

Progettazione:



MARCO GIUSTI



GRUPPO DI LAVORO:

ALBERTO RIZZI  
ALBERTO VENTURI  
ANDREA PATUZZO  
ANDREA SCALA  
FRANCESCO POSENATO  
MATTEO DAL CASTELLO  
PIERFRANCESCO DA RONCO

Assistenza alla Progettazione:



ANDREA BRUNELLI  
MASSIMO RAGNO  
MARCO SIGNORINI  
LORENZO DALL'ORA  
PIERANDREA BROCCIA

Geologia, geotecnica e sismica:



LUCA MONTI

ATTIVITA'

IMPIANTO EOLICO "POGGIO ALLE PANCOLE"  
COMUNE DI LAJATICO  
PROVINCIA DI PISA - REGIONE TOSCANA  
PROGETTO DEFINITIVO

CONTENUTO

ELABORATI GRAFICI  
OPERE ELETTRICHE  
RELAZIONE DESCRITTIVA DELLE OPERE ELETTRICHE

Numero Attività

-

Tipo Progetto

Definitivo

Tavola

RTC050-00

Revisione	Data	Oggetto revisione
00	20/12/2021	Emissione Progetto
01		
02		
03		
04		

Redatto	Verificato	Approvato
PATUZZO / SCALA	VENTURI	GIUSTI

Scala

-

Località

Poggio alle Pancole

Comune

Lajatico (PI)





**RELAZIONE DESCRITTIVA DELLE OPERE ELETTRICHE**  
**“IMPIANTO EOLICO "POGGIO ALLE PANCOLE"**  
**COMUNE DI LAJATICO (PISA)**



## Sommario

PREMESSA e OBIETTIVI di questa Relazione .....	3
Oggetto.....	3
Struttura della connessione elettrica dell'impianto alla RTN.....	4
Riferimenti normativi e di legge.....	6
Linee EE MT sul sito .....	8
Linee EE MT di connessione dal sito alla Cabina Primaria (CP) di Utente .....	10
Cabina Primaria di Utente (CP Utente).....	11
Impianto di Terra di Sottostazione Utente.....	17
Trasformatore AT/MT .....	18
Apparecchiature AT in Cabina Primaria di Utenza .....	18
Sistema di Protezione della CP Utente .....	19
Apparecchiatura di Misura dell'Energia.....	21
Apparecchiatura di Teletrasmissione delle Misure .....	23
Sistema di Trasmissione Dati.....	23
Punto di Connessione alla Rete dati .....	23
Valutazione dei Campi Elettromagneti generati dalle opere elettriche di progetto .....	23
Dimensionamenti e Verifiche .....	30



## PREMESSA e OBIETTIVI di questa Relazione

Astratt: questa Relazione si pone lo scopo di esporre le scelte tecniche progettuali che hanno portato alla definizione delle opere di connessione alla RTN dell'impianto eolico, di descriverne le caratteristiche tecniche principali ed i materiali previsti.

La presente relazione fa riferimento alla soluzione di connessione elaborata da Terna spa in risposta alla richiesta presentata dalla Società PARCO EOLICO RIPARBELLA srl per la connessione alla RTN dell'impianto di produzione da FER denominato Parco Eolico "Poggio alle Pancole".

Il Codice Pratica con cui Terna spa ha identificato la soluzione di connessione del parco Eolico "Poggio alle Pancole" è: **202100115**

Nel seguito sono illustrate le caratteristiche tecniche e costruttive delle opere elettriche del parco Eolico "Poggio alle Pancole". Tra queste è compreso il cosiddetto **Impianto di Utenza per la Connessione** che, insieme all'**Impianto di Rete per la Connessione**, costituisce l'**Impianto per la Connessione**.

Le regole tecniche di connessione e la normativa vigente definiscono:

- Impianto per la Connessione:** l'insieme degli impianti **di Rete** e **di Utenza** necessari per la connessione alla RTN dell'impianto di produzione.
- Impianto di Rete per la Connessione:** la porzione d'impianto per la connessione, di competenza del Gestore di rete, compresa tra il punto d'inserimento sulla rete esistente e il punto di connessione. È costituito da tutti gli approntamenti tecnologici previsti sulla RTN funzionali alla realizzazione del punto di connessione sulla RTN stessa
- Impianto di Utenza per la Connessione:** (impianto di Utente) la porzione d'impianto per la connessione la cui realizzazione, gestione, esercizio e manutenzione rimangono di competenza dell'utente. È costituito da tutti gli approntamenti in carico all'utente al fine di connettere l'impianto al **Punto di Connessione** reso disponibile
- Punto di Connessione:** (punto di consegna) il confine fisico tra la rete di trasmissione (RTN) e l'impianto di utenza attraverso cui avviene lo scambio fisico dell'energia elettrica. È localizzato all'interno della **Stazione di Consegna** che è la stazione elettrica che collega l'impianto dell'utente alla RTN e che costituisce parte del sopra citato Impianto di rete.

## Oggetto

Con riferimento alla Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) elaborata da Terna, nei capitoli seguenti vengono descritte le caratteristiche tecniche delle opere elettriche del parco Eolico "Poggio alle Pancole". Tra queste è compreso l'Impianto di Utenza per la Connessione, costituito da:

- collegamento a 132 kV tra la sottostazione elettrica dell'utente e la SE di Terna

Non rientrano tra le opere descritte nel seguito le opere elettriche facenti parte dell'Impianto di rete per la Connessione, ovvero:

- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV

- raccordi sulla linea aerea 132 kV “Saline – Terricciola” per l’inserimento in entra-esce della nuova SE

che sono illustrate e descritte in un’altra relazione specifica.

La presente relazione:

- riporta una descrizione generale delle caratteristiche tecniche delle opere elettriche del parco Eolico “*Poggio alle Pancole*”
- definisce le caratteristiche tecniche e funzionali delle apparecchiature, delle opere e dei componenti previsti.

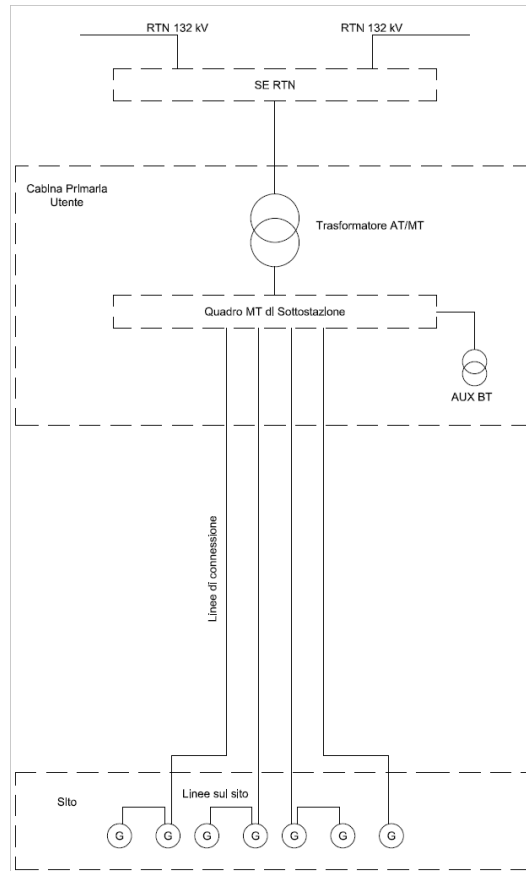
### **Struttura della connessione elettrica dell’impianto alla RTN**

L’impianto eolico di progetto è composto da 7 aerogeneratori. Questi sono collegati in Media Tensione (MT) a 30 kV con la Cabina Primaria (CP) di Utente che a sua volta è connessa alla RTN mediante un collegamento in AT a 132 kV.

È possibile suddividere le opere elettriche in:

- linee EE MT di interconnessione tra aerogeneratori (linee sul sito)
- linee EE MT di connessione dal sito alla Cabina Primaria di Utente (CP Utente)
- Cabina Primaria di Utente
- Collegamento in AT tra CP Utente e Sottostazione Elettrica (SE) della RTN

Si rimanda allo schema a blocchi che segue.



Partendo dal sito eolico fino ad arrivare al punto di connessione con la RTN (quindi dal basso verso l'alto nello schema sopra), le opere elettriche di progetto sono le seguenti:

- **linee in cavo a 30 kV sul sito:** si tratta delle linee elettriche che realizzano l'interconnessione degli aerogeneratori sul sito eolico. Tali linee collegano tra loro gli aerogeneratori dello stesso Gruppo:
  - a) collegamento tra WTG2 e WTG3
  - b) collegamento tra WTG4 e WTG7
  - c) collegamento tra WTG5 e WTG6
 la WTG1 è a sé stante e non è collegata ad altre WTG
  
- **linee in cavo a 30 KV di connessione:** sono le linee elettriche di connessione tra il sito e la sottostazione dell'utente. Realizzano i collegamenti tra i 3 Gruppi di aerogeneratori e la WTG1 con la sezione MT a 30 kV in sottostazione utente.
 

Linea di connessione 1: collegamento tra WTG1 e sottostazione utente

Linea di connessione 2: collegamento tra WTG2 e sottostazione utente

Linea di connessione 3: collegamento tra WTG4 e sottostazione utente

Linea di connessione 4: collegamento tra WTG5 e sottostazione utente
  
- **Cabina Primaria di Utente (CP Utente):** sottostazione elettrica presso la quale si attesteranno le 4 linee di connessione a 30 kV provenienti dal sito e dove, per il tramite di un trasformatore



30/132 kV verrà innalzata la tensione del sistema allo stesso livello della stazione Terna della RTN (132 kV)

- **collegamento a 132 kV tra CP Utente e Sottostazione Elettrica (SE) della RTN:** collegamento per l'inserimento dell'impianto sulla RTN, in corrispondenza del punto di connessione come definito nella STMG emessa da Terna

Lo Schema Elettrico di connessione dell'impianto alla RTN è riportato nell'elaborato:

TPC056-00 – SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE

### Riferimenti normativi e di legge

Tutte le opere, se non diversamente specificato nel presente documento, saranno realizzate in osservanza alla legislazione vigente e alle Norme CEI, IEC, CENELEC, ISO, UNI in vigore al momento della realizzazione dell'impianto. Si riporta nel seguito un elenco, esemplificativo e non esaustivo, delle principali norme e leggi di riferimento. S'intendono comprese nello stesso tutte le varianti, le errata corrige, le modifiche ed integrazioni alle Norme elencate, successivamente pubblicate.

Norma CEI 11-27	Lavori su impianti elettrici
Norma CEI EN 50110-1-2	Esercizio degli impianti elettrici
CIGRE'	General guidelines for the design of outdoor AC substations – Working Group 23.03
Norma CEI EN 61936-1	Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni
CEI EN 60865-1	Correnti di corto circuito - Calcolo degli effetti. Parte1: Definizioni e metodi di calcolo
Norma CEI EN 50522	Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.
Norma CEI 11-37	Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV
Norma CEI 11-17	Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo
Norma CEI EN 60721-3-3	Classificazioni delle condizioni ambientali.
Norma CEI EN 60721-3-4	Classificazioni delle condizioni ambientali
Norma CEI EN 60068-3-3	Prove climatiche e meccaniche fondamentali Parte 3: Guida – Metodi di prova sismica per apparecchiature
Norma CEI 64-2	Impianti elettrici in luoghi con pericolo di esplosione
Norma CEI 64-8	Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua
Norma CEI EN 62271-100	Apparecchiatura ad alta tensione – Parte 100: Interruttori a corrente alternata
Norma CEI EN 62271-102	Apparecchiatura ad alta tensione – Parte 102: Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata
Norma CEI EN 61009-1	Interruttori differenziali con sganciatori di sovracorrente incorporati per installazioni domestiche e similari

Norma CEI EN 60898-1	Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari
Norma CEI 33-2	Condensatori di accoppiamento e divisori capacitivi
Norma CEI 36-12	Caratteristiche degli isolatori portanti per interno ed esterno destinati a sistemi con tensioni nominali superiori a 1000 V
Norma CEI EN 61896-1	Trasformatori di misura - Parte 1: Prescrizioni generali
Norma CEI EN 61896-2	Trasformatori di misura – Parte 2: prescrizioni aggiuntive per trasformatori di corrente.
Norma CEI EN 61896-3	Trasformatori di misura – Parte 3: prescrizioni aggiuntive per trasformatori di tensione induttivi.
Norma CEI EN 61896-5	Trasformatori di misura – Parte 5: prescrizioni aggiuntive per trasformatori di tensione capacitivi
Norma CEI 57-2	Bobine di sbarramento per sistemi a corrente alternata
Norma CEI 57-3	Dispositivi di accoppiamento per impianti ad onde convogliate
Norma CEI EN 60076-1	Trasformatori di potenza
Norma CEI EN 60137	Isolatori passanti per tensioni alternate superiori a 1 kV
Norma CEI EN 60099-4	Scaricatori ad ossido di zinco senza spinterometri per reti a corrente alternata
Norma CEI EN 60099-5	Scaricatori – Raccomandazioni per la scelta e l'applicazione
Norma CEI EN 60507	Prove di contaminazione artificiale degli isolatori per alta tensione in sistemi a corrente alternata
Norma CEI EN 62271-1	Apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione – Parte1: Prescrizioni comuni
Norma CEI EN 60529	Gradi di protezione degli involucri (Codice IP)
Norma CEI EN 60168	Prove di isolatori portanti per interno ed esterno di ceramica o di vetro, per impianti con tensione nominale superiore a 1000 V
Norma IEC TS 60815-2	Selection and dimensioning of high-voltage insulators for polluted conditions - Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems
Norma CEI EN 60383-1	Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000 V – Parte 1 Isolatori in materiale ceramico o in vetro per sistemi in corrente alternata
Norma CEI EN 60383-2	Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000 V – Parte 2 Catene di isolatori e equipaggiamenti completi per reti in corrente alternata
Norme CEI EN 61284	Linee aeree – Prescrizioni e prove per la morsetteria
Norma CEI EN 61000-6-2	Immunità per gli ambienti industriali
Norma CEI EN 61000-6-4	Emissione per gli ambienti industriali
Norma CEI 20-22	Prove d'incendio su cavi elettrici
Norma CEI 20-37	Metodi di prova comuni per cavi in condizione di incendio
Norma CEI 7-2	Conduttori di alluminio, alluminio-acciaio, lega d'alluminio e lega di alluminio-acciaio per linee elettriche aeree” ed. quarta, 1997
Norma CEI 7-11	Conduttori di acciaio rivestito di alluminio a filo unico o a corda per linee elettriche aeree” ed. prima, 1997;
Norma CEI 103-6	Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto”, ed. terza, 1997
Norma CEI 11-4	Esecuzione delle linee elettriche esterne”, quinta edizione, 1998-09

Norma CEI EN 60383-1	Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000 V. Parte 1: Isolatori in materiale ceramico o in vetro per sistemi in corrente alternata. Definizioni, metodi di prova e criteri di accettazione”, ed. prima, 1998
Norma CEI EN 61284	Linee aeree. Prescrizioni e prove per la morsetteria”, ed. seconda, 1999
Norma CEI 11-60	Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne, seconda edizione, 2002-06
CEI 11-61	Guida all’inserimento ambientale delle linee aeree esterne e delle stazioni
Norma CEI 304-1	Interferenza elettromagnetica prodotta da linee elettriche su tubazioni metalliche” ed. prima, 2005
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” Prima edizione, 2006
Norma CEI 211-4	Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche” Seconda edizione, 2008
EN 62271-100	High-voltage alternating-current circuit-breakers
CEI EN 60071-1 e 1-2	Coordinamento dell’isolamento – Parte 1 e Parte 2
Decreto Interministeriale 21 marzo 1988 n. 449	Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione e l’esercizio delle linee aeree esterne
Decreto Interministeriale 16 gennaio 1991 n. 1260	Aggiornamento delle norme tecniche per la disciplina della costruzione e dell’esercizio di linee elettriche aeree esterne
D.P.C.M. 14 Novembre 1997	Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore
Legge 22 febbraio 2001, n. 36	Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
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
Decreto 29 maggio 2008	Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti
DPR 8 giugno 2001 n°327	Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di Pubblica Utilità” e ss.mm.ii.
Legge 23 agosto 2004, n. 239 e ss.mm.ii	Riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia”.
D.M. 14 gennaio 2008 e ss.mm.ii.	Norme tecniche per le Costruzioni - NTC 2008
D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151 e ss.mm.ii.	Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi, a norma dell’articolo 49 comma 4-quater, decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122
D.M. 15 luglio 2014	Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, l’installazione e l’esercizio delle macchine elettriche fisse con presenza di liquidi isolanti combustibili in quantità superiore a 1 m3
D.lgs. 9 aprile 2008 n° 81 e ss-mm.ii.	Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro

### Linee EE MT sul sito

Per Linee EE MT sul sito si intendono le linee elettriche a 30 kV funzionali alla interconnessione delle 7 WTG in 3 Gruppi così formati:



- WTG2 e WTG3
- WTG4 e WTG7
- WTG5 e WTG6

La WTG1 è a sé stante, ovvero non è collegata ad altre WTG

I cavi elettrici di MT previsti per la realizzazione delle Linee sul sito sono del tipo del tipo “air bag”, ovvero protetti da una protezione meccanica tale da poter evitare la posa superiormente ad essi di dispositivi di protezioni supplementari. Tali cavi sono stati sviluppati specificatamente per applicazioni terrestri ed in particolari eoliche.

È previsto l'impiego di cavi aventi sezione nominale pari a **240 mm<sup>2</sup>**.

Le caratteristiche tecniche di tali cavi sono riportate nel prospetto seguente:

<b>Norma di riferimento</b>	HD 620/IEC 60502-2
<b>Anima</b>	Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio
<b>Semiconduttivo interno</b>	Mescola estrusa
<b>Isolante</b>	Mescola di polietilene reticolato o in elastomero termoplastico
<b>Semiconduttivo esterno</b>	Mescola estrusa
<b>Rivestimento protettivo</b>	Nastro semiconduttore igroespandente
<b>Schermatura</b>	Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale
<b>Protezione meccanica</b>	Materiale Polimerico
<b>Guaina</b>	Polietilene di colore rosso
<b>Formazione</b>	Ad elica visibile
<b>Tensioni di riferimento</b>	18 / 30kV

Le caratteristiche costruttive di tali cavi sono riportate nel prospetto seguente:

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Diametro conduttore [mm]	Diametro sull'isolante [mm]	Diametro esterno nominale [mm]	Peso del cavo [kg/km]	Raggio minimo di curvatura [mm]
240	18,2	27,8	41	4700	870

fonte: Catalogo cavi Prysmian

Le caratteristiche elettriche di tali cavi sono riportate nel prospetto seguente:

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata in posa in aria [A]	Portata in posa interrata $\rho=1^{\circ}\text{Cm/W}$ [A]	Portata in posa interrata $\rho=2^{\circ}\text{Cm/W}$ [A]
240	520	430	330

fonte: Catalogo cavi Prysmian

Le sezioni di posa dei conduttori elettrici delle Linee EE MT sul sito sono riportate nell'elaborato:

TPP052-00 – PLANIMETRIA DELLE LINEE ELETTRICHE SU CTR

### Linee EE MT di connessione dal sito alla Cabina Primaria (CP) di Utente

Per Linee EE MT di connessione dal sito alla sottostazione di utenza si intendono le 4 linee elettriche a 30 kV funzionali alla connessione degli aerogeneratori dal sito alla sezione MT a 30 kV in Cabina Primaria (CP) di Utente.

I cavi elettrici di MT previsti per la realizzazione delle Linee sul sito sono del tipo del tipo "air bag", ovvero protetti da una protezione meccanica tale da poter evitare la posa di dispositivi di protezioni supplementari. Tali cavi sono stati sviluppati specificatamente per applicazioni terrestri ed in particolari eoliche.

È previsto l'impiego di cavi aventi sezione nominale pari a **185 e 240 mm<sup>2</sup>**.

Le caratteristiche tecniche di tali cavi sono riportate nel prospetto seguente:

<b>Norma di riferimento</b>	HD 620/IEC 60502-2
<b>Anima</b>	Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio
<b>Semiconduttivo interno</b>	Mescola estrusa
<b>Isolante</b>	Mescola di polietilene reticolato o in elastomero termoplastico
<b>Semiconduttivo esterno</b>	Mescola estrusa
<b>Rivestimento protettivo</b>	Nastro semiconduttore igroespandente
<b>Schermatura</b>	Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale
<b>Protezione meccanica</b>	Materiale Polimerico
<b>Guaina</b>	Polietilene di colore rosso
<b>Formazione</b>	Ad elica visibile
<b>Tensioni di riferimento</b>	18 / 30kV

Le caratteristiche costruttive di tali cavi sono riportate nel prospetto seguente:

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Diametro conduttore [mm]	Diametro sull'isolante [mm]	Diametro esterno nominale [mm]	Peso del cavo [kg/km]	Raggio minimo di curvatura [mm]
240	18,2	27,8	41	4700	870
185	15,8	29,0	42	4620	890

fonte: Catalogo cavi Prysmian

Le caratteristiche elettriche di tali cavi sono riportate nel prospetto seguente:

Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata in posa in aria [A]	Portata in posa interrata $\rho=1^{\circ}\text{Cm/W}$ [A]	Portata in posa interrata $\rho=2^{\circ}\text{Cm/W}$ [A]
240	520	430	330

185	439	369	283
-----	-----	-----	-----

fonte: Catalogo cavi Prysmian

Le sezioni di posa dei conduttori elettrici delle Linee EE MT sul sito sono riportate nell'elaborato:

TPP052-00 – PLANIMETRIA DELLE LINEE ELETTRICHE SU CTR

### Cabina Primaria di Utente (CP Utente)

Per Cabina Primaria (CP) di Utente si intende l'insieme degli impianti ed apparecchiature a 30 kV e 132 kV funzionali alla realizzazione della connessione del parco eolico alla RTN a 132 kV in corrispondenza del punto di connessione, localizzato presso la Stazione Elettrica (SE) di Terna (SE della RTN).

La Cabina Primaria di Utente è realizzata in corrispondenza di un'area attigua a quella presso la quale verrà realizzata la SE della RTN.

La Cabina Primaria di Utente è rappresentata negli elaborati:

TPP 053-00 SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE – INQUADRAMENTO  
 TPP 054-00 SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE – OPERE CIVILI – PIANTE E SEZIONI – TAV. 1/2  
 TPP 055-00 SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE – OPERE CIVILI – PIANTE E SEZIONI – TAV. 2/2

Nei paragrafi successivi sono descritte le opere e gli impianti di progetto, previsti presso la Cabina Prima di Utente.

### Struttura dei Locali

La CP di Utente, destinata a contenere gli impianti di competenza dell'utente di ricezione MT dal campo, è ricavata entro una struttura in muratura ed è suddivisa nei seguenti locali:

Quantità	Denominazione	Descrizione
1	<b>LOCALE QUADRO MT</b>	in questo locale trova alloggio il quadro elettrico di media tensione a 30 kV presso il quale si attestano le linee MT di connessione dal sito
1	<b>LOCALE QUADRI BT</b>	in questo locale trovano alloggio i quadri di bassa tensione funzionali all'alimentazione ed al controllo di tutti i dispositivi elettromeccanici previsti in sottostazione
1	<b>LOCALE TRASFORMATORE SERVIZI AUSILIARI</b>	in questo locale trova alloggio il trasformatore dei servizi di sottostazione, funzionale a garantire alimentazione ai sistemi in bassa tensione di sottostazione
1	<b>LOCALE SOCCORRITORE E BATTERIE</b>	in questo locale trova alloggio il sistema di continuità della sottostazione funzionale a garantire alimentazione elettrica ai sistemi di comando e controllo in caso di blackout o indisponibilità della rete elettrica nazionale



Quantità	Denominazione	Descrizione
1	<b>LOCALE SCADA WTG</b>	in questo locale trova alloggio il quadro di supervisione e telecontrollo degli aerogeneratori
1	<b>LOCALE CONTATORI PER MISURE AT</b>	in questo locale sono inseriti i contatori dell'energia elettrica. Il locale è dotato di una porta di accesso per l'utente e di una seconda porta di accesso "indipendente" per gli operatori terzi (Terna, Agenzia delle Dogane)

#### Quadro di Media Tensione

Il quadro di media tensione di utente alloggiato all'interno del locale quadro MT in sottostazione della cabina ha le seguenti caratteristiche generali:

Tipo	Quadro MT con protezione arco interno sui 3 lati IAC AFL 16 kA x 1s		
<b>Tensione nominale</b>	[kV]		<b>36</b>
<b>Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale 50Hz / 1min (valore efficace)</b>	[kV]		<b>70</b>
<b>Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico 1,2 / 50 µs (valore di picco)</b>	[kV]		<b>170</b>
<b>Tensione di esercizio</b>	[kV]		<b>30</b>
<b>Frequenza nominale</b>	[Hz]		<b>50</b>
<b>N° fasi</b>	-		<b>3</b>
<b>Corrente nominale delle sbarre principali</b>	[A]		<b>1.250</b>
<b>Corrente nominale max delle derivazioni</b>	[A]		<b>1.250</b>
<b>Corrente nominale ammissibile di breve durata</b>	[kA]		<b>16</b>
<b>Corrente nominale di picco</b>	[kA]		<b>40</b>
<b>Potere di interruzione degli interruttori alla tensione nominale</b>	[kA]		<b>16</b>
<b>Durata nominale del corto circuito</b>	[s]		<b>1</b>
<b>Tensione nominale degli ausiliari</b>	[V]		<b>110</b>

La composizione delle unità funzionali è la seguente:

Quantità	Descrizione dell'unità funzionale
1	<b>UNITÀ FUNZIONALE ARRIVO CAVI</b>
1	<b>UNITÀ RISALITA SBARRE</b>
1	<b>UNITÀ PER MISURA CORRENTE / TENSIONE E RISALITA SBARRE</b>
2	<b>UNITÀ MISURA</b>
1	<b>UNITÀ CON INTERRUTTORE DOPPIO SEZIONAMENTO E RISALITA SBARRE</b>
5	<b>UNITÀ INTERRUTTORE CON SEZIONATORE E PARTENZA CAVO</b>

#### Trasformatore per Servizi Ausiliari di Sottostazione

Il trasformatore per i servizi ausiliari ha le seguenti caratteristiche:

<b>Tipo</b>	<b>Trifase in resina epossidica</b>
<b>Potenza nominale</b>	<b>160 kVA</b>
<b>V1n (Tensione nominale lato MT)</b>	<b>30 ± 2x2.5 % kV</b>
<b>V2n (Tensione nominale lato BT)</b>	<b>400 V</b>
<b>Gruppo vettoriale</b>	<b>Dyn11</b>

#### Servizi Ausiliari

Il quadro di bassa tensione funzionale all'alimentazione dei servizi ausiliari di sottostazione è composto da due sezioni:

- sezione a 400/230Vac dedicata all'alimentazione degli impianti Luce, Forza Motrice, ventilazione dei locali di cabina e del trasformatore AT/MT ed ausiliari relativi al quadro protezioni, alle apparecchiature AT ed alle apparecchiature di misura;
- sezione a 110Vcc alimentata da gruppo soccorritore principalmente al servizio degli ausiliari dei quadri (elettrici di potenza e di protezioni), degli ausiliari delle apparecchiature AT e dell'illuminazione di emergenza.

Le apparecchiature, principalmente costituite da interruttori modulari magnetotermici, sono contenute entro un armadio metallico da pavimento avente grado di protezione esterno IP40.

#### Sistema di Alimentazione Ausiliaria in Corrente Continua

Si prevede la realizzazione di un sistema di alimentazione a 110 Vcc asservito a:

- motoriduttori degli interruttori delle unità funzionali di MT
- sistemi di azionamento interruttori e sezionatori di AT
- bobine di apertura e chiusura interruttori AT e MT
- dispositivi di protezione
- dispositivi di segnalazione
- illuminazione d'emergenza di cabina.

Il sistema previsto è costituito da:

- raddrizzatore carica batterie a doppio ramo (ramo batteria + ramo servizi), tensione di uscita 110 Vcc, corrente 60 A su ramo servizi (30 A su ramo batteria), installato in apposito armadio da ubicare in locale dedicato;
- batteria di accumulatori al piombo di tipo ermetico, tensione nominale 110 V e capacità da definire, in grado di garantire un'autonomia complessiva di 4 ore, installata in apposito armadio, separato dall'armadio raddrizzatore, da ubicare nel medesimo locale;
- sezione dedicata nel quadro servizi ausiliari di cui al punto 10.5, installato nel locale quadri;
- rete di distribuzione con cavi tipo FG7(O)M1 0.6/1 kV.

È inoltre previsto un inverter CC/CA per l'alimentazione di alcune utenze in corrente alternata che necessitano di continuità (e.g. PC del sistema SCADA).

#### Impianti a servizio della cabina MT/BT

Sono previsti i seguenti impianti:

- impianto di illuminazione generale;
- impianto di forza motrice;
- impianto di illuminazione di sicurezza;
- impianto di terra e di equipotenzializzazione;
- impianti di ventilazione e di condizionamento dei locali di cabina;
- impianto di rivelazione incendi;
- impianto di controllo accessi e antintrusione.

Tali impianti saranno alimentati da un quadro elettrico posato all'interno del locale Quadri BT.

#### Impianti di illuminazione generale e di emergenza

L'illuminazione generale è principalmente realizzata con apparecchi a LED ad alta efficienza con grado di protezione IP65, idonei per l'uso esterno.

L'impianto di illuminazione di sicurezza a 110Vcc garantisce un illuminamento minimo tale per cui, al mancare della rete, è possibile il completamento delle operazioni di manutenzione in corso e l'evacuazione in sicurezza dai locali tecnici. Esso è realizzato con una rete indipendente posata entro cavidotti separati e con apparecchi illuminanti dedicati costituiti da plafone dotati di diffusore in vetro e completi di lampada ad incandescenza.

#### Impianti Forza Motrice

Si prevedono dei gruppi prese di tipo industriale composti da:

- presa 2x16A+T, interbloccata con fusibile, IP55;
- presa 3x16A+N+T, interbloccata con fusibile, IP55.

Si prevedono inoltre delle prese bipasso di tipo civile 2x10/16A+T e prese Shuko 2x16A+T, sempre con grado di protezione IP55.

#### Impianto di Terra e di Equipotenzializzazione

È prevista la realizzazione di un impianto di terra a servizio dell'edificio previsto presso la Cabina Primaria di Utente, che risulta di fatto parte integrante del dispersore primario della stessa cabina Primaria. L'impianto di terra è costituito da un dispersore lineare, ad anello, posato, in scavo predisposto, lungo il perimetro dell'edificio stesso e realizzato in corda di rame nuda. Laddove possibile verrà collegato ai ferri d'armatura, tramite saldatura alluminiotermica o con appositi morsetti.

Al fine di realizzare l'equipotenzializzazione delle masse e delle masse estranee si provvederà a:

- collegare all'impianto di terra principale la sbarra di terra dei quadri
- posare lungo le pareti interne della cabina un anello equipotenziale in piatto di rame collegato all'impianto di dispersione esterno
- collegare tale anello alla rete elettrosaldata presente nella platea di fondazione almeno in corrispondenza degli angoli di ciascun locale



- collegare all'impianto di terra la carcassa del trasformatore MT/BT
- collegare all'impianto di terra gli schermi dei cavi MT (linee in arrivo e linea tra scomparto MT e trasformatore)
- collegare all'impianto di terra il centro stella del trasformatore MT/BT
- collegare a terra eventuali canali e tubazioni metalliche relative agli impianti elettrici, qualora si posino al loro interno cavi sprovvisti di guaina esterna.

L'impianto di terra, una volta realizzato, sarà sottoposto a verifica attraverso la misura delle tensioni di contatto.

In linea generale l'impianto di terra della Cabina Primaria di Utente sarà interconnesso a quello della Stazione Elettrica della RTN (SE Terna). Per la descrizione dettagliata sulla costituzione della rete di terra della SE della RTN si rimanda al capitolo specifico.

#### Impianto di Ventilazione del locale Trasformatore Servizi Ausiliari

Il locale trasformatore è raffreddato con sistema di ventilazione forzata con attivazione automatica al raggiungimento della soglia temperatura interna impostata sul termostato ambiente.

L'aria nel locale è immessa ed estratta in modo tale da garantire che il flusso forzato vada ad investire il trasformatore. La velocità dell'aria in corrispondenza delle aperture di immissione non deve superare i 3 m/s per evitare di sollevare polvere all'interno del locale con conseguente insudiciamento delle apparecchiature elettriche.

Sono previsti n. 2 ventilatori (uno di riserva all'altro), entrambi dotati di serranda a gravità e con portata pari al 100 % della richiesta. Al raggiungimento della prima soglia di temperatura, impostata ad esempio a 30°C, è avviato automaticamente il ventilatore n. 1. Al raggiungimento della seconda soglia di temperatura impostata ad esempio a 35°C, è avviato automaticamente il ventilatore n. 2.

#### Impianto di Ventilazione del locale Soccorritore / Batterie

Le apparecchiature contenute nel locale, in particolare l'armadio raddrizzatore e l'armadio con le batterie necessitano di un sistema di ventilazione per lo smaltimento del calore prodotto. A tale scopo sono previste griglie di ventilazione tali da consentire una ventilazione naturale sufficiente per il locale.

#### Condizionamento del Locale Quadri

Per evitare possibili sovratemperature e quindi malfunzionamenti o riduzione della vita utile delle apparecchiature è previsto un impianto di condizionamento con più split, con motocondensanti esterne.

Il condizionamento avviene senza ricircolo di aria esterna pertanto, per quanto possibile, il locale è reso ermetico rispetto all'ambiente esterno.

L'aria condizionata viene distribuita nel locale in modo da garantire che il flusso d'aria forzata vada ad investire le apparecchiature che maggiormente contribuiscono al riscaldamento.

Le unità interne sono staffate a soffitto all'interno dei locali.

Le unità interne ed esterne sono in esecuzione di tipo industriale e la loro regolazione avviene mediante termostato fisso a parete.

#### Impianto di Rivelazione Incendi

L'impianto rivelazione incendi è costituito da:

- rivelatori ottici nei locali trasformatore e quadri, di tipo collettivo
- ripetitori ottici all'esterno di ciascun locale sorvegliato
- pulsante manuale di allarme ubicato all'esterno
- avvisatore ottico acustico da esterno
- centrale di rivelazione a quattro zone per la gestione dei sensori in campo completa di combinatore telefonico per la segnalazione a distanza di eventuali allarmi.

#### Impianto di Controllo Accessi e Antintrusione

L'impianto antintrusione è realizzato a scopo preminentemente antivandalico e consente l'invio al posto remoto, mediante gli apparati di teleoperazione, della segnalazione di allarme per "intrusione estranei".

L'impianto è costituito da:

- centrale antintrusione modulare
- contatti magnetici a triplo bilanciamento, montaggio a vista, in corrispondenza delle porte di accesso dall'esterno
- modulo di indirizzamento multiplo
- tastiera alfanumerica autoprotetta con display per programmazione e gestione centrale antintrusione
- sirena elettronica da esterno.

#### Altre dotazioni

Sono previste le seguenti dotazioni:

- tappeto isolante posizionato a pavimento sul fronte degli scomparti di media tensione per tutta la loro lunghezza
- quadro con evidenziato lo schema elettrico della cabina da installare a parete
- lampada portatile di emergenza con batterie sempre in carica
- cartelli
- estintori portatili

#### Controllo centralizzato e Supervisione (SCADA)

Il sistema SCADA è composto dei seguenti elementi:

- armadio di acquisizione segnali dal campo dotato di relé di isolamento
- armadio contenente l'unità di controllo remoto (RTU) e l'apparato periferico di telecontrollo
- PC di controllo e comando

I segnali di interfaccia con il campo sono fondamentalmente:

- per le apparecchiature di manovra di alta tensione:

- stati degli organi di comando principale (interruttori, sezionatori di linea e di terra)
- stati degli organi di comando ausiliari (interruttori magnetotermici)
- allarmi e blocchi
- per il trasformatore AT/MT:
  - segnalazioni intervento protezioni interne (Buchholz, max pressione, ecc.)
  - posizione del variatore sotto carico
  - stati degli organi di comando ausiliari (interruttori magnetotermici) nei quadri di comando
  - allarmi e blocchi
- per le unità funzionali di media tensione:
  - stato degli interruttori e dei sezionatori
  - intervento su guasto delle protezioni
  - comandi per l'apertura e chiusura da remoto
- per il quadro protezioni:
  - stato relè di uscita protezioni
  - intervento su guasto delle protezioni
- per il gruppo raddrizzatore - batterie:
  - stato rete
  - stato batterie
  - allarmi

Vengono inoltre monitorati segnali da altri sistemi quali quadri BT, impianto rivelazione incendi, antintrusione.

### **Impianto di Terra di Sottostazione Utente**

L'impianto di terra di sottostazione è costituito da una rete magliata di conduttori in corda di rame e dimensionato termicamente per la corrente di guasto prevista.

Il lato di maglia è scelto in modo da limitare le tensioni di contatto a valori non pericolosi, secondo quanto previsto dalle Norme. Nei punti sottoposti ad un maggior gradiente di potenziale (sezione AT, TA, TV, scaricatori) le dimensioni delle maglie sono opportunamente ridotte.

Le apparecchiature e le strutture metalliche di sostegno sono invece connesse all'impianto di terra mediante opportuni conduttori in rame, il cui numero varia da 2 a 4 in funzione della tipologia del componente connesso a terra.

Attorno all'edificio di cabina è posato un anello in corda di rame connesso con le altre parti dell'impianto di terra, da cui si derivano i collegamenti ai collettori previsti all'interno dei locali della cabina stessa e quindi alla rete elettrosaldata posta nelle fondazioni dell'edificio.

La rete di terra è costituita da conduttori in corda di rame nudo (sezione indicativa 70 mm<sup>2</sup>) interrati ad una profondità indicativamente non inferiore a 0,7 m.

I conduttori di terra che collegano al dispersore le strutture metalliche sono in rame (sezione indicativa 120 mm<sup>2</sup>) collegati a due lati di maglia. Nel caso di collegamenti a terra di TA, TV e scaricatori, si prevedono invece quattro connessioni.

I conduttori di rame sono collegati tra loro con dei morsetti a compressione in rame, mentre il collegamento

ai sostegni è realizzato mediante capocorda e bullone.

### Trasformatore AT/MT

Il trasformatore AT/MT ha le seguenti caratteristiche:

<b>Potenza nominale</b>	<b>42</b>
<b>Raffreddamento</b>	<b>ONAN</b>
<b>V1n (Tensione nominale lato AT)</b>	<b>132 kV ± 10 x 1,25%</b>
<b>V2n (Tensione nominale lato MT)</b>	<b>30 kV</b>
<b>Gruppo vettoriale</b>	<b>YNd11</b>

Il trasformatore, in accordo allo standard Terna, è dotato almeno delle seguenti protezioni:

<b>Id</b>	<b>Funzione</b>
<b>26Q</b>	<b><i>sovratemperatura olio, con soglia di allarme e di scatto</i></b>
<b>99Q</b>	<b><i>livello olio, con soglia di allarme</i></b>
<b>63Q</b>	<b><i>pressione olio, con soglia di scatto</i></b>
<b>97T</b>	<b><i>relè Buchholz di trasformatore, con soglia di allarme e scatto</i></b>
<b>97VSC</b>	<b><i>relè Buchholz di variatore sotto carico, con soglia di scatto</i></b>
<b>99VSC</b>	<b><i>livello olio nel variatore sotto carico, con soglia di allarme</i></b>

Inoltre, è previsto il dispositivo di controllo e comando del variatore sotto carico (90TR).

### Apparecchiature AT in Cabina Primaria di Utenza

Viene di seguito descritta la composizione dello stallo AT, con isolamento in aria, in CP Utente, funzionale all'inserimento in antenna dell'impianto in corrispondenza del punto di connessione, localizzato all'interno della Sottostazione Elettrica (SE) della RTN.

<b>Id</b>	<b>Quantità</b>	<b>Descrizione</b>
<b>SEZ</b>	<b>1</b>	<b><i>SEZIONATORE CON LAME DI TERRA</i></b>
<b>TV</b>	<b>3</b>	<b><i>TRASFORMATORE DI TENSIONE PER LE PROTEZIONI, MISURE UTF</i></b>
<b>TA1</b>	<b>3</b>	<b><i>TRASFORMATORE DI CORRENTE PER LE MISURE UTF</i></b>
<b>TA2</b>	<b>3</b>	<b><i>TRASFORMATORE DI CORRENTE PER LE PROTEZIONI</i></b>
<b>INT</b>	<b>1</b>	<b><i>INTERRUTTORETRIPOLARE IN SF6</i></b>
<b>SCA</b>	<b>3</b>	<b><i>SCARICATORE DI SOVRATENSIONE</i></b>

Per i dettagli si rimanda ai seguenti elaborati:

TPP 054-00 SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE – OPERE CIVILI – PIANTE E SEZIONI – TAV. 1/2  
 TPP 055-00 SOTTOSTAZIONE DI CONNESSIONE – OPERE CIVILI – PIANTE E SEZIONI – TAV. 2/2

### Sistema di Protezione della CP Utente

Il sistema di protezione proposto è definito in modo tale da garantire:

- la protezione dell'impianto contro tutti i possibili guasti e funzionamenti anomali che possono verificarsi all'interno dello stesso;
- il distacco di tutto l'impianto di produzione dalla RTN a 132 kV per guasti o funzionamenti anomali su quest'ultima, nel rispetto dei criteri generali dettati da Terna per l'allacciamento degli impianti di produzione alla RTN.

Le protezioni individuate sono le seguenti:

Ubicazione	Elemento protetto	Lato	Funzioni di protezione richieste
CP Utente	RTN / impianto eolico	AT	<b>27, 81&lt;, 81&gt;, 59, 59V0</b>
CP Utente	Trasformatore AT/MT	AT	<b>50, 51, 87T</b>
CP Utente	Rete servizi ausiliari in CC	AT	<b>80s</b>
Quadro MT in CP Utente	Trasformatore AT/MT	MT	<b>50,51</b>
Quadro MT in CP Utente	Celle arrivo dal campo	MT	<b>67, (50,51), 67N</b>
Quadro MT in CP Utente	Trasformatore ausiliari	MT	<b>50, 51,51N</b>
Quadro MT in CP Utente	Quadro, linee / Rincalzo	MT	<b>27, 59V0</b>

#### Protezioni in CP Utente

#### **PROTEZIONI DI MINIMA TENSIONE E DI MINIMA-MASSIMA FREQUENZA IN CP UTENTE SULL'ARRIVO DALLA RTN 132 KV**

Si propone un relè di protezione multifunzione a microprocessore, con le seguenti funzioni di protezione per il distacco dell'impianto di produzione dalla RTN a seguito di guasti esterni all'impianto stesso o in mancanza di alimentazione dalla RTN, o comunque per interrompere il parallelo dell'impianto dell'Utente produttore alla RTN per valori inadeguati di tensione e frequenza (della RTN o dell'Utente):

- protezione di minima tensione con caratteristica di intervento a tempo indipendente (27);
- protezione di minima frequenza con caratteristica di intervento a tempo indipendente (81<);
- protezione di massima frequenza con caratteristica di intervento a tempo indipendente (81>);
- protezione di massima tensione omopolare (a due soglie) con caratteristica di intervento a tempo indipendente (59V0).

Le regolazioni di tali funzioni devono essere definite da Terna.

La protezione di minima tensione effettua la misura trifase delle tensioni concatenate da TV inseriti a monte dell'interruttore generale 152TR, in modo da rilevare l'effettiva condizione di assenza tensione dalla RTN, mentre le protezioni di minima e massima frequenza impiegano la misura di solo una delle tre tensioni concatenate misurate dallo stesso TV.

Lo scatto di almeno una delle protezioni di cui sopra comanda l'apertura dell'interruttore generale 152TR, separando l'impianto di produzione dalla rete. La mancanza della rete verrà poi avvertita dalle protezioni delle singole macchine in campo, comandando l'apertura degli interruttori di macchina e la fermata delle turbine.

#### **PROTEZIONE LATO AT DEL TRASFORMATORE IN CP UTENTE, DIFFERENZIALE E DI MASSIMA CORRENTE**

Si propone un relè di protezione multifunzione a microprocessore, con le seguenti funzioni di protezione:

- protezione differenziale con compensazione a doppia pendenza percentuale contro i guasti esterni (87T), come protezione rapida ed alta sensibilità contro i corto circuiti polifasi interni all'intero montante trasformatore e contro i corto circuiti verso terra interni al montante 132 kV del trasformatore. La protezione è inoltre dotata di ritenuta di seconda armonica, ad evitarne l'intervento intempestivo per effetto della sovracorrente di inserzione del trasformatore, e di ritenuta di quinta armonica ad evitarne l'intervento intempestivo durante il funzionamento in sovraeccitazione del trasformatore;
- protezione di massima corrente tripolare a due soglie di intervento con caratteristica di intervento a tempo indipendente (50-51) contro i corto circuiti polifasi sui lati 132 kV e 30 kV del trasformatore e contro i corto circuiti verso terra sul lato 132 kV del trasformatore stesso, di riserva alla protezione differenziale. Questa può consentire rispettivamente il distacco ritardato dell'impianto di produzione dalla RTN in caso di superamento di un prestabilito livello e il distacco rapido dalla RTN a fronte di corto circuito polifase o verso terra sulla rete 132 kV dell'Utente (con contributo alla corrente di corto circuito proveniente dalla RTN). La possibilità che tale protezione possa rilevare anche corto circuiti polifasi o verso terra esterni alla rete dell'utente dipende dalle regolazioni richieste per la protezione stessa da Terna. Le protezioni di massima corrente 50-51 effettuano la misura trifase delle correnti dai tre TA di fase installati sul lato 132 kV e per loro intervento viene comandata sia l'apertura dell'interruttore AT 152TR, sia l'apertura dell'interruttore generale MT nell'unità funzionale del quadro di media tensione di sottostazione (interruttore 52TR).

La misura trifase delle correnti dai tre TA di fase lato 132 kV del trasformatore di sottostazione, insieme ad una Terna di TA di fase dedicata ubicata nella specifica unità funzionale del quadro MT di sottostazione, viene impiegata per la protezione differenziale 87T.

Per intervento delle protezioni 50 o 51 o 87T viene comandato il blocco del trasformatore per apertura degli interruttori sui lati 132 kV e 30 kV del trasformatore stesso.

#### **PROTEZIONI DI MASSIMA CORRENTE SUL LATO 30 KV DEL TRASFORMATORE IN CP UTENTE**

Si propongono dei relè di protezione multifunzione a microprocessore, con funzione di massima corrente trifase a due soglie di intervento a tempo indipendente (67-50-51), contro i corto circuiti polifasi sul lato 30 kV del trasformatore di sottostazione alle sbarre del quadro MT di sottostazione (esterni alla zona della protezione differenziale 87T).

Le protezioni di massima corrente 67-50-51 effettuano la misura trifase delle correnti da una terna dedicata di TA di fase nel quadro MT di sottostazione, in modo da incrociare la zona coperta dalla 87T con la zona coperta dalla protezione 67-50-51.

Per intervento della protezione di massima corrente 67-50-51 viene comandata l'apertura dell'interruttore (52TR).

#### **PROTEZIONE DI MASSIMA CORRENTE TRASFORMATORE MT/BT PER I SERVIZI AUSILIARI IN CP UTENTE**

Si propone un relè di protezione multifunzione a microprocessore, con funzione di massima corrente trifase a due soglie di intervento a tempo dipendente (51) ed indipendente (50), contro sovraccarico del trasformatore per i servizi ausiliari e corto circuiti polifasi sul lato 30 kV dello stesso.

Per la protezione contro i guasti a terra si propone invece una protezione 51N a tempo indipendente.

Le protezioni di massima corrente 50-51 effettuano la misura trifase delle correnti da una Terna dedicata di TA di fase a valle dell'interruttore installato nell'unità funzionale specifica del quadro MT di sottostazione. La protezione 51N effettua la misura della corrente residua mediante toroide installato sulla linea in partenza dal quadro.



Per intervento della protezione di massima corrente 50-51 e della 51N viene comandata l'apertura dell'interruttore (52SA).

#### **PROTEZIONI DI MINIMA TENSIONE E DI MASSIMA TENSIONE RESIDUA SULLE SBARRE DEL QUADRO MT IN CP UTENTE**

Si propone un relè di protezione multifunzione a microprocessore, dotato delle seguenti funzioni di protezione:

- protezione di minima tensione trifase ad una soglia di intervento a tempo indipendente (27), impiegata come protezione di riserva contro i corto circuiti polifasi alle protezioni di massima corrente sulla rete 30 kV;
- protezione di massima tensione residua ad una soglia di intervento a tempo indipendente (59V0), come protezione principale contro i guasti a terra localizzati sulle sbarre del quadro MT e sul montante a 30 kV del trasformatore di sottostazione e come protezione di riserva alla protezione direzionale di terra sull'arrivo feeder dal campo, nel caso in cui la corrente per guasto a terra sia insufficiente per il superamento della soglia di scatto delle protezioni direzionali di terra.

Le protezioni di minima tensione 27 e di massima tensione residua 59V0 effettuano rispettivamente la misura trifase delle tensioni concatenate e la misura della tensione residua mediante TV inseriti nelle specifiche unità funzionali del quadro di MT.

Per intervento delle protezioni di minima tensione 27 viene comandata l'apertura degli altri interruttori MT delle unità funzionali del quadro.

Per intervento della protezione di massima tensione residua 59V0, in aggiunta all'apertura degli stessi interruttori operata dalla protezione 27, viene comandata l'apertura dell'interruttore 152TR sul lato 132 kV del trasformatore di sottostazione, allo scopo di eliminare guasti a terra che dovessero localizzarsi sul montante 30 kV del trasformatore a monte dell'interruttore.

#### **Apparecchiatura di Misura dell'Energia**

È prevista una misura dell'energia scambiata con la RTN in corrispondenza al punto di connessione. Il sistema di misura è costituito da:

- TA di misura in classe 0.2;
- TV di misura in classe 0.2;
- Apparecchiatura di misura (AdM) in classe 0.2.

La scelta dei trasformatori di misura e delle AdM è operata sulla base del documento "Specificazione funzionale e realizzativa delle apparecchiature di misura" (Terna).

#### Trasformatore di misura di Corrente (TA)

Il trasformatore di misura di corrente è scelto sulla base delle necessità di seguito indicate.

La prestazione nominale deve essere:

- superiore al consumo complessivo del suo circuito amperometrico a valle del secondario, tenendo conto anche del consumo dei collegamenti e delle connessioni alle morsettiere;
- tale che il suo 25% sia inferiore al consumo complessivo del suo circuito amperometrico a valle

del secondario, tenendo conto anche del consumo dei collegamenti e delle connessioni alle morsettiere.

Se il consumo complessivo del circuito amperometrico, tenendo conto anche del consumo dei collegamenti e delle connessioni alle morsettiere, è inferiore al 25% della prestazione del trasformatore di corrente, si collega al secondario del medesimo trasformatore un opportuno carico zavorra per rientrare nell'intervallo di prestazione.

Il carico zavorra è essere dimensionato in modo tale che il trasformatore operi ad una prestazione compresa tra il 25% ed il 100% della sua nominale in condizioni di funzionamento nominali.

#### Trasformatore di misura di Tensione (TV)

Il trasformatore di misura di tensione viene scelto sulla base delle necessità di seguito indicate.

La prestazione nominale deve essere:

- superiore al consumo complessivo del circuito voltmetrico a valle del secondario, tenendo conto anche del consumo dei collegamenti e delle connessioni alle morsettiere;
- tale che il suo 25% sia inferiore al consumo complessivo del circuito voltmetrico a valle del secondario, tenendo conto anche del consumo dei collegamenti e delle connessioni alle morsettiere.

Tali requisiti devono essere soddisfatti anche quando il contatore è alimentato direttamente dai circuiti voltmetrici (alimentazione interna).

Se il consumo complessivo del circuito voltmetrico, tenendo conto anche del consumo dei collegamenti e delle connessioni alle morsettiere, è inferiore al 25% della prestazione del trasformatore di tensione, si collega al secondario del medesimo trasformatore un opportuno carico zavorra per rientrare nell'intervallo di prestazione.

Il carico zavorra è dimensionato in modo tale che il trasformatore operi ad una prestazione compresa tra il 25% ed il 100% della sua nominale in condizioni di funzionamento nominali.

#### Apparecchiatura di Misura (AdM)

L'apparecchiatura di misura ha le seguenti peculiarità:

- dotata di classe di precisione 0.2;
- corredata di dispositivi di comunicazione per lettura da remoto ed il collegamento con il SAPR (Sistema di Acquisizione Principale) presso il gestore della RTN.

È alloggiata entro un armadio di misura ubicato nell'apposito locale al quale possono avere accesso sia Terna che l'Utente.

#### Punti Addizionali di Misura

Potranno essere previsti i seguenti punti addizionali di misura:

- sul lato BT del trasformatore per servizi ausiliari in CP Utente, con uno strumento statico di sola energia attiva, con morsetti sigillabile, alimentato tramite TA e ad inserzione diretta sul circuito volumetrico.

### **Apparecchiatura di Teletrasmissione delle Misure**

La teletrasmissione delle misure è realizzata in accordo con quanto riportato nelle indicazioni del Codice di rete di Terna che in qualità di Gestore della RTN deve acquisire dagli impianti di produzione connessi sulla stessa le informazioni necessarie per il controllo della rete. Tali informazioni devono quindi essere messe a disposizione dall'utente produttore e trasmesse tramite protocollo specifico.

Per la raccolta e la trasmissione dei dati si prevede sia necessario installare dei convertitori che effettuino le misure e una RTU (Remote Terminal Unit) a CPU ridondata, per la trasmissione a Terna nel protocollo sopra indicato.

Le misure richieste sono le seguenti:

- misure di tensione sul montante a 132 kV;
- misure di potenza attiva sul montante a 132 kV;
- misure di potenza reattiva sul montante a 132 kV;
- stato dell'interruttore AT di utente caratterizzato con lo stato del sezionatore di linea posizionato immediatamente a monte.

Altri segnali opzionali provenienti dal campo (es. velocità e direzione del vento) potranno poi essere trasmessi con le medesime modalità e resi disponibili dallo SCADA di parco dell'impianto eolico.

### **Sistema di Trasmissione Dati**

È previsto un sistema di trasmissione dati dalla CP Utente verso un punto di controllo centrale, ubicato presso la sede operativa dell'utente, in modo tale da consentire in particolare il comando dell'interruttore 152TR di utente in alta tensione.

### **Punto di Connessione alla Rete dati**

La CP Utente è dotata di connessione a rete ISDN o ADSL. Il numero di linee andrà in particolare deciso con il costruttore dei gruppi degli aerogeneratori, sulla base delle esigenze del sistema di comunicazione con gli aerogeneratori. Si possono comunque prevedere almeno le seguenti linee:

- linea per connessione al server SCADA di parco
- linea per connessione al server SCADA di sottostazione
- linea per trasmissione allarmi dagli aerogeneratori verso postazione remota di controllo
- linea per controllo da postazione remota dei parametri regolabili del sistema degli aerogeneratori.

### **Valutazione dei Campi Elettromagnetici generati dalle opere elettriche di progetto**

Principali riferimenti normativi in materia di campi elettromagnetici e limiti di riferimento generati da linee

### elettriche in corrente alternata

Le opere di progetto saranno rispettose della normativa vigente in tema di campi elettrici e magnetici, in particolare le Linee Guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (1Hz – 100 KHz) (2010), che hanno sostituito le precedenti Linee Guida del 1998 introducendo nuovi limiti basati sul campo elettrico indotto e non più sulla corrente elettrica indotta.

Con riferimento all'esposizione della popolazione, si richiama la Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 Luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici fino a 300 GHz (n. 1999/519/CE) che ha recepito le Linee Guida dell'ICNIRP fino a quel momento emesse, oggi sostituite dalle più recenti, (Linee Guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo del 1998) chiedendo agli Stati membri che le disposizioni nazionali relative alla protezione dall'esposizione ai campi elettromagnetici si uniformassero alle stesse.

Come precisa la stessa Raccomandazione, i limiti derivati sulla base degli effetti a breve termine provati, adottano fattori di sicurezza pari a 50 che implicitamente tutelano anche da possibili effetti a lungo termine, ad oggi non provati.

A livello nazionale il quadro tecnico e normativo è il seguente:

Legge quadro 22 febbraio 2001 n. 36	Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" [si applica a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz]
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 (50Hz) generati dagli elettrodotti
Decreto 29 maggio 2008	Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" [si applica alle linee esercite alla frequenza di rete (50Hz)]
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" Prima edizione, 2006
Norma CEI 211-4	Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche" Seconda edizione, 2008
Norma CEI 11-60	Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV" Seconda edizione, 2002

### Limiti di riferimento

I livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP4 per la popolazione, oggetto di recente revisione, sono, per le linee elettriche esercite alla frequenza di rete (50 Hz):

<b>Campo elettrico</b>	<b>[kV/m]</b>	<b>5 (valore efficace)</b>
<b>Campo magnetico</b>	<b>[µT]</b>	<b>200 (valore efficace)</b>

A livello europeo la Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 Luglio 1999 ha invece recepito i valori indicati dalle precedenti Linee Guida dell'ICNIRP (Linee Guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo del 1998); tali valori sono quindi per le linee elettriche esercite alla frequenza di rete (50 Hz):

<b>Campo elettrico</b>	<b>[kV/m]</b>	<b>5 (valore efficace)</b>
<b>Campo magnetico</b>	<b>[µT]</b>	<b>100 (valore efficace)</b>

In ambito nazionale, ai fini della protezione della popolazione, la legge n. 36 del 22 febbraio 2001 e il successivo D.P.C.M. 8 luglio 2003 hanno introdotto, relativamente alla frequenza di rete di 50 Hz, i seguenti

limiti:

**Limite di esposizione:**

<b>Campo elettrico</b>	[kV/m]	<b>5 (valore efficace)</b>
<b>Campo magnetico</b>	[ $\mu$ T]	<b>100 (valore efficace)</b>

**Valore di attenzione:**

<b>Campo magnetico</b>	[ $\mu$ T]	<b>10 (valore efficace)</b>
		<i>da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio</i>

**Obiettivo di qualità:**

<b>Campo magnetico</b>	[ $\mu$ T]	<b>3 (valore efficace)</b>
		<i>da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio</i>

Mentre i limiti di esposizione si applicano in ogni condizione di esposizione, i valori di attenzione si applicano nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere nel caso di linee esistenti nei confronti di edificato esistente.

Nella progettazione di nuove opere in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz si applicano invece gli obiettivi di qualità.

Di seguito un prospetto dei limiti attualmente vigenti:

f (Hz)	ICNIRP (2010)		Racc.Cons.Europeo 12/07/99		D.Lgs 36/01 + DPCM 8/07/2003	
	E (kV/m)	B ( $\mu$ T)	E (kV/m)	B ( $\mu$ T)	E (kV/m)	B ( $\mu$ T)
50	5	200	5	100	5	100 <sup>(1)</sup>
						10 <sup>(2)</sup>
						3 <sup>(3)</sup>

Linee EE MT a 30 kV sul sito

Ai sensi del DM 29/05/2003 tali linee sono escluse dalla metodologia di calcolo in quanto verranno realizzate in conduttori cordati ad elica visibile, costituiti da cavi unipolari avvolti reciprocamente a spirale.

Come illustrato nella figura 18a) della Guida CEI 106-11 la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T sia raggiunto già a brevissima distanza (indicativamente 50 – 80 cm) dall'asse del cavo stesso.

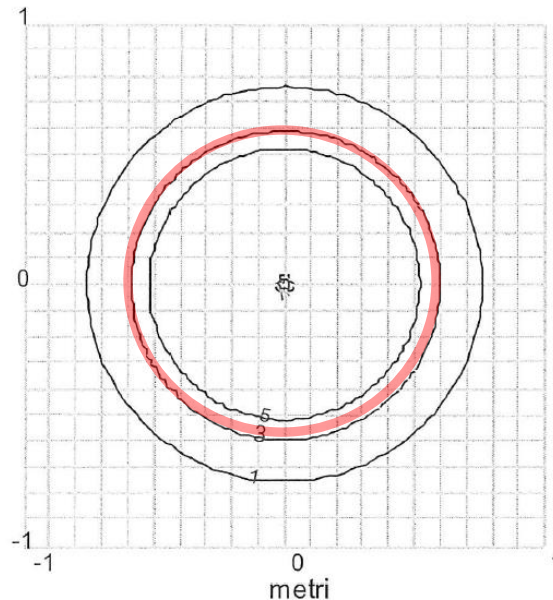


Fig. 18a) della Guida CEI 106-11: in rosso la curva isoinduzione 3  $\mu T$

Essendo queste linee posate ad una profondità di almeno 80 cm, già a livello del suolo, sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata, si determina una induzione magnetica inferiore a 3  $\mu T$ . Ciò significa che per tale tipologia di linee non è necessario stabilire una fascia di rispetto in quanto l'obiettivo di qualità è rispettato ovunque.

A dimostrazione di quanto riportato nella Guida CEI 106-11 Parte 1, si riportano i risultati di una campagna di misure di induzione magnetica (B) in corrispondenza di linee MT di connessione di un parco eolico realizzato in Toscana, Provincia di Pisa. Nella relazione redatta dall'Università di Bologna Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione - Guglielmo Marconi – DEI – *Parco Eolico Riparbella. Misure di campo magnetico ed elettrico in corrispondenza dell'elettrodotto MT di connessione dell'impianto eolico con la sottostazione elettrica (SSE) di connessione con la rete AT. Relazione tecnica delle misure* risultano valori di B misurati in corrispondenza delle linee MT di connessione del parco sensibilmente inferiori a 3  $\mu T$

#### Linee EE MT a 30 kV di connessione

Ai sensi del DM 29/05/2003 tali linee sono escluse dalla metodologia di calcolo in quanto realizzate in conduttori cordati ad elica visibile. Tale realizzazione infatti permette di ottenere delle fasce di rispetto di ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i.

Si rimanda a quanto riportato al paragrafo precedente per le *linee EE MT sul sito*.

#### Cabina Primaria di Utente

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, il Decreto 29 Maggio 2008 prevede la possibilità di calcolare la **DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE**, definita come “la distanza in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea, che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di  $D_{pa}$  si trovi all'esterno delle fasce di rispetto”.



1) Dpa generata dalla sezione AT in aria a 132 kV:

Al fine del calcolo della Dpa generata dalla sezione AT a 132 kV della CP Utente è stata eseguita una simulazione con il **software EFC400**, specifico per il calcolo dei campi elettromagnetici.

**La simulazione è stata condotta nella situazione più cautelativa**, ovvero considerando la massima produzione del Parco Eolico, pari a 42 MW, somma aritmetica delle potenze massime di ciascuno dei 7 aerogeneratori del sito eolio. Si considerano pertanto le seguenti correnti:

<b><math>I_1</math> (corrente sull'avvolgimento a 132 kV)</b>	<b>[A]</b>	<b>183</b>
<b><math>I_2</math> (corrente sull'avvolgimento a 30 kV)</b>	<b>[A]</b>	<b>808</b>

La  $I_1$  circola sull'intera sezione AT in aria a 132 kV della CP.

In tale condizione è emerso che:

- la Dpa dal centro delle sbarre AT di CP Utente è pari a: **7,2 m**

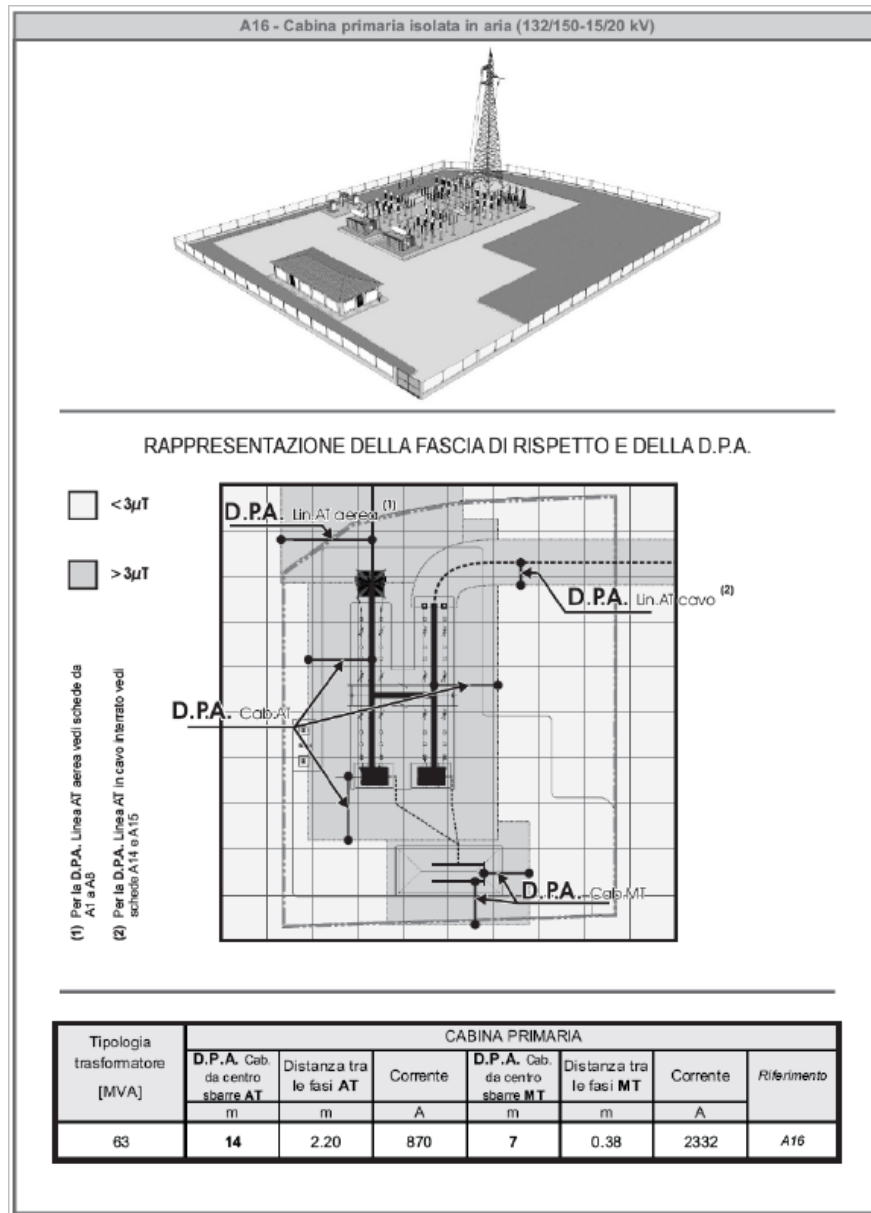
2) Dpa generata dal quadro elettrico a 30 kV sito all'interno dell'edificio di CP Utente:

Ai fini del calcolo della Dpa generata dal quadro elettrico di media tensione si fa riferimento al documento di e-distribuzione (ex Enel) "**LINEA GUIDA PER L'APPLICAZIONE DEL § 5.1.3 DELL'ALLEGATO AL DM 29.05.08 - DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA) DA LINEE E CABINE ELETTRICHE**" che è stato redatto dal fine di semplificare ed uniformare l'approccio al calcolo della distanza di prima approssimazione (procedimento semplificato per il calcolo della fascia di rispetto) degli impianti, in modo tale che il risultato sia fruibile sia da parte di privati in sede di realizzazione di nuovi insediamenti, che da parte degli organi di controllo in sede di verifica.

La Linea Guida riporta una serie di schede sintetiche in cui viene illustrato il risultato del calcolo delle Dpa simulate ed elaborate con il software **EMF Tools v. 3.0** del CESI, che raccoglie, in unica piattaforma diversi moduli di calcolo dei campi elettrici e magnetici, associabili alle varie tipologie di sorgenti esistenti (EMF v. 4.06, CEMCabine v. 1.0, Fasce v. 1.0, ecc.). La modellizzazione delle sorgenti, fatta in modo bidimensionale per gli elettrodotti e fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4. Per la determinazione delle DPA la Linea Guida fa riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto.

Analogamente a quanto fatto per il calcolo della Dpa generata dalla sezione AT in aria a 132 kV, **anche nel caso in esame si prende in considerazione la condizione di massima produzione del parco Eolico**, pari a 42 MW. Ciò determina una corrente pari a 808 A sull'intera sezione MT a 30 kV della CP, e quindi anche sulle sbarre del quadro di CP.

La stima parametrica della Dpa viene condotta sulla base dei valori standard definiti nella scheda standard n. A16 – Cabina Primaria isolata in aria (132/150 – 15/20 kV) della Linea Guida:



È possibile stabilire in modo parametrico che:

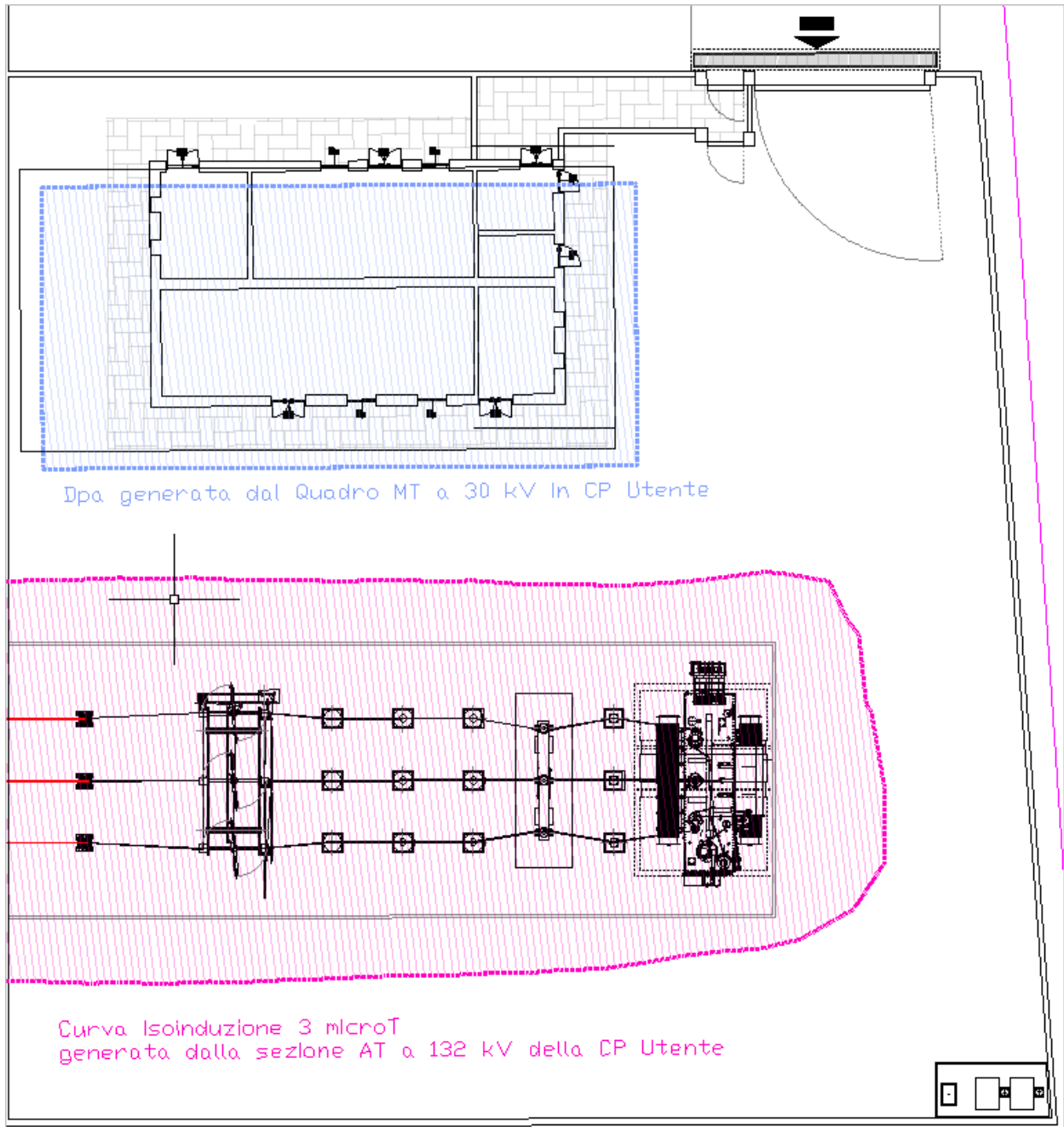
- la Dpa generata dalle sbarre del quadro MT in CP è pari a:

**5 m**

#### Conclusioni in esito ai calcoli dei campi elettromagnetici

Si evince che la Dpa generata dalle apparecchiature previste presso l'impianto di utente (sezione a 132 kV e sezione a 30 kV) risulta essere totalmente ricompresa all'interno dell'area della CP stessa.

La rappresentazione in pianta delle Dpa generate dagli impianti AT e MT di utente è la seguente:



Si sottolinea che le Dpa sopra definite fanno sempre riferimento alla *situazione più critica di funzionamento dell'impianto*. L'obiettivo di qualità, come definito dal D.P.C.M. 8 luglio 2003, fa invece riferimento alla *mediana dei valori di campo elettromagnetico in un arco di 24 ore di normale funzionamento dell'impianto*.

Di conseguenza è possibile affermare che *non si manifesteranno situazioni di funzionamento dell'impianto tali da determinare valori di induzione magnetica superiori all'obiettivo di qualità all'esterno dell'area della CP stessa*.

### Dimensionamenti e Verifiche

Le analisi e le simulazioni descritte nel presente paragrafo hanno lo scopo di

- verificare il dimensionamento dei cavi di collegamento e il rispetto dei vincoli di tensione e corrente (curva di capability), descritti dall'Allegato 17 del Codice di Rete;
- stimare le perdite elettriche del parco eolico di Lajatico

Vengono di seguito illustrati i calcoli di load flow eseguiti sul modello numerico, realizzato in ambiente Neplan, finalizzati alle verifiche sopra descritte.

L'impianto è costituito da:

- 7 aerogeneratori
- 7 trasformatori BT/MT
- 4 linee trifase in alluminio per connettere gli aerogeneratori alla sottostazione MT/AT (le 3 linee a cui sono allacciati 2 WTG sono di sezione 240 mm<sup>2</sup>, la linea con un solo WTG è di sezione 185 mm<sup>2</sup>)
- Trasformatore MT/AT in Cabina Primaria per il collegamento alla RTN.

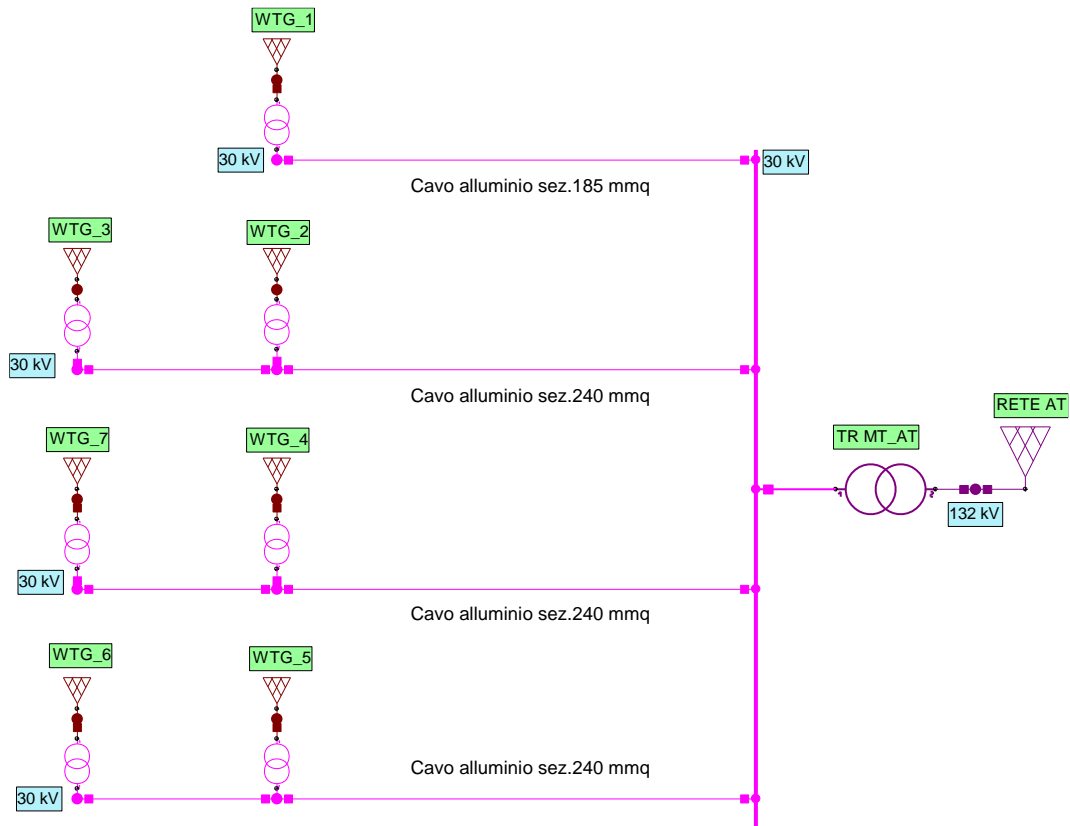
La stima delle perdite di rete è stata fatta per i seguenti 8 layout:

ID Lay-out	Costruttore	Modello	Nr. WTG	P WTG [kW]	H [m]	P parco [MW]
1	Enercon	E147	7	5000	126	35
2	General Electric	GE158	7	5300	121	37.1
3	General Electric	GE158	7	5500	121	38.5
4	Siemens Gamesa	SG145	7	4500	107	31.5
5	Siemens Gamesa	SG145	7	4500	127	31.5
6	Siemens Gamesa	SG155 (*)	7	6000	122	42
7	Vestas	V150	7	4200	123	29.4
8	Vestas	V150	7	6000	125	42

(\*) Modello WTG: Siemens Gamesa SG155 con una potenza nominale di 6,6 MW limitata a 6 MW

Il calcolo della verifica dei limiti di funzionamento è stato fatto nella condizione più gravosa, ovvero quella che prevede 7 WTG da 6 MW

La figura seguente rappresenta lo schema dell'impianto, in ambiente di modellazione: ad esso faranno riferimento i risultati e i calcoli esposti di seguito.



Schema di collegamento tra gli aerogeneratori

### Parametri e assunzioni

Per le linee è stato considerato l'utilizzo di cavo unipolare in alluminio con posa a trifoglio interrato. La temperatura di esercizio è stata assunta pari a 55°C (media tra temperatura ambiente 20°C e la temperatura massima di esercizio 90°C).

Sezione cavo	Resistenza linea riferita a 55°C [Ω/km]	Reattanza [Ω/km]	Capacità [μF/km]	Portata [A] Nota (1)
240 mm <sup>2</sup>	0,143	0,11	0,24	308
185 mm <sup>2</sup>	0,1875	0,12	0,22	265

**Nota (1):** la portata è stata calcolata nelle effettive condizioni di posa, a partire dal dato di catalogo (posa interrata in terreno con  $\rho=1^\circ\text{Cm/W}$ ) e applicando un coefficiente di riduzione per tener conto dell'effetto di prossimità delle 4 linee.

Il trasformatore MT/AT è dotato di un commutatore sotto carico posto sul lato AT ( $\pm 10 \times 1,5\%$ ).

Nel modello il commutatore sotto carico del trasformatore MT/AT è regolato per mantenere la tensione sul lato MT pari al valore nominale.

Per il trasformatore MT/AT si sono assunti i seguenti parametri caratteristici:

<b>Tensione primario [kV]</b>	<b>Tensione Secondario [kV]</b>	<b>Tensione Corto circuito [%]</b>	<b>Potenza persa a vuoto [kW]</b>	<b>Potenza persa a carico [kW]</b>	<b>Corrente a vuoto [%]</b>
30	130	15,63	16,214	139	0,0466

Per i trasformatori BT/MT si sono assunti i seguenti parametri caratteristici:

<b>Tensione primario [kV]</b>	<b>Tensione Secondario [kV]</b>	<b>Potenza persa a vuoto [kW]</b>	<b>Potenza persa a carico [kW]</b>
0.69	30	5,7	26,8

Dimensionamento: verifica tensioni, loading delle linee e curva di capability (Allegato 17 Codice di Rete)

Una prima verifica effettuata riguarda il rispetto dei vincoli elettrici dell'impianto, con riferimento in particolare alle cadute di tensione e alle portate dei cavi.

A questo scopo sono state calcolate le tensioni ai nodi e il loading delle linee (rapporto tra corrente di linea e portata del cavo) nelle condizioni più sfavorevoli, ovvero:

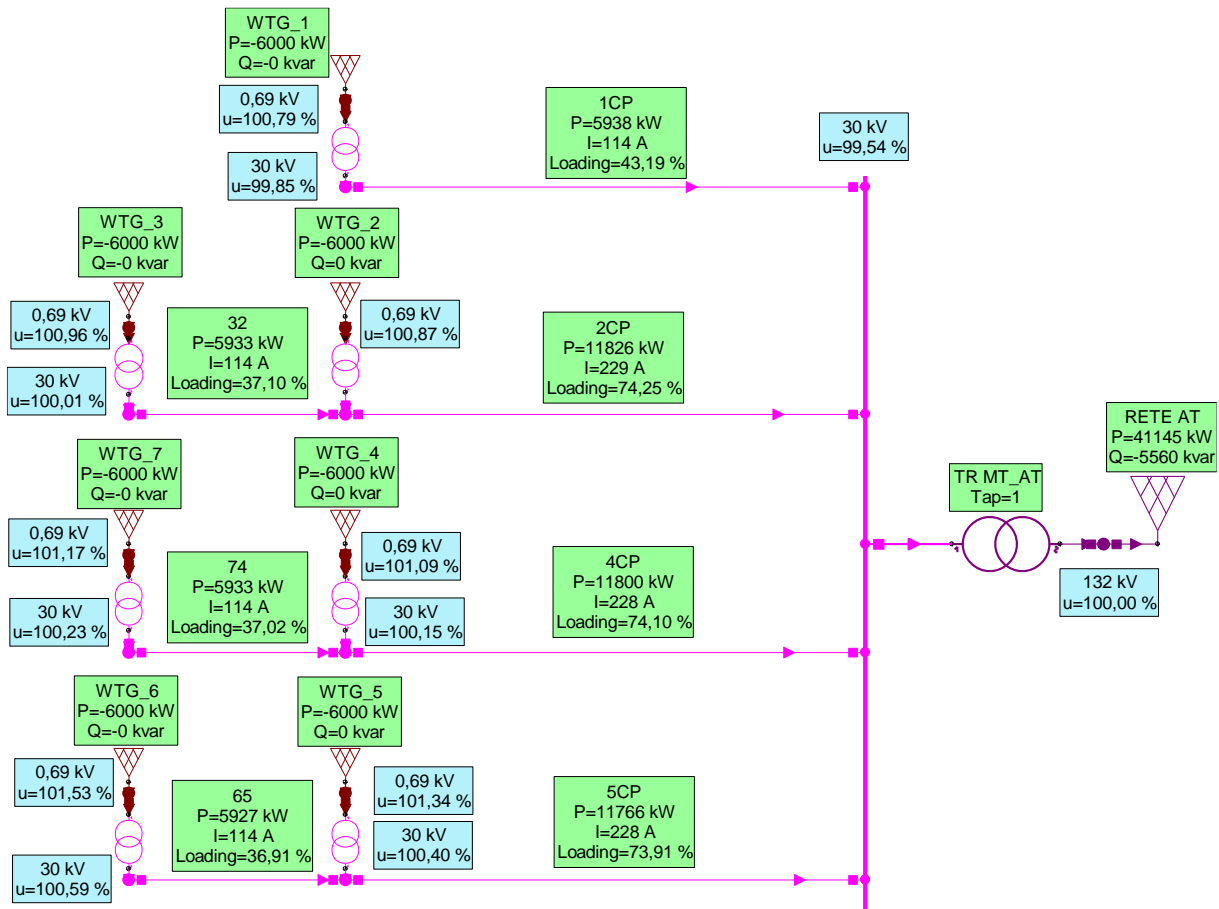
- Produzione max: 42 MW con  $\cos\phi=1$
- Resistenza dei conduttori a 90°C:
  - $r=0,161\Omega/\text{km}$  per il cavo di sezione 240 mm<sup>2</sup>
  - $r=0,211\Omega/\text{km}$  per il cavo di sezione 185 mm<sup>2</sup>

Nel modello il commutatore sotto carico del trasformatore MT/AT è regolato per mantenere la tensione sul lato MT pari al valore nominale.

I risultati ottenuti sono descritti nella tabella e nelle immagini di seguito riportate.

<b>TAP trasformatore MT/AT</b>	<b>tensione a monte del trasformatore MT/AT %</b>	<b>Tensione all'aerogeneratore più distante %</b>	<b>Loading linea più carica %</b>
1	99.54	101.53	74





Risposta del modello Produzione aerogeneratori 42 MW con  $\cos\phi=1$

Come si può osservare, le simulazioni evidenziano il rispetto dei vincoli di portata e delle massime cadute di tensione ammissibili.

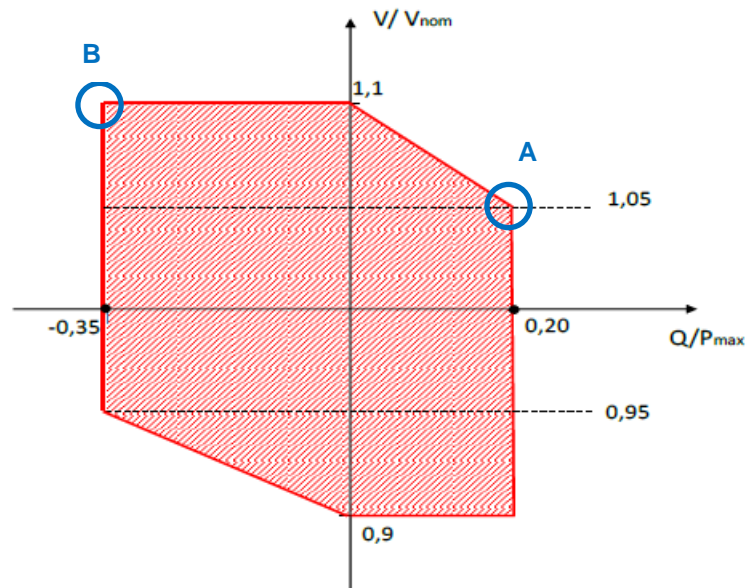
Dopo aver verificato il dimensionamento rispetto a tali vincoli, si è proceduto quindi a verificare il rispetto della "curva di capability" richiesta da Terna (Allegato 17 del Codice di Rete).

Come noto, Terna può richiedere all'impianto l'erogazione o l'assorbimento di potenza reattiva: la curva di capability V/Q alla massima potenza erogata (potenza nominale dell'impianto) è rappresentata in rosso nella figura seguente.

Tramite il modello numerico, si è proceduto a verificare la possibilità di garantire il rispetto di questa area di funzionamento, simulando puntualmente la risposta del sistema in corrispondenza dei punti più critici, che sono quelli cerchiati in blu nel grafico (A e B) e che individuano le condizioni che determinano le maggiori sovratensioni nell'impianto.

Sono state calcolate pertanto le tensioni ai nodi e il loading della linea nelle configurazioni A e B del grafico di capability con la resistenza dei conduttori a 90°C.

Nel modello il commutatore sotto carico del trasformatore MT/AT è regolato per mantenere la tensione sul lato MT pari al valore nominale.

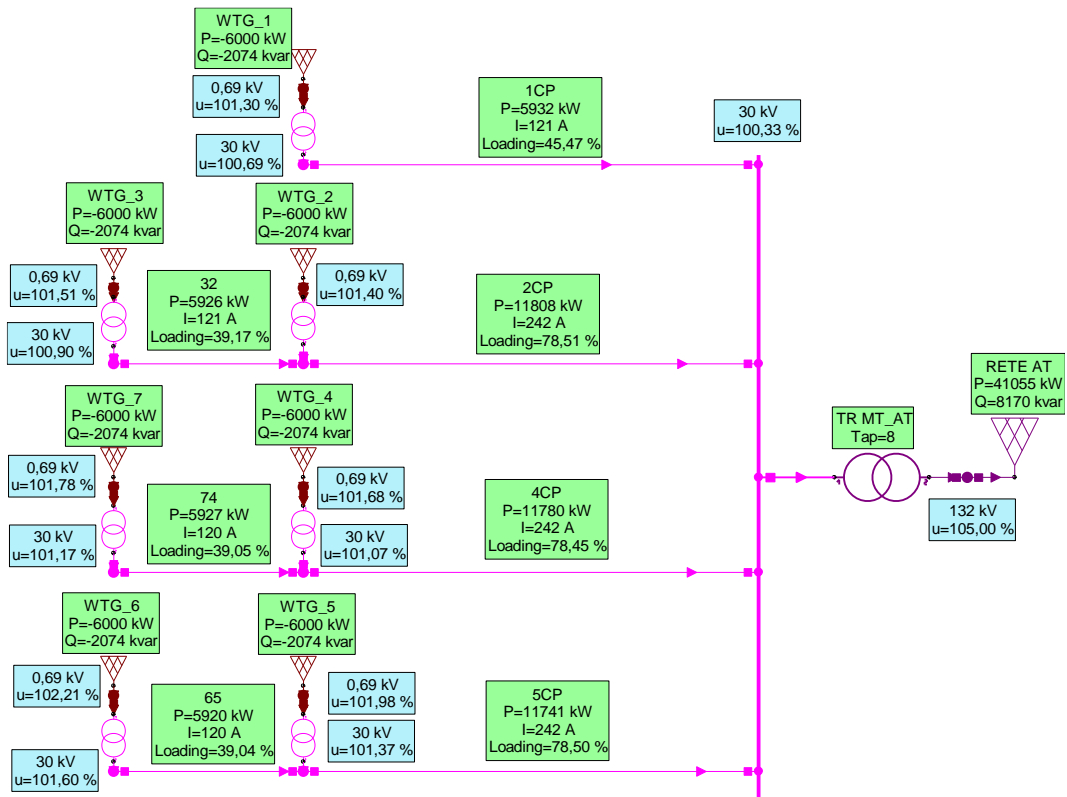


Le tabelle seguenti riepilogano i risultati ottenuti.

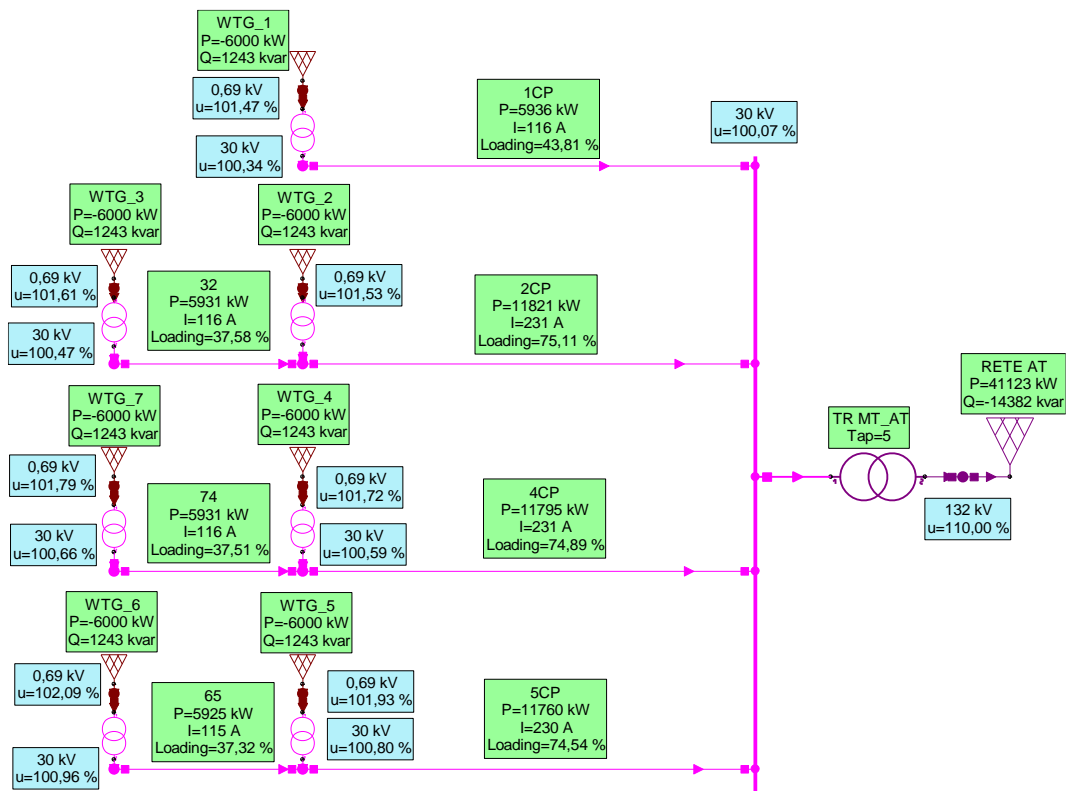
Punto di funzionamento	P erogata aerogeneratore [MW]	Q erogata aerogeneratore [Mvar]	P immessa in rete [MW]	Q immessa in rete [MW]	Q/P al punto di connessione AT
A	6	2.07	41.06	8.17	0.20
B	6	-1.24	41.12	-14.38	-0.35

	Tensione AT riferita al valore nominale %	TAP trasformatore e MT/AT	tensione a monte del trasformatore MT/AT %	Tensione all'aerogeneratore più distante %	Loading linea da cabina d'impianto a sottostazione %
A	105	8	100.33	102.21	78
B	110	5	100.07	102.09	75

A conclusione delle verifiche effettuate, sopra sinteticamente descritte, il dimensionamento dell'impianto risulta idoneo, e assicura il mantenimento di profili di tensione e grado di carico accettabili in tutto il campo di funzionamento previsto.



Risposta del modello - funzionamento nel punto A del grafico della capability

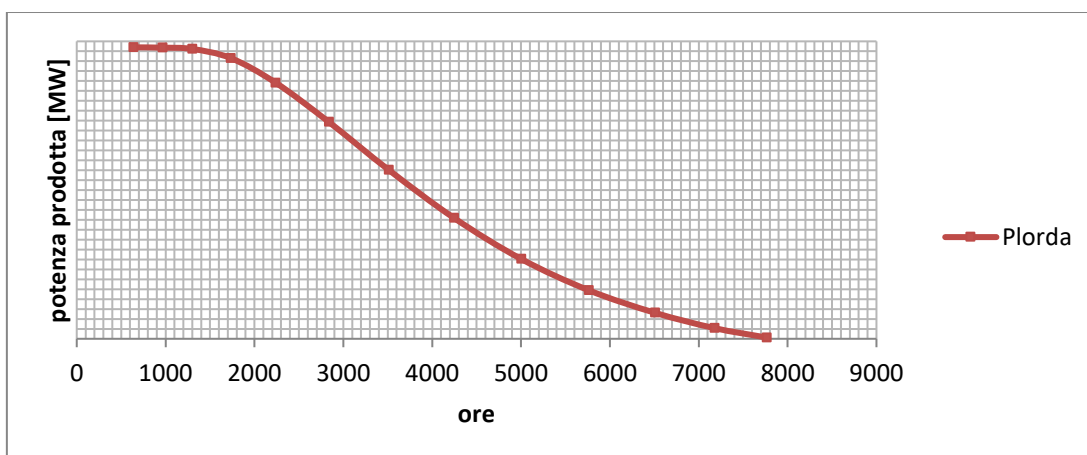


Risposta del modello - funzionamento nel punto B del grafico della capability

### Stima delle perdite elettriche

Di seguito si illustra in modo sintetico e schematico il metodo utilizzato per procedere ad una stima dell'energia elettrica persa su linee e trasformatori.

Innanzitutto, sulla base dei risultati del micro-siting, è possibile ottenere una "curva di durata" della produzione eolica, analoga a quella riportata a titolo d'esempio nella figura seguente.

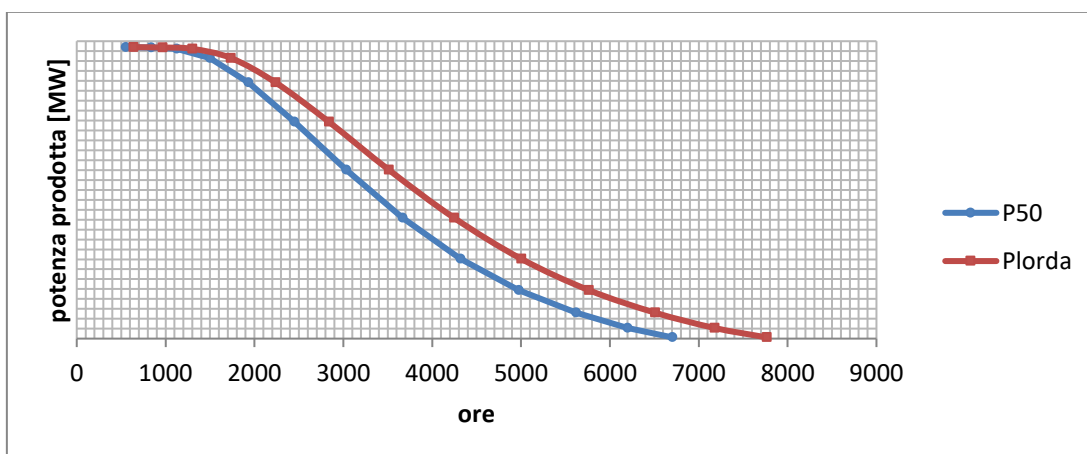


Tale curva può essere opportunamente discretizzata in "classi di potenza", ognuna delle quali caratterizzata da un numero di ore di frequenza.

La distribuzione in frequenza che si ottiene, che per ciascuna classe di potenza indica le ore di accadimento (ottenuta dal calcolo Park del micro-siting), fa riferimento alla energia lorda prodotta dall'impianto, che non rappresenta quella netta immessa sulla rete di alta. Si rende pertanto necessario "scalare" tale distribuzione, adattandola alla stima attesa P50 della producibilità.

Per far questo si è scelto di rimodulare la tabella di frequenza agendo sulle ore rappresentative di ciascuna classe, ovvero moltiplicando il numero di ore di ciascuna classe per un fattore pari a  $\frac{P50}{AEP \text{ lorda}}$ , lasciando invariate le classi di potenza.

In questo modo si ottiene una nuova "curva di durata" (vedi grafico seguente), che fa riferimento alla stima P50 e non all'energia lorda.



Si è optato per tale soluzione, e non per quella duale di rimodulazione della tabella di frequenza agendo sulla potenza rappresentativa di ciascuna classe, in quanto:

- la maggior parte delle perdite fisiche (che costituiscono la differenza tra l'energia lorda prodotta e la stima di producibilità attesa P50) comportano non tanto una limitazione in potenza della produzione dell'impianto eolico, quanto piuttosto una riduzione delle ore di funzionamento dello stesso;
- inoltre, la scelta fatta è certamente conservativa (porta ad una sovrastima delle perdite elettriche).

Una volta ottenuta la distribuzione in frequenza "scalata", la stima delle perdite energetiche su base annua può essere condotta:

- effettuando un calcolo di load flow per ognuna delle classi discrete in cui si è suddivisa la curva di durata, allo scopo in particolare di determinare la potenza persa sui vari componenti dell'impianto (linee e trasformatori);
- moltiplicando la potenza di ciascuna classe per la rispettiva frequenza (nr. ore), e andando poi ad integrare su base annua sommando i valori ottenuti per ciascuna classe.

Una considerevole semplificazione del calcolo può essere ottenuta, senza introdurre nessuna approssimazione, introducendo il concetto di "potenza equivalente ai fini delle perdite", ovvero la potenza media da assegnare come dato di input per il calcolo di load flow per avere l'equivalente effetto in termini di energia persa sulla rete.

Tale potenza "equivalente" può essere determinata con la seguente formula:

$$P_{EQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z P_i^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^z h_i}}$$

Infatti, l'energia persa in linea nella  $i$ -esima simulazione (dove  $i$  rappresenta l' $i$ -esima classe discreta in cui si è suddivisa la curva di durata) è data dal prodotto tra la potenza persa e le ore in cui si verifica quella condizione di produzione:

$$E_{pi} = P_{pi} \cdot h_i = 3R \cdot I_i^2 \cdot h_i$$

L'energia persa in un anno è data da:

$$E_p = \sum_{i=1}^z P_{pi} \cdot h_i = \sum_{i=1}^z 3R \cdot I_i^2 \cdot h_i = 3R \cdot \sum_{i=1}^z I_i^2 \cdot h_i$$

Dove  $z$  è il numero di classi di potenza

Moltiplicando e dividendo per la sommatoria delle ore di ogni classe di produzione si ottiene:

$$E_p = \frac{\sum_{i=1}^z 3R \cdot I_i^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^z h_i} \cdot \sum_{i=1}^z h_i = 3R \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^z I_i^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^z h_i} \right) \cdot \sum_{i=1}^z h_i = 3R \cdot \left( \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z I_i^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^z h_i}} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^z h_i$$

Dove la parte tra parentesi rappresenta la corrente equivalente  $I_{EQ}$  ai fini della potenza persa.

La potenza prodotta equivalente da inserire nel modello è data da:

$$P_{EQ} = 3 \cdot E \cdot I_{EQ} \cdot \cos\varphi = 3 \cdot E \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z I_i^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^z h_i}} \cdot \cos\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (3 \cdot E \cdot I_i \cdot \cos\varphi)^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^z h_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z P_i^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^z h_i}}$$

L'approccio sopra descritto è stato applicato con riferimento ai lay-out in precedenza esposti, ed ha portato a determinare i seguenti valori per le "potenze equivalenti" da assegnare al fine di stimare le perdite di rete:

Le "potenze equivalenti" da applicare al parco eolico sono le seguenti:

ID Lay-out	Costruttore	Modello	Nr. WTG	P WTG [kW]	P parco [MW]	P equiv. [MW]
1	Enercon	E147	7	5000	35	<b>13.57</b>
2	General Electric	GE158	7	5300	37.1	<b>15.63</b>
3	General Electric	GE158	7	5500	38.5	<b>15.85</b>
4	Siemens Gamesa	SG145	7	4500	31.5	<b>13.54</b>
5	Siemens Gamesa	SG145	7	4500	31.5	<b>13.53</b>
6	Siemens Gamesa	SG155 (*)	7	6000	42	<b>16.43</b>
7	Vestas	V150	7	4200	29.4	<b>13.36</b>
8	Vestas	V150	7	6000	42	<b>15.97</b>

(la potenza da assegnare ad ogni WTG si ottiene come:  $P_{WTG} = P_{EQ} / 7$ )

Le simulazioni sono state condotte impostando il commutatore sotto carico del trasformatore MT/AT in modo da mantenere la tensione sul lato MT pari al valore nominale.

Di seguito si riportano in sintesi i risultati ottenuti.

#### **Lay-out 1: modello WTG E147**

	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	198	198	147	128	<b>1172</b>	<b>1,58%</b>
Perc.	30%	29%	17%	13%	11%	100%	

#### **Lay-out 2: modello WTG GE158 5300 kW**

	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	441	254	147	166	<b>1363</b>	<b>1,62%</b>
Perc.	26%	32%	19%	11%	12%	100%	

#### **Lay-out 3: modello WTG GE158 5500 kW**

	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	455	262	147	171	<b>1390</b>	<b>1,64%</b>
Perc.	26%	33%	19%	11%	12%	100%	

#### **Lay-out 4: modello WTG SG145 h107**



	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	317	182	147	118	<b>1118</b>	<b>1,62%</b>
Perc.	32%	28%	16%	13%	11%	100%	

#### **Lay-out 5: modello WTG SG145 h127**

	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	341	196	147	127	<b>1166</b>	<b>1,57%</b>
Perc.	30%	29%	17%	13%	11%	100%	

#### **Lay-out 6: modello WTG SG155**

	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	495	285	147	186	<b>1468</b>	<b>1,70%</b>
Perc.	24%	34%	19%	10%	13%	100%	

#### **Lay-out 7: modello WTG V150 4200kW**

	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	324	187	147	121	<b>1133</b>	<b>1,55%</b>
Perc.	31%	29%	16%	13%	11%	100%	

#### **Lay-out 8: modello WTG V150 6000kW**

	nel ferro TR BT/MT [MWh]	nel rame TR BT/MT [MWh]	nelle linee [MWh]	nel ferro TR MT/AT [MWh]	nel rame TR MT/AT [MWh]	totale [MWh]	totale rispetto alla P50
Valori	355	476	274	147	179	<b>1431</b>	<b>1,70%</b>
Perc.	25%	33%	19%	10%	12%	100%	

In conclusione, analizzando i risultati riportati nelle tabelle precedenti, possiamo osservare come per tutti i lay-out studiati, le perdite di rete risultano piuttosto modeste, e tra queste prevalgono le perdite nel ferro e

nel rame nei trasformatori (sia i 7 di WTG sia quello MT/AT di Cabina Primaria), anche a motivo dello sviluppo piuttosto contenuto delle linee di collegamento (in particolare tra CP e parco eolico).

**Per i lay-out a 42 MW (quelli con potenza più elevata) le perdite elettriche complessive arrivano all' 1.7% della produzione attesa.**