

REGIONE SICILIA  
PROVINCIA DI TRAPANI  
COMUNE DI MARSALA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO  
DI POTENZA PARI A 33,465 MW, SU TERRENO AGRICOLO  
NEL COMUNE DI MARSALA (TP) IN C.DA MESSINELLO  
IDENTIFICATO AL N.C.T. AL FG. 137 P.LLA 4, 182, FG. 138 P.LLA 109, 112, 115, 160, 161,  
173, 174, 175, 207 E ALTRE AFFERENTI ALLE OPERE DI RETE

Timbro e firma del progettista

**Capital Engineering snc**  
Ing. Vincenzo Massaro



Timbri autorizzativi

**Capital Engineering snc**  
Ing. Salvatore Li Vigni



## RELAZIONE TECNICA ELETTRICA

### IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello prog.	ID Tema	Tipo Elabor.	N.ro Elabor.	Project ID	NOME FILE	DATA	SCALA
PDef	201900883	Relazione	02	MESSINELLO	MESSINELLO Relazione tecnica elettrica del 21 11 2020.doc	15.12.2020	-

### REVISIONI

VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
Rev.00	15.12.2020	Prima emissione	GR	MTM	VM

IL PROPONENTE

**Messinello Wind S.r.L.**

Messinello Wind S.r.L.  
Corso di Porta Vittoria n. 9 - 20122 - Milano  
P.IVA: 11426630965  
PEC: messinellowind@mailcertificata.net

PROGETTO DI



Capital Engineering S.n.c.  
Sede legale: Viale Praga, 45 - 90146 - Palermo  
e-mail: info@capitalengineering.it

SU INCARICO DI



Coolbine S.r.L.  
Sede legale: Viale Praga, 45 - 90146 - Palermo  
e-mail: progettazione@coolbine.it



## Sommarario

1.	Descrizione generale degli impianti.....	2
1.1	Generalità.....	2
1.2	Descrizione del tracciato dell'elettrodotto .....	2
2.	Cavidotto interno in MT a 30kV.....	4
2.1	Documentazione di riferimento .....	4
2.2	Campi elettromagnetici.....	4
3.	Sottostazione di Utenza 30kV/200kV .....	5
4.	Riferimenti normativi .....	6
5.	Descrizione delle linee MT.....	6
5.1	Dimensionamento dei cavi.....	7
5.2	Caratteristiche elettriche e meccaniche del conduttore di energia.....	11
6.	Messa a terra dei rivestimenti metallici .....	13
7.	L'impianto di terra .....	13
8.	Sistema di monitoraggio .....	13
9.	Interferenze del cavidotto MT .....	13

## 1. Descrizione generale degli impianti

### 1.1 Generalità

L'impianto eolico denominato "Messinello", che ricade nel Comune di Marsala (TP), è costituito da sei aerogeneratori, ciascuno dei quali comprende un generatore sincrono trifase. Queste macchine sono collegate al rispettivo trasformatore MT/BT di macchina (30/0,69 kV).

Gli aerogeneratori sono interconnessi tramite una linea MT a 30 kV alla nuova Sotto Stazione Elettrica Utente di trasformazione 30kV/220kV, e da questa, tramite cavidotto interrato a 220KV alla Stazione Elettrica "Partanna 2" di nuova realizzazione. Ogni aerogeneratore è dotato di tutte le apparecchiature e circuiti di potenza nonché di comando, protezione, misura e supervisione.

L'impianto elettrico in oggetto comprende sistemi di categoria 0, I, II e III ed è esercito alla frequenza di 50Hz. Si distinguono le seguenti parti:

- il sistema MT a 30 kV c.a., esercito con neutro isolato;
- il sistema BT a 690 V c.a., esercito con neutro a terra (montante aerogeneratore);
- il sistema BT a 400 V c.c., per le alimentazioni protette;
- il sistema AT a 220 kV c.a., esercito con neutro isolato.

L'impianto è pertanto composto dalle seguenti strutture:

- n° 6 aerogeneratori con annesse all'interno tutte le apparecchiature di macchina
- Un sistema di cavi MT a 30 kV interrati per il collegamento fra gli aerogeneratori e nuova Sotto Stazione Elettrica Utente di trasformazione 30kV/220kV
- Gruppi di Misura (GdM) dell'energia prodotta, a loro volta costituiti dagli Apparecchi di Misura (AdM) e dai trasduttori di tensione (TV) e di corrente (TA). Particolare rilievo assumono a tal proposito il punto di installazione degli AdM, il punto e le modalità di prelievo di tensione e corrente dei relativi TA e TV, la classe di precisione dei singoli componenti del GdM
- Apparecchiature elettriche di protezione e controllo BT, MT, ed altri impianti e sistemi che rendono possibile il sicuro funzionamento dell'intera installazione e le comunicazioni al suo interno e verso il mondo esterno, in gran parte installati all'interno della Cabina di consegna
- Apparecchiature di protezione e controllo dell'intera rete MT

### 1.2 Descrizione del tracciato dell'elettrodotta

Il tracciato dell'elettrodotta in cavo interrato è stato studiato in armonia con quanto dettato dall'art.121 del T.U. 11/12/1933 n° 1775, comparando le esigenze della pubblica utilità delle opere con gli interessi sia pubblici che privati coinvolti.

Esso utilizza maggiormente corridoi già impegnati dalla viabilità stradale principale e secondaria esistente, con posa dei cavi il più possibile al margine della sede stradale. L'elettrodotta è stato progettato in modo tale da recare minor sacrificio possibile alle proprietà interessate, avendo cura di vagliare le situazioni esistenti sui fondi da asservire rispetto anche alle condizioni dei terreni limitrofi.

Esso si estende, per quanto concerne la parte relativa al cavidotto interno a Media Tensione (30 KV), per circa 6000,0 metri, per quanto concerne invece il cavidotto AT di collegamento tra la Sotto Stazione di Utenza e la Stazione Elettrica "Partanna 2" esso si estende per circa 480,0 metri.

In ottemperanza alle procedure poste in essere, è stata sottoposta al gestore Terna S.p.A. formale istanza di allacciamento dell'impianto in oggetto alla RTN al fine di valutarne la fattibilità tecnica. In data 16/10/2019 e con Codice Pratica 201900883 è stata ottenuta da Terna S.p.A. la seguente Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), di cui si riporta di seguito un estratto.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la Vs. centrale venga collegata in antenna a 220 kV con una nuova stazione elettrica di smistamento (SE) a 220 kV della RTN, da inserire in entra – esce sulla linea RTN a 220 kV “Fulgatore – Partanna”. Detta stazione sarà inoltre collegata, tramite un nuovo elettrodotto a 220 kV di collegamento della RTN con la stazione 220 kV di Partanna, previo ampliamento della stazione a 220 kV di Partanna.

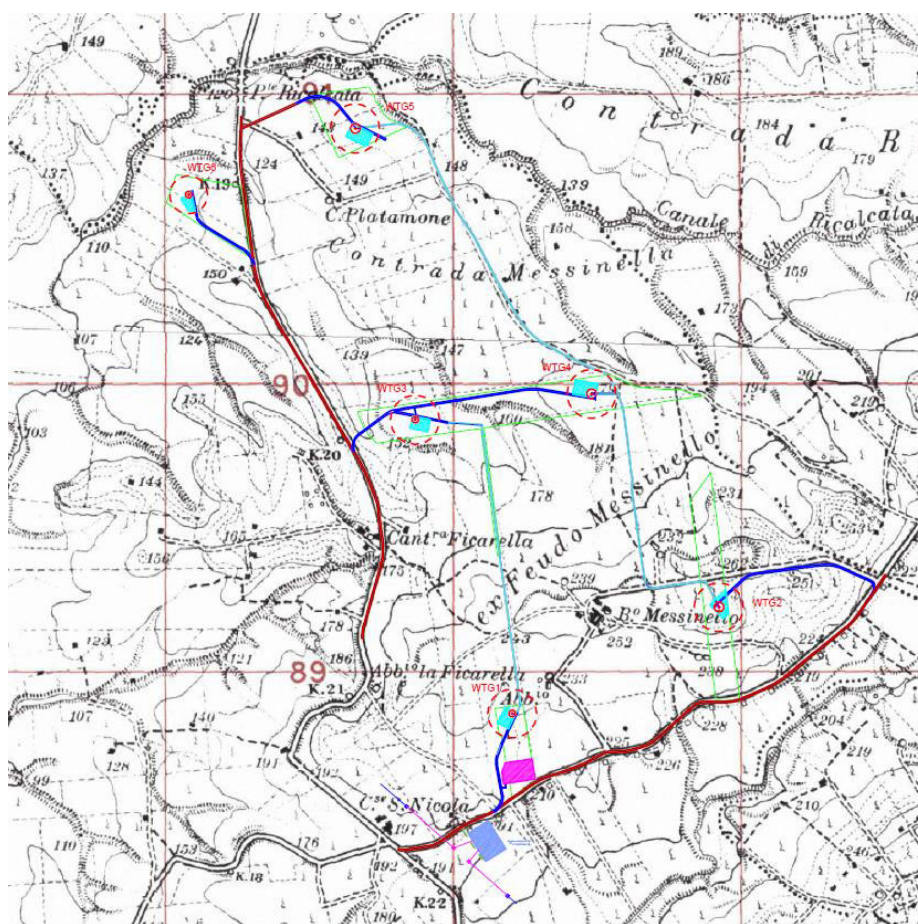


Fig.1 – Corografia IGM con indicazione cavidotti e elettrodotto MT

## 2. Cavidotto interno in MT a 30kV

### 2.1 Documentazione di riferimento

- DPCM 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- DL 9 aprile 2008 n° 81 "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro"
- Norma CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici"
- Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"
- Norma CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo."
- DM del MATTM del 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti"

### 2.2 Campi elettromagnetici

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico e un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente che vi circola. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza come mostrato dai grafici seguenti.

Tuttavia nel caso di cavi interrati, la presenza dello schermo e la relativa vicinanza dei conduttori delle tre fasi elettriche rende di fatto il campo elettrico nullo ovunque. Pertanto il rispetto della normativa vigente in corrispondenza dei recettori sensibili è sempre garantito indipendentemente dalla distanza degli stessi dall'elettrodotto.

Per quanto riguarda invece il campo magnetico si rileva che la maggiore vicinanza dei conduttori delle tre fasi tra di loro rispetto alla soluzione aerea rende il campo trascurabile già a pochi metri dall'asse dell'elettrodotto.

La linea di connessione genera, con andamento radiale rispetto ai cavi, dei campi elettromagnetici dovuti al passaggio della corrente e ad essa proporzionali. In aria, l'andamento di tale campo in funzione della distanza dal cavo è proporzionale all'inverso del quadrato della distanza, ossia esso diminuisce fortemente la sua intensità con l'allontanarsi dalla sorgente. La presenza di rivestimenti di isolamento e schermature metalliche ne limitano ulteriormente l'intensità. Il campo elettrico è prodotto da un sistema polifase risulta associato alle cariche in gioco, e quindi alle tensioni, ed è quindi presente non appena la linea sia posta in tensione, indipendentemente dal fatto che essa trasporti o meno potenza.

Il campo magnetico B è invece associato alla corrente (e quindi alla potenza) trasportata dalla linea. Esso scompare quando la linea è solo "in tensione" ma non trasporta energia. I campi elettromagnetici, in base alla loro frequenza, possono essere suddivisi in:

- onde ionizzanti (IR): onde ad alta frequenza così chiamate in quanto capaci di modificare la struttura molecolare rompendone i legami atomici (l'esempio più ricorrente è quello dei raggi X) e perciò cancerogene;
- onde non ionizzanti (NIR): su cui sono tuttora in corso numerosi studi tesi a verificare gli effetti sull'uomo. Questo tipo di onde comprende, tra le varie frequenze, le microonde, le radiofrequenze ed i campi a frequenza estremamente bassa (ELF - Extremely Low Frequency da 0 a 10 kHz). Fra questi campi a bassa frequenza (ELF) è compresa anche l'energia elettrica che è trasmessa a frequenza di 50 Hz.

Le grandezze che determinano l'intensità e la distribuzione del campo magnetico nello spazio circostante una linea interrata sono fondamentalmente:

1. intensità delle correnti di linea;
2. distanza dai conduttori;
3. isolanti, schermature e profondità di interrimento del cavo;
4. disposizione e distanza tra conduttori

Per mitigare il campo magnetico generato da una linea elettrica è necessario agire su una o più delle grandezze sopra elencate, dal momento che la schermatura mediante materiali ad alta permeabilità e/o conducibilità non è strada praticabile. L'influenza dei vari fattori si evince immediatamente dalla legge di Biot-Savart: il campo magnetico è direttamente proporzionale all'intensità di corrente e inversamente proporzionale alla distanza dalla sorgente.

Il quarto fattore, entra in gioco per il fatto che il sistema di trasmissione è trifase, cioè composto da una terna di correnti di uguale intensità ma sfasate nel tempo. Poiché il campo magnetico in ogni punto dello spazio circostante è dato dalla composizione vettoriale dei contributi delle singole correnti alternate, ne deriva un effetto di mutua compensazione di tali contributi tanto maggiore quanto più vicine tra loro sono le sorgenti, fino ad avere una compensazione totale se le tre correnti fossero concentriche.

Per le linee aeree, la distanza minima tra i conduttori è limitata alla necessaria distanza tra le fasi e dipende dalla tensione di esercizio, mentre per le linee in cavo tale distanza può essere dell'ordine di 20-30 cm con un abbattimento sostanziale del campo magnetico già a poca distanza. Come avviene ormai sempre più di frequente, le linee di Media Tensione non vengono più costruite mediante linea aerea, ma interrate consentendo di ridurre drasticamente l'effetto dovuto ai campi elettromagnetici attenuati dal terreno che agisce da "schermatura naturale", abbassando l'intensità di tali emissioni a valori addirittura inferiori ai più comuni elettrodomestici di uso quotidiano. Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Norma CEI 211-4.

Per maggiori approfondimenti si rimanda alla relazione Rel19 – Relazione campi elettromagnetici.

### 3. Sottostazione di Utenza 30kV/200kV

Gli aerogeneratori sono tra loro collegati mediante linea trifase interrata (cavo tripolare MT - 30 kV), in configurazione entra-esce.

Dall'ultimo aerogeneratore (WTG01) la linea interrata prosegue fino alla Sotto Stazione Elettrica di Utenza MT/AT, ubicata in prossimità della WTG01. Quindi, Le linee provenienti dai 5 aerogeneratori vengono connesse all'interno del quadro dell'Aerogeneratore WTG01, dal quale ripartono poi i cavi in MT (linee trifasi interrate, in cavo MT - 30 kV), che collegano l'impianto alla sezione di trasformazione MT/AT, posta all'interno della sottostazione elettrica utente. Dalla sezione di trasformazione MT/AT interna alla Stazione di Utenza parte un cavo in AT (linea trifase interrata, in cavo AT - 220 kV), che arriva alla sotto stazione Terna "Partanna 2" di consegna in AT.

La stazione di utenza, e sita all'interno di un'area recintata di circa 50m x 35m, il trasformatore MT/AT e tutta la sezione impiantistica in AT (220 kV), sono posizionati all'aperto, mentre le sezioni MT e BT all'interno di un manufatto in muratura ordinaria e/o strutture prefabbricate leggere (avente le seguenti dimensioni complessive: circa 20m x 5,6m con altezza interna di circa 2,80m), suddiviso in vari locali funzionali: locale quadri MT, locale trasformatore MT/BT per servizi ausiliari di cabina, locale Misure, locale sistema di telecontrollo. Per maggiori approfondimenti fare riferimento alla Tav. 26 - Schema elettrico unifilare, Tav. 27 - Particolare sottostazione elettrica utente e Tav. 28 - Sezione stallo linea in cavo 220 kV.



#### 4. Riferimenti normativi

Nella redazione del presente progetto sono state e dovranno essere osservate anche in fase di esecuzione dei lavori di installazione, le disposizioni di legge vigenti in materia e le norme tecniche del CEI. In particolare, si richiamano le seguenti Norme e disposizioni di legge:

- Impianti elettrici in generale: CEI 64-8, CEI 81-1, CEI 81-3, CEI 81-8, CEI 0-2, CEI 0-3;
- Connessione alla rete: CEI 11-20
- Impianti di terra: CEI 11-1
- Cavidotti e cavi: CEI 20-21, CEI 11-17, DPR 16/12/ 92 N. 945 con successivi chiarimenti e deroghe, CEI EN 50086-2-4,
- Sicurezza del lavoro: DPR 547/55, DPR 164/56, DPR 303/56, L. 46/90 ed attuativi, D.Lgs 626/94 con modifiche ed attuativi, D.Lgs 81/08 con modifiche ed attuativi.

Per la connessione dell'impianto eolico "Messinello" alla Rete di Trasmissione Nazionale ("RTN") è stata inoltrata istanza all'Ente Gestore (Terna spa). L'ipotesi di soluzione prevede che l'impianto sia collegato con la nuova stazione elettrica "Partanna 2" a 220kV.

#### 5. Descrizione delle linee MT

I cavi provenienti dalla navicella, che trasportano l'energia elettrica prodotta in bassa tensione pari a 690 V, saranno collegati, tramite cavi di potenza, a trasformatori BT/MT, che eleveranno il valore della tensione a 30 kV. I trasformatori sono posizionati all'interno della navicella, non comportando dunque alcun ulteriore ingombro. L'energia prodotta da ogni aerogeneratore sarà quindi adattata, con i suddetti trasformatori elevatori, alle caratteristiche [frequenza (50Hz) e tensione (30kV)], e sarà quindi convogliata verso la Sotto Stazione Utenza (30kV/220kV) con dei cavi di sezione adatta alla potenza trasportata, ed aventi caratteristiche di isolamento funzionali alla tensione di trasmissione (18/30kV). I cavi utilizzati saranno del tipo con conduttori in corda compatta di rame stagnato, con isolamento in mescola elastomerica reticolata di qualità G7 rispondente alle Norme CE 20-11, provvisti di strati semiconduttivi interni ed esterni all'isolante primario, lo schermo metallico sarà costituito da fili di rame avvolti ad elica, la guaina esterna è costituita da una mescola termoplastica in PVC di qualità RZ di colore rosso. I suddetti cavi saranno interrati ad una profondità di circa 1,5 metri, e la posa sarà effettuata realizzando una trincea a sezione costante di circa 60 centimetri di larghezza, ponendo sul fondo dello scavo, opportunamente livellato un letto sabbia fine o di terreno escavato se dalle buone caratteristiche geomeccaniche.

Sul fondo dello scavo sarà posato il conduttore di protezione costituito da una corda di rame stagnata avente una sezione di 50 mm o in alluminio di sezione equivalente, tale conduttore sarà interamente ricoperto dalla terra compattata.

Al di sopra di tale strato si poseranno quindi i conduttori a media tensione con posa a trifoglio, il cui verso di avvolgimento sarà invertito ogni 500 metri in modo da compensare le reattanze di linea. I cavi saranno poi ricoperti da uno strato di circa 15/20 centimetri di terra vagliata e compattata. Al di sopra di tale strato saranno posate per tutta la lunghezza dello scavo, ed in corrispondenza dei cavi, delle beole in CLS rosso, aventi la funzione di protezione da eventuali colpi di piccone o altro attrezzo da scavo, in caso di dissotterramenti futuri, nonché quella di indicare la posizione dei cavi stessi. Dopo la posa delle beole, si procederà al reiterno dello scavo con la terra proveniente dallo scavo



stesso debitamente compattata, fino ad una quota inferiore di 15 centimetri al piano campagna. A tale quota si poserà quindi, una rete di plastica rossa o altro mezzo indicativo simile (nastri plastificati rossi, etc) atto a segnalare la presenza dei cavi sottostanti.

In caso di percorso totalmente su terreno vegetale, lo scavo sarà completato con il rinterro di altro terreno vegetale, proveniente dallo scavo stesso, fino alla quota del piano campagna. In caso di attraversamenti stradali o di percorsi lungo una strada, la trincea di posa verrà realizzata secondo le indicazioni dei diversi Enti Gestori (Amm.ne Comunale e/o Provinciale). Tutto il percorso dei cavi sarà opportunamente segnalato con l'infissione periodica (ogni 50 metri circa) di cartelli metallici indicanti l'esistenza dei cavi a M.T. sottostanti. Tali cartelli potranno essere eventualmente, sostituiti da mattoni collocati a filo superiore dello scavo e riportanti le indicazioni relative ai cavi sottostanti (Profondità di posa, Tensione di esercizio). Ogni cinquecento metri, o a distanza diversa, dipendente dalle lunghezze commerciali dei cavi, si predisporranno delle camere cavi, costituite da pozzetti di ispezione 80cmx80cm, adatte ad eseguire le giunzioni necessarie fra le diverse tratte di cavi.

Si riporta un riepilogo delle indicazioni.

In sintesi, il sistema di linee interrato a servizio del parco, che per la quasi totalità del suo sviluppo segue il percorso delle piste di accesso, è realizzato con le seguenti modalità:

- scavo a sezione ristretta obbligata (trincea) con dimensioni di circa 60 x 150 cm di altezza (un solo cavo tripolare MT);
- letto di sabbia di circa 10 cm, per la posa delle linee MT;
- tubazioni in PVC, idonee per il contenimento di cavi MT 30 kV, diametro 160/200 mm;
- cavi tripolari MT 30 kV, collocati all'interno delle tubazioni protettive di contenimento;
- rinfiacco e copertura delle tubazioni PVC (contenenti i cavi MT) con sabbia, per almeno 10 cm;
- corda nuda in rame, per la protezione di terra, e tubazioni PVC per il contenimento dei cavi di segnale e della fibra ottica, posati direttamente sulla sabbia, all'interno dello scavo;
- riempimento per almeno 20 cm con sabbia;
- nastro in PVC di segnalazione;
- rinterro con n materiale proveniente dallo scavo o con materiale inerte.

### 5.1 Dimensionamento dei cavi

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2), infatti, il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

$$a) \quad I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) \quad I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

Per la condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte. Dalla corrente  $I_b$ , pertanto, viene determinata la corrente nominale della protezione (seguendo i valori normalizzati) e con questa si procede alla determinazione della sezione.

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

- condutture senza protezione derivate da una conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire la protezione anche delle condutture derivate;
- conduttura che alimenta diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata  $I_z$  della conduttura principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Elenchiamo alcune tabelle, indicate per il mercato italiano:

- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR)
- IEC 60364-5-52 (Mineral)
- CEI-UNEL 35024/1
- CEI-UNEL 35024/2
- CEI-UNEL 35026
- CEI 20-91 (HEPR)

In media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- CEI 11-17
- CEI UNEL 35027 (1-30kV)
- EC 60502-2 (6-30kV)
- IEC 61892-4 off-shore (fino a 30kV)

La sezione viene scelta in modo che la sua portata sia superiore alla  $I_z \text{ min}$ . Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (si veda la norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b) non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento  $I_f$  e corrente nominale  $I_n$  minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione b) sarà sempre verificata.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la:

$$I^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2$$

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento

minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

I valori di K riportati dalla norma sono per i conduttori di fase (par. 434.3):

- |   |         |
|---|---------|
| • Cavo in rame e isolato in PVC                           | K = 115 |
| • Cavo in rame e isolato in gomma G                       | K = 135 |
| • Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7 | K = 143 |
| • Cavo in alluminio e isolato in PVC                      | K = 74  |
| • Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7                 | K = 92  |

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

- |   |         |
|---|---------|
| • Cavo in rame e isolato in PVC         | K = 143 |
| • Cavo in rame e isolato in gomma G     | K = 166 |
| • Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7 | K = 176 |
| • Cavo in rame nudo                     | K = 228 |

Le cadute di tensione sono calcolate mediante la formula approssimata:

$$c_{dt}(I_b) = k_{c_{dt}} \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (R_{cavo} \cdot \cos \varphi + X_{cavo} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{V_n}$$

con:

- $k_{c_{dt}} = 2$  per sistemi monofase;
- $k_{c_{dt}} = 1,73$  per sistemi trifase.

I parametri  $R_{cavo}$  e  $X_{cavo}$  sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 70°C per i cavi con isolamento PVC, a 90°C per i cavi con isolamento EPR; mentre il secondo è riferito a 50 Hz, ferme restando le unità di misura in  $\Omega/\text{km}$ .

La scelta delle protezioni viene effettuata verificando le caratteristiche elettriche nominali delle condutture ed i valori di guasto; in particolare, le grandezze che vengono verificate sono:

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale dell'utenza;
- potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dell'utenza  $I_{km \max}$ ;
- taratura della corrente di intervento magnetico, il cui valore massimo per garantire la protezione contro i contatti indiretti (in assenza di differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea.

Secondo la norma 64-8 par.434.3 "Caratteristiche dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti.", le caratteristiche

delle apparecchiature di protezione contro i cortocircuiti devono soddisfare a due condizioni:

- il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione (a meno di protezioni adeguate a monte);
- la caratteristica di intervento deve essere tale da impedire che la temperatura del cavo non oltrepassi, in condizioni di guasto in un punto qualsiasi, la massima consentita.

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

$$I^2 \cdot t \leq K^2 S^2$$

ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI al par. 533.3 "Scelta dei dispositivi di protezioni contro i cortocircuiti" prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione tra le curve. Le condizioni sono pertanto:

- Le intersezioni sono due:
  - $I_{cc\ min} \geq I_{inters\ min}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_a$ );
  - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_b$ ).
- L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
  - $I_{cc\ min} \geq I_{inters\ min}$
- L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
  - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo. Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione, il controllo non viene eseguito.

Qui di seguito vengono riportati i dati di calcolo della linea di collegamento interna all'impianto:

Dati Caratteristici dell'impianto WOCB2005			
Località	Messinello - Marsala		
Provincia	Trapani		
SSE	Stazione Elettrica "Partanna" (220kV) Sottostazione Elettrica di connessione		
V <sub>rete</sub>	kV	30	Tensione nominale
K <sub>contemporaneità</sub>	%	593149%	Coefficiente di contemporaneità generazione
T <sub>eserc</sub>	°C	90	Temperatura di esercizio cavi
D <sub>t,prot</sub>	s	0,110	Ritardo massimo di intervento delle protezioni
Conduttore	AI Per le sezioni disponibili ARE4H1RX 18/30 kV		
Tipo di cavi	ARE4H1R 18/30 kV Caduta di tensione percentuale massima ammessa		
$\Delta V\%_{MAX}$ Ammessa	4,0% Caduta di tensione massima riscontrata nelle tratte		
$\Delta V\%$ MAX tratta	0,3% Caduta di tensione media riscontrata nella rete di trasmissione		
$\Delta V\%$ media Rete	1,0% Perdita di potenza percentuale massima ammessa		
$\Delta P\%_{MAX}$	3,0% Perdita di potenza totale riscontrata nella rete di trasmissione		
$\Delta P\%$ Rete	1,0%		

Areogeneratore						
$P_n$	$V_n$	$\cos\phi_{wind}$	$I_n$	$S_n$	$Q_n$	
kW	kV	rit	A	kVA	kvar	
3.400	0,69	0,97	2.933	3.505	852	WTGA
6.000	0,69	0,97	5.176	6.186	1.504	WTGB

Trasformatore							
$S_n$	$\cos\phi_t$	$P_{Fen}$	$P_{Cun}$	$V_{1n}$	$I_{1n}$	$V_{20}$	$I_{20}$
kVA	rit	kW	kW	kV	A	V	A
4.000	0,20	2,7	47,4	30	77,0	0,69	3.347
7.111	0,20	4,8	84,2	30	136,9	0,69	5.950

Tipo WTG	Tratta		Generazione				Protezione UtENZE										Corda di terra				
	Da	a	Lungh.	$P_n$	$V_n$	$I_n$	$\cos\phi_t$	Tipo	Poli	$I_n$	$V_i$	$I_{cn}$	$I_f$	$I_{MAX}t$	Verifiche				Sezione		
	km	kW	kV	A	rit	A	kV								kA	A		A <sup>2</sup> s		$I_{wind} < I_n$	$I_{OC} MAX < I_{cn}$
WTGA	WTG6	WTG5	1,200	3.361	30	67	0,97	Interruttore	3	800	36	12,5	1,040	7,04E+04	67 < 800	OK	1,7 < 12,5	OK	30 < 36	OK	95
WTGB	WTG5	WTG4	1,400	9.292	30	184	0,97	Interruttore	3	800	36	12,5	1,040	7,04E+04	186 < 800	OK	1,7 < 12,5	OK	30 < 36	OK	95
WTGB	WTG2	WTG4	1,100	5.931	30	118	0,97	Interruttore	3	800	36	12,5	1,040	7,04E+04	119 < 800	OK	1,7 < 12,5	OK	30 < 36	OK	95
WTGB	WTG4	WTG3	0,650	21.155	30	420	0,97	Interruttore	3	800	36	12,5	1,040	7,04E+04	425 < 800	OK	1,7 < 12,5	OK	30 < 36	OK	95
WTGB	WTG3	WTG1	1,250	27.087	30	538	0,97	Interruttore	3	800	36	12,5	1,040	7,04E+04	544 < 800	OK	1,7 < 12,5	OK	30 < 36	OK	95
WTGB	WTG1	SSE_Utenza	0,250	33.018	30	655	0,97	Interruttore	3	800	36	12,5	1,040	7,04E+04	663 < 800	OK	1,7 < 12,5	OK	30 < 36	OK	95
-	SSE_Utenza	Stazione Elettrica "Partanna" (220kV)	0,480	33.018	220	89	0,97	Interruttore	3	2.500	245	40,0	3,250	6,88E+05	90 < 2500	OK	1,7 < 40	OK	220 < 245	OK	95

Tipo WTG	Tratta		Generazione				Distribuzione primaria in corrente alternata															
	Da	a	Lungh.	$P_n$	$V_n$	$I_n$	$\cos\phi_t$	Cavo		$I_z$	$R_{20}$	$X$	Tempe	$I_z$ tratta	$K^2S^2$	$R_{tratta}$	$X_{tratta}$	$\Delta V_{tratta}$	$\Delta P_{tratta}$	$\Delta Q_{tratta}$		
	km	kW	kV	A	rit	Poli	Sezione	A	$\Omega/km$	$\Omega/km$	N°	A	A <sup>2</sup> s	m $\Omega$	m $\Omega$	V	%	kW	%	kVar		
WTGA	WTG6	WTG5	1,200	3.361	30	67	0,97	3	95	244	0,236	0,098	1	207	1,8E+08	415,3	134,55	50,3	0,2%	5,5	0,2%	1,80
WTGB	WTG5	WTG4	1,400	9.292	30	184	0,97	3	240	429	0,094	0,090	1	365	1,2E+09	193,6	0,13	60,0	0,2%	19,8	0,2%	0,01
WTGB	WTG2	WTG4	1,100	5.931	30	118	0,97	3	95	244	0,236	0,098	1	207	1,8E+08	380,7	123,34	81,4	0,3%	15,8	0,3%	5,13
WTGB	WTG4	WTG3	0,650	21.155	30	420	0,97	3	240	429	0,094	0,090	2	810	4,7E+09	44,9	0,03	31,7	0,1%	23,8	0,1%	0,02
WTGB	WTG3	WTG1	1,250	27.087	30	538	0,97	3	240	429	0,094	0,090	2	810	4,7E+09	86,4	0,06	78,0	0,3%	74,9	0,3%	0,05
WTGB	WTG1	SSE_Utenza	0,250	33.018	30	655	0,97	3	240	429	0,094	0,090	2	810	4,7E+09	17,3	0,01	19,0	0,1%	22,3	0,1%	0,01
-	SSE_Utenza	Stazione Elettrica "Partanna" (220kV)	0,480	33.018	220	89	0,97	3	1.200	710	0,287	0,156	1	604	2,9E+10	147,2	0,05	22,1	0,0%	3,5	0,0%	0,00

Tipo WTG	Tratta		Generazione				Distribuzione primaria in corrente alternata										
	Da	a	Lungh.	$P_n$	$V_n$	$I_n$	$\cos\phi_t$	Formazione	Verifiche				$\eta_{tratta}$				
	km	kW	kV	A	rit	$I_{MAX} < I_z$ tratta	$\Delta V_{tratta} \% < \Delta V_{MAX} \%$		$I_{MAX} t < K^2 S^2$	$\Delta P_{tratta} \% < \Delta P_{MAX} \%$	%						
WTGA	WTG6	WTG5	1,200	3.361	30	67	0,97	1x(3x1x95)	78 < 207	OK	0,2% < 4%	OK	70E+03 < 185E+06	OK	0,2% < 3%	OK	99,8%
WTGB	WTG5	WTG4	1,400	9.292	30	184	0,97	1x(3x1x240)	214 < 365	OK	0,2% < 4%	OK	70E+03 < 1178E+06	OK	0,2% < 3%	OK	99,8%
WTGB	WTG2	WTG4	1,100	5.931	30	118	0,97	1x(3x1x95)	137 < 207	OK	0,3% < 4%	OK	70E+03 < 185E+06	OK	0,3% < 3%	OK	99,7%
WTGB	WTG4	WTG3	0,650	21.155	30	420	0,97	2x(3x1x240)	488 < 810	OK	0,1% < 4%	OK	70E+03 < 4711E+06	OK	0,1% < 3%	OK	99,9%
WTGB	WTG3	WTG1	1,250	27.087	30	538	0,97	2x(3x1x240)	625 < 810	OK	0,3% < 4%	OK	70E+03 < 4711E+06	OK	0,3% < 3%	OK	99,7%
WTGB	WTG1	SSE_Utenza	0,250	33.018	30	655	0,97	2x(3x1x240)	762 < 810	OK	0,1% < 4%	OK	70E+03 < 4711E+06	OK	0,1% < 3%	OK	99,9%
-	SSE_Utenza	Stazione Elettrica "Partanna"	0,480	33.018	220	89	0,97	1x(3x1x1200)	104 < 604	OK	0% < 4%	OK	688E+03 < 29447E+06	OK	0% < 3%	OK	100,0%

## 5.2 Caratteristiche elettriche e meccaniche del conduttore di energia



**Descrizione**

- Cavi tripolari precordati, isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore interno: estruso
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

**Caratteristiche funzionali**

- Tensione nominale di esercizio U<sub>0</sub>/U:
  - ARG7H1RX -12/20 kV: 12/20 kV
  - ARG7H1RX -18/30 kV: 18/30 kV
- Tensione U max:
  - ARG7H1RX -12/20 kV: 24 kV
  - ARG7H1RX -18/30 kV: 36 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C

**Condizioni di posa**

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 10 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm<sup>2</sup> di sezione del conduttore

**Impiego e tipo di posa**

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale.

Ammessa la posa interrata in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

**Caratteristiche tecniche**

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø indicativo anima	Ø circoscritto indicativo	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A	
							in aria	interrato <sup>(*)</sup>
n° x mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	kg/km	A	A
3 x 1 x 35	7,0	8,0	1,9	33,5	72,0	3150	144	142
3 x 1 x 50	8,1	8,0	2,0	34,1	73,3	3480	174	168
3 x 1 x 70	9,7	8,0	2,0	36,2	77,8	3880	218	207
3 x 1 x 95	11,4	8,0	2,1	38,2	82,1	4355	266	247
3 x 1 x 120	12,9	8,0	2,2	40,0	86,0	5020	309	281
3 x 1 x 150	14,3	8,0	2,2	41,0	88,2	5385	352	318
3 x 1 x 185	16,0	8,0	2,3	43,1	92,7	6040	406	361
3 x 1 x 240	18,3	8,0	2,4	45,0	96,8	6910	483	418

(\*) I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:  
 - Resistività termica del terreno: 1 K·m/W  
 - Temperatura ambiente 20°C  
 - profondità di posa: 0,8 m

**Caratteristiche elettriche**

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz	Reattanza di fase	Capacità a 50Hz
n° x mm <sup>2</sup>	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	μF/km
3 x 1 x 35	0,868	1,113	0,14	0,17
3 x 1 x 50	0,641	0,822	0,13	0,18
3 x 1 x 70	0,443	0,568	0,13	0,21
3 x 1 x 95	0,320	0,411	0,12	0,23
3 x 1 x 120	0,253	0,325	0,12	0,25
3 x 1 x 150	0,206	0,265	0,11	0,27
3 x 1 x 185	0,164	0,211	0,11	0,29
3 x 1 x 240	0,125	0,161	0,11	0,32

## 6. Messa a terra dei rivestimenti metallici

Lo schermo dei cavi a MT deve essere messo a terra ad entrambe le estremità della linea. È vietato usare lo schermo dei cavi come conduttore di terra per altre parti dell'impianto. Ai sensi della CEI 11-27 gli schermi dei cavi MT saranno sempre atterrati alle estremità e possibilmente nella mezzeria del tratto più lungo collegandoli alla corda di terra presente nello scavo.

## 7. L'impianto di terra

L'impianto di terra sarà costituito, conformemente alle prescrizioni del Cap. 9 della Norma CEI 11-1 ed alle prescrizioni della guida 11-37, da una maglia di terra realizzata con conduttori nudi in rame elettrolitico di sezione di 50 mmq per collegare l'impianto di terra della cabina con gli impianti di terra degli aerogeneratori.

## 8. Sistema di monitoraggio

Una rete di fibre ottiche consentirà di monitorare il funzionamento dell'impianto eolico, sia dalla cabina, sia da una postazione remota di monitoraggio e controllo che provvede normalmente alla risoluzione di oltre l'80% delle problematiche che si possono presentare nella ordinaria gestione del sito, riducendosi così sostanzialmente la necessità di interventi manutentivi e straordinari da realizzarsi in situ. Il sistema di monitoraggio e controllo a distanza (Remote Monitoring and Control – RM&C), permette di rilevare, in pochi secondi, un messaggio di avviso o di errore da parte dell'impianto. Il servizio di RM&C è attivo 24 h su 24 h per 365 giorni all'anno ed è in grado di provvedere alla risoluzione dei problemi, direttamente online quando possibile, oppure mediante interventi diretti sull'impianto da parte di tecnici.

## 9. Interferenze del cavidotto MT

I cavi aventi la stessa tensione nominale, possono essere posati alla stessa profondità utilizzando tubazioni distinte, ad una distanza di circa 3 volte il loro diametro. Tali prescrizioni valgono anche per incroci di cavi aventi uguale o diversa tensione nominale.

Nei parallelismi con cavi di telecomunicazione, i cavi di energia devono, di norma, essere posati alla maggior e possibile distanza, e quando vengono posati lungo la stessa strada si devono dislocare possibilmente ai lati opposti di questa. Ove, per giustificate esigenze tecniche, non sia possibile attuare quanto sopra, è ammesso posare i cavi in vicinanza, purché sia mantenuta fra i due cavi una distanza minima non inferiore a 0.30 m. Qualora detta distanza non possa essere rispettata, è necessario applicare sui cavi uno dei seguenti dispositivi di protezione:

- Cassetta metallica zincatura a caldo
- Tubazioni in acciaio zincato a caldo;
- Tubazione in materiale plastico conforme alle norme CEI.

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posto alla profondità maggiore quando la differenza di quota tra i due cavi è uguale o superiore a 0.15 m.

Le prescrizioni di cui sopra non si applicano quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la parte interessata, in appositi manufatti (tubazione, cunicoli ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi. Nel caso che i cavi siano posati nello stesso manufatto, non è prescritta nessuna distanza minima da rispettare, purché sia evitata la possibilità di contatti meccanici diretti e siano dislocati in tubazioni diverse.



Negli incroci la distanza fra i due cavi non deve essere inferiore a 0,30 metri ed inoltre il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, mediante un dispositivo di protezione identico a quello previsto per i parallelismi. Tali dispositivi devono essere disposti simmetricamente rispetto all'altro cavo.

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non possa essere rispettato il distanziamento minimo di cui sopra, anche sul cavo sottostante deve essere applicata una protezione analogo a quella prescritta per il cavo situato superiormente.

Non è necessario osservare le prescrizioni sopraindicate quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti (tubazioni, cunicoli, ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione, senza necessità di effettuare scavi.

La distanza in proiezione orizzontale fra i cavi di energia e le tubazioni metalliche interrate, adibite al trasporto e alla distribuzione dei fluidi (acquedotti, oleodotti e simili), posate parallelamente ai cavi medesimi non deve essere inferiore a 0.30 metri.

Si può tuttavia derogare dalla prescrizione suddetta previo accordo fra gli esercenti quando:

la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate è superiore a 0.5metri;

tale differenza è compresa fra 0.30 e 0.50 metri, ma si interpongono fra le due strutture elementi separatori non metallici nei tratti in cui la tubazione non è contenuta in un manufatto di protezione non metallico.

Non devono mai essere disposti nello stesso manufatto di protezione cavi di energia e tubazioni convoglianti fluidi infiammabili; per le tubazioni adibite ad altro uso tale tipo di posa è invece consentito, previo accordo fra i soggetti interessati, purché il cavo di energia e la tubazione non siano posti a diretto contatto fra loro. Le superfici esterne di cavi di energia interrati non devono distare meno di 1 m dalle superfici esterne di serbatoi contenenti liquidi o gas infiammabili.