestazioni relative alla potenza specifica, energia specifica, efficienza e durata, rendono queste tecnologie di accumulo particolarmente interessanti per le applicazioni "in potenza" e per il settore automotive.

Nel caso specifico saranno utilizzati accumulatori a ioni di litio (LFP: litio-ferro-fosfatato) che permettono di ottenere elevate potenze specifiche in rapporto alla capacità nominale.

Le batterie sono alloggiare all'interno di container e sono raggruppate in stringhe. Le stringhe vengono messe in parallelo e associate a ciascun PCS attraverso un Box di parallelo che consente l'interfaccia con il PCS.

Le batterie sono di tipo ermetico e sono in grado di resistere, ad involucro integro, a sollecitazioni termiche elevate ed alla fiamma diretta. Esse non costituiscono aggravio al carico di incendio.

Di seguito si riportano i dati della singola cella:



Battery Pack		
General		
Model	LUNA2000-2.0MWH-1H0	LUNA2000-2.0MWH-2H1
Cell Material	LFP	LFP
Pack Configuration	16S 1P	18S 1P
Rated Voltage	51.2 V	57.6 V
Nominal Capacity	320 Ah / 16.38 kWh	280 Ah / 16.13 kWh
Supported Charge & Discharge Rate	≤ 1 C	≤ 0.5 C
Weight	≤ 140 kg	≤ 140 kg
Dimensions (W x H x D)	442 x 307 x 660 mm	442 x 307 x 660 mm

Tabella 3 – scheda tecnica pacchetto batterie

Le celle sono collegate in serie (16 oppure 18) per raggiungere la tensione massima in corrente continua al PCS (inverter bidirezionali CC/CA) ed in parallelo per raggiungere la potenza e la capacità di progetto (2 MWh per Container).

4.1 IL PCS

Il PCS (Power Conversion System), oltre alle batterie di accumulo elettrochimico, è un componente fondamentale per il sistema di accumulo, esso fa da "ponte" tra gli accumulatori e la rete elettrica.

Il PCS serve per controllare e gestire i flussi bidirezionali di energia permettendo alle batterie di caricarsi o scaricarsi secondo le diverse esigenze, attraverso le conversioni AC/DC e viceversa.

Il PCS nel caso specifico sarà formato da 5 inverter bidirezionali montati su un BOX DC di parallelo dove il lato CC sarà collegato alle batterie e l'altra parte in AC sarà collegata al quadro di parallelo BT prima della trasformazione BT/MT e il collegamento alla rete.



LUNA2000-200KTL-H0 Technical Specifications

Electrical		
Max. Input Voltage		1,500 V
Nominal Input Voltage		1,200 V
Max. Branch Current for Battery Rack Side		321 A
Max. Branch Current for PCS Side		193 A
Number of DC Circuit Breaker		14
Max. Input Number of Battery Rack		9
Max. Input Number of PCS		5
Max. Convergence Capacity		5 x 193 A
Protection		
DC Overcurrent Protection	Yes	
Environment		
Operating Temperature Range	-30°C ~ 60°C	
Relative Humidity	0 ~ 100%	
Max. Operating Altitude	4,000 m	
General		
Cable Entries	Top in for PCS & Bottom in for Battery Rack	
Dimensions (W x H x D)	2,040 x 1,415 x 975 mm	
Weight (Without Smart PCS)	≤ 750 kg	
DC Connector / AC Connector	OT Terminal	
Protection Degree	IP55	
Installation Options	Grounding	

Efficiency	
Max. Efficiency	99.0%
DC Side	
Rated DC Voltage	1,180 V
Max. DC Voltage	1,500 V
Operating DC Voltage Range	1,180 V ~ 1,500 V
Max. DC Current	207.6 A
Max. Number of Inputs	1
AC Side	
Rated AC Active Power	200,000 W @40°C
Rated AC Voltage	800 V
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Max. AC Current	173.2 A
Adjustable Power Factor Range	-1 ... +1
Max. Total Harmonic Distortion	<3%
Protection	
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse polarity Protection	Yes
Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Protection	Yes
DC Surge Protection ¹	Type II
AC Surge Protection ¹	Type II
Communication	
Display	LED Indicators, WLAN + APP
USB	Yes
Ethernet	Yes
General	
Dimensions (W x H x D)	875 x 820 x 365 mm
Weight	< 95 kg
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	OT/DT Terminal
AC Connector	OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless

Tabella 4 – dati PCS e Inverter

LUNA2000-2.0MWH-1H0/2H1 Smart String ESS



More Energy



Optimal Investment



Simple O&M



Safe & Reliable

Battery Container		
Model	LUNA2000-2.0MWH-1H0	LUNA2000-2.0MWH-2H1
DC Rated Voltage	1,200 V	1,250 V
DC Max. Voltage	1,500 V	1,500 V
Nominal Energy Capacity	2,064 kWh	2,032 kWh
Rated Power	344 kW * 6	338.7 kW * 3
Container Configuration (W x H x D)	6,058 x 2,896 x 2,438 mm	6,058 x 2,896 x 2,438 mm
Container Weight	≤ 30 t	≤ 30 t
Operation Temperature Range	-30°C ~ 55°C	-30°C ~ 55°C
Storage Temperature Range	-40°C ~ 60°C	-40°C ~ 60°C
Operation Humidity Range	0 ~ 100% (Without Condensation)	0 ~ 100% (Without Condensation)
Max. Operating Altitude	4,000 m	4,000 m
Cooling Method	Smart Air Cooling	Smart Air Cooling
Configuration of HVAC	8 HVACs	6 HVACs
Fire Suppression Agent	FM-200 / Novec 1230™	FM-200 / Novec 1230™
Communication Interface	Ethernet / SFP	Ethernet / SFP
Communication Protocol	Modbus TCP / IEC104	Modbus TCP / IEC104
Protection Degree	IP55	IP55
Certificates (more available upon request)		
Environment	RoHS6	
Safety & Electrical	IEC62477-1, IEC62040-1, IEC61000-6-2, EN50111, UL9540A, IEC62619, UN3536, etc.	

Tabella 5 – dati accumulo container



4.2 DISPOSIZIONE INTERNA

L'impianto di accumulo sarà costituito da 36 Container Batteria ognuno di capacità pari a 2 MWh, disposti ed assemblati per dare una potenza complessiva pari a 18 MW.

In particolare, si formeranno 3 piazzole composte da 3 trasformatori, di potenza pari a 6,8 MVA. Saranno inoltre installati 18 PCS e distribuiti tra i tre trasformatori, formati ognuno da 5 inverter da 200 kW di potenza da 1 MW dove saranno collegati i 36 container di accumulo.



5 CALCOLI

5.1 MODALITÀ DI CALCOLO

Partendo dalla modellazione del sistema con i parametri dei generatori, dei trasformatori, si introducono i parametri dei cavi e si risolve il problema del load flow con il metodo di Newton – Raphson utilizzando un software proprietario e si verifica se sono rispettati i vincoli imposti sulla portata, caduta di tensione, perdite di potenze, etc.

Il processo è iterativo, nel senso che se uno dei vincoli non è rispettato si magiora la sezione dei cavi, e si risolve di nuovo il problema.

Questa operazione sarà ripetuta fino a quando tutti i vincoli saranno rispettati.

Per la scelta delle caratteristiche delle apparecchiature elettriche e per la scelta definitiva dei cavi, si risolve il problema del corto circuito con la norma IEC 60909/2001 equivalente alla norma CEI 11-25, sulla rete precedentemente modellata (con i cavi che rispettano tutti i vincoli imposti).

Risolto il problema del corto circuito, si verifica se tutti i cavi precedentemente scelti, sono in grado di sostenere la corrente presunta di corto circuito per 0,5 secondi. Se si verifica che una data linea non è in grado di sostenere il corto circuito, si magiora la sezione e si procede di nuovo alla verifica, il tutto fino a quando i risultati sono coerenti.

5.2 CALCOLO DELLA PORTATA

Una delle principali caratteristiche funzionali dei cavi interrati è la portata nominale al limite termico I_n , intesa come la massima intensità di corrente che può circolare in un conduttore, in condizioni di servizio, senza che la temperatura sia superiore a quella massima ammissibile θ_{max} dell'isolante. Ovviamente questo valore di temperatura varierà a seconda delle caratteristiche dielettriche dell'isolante impiegato e, di conseguenza, la corrente che può circolare nel conduttore dipende fortemente dal tipo di isolante adoperato che, come precedentemente osservato, è la parte più sensibile alle sollecitazioni elettriche e termiche.

Considerando che il cavo è isolato in XLPE (polietilene reticolato), oppure in E4 o in P1 la temperatura massima ammissibile per l'isolante vale:

$\theta_{max}=90^\circ$ (caso peggiorativo)

Un altro parametro termico da tener presente è la temperatura dell'ambiente di posa del cavo, che varia a seconda delle sue condizioni di posa e, per ciascuna di esse, tiene conto della situazione ambientale più sfavorevole allo smaltimento del calore. In particolare, si è scelto:

$\theta_{amb}=20^\circ$ (come previsto dalla CEI 20-21 per l'Italia)

quale temperatura del terreno di posa.

Si definisce salto termico totale $\Delta\theta_{tot}$ la quantità (funzione della portata I_n):

$$\Delta\theta_{tot}=\theta_{max} - \theta_{amb}=f(I)$$

Il salto termico totale è un limite di temperatura che non deve essere superato. Infatti, la trasmissione di elevati valori di energia elettrica comporta notevoli difficoltà legate, oltre che al tipo di isolante e alle dimensioni del cavo, anche al modo in cui il calore viene smaltito all'esterno. Inoltre, la vita dell'isolante, intesa come l'intervallo di tempo durante il quale il cavo può esercitare le funzioni per le quali è stato realizzato, cala bruscamente se il salto termico totale viene superato.

Assegnato $\Delta\theta_{tot}$, lo scopo del progetto termico è quello di determinare la portata massima ammissibile I_n del cavo. Per determinare la portata I_n occorre valutare l'intera potenza che si dissipa all'interno del cavo (ovvero la potenza termica che si genera al suo interno per effetto dei diversi fenomeni di perdita che hanno sede nei vari strati). Nota la potenza termica, sarà possibile valutare i salti di temperatura $\Delta\theta$ relativi a ogni strato di cui



è composto il cavo. A ciascun elemento del cavo, infatti, compete un diverso salto di temperatura, oltre che una diversa potenza dissipata, e la somma di questi $\Delta\theta$ non dovrà superare $\Delta\theta_{tot}$.

Il progetto termico viene effettuato facendo riferimento alla norma tecnica Norma CEI 20-21, in modo tale da determinare la portata in regime permanente in funzione della temperatura ambiente e modalità di posa. Le elaborazioni di calcolo ed i risultati sono ottenuti, come riportato dalle tabelle sotto riportate, utilizzando la procedura indicata dalla norma:

$$I = [\Delta\theta_{tot} - W_d(0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)) / (RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4))]^{1/2}$$

dove:

- $W_d = \omega C U_2 \tan\delta$ (perdite dell'isolante per unità di lunghezza)
- $C = \epsilon / 18 \ln(D_i/d_c)$ (capacità dell'isolante per unità di lunghezza)
- $R = R'(1 + Y_s + Y_p)$ [Ω/m] (resistenza in corrente alternata del conduttore)
- $R' = R_0[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$ [Ω/m] (resistenza in corrente continua)
- Y_s (fattore dell'effetto pelle)
- Y_p (fattore dell'effetto di prossimità)
- $X_s^2 = 8\pi f 10^{-7} K_p/R'$
- $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ (fattore di perdita nella guaina e nello schermo ($\lambda_2 = 0$ cavo non armato))
- T_1 (resistenza termica dell'isolante)
- T_2 (resistenza termica dell'imbottitura tra isolante e guaina esterna)
- T_3 (resistenza termica del rivestimento esterno del cavo)
- $T_4 = 1,5/3,14 \cdot \rho_T \ln(16L_3/D_e \cdot s^2)$ (resistenza termica tra la superficie del cavo ed il mezzo ambiente per una terna)
- ρ_T (resistività termica del terreno)
- T_4' (resistenza termica tra superficie esterna del cavo ed il mezzo ambiente per due terne affiancate)
- T_4'' (resistenza termica tra superficie esterna del cavo ed il mezzo ambiente per tre terne affiancate)

I cavi saranno posati direttamente a contatto con il terreno. La profondità di posa è di 1,2 m e le terne che seguiranno lo stesso tracciato saranno affiancate ad una distanza, rispetto ai cavi più interni, di 0,25 m asse-asse. La portata dei cavi affiancati è calcolata tenendo conto anche del riscaldamento causato su di esso dalle correnti che effettivamente percorrono gli altri cavi posti nello stesso scavo. Tale calcolo per i vari casi previsti è fatto applicando il principio dell'immagine termica proposta dalla norma CEI 20-21.

Nelle tabelle sotto riportate sono illustrati i risultati dei calcoli di portata in base al numero di terne affiancate per le taglie di cavi che si utilizzeranno nella realizzazione della rete elettrica (95 mmq, 120 mmq, 185 mmq e 400 mmq).

È importante sottolineare che la portata dei cavi dipende fortemente dalla resistività termica del mezzo che circonda il cavo interrato. Per il calcolo delle portate di corrente è stato utilizzato un valore di resistenza termica del terreno di 1,5 K·m/W, mettendosi in condizioni di sicurezza, dato che è un caso peggiorativo rispetto a 1 K·m/W in STC poiché riduce ulteriormente la portata in condizioni di esercizio del cavidotto.

È importante sottolineare che la resistenza termica dei terreni, lungo il percorso degli elettrodotti di collegamento dei sottocampi con la sottostazione AT/MT cambia di molto a seconda della tipologia dei terreni che si hanno dalla zona del campo eolico fino ad arrivare alla zona della sottostazione incontrando zone influenzate dalla presenza dei diversi torrenti.



5.3 SCELTA DEL TIPO DI POSA CAVO MT

Tutti i cavi saranno interrati ad una profondità non inferiore a 1 metro (per il calcolo della portata si è preso come riferimento un coefficiente correttivo pari a 1 per la profondità di posa). I cavi saranno posati su un letto di terreno vegetale oppure di terreno vagliato rinveniente dallo stesso scavo in modo tale da avere una resistenza pari a 1 K·m/W. Verranno posati anche i nastri segnalatori disposti superiormente ai cavi ad almeno 30 cm. La temperatura ambiente considerata in questa fase di progettazione, risulta pari a quella di riferimento, con temperatura max di esercizio del conduttore pari a 90°C per cavi interrati (risulta un coefficiente correttivo pari a 1).

Gli scavi ed i ripristini sulle eventuali carreggiate stradali saranno eseguiti secondo le modalità descritte nelle tavole del progetto esecutivo civile.

Lungo gli elettrodotti saranno posati, oltre ai cavi di energia, quelli in fibra ottica per il controllo degli aerogeneratori della centrale eolica all'interno di un tritubo in PEHD, e una corda di terra in rame nudo, allo scopo di assicurare la continuità elettrica con l'impianto globale ed una efficace dispersione delle correnti di guasto. Per i cavi, in generale, si definiscono le seguenti modalità di posa:

- L: Cavi direttamente interrati senza protezione meccanica supplementare;
- M: Cavi direttamente interrati con protezione meccanica supplementare (lastra piana M.1 o apposito tegolo M.2);
- N: Cavi in tubo interrato;
- O: Cavi in condotti;
- P: Cavi in cunicolo affiorante;
- Q: Cavo in cunicolo interrato;
- R: Cavo in acqua (posato sul fondo R.1 o interrato sul fondo R.2).

5.4 SCELTA DEL LIVELLO DI TENSIONE E DEL TIPO DI CAVO

Ai sensi della norma CEI 11-17 e come riportato nella tabella 4.1.4, in funzione della tensione nominale del sistema pari a 30 kV, si ottiene:

- valore della tensione massima $U_n=30$ kV;
- categoria A oppure B cui corrisponde una durata massima per ogni singolo caso di funzionamento con fase a terra da 1 fino a 8 ore;
- tensione di isolamento a campo elettrico radiale $U_0=18$ kV.

Tra i vari cavi con materiale conduttore in alluminio, è possibile utilizzare cavi ARE4H5ER 30 kV che sono normati, per quanto riguarda le prove sui materiali, dalla norma CEI. Tutte le verifiche sono state effettuate considerando i dati elettrici e costruttivi forniti dalla committenza nonché i datasheet Nexans.

Di seguito si riportano le caratteristiche dei vari tipi di cavo.

✓ Cavo tipo ARE4H5ER

Tale cavo presenta le seguenti caratteristiche:

- anima costituita da conduttore a corda rotonda compatta di alluminio, classe 2 secondo IEC60228;
- semiconduttore interno in materiale elastomerico estruso;
- isolante estruso XLPE;
- semiconduttore esterno in materiale elastomerico estruso;
- barriera d'acqua longitudinale;
- schermo metallico con nastro in alluminio applicato longitudinalmente;



- due guaine una in PE e una in PVC estruso - colore rosso per aumentare la resistenza meccanica.

Il cavo ha una temperatura massima di funzionamento in condizioni ordinarie di 90°C, una temperatura massima ammissibile in corto circuito di 250 °C.

Tipo:	ARE4H5EX
Tensione nominale [kV]:	18/30
Formazione e sezione [mm ²]:	3x1x95
Resistenza a 20 °C [Ω/km]:	0.320
Resistenza a 90 °C [Ω/km]:	0.411
Reattanza [Ω/km]:	0.134
Capacità chilometrica [μF/km]:	0.193

Tabella 6 – Caratteristiche cavo 3x1x95

Tipo:	ARE4H5EX
Tensione nominale [kV]:	18/30
Formazione e sezione [mm ²]:	3x1x185
Resistenza a 20 °C [Ω/km]:	0.164
Resistenza a 90 °C [Ω/km]:	0.211
Reattanza [Ω/km]:	0.118
Capacità chilometrica [μF/km]:	0.258

Tabella 7 – Caratteristiche cavo 3x1x185

Tipo:	ARE4H5EX
Tensione nominale [kV]:	18/30
Formazione e sezione [mm ²]:	3x1x400
Resistenza a 20 °C [Ω/km]:	0.0778
Resistenza a 90 °C [Ω/km]:	0.101
Reattanza [Ω/km]:	0.105
Capacità chilometrica [μF/km]:	0.344

Tabella 8 – Caratteristiche cavo 1x400

Tipo:	ARE4H5EX
Tensione nominale [kV]:	18/30
Formazione e sezione [mm ²]:	1x630
Resistenza a 20 °C [Ω/km]:	0.0469
Resistenza a 90 °C [Ω/km]:	0.063
Reattanza [Ω/km]:	0.093
Capacità chilometrica [μF/km]:	0.409

Tabella 9 – Caratteristiche cavo 1x630



5.5 RISULTATI

Nelle tabelle sottostanti si riportano i dati e i risultati dei calcoli effettuati a piena potenza per tutti i cavidotti di collegamento del parco eolico:

N. Sottocampo	Tratto	Lunghezza Tratto [m]	Sezione [mmq]	Corrente di impiego da Load Flow [A]	Portata Conduttore (n° Terne affiancate) [A]	Margine di sicurezza sul carico [%]	Caduta di tensione sulla linea [%]	Verifica Caduta di tensione
Sottocampo 1	CMP3 - CMP2	3959	185	138,56	316,48 (2)	56,22	0,68	OK
	CMP2 - CMP1	1426	400	277,13	472,14 (2)	41,3	0,25	OK
	CMP1 - SEU	8839	630	415,69	524,66 (4)	20,77	1,06	OK
Sottocampo 2	PB5 - PB4	5850	185	138,56	316,48 (2)	56,22	1,02	OK
	PB4 - SEU	4851	400	277,13	406,26 (4)	31,79	0,85	OK
Sottocampo 3	PB3 - SEU	4627	95	138,56	188,70 (4)	26,57	1,54	OK
Sottocampo 4	PB2 - PB1	2200	185	138,56	287,04 (3)	51,73	0,38	OK
	PB1 - SEU	762	400	277,13	406,26 (4)	31,79	0,13	OK

Tabella 10: Dimensionamento e verifica della portata e cdt cavidotti MT interni all'impianto eolico (potenza erogata 100%)

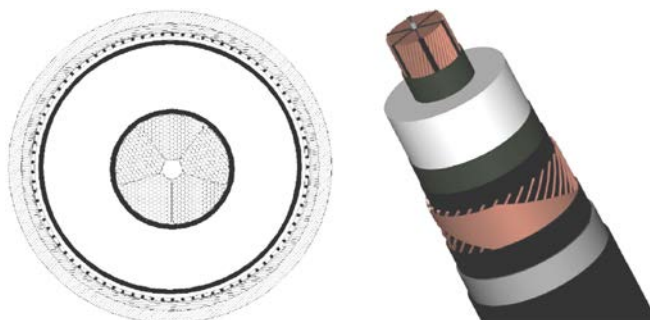
Sistema di accumulo	Tratto	Lunghezza Tratto [m]	Sezione [mmq]	Corrente di impiego da Load Flow [A]	Portata Conduttore (n° Terne affiancate) [A]	Margine di sicurezza sul carico [%]	Caduta di tensione sulla linea [%]	Verifica Caduta di tensione
	BESS 3 - 2	40	95	115,47	219,30 (2)	47,35	0.01	OK
	BESS 2 - 1	40	185	230,94	316,48 (2)	27,03	0.01	OK
	BESS 1 - SEU	40	400	346,41	472,14 (2)	26,63	0.01	OK

Tabella 11: Dimensionamento e verifica della portata e cdt cavidotti MT sistema di accumulo (potenza erogata 100%)

Dai risultati ottenuti, si può constatare che, in regime di funzionamento ordinario (caso di massima potenza erogata), i vincoli impostati sono verificati su ogni tratto di linea.

5.6 Dimensionamento cavidotto AT

Il cavidotto AT, per la connessione della sottostazione di trasformazione al futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV denominata Popolonia, di lunghezza pari a circa 853 m sarà realizzato con cavo in alluminio del tipo ARE4H1H5E, la sezione (1600 mmq) è stata scelta tenendo presente la possibile condivisione dello stallo AT di sottostazione AT/MT.



Di seguito si riportano i dati e le caratteristiche del cavo scelto.

Tipo:	ARE4H1H5E
Tensione nominale [kV]:	87/145
Formazione e sezione [mm ²]:	1x1600

Tabella 12: dati cavidotto AT

Tratto	Sezione [mmq]	Lunghezza [m]	Numero terne max affiancate	Corrente di impiego da Load Flow [A]	Portata Conduttore [A] ($\rho T=1$ C·m/W)	Caduta di tensione sulla linea [%]
SEU - SE	1600	853	1x1600	251.94	1110	trascurabile

Tabella 13: verifica portata cavidotto AT (potenza erogata 100%)

Sarà cura del fornitore del cavo AT (e dei relativi terminali) la posa del cavo e il montaggio dei relativi terminali.

5.7 CONDIZIONI OPERATIVE E VINCOLI

Per i calcoli elettrici relativi ai cavidotti, si sono considerate le seguenti condizioni:

di carico:

- potenza max generatore: 7200 kW;
- Tensione nominale elettrodotto: 30 kV

di posa dei conduttori:

- tipologia di posa: direttamente interrato;
- profondità di posa: 1 m;
- temperatura del terreno: 25°C;
- resistività termica del terreno: 1 K·m/W;
- distanza di posa: 25 cm;
- numero totale massimo di terne nello stesso scavo: 4;
- Coefficiente di riduzione per N. 2 Terne affiancate: 0,86;
- Coefficiente di riduzione per N. 3 Terne affiancate: 0,78;
- Coefficiente di riduzione per N. 4 Terne affiancate: 0,74;

Si sono considerati i seguenti vincoli, imposti dal corretto funzionamento degli impianti e dalla scelta della soluzione più economica:

- massima caduta di tensione per collegamento tra due torri $\Delta V = 1,02\%$;
- massima caduta di tensione per collegamento tra ultima torre e stazione $\Delta V = 1,54\%$;
- tempo di intervento protezione $t=0,5$ s;
- massime perdite ammesse sulle linee: 2%;
- massimo carico previsto per il cavo: 80 %.



6 SOTTOSTAZIONE AT/MT

La società proponente ha intenzione di realizzare una Sottostazione di Trasformazione utente 132/30 kV condivisa con altri produttori, atta a ricevere l'energia prodotta dall'impianto eolico.

All'interno della Sottostazione di Trasformazione la tensione viene innalzata da 30 kV (tensione nominale del sistema di rete di raccolta tra le torri) a 132 kV e da qui con collegamento rigido si collega alle sbarre futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV denominata "Populonia".

La Sottostazione sarà composta da:

- Uno stallo AT per il collegamento del Trasformatore, come di seguito specificato;
- fabbricato quadri, come da elaborato grafico allegato, con i locali MT, il locale telecontrollo e BT, locale gruppo elettrogeno;
- locali per controllo aerogeneratori e misure;

Le apparecchiature ed il macchinario AT saranno dimensionati per sopportare la tensione massima nominale a frequenza industriale della rete a 132 kV.

6.1 NUOVO STALLO AT

Il nuovo stallo AT di progetto sarà composto da **un montante linea - trasformatore**, collegato dal lato AT (132 kV) alle sbarre della Sottostazione Utente AT/MT di ampliamento e dal lato MT (30 kV) ai terminali in uscita dei cavi a 30 kV provenienti dal quadro MT, e sarà costituito da:

- n. 1 sezionatore di tripolare rotativo, con terna di lame di messa a terra, completo di comando motorizzato;
- N. 1 interruttore tripolare per esterno in SF₆;
- N. 1 terna di trasformatori di tensione induttivi per esterno;
- N. 1 terna di trasformatori di corrente unipolari isolati in gas SF₆;
- N. 1 terna di scaricatori di sovratensione per esterno ad ossido di zinco;
- N. 1 trasformatore MT/AT da 50/63 MVA isolato in olio minerale.

Tutte le apparecchiature saranno dimensionate compatibilmente con le caratteristiche della rete nel punto di connessione (tensioni e correnti nominali, correnti di cortocircuito).

In linea generale, tutte le apparecchiature ed i componenti AT sono progettati per sopportare la tensione massima nominale a frequenza di rete a 132 kV cui si collegano e dovranno essere conformi alle specifiche tecniche di Terna.

Le apparecchiature AT saranno posizionate in accordo con la norma CEI 11-1 e con le specifiche Terna, rispettando in particolare i seguenti requisiti:

- altezza minima da terra delle parti in tensione: 4500 mm



- distanza tra gli assi delle fasi delle apparecchiature: 2500 mm

Sezionatore AT

Il sezionatore è posizionato in modo tale da poter separare il singolo impianto di utenza dalle sbarre di parallelo e quindi dall'impianto di consegna.

- Norme di riferimento: IEC 129
- Tensione nominale: 145 kV
- Corrente nominale: 2000 A
- Corrente nominale di breve durata:
 - valore efficace 31,5 kA
 - valore di cresta 80 kA
- Durata ammissibile della corrente di breve durata: 1 s
- Tensione di prova ad impulso atmosferico:
 - verso massa 650 kV
 - sulla distanza di sezionamento 750 kV
- Tensione di tenuta a frequenza di esercizio (1 min.):
 - verso terra 275 kV
 - sulla distanza di sezionamento 315 kV
- Operazione delle lame di linea: manuale/motorizzata
- Operazione delle lame di terra: manuale/motorizzata
- Contatti ausiliari disponibili 4NA+4NC
- Tensioni ausiliarie: 110 V cc

Interruttore

L'interruttore tripolare posto a valle del sezionatore di ogni singolo stallo avrà la funzione di escludere dall'impianto di rete per la connessione il singolo impianto di utenza proteggendo i macchinari da guasti esterni ed interni. Il comando di chiusura sarà regolamentato per non danneggiare persone o cose e deve essere esclusivamente impartito dall'utente.

- Norme applicabili: IEC 56.1
- Numero dei poli: 3
- Mezzo di estinzione dell'arco: SF6
- Tensione nominale: 145 kV
- Livello di isolamento nominale: 170 kV
- Tensione di tenuta a frequenza industriale per 1 min: 325 kV
- Tensione di tenuta ad impulso con onda 1/50 micros: 750 kV
- Corrente nominale: 1250 A
- Corrente di breve durata ammissibile per 1 s: 31.5 kA
- Corrente limite dinamica: 50 kA
- Durata di corto circuito nominale: 1 s
- $\cos\phi$ di corto circuito (a potere di interruzione nom.): 0,15
- Potere di interruzione nominale per guasto ai morsetti:
 - a 170 kV 31.5 kA
 - potere di chiusura nominale 50 kA
- Ciclo di operazione nominale: O-t-CO-t'-CO
- Tempo di attesa t: 0,3 s
- Tempo di attesa t': 1 min
- Comando manovra: tripolare
- Tensioni di alimentazione ausiliaria:
 - motore 110 Vcc
 - bobine di apertura / chiusura 110 Vcc
 - relè ausiliari 110 Vcc



- resistenza di riscaldamento/anticondensa 220 Vca
- Contatti ausiliari: 4NA + 4NC

Trasformatori di tensione induttivi

- Tensione massima di riferimento per l'isolamento: 145 kV
- Rapporto di trasformazione: $145000:\sqrt{3}/100:\sqrt{3}$ V
- Prestazione nominale: 50 VA
- Classe di precisione: 0,2-3P
- Fattore di tensione nominale (funzionamento x 30 s): 1.5
- Tensione di tenuta a frequenza industriale: 325 kV
- Tensione di tenuta ad impulso atmosferico: 750 kV

Scaricatori di sovratensione

Per lo stallo AT, la protezione dalle sovratensioni di origine atmosferico viene assicurata facendo ricorso a degli scaricatori ad ossido di zinco. Questi potranno essere composti da uno o più elementi collegati in serie, ciascuno di essi costituito da un involucro, contenente una o più colonne di resistori di ossido di zinco collegate in parallelo. I resistori ad ossido di zinco devono essere in grado di garantire i livelli di protezione richiesti, di assorbire l'energia associata alle diverse tipologie di sovratensioni e di sopportare la tensione di servizio continuo, in assenza di fenomeni di fuga termica per la vita stimata dell'apparecchio, anche in presenza di scariche parziali all'interno del dispositivo.

- Norme applicabili: IEC 99-4
- Tipo di isolamento: normale
- Tensione di esercizio continuo: 108 kV
- Tensione residua con onda 8/20 μ s a corrente di scarica di:
- 10 kA 396 kV
- Tensione residua con impulsi di corrente fronte rapido 1 μ s:
- 10 kA 455 kV
- Tensione residua con onda 30/60 μ s a corrente di scarica di:
- 0,5 kA 318 kV
- Classe di prova di tenuta ad impulsi di lunga durata: 3
- Corrente nominale di scarica: 10 kA
- Valore di cresta della corrente per la prova di tenuta
ad impulso di forte corrente: 100 kA
- Valore efficace della corrente elevata per la
prova di sicurezza contro le esplosioni: 40 kA
- Linea di fuga della porcellana: normale

Gli scaricatori saranno provvisti di basi isolate e dispositivo contascariche su ciascuna fase.

Trasformatore AT/MT

Per la trasformazione 132/30 kV si utilizzerà un trasformatore trifase a isolamento pieno in olio minerale per installazione all'esterno, con raffreddamento naturale dell'aria e forzato dell'olio (ONAN/ONAF), completo di serbatoio dell'olio per il funzionamento e di serbatoio dell'olio di riserva.

6.2 CONDUTTORI, MORSE E COLLEGAMENTI AT

Le connessioni tra le varie apparecchiature AT a partire dal sezionatore di ingresso fino al trasformatore di potenza dovranno essere realizzate con conduttori in lega di alluminio in tubo P – Al Mg Si UNI 3569-66.



La morsetteria utilizzata dovrà essere di tipo monometallico in lega di alluminio a profilo antieffluvio con serraggio a bulloni in acciaio inox. Nell'accoppiamento eventuale alluminio-rame si utilizzerà pasta antiossidante per impedire la corrosione galvanica tra i due metalli.

Gli isolatori per le colonne portanti dovranno essere realizzati in conformità alle Norme CEI 36-12 e CEI EN 60168.

Terminali per cavo 132 kV da esterno

• Massima tensione di tenuta U_m :	170 kV
• Tensione nominale U :	145 kV
• Valore di U_0 per la determinazione della tensione di prova:	87 kV
• Misura del fattore di perdita U_0 :	87 kV
• Tensione di prova del ciclo di riscaldamento, $2U_0$:	174 kV
• Tensione di scarica parziale $<5pC$, $1.5U_0$:	131 kV
• Tensione di prova all'impulso, BIL:	± 750 kV
• Tensione di prova alternata,	$2.5U_0$

6.3 COLLEGAMENTI AUSILIARI

Per i collegamenti ausiliari si utilizzeranno cavi multipolari con conduttori in corda flessibile in rame isolato in EPR sotto guaina in PVC, tipo F16OR16 0.6/1 kV, in ottemperanza alle norme CEI 20-22 II, con sezione minima pari a 2,5 mmq. Per il collegamento lato secondario certificato UTF dei trasformatori di corrente la sezione minima dei cavi impiegati dovrà essere almeno pari a 4 mmq.

Tutta la cassetteria dei circuiti di misura dei TA e TV dovrà essere realizzata in cavo schermato per una migliore protezione dalle interferenze elettromagnetiche.

6.4 APPARECCHIATURE A MT

La sezione a MT di ogni singolo montante include:

- il montante, in uscita dal quadro elettrico MT dell'impianto utente di connessione sarà composto da scomparti per arrivi linea, per partenza verso il trasformatore AT/MT, per protezione linea servizi ausiliari, per protezione del TV di sbarra;
- n. 1 terna di scaricatori di sovratensione, per esterno, ad ossido di zinco, completi di dispositivo contascariche, attestati sulle sbarre a MT del trasformatore;
- n. 1 apparato per la connessione ai morsetti del trasformatore AT/MT, costituito da n. 3 sbarre in rame, sorrette mediante isolatori da un castelletto in acciaio zincato a caldo per la risalita cavi e la connessione alle suddette sbarre.

6.5 QUADRO GENERALE MT

Il quadro generale MT, del tipo a tenuta d'arco interno, è realizzato in lamiera zincata con unità separate protette con interruttori e sezionatori in SF₆, e sarà composto da:

- N. 1 unità di protezione del trasformatore AT/MT lato MT;
- N. 1 unità di alimentazione servizi ausiliari;
- N. 2 unità di arrivo linee MT da centrale con protezione.



- N. 1 unità di prelievo segnali di tensione di sbarra.

6.6 SERVIZI AUSILIARI ESSENZIALI

Il sistema di distribuzione sarà così composto:

- Raddrizzatore/Caricabatteria;
- Batteria ermetica di accumulatori al piombo;
- Quadro BT servizi ausiliari.

Il raddrizzatore/caricabatteria svolge la duplice funzione di fornire l'alimentazione stabilizzata alle utenze a 110 V_{cc} e contemporaneamente di ricaricare la batteria.

6.7 RETE DI TERRA

La rete di terra sarà realizzata all'interno del recinto mediante una maglia in corda di rame nuda. L'impianto di terra sarà costituito, conformemente alle prescrizioni della CEI EN 50522 (Classificazione CEI 99-3) ed alle prescrizioni della Guida CEI 11-37, da una maglia di terra realizzata con conduttori nudi in rame elettrolitico di sezione pari a 125 mm², interrati ad una profondità di almeno 0.7 m. Per le connessioni agli armadi verranno impiegati conduttori di sezione pari a 70 mm².

6.8 ILLUMINAZIONE ESTERNA ED IMPIANTO FM

L'impianto di illuminazione esterno sarà realizzato con corpi illuminanti opportunamente distanziati dalle parti in tensione ed in posizione tale da non ostacolare la circolazione dei mezzi.

I proiettori saranno del tipo con corpo di alluminio, a tenuta stagna, grado di protezione IP65, con lampade a led non inferiore a 70 W e verranno montati su pali in vetroresina di altezza adeguata, aventi alla base una casetta di derivazione. Il valore medio di illuminamento minimo in prossimità delle apparecchiature AT sarà di 30 lux. Sarà inoltre previsto l'utilizzo di un interruttore crepuscolare per l'accensione/spegnimento automatico dei corpi illuminanti.

Dovrà essere installata l'illuminazione interna dei locali in modo tale che sia garantito all'interno un illuminamento medio di 100 lux con organi di comando indipendenti per singoli locali.

6.9 IMPIANTI SPECIALI

L'area i fabbricati andranno protetti dall'ingresso di non autorizzati tramite un sistema di antintrusione, conforme alla CEI 79-2, composto da:

- barriere perimetrali sui quattro lati del perimetro dell'area utente;
- contatti sulle porte di accesso ai locali di utente, con eccezione del locale misure;
- sirena auto-alimentata antischiama;
- centrale elettronica di allarme con almeno 4 zone;
- trasponder o chiave elettronica con interfaccia presso il cancello di ingresso;
- compositore GSM;



L'area dovrà, inoltre, essere dotata di impianto di videosorveglianza.

6.10 PROTEZIONE APPARECCHIATURE

La protezione di macchina è costituita da due interruttori automatici, uno sul lato MT, l'altro sul lato AT, corredati di relativi sezionatori e sezionatori di terra, lampade di presenza tensione ad accoppiamento capacitivo, scaricatori di sovratensione, trasformatori di misura e di rilevazione guasti. Sarà così realizzata sia la protezione dai corto circuiti e dai sovraccarichi che la protezione differenziale.

Come precedentemente descritto, l'impianto AT sarà dotato di interruttori automatici AT, sezionatori di terra, lampade di presenza rete ad accoppiamento capacitivo, trasformatori di misura. Gli interruttori AT (con azionamento motorizzato) forniranno tramite relè indiretto la protezione dai corto circuiti, dai sovraccarichi, dai guasti a terra.

Le protezioni e le tarature si definiranno in sede di progettazione esecutiva e di regolamento di esercizio.

