

REGIONE  
SICILIANA



COMUNE DI  
SALEMI



COMUNE DI  
MARSALA



Il Committente:

**NP Sicilia 2**

**NP Sicilia 2 S.r.l.**

Via San Marco, 21  
20121 MILANO

P.IVA - C.F. 12844470968

Il Progettista:



dott. ing. VITTORIO RANDAZZO



dott. ing. VINCENZO DI MARCO



Titolo del progetto:

**PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"**  
**POTENZA NOMINALE 39,6 MW**

Elaborato:

PROGETTO DEFINITIVO

Codice Elaborato:

NPS2\_SAL\_D08\_REL

TITOLO ELABORATO:

Relazione di calcolo dimensionamento cavi a 36 kV

FOGLIO:

SCALA:

FORMATO:

A4

Rev:	Data	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0			G.Z.	V.D.	V.R.

	<b>PARCO EOLICO “CELISO-PESCES”</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 1

## INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2
2. PROGETTO.....	4
3. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI .....	7
4. CRITERI DI CALCOLO .....	9
5. PROTEZIONE DEI CIRCUITI DALLE SOVRACORRENTI .....	12
6. RISULTATI DI CALCOLO .....	14

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 2

## 1. INTRODUZIONE

Su incarico di NP Sicilia 2 s.r.l., la società AGON Engineering S.r.l. ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico nei comuni di Salemi (TP) e Marsala (TP).

Il progetto prevede l'installazione di n. 6 nuovi aerogeneratori con potenza unitaria di 6,6 MW, per una potenza complessiva di impianto pari a 39,6 MW. All'impianto verrà altresì affiancato un sistema di storage avente una potenza nominale pari a 13,4 MW, corrispondente a una capacità di accumulo di circa 54 MWh.

Nel dettaglio, tutti gli aerogeneratori ricadono all'interno del territorio afferente al comune di Salemi (TP), mentre la viabilità di esercizio, il cavidotto di collegamento alla rete elettrica nazionale, interesseranno sia il comune di Salemi (TP) sia quello di Marsala (TP).

Nel territorio comunale di Salemi (TP) sarà realizzata una Stazione Utente (SU), dove giungeranno i cavidotti provenienti sia dal parco eolico, sia dall'impianto di storage in oggetto, e dalla quale partirà una doppia terna in parallelo che verrà collegata alla RTN (Rete Trasmissione Nazionale) in antenna a 36 kV previa realizzazione di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/36 kV della RTN, inserita in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV "Fulgatore - Partanna".

Il presente documento descrive il calcolo preliminare di dimensionamento e la sezione dei cavi di Alta Tensione della linea, o dorsale, di collegamento delle 6 torri di generazione eolica che saranno collegate tra loro in entra-esce (i cui collegamenti sono evidenziati negli schemi unifilari allegati) tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 36 kV, posizionati prevalentemente sotto la sede stradale (asfaltata e sterrata, sia esistente che da realizzare) dei comuni suddetti. In uscita dalla torre 2, dalla torre 5, dalla torre 6 e dallo Storage si dipartono le terne (n. 4 complessivamente) di collegamento dell'impianto eolico alla nuova Stazione Utente (SU); la linea in uscita si andrà ad attestare sullo stallo previsto all'interno della sotto stazione elettrica "Partanna 2".

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 3

Il tracciato del cavidotto costituito complessivamente da 4 terne a 36 KV è identificabile sulle planimetrie presentate nell'elaborato "*Planimetria del tracciato del cavidotto*".

È bene specificare che, allo momento in cui la presente relazione viene redatta, non esistono ancora schede tecniche di cavi in rame conformi al nuovo standard Terna 36 kV. Per un dimensionamento di massima si utilizzeranno cavi con livello di isolamento più prossimo a quello di progetto, riservandosi di revisionare tutti i calcoli al momento i cui saranno disponibili adeguate schede tecniche.

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 4

## 2. PROGETTO

### 2.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'impianto eolico è costituito da sei (6) aerogeneratori, ciascuno dei quali comprende un generatore asincrono trifase ( $V = 690 \text{ V}$ ,  $P = 6,6 \text{ MW}$ ), per una potenza complessiva di 39,6MW e da un impianto di Storage che comprende 10 Container Batteria, per una potenza complessiva di 13,4 MW.

Ciascun generatore eolico produrrà energia elettrica alla tensione di 690 V c.a. All'interno di ciascuna torre sarà installato un trasformatore 0.69/36 kV per la trasformazione della tensione in AT a 36 kV.

I 6 aerogeneratori sono interconnessi tra loro tramite un cavidotto interrato in AT avente tensione nominale 36 kV. Questi convergeranno ai vari nodi e successivamente portati al quadro di AT del locale a 36 kV che sarà posizionato all'interno dell'area dedicata alla Stazione Utente.

I Container Batteria dello Storage saranno collegati, invece, in corrente continua agli inverter che saranno connessi, a loro volta, ai trasformatori elevatori. Quest'ultimi verranno indirizzati alla "Switchgear Room" da cui partirà una dorsale a 36 kV che si andrà ad innestare al quadro di AT a 36 kV posizionato all'interno della Stazione Utente.

All'interno di questa sarà pertanto posizionato un quadro in alta tensione a 36 kV in cui convergeranno le quattro dorsali (4 linee) in AT di collegamento delle turbine eoliche. La doppia terna di cavi in AT si andrà quindi ad attestare sullo stallo utente previsto all'interno della sotto stazione elettrica "Partanna 2".

In dettaglio l'impianto e le opere elettriche necessarie al collegamento alla rete AT della RTN dell'energia prodotta dal parco eolico sono le seguenti:

- 6 aerogeneratori ad asse orizzontale;
- 6 cabine di trasformazione poste all'interno delle torri;
- 10 Container Batteria;
- 5 inverter;

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 5

- 3 trasformatori;
- Cavidotto interrato in alta tensione (36 kV) per il collegamento di tutti gli aerogeneratori previsti nel progetto;
- N. 4 Dorsali in partenza dagli ultimi nodi fino alla stazione di utenza in cui sarà posizionato il quadro AT a 36 kV;
- N.1 stazione elettrica di utenza a 36 kV ubicata nel comune di Salemi (TP);
- Collegamento a 36 kV in doppia terna sullo stallo previsto all'interno della sotto stazione elettrica "Partanna 2". Tale sezione permette la connessione dei produttori a 36 kV sulla RTN.

Tutti i dettagli tecnici delle suddette opere sono descritti nelle relazioni allegate al presente progetto.

## 2.2 DATI DI PROGETTO

In Tabella 1 si riportano i dati di progetto utilizzati per il dimensionamento dei cavi.

**Tabella 1: Dati di progetto per il dimensionamento dei cavi a 36 kV**

Dati di progetto	Valore
Tensione di rete impianto eolico	36kV
Materiale del conduttore	Rame
Profondità di posa	1,1- 1,2 m
Temperatura del terreno	25 °C
Resistività del terreno	2 °C m/W
Potenza nominale aerogeneratori	6,6MW
Potenza nominale di impianto	53MW

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 6

Fattore di potenza	0,95
Caduta di tensione massima ammissibile per tratta	4%

La lunghezza di ogni tratta di collegamento in cavo è stata ricavata dalla planimetria generale di impianto in cui è mostrata la posizione delle torri degli aerogeneratori ed il percorso dei cavi.

La lunghezza di cavo risultante è stata quindi aumentata per tenere in considerazione delle risalite nelle torri, sfridi, variazione di quota del terreno e piccole deviazioni di percorso.

Sono state individuate le seguenti linee in partenza dagli aerogeneratori fino alla SU (passando per i nodi indicati in planimetria):

- Linea 1: collega le torri 3, 1 e 2, e da quest'ultima alla Stazione Utente;
- Linea 2: collega le torri 4 e 5, e da quest'ultima alla Stazione Utente;
- Linea 2: collega la torre 6 alla Stazione Utente;
- Linea 4: collega lo Storage alla Stazione Utente;
- Linea 5: Linea di collegamento tra Stazione Utente e SSE "Partanna 2".

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 7

### 3. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI

Scopo del presente paragrafo è quello di fornire le caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavi che verranno utilizzati per il collegamento in alta tensione.

I cavi AT utilizzati per le linee elettriche interrato, per il collegamento tra gli aerogeneratori, così come i cavi tra questi ultimi e la stazione elettrica di utenza, saranno del tipo unipolare, adatti a posa interrato, con conduttore in Cu, isolamento XLPE, schermo fili di rame rosso con nastro di rame, guaina in PE.

schermo fili di rame rosso con nastro di rame.

Il cavidotto AT che interessa il collegamento tra gli aerogeneratori e la sotto stazione utente seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, sarà costituito da cavi unipolari (ad elica visibile) posti all'interno di tubazione e direttamente interrati, ovvero modalità di posa tipo **M**, ad eccezione degli attraversamenti di opere stradali e o fluviali richieste dagli enti concessionari, per i quali sarà utilizzata una tipologia di posa che prevede i cavi unipolari in tubo interrato, modalità di posa **N**, mediante l'uso della tecnica con trivellazione orizzontale controllata (TOC). Sulla maggior parte del cavidotto interrato, la posa verrà eseguita realizzando uno scavo di profondità 1.10-1.20 m (la prima profondità è da considerarsi in terreno agricolo) e larghezza alla base variabile in base al numero di conduttori presenti; in alcune sezioni in corrispondenza delle interferenze rilevate (Rel.02 - Risoluzione Interferenze), la profondità di posa assume valori differenti.

La sequenza di posa dei vari materiali, partendo dal fondo dello scavo, sarà la seguente.

- Strato di sabbia di 10 cm;
- Cavi posati a trifoglio di sezione 50,150 e 240 mm<sup>2</sup> (doppia terna da 400 mm<sup>2</sup> come misura per il collegamento della SU alla SE) direttamente sullo strato di sabbia;
- Posa della lastra di protezione supplementare;

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 8

- Posa del Nastro monitore (a non meno di 20 cm dai cavi);
- Riempimento finale con il materiale di risulta dello scavo e ripristino del manto stradale ove necessario, secondo le indicazioni riportate nelle concessioni degli enti proprietari.

Lungo tutto lo scavo dei collegamenti tra gli aerogeneratori sarà posata una corda in rame nudo di sezione 95 mm<sup>2</sup> per la messa a terra dell'impianto.

Le terminazioni e le giunzioni per i cavi di energia devono risultare idonee a sopportare le sollecitazioni elettriche, termiche e meccaniche previste durante l'esercizio dei cavi in condizioni ordinarie ed anomale (sovracorrenti e sovratensioni). La tensione di designazione U degli accessori deve essere almeno uguale alla tensione nominale del sistema al quale sono destinati, ovvero 36 kV. I componenti e i manufatti adottati per la protezione meccanica supplementare devono essere progettati per sopportare, in relazione alla profondità di posa, le prevedibili sollecitazioni determinate dai carichi statici, dal traffico veicolare o da attrezzi manuali di scavo, secondo quanto previsto nella norma CEI 11-17. I percorsi interrati dei cavi devono essere segnalati, in modo tale da rendere evidente la loro presenza in caso di ulteriori scavi, mediante l'utilizzo di nastri monitori posati nel terreno a non meno di 0.2 m al di sopra dei cavi, secondo quanto prescritto dalla norma CEI 11-17. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Alta Tensione".

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 9

## 4. CRITERI DI CALCOLO

I cavi sono stati dimensionati seguendo la normativa di riferimento. In particolare le norme tecniche di riferimento sono le seguenti:

- **IEC 60840:** Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um= 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV)
- **CEI EN 60909 (11-25)** – Calcolo di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata;
- **IEC 60287:** Electric cables – Calculation of the current rating;
- **CEI 11-17:** Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo.

In particolare, la sezione dei cavi è stata scelta considerando i seguenti aspetti:

- Portata nominale
- Massima caduta di tensione ammissibile
- Tenuta al corto circuito
- Tipologia di posa (Trifoglio)
- Condizioni ambientali

### 4.1 CALCOLO DELLA PORTATA

La portata dei cavi in regime permanente viene determinata in accordo alla norma IEC 60502-2, tenendo conto del declassamento dovuto alla temperatura, profondità e tipologia di posa.

In particolare è utilizzata la formula seguente:

$$I_z = I_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4$$

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 10

dove:

- $I_0$  = portata in condizioni nominali dei conduttori con isolante polimerico, E4 e G7, ed è ricavata dai datasheet del costruttore;
- $k_1$  = fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20 °C  
0,96
- $k_2$  = fattore di correzione che tiene conto del numero di circuiti affiancati  
0,85 per tre circuiti mentre pari a 0,90 per due circuiti
- $k_3$  = fattore di correzione per profondità di posa diversa  
0,96
- $k_4$  = di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento  
0,90

## 4.2 CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO

In termini di correnti di corto circuito la sezione minima del conduttore può essere calcolata tramite la seguente equazione:

$$S_{min} = \frac{I_{cc} * \sqrt{t}}{C}$$

Dove:

- $I_{cc}$  = Corrente di corto circuito (A)
- $C$  = coefficiente definito dalla Norma CEI 11-17 (Tabella 4.2.2)
- $t$  = Tempo di eliminazione del corto circuito

## 4.3 CALCOLO DELLE CADUTE DI TENSIONI

Sul percorso considerato la caduta di tensione è calcolata secondo la formula:

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 11

$$\Delta V = \sqrt{3} * I * L * (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 12

## 5. PROTEZIONE DEI CIRCUITI DALLE SOVRACORRENTI

### 5.1 PROTEZIONE DAL SOVRACCARICO

La protezione dei circuiti nei confronti di un sovraccarico, per via della tipologia di impianto elettrico in oggetto, è stata omessa in quanto sarà impossibile l'insorgere di un sovraccarico essendo le potenze in gioco ben definite e limitate dal valore di producibilità massima delle turbine eoliche. Pertanto, il dimensionamento dei cavi di distribuzione garantisce intrinsecamente la condizione di normale esercizio in relazione alle correnti di impiego in gioco.

Tuttavia, le protezioni dei circuiti sono state scelte garantendo che la corrente nominale dell'interruttore automatico deve essere scelta in relazione alla portata del cavo, ossia deve essere superiore o uguale alla corrente massima transitabile nel cavo per un tempo indefinito, senza che in questo si raggiungano sovratemperature inaccettabili.

### 5.2 PROTEZIONE DAL CORTO CIRCUITO

La protezione contro i cortocircuiti è stata perseguita con interruttore e relè controllati da relè di protezione posti nel quadro di distribuzione generale della stazione utente a 36 kV. Secondo la norma IEC 60364-5-54, deve essere scelta una sezione minima del cavo che rispetti la seguente formula:

$$I^2 * t < K^2 * S^2$$

Dove:

- t è la durata del guasto in secondi;
- S rappresenta la sezione del cavo in mm<sup>2</sup>;
- I è il valore della corrente di corto circuito in Ampere;
- K è una costante elettrica dei cavi che dipende sia dal materiale del conduttore sia dal tipo di isolante del cavo scelto.

	<b>PARCO EOLICO “CELISO-PESCES”</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 13

In merito al valore di corrente di cortocircuito scelto a livello del quadro di sottostazione, si è considerata la massima delle correnti ammissibili dalle celle di alta tensione. Ci si è posti quindi nelle condizioni peggiori di esercizio, garantendo quindi un corretto dimensionamento dei cavi. Il soddisfacimento della relazione di cui sopra garantisce che il cavo, nell'intervallo di tempo compreso tra lo stabilirsi del cortocircuito e l'istante di apertura del circuito da parte delle protezioni, non risulterà danneggiato dalla sovratemperatura determinata dalla corrente di cortocircuito stessa.

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 kV</b>	29/05/2023	REV.1	Pag. 14

## 6. RISULTATI DI CALCOLO

I risultati del calcolo di dimensionamento sono riportati nella pagina successiva, con evidenziate le sezioni preliminarmente scelte per il progetto (50, 150, 240 e 400 mm<sup>2</sup>).

Come si evince dalla tabella, il valore della C.d.t. relativa alle linee AT di ogni collegamento tra gli aerogeneratori è inferiore al 4 % previsto

Linee	Tratta			Caratteristiche del sistema					Caratteristiche dei Cavi					Massima Corrente Ammissibile					Calcolo C.d.T.						Tipo Cavi		
	Da	A	Lungh.	Sistema	cos	Potenza	Tensione nominale	Corrente di Impiego (Ib)	Sezione	Lungh.	Materiale	Tensione di esercizio	Portata (Iz)	Fattori di Correzione				Portata corr.	Verifica	r	x	cos	sen	Δv		ΔV	ΔV %
			km		Φ	kW	V	A						mmq	km	cond.	kV			A	K1	K2	K3	K4		A	Ω/km
Linea 1	WTG 1	WTG 2	2,00	3,00	0,95	6600,00	36000	111,42	50	2,000	Cu	26/45	205,000	0,96	0,85	0,96	0,90	144,53	OK	0,494	0,150	0,95	0,31	0,893	199	0,553	RG7H1R 26/45 kV
	WTG 3	WTG 2	1,00	3,00	0,95	6600,00	36000	111,42	50	1,000	Cu	26/45	320,00	0,96	0,85	0,96	0,90	225,61	OK	0,494	0,150	0,95	0,31	0,893	100	0,28	
	WTG 2	Cabina	6,500	3,00	0,95	19800	36000	334,27	240	6,500	Cu	26/45	510,00	0,96	0,85	0,96	0,90	359,56	OK	0,099	0,120	0,95	0,31	0,23	492,13	1,37	
Linea 2	WTG 4	WTG 5	3,000	3,00	0,95	6600	36000	111,42	50	3,000	Cu	26/45	205,00	0,96	0,85	0,96	0,90	144,53	OK	0,494	0,150	0,95	0,31	0,893	299	0,830	
	WTG 5	Cabina	4,000	3,00	0,95	13200	36000	222,84	150	4,000	Cu	26/45	385,00	0,96	0,85	0,96	0,90	271,43	OK	0,16	0,13	0,95	0,31	0,33	295,42	0,82	
Linea 3	WTG 6	Cabina	3,000	3,00	0,95	6600,00	36000	111,42	50	3,00	Cu	26/45	223,00	0,96	0,85	0,96	0,90	157,22	OK	0,494	0,150	0,95	0,31	0,89	298,62	0,83	
Linea 4	Accumulo	Cabina	0,150	3,00	0,95	13400,00	36000	226,22	150	0,15	Cu	26/45	385,00	0,96	0,85	0,96	0,90	271,43	OK	0,16	0,13	0,95	0,31	0,33	11,25	0,03	
Linea 7	Cabina	SE Terna	2,000	3,00	0,95	53000,00	36000	894,75	2x400	2,000	Cu	26/45	50,00	0,96	0,90	0,96	0,90	970,44	OK	0,06	0,11	0,95	0,31	0,16	293,55	0,815	