



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessoradu de sos traballos pùblicos
Assessorato dei lavori pubblici

Ente acque della Sardegna



Consorzio Industriale Provinciale • Nuoro

ACCORDO DI COLLABORAZIONE TRA L'ENAS E IL CONSORZIO INDUSTRIALE PROVINCIALE DI NUORO DEL 01/04/2010

**PROGETTO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI
ENERGIA RINNOVABILE SOLARE
NELL'AREA INDUSTRIALE DI OTTANA**
Stralcio del Progetto Definitivo Generale - II° Lotto

Parte A - PARTE GENERALE
Relazioni tecniche e specialistiche

Impianti elettrici e di controllo: relazione tecnica e dimensionamento

Tavola

A 4.3

scala:

Redatto dai Servizi: Studi - Progetti e Costruzioni

- **Progettisti:** Ing. Dina Cadoni
Ing. Bruno Loffredo
Ing. Francesco Serra
- **Geologo:** Dott. Maria Rita Lai
- **Collaborazione ingegneristica:** Ing. Nicoletta Sale - Ing. Francesco Caturano
- **Collaborazione specialistica:** Ing. Giancarlo Pusceddu
Per. Ind. Fabrizio Pedditzi
- **Collaborazioni tecniche:** Geom. Paolo Atzori, Geom. Corrado Balistreri,
Geom. Bruno Caredda, Geom. Osvaldo Carta, Geom. Pierpaolo Corona,
Per.Ind. Salvatore Melis, Geom. Luigi Usala

Il Direttore del Servizio Studi
Ing. Dina Cadoni

Il Direttore Generale
Ing. Franco Ollargiu

**Il Direttore del Servizio Progetti
e Costruzioni**
Ing. Bruno Loffredo

Aggiornamento ottobre 2012

INDICE

	pagina
1. PREMESSA	1
2. IMPOSTAZIONI GENERALI	1
2.1 Collegamento delle centrali alla rete di distribuzione	3
2.2 Impianto fotovoltaico a terra Connessione 2	4
3. OPERE IN PROGETTO CENTRALE FOTOVOLTAICO A TERRA (LOTTO 2)	5
3.1 Impianti elettrici	5
3.2 Cabina elettrica di ricevimento a 15 kV e trasformazione 15/0.4 kV ed impianti elettrici a 15 kV	6
3.3 Dispositivi di sezionamento, celle e cavi a 15 kV	6
3.4 Quadri elettrici (quadri di potenza, comando, segnalazione, ausiliari e controllo) e cavi in bassa tensione	6
3.5 Impianti luce e FM della centrale	7
4. SOLUZIONI SPECIALISTICHE DI DIMENSIONAMENTO GENERALI	8
4.1 Dati di progetto	8
4.2 Utenze in bassa tensione	9
4.3 Struttura di supporto dei moduli fotovoltaici da installarsi su terreno	10
4.4 Moduli fotovoltaici per impianto a terra	10
4.5 Inverter	11
4.6 Trasformatori di potenza	12
4.7 Cabina di consegna e di connessione alla rete di distribuzione	13
4.8 Cabine di trasformazione di campo per impianto fotovoltaico a terra	14
4.9 La linea elettrica di Media tensione	14
4.10 Cavi elettrici in bassa tensione	14

4.11	Connessione e parallelo con la rete MT	16
4.11.1	Quadro normativo e regolatorio	16
4.11.2	Dispositivi generale e di interfaccia	19
4.11.3	Misura dell'energia prodotta e scambiata con la rete	20
4.12	IMPIANTO ANTINTRUSIONE E TVCC	21
4.13	Note su impianto TVCC e antintrusione	28
4.14	Dimensionamento cavedi e tubazioni	28
4.15	IMPIANTO DI TERRA ED EQUIPOTENZIALE - PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI	29
4.15.1	CONDUTTORI DI TERRA	29
4.15.2	CONDUTTORI EQUIPOTENZIALI	30
4.15.3	REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA	30
5.	DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI	36
5.1.1	Calcolo delle correnti di impiego	36
5.1.2	Dimensionamento dei cavi	37
5.1.3	Verifica della caduta di tensione	41
5.1.4	Dimensionamento dei conduttori di neutro	42
5.1.5	Dimensionamento dei conduttori di protezione	43
5.1.6	Calcolo della temperatura dei cavi	44
5.1.7	Identificazione dei conduttori	44
5.1.8	Protezione meccanica dei conduttori	44
5.1.9	Fornitura rete	44
5.1.10	Calcolo dei guasti	51
5.1.11	Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	51
5.1.12	Motori asincroni	55
5.1.13	Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	57
5.1.14	Scelta delle protezioni	59
5.1.15	Verifica di selettività	59
5.1.16	Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture	60
5.1.17	Massima lunghezza protetta	61
5.1.18	Protezione dai contatti diretti	62
5.1.19	Protezione dai contatti indiretti - sistema TN	63
5.1.20	Protezione da sovracorrenti	64
5.1.21	Potenze dispositivi installati in centrale e protezioni	65
5.1.22	Rifasamento	65
5.1.23	Riferimenti normativi	66
5.2	Protezione contro le scariche atmosferiche	67
5.3	Calcoli illuminotecnici	67
5.4	Impianto di illuminazione di sicurezza	70

5.5	Dimensionamento impianto di terra	70
5.5.1	Dati tecnici di progetto	71
5.5.2	Norme di riferimento	71
5.5.3	Dimensionamento con riferimento alle tensioni di contatto e di passo	71
5.5.4	Dimensionamento con riferimento al comportamento termico	71
5.5.5	Dimensionamento con riferimento alla resistenza meccanica e alla corrosione	72
5.5.6	Formule utilizzate per i dimensionamenti dell'impianto di terra	72

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica relativa agli impianti elettrici e di controllo costituisce parte integrante dei documenti di appalto per la realizzazione delle centrali di produzione di energia elettrica da realizzarsi sul lotto di terreno così individuate:

- Lotto II - Impianto solare fotovoltaico a terra potenza 3946,80 kWp.

2. IMPOSTAZIONI GENERALI

Lo studio degli impianti elettrici necessari per la nuova struttura in oggetto è stato fatto considerando le seguenti problematiche e necessità connesse con le particolari caratteristiche dell'impianto in esame:

- grosse concentrazioni di potenza;
- continuità di servizio;
- alti livelli di controllo e supervisione al fine di assicurare le prestazioni di produzione dell'energia elettrica, il suo controllo e l'applicazione di regimi di “profili di carico elettrico”
- necessità di garantire il più alto livello di sicurezza.

Lo studio degli impianti elettrici ha, quindi, privilegiato l'individuazione di dispositivi, apparecchiature, macchinari ed impianti dotati di requisiti e prestazioni tecniche particolari, tese a soddisfare il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- razionalità nella configurazione dell'impianto;
- impiego di moderne tecnologie per il controllo dello stato degli impianti elettrici;
- massima affidabilità e continuità di esercizio;
- possibilità di ampliamento senza ricorrere a gravosi interventi di manutenzione con riduzione al minimo dei tempi di fermo impianto;
- uso di apparecchiature di Bassa tensione e di Media tensione che non necessitino di manutenzione ordinaria per un numero considerevole di anni;
- utilizzo di tecnologie mirate alla sicurezza ed alla affidabilità dell'impianto utilizzando reti di supervisione.

Sono previste le seguenti sorgenti di alimentazione:

- fornitura di energia di tipo normale, cioè quella fornita dall'ente erogatore a 15 kV;
- erogazione di energia verso la rete di distribuzione Enel. Tale energia è prodotta dalla centrale elettriche fotovoltaica a terra.
- erogazione di piccole sorgenti autonome di energia in grado di sopperire in diverso modo, ma comunque efficacemente, alla eventuale mancanza di energia da parte dell'ente erogatore al fine di garantire il mantenimento di servizi ausiliari, controlli e comandi.

Al fine di determinare la migliore soluzione riguardante l'impatto architettonico degli impianti elettrici ed in particolare modo della rete di distribuzione principale ed al fine di ottimizzare il progetto, si è ritenuto opportuno ricercare tra le possibili soluzioni impiantistiche quella che, oltre a minimizzare i costi iniziali, sia in grado di garantire costi minimi di gestione e di manutenzione.

Si è progettato un impianto elettrico di media tensione con distribuzione ad anello "aperto" dell'energia in media tensione al fine di consentire in caso di guasto in media la continuità dell'erogazione dell'energia prodotta verso la rete di distribuzione Enel tramite opportune manovre delle motorizzazioni delle celle di media tensione.

Le apparecchiature di Media tensione sono state scelte avendo cura di garantire un'elevata sicurezza per gli operatori e ricorrendo pertanto a dispositivi dotati di tenuta all'arco interno.

La mancanza di tensione di rete, segnalata tramite opportuni dispositivi di controllo, determina in tempo "zero" l'erogazione di energia tramite i quadri alimentato da batterie. Tale fonte di energia provvede ad erogare energia ai carichi "vitali".

A tale rete sono anche collegate tutte le linee di alimentazione indicate negli schemi allegati.

Per ogni lotto dal quadro elettrico generale si alimenteranno i quadri indicati nello schema a blocchi, schemi unifilari e nei lay-out allegati al progetto.

La gestione dei sistemi di intervento di stacco e di reinserimento delle linee è realizzata nella modalità manuale ed in quella automatica utilizzando il sistema di supervisione degli impianti elettrici e coordinata con il sistema di supervisione generale della centrale.

Come precedentemente accennato lo studio della distribuzione dell'energia elettrica ha perseguito l'obiettivo primario di garantire modularità del sistema ed elevato grado di sicurezza. La scelta dei sistemi di distribuzione dell'energia elettrica nelle singole aree e zone della struttura è stata effettuata considerando le diverse tipologie di utenza e le rispettive esigenze.

In particolare sono presenti le seguenti tipologie di utenze:

- impianti di illuminazione;
- impianti di elaborazione dati;
- impianti speciali;
- impianti forza motrice;
- impianti di sicurezza.

2.1 Collegamento delle centrali alla rete di distribuzione

Ognuno degli impianti dovrà essere connesso in parallelo alla rete di distribuzione pubblica se vengono rispettate le seguenti condizioni (CEI 0-16):

- il parallelo non deve causare perturbazioni alla continuità e qualità del servizio della rete pubblica per preservare il livello del servizio per gli altri utenti connessi;
- l'impianto di produzione non deve connettersi o la connessione in regime di parallelo deve interrompersi immediatamente ed automaticamente in assenza di alimentazione della rete di distribuzione o qualora i valori di tensione e frequenza della rete stessa non siano entro i valori consentiti;
- l'impianto di produzione non deve connettersi o la connessione in regime di parallelo deve interrompersi immediatamente ed automaticamente se il valore di squilibrio della potenza generata da impianti trifase realizzati con generatori monofase non sia compreso entro il valor massimo consentito per gli allacciamenti monofase.

Cio al fine di evitare che (CEI 0-16):

- in caso di mancanza di tensione in rete, l'utente attivo connesso possa alimentare la rete stessa;

- in caso di guasto sulla linea MT, la rete stessa possa essere alimentata dall'impianto fotovoltaico ad essa connesso;
- in caso di richiusura automatica o manuale di interruttori della rete di distribuzione, il generatore PV possa trovarsi in discordanza di fase con la tensione di rete, con possibile danneggiamento del generatore stesso.

2.2 Impianto fotovoltaico a terra Connessione 2

L'impianto funzionerà in parallelo alla rete di distribuzione in media tensione dell'Azienda di distribuzione Enel (cessione totale).

L'impianto nel suo complesso è costituito da insediamento di strutture di sostegno dei pannelli e dalle infrastrutture tecniche necessarie alla conversione DC/AC della potenza generata dall'impianto e dalla sua consegna al sistema di rete nazionale.

L'ottimizzazione dell'efficienza di captazione energetica è realizzata mediante orientamento statico dei pannelli, montati su pali infissi direttamente nel suolo.

L'impianto richiede una nulla presenza di personale di presidio, e personale dedicato a visite saltuarie per il diserbo e/o per ispezioni allo stato di integrità delle apparecchiature.

L'impianto è di tipo grid-connected ed è collegato alla rete elettrica con una connessione "trifase in media tensione".

L'impianto è così costituito (dal punto di vista elettrica) sinteticamente da:

- Generatori di energia elettrica utilizzando pannelli fotovoltaici montati a terra per una potenza complessiva di 3946,80 kWp suddivisa in cinque sottocampi distinti della potenza di 789,36 kWp.
- Gruppi di trasformazione 400 V / 15000 V.
- Celle di media tensione
- Quadri di bassa tensione
- Sistema di supervisione e di telecontrollo.
- Inverter
- Quadri di campo
- Quadri di parallelo

3. OPERE IN PROGETTO CENTRALE FOTOVOLTAICO A TERRA (LOTTO 2)

3.1 Impianti elettrici

L'impianti è costituito (dal punto di vista elettrica) sinteticamente da:

- N.1 cabina elettrica di ricevimento e di trasformazione a 15 kV/400 V ubicata in prossimità della strada comunale Noraguguma Ottana distante dalla prima cabina di trasformazione dedicata ai campi fotovoltaici circa 500 m ;
- cabine elettriche di Trasformazione 15 kV /400 V; (n. 5 cabine per il lotto 2,).
- impianti elettrici a 15 kV;
- trasformatori 15/0.4 kV;
- dispositivi di sezionamento, celle e cavi a 15 kV;
- quadri elettrici (potenza, comando, misure, protezioni, segnalazione, ausiliari e controllo, eccetera);
- batterie di rifasamento;
- impianti luce e FM della cabina;
- impianto di illuminazione delle aree esterne;
- impianto di illuminazione di emergenza interna alla cabina;
- linee elettriche di media e bassa tensione;
- sistemi di supervisione di controllo che successivamente sarà connessa al sistema del comparto 1;
- cavedi e canalizzazioni;
- impianti di terra;
- accessori (segnaletica antinfortunistica, estintori, ...);
- Generatori di energia elettrica utilizzando pannelli fotovoltaici montati a terra .
- Quadri c.c. installati sul campo fotovoltaico.
- Quadri di parallelo in cabina.

Nel lotto numero 2 saranno installati N. 17160 moduli fotovoltaici di tipo monocristallino da 230 Wp per una potenza di complessiva del campo fotovoltaico pari a 3946,8 kWp.

3.2 Cabina elettrica di ricevimento a 15 kV e trasformazione 15/0.4 kV ed impianti elettrici a 15 kV

La cabina elettrica di ricevimento è composta di tre locali, uno ad uso esclusivo dell'ente distributore, il secondo destinato al contenimento delle apparecchiature di misura ed accessibile anche all'utente ed il terzo destinato al contenimento delle apparecchiature e dispositivi al servizio all'utente.

I locali hanno dimensioni e configurazione tale da contenere tutte le altre apparecchiature di pertinenza di ENEL DISTRIBUZIONE.

I locali sono conformi alle caratteristiche indicate nel documento ENEL ed agli accordi specifici elaborati con ENEL DISTRIBUZIONE.

E' oggetto del presente appalto il solo locale utente mentre il locale misura e il locale ENEL è oggetto di altro appalto.

Le cabine elettriche di trasformazione sono composte di un locale ad uso esclusivo dell'utente .

Tale cabina è destinata al contenimento delle apparecchiature e dispositivi al servizio all'utente.

Per le apparecchiature di MT sono previste celle con isolamento in SF₆ e interruttore sottovuoto, trasformatori in resina, cavi di media tensione di tipo RG7H1R.

In particolare i quadri di MT saranno del tipo protetto con involucro metallico a prova d'arco interno, prive di manutenzione per tutta la durata della loro vita, adeguati alla tensione e potenza richiesta.

I quadri MT dovranno attuare gli schemi unifilari allegati al progetto.

3.3 Dispositivi di sezionamento, celle e cavi a 15 kV

I dispositivi a 15 kV da installare comprenderanno le celle dedicate al trasformatore 15 kV /0,4 kV al servizio del gruppo di generazione e comprenderanno, oltre alle apparecchiature del montante di gruppo e le protezioni di disaccoppiamento dalla rete, anche celle dedicate ai TA e ai TV.

3.4 Quadri elettrici (quadri di potenza, comando, segnalazione, ausiliari e controllo) e cavi in bassa tensione

Il sistema di quadri ed armadi di bassa tensione e di controllo e regolazione e supervisione comprende i seguenti principali quadri o armadi elettrici:

Lotto 2

- QPAC-AUx Quadro power center cabina di ricevimento allaccio
- QPAC-FV1.1 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.2 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.3 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.4 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.5 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPCC1-FV1.1 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.2 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.4 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.3 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.5 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.1 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.2 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.4 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.3 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.5 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- N. 120 QUADRI DI SOTTOCAMPO FV

I collegamenti elettrici saranno realizzati mediante linee radiali fra quadri e utenze mediante linee in cavo posate all'interno di condutture e vie cavi destinate esclusivamente alla distribuzione in BT.

3.5 Impianti luce e FM della centrale

L'impianto di illuminazione della cabina sarà realizzato utilizzando corpi illuminanti fluorescenti stagni da 36 W e proiettori per l'illuminazione esterna da 250 W ubicati all'esterno a parete sulla cabina.

Nell'area esterna dovranno essere installati anche corpi illuminanti di tipo stradale su palo da 100 W.

L'illuminazione di emergenza sarà realizzata mediante kit inverter più batterie localizzati nei corpi illuminanti già previsti per l'illuminazione generale.

L'impianto prese di FM sarà realizzato con apparecchiature di tipo industriale CE-E17 aventi grado di protezione IP67.

4. SOLUZIONI SPECIALISTICHE DI DIMENSIONAMENTO GENERALI

Nel seguito si illustrano le soluzioni specialistiche adottate nel presente progetto e le modalità di risoluzione dei problemi adottate e da adottare nel progetto esecutivo.

4.1 Dati di progetto

- Tensione di alimentazione della rete MT ENEL DISTRIBUZIONE: 15000 V
- Tensione di alimentazione della rete BT ENEL DISTRIBUZIONE: 400/230 V
- Tensione nominale gruppi di generazione: 400 V
- Tensione di riferimento per l'isolamento delle apparecchiature MT 24 KV
- Potenza contrattuale vendita energia in MT Lotto 2 (Impianto fotovoltaico a terra 3946,80 kWp)
- Potenza contrattuale acquisto in MT: 20 kW
- Frequenza: 50 Hz
- Massima caduta di tensione sull'utilizzatore più sfavorito: 4 %
- Massima caduta di tensione sul pannello FV più sfavorito: 2 %

Tensione di alimentazione utenze elettriche:

- Per motori elettrici trifase: 400 Vca $\pm 5\%$ - 50 Hz;
- Per motori elettrici monofase: 230 Vca $\pm 5\%$ - 50 Hz ;
- Per apparecchiature ed illuminazione: 230 Vca $\pm 5\%$;
- Per circuiti di comandi: 24 Vca ;
- Per apparecchiature e circuiti di comandi e segnalazioni: 24 Vca .
- Tensione di alimentazione utenze in bassa tensione: 400/230 Volt
- Stato del neutro: a terra tramite impedenza
- Corrente di cortocircuito trifase minima 12,5 KA

I valori di guasto saranno comunicati dall'ENEL dovranno essere verificati dall'impresa installatrice al momento dell'effettiva installazione delle protezioni di media tensione e degli impianti delle centrali e conseguentemente dovranno essere tarate e dimensionate le protezioni ed apparecchiature.

I valori sopra indicati dovranno essere verificati dall'impresa installatrice al momento dell'effettiva installazione del gruppo di e conseguentemente dovranno essere tarate e dimensionate le protezioni ed apparecchiature.

Il progetto della centrale prevede l'installazione di gruppi di generazione alimentato a tensione 400 V.

Ogni sistema di generazione sarà collegato alla rete in media tensione a 15 kV di ENEL DISTRIBUZIONE mediante trasformatore elevatore 0,4/15 kV.

I calcoli di dimensionamento sono stati verificati sia nell'ipotesi di sistema di distribuzione di sistema di tipo TN-S che di sistema di tipo IT (alimentazione dal Gruppo di generazione).

Gli impianti elettrici relativi all'intervento in esame sono stati progettati a partire dal punto di consegna ENEL.

4.2 Utenze in bassa tensione

A valle del trasformatore 15/0,4 kV si alimenteranno le utenze indicate negli schemi unifilari allegati al progetto mediante linee in cavo e distribuzione radiale semplice dal quadro generale power center.

Le caratteristiche di ogni singolo quadro e delle utenze effettivamente collegate ad ogni quadro sono indicate negli schemi unifilari.

Tutta la distribuzione dell'energia in bassa tensione è realizzata mediante un sistema di tipo radiale semplice.

I collegamenti elettrici principali fra il quadro power center e i quadri elettrici o armadi o sezioni di quadro di primo livello saranno realizzati mediante linee in cavo posate all'interno di cunicoli appositamente predisposti ed indicati negli elaborati allegati.

I cavi appartenenti a sistema elettrici differenti (BT, MT, Segnali) saranno posati in cunicoli e cavedi differenti comunque separati per rispettare gli specifici livelli di isolamento e per garantire una semplice ed immediata identificazione di cavi bT, cavi MT e cavi di segnale.

4.3 Struttura di supporto dei moduli fotovoltaici da installarsi su terreno

La struttura di sostegno dei moduli sarà costituita da una struttura in acciaio zincato a caldo autoportante inclinata di 30° , realizzata con elementi tubolari aventi diametro pari a 60mm x 2mm di spessore, su cui saranno fissati i pannelli mediante morsetti intermedi e terminali realizzati in acciaio inox AISI304.

L'ancoraggio a terra della struttura sarà effettuata con micropali dotati di compensazione telescopica dei dislivelli e taratura verticale degli steli. Le stringhe saranno allineate parallelamente al loro asse maggiore, mantenendo tra di esse un adeguato interasse al fine di evitare ombreggiamenti reciproci alle ore 12 del solstizio invernale nonché consentire l'accesso per le operazioni di montaggio e manutenzione dell'impianto.

I moduli fotovoltaici e la struttura di sostegno hanno prestazioni meccaniche idonee a sopportare i carichi statici, da neve e vento secondo la normativa vigente.

Le dimensioni costruttive della struttura di sostegno saranno tali da assicurare una quota minima del modulo rispetto al piano di campagna superiore al valore di 0,5m, per agevolare lo sfalcio meccanico di eventuale vegetazione.

4.4 Moduli fotovoltaici per impianto a terra

I pannelli fotovoltaici, scelti per la realizzazione dell'impianto, sono del tipo Policristallino, da 230Wp, dotati di Junction Box installata sul lato posteriore con le due polarità sui lati contrapposti e con cavetti di connessione muniti di connettori ad innesto rapido, al fine di garantire la massima sicurezza per gli operatori e rapidità in fase di installazione.

I componenti installati risulteranno conformi alle normative tecniche di riferimento già riportate. I moduli scelti saranno in classe II di isolamento.

I moduli fotovoltaici degli impianti di cui al Titolo II dovranno essere certificati in accordo alla norma CEI EN 61215 se realizzati con silicio cristallino, con la norma CEI EN 61646. Potenza 230 Wp. 20 anni di garanzia del prodotto da difetti di materiali e lavorazione decadimento costante dello 0,5% annuo*, 25 anni di garanzia del rendimento non inferiore al 80% e 12 anni di garanzia del rendimento non inferiore al 90%.

Il generatore è composto nel complesso da n° 17160 moduli del tipo Silicio policristallino.

Inoltre per l' impianto proposto ricadente nel Titolo saranno trasmessi al GSE, la seguente ulteriore documentazione:

- certificato rilasciato dal produttore dei moduli fotovoltaici, attestante l'adesione dello stesso a un sistema o consorzio europeo che garantisca, a cura del medesimo produttore, il riciclo dei moduli fotovoltaici utilizzati al termine di vita utile ;
- certificato rilasciato dal produttore dei moduli fotovoltaici, attestante che l'azienda produttrice dei moduli possiede le certificazioni ISO 9001:2008 (Sistema di gestione della qualità), OHSAS 18001 (Sistema di gestione della salute e sicurezza del lavoro) e ISO 14000 (Sistema di gestione ambientale)
- certificato di ispezione di fabbrica rilasciato da ente terzo notificato a livello europeo o nazionale (membro della IECEE nell'ambito fotovoltaico).

4.5 Inverter

L'unità di conversione di potenza con uscita trifase per funzionamento in parallelo alla rete, 3-400 V , 50 Hz. Alla tensione di uscita trifase per funzionamento in parallelo dovrà essere allacciato il trasformatore elevatore 0,4 kV / 15 kV (nel caso in progetto, ad eventuali variazioni della tensione di uscita dell'inverter deve corrispondere un adeguato trasformatore).

Le esigenze da soddisfare al fine di realizzare un impianto a regola d'arte sono:

- adeguata suddivisione dei pannelli FV in stringhe ed in campi fotovoltaici al fine di garantire una equilibrata ripartizione su più inverter;
- dimensionamento delle singole stringhe e dei campi FV in modo da garantire il funzionamento sempre all'interno del range di MPPT dell'inverter;
- ottenere un sufficiente equilibrio tra i vari campi fotovoltaici;
- raggiungere un sufficiente grado di sfruttamento della potenzialità dell'inverter

La composizione dei campi fotovoltaici, è stata progettata al fine di garantire nelle varie condizioni di funzionamento, una tensione del sistema c.c., perfettamente all'interno del range del MPPT degli inverter; per ottenere tale risultato, si è previsto il cablaggio dei campi in stringhe da 22 pannelli FV in serie.

La configurazione di impianto dovrà essere ottimale, infatti considerando le esperienze fin qui condotte sugli impianti fotovoltaici, e riportate sulla bibliografia tecnica disponibile, il range ottimale per l'accoppiamento tra generatore FV ed inverter, deve essere tale per cui il rapporto tra potenza massima di ingresso dell'inverter e potenza di picco del generatore FV, risulti compreso nell'intervallo $90 \div 120\%$.

Gli inverter utilizzati dovranno tener conto delle esigenze della rete elettrica, prestando i seguenti servizi e protezioni:

- mantenere insensibilità a rapidi abbassamenti di tensione;
- consentire la disconnessione dalla rete a seguito di un comando da remoto;
- aumentare la selettività delle protezioni, al fine di evitare fenomeni di disconnessione intempestiva dell'impianto fotovoltaico;
- consentire l'erogazione o l'assorbimento di energia reattiva;
- limitare la potenza immessa in rete (per ridurre le variazioni di tensione della rete);
- evitare la possibilità che gli inverter possano alimentare i carichi elettrici della rete in assenza di tensione sulla cabina della rete.

4.6 Trasformatori di potenza

Nella scelta dei trasformatori di potenza è stato preferito l'uso del tipo a secco inglobato in resina per una serie di vantaggi che rispondono in maniera adeguata agli obiettivi ed alle esigenze proprie della progettazione in oggetto. Tali vantaggi si riassumono nei seguenti punti:

- totale assenza di liquidi e quindi delle problematiche legate alla loro raccolta;
- ampia possibilità di impiego legata alla sicurezza intrinseca verso l'incendio;
- drastica riduzione degli interventi di manutenzione;
- ottime prestazioni;
- economia di esercizio;
- massima affidabilità di funzionamento.

Tutti i trasformatori sono stati perciò scelti del tipo a secco con isolamento in resina costruiti in conformità alle seguenti Norme:

- IEC 726 / CEI 14-8;

- CENELEC HD 464 e HD 528;
- DIN 42 523.

La classe dei trasformatori non dovrà essere inferiore a:

- E2 (classe ambientale);
- C2 (classe climatica);
- F1 (classe di comportamento al fuoco).

Le taglie dei trasformatori sono le seguenti:

- 1000 kVA 15kV/0,4 kV dedicato al campo fotovoltaico (lotto II)
- 160 kVA 15kV/0,4 kV dedicato agli ausiliari nella cabina di connessione alla rete di distribuzione (lotto II)
- 25 kVA 400 V/400 V dedicato agli ausiliari nella cabina di campo (N.5)

Tensione di corto circuito dei trasformatori 6%.

4.7 Cabina di consegna e di connessione alla rete di distribuzione

E' prevista la realizzazione di una cabina che consentirà l'allaccio alla rete di distribuzione dell'Enel.

L'immissione dell'energia prodotta avverrà nella cabina di consegna Energia, suddivisa in locale ricezione MT a disposizione dell'Enel, locale misure e locale utenti.

All'interno del locale utente saranno alloggiati (vedi anche schema unifilare):

- n.1 quadro generale MT contenente:
 - * i TA e TV dedicati al contatore di misura dell'energia prodotta;
 - * l'interruttore (dispositivo) generale (DG);
 - * la protezione generale (PG) con funzione 50 51 50N 51N 67 N azionante l'interruttore generale (DG) dotato di bobina di minima tensione;
 - * l'interruttore (dispositivo) interfaccia (DDI);
 - * la protezione interfaccia (PI) operante sul lato MT ed agente sulla bobina di minima tensione DG quale comando di ricalzo;
- n.1 gruppo di assoluta continuità (UPS) per l'alimentazione degli ausiliari ed in particolare dei sistemi di protezione generale e dei sistemi di protezione d'interfaccia.

4.8 Cabine di trasformazione di campo per impianto fotovoltaico a terra

Gli inverter (quattro per ogni cabina) saranno ubicati all'interno della cabina di dimensioni adeguate e dotata di idonee aperture di accesso.

L'energia prodotta dai sistemi di conversione cc/ca (inverter) sarà immessa nel lato BT di un trasformatore 15/0,4 kV (con funzione di isolamento), attraverso i dispositivi di generatore (DDG) .

Per ognuna delle cabine sarà prevista la realizzazione di un impianto di ventilazione naturale che utilizza un sistema di griglie posizionate nelle pareti in due differenti livelli e un impianto di estrazione adeguato allo smaltimento dei carichi termici introdotti nel locale dalle apparecchiature che entrerà in funzione nel periodo di massima temperatura estiva.

4.9 La linea elettrica di Media tensione

L'elettrodotto sarà realizzato con percorso interamente interrato.

I cavi saranno del tipo RG7H1R

4.10 Cavi elettrici in bassa tensione

L'elettrodotto sarà realizzato con percorso interamente interrato.

I cavi utilizzati in un impianto fotovoltaico devono essere in grado di sopportare, per la durata di vita dell'impianto stesso (20-25 anni), severe condizioni ambientali in termini di elevata temperatura, precipitazioni atmosferiche e radiazioni ultraviolette.

I cavi devono avere una tensione nominale adeguata a quella dell'impianto. In corrente continua, la tensione d'impianto non deve superare del 50% la tensione nominale dei cavi che si riferisce al loro impiego in c.a. (in c.a. la tensione d'impianto non deve superare la tensione nominale dei cavi).

Le condutture sul lato c.c. dell'impianto devono avere un isolamento doppio o rinforzato (classe II) in modo da ridurre il rischio di guasti a terra ed i cortocircuiti (CEI 64-8).

I cavi sul lato c.c. si distinguono in:

- cavi solari (o di stringa) che collegano tra loro i moduli e la stringa al primo quadro di sottocampo o direttamente all'inverter;
- cavi non solari che sono utilizzati a valle del primo quadro.

I cavi che collegano tra loro i moduli sono installati nella parte posteriore dei moduli stessi, laddove la temperatura può raggiungere i 70-80°C. Tali cavi devono quindi essere in grado di sopportare elevate temperature e resistere ai raggi ultravioletti, se installati a vista. Pertanto si usano cavi particolari, usualmente unipolari con isolamento e guaina in gomma, tensione nominale 0.6/1kV, con temperatura massima di funzionamento non inferiore a 90°C e con una elevata resistenza ai raggi UV.

I cavi non solari posti a valle del primo quadro, si trovano ad una temperatura ambiente non superiore a 30-40°C, dato che sono lontano dai moduli.

Tali cavi non hanno resistenza contro i raggi UV, pertanto, se posati all'esterno, devono essere protetti dalla radiazione solare in tubi o canali ed essere comunque con guaina per uso esterno. Se invece sono posati all'interno di edifici valgono le regole usuali degli impianti elettrici.

I collegamenti tra i moduli, le stringhe e le cassette di parallelo, saranno realizzati attraverso l'utilizzo di cavi solari unipolari tipo FG7M2 (PV1500VCC) con tensione di isolamento 0,9/1,5 kV in corrente continua.

Inoltre nei tratti in esterno, i conduttori saranno protetti attraverso la posa all'interno di specifica canalizzazione di protezione.

I cavi come detto saranno unipolari per incrementare la sicurezza contro eventuali cortocircuiti e rendere più agevole la posa.

Il collegamento tra i moduli in serie per la realizzazione delle stringhe, avverrà con l'utilizzo di sistemi di collegamento rapido a spine.

I conduttori di stringa andranno ad attestarsi alle relative quadri di parallelo da cui partono le dorsali in corrente continua verso gli inverter centralizzati posizionati nella cabina MT/BT della sezione d'impianto corrispondente.

I cavidotti utilizzati per la distribuzione, del tipo a doppia parete, sono posati ad una profondità minima di 60cm e comunque come riportato negli elaborati allegati; prima del riempimento dello scavo, si provvederà a stendere un nastro segnalatore di sicurezza.

I cavi di collegamento in corrente alternata saranno del tipo FG7

3.1.6 Distribuzione elettrica

Nelle centrali i collegamenti dei dispositivi e delle apparecchiature in bassa tensione dovranno essere realizzati mediante cavi elettrici. In particolare si avranno:

- Cavi di energia in Bassa tensione a 400 / 230 V
- Cavi per il controllo, segnalazione e comando
- Cavi in fibra ottica
- Cavi telefonici
- Cavi per rete dati e bus

4.11 Connessione e parallelo con la rete MT

4.11.1 Quadro normativo e regolatorio

La connessione alla rete di Enel Distribuzione dovrà rispettare il quadro normativo e regolatorio determinato in particolar modo dalla pubblicazione ed entrata in vigore di:

- Norma CEI 0-16 (allegato A alla Delibera ARG/elt 33/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas) "Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia elettrica";
- Delibera ARG/elt 33/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 33/08)
- Delibera ARG/elt 119/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 119/08)
- Delibera ARG/elt 99/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 99/08), recante in Allegato A il "Testo integrato connessioni attive" (TICA);
- Delibera ARG/elt 179/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 179/08).

Di seguito sono riportati i principali riferimenti normativi richiamati nel testo o comunque di supporto:

- Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79/99: "Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica"

- Decreto Legislativo 29 dicembre 2003 n. 387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'energia"
- Decreto MiSE 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 281 del 19 dicembre 2005: "Condizioni per l'erogazione del servizio di connessione alle reti elettriche con tensione nominale superiore ad 1 kV i cui gestori hanno obbligo di connessione di terzi"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 168 del 30 dicembre 2003: "Condizioni per l'erogazione del pubblico servizio di dispacciamento dell'energia elettrica sul territorio nazionale e per l'approvvigionamento delle relative risorse su base di merito economico, ai sensi degli articoli 3 e 5 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79" e relativo Allegato A modificato con ultima deliberazione n.20/06
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 39 del 28 febbraio 2001: "Approvazione delle regole tecniche adottate dal Gestore della rete di trasmissione nazionale ai sensi dell'articolo 3, comma 6, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 333 del 21 dicembre 2007: "Testo integrato della regolazione della qualità dei servizi di distribuzione, misura e vendita dell'energia elettrica" - TIQE
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 348 del 29 dicembre 2007: "Testo integrato delle disposizioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas per l'erogazione dei servizi di trasmissione, distribuzione e misura dell'energia elettrica per il periodo di regolazione 2008-2011 e disposizioni in materia di condizioni economiche per l'erogazione del servizio di connessione" e relativi allegati: Allegato A, di seguito TIT, Allegato B, di seguito TIC
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 99/08 del 23 luglio 2008: "Testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica (Testo integrato delle connessioni attive - TICA)"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 179/08 del 11 dicembre 2008: "Modifiche e integrazioni alle deliberazioni dell'Autorità per

l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 e n. 281/05 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica”

- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 125/10 del 6 agosto 2010: “Modifiche e integrazioni alla deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione (TICA)”
- Norma CEI 0-16 “Regole Tecniche di Connessione (RTC) per Utenti attivi ed Utenti passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica”
- Norma CEI 0-14 “Guida all'applicazione del DPR 462/01 relativa alla semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra degli impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi”
- Norma CEI 11-1 “Impianti elettrici con tensione superiore ad 1 kV in corrente alternata”
- Norma CEI 11-4 “Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne”
- Norma CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica - Linee in cavo”
- Norma CEI 11-32 “Impianti di produzione di energia elettrica connessi a sistemi di III categoria”
- Norma CEI 11-46 “Strutture sotterranee polifunzionali per la coesistenza di servizi a rete diversi - Progettazione, costruzione, gestione ed utilizzo - Criteri generali di posa”
- Norma CEI 11-47 “Impianti tecnologici sotterranei - Criteri generali di posa”
- Norma CEI 11-61 “Guida all'inserimento ambientale delle linee aeree esterne e delle stazioni elettriche”
- Norma CEI 11-62 “Stazioni del cliente finale allacciate a reti di terza categoria”
- Norma CEI 11-63 “Cabine Primarie”
- Norma CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua”

- Norma CEI 103-6 “Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto”
- Norma CEI EN 50086 2-4 “Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche Parte 2-4: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati”
- DK 4281 “Impianti di terra delle cabine primarie”
- DK 4452: “Criteri di taratura degli impianti di distribuzione MT ed esempi tipici di coordinamento delle protezioni di rete e di utenza”
- DK 4460: “Corrente di guasto a terra nelle reti MT”
- DK 4461: “Impianti di terra delle cabine secondarie”
- Decreto Legislativo 9 Aprile 2008 n. 81 - “Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”
- D.P.R. 22 Ottobre 2001 n. 462 “Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi”
- Decreto Legislativo 1 agosto 2003 n. 259 “Codice delle comunicazioni elettroniche”
- D.M. 12 Settembre 1959 “Attribuzione dei compiti e determinazione delle modalità e delle documentazioni relative all'esercizio delle verifiche e dei controlli previste dalle norme di prevenzione degli infortuni sul lavoro”
- D.M. 25 settembre 1992 “Approvazione della convenzione-tipo prevista dall'art. 22 della legge 9 gennaio 1991, n. 9, recante norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali”.
- Qualsiasi norma e D.M. emessa nel periodo di esecuzione delle opere relativamente a connessione, gestione energia ed allaccio.

4.11.2 Dispositivi generale e di interfaccia

Il dispositivo generale è costituito da (CEI 0 -16):

- un interruttore tripolare in esecuzione estraibile con sganciatore di apertura; Per il comando di apertura del dispositivo generale per azione della protezione generale deve essere impiegata una bobina a mancanza di tensione, poiché, qualora per qualsiasi motivo venga a mancare la tensione di alimentazione della protezione generale, si verifica l'apertura del dispositivo generale anche in assenza di comando proveniente dalla protezione generale.

La protezione generale comprende (CEI 0-16):

- un relè di massima corrente di fase a tre soglie d'intervento, una a tempo dipendente inverso $I>$ (soglia sovraccarico 51), due a tempo indipendente $I>>$ (soglia con ritardo intenzionale 51) e $I>>>$ (soglia istantanea 50);
- un relè di massima corrente omopolare di terra 51N a due soglie d'intervento a tempo indipendente $I_{0>}$ e $I_{0>>}$, una per i guasti monofase a terra ed una per i guasti doppi monofase a terra, un relè di protezione direzionale di terra a due soglie 67N.1 e 67N.24, una per la selezione dei guasti interni in caso di reti funzionanti a neutro compensato ed una in caso di neutro isolato, in aggiunta al relè di massima corrente omopolare ad una soglia per i guasti doppi monofase a terra.

Il dispositivo d'interfaccia è posto nel lato media tensione.

4.11.3 Misura dell'energia prodotta e scambiata con la rete

Negli impianti connesso alla rete pubblica è necessaria l'inserzione di sistemi di misura al fine di rilevare:

- l'energia elettrica prelevata dalla rete;
- l'energia elettrica immessa in rete;
- l'energia prodotta dal generatore.

La misura dell'energia scambiata con la rete è in genere effettuata da un unico contatore M2 elettronico bidirezionale ed il sistema di misura deve essere di tipo orario. La misura dell'energia prodotta viene effettuata da un contatore M1 che deve essere in grado di rilevare l'energia prodotta su base oraria ed essere dotato di un dispositivo per l'interrogazione ed acquisizione per via telematica delle misure da parte del gestore di rete.

4.12 IMPIANTO ANTINTRUSIONE E TVCC

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di videosorveglianza per il controllo del territorio occupato dai sistemi di generazione di energia elettrica previsti con il presente progetto.

Il sistema si occuperà di monitorare, sorvegliare, registrare, visualizzare 24h/24h il transito e gli accessi ai siti garantendo molteplici finalità: protezione civile, controllo del traffico, reati e violazioni del codice penale, vigilanza ambientale.

L'impianto deve poter gestire l'interazione con sistemi d'allarme e deve avere un'architettura modulare, quindi poter essere modificato e potenziato in futuro.

L'apparato principale deve essere installato presso la sala supervisione e dovrà comunicare e gestire telecamere e/o eventuali sistemi client da locale o da remoto, sfruttando i collegamenti via cavo (rete LAN o fibra ottica) o wireless (ponti radio o reti wi-fi).

Il sistema prevede telecamere brandeggiabili (Speed Dome), da esterno e, oppure ad ottica fissa, da interno o da esterno, il tutto comprensivo di staffe e/o custodie per la perfetta posa in opera.

Tutte le telecamere dovranno essere:

- a colori;
- ad alta risoluzione o megapixel;
- in grado di gestire la modalità Day&Night e di funzionare in casi di abbagliamento notturno, scarsa illuminazione o controllo luce solare;
- in grado di fornire un esauriente zoom ottico e digitale.

La fornitura deve rispondere alle seguenti caratteristiche:

- facile espandibilità dell'impianto in caso di necessità;
- costante mantenimento della qualità video in conseguenza anche al variare delle condizioni ambientali ed atmosferiche.
-

Il sistema che viene richiesto si articola nel seguente modo:

- una serie di periferiche costituite da telecamere che dovranno mantenere la qualità del segnale video costante al variare delle condizioni atmosferiche, ambientali e nel tempo, senza necessità di ulteriori manutenzioni;
- un centro operativo di controllo e supervisione, che sarà il punto di convergenza e di gestione di tutti i dati raccolti e trasmessi dalle stazioni periferiche.

La sala di controllo, dovrà essere dotata di apparati per il controllo del sistema, mentre il server dati sarà collocato in sicurezza.

Tutti i collegamenti dovranno essere configurati, dalla ditta aggiudicataria, con apparati certificati a norma, che garantiscano l'invio di immagini/dati in tempo reale.

Il software di gestione dovrà essere dotato di interfaccia intuitiva ed affidabile, che semplifichi l'operatività del personale, a tutto vantaggio della produttività. Le procedure di registrazione e automazione garantiranno le prestazioni del sistema ad un livello ottimale anche in assenza del personale di controllo.

Il sistema di controllo televisivo a circuito chiuso (TVCC) deve avere le seguenti caratteristiche:

Riferimenti normativi

CEI EN 50132 - 7 (CEI 79 - 10)

Un sistema TVCC è costituito normalmente dai seguenti elementi:

- apparati di ripresa;
- apparati di comunicazione;
- apparati di videoregistrazione.

1. apparati di ripresa

Gli apparati di ripresa devono essere costituiti da telecamere allo stato solido (CCD) tipo colore; potranno essere ad alta risoluzione o con risoluzione standard, ad alta o media sensibilità e l'alimentazione dovrà essere in bassissima tensione (12 o 24 Vcc).

Le unità di ripresa dovranno essere scelte in base alle condizioni di illuminamento delle scene da riprendere, alle esigenze di risoluzione ottica desiderate ed avere le caratteristiche sotto riportate:

- Telecamera IP 2 megapixel con IR integrati da esterno
Telecamera IP Speed-Dome Mod. TLC7243C da esterno

2. apparati di comunicazione

Gli apparati di comunicazione saranno:

- in fibra ottica;

3. apparati di videoregistrazione

L'apparecchiatura di videoregistrazione digitale dovrà rispondere ai seguenti requisiti minimi:

Hardware:

- apparato contenuto in robusto case in alluminio di dimensioni 430x160x450, peso c.a 9 kg; oppure rack 19" 4U (robusto châssis industriale -CE- 440x180x450 mm);
- tensione di alimentazione a 220V CA 50/60Hz e temperatura di esercizio da 0 a 40°C;
- controllo temperature Delta T. controller su HDD;
- microprocessore socket 775 pin processor Dual Core 2GHz o superiore;
- smart raid controller mirror s-ata mode interface (opzionale);
- risoluzione video minima 320x240 pixel, massima 2560x1920 pixel;
- sviluppato su piattaforma Linux;
- automatic recovery disaster;
- sistema WatchDog hardware;
- fino a 35 ingressi video Ip o analogici (max 16 composito);
- 1 Uscita video VGA interna;
- slot espansioni per schede acquisizione immagini analogiche;
- possibilità di montaggio fino a quattro hard disk;
- interfaccia network ethernet 1000 di serie.

Software:

- visualizzazione e gestione dell'intero sistema da infiniti client tramite Browser Web (telecamere live, ricerca filmati, ecc.);
- invio delle immagini da telecamere in allarme ad un P.C. collegato in rete su protocollo IP per una immediata visione degli eventi sospetti e possibilità di doppia registrazione, una locale e una remota;
- visualizzazione mappe tramite il Browser Web (sistema SCADA personalizzabile);
- gestione (visualizzazione e registrazione) di fotogrammi ad alta definizione (CIF, 4CIF, QVGA, VGA, XVGA, Megapixel, Multi-Megapixel);

- gestione di tutte le telecamere analogiche che offre il mercato (utilizzo di schede analogiche opzionali o videoserver di rete IP);
- gestione di telecamere IP multimarca;
- segnalazione acustica e visiva locale e remota in caso di perdita di segnale video;
- visione in quadro di tutte le telecamere contemporaneamente, a pieno schermo, allarmate e in ciclico;
- registrazione con funzioni di sovrimpressione dei dati telecamera ,giorno, ore, minuti, ecc;
- oscuramento delle telecamere per una maggiore privacy del sistema per quelle zone che non devono essere soggette o accessibili al monitoraggio da parte delle utenze non autorizzate;
- gestione facile ed intuitiva del sistema in lingua italiana;
- rispetto delle normative vigenti sulla privacy;
- riciclo automatico dello spazio occupato su Hard Disk pieno con metodologia F.I.F.O (First Input First Output);
- possibilità di definire i giorni di archiviazione (da 1 ad esaurimento disco);
- software di motion detect regolabile per sensibilità per ogni telecamera; possibilità di rivisitare filmati contemporaneamente alla registrazione degli stessi;
- sincronizzazione oraria via Network Time Server;
- conteggio oggetti: permette di contare oggetti (persone, automezzi ecc..) che entrano o escono dalla visualizzazione di una o più aree per telecamera;
- gestione di utenti e password illimitata con identificativo e password multilivello;
- gestione degli utenti totalmente programmabile alle autorizzazioni di gestione e permessi sia locali che remote, con permessi differenti a secondo del tipo di connessione;
- layout definibili dall'utente per visualizzazione multipla;
- zoom sulle singole telecamere;
- gestione telecamere Speed Dome (PTZ): cicli di preset, zoom, pan, tilt e interazione con l'intero sistema;
- gestione gruppi di telecamere;
- funzionalità visualizzazione ciclica per singole telecamere o gruppi;
- attivazione e disattivazione visione delle telecamere;
- collegamento diretto alla pagina web della telecamera;

- finestra con log eventi per la visualizzazione di allarmi generali;
- interfaccia facile ed intuitiva per l'esportazione di singoli eventi;
- interfaccia grafica per gestione ingressi e uscite digitali, da locale e da remoto;
- visualizzazione ciclica su monitor esterno;
- completa teleassistenza da remoto;
- compressione in registrazione: MJpeg.

Caratteristiche per poter rispettare la normativa sulla Privacy:

- possibilità di configurare i profili utenti (secondo i ruoli stabiliti dal titolare dell'impianto di videosorveglianza - responsabili, incaricati, manutentori, ecc.);
- gestione di più utenti per ogni profilo;
- estrazione di un file dei log di accesso alla macchina (con data e ora di accesso e uscita degli utenti, allarmi segnalati dalla macchina, ecc.);
- configurazione del tempo di permanenza delle immagini registrate sull'Hard Disk
- sistema di cancellazione immagini con sovrascrittura circolare
- sistema operativo Linux
- sistema "chiuso" non attaccabile da virus, le porte USB all'esterno del videoregistratore devono essere appositamente attivate dai tecnici specialistici; il videoregistratore non dispone di lettori/masterizzatori di CD-DVD (i dati vengono estratti dai tecnici specialistici attraverso un PC e poi da qui masterizzati)
- - per accedere al videoregistratore è sempre richiesta una password e una userID, configurabili nel numero di caratteri (alfanumeriche) e nella scadenza/rinnovo da parte di ogni utente
- le immagini registrate su HD non possono essere viste su altri videoregistratori
- per ogni profilo possibilità di limitare l'accesso al videoregistratore (ogni giorno, una o più volte alla settimana, uno o più giorni all'anno, una sola volata)

Registrazione telecamere:

- programmata per fasce orarie o 24h su 24h;
- per attivazione del rilevamento di movimento su ogni telecamera (motion detect) con livelli di sensibilità regolabili dall'utente;

- registrazione continua e su motion detect contemporanea;
- registrazione con tour dei preset (servizio ronda) su telecamere dome;
- ricerche immagini per data o per evento (tipologia di allarme);
- variazione della velocità di registrazione su attivazione motion detect;
- salvataggio immagini in varie risoluzioni: da 320x240 pixel a risoluzioni Megapixel 2560x1920 pixel;
- velocità di registrazione 200fps (320x240 pixel);
- velocità di riproduzione 1,4,8 volte;
- inserimento di festività nella programmazione settimanale.

Esportazione file immagini:

- - per singoli JPG (funzione snapshot);
- - in filmati AVI/MPEG4;
- - possibilità di applicare zoom digitali su immagini registrate.

Finestra con log eventi attivabile per la visualizzazione di allarmi generali:

- - telecamere disattivate;
- - telecamere in registrazione;
- - rilevamento presenza (motion detect);
- - utilizzo cpu;
- - carico del sistema e traffico di rete;
- - esportazione log eventi in file formato CVS;
- - esportazione file DataBase per salvataggio configurazione.

Modulo software (opzionale) di centralizzazione impianti

Consente la centralizzazione di grandi impianti locali e remoti per gestire al massimo 25 videoregistratori, 256 telecamere, 500 contatti di allarme (funzione di backup inclusa).

PROTEZIONE PERIMETRALE

Il sistema perimetrale di controllo antintrusione sarà costituito da un dispositivo di rilevamento di vibrazione che offre protezione per due lati di recinzione per un

massimo di 300 metri ciascuno. La doppia protezione di recinzioni fino a 300 metri consente di ottenere una protezione complessiva di recinzioni di lunghezza massima di 600 metri.

Pertanto per ogni lunghezza superiore a 600 metri si dovrà ripetere il sistema di protezione.

Le vibrazioni del recinto non provocate dalle normali condizioni atmosferiche o dal vento vengono registrate dalla tecnologia DSIGP® e convertite in allarme. Le interferenze provocate da agenti esterni, come ad esempio CEM, vengono efficacemente sopresse.

Il consumo energetico sarà ridottissimo, inferiore a un watt. Una bassa corrente di alimentazione (circa 60 mA a 12 VDC) comporta una bassa sezione per cavi di alimentazione lunghi.

Dati tecnici:

- Unità master con alloggiamento impermeabile in alluminio IP65
- Peso unità master 970 g
- Dimensioni unità master 175 mm x 80 mm x 60 mm
- Unità finale: alloggiamento impermeabile in alluminio IP65
- Dimensioni unità finale 50 mm x 45 mm x 30 mm
- Peso unità finale 140 g
- Tipo cavo sensore AS257
- Diametro cavo sensore: 6 mm
- Temperatura di esercizio: da - 30°C a +70°C
- Tecnologia: nuova tecnologia esclusiva DSIGP®
- Tensione di alimentazione: da 8,0 VDC a 18,0 VDC
- Protezione alimentazione mediante soppressione dei transienti da 600 W
- Consumo energetico: inferiore a 1 W
- Relè: 3 relè, NC (solo due attivi se RS485 è integrato)
- Corrente max. relè 2 A
- Tensione di commutazione max. relè 30 VDC
- Protezione relè: protezione mediante soppressione dei transienti da 600 W/36 V
- Regolazione: sistema menu con 3 tasti e display a 3 cifre
- RS485 terminale A e B, isolamento galvanico, protezione ESD ± 15 kV

Il sistema sarà alimentato a 230 V con cavo FG70R della sezione minima 3G4 e 3G6 a seconda della lunghezza del tratto di alimentazione.

Gli allarmi saranno riportati alla centrale ubicata in sala supervisione tramite cavo 4 x 0,22 mmq grado IV.

La centrale di allarme sarà suddivisibile in 88 zone.

4.13 Note su impianto TVCC e antintrusione

L'impianto TVCC ed antintrusione è parte di un sistema complesso che include apparecchiature destinate al controllo di 4 diversi lotti di intervento.

Nello schema funzionale allegato al presente progetto è illustrato l'intervento nel suo complesso e i lotti che non fanno parte del presente intervento sono individuati da retinatura .

L'intervento oggetto del presente capitolato dovrà essere completo e funzionante e dovrà altresì assicurare la sua facile implementazione con il fine di rendere completo e funzionante l'impianto TVCC dei quattro lotti.

Deve essere prevista l'installazione dei dispositivi (apparati di ripresa, apparati di comunicazione, apparati di videoregistrazione) necessari per il presente intervento- Gli apparati di comunicazione e di, apparati di videoregistrazione saranno ubicati nella cabina C2.1 e , inoltre, deve essere previsto il successivo ricollocamento degli apparati di comunicazione, apparati di videoregistrazione nella sala di regia che sarà costruita in appalto diverso dal presente con necessaria modifica e integrazione delle connessioni (cavi F.O e altri) (circa 500 meri di distanza).

4.14 Dimensionamento cavedi e tubazioni

Il sistema di distribuzione adottato per la definizione dei montanti prevede l'utilizzo di cavi elettrici.

Per la posa dei cavi sono stati scelti le seguenti condutture:

- tubazioni interrate;
- passerelle fissate a parete;
- cunicoli interni lungo il perimetro interno del fabbricato;
- tubazioni a parete per collegamenti di corpi illuminati e rivelatori di fumo;

Gli involucri di tutti i dispositivi e delle apparecchiature elettriche avranno grado di protezione non inferiore a IP55.

Tutte le passerelle, canale, cunicoli e cavedi dovranno essere riempiti con cavi per un massimo del 50% della loro sezione trasversale (coefficiente di stipamento massimo del 50%).

Le valutazioni delle portate dei cavi devono essere valutate con fattori di riduzione calcolati per un riempimento del 50 % dei cavedi, canali, tubazioni, passerelle e cunicoli.

I pozzetti installati all'esterno saranno dotati di sistemi di drenaggio con copertura carrabile per consentire il transito anche ad autocarri.

Le tubazioni che dal pozzetto si diramano all'interno dei locali saranno dotate di sistemi di impedimento dell'ingresso dell'acqua nei locali interni. Le tubazioni saranno in contropendenza in modo tale da non permettere che il liquido presente nel pozzetto si possa indirizzare verso gli interni dei locali.

4.15 IMPIANTO DI TERRA ED EQUIPOTENZIALE - PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI

4.15.1 CONDUTTORI DI TERRA

I conduttori di terra dovranno essere realizzate conduttore in rame isolato avente sezioni minima come di seguito riportato e dovrà garantire la resistenza meccanica e alla corrosione dei conduttori di terra:

- collegamento piastrine di derivazione 70 mm² (n° 2 punti di attacco)
- collegamento quadri elettrici 70 mm² (n° 2 conduttori derivati dalla sbarra di terra)
- macchinario elettrico 16 mm²
- macchinario elettrico 16 mm²
- apparecchiature mobili 16 mm²
- derivazioni per prese 16 mm²
- quadri luce 16 mm²
- derivazioni per motori da 0,3 a 22 kW 16 mm²
- derivazioni per motori da 22 a 75 kW (a 0,4 kV) 50 mm²
- derivazioni per motori da 75 a 150 kW (a 0,4 kV) 70 mm²
- derivazioni per motori da 150 a 750 kW (a 6 kV) 50 mm²
- derivazioni per motori > 750 kW (a 6 kV) 70 mm²

- rack, tralicci, cancelli, recinzioni, incastellature metalliche 50 mm² (punti di attacco uno ogni 20 metri)
- ponticelli di continuità (protezione scariche atmosferiche) 70 mm²
- colonne, sfere 50 mm²
- paline per illuminazione 16 mm²
- paline stradali 50 mm²
- torri faro 50 mm² (n° 2 punti di attacco)
- trasformatori MT/BT 120 mm² (n° 3 punti di attacco)
- power center e MCC 120 mm² (n° 3 punti di attacco)
- quadri di media 70 mm² (n° 2 punti di attacco)
- altri quadri bassa tensione 70 mm² (n° 2 punti di attacco)

4.15.2 CONDUTTORI EQUIPOTENZIALI

Dai collettori alle apparecchiature dovranno essere realizzati i collegamenti equipotenziali, con conduttori di tipo F07G9-K aventi sezione non inferiore a quelli riportati nella seguente tabella:

- trasformatori MT/BT 185 mm² (n° 2 punti di attacco al centro stella e N.1 punto al cassone)
- power center 185 mm² (n° 3 punti di attacco)
- MCC 185 mm² (n° 3 punti di attacco)
- quadri di media 70 mm² (n° 2 punti di attacco)
- altri quadri bassa tensione 70 mm² (n° 2 punti di attacco)

4.15.3 REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA

L'impianto di terra in oggetto si riferisce ad un sistema di II categoria in cui la cabina di trasformazione risulta di proprietà dell'utente.

Il sistema prevede il collegamento del conduttore di protezione, direttamente col centro stella del circuito secondario dei trasformatori.

L'impianto di terra verrà realizzato in accordo alle prescrizioni delle Norme CEI 11-1 e CEI 64-12.

Il dispersore dovrà essere costituito da un dispersore orizzontale disposto ad anello chiuso, posato in modo tale da racchiudere l'area in oggetto.

La sua configurazione dovrà essere del tipo a maglia di lato non superiore a 1x1 metri per ognuna delle cabina realizzato con carda di rame nuda da 70 e 95 mmq.

Ogni impianto di cabina deve essere connesso con corda da 50 mmq alle altre cabine e alle strutture metalliche di supporto dei pannelli fotovoltaici.

Ai vertici e a metà dei lati lunghi delle cabine dovranno essere collegati non meno di n° 4 dispersori tubolari di profondità in acciaio al carbonio semiduro con R 37/45 spessore 5 mm zincato a caldo e altezza non inferiore a 1,5 metri.

Il dispersore dovrà essere realizzato in corda in rame nudo di sezione 95 mm² posta in opera in scavo predisposto; per circa 0,3 metri dovrà essere realizzato il ricoprimento del dispersore con terreno vegetale e, superiormente, con altro tipo di terreno (terreno di riporto derivato dalle opere di scavo).

Il dispersore dovrà essere posato, nel suo complesso a profondità di circa 0,8 m. Tale profondità dovrà comunque essere atta ad evitare il rischio di rotture o sollecitazioni per effetto di azioni meccaniche.

Si evidenzia che il dispersore a maglia dovrà essere in generale posato ad una profondità non inferiore a 0,8 m e dovrà comunque essere posato al di sotto del solaio seguendo la conformazione dello scavo al fine di essere sempre in intimo contatto con il terreno.

Dovranno essere collegati al dispersore, i ferri di armatura delle fondazioni, mediante giunzioni di dimensioni tali da garantire una buona continuità elettrica, tali giunzioni dovranno evitare la formazione di coppie galvaniche e in generale dovranno essere resistenti alla corrosione.

Le giunzioni dovranno essere eseguite mediante saldatura forte o autogena o alluminotermica, o, in alternativa, con morsetti a bullone che dovranno avere superficie di contatto di almeno 200 mm² e bulloni di diametro non inferiore a 10 mm.

La scelta dei morsetti dovrà essere indirizzata verso il tipo che non imponga il taglio del conduttore e che consenta di collegare conduttori anche di differente sezione.

Le connessioni tra il dispersore e i ferri d'armatura dovranno essere realizzate seguendo la posa dello stesso dispersore.

Dovranno pertanto essere riportati all'esterno della fondazione, prima delle gettate finali, tratti di conduttore di sufficiente lunghezza che collegheranno i ferri d'armatura del dispersore.

I conduttori di terra non dovranno risultare a contatto diretto con la pavimentazione e non dovranno essere assoggettati a sforzi meccanici.

I conduttori di terra dovranno essere protetti contro la corrosione, dovranno seguire percorsi brevi e diretti, e, all'uscita della pavimentazione, dovranno essere opportunamente protetti con una tubazione in PVC.

Il completamento della continuità elettrica con gli altri ferri di fondazione dovrà essere assicurato realizzando una staffa collettrice, la cui funzione sarà quella di collegare il corrente di riferimento con gli altri ferri; i collegamenti dei ferri alla staffa verranno realizzati mediante opportuna saldatura.

Per il collegamento al collettore di terra, dovranno essere riportati all'interno della cabina MT/TB i conduttori di terra, derivati dalla rete magliata e/o dal dispersore principale (vedi disegni di progetto).

I collettori dei trasformatori dovranno essere connessi all'impianto di terra disperdente con corda in rame nudo di sezione non inferiore a 120 mm^2 in modo da permettere una adeguata distribuzione della corrente di guasto in prossimità dei trasformatori. In particolare, valutando il guasto in bassa tensione, la sezione della maglia del dispersore di terra a cui si dovrà connettere il trasformatore MT/BT dovrà essere non inferiore a 120 mm^2 . In particolare saranno realizzate tre connessioni in tre punti diversi della maglia aventi sezione minima di 120 mm^2 con corda in rame nudo di sezione minima 120 mm^2 .

Lo stesso tipo di potenziamento della rete disperdente sarà effettuato per i Power Center e gli MCC.

L'impianto di messa a terra di cabina dovrà soddisfare le prescrizioni delle vigenti norme CEI e dovrà essere realizzato in modo da consentire l'effettuazione delle verifiche periodiche di efficienza.

Il conduttore di protezione dovrà essere collegato a tutte le masse di tutti gli apparecchi da proteggere compresi gli apparecchi di illuminazione.

L'impianto dovrà comprendere come minimo:

- il collettore (o nodo) principale di terra nel quale confluiscono i conduttori di terra, di protezione, di equipotenzialità;
- il sezionatore di terra che consentirà le misure e le verifiche sullo stato dell'impianto;
- il conduttore equipotenziale, avente lo scopo di assicurare l'equipotenzialità fra le masse e/o le masse estranee (parti conduttrici, non facenti parte dell'impianto elettrico, suscettibili di introdurre il potenziale di terra)

Sia all'interno, sia all'esterno della centrale, non si dovranno verificare, in nessun punto, tensioni di contatto e di passo superiori ai valori indicati dalla norma CEI 11-1.

Al fine di proteggere l'impianto e le apparecchiature elettriche ed elettroniche ad esso collegate contro le sovratensioni di origine atmosferica (fulminazione indiretta)

ta) e le sovratensioni transitorie di manovra e limitare scatti intempestivi degli interruttori differenziali, all'inizio dell'impianto deve essere installato un limitatore di sovratensioni. In particolare si avrà:

Protezione linea MT

Dovrà essere installata la cella dotata di scaricatore sulla linea entrante, illustrata nella sezione del capitolato relativa alla media tensione.

Protezione dei circuiti di potenza BT

Quadri generali: dovranno essere utilizzati limitatori che avranno il compito di limitare in pochi microsecondi, le sovratensioni ad alto potenziale e, pertanto, saranno ad alta energia di scarica. Tali limitatori dovranno essere installati nei quadri principali (power center e quadri di primo livello) all'ingresso delle linee di alimentazione.

Il livello di protezione anche con sollecitazioni massime di 100 kA/10As dovrà essere inferiore a 2 kV.

I moduli di protezione (varistori) dovranno essere estraibili ed in caso di danneggiamento di un modulo si dovrà poter effettuare la sostituzione senza togliere tensione all'impianto.

Il sistema dovrà essere, inoltre, dotato di relè per la segnalazione dell'intervento. Il relè comunicherà con il sistema di controllo DCS e attraverso il sistema di trasmissione dati permetterà l'identificazione del guasto nel monitor di controllo locale ed a distanza nella sede prevista per la teleconduzione.

I limitatori dovranno essere rispondenti alla classe B delle norme DIN VDE 0675 parte 6 per sistemi equipotenziale di impianti parafulmine secondo DIN VDE 0185 parte 1.

Protezione dei circuiti di potenza quadri di secondo livello.

Saranno utilizzati limitatori che avranno il compito di limitare in pochi microsecondi, le sovratensioni a forte energia fino a 100 kA con forma d'onda 8/20. Tali limitatori dovranno essere installati nel quadro di settore all'ingresso delle linee di alimentazione.

I moduli di protezione (varistori) dovranno essere estraibili ed in caso di danneggiamento di un modulo si dovrà poter effettuare la sostituzione senza togliere tensione all'impianto.

Il sistema dovrà essere, inoltre, dotato di relè per la segnalazione dell'intervento.

I limitatori dovranno essere rispondenti alla classe C delle norme DIN VDE 0675 parte 6.

Dovrà essere realizzato un sistema di protezione dalle sovratensioni costituito da:

- limitatori di sovratensione per linee dati delle unità centrali
- limitatori di sovratensione per protezione delle centrali di apparati sensibili come : centrale telefonica, rivelazione incendio, eccetera.
- limitatori di sovratensione per protezione di linee di segnale
- limitatori di sovratensione per protezioni delle linee dati

Si dovranno fornire e posare in opera protezioni per le linee Ethernet, e tutte le linee dati e per tutte le unità centrali di centri informatici (supervisione, eccetera).

Dovranno essere utilizzate apparecchiature del seguente tipo:

- protezione compatte delle linee dati e sistemi di trasmissione:
 - Tipo 1 reti ethernet:
 - tensione segnale 6 Volt ,
 - Corrente nominale di scarica $i_{sn}(8/20)$ 8 kA,
 - trasmissione 10 Mbits
 - Capacità trasversale C_q minore di 30 pF
 - Perdita di trasmissione a 2 Mhz minore di 0.6 dB
 - Tempo di innesco minore di 1 ns
 - tensione massima segnale 15 V
 - Tipo 1 linee dati:
 - tensione segnale 6 Volt ,
 - Corrente nominale di scarica $i_{sn}(8/20)$ 8 kA,
 - trasmissione 10 Mbits
 - Capacità trasversale C_q minore di 50 pF
 - Perdita di trasmissione a 2 Mhz minore di 0.6 dB
 - Tempo di innesco minore di 1 ns
 - tensione massima segnale 15 V
- Protezioni dirette le linee di trasmissione e di ricezione direttamente nel cavo saranno inoltre protetti con Connettori tipo UHF tipo:
 - potenza di trasmissione 400 W
 - Corrente nominale di scarica $i_{sn}(8/20)$ 5 kA
 - Frequenza di trasmissione 2,5 Ghz
 - Perdita di trasmissione fino a 2,5 GHz minore di 0,8 dB

- Tempo di innesco minore di 100 ns
- Impedenza 75 ohm
- Protezioni di tutti gli ingressi/uscite delle unità centrali contro le sovratensioni nelle linee dati tipo:
 - Tensione segnale $U_s \pm 12\text{ V}$
 - Tensione massima segnale $U_{smax} \pm 15\text{ V}$
 - Corrente nominale 100 mA
 - Corrente nominale di scarica $isn(8/20)$ 5 kA,
 - Corrente massima di prova isg 10 kA
 - Frequenza di trasmissione 2,5 Ghz
 - Rate di trasmissione 100 kBits
 - Limitazione tensione a 1kV/micros 20 V
 - Tempo di innesco minore di 1 ns
 - Impedenza 75 ohm

L'opera comprende l'integrazione al sistema equipotenziale e dovrà essere coordinato in sede di scelta delle apparecchiature e delle reti effettivamente montate dall'Appaltatore.

Il sistema nel suo complesso dovrà essere rispondente alla CEI 81-4 e dovrà garantire la protezione dalla scariche atmosferiche e dalle sovratensioni.

Dovrà essere assicurata la protezione contro le sovratensioni che si inducono direttamente nelle linee BUS per accoppiamento elettromagnetico con la corrente di fulmine in edifici.

Dovranno essere evitati:

- parallelismi tra BUS e parti metalliche appartenenti a sistemi di protezione contro i fulmini;
- formazioni di spire costituite da linee BUS, linee elettriche e altre parti metalliche.

Collegamento a terra degli schermi

Quando il sistema prevede l'uso di cavi schermati, lo schermo va collegato a terra in un solo punto per evitare che possa convogliare le correnti di guasto e quindi diventare una sorgente di disturbo o, peggio, subire danni per effetto Joule.

5. DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

L'impianto elettrico in esame potrà essere alimentato in MT. Nell'impianto pertanto coesistono due sistemi distributivi TN e IT.

5.1.1 Calcolo delle correnti di impiego

Per entrambi i sistemi il dimensionamento dell'impianto è stato effettuato assumendo come dato iniziale la potenza elettrica richiesta dalle singole utenze e calcolando da questa la corrente di impiego di ciascuna linea (I_b).

Il calcolo delle correnti d'impiego viene eseguito in base all'espressione:

$$I_b = \frac{P_d}{k_{ca} \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

in cui:

- $k_{ca} = 1$ sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;
- $k_{ca} = 1.73$ sistema trifase, tre conduttori attivi.
-

Se la rete è in corrente continua il fattore di potenza è pari a 1.

Dal valore massimo (modulo) di I_b vengono calcolate le correnti di fase in notazione vettoriale (parte reale ed immaginaria) con le formule:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= I_b \cdot e^{-j\varphi} = I_b \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) \\ \dot{I}_2 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 2\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \right) \\ \dot{I}_3 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 4\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \right)\end{aligned}$$

Il vettore della tensione V_n è supposto allineato con l'asse dei numeri reali:

$$\dot{V}_n = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

nella quale “coeff” è pari al fattore di utilizzo per utenze terminali oppure al fattore di contemporaneità per utenze di distribuzione.

La potenza P_n , invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle P_d delle utenze a valle per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

per le utenze terminali, mentre per le utenze di distribuzione viene calcolata come somma vettoriale delle potenze reattive nominali a valle.

Il fattore di potenza per le utenze di distribuzione viene valutato, di conseguenza, con:

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctan \left(\frac{Q_n}{P_n} \right) \right)$$

Nota la corrente di impiego richiesta da ciascuna utenza si è proceduto al dimensionamento delle corrispondenti linee di alimentazione e dei relativi dispositivi di protezione, coordinando la scelta delle sezioni delle condutture con le caratteristiche degli interruttori in modo da verificare le condizioni imposte dalle vigenti Norme.

Note le caratteristiche delle linee di alimentazione si è quindi potuto procedere al dimensionamento degli apparecchi di protezione generali installati nei quadri e delle linee di distribuzione principale di collegamento fra quadri.

5.1.2 Dimensionamento dei cavi

Il dimensionamento dei conduttori è stato realizzato secondo i dettami della Norma CEI-UNEL in relazione al tipo di posa realizzato; i valori di portata dei cavi sono stati ridotti con i coefficienti correttivi che tengono conto delle condizioni di

posa, del raggruppamento dei cavi e della temperatura ambiente, ricavando così il valore della portata effettiva del cavo I_z . Per la posa interrata è stata seguita la Norma IEC 364-5-523-Ed.2.

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:

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

$$I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

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 è stato effettuato in modo da rispettare anche i seguenti casi:

- condutture che sono 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 la tabella assegnata alla utenza. Le tabelle previste dal programma per la bassa tensione sono:

- IEC 448;
- IEC 365-5-523;
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026.

mentre per la media tensione si utilizza la tabella CEI 17-11.

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile I_z in funzione del tipo di isolamento del cavo, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi, riportano anche la metodologia di valutazione dei coefficienti di declassamento.

La portata minima del cavo viene calcolata come:

$$I_{z\min} = \frac{I_n}{k}$$

dove il coefficiente k ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

- tipo di materiale conduttore;
- tipo di isolamento del cavo;
- numero di conduttori in prossimità compresi eventuali paralleli;
- eventuale declassamento deciso dal progettista.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente k) sia superiore alla $I_{z\min}$.

Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che essi abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (vedi 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 per gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3. Infatti questi 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 sopra citati riportano però delle note che permettono, in attesa di disposizioni diverse, la loro determinazione.

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 rame serie L rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie L nudo:K = 200
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie H nudo:K = 200
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:K = 74
- Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:K = 87

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 serie L rivestito in materiale termoplastico:K = 143
- Cavo in rame serie L nudo:K = 228
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:K = 143
- Cavo in rame serie H nudo:K = 228
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:K = 95
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G:K = 110

- Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:K = 116

I valori di K per i conduttori di protezione in cavi multipolari (par. 543.1) tab. 54C:

- 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 G5-G7:K = 143
- Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie L nudo:K = 228
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie H nudo:K = 228
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:K = 76
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G:K = 89
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:K = 94

Il coordinamento fra condutture e interruttori è stato effettuato verificando la protezione delle linee dalle sovracorrenti (sovraccarico e corto circuito) e la protezione dai contatti indiretti tramite interruzione automatica del circuito.

5.1.3 Verifica della caduta di tensione

E' stata effettuata la verifica della caduta di tensione massima posta pari al 4% per i circuiti di forza motrice e per i circuiti luce.

Il calcolo delle cadute di tensione avviene vettorialmente.

Per ogni utenza si calcola la caduta di tensione vettoriale lungo ogni fase e lungo il conduttore di neutro (se distribuito).

Tra le fasi si considera la caduta di tensione maggiore che viene riportato in percentuale rispetto alla tensione nominale.

Il calcolo fornisce, quindi, il valore esatto della formula approssimata:

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

con:

- $k_{cdt}=2$ per sistemi monofase;
- $k_{cdt}=1.73$ per sistemi trifase.

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione al tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a $80^{\circ}C$, mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in Ohm/km.

La $cdt(I_b)$ è la caduta di tensione alla corrente I_b .

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di un'utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da cui viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

Nel dimensionamento si sono stabilite le cadute di tensione totali anche nel caso di presenza dei trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o MT/MT).

In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori che della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

5.1.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm^2 ;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso;
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mm^2 se il conduttore è in rame e a 25 mm^2 se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di 16 mm^2 se conduttore in rame e 25 mm^2 se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase.

Si è determinata la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

$$\begin{aligned} S_f < 16 \text{ mm}^2: & \quad S_n = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2: & \quad S_n = 16 \text{ mm}^2 \\ S_f > 35 \text{ mm}^2: & \quad S_n = S_f / 2 \end{aligned}$$

5.1.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione mediante calcolo.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

$$\begin{aligned} S_f < 16 \text{ mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2: & \quad S_{PE} = 16 \text{ mm}^2 \\ S_f > 35 \text{ mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule.

E' stato applicato il primo criterio.

5.1.6 Calcolo della temperatura dei cavi

La valutazione della temperatura dei cavi si esegue in base alla corrente di impiego e alla corrente nominale tramite le seguenti espressioni:

$$T_{cavo}(I_b) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_b^2}{I_z^2} \right)$$

$$T_{cavo}(I_n) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_n^2}{I_z^2} \right)$$

espresse in °C.

Esse derivano dalla considerazione che la sovratemperatura del cavo a regime è proporzionale alla potenza in esso dissipata.

Il coefficiente α_{cavo} è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella di posa che si sta usando.

5.1.7 Identificazione dei conduttori

Per quanto riguarda l'identificazione dei conduttori dovrà essere verificata la scelta dei colori dell'isolante dei conduttori secondo quanto prescritto dalle tabelle CEI-UNEL 00722; in particolare:

- azzurro per i cavi di neutro;
- marrone, nero, grigio, od altri colori scuri per la fase;
- giallo-verde per i conduttori di protezione, equipotenziali e di terra.

5.1.8 Protezione meccanica dei conduttori

La protezione meccanica delle linee di distribuzione generale verrà assicurata dal loro alloggiamento all'interno di cunicoli, cavidotti appositamente realizzati per il passaggio esclusivo delle linee elettriche o all'interno di passerelle portacavi metalliche o tubi protettivi.

5.1.9 Fornitura rete

La conoscenza della fornitura della rete è necessaria al fine di eseguire il calcolo dei guasti.

Sono previsti diversi tipi di fornitura:

- da Generatore
- in media tensione 15 kV
- in corrente continua

I parametri trovati in questa fase servono per inizializzare il calcolo dei guasti, ossia andranno sommati ai corrispondenti parametri di guasto della utenza a valle.

Noti i parametri alle sequenze nel punto di fornitura, è possibile inizializzare la rete e calcolare le correnti di corto circuito secondo le norme CEI 11-25.

Tali correnti saranno utilizzate in fase di scelta delle protezioni per la verifica dei poteri di interruzione delle apparecchiature.

5.1.9.1 *Bassa tensione*

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di corto circuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).

Da questi valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di corto circuito I_{cctrif} , in mOhm:

$$Z_{cctrif} = \frac{V_2}{\sqrt{3} \cdot I_{cctrif}}$$

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il $\cos\phi_{cc}$ di corto circuito in relazione alla corrente di corto circuito in kA, si ha:

$50 < I_{cctrif}$	$\cos \phi_{cc} = 0.2$
$20 < I_{cctrif} \leq 50$	$\cos \phi_{cc} = 0.25$
$10 < I_{cctrif} \leq 20$	$\cos \phi_{cc} = 0.3$
$6 < I_{cctrif} \leq 10$	$\cos \phi_{cc} = 0.5$
$4.5 < I_{cctrif} \leq 6$	$\cos \phi_{cc} = 0.7$
$3 < I_{cctrif} \leq 4.5$	$\cos \phi_{cc} = 0.8$
$1.5 < I_{cctrif} \leq 3$	$\cos \phi_{cc} = 0.9$
$I_{cctrif} \leq 1.5$	$\cos \phi_{cc} = 0.95$

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in mOhm:

$$R_d = Z_{cctrif} \cdot \cos \phi_{cc}$$

ed infine la relativa reattanza alla sequenza diretta, in mOhm:

$$X_d = \sqrt{Z_{cctrif}^2 - R_d^2}$$

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare saranno posti uguali ai rispettivi parametri alla sequenza diretta ($R_0=R_d$, $X_0=X_d$).

Dalla conoscenza della corrente di guasto monofase I_{k1} , è possibile ricavare i valori dell'impedenza omopolare.

Invertendo la formula:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2}{\sqrt{(2 \cdot R_d + R_0)^2 + (2 \cdot X_d + X_0)^2}}$$

con le ipotesi,

$$\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos \phi_{cc}$$

cioè l'angolo delle componenti omopolari uguale a quello delle componenti dirette, si ottiene:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I_{k1}} \cdot \cos \varphi_{cc} - 2 \cdot R_d$$

$$X_0 = R_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi_{cc})^2} - 1}$$

5.1.9.2 Media tensione

Nel caso in cui la fornitura sia in media tensione si considerano i seguenti dati di partenza:

- Tensione di fornitura in media tensione, V_{mt} (in kV);
- Corrente di corto circuito trifase massima, I_{kmax} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra massima, $I_{k1ftmax}$ (in kA).

Dai dati si ricavano le impedenze equivalenti della rete di fornitura per determinare il generatore equivalente di tensione.

$$Z_{ccmt} = \frac{1,1 \cdot V_{mt}}{\sqrt{3} \cdot I_{kmax}} \cdot 1000$$

da cui si ricavano le componenti dirette:

$$\cos \varphi_{ccmt} = \sqrt{1 - (0,995)^2}$$

$$X_{dl} = 0,995 \cdot Z_{ccmt}$$

$$R_{dl} = \cos \varphi_{ccmt} \cdot Z_{ccmt}$$

e le componenti omopolari:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot V_{mt}}{I_{k1ftmax}} \cdot 1000 \cdot \cos \varphi_{ccmt} \angle (2 \cdot R_{dl})$$

5.1.9.3 Corrente continua

Parte della rete è alimentata in continua con una tensione fino a 110 V si devono conoscere:

- tensione di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito della rete di fornitura espressa in kA.

Da questi valori si determinata l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito I_{cc} , in mOhm:

$$Z_{cc} = \frac{V_2}{I_{cc}}$$

5.1.9.4 Trasformatori

Nella rete in oggetto sono presenti dei trasformatori, i dati di targa richiesti sono:

- potenza nominale P_n (in kVA);
- perdite di corto circuito P_{cc} (in W);
- tensione di corto circuito v_{cc} (in%)
- rapporto tra la impedenza alla sequenza omopolare e quella di corto circuito;
- tipo di collegamento;
- tensione nominale del primario V_1 (in kV);
- tensione nominale del secondario V_{02} (in V).

Con questi dati si possono ricavare:

- Impedenza di corto circuito del trasformatore espressa in mOhm:

$$Z_{cct} = \frac{v_{cc}}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

- Resistenza di corto circuito del trasformatore espressa in mOhm:

$$R_{cct} = \frac{P_{cc}}{1000} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n^2}$$

– Reattanza di corto circuito del trasformatore espressa in mOhm:

$$X_{cct} = \sqrt{Z_{cct}^2 - R_{cct}^2}$$

L'impedenza a vuoto omopolare del trasformatore viene ricavata dal rapporto con l'impedenza di corto circuito dello stesso:

$$Z_{vot} = Z_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)$$

dove il rapporto Z_{vot}/Z_{cct} vale usualmente 10-20.

In uscita al trasformatore si otterranno pertanto i parametri alla sequenza diretta, in mOhm:

$$Z_d = |\dot{Z}_{ccmt} + \dot{Z}_{cct}| = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

nella quale:

$$R_d = R_{dl} + R_{cct}$$

$$X_d = X_{dl} + X_{cct}$$

I parametri alla sequenza omopolare dipendono invece dal tipo di collegamento del trasformatore in quanto, in base ad esso, abbiamo un diverso circuito equivalente.

Pertanto, nel caso di trasformatore collegato triangolo/stella (Dy), si ha:

$$R_{ot} = R_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

$$Z_{ot} = Z_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

$$X_{ot} = X_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

5.1.9.5 Generatori

In media tensione si ha anche la possibilità di erogare energia con il generatore.

I dati di targa richiesti per i generatori sono:

- potenza nominale P_n (in kVA);
- reattanza sincrona percentuale x_s ;
- reattanza subtransitoria percentuale x'' ;
- rapporto tra l'impedenza omopolare e l'impedenza sincrona Z_{og}/Z_s comune a tutti i generatori.

L'impedenza subtransitoria si calcola con la formula:

$$X'' = \frac{x''}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

dalla quale si ricavano le componenti alla sequenza diretta:

$$R_d = 0$$

$$X_d = X''$$

La componente resistiva si trascura rispetto alla componente reattiva del generatore.

L'impedenza sincrona si calcola con la formula:

$$X_s = \frac{x_s}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

Dalla quale, tramite il rapporto Z_{og}/Z_s , si ricavano le componenti omopolari:

$$R_0 = 0$$

$$X_0 = \frac{Z_{og}}{Z_s} \cdot X_s$$

5.1.10 Calcolo dei guasti

Nel calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);
- guasto bifase (dissimmetrico);
- guasto fase terra (dissimmetrico);
- guasto fase neutro (dissimmetrico).

Le correnti a valle della protezione sono individuate dalle correnti di guasto a fondo linea della utenza a monte.

I parametri alle sequenze di ogni utenza vengono inizializzati da quelli corrispondenti della utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

5.1.11 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo viene condotto nelle seguenti condizioni:

- tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione 1;
- impedenza di guasto minima, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza a 80 °C, data dalle tabelle UNEL 35023-70, per cui esprimendola in mOhm risulta:

$$R_{dcavo} = \frac{R_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (60 \cdot 0.004)} \right)$$

Nota poi dalle stesse tabelle la reattanza a 50 Hz, con f frequenza d'esercizio, risulta :

$$X_{dcavo} = \frac{X_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così la impedenza di guasto minima a fine utenza.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza diretta sono:

$$R_{dsbarra} = \frac{R_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{dsbarra} = \frac{X_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare, occorre distinguere tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ottengono da quelli diretti tramite le:

$$R_{0cavoNeutro} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro}$$

$$X_{0cavoNeutro} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$R_{0cavoPE} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE}$$

$$X_{0cavoPE} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

dove le resistenze $R_{dcavoNeutro}$ e $R_{dcavoPE}$ vengono calcolate come la R_{dcavo} .

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza omopolare sono distinte tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ha:

$$R_{0sbarraNeutro} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro}$$

$$X_{0sbarraNeutro} = 3 \cdot X_{dsbarra}$$

Per il conduttore di protezione viene utilizzato il parametro di reattanza dell'anello di guasto fornito dai costruttori:

$$R_{0sbarraPE} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE}$$

$$X_{0sbarraPE} = 2 \cdot X_{anello_guasto}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in mOhm:

$$R_d = R_{dcavo} + R_{dmonte}$$

$$X_d = X_{dcavo} + X_{dmonte}$$

$$R_{0Neutro} = R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro}$$

$$X_{0Neutro} = X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro}$$

$$R_{0PE} = R_{0cavoPE} + R_{0montePE}$$

$$X_{0PE} = X_{0cavoPE} + X_{0montePE}$$

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire sbarra a cavo.

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

Noti questi parametri vengono calcolate le impedenze (in mOhm) di guasto trifase:

$$Z_{k\min} = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

Fase neutro:

$$Z_{k1Neutr\min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0Neutro})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0Neutro})^2}$$

Fase terra:

$$Z_{k1PE\min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0PE})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0PE})^2}$$

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase $I_{k\max}$, fase neutro $I_{k1Neutr\max}$, fase terra $I_{k1PE\max}$ e bifase $I_{k2\max}$ espresse in kA:

$$I_{k\max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\min}}$$

$$I_{k1Neutr\max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutr\min}}$$

$$I_{k1PE\max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE\min}}$$

$$I_{k2\max} = \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k\min}}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI 11-25 par. 9.1.1.):

$$I_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max}$$

$$I_{p1Neutro} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutro \max}$$

$$I_{p1PE} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max}$$

$$I_{p2} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

dove:

$$K \approx 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \frac{R_d}{X_d}}$$

5.1.12 Motori asincroni

Vengono ora esposti i criteri di calcolo delle impedenze allo spunto dei motori asincroni, valori che sommate alle impedenze della linea forniscono le correnti di guasto che devono essere aggiunte a quelle dovute alla fornitura. Le formule sono tratte dalle norme CEI 11.25 (prima edizione 1992) e CEI 11.28 (prima edizione 1993).

Le variabili caratteristiche del motore sono:

- U_{rm} tensione nominale del motore [V] (concatenata per motori trifasi, di fase per motori monofasi collegati fase neutro o fase fase);
- I_{rm} corrente nominale del motore [A];
- S_{rm} potenza elettrica apparente nominale [kVA];
- P numero di coppie polari;
- Fattore di potenza allo spunto;
- I_{lr}/I_{rm} rapporto tra la corrente a motore bloccato (di c.c.) e la corrente nominale del motore;
- Costante $R_m/X_m=0.42$ con $X_m=0.922 Z_m$ [mOhm];
- Possibilità di avviamento stella/triangolo per i motori trifasi, per cui si diminuisce I_{lr}/I_{rm} di 3;
- Tempo di avviamento.

Si calcola l'impedenza del motore:

$$Z_M = \frac{1}{I_{lr}/I_{rm}} \cdot \frac{U_{rm}^2}{S_{rm}}$$

Per i motori asincroni si considera la corrente di interruzione i_b tenendo conto del tempo di ritardo di default pari a 0.02s. per calcolare i coefficienti m e μ .

Il coefficiente m si calcola secondo la seguente tabella:

$$\begin{array}{ll} \mu = 0.84 + 0.26 \cdot e^{-0.26 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} = 0.02 \text{ s} \\ \mu = 0.71 + 0.51 \cdot e^{-0.30 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} = 0.05 \text{ s} \\ \mu = 0.62 + 0.72 \cdot e^{-0.32 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} = 0.10 \text{ s} \\ \mu = 0.56 + 0.94 \cdot e^{-0.38 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} \geq 0.25 \text{ s} \end{array}$$

se

$$I_{lr}/I_{rm} \leq 2$$

allora

$$\mu = 1$$

Per il coefficiente q si deve prendere la potenza attiva meccanica espressa in MW e dividerla per il numero di coppie polari P al fine di ottenere la variabile m :

$$m = \frac{S_{rm} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{1000 \cdot P}$$

con fattore di potenza $\cos \varphi$ e η rendimento del motore.

Quindi:

$$q = 1.03 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.02 s$$

$$q = 0.79 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.05 s$$

$$q = 0.57 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.10 s$$

$$q = 0.26 + 0.10 \cdot \ln m \quad t_{\min} \geq 0.25 s$$

Se $q > 1$ si pone $q = 1$.

Si divide per i coefficienti μ e q per ottenere l'impedenza equivalente vista al momento del guasto:

$$Z_{Mib} = \frac{Z_M}{\mu \cdot q}$$

Da cui:

$$X_M = 0.922 \cdot Z_{Mib}$$

$$R_M = 0.42 \cdot X_M$$

Per le componenti alle sequenze si considerano le sole componenti dirette mentre quelle omopolari non vengono considerate, in quanto il contributo ai guasti lo danno solo i motori trifasi.

Essi contribuiscono ai guasti trifasi e a quelli bifasi nelle utenze trifasi e bifasi.

$$R_d = R_M$$

$$X_d = X_M$$

5.1.13 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11-25 par. 2.5. Per quanto riguarda la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione di 0.95 (tab. 1 della norma CEI 11-25).

Per la temperatura dei conduttori ci si riferisce al rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in ser-

vizio ordinario dal cavo. Essa viene indicata dalla norma CEI 64-8/4 par 434.3 nella quale sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

– isolamento in PVC	Tmax = 70 °C
– isolamento in G	Tmax = 85 °C
– isolamento in G5/G7	Tmax = 90 °C
– isolamento serie L rivestito	Tmax = 70 °C
– isolamento serie L nudo	Tmax = 105 °C
– isolamento serie H rivestito	Tmax = 70 °C
– isolamento serie H nudo	Tmax = 105 °C

Da queste è possibile calcolare le resistenze alla sequenza diretta e omopolare alla temperatura relativa all'isolamento del cavo:

$$R_{d\max} = R_d \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0Neutro} = R_{0Neutro} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0PE} = R_{0PE} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

Queste, sommate alle resistenze a monte, danno le resistenze minime.

Valutate le impedenze mediante le stesse espressioni delle impedenze di guasto massime, si possono calcolare le correnti di cortocircuito trifase $I_{k1\min}$ e fase terra, espresse in kA:

$$I_{k \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}}$$

$$I_{k1 \text{Neutr o min}} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{Neutr o max}}}$$

$$I_{k1 \text{PE min}} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{PE max}}}$$

$$I_{k2 \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}$$

5.1.14 Scelta delle protezioni

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

- corrente nominale, secondo cui la quale si è dimensionata la conduttura;
- numero poli, impostato;
- tipo di protezione, impostata;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale della utenza;
- potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dalla 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 differenziali) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea ($I_{mag \max}$)

5.1.15 Verifica di selettività

E' stata verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve di intervento di tipo magnetotermico, eventualmente inseribili dall'utente. I dati forniti dalla sovrapposizione, oltre al grafico sono:

- Corrente I_a di intervento in corrispondenza ai massimi tempi di interruzione previsti dalla CEI 64.8: pertanto viene sempre data la corrente ai 5s (valido per le utenze di distribuzione o terminali fisse) e la corrente ad un tempo determinato tramite la tabella 41A della CEI 64.8 par 413.1.3. Fornendo una fascia di intervento delimitata da una caratteristica limite superiore e una

caratteristica limite inferiore, il tempo di intervento viene dato in corrispondenza alla caratteristica limite inferiore. Tali dati sono forniti per la protezione a monte e per quella a valle;

- Tempo di intervento in corrispondenza della minima corrente di guasto: alla fine dell'utenza a valle: minimo per la protezione a monte (determinato sulla caratteristica limite inferiore) e massimo per la protezione a valle (determinato sulla caratteristica limite superiore);
- Rapporto tra le correnti di intervento magnetico: delle protezioni;
- Corrente al limite di selettività: ossia il valore della corrente in corrispondenza all'intersezione tra la caratteristica limite superiore della protezione a valle e la caratteristica limite inferiore della protezione a monte (CEI 23.3 par 2.5.14).
- Selettività: è verificata se la caratteristica della protezione a monte si colloca sopra alla caratteristica della protezione a valle (totale), se si interseca nella parte istantanea (parziale) o solo parzialmente (parziale a sovraccarico se l'intersezione tra le curve si ha nel tratto termico).
- Selettività cronometrica: è verificata la differenza tra i tempi di intervento delle protezioni in corrispondenza delle correnti di cortocircuito in cui è verificata.

Nelle valutazioni si deve tenere conto delle tolleranze sulle caratteristiche date dai costruttori.

5.1.16 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

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:

1. Le intersezioni sono due:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$ (Quest'ultima riportata nella norma come Ia);
 - $I_{ccmax} \leq I_{inters \ max}$ (Quest'ultima riportata nella norma come Ib).
2. L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$.
3. L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
 - $I_{cc \ max} \leq I_{inters \ max}$.

5.1.17 Massima lunghezza protetta

Il calcolo della massima lunghezza protetta viene eseguito mediante il criterio proposto dalla norma CEI 64-8 al paragrafo 533.3, secondo cui la corrente di cortocircuito presunta è calcolata come:

$$I_{ctocto} = \frac{0.8 \cdot U}{1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot \frac{L_{max \ prot}}{S_f}}$$

partendo da essa e nota la taratura magnetica della protezione è possibile calcolare la massima lunghezza del cavo protetta in base ad essa.

Pertanto:

$$L_{max \ prot} = \frac{0.8 \cdot U}{1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot \frac{I_{ctocto}}{S_f}}$$

Dove:

- U: è la tensione concatenata per i neutro non distribuito e di fase per neutro distribuito;
- ρ è la resistività a 20°C del conduttore;
- m: rapporto tra sezione del conduttore di fase e di neutro (se composti dello stesso materiale);
- I_{mag} : taratura della magnetica.

Viene tenuto conto, inoltre, dei fattori di riduzione (per la reattanza):

- 0.9 per sezioni di 120 mm²;
- 0.85 per sezioni di 150 mm²;
- 0.8 per sezioni di 185 mm²;
- 0.75 per sezioni di 240 mm².

Per ulteriori dettagli vedi norma CEI 64-8 par.533.3 sezione commenti.

5.1.18 Protezione dai contatti diretti

Tutti gli impianti dovranno essere realizzati in modo che le persone non possano venire a contatto con le parti in tensione se non previo smontaggio o distruzione degli elementi di protezione.

L'isolamento dei componenti elettrici costruiti in fabbrica dovrà soddisfare le relative norme di legge.

Per gli altri componenti elettrici la protezione dovrà essere assicurata da un isolamento tale da resistere alle influenze meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali l'impianto può essere assoggetto durante l'esercizio.

In particolare la protezione dai contatti diretti dovrà essere assicurata mediante isolamento delle parti attive e mediante involucri o barriere saldamente fissate aventi grado di protezione non inferiore a IPXXB; le superfici superiori orizzontali delle barriere o degli involucri che sono a portata di mano devono avere grado di protezione non inferiore IPXXD, in conformità a quanto richiesto dalla Norma 64-8/4 art. 412.

Come protezione aggiuntiva dovranno essere utilizzati interruttori - relè differenziali che proteggono contro i contatti diretti in caso di insuccesso delle altre misure di protezione o di incuria da parte degli utenti.

5.1.19 Protezione dai contatti indiretti - sistema TN

Il sistema elettrico alimentato in M.T. a 15 kV è di prima categoria con cabina di proprietà dell'utente con sistema distributivo di tipo TN-S.

Per la protezione dai contatti indiretti è stata verificata la relazione:

$$I_a \leq U_o / Z_s$$

in cui:

U_o = valore efficace della tensione nominale fra fase e terra dell'impianto (230 V nel caso in esame);

I_a = valore in ampere della corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione in un tempo non superiore a:

5 secondi per i circuiti di distribuzione;

0.4 sec per circuiti terminali in ambienti ordinari (tensione di contatto massima $V_{camm}=50V$);

0.2 sec per circuiti terminali in ambienti particolari (tensione di contatto massima $V_{camm}=25V$).

Z_s = impedenza totale dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto, ed il conduttore di protezione fra il punto di guasto e la sorgente.

Tale verifica è stata effettuata nelle peggiori condizioni possibili e cioè in caso di guasto a fondo linea imponendo l'intervento istantaneo (magnetico) dell'interruttore di protezione.

In generale per la protezione delle linee di collegamento fra quadri saranno installati interruttori automatici con sganciatori magnetotermici differenziali selettivi, mentre per le linee che alimentano utenze terminali saranno installati interruttori automatici con sganciatori magnetotermici differenziali. Tale scelta deriva dalla considerazione che le stesse utenze possono essere alimentate sia dal sistema TN che dal sistema TT.

5.1.20 Protezione da sovracorrenti

Per la protezione da sovraccarico sono state verificate le disequivalenze:

I_b = corrente di impiego del circuito

$I_b \leq I_n \leq I_z$ I_n = corrente nominale dell'apparecchio di protezione

I_z = portata effettiva della conduttura

$I_f \leq 1.45 I_z$ I_f = corrente convenzionale di funzionamento dell'apparecchio di protezione.

Per gli interruttori automatici magnetotermici I_f è sempre inferiore o uguale a $1,45 I_n$; pertanto la seconda relazione è automaticamente soddisfatta se è soddisfatta la prima.

La protezione della conduttura contro il cortocircuito è stata effettuata verificando le condizioni relative al picco di corrente, all'energia specifica passante ed alla corrente minima di corto circuito in modo da coordinare tali valori con l'energia specifica passante sopportabile dai cavi e con l'energia specifica passante lasciata passare dai dispositivi di protezione.

In caso di protezione da corto circuito e sovraccarico assicurata da un solo dispositivo (interruttore automatico) esso è idoneo anche per proteggere la conduttura per un corto circuito in fondo alla linea. Quindi se la linea è protetta contro il sovraccarico la lunghezza massima protetta contro il corto circuito tende all'infinito.

Le condizioni precedenti si traducono nella verifica delle seguenti relazioni:

$I_{cu} > I_{cc}$ I_{cu} = potere di interruzione estremo dell'interruttore;

I_{cc} = corrente di cortocircuito presunta;

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

$I^2 t$ = valore dell'integrale di Joule = quantità dell'energia specifica si trasforma in calore durante il cortocircuito

S = sezione della linea [mm²]

K = coefficiente dipendente dal tipo di isolamento dei conduttori

$I_{minp} < I_{ccm}$

I_{minp} = corrente minima protetta dal dispositivo di protezione

I_{ccm} = corrente di cortocircuito minima (a fondo linea);

5.1.21 Potenze dispositivi installati in centrale e protezioni

Le potenze installate sono indicate negli allegati al progetto.

I dimensionamenti allegati sono stati verificati con apparecchiature di protezione Siemens.

Il costruttore dell'impianto dovrà, in fase di realizzazione dei lavori, effettuare i calcoli e le verifiche elettriche con le protezioni effettivamente installate.

5.1.22 Rifasamento

Il rifasamento si basa sulla espressione:

$$Q_{rif} = P_n \cdot (\tan \varphi - \tan \Theta)$$

nella quale Θ è l'angolo corrispondente al fattore di potenza a cui si vuole rifasare (0.9).

Il rifasamento sarà di tipo centralizzato. Saranno cioè inserite delle batterie di condensatori per rifasare alimentate dal Powew Center.

Saranno inserite anche batterie di rifasamento a valle dei trasformatori per compensare l'energia reattiva assorbita a vuoto dalla macchina.

La corrente nominale della batteria di condensatori viene calcolata tramite la:

$$I_{nc} = \frac{Q_{rif}}{k_{ca} \cdot V_n}$$

nella quale Q_{rif} viene espressa in kVAR.

Le correnti nominali e di taratura delle protezioni, devono tenere conto (CEI 33-5) che ogni batteria di condensatori può sopportare costantemente un sovraccarico del 30% dovuto alle armoniche; inoltre deve essere ammessa una tolleranza del +15% sul valore reale della capacità dei condensatori.

Pertanto la corrente nominale dell'interruttore deve essere almeno di $I_{tarth}=1.53 I_{nc}$.

Infine la taratura della protezione magnetica non dovrà essere inferiore a $I_{tarmag}=10 I_{nc}$.

5.1.23 Riferimenti normativi

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI 11-25 2001 IIa Ed. (EC 909): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIa Ed. 1998: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3 IV Ed. 1991: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e simili.
- CEI 33-5 Ia Ed. 1984: Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia.

a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 660V.

- CEI 64-8 Va Ed. 2003: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- CEI UNEL 35023 1970: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.

- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastometrico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.

Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 11-1 IXa Ed. 1999: Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica
- CEI 11-17 IIa Ed. 1997: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.

5.2 Protezione contro le scariche atmosferiche

Il calcolo probabilistico di fulminazione e le misure di protezione contro le scariche atmosferiche determina la protezione adottata.

5.3 Calcoli illuminotecnici

I calcoli sono stati effettuati utilizzando la norma: “Illuminazione di interni con luce artificiale” UNI 10380.

In particolare l'impianto di illuminazione utilizzerà corpi illuminanti dotati di lampade che dovranno soddisfare i requisiti minimi indicati nella tabella sottostante che sono:

- Illuminamento medio di esercizio E_n ,
- tonalità di colore,
- gruppo di resa del colore e classe di controllo dell'abbagliamento.

Tipo di interno, compito e attività	E_n	G	Ra
-------------------------------------	-------	---	----

Cabina)	200	D	1B
Quadri elettrici – visualizzatore-PC pannel – comandi e lettura dati e segnalazioni	500	A	1B
Aree esterne agli edifici	20		

Si è previsto un impianto razionale, efficace e con un massimo rendimento.

Il numero e la potenza delle lampade occorrenti dipendono dalla superficie del locale, dall'illuminamento medio desiderato sul piano di lavoro, dal tipo di apparecchio illuminante adottato, dalla larghezza e lunghezza del locale in rapporto all'altezza delle sorgenti luminose, dal potere riflettente delle pareti e del soffitto ed infine dal grado di manutenzione previsto per l'impianto.

Il metodo di calcolo del fattore di utilizzazione o del flusso totale, utilizzato, è basato sulla conoscenza di una serie di fattori forniti dall'esperienza ed a tenuto conto dei fattori di riflessione delle pareti e del soffitto.

Si chiama fattore di utilizzazione U il rapporto tra il flusso luminoso Φ_u effettivamente ricevuto ed utilizzato sul piano di lavoro e quello totale Φ_e emesso dalle lampade nude:

$$U = \frac{\Phi_u}{\Phi_e}$$

Il fattore di utilizzazione è una grandezza adimensionale che indica in quale percentuale il flusso emesso dalla sorgente venga effettivamente utilizzato. Questo fattore viene ricavato sperimentalmente ed è funzione del tipo di corpo illuminante, del fattore di riflessione di pavimento, soffitto e pareti, della struttura geometrica del locale e della distanza della sorgente luminosa sia dal soffitto (h_s) che dal piano di illuminazione (h) posto convenzionalmente a 0,8 m dal pavimento e chiamato anche piano utile.

Le grandezze geometriche che, a parità di altre condizioni influiscono sul fattore di utilizzazione possono essere utilmente caratterizzate da un numero puro chiamato indice del locale K. Per l'illuminazione diretta, semi-diretta e mista l'indice del locale dipende dalle dimensioni dell'ambiente (larghezza a, lunghezza b) e

dall'altezza di sospensione h degli apparecchi illuminanti rispetto al piano di lavoro.

Esso è espresso dalla formula:

$$K = \frac{a \cdot b}{h (a + b)}$$

Per l'illuminazione indiretta e semi-indiretta al posto dell'altezza di sospensione h va, invece, considerata l'altezza del soffitto H sul piano di lavoro e la formula diviene:

$$K = \frac{a \cdot b}{H (a + b)}$$

L'indice del locale K è inferiore a 1 per i locali alti e stretti, maggiore di 1 per quelli ampi e bassi. Il fattore di utilizzazione U varia assai poco per valori di K maggiori di 5, per cui si potrà adottare per K il valore di 5, senza commettere errori apprezzabili, anche quando dalla formula si ottiene un valore maggiore.

Calcolo del flusso luminoso

La formula risolutiva per il calcolo di un impianto di illuminazione col metodo del flusso totale adottata è la seguente:

$$n \cdot \varphi = \Phi = \frac{E \cdot A}{U \cdot M}$$

essendo:

- n il numero delle lampade;
- il flusso iniziale di ciascuna lampada nuda in lm;
- il flusso globale emesso dalle lampade nude, supposte tutte uguali, in lm;
- E l'illuminamento medio sul piano di lavoro in lx;
- A la superficie del piano utile in m²;
- U il fattore di utilizzazione;
- M il fattore di conservazione (manutenzione).

5.4 Impianto di illuminazione di sicurezza

E' stato previsto un impianto di illuminazione di emergenza costituito da inverter installati nei corpi illuminanti in grado di garantire un illuminamento minimo di 5 lux per una durata di 1 ora. In caso di black-out le lampade dotate del kit autonomo di emergenza si accenderanno senza alcuna interruzione ed al ritorno della tensione la batteria si ricaricherà automaticamente, predisponendosi per l'intervento successivo.

5.5 Dimensionamento impianto di terra

L'impianto di terra sarà realizzato mediante la posa in opera di corda di rame nuda a diretto contatto con il terreno e di picchetti verticali in numero e caratteristiche necessarie per ottenere un valore della resistenza di terra dell'impianto e valori di tensione di passo e contatto adeguata alle caratteristiche delle apparecchiature di protezione e ai tempi di intervento dell'ente fornitore e dei parametri tecnici del gruppo di generazione e ai limiti imposti dalla normativa vigente.

Saranno inoltre realizzati tutti i collegamenti equipotenziali della cabina elettrica e della centrale.

Al termine dei lavori dovranno comunque essere effettuate le misure di terra e di verifica delle tensioni di passo e contatto verificando i limiti imposti dalle norme. In caso negativo dovrà essere prevista l'integrazione dell'impianto di terra.

Per l'edificio della centrale elettrica è prevista la messa a terra del conduttore neutro in bassa tensione, la distribuzione del sistema risulta pertanto del tipo TN-S. Il centro stella di ciascun trasformatore risulterà collegato ai collettori di terra ubicati nella centrale elettrica.

Un guasto in media tensione interesserà il dispersore dell'impianto di terra, il quale è chiamato a disperdere la corrente di guasto. Nel tempo di permanenza del guasto, nell'area dell'impianto, non si dovranno verificare tensioni di passo e contatto pericolose.

Tali limiti di tensione sono definiti dalle norme CEI 11-1, in relazione ai tempi di intervento delle protezioni di media tensione dell'Ente Erogatore.

5.5.1 Dati tecnici di progetto

Per il calcolo dimensionale della rete di terra si è considerato il valore della corrente di guasto a terra e di intervento delle protezioni sulla linea MT forniti dall'ENEL.

5.5.2 Norme di riferimento

Norma CEI 11-1, fascicolo 5025

Norma CEI 64-8 IV edizione

Norma CEI 64-12

Norma CEI 11-37

5.5.3 Dimensionamento con riferimento alle tensioni di contatto e di passo

Con riferimento al valore del tempo di intervento delle protezioni, $t \geq 10$ s, si ricava dalla curva della fig. 9-1 della norma CEI 11-1 il corrispondente valore della tensione di contatto ammissibile:

$$UTP = 75 \text{ V}$$

Si calcola di conseguenza il valore della resistenza di terra R_e più elevato ed accettabile, considerando come valore della corrente di guasto a terra, il valore I_g fornito dall'Ente erogatore (incrementato prudenzialmente del 10%):

$$R_e = UTP / I_g$$

5.5.4 Dimensionamento con riferimento al comportamento termico

Il calcolo delle sezioni minime del dispersore e dei conduttori di terra per correnti di guasto interrotte in meno di 5 s, si calcola mediante la seguente formula dell'allegato B della Norma CEI 11-1:

$$A = \frac{I}{K} \cdot \sqrt{\frac{t}{\left(\frac{\Phi f + \beta}{\Phi i + \beta} \right)}}$$

dove:

A è la sezione in millimetri quadrati del conduttore

I è la corrente del conduttore in ampere

t è la durata in secondi della corrente di guasto

K è una costante che dipende dal materiale (rame): vale 226 (vedi tab. B-1, CEI 11-1)

β è il reciproco del coeff. di temp. del rame a 0 °C: vale 234,5 (vedi tab. B-1, CEI 11-1)

θ_i è la temperatura iniziale in gradi Celsius: vale 20 °C

θ_f è la temperatura finale in gradi Celsius: vale 300 °C

Con il calcolo si trova il valore della sezione minima del dispersore e dei conduttori di terra.

5.5.5 Dimensionamento con riferimento alla resistenza meccanica e alla corrosione

Dispersori

Le dimensioni minime da adottare sono quelle prescritte dall'allegato A (norma CEI 11-1), dettate da considerazioni sulla resistenza meccanica e sulla corrosione; per il rame nudo in corda tale sezione risulta di 25 mm².

La sezione scelta per la corda di rame nudo per l'impianto in oggetto, pari a 95 mm², garantisce pertanto la resistenza meccanica e alla corrosione del dispersore. Tale corda sarà interrata ad una profondità di 0,8 metri.

5.5.6 Formule utilizzate per i dimensionamenti dell'impianto di terra

Resistenza del dispersore a maglia :

$$R_t = \rho \left[\frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \cdot \left[1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right]$$

nella quale:

R_t è la resistenza totale di terra in Ohm

ρ è la resistività del terreno Ohmm

A superficie dell'area da proteggere in m²

L_c è la Lunghezza totale dei conduttori interrati in m.

Tensione di maglia di angolo (tensione che in presenza di correnti di terra, viene assunta da un qualsiasi punto del perimetro di una maglia rispetto alla superficie del terreno al centro della maglia stessa):

$$E_{ma} = \rho \cdot I_g \cdot K_m \frac{K_i}{L_c}$$

nella quale

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{1+h}} \cdot \ln \left(\frac{4}{\pi N} \right) + \ln \left[\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right] \right] \cdot$$

e

$$K_i = 0.65 + 0.17N$$

con

D è la distanza tra due conduttori paralleli vicini in m.

h è la profondità di posa in m.

d è il diametro dei conduttori in m.

N è il numero dei conduttori paralleli che si contano su un lato del dispersore

Tensione di passo massima (tensione che può verificarsi in un dispersore a maglia in presenza di correnti di terra è quella che si manifesta tra uno spigolo del dispersore e un punto sul terreno a distanza di un metro dallo stesso):

$$E_p = \rho \cdot I_g \cdot K_s \cdot \frac{K_i}{L_c}$$

dove K_s vale

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \right)$$

Il contributo dei picchetti, considerando che la distanza tra i picchetti è piccola, si valuta:

$$R_t = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left(2 \cdot \frac{L}{R_e} \right)$$

dove R_e rappresenta il raggio equivalente medio geometrico del gruppo di picchetti considerato.

INDICE

	pagina
1. PREMESSA	1
2. IMPOSTAZIONI GENERALI	1
2.1 Collegamento delle centrali alla rete di distribuzione	3
2.2 Impianto fotovoltaico a terra Connessione 2	4
3. OPERE IN PROGETTO CENTRALE FOTOVOLTAICO A TERRA (LOTTO 2)	5
3.1 Impianti elettrici	5
3.2 Cabina elettrica di ricevimento a 15 kV e trasformazione 15/0.4 kV ed impianti elettrici a 15 kV	6
3.3 Dispositivi di sezionamento, celle e cavi a 15 kV	6
3.4 Quadri elettrici (quadri di potenza, comando, segnalazione, ausiliari e controllo) e cavi in bassa tensione	6
3.5 Impianti luce e FM della centrale	7
4. SOLUZIONI SPECIALISTICHE DI DIMENSIONAMENTO GENERALI	8
4.1 Dati di progetto	8
4.2 Utenze in bassa tensione	9
4.3 Struttura di supporto dei moduli fotovoltaici da installarsi su terreno	10
4.4 Moduli fotovoltaici per impianto a terra	10
4.5 Inverter	11
4.6 Trasformatori di potenza	12
4.7 Cabina di consegna e di connessione alla rete di distribuzione	13
4.8 Cabine di trasformazione di campo per impianto fotovoltaico a terra	14
4.9 La linea elettrica di Media tensione	14
4.10 Cavi elettrici in bassa tensione	14

4.11	Connessione e parallelo con la rete MT	16
4.11.1	Quadro normativo e regolatorio	16
4.11.2	Dispositivi generale e di interfaccia	20
4.11.3	Misura dell'energia prodotta e scambiata con la rete	20
4.12	IMPIANTO ANTINTRUSIONE E TVCC	21
4.13	Note su impianto TVCC e antintrusione	28
4.14	Dimensionamento cavedi e tubazioni	28
4.15	IMPIANTO DI TERRA ED EQUIPOTENZIALE - PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI	29
4.15.1	CONDUTTORI DI TERRA	29
4.15.2	CONDUTTORI EQUIPOTENZIALI	30
4.15.3	REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA	30
5.	DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI	37
5.1.1	Calcolo delle correnti di impiego	37
5.1.2	Dimensionamento dei cavi	38
5.1.3	Verifica della caduta di tensione	42
5.1.4	Dimensionamento dei conduttori di neutro	43
5.1.5	Dimensionamento dei conduttori di protezione	44
5.1.6	Calcolo della temperatura dei cavi	45
5.1.7	Identificazione dei conduttori	45
5.1.8	Protezione meccanica dei conduttori	45
5.1.9	Fornitura rete	45
5.1.10	Calcolo dei guasti	52
5.1.11	Calcolo delle correnti massime di cortocircuito	52
5.1.12	Motori asincroni	56
5.1.13	Calcolo delle correnti minime di cortocircuito	58
5.1.14	Scelta delle protezioni	60
5.1.15	Verifica di selettività	60
5.1.16	Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture	61
5.1.17	Massima lunghezza protetta	62
5.1.18	Protezione dai contatti diretti	63
5.1.19	Protezione dai contatti indiretti - sistema TN	64
5.1.20	Protezione da sovracorrenti	65
5.1.21	Potenze dispositivi installati in centrale e protezioni	66
5.1.22	Rifasamento	66
5.1.23	Riferimenti normativi	67
5.2	Protezione contro le scariche atmosferiche	68
5.3	Calcoli illuminotecnici	68
5.4	Impianto di illuminazione di sicurezza	71

5.5	Dimensionamento impianto di terra	71
5.5.1	Dati tecnici di progetto	72
5.5.2	Norme di riferimento	72
5.5.3	Dimensionamento con riferimento alle tensioni di contatto e di passo	72
5.5.4	Dimensionamento con riferimento al comportamento termico	72
5.5.5	Dimensionamento con riferimento alla resistenza meccanica e alla corrosione	73
5.5.6	Formule utilizzate per i dimensionamenti dell'impianto di terra	73

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica relativa agli impianti elettrici e di controllo costituisce parte integrante dei documenti di appalto per la realizzazione delle centrali di produzione di energia elettrica da realizzarsi sul lotto di terreno così individuate:

- Lotto II - Impianto solare fotovoltaico a terra potenza 3946,80 kWp.

2. IMPOSTAZIONI GENERALI

Lo studio degli impianti elettrici necessari per la nuova struttura in oggetto è stato fatto considerando le seguenti problematiche e necessità connesse con le particolari caratteristiche dell'impianto in esame:

- grosse concentrazioni di potenza;
- continuità di servizio;
- alti livelli di controllo e supervisione al fine di assicurare le prestazioni di produzione dell'energia elettrica, il suo controllo e l'applicazione di regimi di " "profili di carico elettrico"
- necessità di garantire il più alto livello di sicurezza.

Lo studio degli impianti elettrici ha, quindi, privilegiato l'individuazione di dispositivi, apparecchiature, macchinari ed impianti dotati di requisiti e prestazioni tecniche particolari, tese a soddisfare il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- razionalità nella configurazione dell'impianto;
- impiego di moderne tecnologie per il controllo dello stato degli impianti elettrici;
- massima affidabilità e continuità di esercizio;
- possibilità di ampliamento senza ricorrere a gravosi interventi di manutenzione con riduzione al minimo dei tempi di fermo impianto;
- uso di apparecchiature di Bassa tensione e di Media tensione che non necessitino di manutenzione ordinaria per un numero considerevole di anni;
- utilizzo di tecnologie mirate alla sicurezza ed alla affidabilità dell'impianto utilizzando reti di supervisione.

Sono previste le seguenti sorgenti di alimentazione:

- fornitura di energia di tipo normale, cioè quella fornita dall'ente erogatore a 15 kV;
- erogazione di energia verso la rete di distribuzione Enel. Tale energia è prodotta dalla centrale elettriche fotovoltaica a terra.
- erogazione di piccole sorgenti autonome di energia in grado di sopperire in diverso modo, ma comunque efficacemente, alla eventuale mancanza di energia da parte dell'ente erogatore al fine di garantire il mantenimento di servizi ausiliari, controlli e comandi.

Al fine di determinare la migliore soluzione riguardante l'impatto architettonico degli impianti elettrici ed in particolare modo della rete di distribuzione principale ed al fine di ottimizzare il progetto, si è ritenuto opportuno ricercare tra le possibili soluzioni impiantistiche quella che, oltre a minimizzare i costi iniziali, sia in grado di garantire costi minimi di gestione e di manutenzione.

Si è progettato un impianto elettrico di media tensione con distribuzione ad anello "aperto" dell'energia in media tensione al fine di consentire in caso di guasto in media la continuità dell'erogazione dell'energia prodotta verso la rete di distribuzione Enel tramite opportune manovre delle motorizzazioni delle celle di media tensione.

Le apparecchiature di Media tensione sono state scelte avendo cura di garantire un'elevata sicurezza per gli operatori e ricorrendo pertanto a dispositivi dotati di tenuta all'arco interno.

La mancanza di tensione di rete, segnalata tramite opportuni dispositivi di controllo, determina in tempo "zero" l'erogazione di energia tramite i quadri alimentato da batterie. Tale fonte di energia provvede ad erogare energia ai carichi "vitali".

A tale rete sono anche collegate tutte le linee di alimentazione indicate negli schemi allegati.

Per ogni lotto dal quadro elettrico generale si alimenteranno i quadri indicati nello schema a blocchi, schemi unifilari e nei lay-out allegati al progetto.

La gestione dei sistemi di intervento di stacco e di reinserimento delle linee è realizzata nella modalità manuale ed in quella automatica utilizzando il sistema di supervisione degli impianti elettrici e coordinata con il sistema di supervisione generale della centrale.

Come precedentemente accennato lo studio della distribuzione dell'energia elettrica ha perseguito l'obiettivo primario di garantire modularità del sistema ed elevato grado di sicurezza. La scelta dei sistemi di distribuzione dell'energia elettrica nelle singole aree e zone della struttura è stata effettuata considerando le diverse tipologie di utenza e le rispettive esigenze.

In particolare sono presenti le seguenti tipologie di utenze:

- impianti di illuminazione;
- impianti di elaborazione dati;
- impianti speciali;
- impianti forza motrice;
- impianti di sicurezza.

2.1 Collegamento delle centrali alla rete di distribuzione

Ognuno degli impianti dovrà essere connesso in parallelo alla rete di distribuzione pubblica se vengono rispettate le seguenti condizioni (CEI 0-16):

- il parallelo non deve causare perturbazioni alla continuità e qualità del servizio della rete pubblica per preservare il livello del servizio per gli altri utenti connessi;
- l'impianto di produzione non deve connettersi o la connessione in regime di parallelo deve interrompersi immediatamente ed automaticamente in assenza di alimentazione della rete di distribuzione o qualora i valori di tensione e frequenza della rete stessa non siano entro i valori consentiti;
- l'impianto di produzione non deve connettersi o la connessione in regime di parallelo deve interrompersi immediatamente ed automaticamente se il valore di squilibrio della potenza generata da impianti trifase realizzati con generatori monofase non sia compreso entro il valor massimo consentito per gli allacciamenti monofase.

Cio al fine di evitare che (CEI 0-16):

- in caso di mancanza di tensione in rete, l'utente attivo connesso possa alimentare la rete stessa;

- in caso di guasto sulla linea MT, la rete stessa possa essere alimentata dall'impianto fotovoltaico ad essa connesso;
- in caso di richiusura automatica o manuale di interruttori della rete di distribuzione, il generatore PV possa trovarsi in discordanza di fase con la tensione di rete, con possibile danneggiamento del generatore stesso.

2.2 Impianto fotovoltaico a terra Connessione 2

L'impianto funzionerà in parallelo alla rete di distribuzione in media tensione dell'Azienda di distribuzione Enel (cessione totale).

L'impianto nel suo complesso è costituito da insediamento di strutture di sostegno dei pannelli e dalle infrastrutture tecniche necessarie alla conversione DC/AC della potenza generata dall'impianto e dalla sua consegna al sistema di rete nazionale.

L'ottimizzazione dell'efficienza di captazione energetica è realizzata mediante orientamento statico dei pannelli, montati su pali infissi direttamente nel suolo.

L'impianto richiede una nulla presenza di personale di presidio, e personale dedicato a visite saltuarie per il diserbo e/o per ispezioni allo stato di integrità delle apparecchiature.

L'impianto è di tipo grid-connected ed è collegato alla rete elettrica con una connessione "trifase in media tensione".

L'impianto è così costituito (dal punto di vista elettrica) sinteticamente da:

- Generatori di energia elettrica utilizzando pannelli fotovoltaici montati a terra per una potenza complessiva di 3946,80 kWp suddivisa in cinque sottocampi distinti della potenza di 789,36 kWp.
- Gruppi di trasformazione 400 V /15000 V.
- Celle di media tensione
- Quadri di bassa tensione
- Sistema di supervisione e di telecontrollo.
- Inverter
- Quadri di campo
- Quadri di parallelo

3. OPERE IN PROGETTO CENTRALE FOTOVOLTAICO A TERRA (LOTTO 2)

3.1 Impianti elettrici

L'impianto è costituito (dal punto di vista elettrica) sinteticamente da:

- N.1 cabina elettrica di ricevimento e di trasformazione a 15 kV/400 V ubicata in prossimità della strada comunale Noraguguma Ottana distante dalla prima cabina di trasformazione dedicata ai campi fotovoltaici circa 500 m ;
- cabine elettriche di Trasformazione 15 kV /400 V; (n. 5 cabine per il lotto 2,).
- impianti elettrici a 15 kV;
- trasformatori 15/0.4 kV;
- dispositivi di sezionamento, celle e cavi a 15 kV;
- quadri elettrici (potenza, comando, misure, protezioni, segnalazione, ausiliari e controllo, eccetera);
- batterie di rifasamento;
- impianti luce e FM della cabina;
- impianto di illuminazione delle aree esterne;
- impianto di illuminazione di emergenza interna alla cabina;
- linee elettriche di media e bassa tensione;
- sistemi di supervisione di controllo che successivamente sarà connessa al sistema del comparto 1;
- cavedi e canalizzazioni;
- impianti di terra;
- accessori (segnaletica antinfortunistica, estintori, ...);
- Generatori di energia elettrica utilizzando pannelli fotovoltaici montati a terra .
- Quadri c.c. installati sul campo fotovoltaico.
- Quadri di parallelo in cabina.

Nel lotto numero 2 saranno installati N. 17160 moduli fotovoltaici di tipo monocristallino da 230 Wp per una potenza di complessiva del campo fotovoltaico pari a 3946,8 kWp.

3.2 Cabina elettrica di ricevimento a 15 kV e trasformazione 15/0.4 kV ed impianti elettrici a 15 kV

La cabina elettrica di ricevimento è composta di tre locali, uno ad uso esclusivo dell'ente distributore, il secondo destinato al contenimento delle apparecchiature di misura ed accessibile anche all'utente ed il terzo destinato al contenimento delle apparecchiature e dispositivi al servizio all'utente.

I locali hanno dimensioni e configurazione tale da contenere tutte le altre apparecchiature di pertinenza di ENEL DISTRIBUZIONE.

I locali sono conformi alle caratteristiche indicate nel documento ENEL ed agli accordi specifici elaborati con ENEL DISTRIBUZIONE.

E' oggetto del presente appalto il solo locale utente mentre il locale misura e il locale ENEL è oggetto di altro appalto.

Le cabine elettriche di trasformazione sono composte di un locale ad uso esclusivo dell'utente .

Tale cabina è destinata al contenimento delle apparecchiature e dispositivi al servizio all'utente.

Per le apparecchiature di MT sono previste celle con isolamento in SF6 e interruttore sottovuoto, trasformatori in resina, cavi di media tensione di tipo RG7H1R.

In particolare i quadri di MT saranno del tipo protetto con involucro metallico a prova d'arco interno, prive di manutenzione per tutta la durata della loro vita, adeguati alla tensione e potenza richiesta.

I quadri MT dovranno attuare gli schemi unifilari allegati al progetto.

3.3 Dispositivi di sezionamento, celle e cavi a 15 kV

I dispositivi a 15 kV da installare comprenderanno le celle dedicate al trasformatore 15 kV /0,4 kV al servizio del gruppo di generazione e comprenderanno, oltre alle apparecchiature del montante di gruppo e le protezioni di disaccoppiamento dalla rete, anche celle dedicate ai TA e ai TV.

3.4 Quadri elettrici (quadri di potenza, comando, segnalazione, ausiliari e controllo) e cavi in bassa tensione

Il sistema di quadri ed armadi di bassa tensione e di controllo e regolazione e supervisione comprende i seguenti principali quadri o armadi elettrici:

Lotto 2

- QPAC-AUX Quadro power center cabina di ricevimento allaccio
- QPAC-FV1.1 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.2 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.3 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.4 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPAC-FV1.5 QUADRO POWER CENTER LATO AC
- QPCC1-FV1.1 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.2 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.4 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.3 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC1-FV1.5 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.1 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.2 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.4 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.3 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- QPCC2-FV1.5 QUADRO POWER CENTER LATO DC
- N. 120 QUADRI DI SOTTOCAMPO FV

I collegamenti elettrici saranno realizzati mediante linee radiali fra quadri e utenze mediante linee in cavo posate all'interno di condutture e vie cavi destinate esclusivamente alla distribuzione in BT.

3.5 Impianti luce e FM della centrale

L'impianto di illuminazione della cabina sarà realizzato utilizzando corpi illuminanti fluorescenti stagni da 36 W e proiettori per l'illuminazione esterna da 250 W ubicati all'esterno a parete sulla cabina.

Nell'area esterna dovranno essere installati anche corpi illuminanti di tipo stradale su palo da 100 W.

L'illuminazione di emergenza sarà realizzata mediante kit inverter più batterie localizzati nei corpi illuminanti già previsti per l'illuminazione generale.

L'impianto prese di FM sarà realizzato con apparecchiature di tipo industriale CE-E17 aventi grado di protezione IP67.

4. SOLUZIONI SPECIALISTICHE DI DIMENSIONAMENTO GENERALI

Nel seguito si illustrano le soluzioni specialistiche adottate nel presente progetto e le modalità di risoluzione dei problemi adottate e da adottare nel progetto esecutivo.

4.1 Dati di progetto

- Tensione di alimentazione della rete MT ENEL DISTRIBUZIONE: 15000 V
- Tensione di alimentazione della rete BT ENEL DISTRIBUZIONE: 400/230 V
- Tensione nominale gruppi di generazione: 400 V
- Tensione di riferimento per l'isolamento delle apparecchiature MT 24 KV
- Potenza contrattuale vendita energia in MT Lotto 2 (Impianto fotovoltaico a terra 3946,80 kWp)
- Potenza contrattuale acquisto in MT: 20 kW
- Frequenza: 50 Hz
- Massima caduta di tensione sull'utilizzatore più sfavorito: 4 %
- Massima caduta di tensione sul pannello FV più sfavorito: 2 %

Tensione di alimentazione utenze elettriche:

- Per motori elettrici trifase: 400 Vca $\pm 5\%$ - 50 Hz;
- Per motori elettrici monofase: 230 Vca $\pm 5\%$ - 50 Hz ;
- Per apparecchiature ed illuminazione: 230 Vca $\pm 5\%$;
- Per circuiti di comandi: 24 Vca ;
- Per apparecchiature e circuiti di comandi e segnalazioni: 24 Vca .
- Tensione di alimentazione utenze in bassa tensione: 400/230 Volt
- Stato del neutro: a terra tramite impedenza
- Corrente di cortocircuito trifase minima 12,5 KA

I valori di guasto saranno comunicati dall'ENEL dovranno essere verificati dall'impresa installatrice al momento dell'effettiva installazione delle protezioni di media tensione e degli impianti delle centrali e conseguentemente dovranno essere tarate e dimensionate le protezioni ed apparecchiature.

I valori sopra indicati dovranno essere verificati dall'impresa installatrice al momento dell'effettiva installazione del gruppo di e conseguentemente dovranno essere tarate e dimensionate le protezioni ed apparecchiature.

Il progetto della centrale prevede l'installazione di gruppi di generazione alimentato a tensione 400 V.

Ogni sistema di generazione sarà collegato alla rete in media tensione a 15 kV di ENEL DISTRIBUZIONE mediante trasformatore elevatore 0,4/15 kV.

I calcoli di dimensionamento sono stati verificati sia nell'ipotesi di sistema di distribuzione di sistema di tipo TN-S che di sistema di tipo IT (alimentazione dal Gruppo di generazione).

Gli impianti elettrici relativi all'intervento in esame sono stati progettati a partire dal punto di consegna ENEL.

4.2 Utenze in bassa tensione

A valle del trasformatore 15/0,4 kV si alimenteranno le utenze indicate negli schemi unifilari allegati al progetto mediante linee in cavo e distribuzione radiale semplice dal quadro generale power center.

Le caratteristiche di ogni singolo quadro e delle utenze effettivamente collegate ad ogni quadro sono indicate negli schemi unifilari.

Tutta la distribuzione dell'energia in bassa tensione è realizzata mediante un sistema di tipo radiale semplice.

I collegamenti elettrici principali fra il quadro power center e i quadri elettrici o armadi o sezioni di quadro di primo livello saranno realizzati mediante linee in cavo posate all'interno di cunicoli appositamente predisposti ed indicati negli elaborati allegati.

I cavi appartenenti a sistema elettrici differenti (BT, MT, Segnali) saranno posati in cunicoli e cavedi differenti comunque separati per rispettare gli specifici livelli di isolamento e per garantire una semplice ed immediata identificazione di cavi bT, cavi MT e cavi di segnale.

4.3 Struttura di supporto dei moduli fotovoltaici da installarsi su terreno

La struttura di sostegno dei moduli sarà costituita da una struttura in acciaio zincato a caldo autoportante inclinata di 30°, realizzata con elementi tubolari aventi diametro pari a 60mm x 2mm di spessore, su cui saranno fissati i pannelli mediante morsetti intermedi e terminali realizzati in acciaio inox AISI304.

L'ancoraggio a terra della struttura sarà effettuata con micropali dotati di compensazione telescopica dei dislivelli e taratura verticale degli steli. Le stringhe saranno allineate parallelamente al loro asse maggiore, mantenendo tra di esse un adeguato interasse al fine di evitare ombreggiamenti reciproci alle ore 12 del solstizio invernale nonché consentire l'accesso per le operazioni di montaggio e manutenzione dell'impianto.

I moduli fotovoltaici e la struttura di sostegno hanno prestazioni meccaniche idonee a sopportare i carichi statici, da neve e vento secondo la normativa vigente.

Le dimensioni costruttive della struttura di sostegno saranno tali da assicurare una quota minima del modulo rispetto al piano di campagna superiore al valore di 0,5m, per agevolare lo sfalcio meccanico di eventuale vegetazione.

4.4 Moduli fotovoltaici per impianto a terra

I pannelli fotovoltaici, scelti per la realizzazione dell'impianto, sono del tipo Policristallino, da 230Wp, dotati di Junction Box installata sul lato posteriore con le due polarità sui lati contrapposti e con cavetti di connessione muniti di connettori ad innesto rapido, al fine di garantire la massima sicurezza per gli operatori e rapidità in fase di installazione.

I componenti installati risulteranno conformi alle normative tecniche di riferimento già riportate. I moduli scelti saranno in classe II di isolamento.

I moduli fotovoltaici degli impianti di cui al Titolo II dovranno essere certificati in accordo alla norma CEI EN 61215 se realizzati con silicio cristallino, con la norma CEI EN 61646. Potenza 230 Wp. 20 anni di garanzia del prodotto da difetti di materiali e lavorazione decadimento costante dello 0,5% annuo*, 25 anni di garanzia del rendimento non inferiore al 80% e 12 anni di garanzia del rendimento non inferiore al 90%.

Il generatore è composto nel complesso da n° 17160 moduli del tipo Silicio policristallino.

Inoltre per l' impianto proposto ricadente nel Titolo saranno trasmessi al GSE, la seguente ulteriore documentazione:

- certificato rilasciato dal produttore dei moduli fotovoltaici, attestante l'adesione dello stesso a un sistema o consorzio europeo che garantisca, a cura del medesimo produttore, il riciclo dei moduli fotovoltaici utilizzati al termine di vita utile ;
- certificato rilasciato dal produttore dei moduli fotovoltaici, attestante che l'azienda produttrice dei moduli possiede le certificazioni ISO 9001:2008 (Sistema di gestione della qualità), OHSAS 18001 (Sistema di gestione della salute e sicurezza del lavoro) e ISO 14000 (Sistema di gestione ambientale)
- certificato di ispezione di fabbrica rilasciato da ente terzo notificato a livello europeo o nazionale (membro della IECEE nell'ambito fotovoltaico).

4.5 Inverter

L'unità di conversione di potenza con uscita trifase per funzionamento in parallelo alla rete, 3-400 V , 50 Hz. Alla tensione di uscita trifase per funzionamento in parallelo dovrà essere allacciato il trasformatore elevatore 0,4 kV / 15 kV (nel caso in progetto, ad eventuali variazioni della tensione di uscita dell'inverter deve corrispondere un adeguato trasformatore).

Le esigenze da soddisfare al fine di realizzare un impianto a regola d'arte sono:

- adeguata suddivisione dei pannelli FV in stringhe ed in campi fotovoltaici al fine di garantire una equilibrata ripartizione su più inverter;
- dimensionamento delle singole stringhe e dei campi FV in modo da garantire il funzionamento sempre all'interno del range di MPPT dell'inverter;
- ottenere un sufficiente equilibrio tra i vari campi fotovoltaici;
- raggiungere un sufficiente grado di sfruttamento della potenzialità dell'inverter

La composizione dei campi fotovoltaici, è stata progettata al fine di garantire nelle varie condizioni di funzionamento, una tensione del sistema c.c., perfettamente all'interno del range del MPPT degli inverter; per ottenere tale risultato, si è previsto il cablaggio dei campi in stringhe da 22 pannelli FV in serie.

La configurazione di impianto dovrà essere ottimale, infatti considerando le esperienze fin qui condotte sugli impianti fotovoltaici, e riportate sulla bibliografia tecnica disponibile, il range ottimale per l'accoppiamento tra generatore FV ed inverter, deve essere tale per cui il rapporto tra potenza massima di ingresso dell'inverter e potenza di picco del generatore FV, risulti compreso nell'intervallo $90 \div 120\%$.

Gli inverter utilizzati dovranno tener conto delle esigenze della rete elettrica, prestando i seguenti servizi e protezioni:

- mantenere insensibilità a rapidi abbassamenti di tensione;
- consentire la disconnessione dalla rete a seguito di un comando da remoto;
- aumentare la selettività delle protezioni, al fine di evitare fenomeni di disconnessione intempestiva dell'impianto fotovoltaico;
- consentire l'erogazione o l'assorbimento di energia reattiva;
- limitare la potenza immessa in rete (per ridurre le variazioni di tensione della rete);
- evitare la possibilità che gli inverter possano alimentare i carichi elettrici della rete in assenza di tensione sulla cabina della rete.

4.6 Trasformatori di potenza

Nella scelta dei trasformatori di potenza è stato preferito l'uso del tipo a secco inglobato in resina per una serie di vantaggi che rispondono in maniera adeguata agli obiettivi ed alle esigenze proprie della progettazione in oggetto. Tali vantaggi si riassumono nei seguenti punti:

- totale assenza di liquidi e quindi delle problematiche legate alla loro raccolta;
- ampia possibilità di impiego legata alla sicurezza intrinseca verso l'incendio;
- drastica riduzione degli interventi di manutenzione;
- ottime prestazioni;
- economia di esercizio;
- massima affidabilità di funzionamento.

Tutti i trasformatori sono stati perciò scelti del tipo a secco con isolamento in resina costruiti in conformità alle seguenti Norme:

- IEC 726 / CEI 14-8;

- CENELEC HD 464 e HD 528;
- DIN 42 523.

La classe dei trasformatori non dovrà essere inferiore a:

- E2 (classe ambientale);
- C2 (classe climatica);
- F1 (classe di comportamento al fuoco).

Le taglie dei trasformatori sono le seguenti:

- 1000 kVA 15kV/0,4 kV dedicato al campo fotovoltaico (lotto II)
- 160 kVA 15kV/0,4 kV dedicato agli ausiliari nella cabina di connessione alla rete di distribuzione (lotto II)
- 25 kVA 400 V/400 V dedicato agli ausiliari nella cabina di campo (N.5)

Tensione di corto circuito dei trasformatori 6%.

4.7 Cabina di consegna e di connessione alla rete di distribuzione

E' prevista la realizzazione di una cabina che consentirà l'allaccio alla rete di distribuzione dell'Enel.

L'immissione dell'energia prodotta avverrà nella cabina di consegna Energia, suddivisa in locale ricezione MT a disposizione dell'Enel, locale misure e locale utenti.

All'interno del locale utente saranno alloggiati (vedi anche schema unifilare):

- n.1 quadro generale MT contenente:

* i TA e TV dedicati al contatore di misura dell'energia prodotta;

* l'interruttore (dispositivo) generale (DG);

* la protezione generale (PG) con funzione 50 51 50N 51N 67 N azionante l'interruttore generale (DG) dotato di bobina di minima tensione;

* l'interruttore (dispositivo) interfaccia (DDI);

* la protezione interfaccia (PI) operante sul lato MT ed agente sulla bobina di minima tensione DG quale comando di ricalzo;

- n.1 gruppo di assoluta continuità (UPS) per l'alimentazione degli ausiliari ed in particolare dei sistemi di protezione generale e dei sistemi di protezione d'interfaccia.

4.8 Cabine di trasformazione di campo per impianto fotovoltaico a terra

Gli inverter (quattro per ogni cabina) saranno ubicati all'interno della cabina di dimensioni adeguate e dotata di idonee aperture di accesso.

L'energia prodotta dai sistemi di conversione cc/ca (inverter) sarà immessa nel lato BT di un trasformatore 15/0,4 kV (con funzione di isolamento), attraverso i dispositivi di generatore (DDG) .

Per ognuna delle cabine sarà prevista la realizzazione di un impianto di ventilazione naturale che utilizza un sistema di griglie posizionate nelle pareti in due differenti livelli e un impianto di estrazione adeguato allo smaltimento dei carichi termici introdotti nel locale dalle apparecchiature che entrerà in funzione nel periodo di massima temperatura estiva.

4.9 La linea elettrica di Media tensione

L'elettrodotto sarà realizzato con percorso interamente interrato.

I cavi saranno del tipo RG7H1R

4.10 Cavi elettrici in bassa tensione

L'elettrodotto sarà realizzato con percorso interamente interrato.

I cavi utilizzati in un impianto fotovoltaico devono essere in grado di sopportare, per la durata di vita dell'impianto stesso (20-25 anni), severe condizioni ambientali in termini di elevata temperatura, precipitazioni atmosferiche e radiazioni ultraviolette.

I cavi devono avere una tensione nominale adeguata a quella dell'impianto. In corrente continua, la tensione d'impianto non deve superare del 50% la tensione nominale dei cavi che si riferisce al loro impiego in c.a. (in c.a. la tensione d'impianto non deve superare la tensione nominale dei cavi).

Le condutture sul lato c.c. dell'impianto devono avere un isolamento doppio o rinforzato (classe II) in modo da ridurre il rischio di guasti a terra ed i cortocircuiti (CEI 64-8).

I cavi sul lato c.c. si distinguono in:

- cavi solari (o di stringa) che collegano tra loro i moduli e la stringa al primo quadro di sottocampo o direttamente all'inverter;
- cavi non solari che sono utilizzati a valle del primo quadro.

I cavi che collegano tra loro i moduli sono installati nella parte posteriore dei moduli stessi, laddove la temperatura può raggiungere i 70-80°C. Tali cavi devono quindi essere in grado di sopportare elevate temperature e resistere ai raggi ultravioletti, se installati a vista. Pertanto si usano cavi particolari, usualmente unipolari con isolamento e guaina in gomma, tensione nominale 0.6/1kV, con temperatura massima di funzionamento non inferiore a 90°C e con una elevata resistenza ai raggi UV.

I cavi non solari posti a valle del primo quadro, si trovano ad una temperatura ambiente non superiore a 30-40°C, dato che sono lontano dai moduli.

Tali cavi non hanno resistenza contro i raggi UV, pertanto, se posati all'esterno, devono essere protetti dalla radiazione solare in tubi o canali ed essere comunque con guaina per uso esterno. Se invece sono posati all'interno di edifici valgono le regole usuali degli impianti elettrici.

I collegamenti tra i moduli, le stringhe e le cassette di parallelo, saranno realizzati attraverso l'utilizzo di cavi solari unipolari tipo FG7M2 (PV1500VCC) con tensione di isolamento 0,9/1,5 kV in corrente continua.

Inoltre nei tratti in esterno, i conduttori saranno protetti attraverso la posa all'interno di specifica canalizzazione di protezione.

I cavi come detto saranno unipolari per incrementare la sicurezza contro eventuali cortocircuiti e rendere più agevole la posa.

Il collegamento tra i moduli in serie per la realizzazione delle stringhe, avverrà con l'utilizzo di sistemi di collegamento rapido a spine.

I conduttori di stringa andranno ad attestarsi alle relative quadri di parallelo da cui partono le dorsali in corrente continua verso gli inverter centralizzati posizionati nella cabina MT/BT della sezione d'impianto corrispondente.

I cavidotti utilizzati per la distribuzione, del tipo a doppia parete, sono posati ad una profondità minima di 60cm e comunque come riportato negli elaborati allegati; prima del riempimento dello scavo, si provvederà a stendere un nastro segnalatore di sicurezza.

I cavi di collegamento in corrente alternata saranno del tipo FG7

3.1.6 Distribuzione elettrica

Nelle centrali i collegamenti dei dispositivi e delle apparecchiature in bassa tensione dovranno essere realizzati mediante cavi elettrici. In particolare si avranno:

- Cavi di energia in Bassa tensione a 400 / 230 V
- Cavi per il controllo, segnalazione e comando
- Cavi in fibra ottica
- Cavi telefonici
- Cavi per rete dati e bus

4.11 Connessione e parallelo con la rete MT

4.11.1 Quadro normativo e regolatorio

La connessione alla rete di Enel Distribuzione dovrà rispettare il quadro normativo e regolatorio determinato in particolar modo dalla pubblicazione ed entrata in vigore di:

- Norma CEI 0-16 (allegato A alla Delibera ARG/elt 33/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas) "Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia elettrica";
- Delibera ARG/elt 33/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 33/08)
- Delibera ARG/elt 119/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 119/08)
- Delibera ARG/elt 99/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 99/08), recante in Allegato A il "Testo integrato connessioni attive" (TICA);
- Delibera ARG/elt 179/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito Delibera 179/08).

Di seguito sono riportati i principali riferimenti normativi richiamati nel testo o comunque di supporto:

- Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79/99: "Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica"

- Decreto Legislativo 29 dicembre 2003 n. 387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'energia"
- Decreto MiSE 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 281 del 19 dicembre 2005: "Condizioni per l'erogazione del servizio di connessione alle reti elettriche con tensione nominale superiore ad 1 kV i cui gestori hanno obbligo di connessione di terzi"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 168 del 30 dicembre 2003: "Condizioni per l'erogazione del pubblico servizio di dispacciamento dell'energia elettrica sul territorio nazionale e per l'approvvigionamento delle relative risorse su base di merito economico, ai sensi degli articoli 3 e 5 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79" e relativo Allegato A modificato con ultima deliberazione n.20/06
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 39 del 28 febbraio 2001: "Approvazione delle regole tecniche adottate dal Gestore della rete di trasmissione nazionale ai sensi dell'articolo 3, comma 6, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 333 del 21 dicembre 2007: "Testo integrato della regolazione della qualità dei servizi di distribuzione, misura e vendita dell'energia elettrica" - TIQE
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 348 del 29 dicembre 2007: "Testo integrato delle disposizioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas per l'erogazione dei servizi di trasmissione, distribuzione e misura dell'energia elettrica per il periodo di regolazione 2008-2011 e disposizioni in materia di condizioni economiche per l'erogazione del servizio di connessione" e relativi allegati: Allegato A, di seguito TIT, Allegato B, di seguito TIC
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 99/08 del 23 luglio 2008: "Testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica (Testo integrato delle connessioni attive - TICA)"
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 179/08 del 11 dicembre 2008: "Modifiche e integrazioni alle deliberazioni dell'Autorità per

l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 e n. 281/05 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica"

- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 125/10 del 6 agosto 2010: "Modifiche e integrazioni alla deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione (TICA)"
- Norma CEI 0-16 "Regole Tecniche di Connessione (RTC) per Utenti attivi ed Utenti passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica"
- Norma CEI 0-14 "Guida all'applicazione del DPR 462/01 relativa alla semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra degli impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi"
- Norma CEI 11-1 "Impianti elettrici con tensione superiore ad 1 kV in corrente alternata"
- Norma CEI 11-4 "Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne"
- Norma CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica - Linee in cavo"
- Norma CEI 11-32 "Impianti di produzione di energia elettrica connessi a sistemi di III categoria"
- Norma CEI 11-46 "Strutture sotterranee polifunzionali per la coesistenza di servizi a rete diversi - Progettazione, costruzione, gestione ed utilizzo - Criteri generali di posa"
- Norma CEI 11-47 "Impianti tecnologici sotterranei - Criteri generali di posa"
- Norma CEI 11-61 "Guida all'inserimento ambientale delle linee aeree esterne e delle stazioni elettriche"
- Norma CEI 11-62 "Stazioni del cliente finale allacciate a reti di terza categoria"
- Norma CEI 11-63 "Cabine Primarie"
- Norma CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua"

- Norma CEI 103-6 "Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto"
- Norma CEI EN 50086 2-4 "Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche Parte 2-4: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati"
- DK 4281 "Impianti di terra delle cabine primarie"
- DK 4452: "Criteri di taratura degli impianti di distribuzione MT ed esempi tipici di coordinamento delle protezioni di rete e di utenza"
- DK 4460: "Corrente di guasto a terra nelle reti MT"
- DK 4461: "Impianti di terra delle cabine secondarie"
- Decreto Legislativo 9 Aprile 2008 n. 81 - "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"
- D.P.R. 22 Ottobre 2001 n. 462 "Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi"
- Decreto Legislativo 1 agosto 2003 n. 259 "Codice delle comunicazioni elettroniche"
- D.M. 12 Settembre 1959 "Attribuzione dei compiti e determinazione delle modalità e delle documentazioni relative all'esercizio delle verifiche e dei controlli previste dalle norme di prevenzione degli infortuni sul lavoro"
- D.M. 25 settembre 1992 "Approvazione della convenzione-tipo prevista dall'art. 22 della legge 9 gennaio 1991, n. 9, recante norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali".
- Qualsiasi norma e D.M. emessa nel periodo di esecuzione delle opere relativamente a connessione, gestione energia ed allaccio.

4.11.2 Dispositivi generale e di interfaccia

Il dispositivo generale è costituito da (CEI 0 -16):

- un interruttore tripolare in esecuzione estraibile con sganciatore di apertura;
Per il comando di apertura del dispositivo generale per azione della protezione generale deve essere impiegata una bobina a mancanza di tensione, poiché, qualora per qualsiasi motivo venga a mancare la tensione di alimentazione della protezione generale, si verifica l'apertura del dispositivo generale anche in assenza di comando proveniente dalla protezione generale.

La protezione generale comprende (CEI 0-16):

- un relè di massima corrente di fase a tre soglie d'intervento, una a tempo dipendente inverso $I>$ (soglia sovraccarico 51), due a tempo indipendente $I>>$ (soglia con ritardo intenzionale 51) e $I>>>$ (soglia istantanea 50);
- un relè di massima corrente omopolare di terra 51N a due soglie d'intervento a tempo indipendente $I_{0>}$ e $I_{0>>}$, una per i guasti monofase a terra ed una per i guasti doppi monofase a terra, un rele di protezione direzionale di terra a due soglie 67N.1 e 67N.24, una per la selezione dei guasti interni in caso di reti funzionanti a neutro compensato ed una in caso di neutro isolato, in aggiunta al rele di massima corrente omopolare ad una soglia per i guasti doppi monofase a terra.

Il dispositivo d'interfaccia è posto nel lato media tensione.

4.11.3 Misura dell'energia prodotta e scambiata con la rete

Negli impianti connesso alla rete pubblica è necessaria l'inserzione di sistemi di misura al fine di rilevare:

- l'energia elettrica prelevata dalla rete;
- • l'energia elettrica immessa in rete;
- • l'energia prodotta dal generatore.

La misura dell'energia scambiata con la rete è in genere effettuata da un unico contatore M2 elettronico bidirezionale ed il sistema di misura deve essere di tipo

orario. La misura dell'energia prodotta viene effettuata da un contatore M1 che deve essere in grado di rilevare l'energia prodotta su base oraria ed essere dotato di un dispositivo per l'interrogazione ed acquisizione per via telematica delle misure da parte del gestore di rete.

4.12 IMPIANTO ANTINTRUSIONE E TVCC

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di videosorveglianza per il controllo del territorio occupato dai sistemi di generazione di energia elettrica previsti con il presente progetto.

Il sistema si occuperà di monitorare, sorvegliare, registrare, visualizzare 24h/24h il transito e gli accessi ai siti garantendo molteplici finalità: protezione civile, controllo del traffico, reati e violazioni del codice penale, vigilanza ambientale.

L'impianto deve poter gestire l'interazione con sistemi d'allarme e deve avere un'architettura modulare, quindi poter essere modificato e potenziato in futuro.

L'apparato principale deve essere installato presso la sala supervisione e dovrà comunicare e gestire telecamere e/o eventuali sistemi client da locale o da remoto, sfruttando i collegamenti via cavo (rete LAN o fibra ottica) o wireless (ponti radio o reti wi-fi).

Il sistema prevede telecamere brandeggiabili (Speed Dome), da esterno e, oppure ad ottica fissa, da interno o da esterno, il tutto comprensivo di staffe e/o custodie per la perfetta posa in opera.

Tutte le telecamere dovranno essere:

- a colori;
- ad alta risoluzione o megapixel;
- in grado di gestire la modalità Day&Night e di funzionare in casi di abbagliamento notturno, scarsa illuminazione o controllo luce solare;
- in grado di fornire un esauriente zoom ottico e digitale.

La fornitura deve rispondere alle seguenti caratteristiche:

- facile espandibilità dell'impianto in caso di necessità;
- costante mantenimento della qualità video in conseguenza anche al variare delle condizioni ambientali ed atmosferiche.
-

Il sistema che viene richiesto si articola nel seguente modo:

- una serie di periferiche costituite da telecamere che dovranno mantenere la qualità del segnale video costante al variare delle condizioni atmosferiche, ambientali e nel tempo, senza necessità di ulteriori manutenzioni;

- un centro operativo di controllo e supervisione, che sarà il punto di convergenza e di gestione di tutti i dati raccolti e trasmessi dalle stazioni periferiche.

La sala di controllo, dovrà essere dotata di apparati per il controllo del sistema, mentre il server dati sarà collocato in sicurezza.

Tutti i collegamenti dovranno essere configurati, dalla ditta aggiudicataria, con apparati certificati a norma, che garantiscano l'invio di immagini/dati in tempo reale.

Il software di gestione dovrà essere dotato di interfaccia intuitiva ed affidabile, che semplifichi l'operatività del personale, a tutto vantaggio della produttività. Le procedure di registrazione e automazione garantiranno le prestazioni del sistema ad un livello ottimale anche in assenza del personale di controllo.

Il sistema di controllo televisivo a circuito chiuso (TVCC) deve avere le seguenti caratteristiche:

Riferimenti normativi

CEI EN 50132 - 7 (CEI 79 - 10)

Un sistema TVCC è costituito normalmente dai seguenti elementi:

- apparati di ripresa;
- apparati di comunicazione;
- apparati di videoregistrazione.

1. apparati di ripresa

Gli apparati di ripresa devono essere costituiti da telecamere allo stato solido (CCD) tipo colore; potranno essere ad alta risoluzione o con risoluzione standard, ad alta o media sensibilità e l'alimentazione dovrà essere in bassissima tensione (12 o 24 Vcc).

Le unità di ripresa dovranno essere scelte in base alle condizioni di illuminamento delle scene da riprendere, alle esigenze di risoluzione ottica desiderate ed avere le caratteristiche sotto riportate:

- Telecamera IP 2 megapixel con IR integrati da esterno
Telecamera IP Speed-Dome Mod. TLC7243C da esterno

2. apparati di comunicazione

Gli apparati di comunicazione saranno:

- in fibra ottica;

3. apparati di videoregistrazione

L'apparecchiatura di videoregistrazione digitale dovrà rispondere ai seguenti requisiti minimi:

Hardware:

- apparato contenuto in robusto case in alluminio di dimensioni 430x160x450, peso c.a 9 kg; oppure rack 19" 4U (robusto châssis industriale -CE- 440x180x450 mm);
- tensione di alimentazione a 220V CA 50/60Hz e temperatura di esercizio da 0 a 40°C;
- controllo temperature Delta T. controller su HDD;
- microprocessore socket 775 pin processor Dual Core 2GHz o superiore;
- smart raid controller mirror s-ata mode interface (opzionale);
- risoluzione video minima 320x240 pixel, massima 2560x1920 pixel;
- sviluppato su piattaforma Linux;
- automatic recovery disaster;
- sistema WatchDog hardware;
- fino a 35 ingressi video Ip o analogici (max 16 composito);
- 1 Uscita video VGA interna;
- slot espansioni per schede acquisizione immagini analogiche;
- possibilità di montaggio fino a quattro hard disk;
- interfaccia network ethernet 1000 di serie.

Software:

- visualizzazione e gestione dell'intero sistema da infiniti client tramite Browser Web (telecamere live, ricerca filmati, ecc.);

- invio delle immagini da telecamere in allarme ad un P.C. collegato in rete su protocollo IP per una immediata visione degli eventi sospetti e possibilità di doppia registrazione, una locale e una remota;
- visualizzazione mappe tramite il Browser Web (sistema SCADA personalizzabile);
- gestione (visualizzazione e registrazione) di fotogrammi ad alta definizione (CIF, 4CIF, QVGA, VGA, XVGA, Megapixel, Multi-Megapixel);
- gestione di tutte le telecamere analogiche che offre il mercato (utilizzo di schede analogiche opzionali o videosever di rete IP);
- gestione di telecamere IP multimarca;
- segnalazione acustica e visiva locale e remota in caso di perdita di segnale video;
- visione in quadro di tutte le telecamere contemporaneamente, a pieno schermo, allarmate e in ciclico;
- registrazione con funzioni di sovrapposizione dei dati telecamera ,giorno, ore, minuti, ecc;
- oscuramento delle telecamere per una maggiore privacy del sistema per quelle zone che non devono essere soggette o accessibili al monitoraggio da parte delle utenze non autorizzate;
- gestione facile ed intuitiva del sistema in lingua italiana;
- rispetto delle normative vigenti sulla privacy;
- riciclo automatico dello spazio occupato su Hard Disk pieno con metodologia F.I.F.O (First Input First Output);
- possibilità di definire i giorni di archiviazione (da 1 ad esaurimento disco);
- software di motion detect regolabile per sensibilità per ogni telecamera; possibilità di rivisitare filmati contemporaneamente alla registrazione degli stessi;
- sincronizzazione oraria via Network Time Server;
- conteggio oggetti: permette di contare oggetti (persone, automezzi ecc..) che entrano o escono dalla visualizzazione di una o più aree per telecamera;
- gestione di utenti e password illimitata con identificativo e password multilivello;
- gestione degli utenti totalmente programmabile alle autorizzazioni di gestione e permessi sia locali che remote, con permessi differenti a secondo del tipo di connessione;
- layout definibili dall' utente per visualizzazione multipla;

- zoom sulle singole telecamere;
- gestione telecamere Speed Dome (PTZ): cicli di preset, zoom, pan, tilt e interazione con l'intero sistema;
- gestione gruppi di telecamere;
- funzionalità visualizzazione ciclica per singole telecamere o gruppi;
- attivazione e disattivazione visione delle telecamere;
- collegamento diretto alla pagina web della telecamera;
- finestra con log eventi per la visualizzazione di allarmi generali;
- interfaccia facile ed intuitiva per l'esportazione di singoli eventi;
- interfaccia grafica per gestione ingressi e uscite digitali, da locale e da remoto;
- visualizzazione ciclica su monitor esterno;
- completa teleassistenza da remoto;
- compressione in registrazione: MJpeg.

Caratteristiche per poter rispettare la normativa sulla Privacy:

- possibilità di configurare i profili utenti (secondo i ruoli stabiliti dal titolare dell'impianto di videosorveglianza - responsabili, incaricati, manutentori, ecc.);
- gestione di più utenti per ogni profilo;
- estrazione di un file dei log di accesso alla macchina (con data e ora di accesso e uscita degli utenti, allarmi segnalati dalla macchina, ecc.);
- configurazione del tempo di permanenza delle immagini registrate sull'Hard Disk
- sistema di cancellazione immagini con sovrascrittura circolare
- sistema operativo Linux
- sistema "chiuso" non attaccabile da virus, le porte USB all'esterno del videoregistratore devono essere appositamente attivate dai tecnici specialistici; il videoregistratore non dispone di lettori/masterizzatori di CD-DVD (i dati vengono estratti dai tecnici specialistici attraverso un PC e poi da qui masterizzati)
- - per accedere al videoregistratore è sempre richiesta una password e una userID, configurabili nel numero di caratteri (alfanumeriche) e nella scadenza/rinnovo da parte di ogni utente
- le immagini registrate su HD non possono essere viste su altri videoregistratori

- per ogni profilo possibilità di limitare l'accesso al videoregistratore (ogni giorno, una o più volte alla settimana, uno o più giorni all'anno, una sola volta)

Registrazione telecamere:

- programmata per fasce orarie o 24h su 24h;
- per attivazione del rilevamento di movimento su ogni telecamera (motion detect) con livelli di sensibilità regolabili dall'utente;
- registrazione continua e su motion detect contemporanea;
- registrazione con tour dei preset (servizio ronda) su telecamere dome;
- ricerche immagini per data o per evento (tipologia di allarme);
- variazione della velocità di registrazione su attivazione motion detect;
- salvataggio immagini in varie risoluzioni: da 320x240 pixel a risoluzioni Megapixel 2560x1920 pixel;
- velocità di registrazione 200fps (320x240 pixel);
- velocità di riproduzione 1,4,8 volte;
- inserimento di festività nella programmazione settimanale.

Esportazione file immagini:

- - per singoli JPG (funzione snapshot);
- - in filmati AVI/MPEG4;
- - possibilità di applicare zoom digitali su immagini registrate.

Finestra con log eventi attivabile per la visualizzazione di allarmi generali:

- - telecamere disattivate;
- - telecamere in registrazione;
- - rilevamento presenza (motion detect);
- - utilizzo cpu;
- - carico del sistema e traffico di rete;
- - esportazione log eventi in file formato CVS;
- - esportazione file DataBase per salvataggio configurazione.

Modulo software (opzionale) di centralizzazione impianti

Consente la centralizzazione di grandi impianti locali e remoti per gestire al massimo 25 videoregistratori, 256 telecamere, 500 contatti di allarme (funzione di backup inclusa).

PROTEZIONE PERIMETRALE

Il sistema perimetrale di controllo antintrusione sarà costituito da un dispositivo di rilevamento di vibrazione che offre protezione per due lati di recinzione per un massimo di 300 metri ciascuno. La doppia protezione di recinzioni fino a 300 metri consente di ottenere una protezione complessiva di recinzioni di lunghezza massima di 600 metri.

Pertanto per ogni lunghezza superiore a 600 metri si dovrà ripetere il sistema di protezione.

Le vibrazioni del recinto non provocate dalle normali condizioni atmosferiche o dal vento vengono registrate dalla tecnologia DSIGP® e convertite in allarme. Le interferenze provocate da agenti esterni, come ad esempio CEM, vengono efficacemente sopresse.

Il consumo energetico sarà ridottissimo, inferiore a un watt. Una bassa corrente di alimentazione (circa 60 mA a 12 VDC) comporta una bassa sezione per cavi di alimentazione lunghi.

Dati tecnici:

- Unità master con alloggiamento impermeabile in alluminio IP65
- Peso unità master 970 g
- Dimensioni unità master 175 mm x 80 mm x 60 mm
- Unità finale: alloggiamento impermeabile in alluminio IP65
- Dimensioni unità finale 50 mm x 45 mm x 30 mm
- Peso unità finale 140 g
- Tipo cavo sensore AS257
- Diametro cavo sensore: 6 mm
- Temperatura di esercizio: da - 30°C a +70°C
- Tecnologia: nuova tecnologia esclusiva DSIGP®
- Tensione di alimentazione: da 8,0 VDC a 18,0 VDC
- Protezione alimentazione mediante soppressione dei transienti da 600 W
- Consumo energetico: inferiore a 1 W

- Relè: 3 relè, NC (solo due attivi se RS485 è integrato)
- Corrente max. relè 2 A
- Tensione di commutazione max. relè 30 VDC
- Protezione relè: protezione mediante soppressione dei transienti da 600 W/36 V
- Regolazione: sistema menu con 3 tasti e display a 3 cifre
- RS485 terminale A e B, isolamento galvanico, protezione ESD $\pm 15\text{kV}$

Il sistema sarà alimentato a 230 V con cavo FG70R della sezione minima 3G4 e 3G6 a seconda della lunghezza del tratto di alimentazione.

Gli allarmi saranno riportati alla centrale ubicata in sala supervisione tramite cavo 4 x 0,22 mmq grado IV.

La centrale di allarme sarà suddivisibile in 88 zone.

4.13 Note su impianto TVCC e antintrusione

L'impianto TVCC ed antintrusione è parte di un sistema complesso che include apparecchiature destinate al controllo di 4 diversi lotti di intervento.

Nello schema funzionale allegato al presente progetto è illustrato l'intervento nel suo complesso e i lotti che non fanno parte del presente intervento sono individuati da retinatura .

L'intervento oggetto del presente capitolato dovrà essere completo e funzionante e dovrà altresì assicurare la sua facile implementazione con il fine di rendere completo e funzionante l'impianto TVCC dei quattro lotti.

Deve essere prevista l'installazione dei dispositivi (apparati di ripresa, apparati di comunicazione, apparati di videoregistrazione) necessari per il presente intervento- Gli apparati di comunicazione e di, apparati di videoregistrazione saranno ubicati nella cabina C2.1 e , inoltre, deve essere previsto il successivo ricollocamento degli apparati di comunicazione, apparati di videoregistrazione nella sala di regia che sarà costruita in appalto diverso dal presente con necessaria modifica e integrazione delle connessioni (cavi F.O e altri) (circa 500 meri di distanza).

4.14 Dimensionamento cavedi e tubazioni

Il sistema di distribuzione adottato per la definizione dei montanti prevede l'utilizzo di cavi elettrici.

Per la posa dei cavi sono stati scelti le seguenti condutture:

- tubazioni interrate;
- passerelle fissate a parete;
- cunicoli interni lungo il perimetro interno del fabbricato;
- tubazioni a parete per collegamenti di corpi illuminati e rivelatori di fumo;

Gli involucri di tutti i dispositivi e delle apparecchiature elettriche avranno grado di protezione non inferiore a IP55.

Tutte le passerelle, canale, cunicoli e cavedi dovranno essere riempiti con cavi per un massimo del 50% della loro sezione trasversale (coefficiente di stipamento massimo del 50%).

Le valutazioni delle portate dei cavi devono essere valutate con fattori di riduzione calcolati per un riempimento del 50 % dei cavedi, canali, tubazioni, passerelle e cunicoli.

I pozzetti installati all'esterno saranno dotati di sistemi di drenaggio con copertura carrabile per consentire il transito anche ad autocarri.

Le tubazioni che dal pozzetto si diramano all'interno dei locali saranno dotate di sistemi di impedimento dell'ingresso dell'acqua nei locali interni. Le tubazioni saranno in contropendenza in modo tale da non permettere che il liquido presente nel pozzetto si possa indirizzare verso gli interni dei locali.

4.15 IMPIANTO DI TERRA ED EQUIPOTENZIALE - PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI

4.15.1 CONDUTTORI DI TERRA

I conduttori di terra dovranno essere realizzate conduttore in rame isolato avente sezioni minima come di seguito riportato e dovrà garantire la resistenza meccanica e alla corrosione dei conduttori di terra:

- collegamento piastrine di derivazione 70 mm² (n° 2 punti di attacco)
- collegamento quadri elettrici 70 mm² (n° 2 conduttori derivati dalla sbarra di terra)
- macchinario elettrico 16 mm²
- macchinario elettrico 16 mm²

- apparecchiature mobili 16 mm²
- derivazioni per prese 16 mm²
- quadri luce 16 mm²
- derivazioni per motori da 0,3 a 22 kW 16 mm²
- derivazioni per motori da 22 a 75 kW (a 0,4 kV) 50 mm²
- derivazioni per motori da 75 a 150 kW (a 0,4 kV) 70 mm²
- derivazioni per motori da 150 a 750 kW (a 6 kV) 50 mm²
- derivazioni per motori > 750 kW (a 6 kV) 70 mm²
- rack, tralicci, cancelli, recinzioni, incastellature metalliche 50 mm² (punti di attacco uno ogni 20 metri)
- ponticelli di continuità (protezione scariche atmosferiche) 70 mm²
- colonne, sfere 50 mm²
- paline per illuminazione 16 mm²
- paline stradali 50 mm²
- torri faro 50 mm² (n° 2 punti di attacco)
- trasformatori MT/BT 120 mm² (n° 3 punti di attacco)
- power center e MCC 120 mm² (n° 3 punti di attacco)
- quadri di media 70 mm² (n° 2 punti di attacco)
- altri quadri bassa tensione 70 mm² (n° 2 punti di attacco)

4.15.2 CONDUTTORI EQUIPOTENZIALI

Dai collettori alle apparecchiature dovranno essere realizzati i collegamenti equipotenziali, con conduttori di tipo F07G9-K aventi sezione non inferiore a quelli riportati nella seguente tabella:

- trasformatori MT/BT 185 mm² (n° 2 punti di attacco al centro stella e N.1 punto al cassone)
- power center 185 mm² (n° 3 punti di attacco)
- MCC 185 mm² (n° 3 punti di attacco)
- quadri di media 70 mm² (n° 2 punti di attacco)
- altri quadri bassa tensione 70 mm² (n° 2 punti di attacco)

4.15.3 REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA

L'impianto di terra in oggetto si riferisce ad un sistema di II categoria in cui la cabina di trasformazione risulta di proprietà dell'utente.

Il sistema prevede il collegamento del conduttore di protezione, direttamente col centro stella del circuito secondario dei trasformatori.

L'impianto di terra verrà realizzato in accordo alle prescrizioni delle Norme CEI 11-1 e CEI 64-12.

Il dispersore dovrà essere costituito da un dispersore orizzontale disposto ad anello chiuso, posato in modo tale da racchiudere l'area in oggetto.

La sua configurazione dovrà essere del tipo a maglia di lato non superiore a 1x1 metri per ognuna delle cabine realizzato con carda di rame nuda da 70 e 95 mmq.

Ogni impianto di cabina deve essere connesso con corda da 50 mmq alle altre cabine e alle strutture metalliche di supporto dei pannelli fotovoltaici.

Ai vertici e a metà dei lati lunghi delle cabine dovranno essere collegati non meno di n° 4 dispersori tubolari di profondità in acciaio al carbonio semiduro con R 37/45 spessore 5 mm zincato a caldo e altezza non inferiore a 1,5 metri.

Il dispersore dovrà essere realizzato in corda in rame nudo di sezione 95 mm² posta in opera in scavo predisposto; per circa 0,3 metri dovrà essere realizzato il ricoprimento del dispersore con terreno vegetale e, superiormente, con altro tipo di terreno (terreno di riporto derivato dalle opere di scavo).

Il dispersore dovrà essere posato, nel suo complesso a profondità di circa 0,8 m. Tale profondità dovrà comunque essere atta ad evitare il rischio di rotture o sollecitazioni per effetto di azioni meccaniche.

Si evidenzia che il dispersore a maglia dovrà essere in generale posato ad una profondità non inferiore a 0,8 m e dovrà comunque essere posato al di sotto del solaio seguendo la conformazione dello scavo al fine di essere sempre in intimo contatto con il terreno.

Dovranno essere collegati al dispersore, i ferri di armatura delle fondazioni, mediante giunzioni di dimensioni tali da garantire una buona continuità elettrica, tali giunzioni dovranno evitare la formazione di coppie galvaniche e in generale dovranno essere resistenti alla corrosione.

Le giunzioni dovranno essere eseguite mediante saldatura forte o autogena o alluminotermica, o, in alternativa, con morsetti a bullone che dovranno avere superficie di contatto di almeno 200 mm² e bulloni di diametro non inferiore a 10 mm.

La scelta dei morsetti dovrà essere indirizzata verso il tipo che non imponga il taglio del conduttore e che consenta di collegare conduttori anche di differente sezione.

Le connessioni tra il dispersore e i ferri d'armatura dovranno essere realizzate seguendo la posa dello stesso dispersore.

Dovranno pertanto essere riportati all'esterno della fondazione, prima delle gettate finali, tratti di conduttore di sufficiente lunghezza che collegheranno i ferri d'armatura del dispersore.

I conduttori di terra non dovranno risultare a contatto diretto con la pavimentazione e non dovranno essere assoggettati a sforzi meccanici.

I conduttori di terra dovranno essere protetti contro la corrosione, dovranno seguire percorsi brevi e diretti, e, all'uscita della pavimentazione, dovranno essere opportunamente protetti con una tubazione in PVC.

Il completamento della continuità elettrica con gli altri ferri di fondazione dovrà essere assicurato realizzando una staffa colletttrice, la cui funzione sarà quella di collegare il corrente di riferimento con gli altri ferri; i collegamenti dei ferri alla staffa verranno realizzati mediante opportuna saldatura.

Per il collegamento al collettore di terra, dovranno essere riportati all'interno della cabina MT/TB i conduttori di terra, derivati dalla rete magliata e/o dal dispersore principale (vedi disegni di progetto).

I collettori dei trasformatori dovranno essere connessi all'impianto di terra disperdente con corda in rame nudo di sezione non inferiore a 120 mm^2 in modo da permettere una adeguata distribuzione della corrente di guasto in prossimità dei trasformatori. In particolare, valutando il guasto in bassa tensione, la sezione della maglia del dispersore di terra a cui si dovrà connettere il trasformatore MT/BT dovrà essere non inferiore a 120 mm^2 . In particolare saranno realizzate tre connessioni in tre punti diversi della maglia aventi sezione minima di 120 mm^2 con corda in rame nudo di sezione minima 120 mm^2 .

Lo stesso tipo di potenziamento della rete disperdente sarà effettuato per i Power Center e gli MCC.

L'impianto di messa a terra di cabina dovrà soddisfare le prescrizioni delle vigenti norme CEI e dovrà essere realizzato in modo da consentire l'effettuazione delle verifiche periodiche di efficienza.

Il conduttore di protezione dovrà essere collegato a tutte le masse di tutti gli apparecchi da proteggere compresi gli apparecchi di illuminazione.

L'impianto dovrà comprendere come minimo:

- il collettore (o nodo) principale di terra nel quale confluiscono i conduttori di terra, di protezione, di equipotenzialità;
- il sezionatore di terra che consentirà le misure e le verifiche sullo stato dell'impianto;

- il conduttore equipotenziale, avente lo scopo di assicurare l'equipotenzialità fra le masse e/o le masse estranee (parti conduttrici, non facenti parte dell'impianto elettrico, suscettibili di introdurre il potenziale di terra)

Sia all'interno, sia all'esterno della centrale, non si dovranno verificare, in nessun punto, tensioni di contatto e di passo superiori ai valori indicati dalla norma CEI 11-1.

Al fine di proteggere l'impianto e le apparecchiature elettriche ed elettroniche ad esso collegate contro le sovratensioni di origine atmosferica (fulminazione indiretta) e le sovratensioni transitorie di manovra e limitare scatti intempestivi degli interruttori differenziali, all'inizio dell'impianto deve essere installato un limitatore di sovratensioni. In particolare si avrà:

Protezione linea MT

Dovrà essere installata la cella dotata di scaricatore sulla linea entrante, illustrata nella sezione del capitolato relativa alla media tensione.

Protezione dei circuiti di potenza BT

Quadri generali: dovranno essere utilizzati limitatori che avranno il compito di limitare in pochi microsecondi, le sovratensioni ad alto potenziale e, pertanto, saranno ad alta energia di scarica. Tali limitatori dovranno essere installati nei quadri principali (power center e quadri di primo livello) all'ingresso delle linee di alimentazione.

Il livello di protezione anche con sollecitazioni massime di 100 kA/10As dovrà essere inferiore a 2 kV.

I moduli di protezione (varistori) dovranno essere estraibili ed in caso di danneggiamento di un modulo si dovrà poter effettuare la sostituzione senza togliere tensione all'impianto.

Il sistema dovrà essere, inoltre, dotato di relè per la segnalazione dell'intervento. Il relè comunicherà con il sistema di controllo DCS e attraverso il sistema di trasmissione dati permetterà l'identificazione del guasto nel monitor di controllo locale ed a distanza nella sede prevista per la teleconduzione.

I limitatori dovranno essere rispondenti alla classe B delle norme DIN VDE 0675 parte 6 per sistemi equipotenziale di impianti parafulmine secondo DIN VDE 0185 parte 1.

Protezione dei circuiti di potenza quadri di secondo livello.

Saranno utilizzati limitatori che avranno il compito di limitare in pochi microsecondi, le sovratensioni a forte energia fino a 100 kA con forma d'onda 8/20. Tali limitatori dovranno essere installati nel quadro di settore all'ingresso delle linee di alimentazione.

I moduli di protezione (varistori) dovranno essere estraibili ed in caso di danneggiamento di un modulo si dovrà poter effettuare la sostituzione senza togliere tensione all'impianto.

Il sistema dovrà essere, inoltre, dotato di relè per la segnalazione dell'intervento. I limitatori dovranno essere rispondenti alla classe C delle norme DIN VDE 0675 parte 6.

Dovrà essere realizzato un sistema di protezione dalle sovratensioni costituito da:

- limitatori di sovratensione per linee dati delle unità centrali
- limitatori di sovratensione per protezione delle centrali di apparati sensibili come : centrale telefonica, rivelazione incendio, eccetera.
- limitatori di sovratensione per protezione di linee di segnale
- limitatori di sovratensione per protezioni delle linee dati

Si dovranno fornire e posare in opera protezioni per le linee Ethernet, e tutte le linee dati e per tutte le unità centrali di centri informatici (supervisione, eccetera).

Dovranno essere utilizzate apparecchiature del seguente tipo:

- protezione compatte delle linee dati e sistemi di trasmissione:
 - Tipo 1 reti ethernet:
 - tensione segnale 6 Volt ,
 - Corrente nominale di scarica $i_{sn}(8/20)$ 8 kA,
 - trasmissione 10 Mbits
 - Capacità trasversale C_q minore di 30 pF
 - Perdita di trasmissione a 2 Mhz minore di 0.6 dB
 - Tempo di innesco minore di 1 ns
 - tensione massima segnale 15 V
 - Tipo 1 linee dati:
 - tensione segnale 6 Volt ,
 - Corrente nominale di scarica $i_{sn}(8/20)$ 8 kA,
 - trasmissione 10 Mbits

- Capacità trasversale C_q minore di 50 pF
- Perdita di trasmissione a 2 Mhz minore di 0.6 dB
- Tempo di innesco minore di 1 ns
- tensione massima segnale 15 V
- Protezioni dirette le linee di trasmissione e di ricezione direttamente nel cavo saranno inoltre protetti con Connettori tipo UHF tipo:
 - potenza di trasmissione 400 W
 - Corrente nominale di scarica $isn(8/20)$ 5 kA
 - Frequenza di trasmissione 2,5 Ghz
 - Perdita di trasmissione fino a 2,5 GHz minore di 0,8 dB
 - Tempo di innesco minore di 100 ns
 - Impedenza 75 ohm
- Protezioni di tutti gli ingressi/uscite delle unità centrali contro le sovratensioni nelle linee dati tipo:
 - Tensione segnale U_s +-12 V
 - Tensione massima segnale U_{max} +-15 V
 - Corrente nominale 100 mA
 - Corrente nominale di scarica $isn(8/20)$ 5 kA,
 - Corrente massima di prova isg 10 kA
 - Frequenza di trasmissione 2,5 Ghz
 - Rate di trasmissione 100 kBits
 - Limitazione tensione a 1kV/micros 20 V
 - Tempo di innesco minore di 1 ns
 - Impedenza 75 ohm

L'opera comprende l'integrazione al sistema equipotenziale e dovrà essere coordinato in sede di scelta delle apparecchiature e delle reti effettivamente montate dall'Appaltatore.

Il sistema nel suo complesso dovrà essere rispondente alla CEI 81-4 e dovrà garantire la protezione dalla scariche atmosferiche e dalle sovratensioni.

Dovrà essere assicurata la protezione contro le sovratensioni che si inducono direttamente nelle linee BUS per accoppiamento elettromagnetico con la corrente di fulmine in edifici.

Dovranno essere evitati:

- parallelismi tra BUS e parti metalliche appartenenti a sistemi di protezione contro i fulmini;

- formazioni di spire costituite da linee BUS, linee elettriche e altre parti metalliche.

Collegamento a terra degli schermi

Quando il sistema prevede l'uso di cavi schermati, lo schermo va collegato a terra in un solo punto per evitare che possa convogliare le correnti di guasto e quindi diventare una sorgente di disturbo o, peggio, subire danni per effetto Joule.

5. DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

L'impianto elettrico in esame potrà essere alimentato in MT. Nell'impianto pertanto coesistono due sistemi distributivi TN e IT.

5.1.1 Calcolo delle correnti di impiego

Per entrambi i sistemi il dimensionamento dell'impianto è stato effettuato assumendo come dato iniziale la potenza elettrica richiesta dalle singole utenze e calcolando da questa la corrente di impiego di ciascuna linea (I_b).

Il calcolo delle correnti d'impiego viene eseguito in base all'espressione:

$$I_b = \frac{P_d}{k_{ca} \cdot V_n \cdot \cos \varphi}$$

in cui:

- $k_{ca} = 1$ sistema monofase o bifase, due conduttori attivi;
- $k_{ca} = 1.73$ sistema trifase, tre conduttori attivi.
-

Se la rete è in corrente continua il fattore di potenza è pari a 1.

Dal valore massimo (modulo) di I_b vengono calcolate le correnti di fase in notazione vettoriale (parte reale ed immaginaria) con le formule:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= I_b \cdot e^{-j\varphi} = I_b \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) \\ \dot{I}_2 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 2\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \right) \\ \dot{I}_3 &= I_b \cdot e^{-j(\varphi - 4\pi/3)} = I_b \cdot \left(\cos \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) - j \sin \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \right)\end{aligned}$$

Il vettore della tensione V_n è supposto allineato con l'asse dei numeri reali:

$$\dot{V}_n = V_n + j0$$

La potenza di dimensionamento P_d è data dal prodotto:

$$P_d = P_n \cdot coeff$$

nella quale "coeff" è pari al fattore di utilizzo per utenze terminali oppure al fattore di contemporaneità per utenze di distribuzione.

La potenza P_n , invece, è la potenza nominale del carico per utenze terminali, ovvero, la somma delle P_d delle utenze a valle per utenze di distribuzione (somma vettoriale).

La potenza reattiva delle utenze viene calcolata invece secondo la:

$$Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$$

per le utenze terminali, mentre per le utenze di distribuzione viene calcolata come somma vettoriale delle potenze reattive nominali a valle.

Il fattore di potenza per le utenze di distribuzione viene valutato, di conseguenza, con:

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctan \left(\frac{Q_n}{P_n} \right) \right)$$

Nota la corrente di impiego richiesta da ciascuna utenza si è proceduto al dimensionamento delle corrispondenti linee di alimentazione e dei relativi dispositivi di protezione, coordinando la scelta delle sezioni delle condutture con le caratteristiche degli interruttori in modo da verificare le condizioni imposte dalle vigenti Norme.

Note le caratteristiche delle linee di alimentazione si è quindi potuto procedere al dimensionamento degli apparecchi di protezione generali installati nei quadri e delle linee di distribuzione principale di collegamento fra quadri.

5.1.2 Dimensionamento dei cavi

Il dimensionamento dei conduttori è stato realizzato secondo i dettami della Norma CEI-UNEL in relazione al tipo di posa realizzato; i valori di portata dei cavi so-

no stati ridotti con i coefficienti correttivi che tengono conto delle condizioni di posa, del raggruppamento dei cavi e della temperatura ambiente, ricavando così il valore della portata effettiva del cavo I_z . Per la posa interrata è stata seguita la Norma IEC 364-5-523-Ed.2.

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:

$$\begin{aligned} a) I_b &\leq I_n \leq I_z \\ I_f &\leq 1.45 \cdot I_z \end{aligned}$$

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 è stato effettuato in modo da rispettare anche i seguenti casi:

- condutture che sono 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 la tabella assegnata alla utenza. Le tabelle previste dal programma per la bassa tensione sono:

- IEC 448;
- IEC 365-5-523;
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026.

mentre per la media tensione si utilizza la tabella CEI 17-11.

Esse oltre a riportare la corrente ammissibile I_z in funzione del tipo di isolamento del cavo, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi, riportano anche la metodologia di valutazione dei coefficienti di declassamento.

La portata minima del cavo viene calcolata come:

$$I_{z\min} = \frac{I_n}{k}$$

dove il coefficiente k ha lo scopo di declassare il cavo e tiene conto dei seguenti fattori:

- tipo di materiale conduttore;
- tipo di isolamento del cavo;
- numero di conduttori in prossimità compresi eventuali paralleli;
- eventuale declassamento deciso dal progettista.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente k) sia superiore alla $I_{z\min}$.

Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che essi abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (vedi 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 per gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3. Infatti questi 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 sopra citati riportano però delle note che permettono, in attesa di disposizioni diverse, la loro determinazione.

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 rame serie L rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie L nudo:K = 200
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie H nudo:K = 200
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:K = 74
- Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7:K = 87

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 serie L rivestito in materiale termoplastico:K = 143
- Cavo in rame serie L nudo:K = 228
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:K = 143
- Cavo in rame serie H nudo:K = 228
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:K = 95
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G:K = 110

- Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:K = 116

I valori di K per i conduttori di protezione in cavi multipolari (par. 543.1) tab. 54C:

- 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 G5-G7:K = 143
- Cavo in rame serie L rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie L nudo:K = 228
- Cavo in rame serie H rivestito in materiale termoplastico:K = 115
- Cavo in rame serie H nudo:K = 228
- Cavo in alluminio e isolato in PVC:K = 76
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G:K = 89
- Cavo in alluminio e isolato in gomma G5-G7:K = 94

Il coordinamento fra condutture e interruttori è stato effettuato verificando la protezione delle linee dalle sovracorrenti (sovraccarico e corto circuito) e la protezione dai contatti indiretti tramite interruzione automatica del circuito.

5.1.3 Verifica della caduta di tensione

E' stata effettuata la verifica della caduta di tensione massima posta pari al 4% per i circuiti di forza motrice e per i circuiti luce.

Il calcolo delle cadute di tensione avviene vettorialmente.

Per ogni utenza si calcola la caduta di tensione vettoriale lungo ogni fase e lungo il conduttore di neutro (se distribuito).

Tra le fasi si considera la caduta di tensione maggiore che viene riportato in percentuale rispetto alla tensione nominale.

Il calcolo fornisce, quindi, il valore esatto della formula approssimata:

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

con:

- $k_{cdt}=2$ per sistemi monofase;
- $k_{cdt}=1.73$ per sistemi trifase.

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione al tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 80°C, mentre il secondo è riferito a 50Hz, ferme restando le unità di misura in Ohm/km.

La $cdt(I_b)$ è la caduta di tensione alla corrente I_b .

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di un'utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da cui viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

Nel dimensionamento si sono stabilite le cadute di tensione totali anche nel caso di presenza dei trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o MT/MT).

In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori che della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

5.1.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro

La norma CEI 64-8 par. 524.2 e par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di 16 mm²;
- la massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso;
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16mm² se il conduttore è in rame e a 25 mm² se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di 16 mm^2 se conduttore in rame e 25 mm^2 se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase.

Si è determinata la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

$$\begin{aligned} S_f < 16 \text{ mm}^2: & \quad S_n = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2: & \quad S_n = 16 \text{ mm}^2 \\ S_f > 35 \text{ mm}^2: & \quad S_n = S_f / 2 \end{aligned}$$

5.1.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione mediante calcolo.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

$$\begin{aligned} S_f < 16 \text{ mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f \\ 16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2: & \quad S_{PE} = 16 \text{ mm}^2 \\ S_f > 35 \text{ mm}^2: & \quad S_{PE} = S_f / 2 \end{aligned}$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule.

E' stato applicato il primo criterio.

5.1.6 Calcolo della temperatura dei cavi

La valutazione della temperatura dei cavi si esegue in base alla corrente di impiego e alla corrente nominale tramite le seguenti espressioni:

$$T_{cavo}(I_b) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_b^2}{I_z^2} \right)$$

$$T_{cavo}(I_n) = T_{ambiente} + \left(\alpha_{cavo} \cdot \frac{I_n^2}{I_z^2} \right)$$

espresse in °C.

Esse derivano dalla considerazione che la sovratemperatura del cavo a regime è proporzionale alla potenza in esso dissipata.

Il coefficiente α_{cavo} è vincolato dal tipo di isolamento del cavo e dal tipo di tabella di posa che si sta usando.

5.1.7 Identificazione dei conduttori

Per quanto riguarda l'identificazione dei conduttori dovrà essere verificata la scelta dei colori dell'isolante dei conduttori secondo quanto prescritto dalle tabelle CEI-UNEL 00722; in particolare:

- azzurro per i cavi di neutro;
- marrone, nero, grigio, od altri colori scuri per la fase;
- giallo-verde per i conduttori di protezione, equipotenziali e di terra.

5.1.8 Protezione meccanica dei conduttori

La protezione meccanica delle linee di distribuzione generale verrà assicurata dal loro alloggiamento all'interno di cunicoli, cavidotti appositamente realizzati per il passaggio esclusivo delle linee elettriche o all'interno di passerelle portacavi metalliche o tubi protettivi.

5.1.9 Fornitura rete

La conoscenza della fornitura della rete è necessaria al fine di eseguire il calcolo dei guasti.

Sono previsti diversi tipi di fornitura:

- da Generatore
- in media tensione 15 kV
- in corrente continua

I parametri trovati in questa fase servono per inizializzare il calcolo dei guasti, ossia andranno sommati ai corrispondenti parametri di guasto della utenza a valle.

Noti i parametri alle sequenze nel punto di fornitura, è possibile inizializzare la rete e calcolare le correnti di corto circuito secondo le norme CEI 11-25.

Tali correnti saranno utilizzate in fase di scelta delle protezioni per la verifica dei poteri di interruzione delle apparecchiature.

5.1.9.1 Bassa tensione

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;
- corrente di corto circuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).

Da questi valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di corto circuito I_{cctrif} , in mOhm:

$$Z_{cctrif} = \frac{V_2}{\sqrt{3} \cdot I_{cctrif}}$$

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il $\cos\phi_{cc}$ di corto circuito in relazione alla corrente di corto circuito in kA, si ha:

$50 < I_{cctrif}$	$\cos \phi_{cc} = 0.2$
$20 < I_{cctrif} \leq 50$	$\cos \phi_{cc} = 0.25$
$10 < I_{cctrif} \leq 20$	$\cos \phi_{cc} = 0.3$
$6 < I_{cctrif} \leq 10$	$\cos \phi_{cc} = 0.5$
$4.5 < I_{cctrif} \leq 6$	$\cos \phi_{cc} = 0.7$
$3 < I_{cctrif} \leq 4.5$	$\cos \phi_{cc} = 0.8$
$1.5 < I_{cctrif} \leq 3$	$\cos \phi_{cc} = 0.9$
$I_{cctrif} \leq 1.5$	$\cos \phi_{cc} = 0.95$

da questi dati si ricava la resistenza alla sequenza diretta, in mOhm:

$$R_d = Z_{cctrif} \cdot \cos \phi_{cc}$$

ed infine la relativa reattanza alla sequenza diretta, in mOhm:

$$X_d = \sqrt{Z_{cctrif}^2 - R_d^2}$$

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare saranno posti uguali ai rispettivi parametri alla sequenza diretta ($R_0=R_d$, $X_0=X_d$).

Dalla conoscenza della corrente di guasto monofase I_{k1} , è possibile ricavare i valori dell'impedenza omopolare.

Invertendo la formula:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2}{\sqrt{(2 \cdot R_d + R_0)^2 + (2 \cdot X_d + X_0)^2}}$$

con le ipotesi,

$$\frac{R_0}{X_0} = \frac{Z_0}{X_0} \cdot \cos \phi_{cc}$$

cioè l'angolo delle componenti omopolari uguale a quello delle componenti dirette, si ottiene:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I_{k1}} \cdot \cos \varphi_{cc} - 2 \cdot R_d$$

$$X_0 = R_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{(\cos \varphi_{cc})^2} - 1}$$

5.1.9.2 Media tensione

Nel caso in cui la fornitura sia in media tensione si considerano i seguenti dati di partenza:

- Tensione di fornitura in media tensione, V_{mt} (in kV);
- Corrente di corto circuito trifase massima, I_{kmax} (in kA);
- Corrente di corto circuito monofase a terra massima, $I_{k1ftmax}$ (in kA).

Dai dati si ricavano le impedenze equivalenti della rete di fornitura per determinare il generatore equivalente di tensione.

$$Z_{ccmt} = \frac{1,1 \cdot V_{mt}}{\sqrt{3} \cdot I_{kmax}} \cdot 1000$$

da cui si ricavano le componenti dirette:

$$\cos \varphi_{ccmt} = \sqrt{1 - (0,995)^2}$$

$$X_{dl} = 0,995 \cdot Z_{ccmt}$$

$$R_{dl} = \cos \varphi_{ccmt} \cdot Z_{ccmt}$$

e le componenti omopolari:

$$R_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot V_{mt}}{I_{k1ftmax}} \cdot 1000 \cdot \cos \varphi_{ccmt} \angle (2 \cdot R_{dl})$$

5.1.9.3 Corrente continua

Parte della rete è alimentata in continua con una tensione fino a 110 V si devono conoscere:

- tensione di alimentazione espressa in V;
- corrente di cortocircuito della rete di fornitura espressa in kA.

Da questi valori si determinata l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito I_{cc} , in mOhm:

$$Z_{cc} = \frac{V_2}{I_{cc}}$$

5.1.9.4 Trasformatori

Nella rete in oggetto sono presenti dei trasformatori, i dati di targa richiesti sono:

- potenza nominale P_n (in kVA);
- perdite di corto circuito P_{cc} (in W);
- tensione di corto circuito v_{cc} (in%)
- rapporto tra la impedenza alla sequenza omopolare e quella di corto circuito;
- tipo di collegamento;
- tensione nominale del primario V_1 (in kV);
- tensione nominale del secondario V_{02} (in V).

Con questi dati si possono ricavare:

- Impedenza di corto circuito del trasformatore espressa in mOhm:

$$Z_{cct} = \frac{v_{cc}}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

- Resistenza di corto circuito del trasformatore espressa in mOhm:

$$R_{cct} = \frac{P_{cc}}{1000} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n^2}$$

– Reattanza di corto circuito del trasformatore espressa in mOhm:

$$X_{cct} = \sqrt{Z_{cct}^2 - R_{cct}^2}$$

L'impedenza a vuoto omopolare del trasformatore viene ricavata dal rapporto con l'impedenza di corto circuito dello stesso:

$$Z_{vot} = Z_{cct} \cdot \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)$$

dove il rapporto Z_{vot}/Z_{cct} vale usualmente 10-20.

In uscita al trasformatore si otterranno pertanto i parametri alla sequenza diretta, in mOhm:

$$Z_d = \left| \dot{Z}_{ccmt} + \dot{Z}_{cct} \right| = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

nella quale:

$$R_d = R_{dl} + R_{cct}$$

$$X_d = X_{dl} + X_{cct}$$

I parametri alla sequenza omopolare dipendono invece dal tipo di collegamento del trasformatore in quanto, in base ad esso, abbiamo un diverso circuito equivalente.

Pertanto, nel caso di trasformatore collegato triangolo/stella (Dy), si ha:

$$R_{ot} = R_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

$$Z_{ot} = Z_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

$$X_{ot} = X_{cct} \cdot \frac{\left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}{1 + \left(\frac{Z_{vot}}{Z_{cct}} \right)}$$

5.1.9.5 Generatori

In media tensione si ha anche la possibilità di erogare energia con il generatore.

I dati di targa richiesti per i generatori sono:

- potenza nominale P_n (in kVA);
- reattanza sincrona percentuale x_s ;
- reattanza subtransitoria percentuale x'' ;
- rapporto tra l'impedenza omopolare e l'impedenza sincrona Z_{og}/Z_s comune a tutti i generatori.

L'impedenza subtransitoria si calcola con la formula:

$$X'' = \frac{x''}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

dalla quale si ricavano le componenti alla sequenza diretta:

$$R_d = 0$$

$$X_d = X''$$

La componente resistiva si trascura rispetto alla componente reattiva del generatore.

L'impedenza sincrona si calcola con la formula:

$$X_s = \frac{x_s}{100} \cdot \frac{V_{02}^2}{P_n}$$

Dalla quale, tramite il rapporto Z_{og}/Z_s , si ricavano le componenti omopolari:

$$R_0 = 0$$

$$X_0 = \frac{Z_{og}}{Z_s} \cdot X_s$$

5.1.10 Calcolo dei guasti

Nel calcolo dei guasti vengono determinate le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione dell'utenza (inizio linea) e a valle dell'utenza (fondo linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);
- guasto bifase (dissimmetrico);
- guasto fase terra (dissimmetrico);
- guasto fase neutro (dissimmetrico).

Le correnti a valle della protezione sono individuate dalle correnti di guasto a fondo linea della utenza a monte.

I parametri alle sequenze di ogni utenza vengono inizializzati da quelli corrispondenti della utenza a monte che, a loro volta, inizializzano i parametri della linea a valle.

5.1.11 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo viene condotto nelle seguenti condizioni:

- tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione 1;
- impedenza di guasto minima, calcolata alla temperatura di 20°C.

La resistenza diretta, del conduttore di fase e di quello di protezione, viene riportata a 20 °C, partendo dalla resistenza a 80 °C, data dalle tabelle UNEL 35023-70, per cui esprimendola in mOhm risulta:

$$R_{dcavo} = \frac{R_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \left(\frac{1}{1 + (60 \cdot 0.004)} \right)$$

Nota poi dalle stesse tabelle la reattanza a 50 Hz, con f frequenza d'esercizio, risulta :

$$X_{dcavo} = \frac{X_{cavo}}{1000} \cdot \frac{L_{cavo}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

possiamo sommare queste ai parametri diretti della utenza a monte ottenendo così la impedenza di guasto minima a fine utenza.

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza diretta sono:

$$R_{dsbarra} = \frac{R_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000}$$

La reattanza è invece:

$$X_{dsbarra} = \frac{X_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{L_{sbarra}}{1000} \cdot \frac{f}{50}$$

Per quanto riguarda i parametri alla sequenza omopolare, occorre distinguere tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ottengono da quelli diretti tramite le:

$$R_{0cavoNeutro} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro}$$

$$X_{0cavoNeutro} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$R_{0cavoPE} = R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE}$$

$$X_{0cavoPE} = 3 \cdot X_{dcavo}$$

dove le resistenze $R_{dvavoNeutro}$ e $R_{dcavoPE}$ vengono calcolate come la R_{dcavo} .

Per le utenze in condotto in sbarre, le componenti della sequenza omopolare sono distinte tra conduttore di neutro e conduttore di protezione.

Per il conduttore di neutro si ha:

$$R_{0sbarraNeutro} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro}$$

$$X_{0sbarraNeutro} = 3 \cdot X_{dsbarra}$$

Per il conduttore di protezione viene utilizzato il parametro di reattanza dell'anello di guasto fornito dai costruttori:

$$R_{0sbarraPE} = R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE}$$

$$X_{0sbarraPE} = 2 \cdot X_{anello_guasto}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in mOhm:

$$R_d = R_{dcavo} + R_{dmonte}$$

$$X_d = X_{dcavo} + X_{dmonte}$$

$$R_{0Neutro} = R_{0cavoNeutro} + R_{0monteNeutro}$$

$$X_{0Neutro} = X_{0cavoNeutro} + X_{0monteNeutro}$$

$$R_{0PE} = R_{0cavoPE} + R_{0montePE}$$

$$X_{0PE} = X_{0cavoPE} + X_{0montePE}$$

Per le utenze in condotto in sbarre basta sostituire sbarra a cavo.

Ai valori totali vengono sommate anche le impedenze della fornitura.

Noti questi parametri vengono calcolate le impedenze (in mOhm) di guasto trifase:

$$Z_{k \min} = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$$

Fase neutro:

$$Z_{k1Neutr \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0Neutro})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0Neutro})^2}$$

Fase terra:

$$Z_{k1PE \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0PE})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0PE})^2}$$

Da queste si ricavano le correnti di cortocircuito trifase $I_{k \max}$, fase neutro $I_{k1Neutr \max}$, fase terra $I_{k1PE \max}$ e bifase $I_{k2 \max}$ espresse in kA:

$$I_{k \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \min}}$$

$$I_{k1Neutr \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutr \min}}$$

$$I_{k1PE \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE \min}}$$

$$I_{k2 \max} = \frac{V_n}{2 \cdot Z_{k \min}}$$

Infine dai valori delle correnti massime di guasto si ricavano i valori di cresta delle correnti (CEI 11-25 par. 9.1.1.):

$$I_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k \max}$$

$$I_{p1Neutro} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1Neutro \max}$$

$$I_{p1PE} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1PE \max}$$

$$I_{p2} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2 \max}$$

dove:

$$K \approx 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \frac{R_d}{X_d}}$$

5.1.12 Motori asincroni

Vengono ora esposti i criteri di calcolo delle impedenze allo spunto dei motori asincroni, valori che sommate alle impedenze della linea forniscono le correnti di guasto che devono essere aggiunte a quelle dovute alla fornitura. Le formule sono tratte dalle norme CEI 11.25 (prima edizione 1992) e CEI 11.28 (prima edizione 1993).

Le variabili caratteristiche del motore sono:

- U_{rm} tensione nominale del motore [V] (concatenata per motori trifasi, di fase per motori monofasi collegati fase neutro o fase fase);
- I_{rm} corrente nominale del motore [A];
- S_{rm} potenza elettrica apparente nominale [kVA];
- P numero di coppie polari;
- Fattore di potenza allo spunto;
- I_{lr}/I_{rm} rapporto tra la corrente a motore bloccato (di c.c.) e la corrente nominale del motore;
- Costante $R_m/X_m=0.42$ con $X_m=0.922 Z_m$ [mOhm];
- Possibilità di avviamento stella/triangolo per i motori trifasi, per cui si diminuisce I_{lr}/I_{rm} di 3;
- Tempo di avviamento.

Si calcola l'impedenza del motore:

$$Z_M = \frac{1}{I_{lr}/I_{rm}} \cdot \frac{U_{rm}^2}{S_{rm}}$$

Per i motori asincroni si considera la corrente di interruzione i_b tenendo conto del tempo di ritardo di default pari a 0.02s. per calcolare i coefficienti m e μ .

Il coefficiente m si calcola secondo la seguente tabella:

$$\begin{array}{ll} \mu = 0.84 + 0.26 \cdot e^{-0.26 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} = 0.02 s \\ \mu = 0.71 + 0.51 \cdot e^{-0.30 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} = 0.05 s \\ \mu = 0.62 + 0.72 \cdot e^{-0.32 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} = 0.10 s \\ \mu = 0.56 + 0.94 \cdot e^{-0.38 \cdot (I_{lr}/I_{rm})} & t_{\min} \geq 0.25 s \end{array}$$

v

se

$$I_{lr}/I_{rm} \leq 2$$

allora

$$\mu = 1$$

Per il coefficiente q si deve prendere la potenza attiva meccanica espressa in MW e dividerla per il numero di coppie polari P al fine di ottenere la variabile m :

$$m = \frac{S_{rm} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{1000 \cdot P}$$

con fattore di potenza $\cos \varphi$ e η rendimento del motore.

Quindi:

$$q = 1.03 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.02 s$$

$$q = 0.79 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.05 s$$

$$q = 0.57 + 0.12 \cdot \ln m \quad t_{\min} = 0.10 s$$

$$q = 0.26 + 0.10 \cdot \ln m \quad t_{\min} \geq 0.25 s$$

Se $q > 1$ si pone $q = 1$.

Si divide per i coefficienti μ e q per ottenere l'impedenza equivalente vista al momento del guasto:

$$Z_{Mib} = \frac{Z_M}{\mu \cdot q}$$

Da cui:

$$X_M = 0.922 \cdot Z_{Mib}$$

$$R_M = 0.42 \cdot X_M$$

Per le componenti alle sequenze si considerano le sole componenti dirette mentre quelle omopolari non vengono considerate, in quanto il contributo ai guasti lo danno solo i motori trifasi.

Essi contribuiscono ai guasti trifasi e a quelli bifasi nelle utenze trifasi e bifasi.

$$R_d = R_M$$

$$X_d = X_M$$

5.1.13 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito

Il calcolo delle correnti di cortocircuito minime viene condotto come descritto nella norma CEI 11-25 par. 2.5. Per quanto riguarda la tensione nominale viene moltiplicata per il fattore di tensione di 0.95 (tab. 1 della norma CEI 11-25).

Per la temperatura dei conduttori ci si riferisce al rapporto Cenelec R064-003, per cui vengono determinate le resistenze alla temperatura limite dell'isolante in ser-

vizio ordinario dal cavo. Essa viene indicata dalla norma CEI 64-8/4 par 434.3 nella quale sono riportate in relazione al tipo di isolamento del cavo, precisamente:

– isolamento in PVC	Tmax = 70°C
– isolamento in G	Tmax = 85°C
– isolamento in G5/G7	Tmax = 90°C
– isolamento serie L rivestito	Tmax = 70°C
– isolamento serie L nudo	Tmax = 105°C
– isolamento serie H rivestito	Tmax = 70°C
– isolamento serie H nudo	Tmax = 105°C

Da queste è possibile calcolare le resistenze alla sequenza diretta e omopolare alla temperatura relativa all'isolamento del cavo:

$$R_{d\max} = R_d \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0Neutro} = R_{0Neutro} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

$$R_{0PE} = R_{0PE} \cdot (1 + 0.004 \cdot (T_{\max} - 20))$$

Queste, sommate alle resistenze a monte, danno le resistenze minime.

Valutate le impedenze mediante le stesse espressioni delle impedenze di guasto massime, si possono calcolare le correnti di cortocircuito trifase $I_{k1\min}$ e fase terra, espresse in kA:

$$I_{k \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k \max}}$$

$$I_{k1 \text{Neutr} \text{om} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{Neutr} \text{om} \max}}$$

$$I_{k1 \text{PE} \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1 \text{PE} \max}}$$

$$I_{k2 \min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{k \max}}$$

5.1.14 Scelta delle protezioni

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

- corrente nominale, secondo cui la quale si è dimensionata la conduttura;
- numero poli, impostato;
- tipo di protezione, impostata;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale della utenza;
- potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dalla 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 differenziali) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea ($I_{mag \max}$)

5.1.15 Verifica di selettività

E' stata verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve di intervento di tipo magnetotermico, eventualmente inseribili dall'utente. I dati forniti dalla sovrapposizione, oltre al grafico sono:

- Corrente I_a di intervento in corrispondenza ai massimi tempi di interruzione previsti dalla CEI 64.8: pertanto viene sempre data la corrente ai 5s (valido per le utenze di distribuzione o terminali fisse) e la corrente ad un tempo determinato tramite la tabella 41A della CEI 64.8 par 413.1.3. Fornendo una fascia di intervento delimitata da una caratteristica limite superiore e una

caratteristica limite inferiore, il tempo di intervento viene dato in corrispondenza alla caratteristica limite inferiore. Tali dati sono forniti per la protezione a monte e per quella a valle;

- Tempo di intervento in corrispondenza della minima corrente di guasto: alla fine dell'utenza a valle: minimo per la protezione a monte (determinato sulla caratteristica limite inferiore) e massimo per la protezione a valle (determinato sulla caratteristica limite superiore);
- Rapporto tra le correnti di intervento magnetico: delle protezioni;
- Corrente al limite di selettività: ossia il valore della corrente in corrispondenza all'intersezione tra la caratteristica limite superiore della protezione a valle e la caratteristica limite inferiore della protezione a monte (CEI 23.3 par 2.5.14).
- Selettività: è verificata se la caratteristica della protezione a monte si colloca sopra alla caratteristica della protezione a valle (totale), se si interseca nella parte istantanea (parziale) o solo parzialmente (parziale a sovraccarico se l'intersezione tra le curve si ha nel tratto termico).
- Selettività cronometrica: è verificata la differenza tra i tempi di intervento delle protezioni in corrispondenza delle correnti di cortocircuito in cui è verificata.

Nelle valutazioni si deve tenere conto delle tolleranze sulle caratteristiche date dai costruttori.

5.1.16 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

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:

1. Le intersezioni sono due:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$ (Quest'ultima riportata nella norma come Ia);
 - $I_{ccmax} \leq I_{inters \ max}$ (Quest'ultima riportata nella norma come Ib).
2. L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:
 - $I_{ccmin} \geq I_{inters \ min}$.
3. L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:
 - $I_{cc \ max} \leq I_{inters \ max}$.

5.1.17 Massima lunghezza protetta

Il calcolo della massima lunghezza protetta viene eseguito mediante il criterio proposto dalla norma CEI 64-8 al paragrafo 533.3, secondo cui la corrente di cortocircuito presunta è calcolata come:

$$I_{ctoc} = \frac{0.8 \cdot U}{1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot \frac{L_{max \ prot}}{S_f}}$$

partendo da essa e nota la taratura magnetica della protezione è possibile calcolare la massima lunghezza del cavo protetta in base ad essa.

Pertanto:

$$L_{max \ prot} = \frac{0.8 \cdot U}{1.5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot \frac{I_{ctoc}}{S_f}}$$

Dove:

- U : è la tensione concatenata per i neutro non distribuito e di fase per neutro distribuito;
- ρ è la resistività a 20°C del conduttore;
- m : rapporto tra sezione del conduttore di fase e di neutro (se composti dello stesso materiale);
- $Imag$: taratura della magnetica.

Viene tenuto conto, inoltre, dei fattori di riduzione (per la reattanza):

- 0.9 per sezioni di 120 mm²;
- 0.85 per sezioni di 150 mm²;
- 0.8 per sezioni di 185 mm²;
- 0.75 per sezioni di 240 mm².

Per ulteriori dettagli vedi norma CEI 64-8 par.533.3 sezione commenti.

5.1.18 Protezione dai contatti diretti

Tutti gli impianti dovranno essere realizzati in modo che le persone non possano venire a contatto con le parti in tensione se non previo smontaggio o distruzione degli elementi di protezione.

L'isolamento dei componenti elettrici costruiti in fabbrica dovrà soddisfare le relative norme di legge.

Per gli altri componenti elettrici la protezione dovrà essere assicurata da un isolamento tale da resistere alle influenze meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali l'impianto può essere assoggetto durante l'esercizio.

In particolare la protezione dai contatti diretti dovrà essere assicurata mediante isolamento delle parti attive e mediante involucri o barriere saldamente fissate aventi grado di protezione non inferiore a IPXXB; le superfici superiori orizzontali delle barriere o degli involucri che sono a portata di mano devono avere grado di protezione non inferiore IPXXD, in conformità a quanto richiesto dalla Norma 64-8/4 art. 412.

Come protezione addizionale dovranno essere utilizzati interruttori - relè differenziali che proteggono contro i contatti diretti in caso di insuccesso delle altre misure di protezione o di incuria da parte degli utenti.

5.1.19 Protezione dai contatti indiretti - sistema TN

Il sistema elettrico alimentato in M.T. a 15 kV è di prima categoria con cabina di proprietà dell'utente con sistema distributivo di tipo TN-S.

Per la protezione dai contatti indiretti è stata verificata la relazione:

$$I_a \leq U_0/Z_s$$

in cui:

U_0 = valore efficace della tensione nominale fra fase e terra dell'impianto (230 V nel caso in esame);

I_a = valore in ampere della corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione in un tempo non superiore a:

5 secondi per i circuiti di distribuzione;

0.4 sec per circuiti terminali in ambienti ordinari (tensione di contatto massima $V_{camm}=50V$);

0.2 sec per circuiti terminali in ambienti particolari (tensione di contatto massima $V_{camm}=25V$).

Z_s = impedenza totale dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto, ed il conduttore di protezione fra il punto di guasto e la sorgente.

Tale verifica è stata effettuata nelle peggiori condizioni possibili e cioè in caso di guasto a fondo linea imponendo l'intervento istantaneo (magnetico) dell'interruttore di protezione.

In generale per la protezione delle linee di collegamento fra quadri saranno installati interruttori automatici con sganciatori magnetotermici differenziali selettivi, mentre per le linee che alimentano utenze terminali saranno installati interruttori automatici con sganciatori magnetotermici differenziali. Tale scelta deriva dalla considerazione che le stesse utenze possono essere alimentate sia dal sistema TN che dal sistema TT.

5.1.20 Protezione da sovracorrenti

Per la protezione da sovraccarico sono state verificate le disequivalenze:

I_b = corrente di impiego del circuito

$I_b \leq I_n \leq I_z$ I_n = corrente nominale dell'apparecchio di protezione

I_z = portata effettiva della conduttura

$I_f \leq 1.45 I_z$ I_f = corrente convenzionale di funzionamento dell'apparecchio di protezione.

Per gli interruttori automatici magnetotermici I_f è sempre inferiore o uguale a $1,45 I_n$; pertanto la seconda relazione è automaticamente soddisfatta se è soddisfatta la prima.

La protezione della conduttura contro il cortocircuito è stata effettuata verificando le condizioni relative al picco di corrente, all'energia specifica passante ed alla corrente minima di corto circuito in modo da coordinare tali valori con l'energia specifica passante sopportabile dai cavi e con l'energia specifica passante lasciata passare dai dispositivi di protezione.

In caso di protezione da corto circuito e sovraccarico assicurata da un solo dispositivo (interruttore automatico) esso è idoneo anche per proteggere la conduttura per un corto circuito in fondo alla linea. Quindi se la linea è protetta contro il sovraccarico la lunghezza massima protetta contro il corto circuito tende all'infinito.

Le condizioni precedenti si traducono nella verifica delle seguenti relazioni:

$I_{cu} > I_{cc}$ I_{cu} = potere di interruzione estremo dell'interruttore;

I_{cc} = corrente di cortocircuito presunta;

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

$I^2 t$ = valore dell'integrale di Joule = quantità dell'energia specifica si trasforma in calore durante il cortocircuito

S = sezione della linea [mm²]

K = coefficiente dipendente dal tipo di isolamento dei conduttori

$$I_{minp} < I_{ccm}$$

I_{minp} = corrente minima protetta dal dispositivo di protezione

I_{ccm} = corrente di cortocircuito minima (a fondo linea);

5.1.21 Potenze dispositivi installati in centrale e protezioni

Le potenze installate sono indicate negli allegati al progetto.

I dimensionamenti allegati sono stati verificati con apparecchiature di protezione Siemens.

Il costruttore dell'impianto dovrà, in fase di realizzazione dei lavori, effettuare i calcoli e le verifiche elettriche con le protezioni effettivamente installate.

5.1.22 Rifasamento

Il rifasamento si basa sulla espressione:

$$Q_{rif} = P_n \cdot (\tan \varphi - \tan \Theta)$$

nella quale Θ è l'angolo corrispondente al fattore di potenza a cui si vuole rifasare (0.9).

Il rifasamento sarà di tipo centralizzato. Saranno cioè inserite delle batterie di condensatori per rifasare alimentate dal Powew Center.

Saranno inserite anche batterie di rifasamento a valle dei trasformatori per compensare l'energia reattiva assorbita a vuoto dalla macchina.

La corrente nominale della batteria di condensatori viene calcolata tramite la:

$$I_{nc} = \frac{Q_{rif}}{k_{ca} \cdot V_n}$$

nella quale Q_{rif} viene espressa in kVAR.

Le correnti nominali e di taratura delle protezioni, devono tenere conto (CEI 33-5) che ogni batteria di condensatori può sopportare costantemente un sovraccarico del 30% dovuto alle armoniche; inoltre deve essere ammessa una tolleranza del +15% sul valore reale della capacità dei condensatori.

Pertanto la corrente nominale dell'interruttore deve essere almeno di $I_{tarth}=1.53 I_{nc}$.

Infine la taratura della protezione magnetica non dovrà essere inferiore a $I_{tarmag}=10 I_{nc}$.

5.1.23 Riferimenti normativi

Norme di riferimento per la Bassa tensione:

- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI 11-25 2001 IIa Ed. (EC 909): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIa Ed. 1998: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3 IV Ed. 1991: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e simili.
- CEI 33-5 Ia Ed. 1984: Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia.

a corrente alternata con tensione nominale inferiore o uguale a 660V.

- CEI 64-8 Va Ed. 2003: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- CEI UNEL 35023 1970: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.

- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastometrico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.

Norme di riferimento per la Media tensione

- CEI 11-1 IXa Ed. 1999: Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica
- CEI 11-17 IIa Ed. 1997: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.

5.2 Protezione contro le scariche atmosferiche

Il calcolo probabilistico di fulminazione e le misure di protezione contro le scariche atmosferiche determina la protezione adottata.

5.3 Calcoli illuminotecnici

I calcoli sono stati effettuati utilizzando la norma: "Illuminazione di interni con luce artificiale" UNI 10380.

In particolare l'impianto di illuminazione utilizzerà corpi illuminanti dotati di lampade che dovranno soddisfare i requisiti minimi indicati nella tabella sottostante che sono:

- Illuminamento medio di esercizio E_n ,
- tonalità di colore,
- gruppo di resa del colore e classe di controllo dell'abbagliamento.

Tipo di interno, compito e attività	E_n	G	Ra
-------------------------------------	-------	---	----

Cabina)	200	D	1B
Quadri elettrici – visualizzatore- PC pannel – comandi e lettura dati e segnalazioni	500	A	1B
Aree esterne agli edifici	20		

Si è previsto un impianto razionale, efficace e con un massimo rendimento.

Il numero e la potenza delle lampade occorrenti dipendono dalla superficie del locale, dall'illuminamento medio desiderato sul piano di lavoro, dal tipo di apparecchio illuminante adottato, dalla larghezza e lunghezza del locale in rapporto all'altezza delle sorgenti luminose, dal potere riflettente delle pareti e del soffitto ed infine dal grado di manutenzione previsto per l'impianto.

Il metodo di calcolo del fattore di utilizzazione o del flusso totale, utilizzato, è basato sulla conoscenza di una serie di fattori forniti dall'esperienza ed a tenuto conto dei fattori di riflessione delle pareti e del soffitto.

Si chiama fattore di utilizzazione U il rapporto tra il flusso luminoso Φ_u effettivamente ricevuto ed utilizzato sul piano di lavoro e quello totale Φ_e emesso dalle lampade nude:

$$U = \frac{\Phi_u}{\Phi_e}$$

Il fattore di utilizzazione è una grandezza adimensionale che indica in quale percentuale il flusso emesso dalla sorgente venga effettivamente utilizzato. Questo fattore viene ricavato sperimentalmente ed è funzione del tipo di corpo illuminante, del fattore di riflessione di pavimento, soffitto e pareti, della struttura geometrica del locale e della distanza della sorgente luminosa sia dal soffitto (h_s) che dal piano di illuminazione (h) posto convenzionalmente a 0,8 m dal pavimento e chiamato anche piano utile.

Le grandezze geometriche che, a parità di altre condizioni influiscono sul fattore di utilizzazione possono essere utilmente caratterizzate da un numero puro chiamato indice del locale K. Per l'illuminazione diretta, semi-diretta e mista l'indice del locale dipende dalle dimensioni dell'ambiente (larghezza a, lunghezza b) e dall'altezza di sospensione h degli apparecchi illuminanti rispetto al piano di lavoro.

Esso è espresso dalla formula:

$$K = \frac{a \cdot b}{h (a + b)}$$

Per l'illuminazione indiretta e semi-indiretta al posto dell'altezza di sospensione h va, invece, considerata l'altezza del soffitto H sul piano di lavoro e la formula diventa:

$$K = \frac{a \cdot b}{H (a + b)}$$

L'indice del locale K è inferiore a 1 per i locali alti e stretti, maggiore di 1 per quelli ampi e bassi. Il fattore di utilizzazione U varia assai poco per valori di K maggiori di 5, per cui si potrà adottare per K il valore di 5, senza commettere errori apprezzabili, anche quando dalla formula si ottiene un valore maggiore.

Calcolo del flusso luminoso

La formula risolutiva per il calcolo di un impianto di illuminazione col metodo del flusso totale adottata è la seguente:

$$n \cdot \varphi = \Phi = \frac{E \cdot A}{U \cdot M}$$

essendo:

- n il numero delle lampade;
- il flusso iniziale di ciascuna lampada nuda in lm;
- il flusso globale emesso dalle lampade nude, supposte tutte uguali, in lm;
- E l'illuminamento medio sul piano di lavoro in lx;
- A la superficie del piano utile in m²;
- U il fattore di utilizzazione;
- M il fattore di conservazione (manutenzione).

5.4 Impianto di illuminazione di sicurezza

E' stato previsto un impianto di illuminazione di emergenza costituito da inverter installati nei corpi illuminanti in grado di garantire un illuminamento minimo di 5 lux per una durata di 1 ora. In caso di black-out le lampade dotate del kit autonomo di emergenza si accenderanno senza alcuna interruzione ed al ritorno della tensione la batteria si ricaricherà automaticamente, predisponendosi per l'intervento successivo.

5.5 Dimensionamento impianto di terra

L'impianto di terra sarà realizzato mediante la posa in opera di corda di rame nuda a diretto contatto con il terreno e di picchetti verticali in numero e caratteristiche necessarie per ottenere un valore della resistenza di terra dell'impianto e valori di tensione di passo e contatto adeguata alle caratteristiche delle apparecchiature di protezione e ai tempi di intervento dell'ente fornitore e dei parametri tecnici del gruppo di generazione e ai limiti imposti dalla normativa vigente.

Saranno inoltre realizzati tutti i collegamenti equipotenziali della cabina elettrica e della centrale.

Al termine dei lavori dovranno comunque essere effettuate le misure di terra e di verifica delle tensioni di passo e contatto verificando i limiti imposti dalle norme. In caso negativo dovrà essere prevista l'integrazione dell'impianto di terra.

Per l'edificio della centrale elettrica è prevista la messa a terra del conduttore neutro in bassa tensione, la distribuzione del sistema risulta pertanto del tipo TN-S. Il centro stella di ciascun trasformatore risulterà collegato ai collettori di terra ubicati nella centrale elettrica.

Un guasto in media tensione interesserà il dispersore dell'impianto di terra, il quale è chiamato a disperdere la corrente di guasto. Nel tempo di permanenza del guasto, nell'area dell'impianto, non si dovranno verificare tensioni di passo e contatto pericolose.

Tali limiti di tensione sono definiti dalle norme CEI 11-1, in relazione ai tempi di intervento delle protezioni di media tensione dell'Ente Erogatore.

5.5.1 Dati tecnici di progetto

Per il calcolo dimensionale della rete di terra si è considerato il valore della corrente di guasto a terra e di intervento delle protezioni sulla linea MT forniti dall'ENEL.

5.5.2 Norme di riferimento

Norma CEI 11-1, fascicolo 5025

Norma CEI 64-8 IV edizione

Norma CEI 64-12

Norma CEI 11-37

5.5.3 Dimensionamento con riferimento alle tensioni di contatto e di passo

Con riferimento al valore del tempo di intervento delle protezioni, $t \geq 10$ s, si ricava dalla curva della fig. 9-1 della norma CEI 11-1 il corrispondente valore della tensione di contatto ammissibile:

$$UTP = 75 \text{ V}$$

Si calcola di conseguenza il valore della resistenza di terra R_e più elevato ed accettabile, considerando come valore della corrente di guasto a terra, il valore I_g fornito dall'Ente erogatore (incrementato prudenzialmente del 10%):

$$R_e = UTP / I_g$$

5.5.4 Dimensionamento con riferimento al comportamento termico

Il calcolo delle sezioni minime del dispersore e dei conduttori di terra per correnti di guasto interrotte in meno di 5 s, si calcola mediante la seguente formula dell'allegato B della Norma CEI 11-1:

$$A = \frac{I}{K} \cdot \sqrt{\frac{t}{\left(\frac{\Phi f + \beta}{\Phi i + \beta} \right)}}$$

dove:

A è la sezione in millimetri quadrati del conduttore

I è la corrente del conduttore in ampere

t è la durata in secondi della corrente di guasto

K è una costante che dipende dal materiale (rame): vale 226 (vedi tab. B-1, CEI 11-1)

β è il reciproco del coeff. di temp. del rame a 0 °C: vale 234,5 (vedi tab. B-1, CEI 11-1)

θ_i è la temperatura iniziale in gradi Celsius: vale 20 °C

θ_f è la temperatura finale in gradi Celsius: vale 300 °C

Con il calcolo si trova il valore della sezione minima del dispersore e dei conduttori di terra.

5.5.5 Dimensionamento con riferimento alla resistenza meccanica e alla corrosione

Dispersori

Le dimensioni minime da adottare sono quelle prescritte dall'allegato A (norma CEI 11-1), dettate da considerazioni sulla resistenza meccanica e sulla corrosione; per il rame nudo in corda tale sezione risulta di 25 mm².

La sezione scelta per la corda di rame nudo per l'impianto in oggetto, pari a 95 mm², garantisce pertanto la resistenza meccanica e alla corrosione del dispersore. Tale corda sarà interrata ad una profondità di 0,8 metri.

5.5.6 Formule utilizzate per i dimensionamenti dell'impianto di terra

Resistenza del dispersore a maglia :

$$R_t = \rho \left[\frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \cdot \left[1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right]$$

nella quale:

R_t è la resistenza totale di terra in Ohm

ρ è la resistività del terreno Ohmm

A superficie dell'area da proteggere in m²

L_c è la Lunghezza totale dei conduttori interrati in m.

Tensione di maglia di angolo (tensione che in presenza di correnti di terra, viene assunta da un qualsiasi punto del perimetro di una maglia rispetto alla superficie del terreno al centro della maglia stessa):

$$E_{ma} = \rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot \frac{K_i}{L_c}$$

nella quale

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{1+h}} \cdot \ln \left(\frac{4}{\pi N} \right) + \ln \left[\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right] \right]$$

e

$$K_i = 0.65 + 0.17 \cdot N$$

con

D è la distanza tra due conduttori paralleli vicini in m.

h è la profondità di posa in m.

d è il diametro dei conduttori in m.

N è il numero dei conduttori paralleli che si contano su un lato del dispersore

Tensione di passo massima (tensione che può verificarsi in un dispersore a maglia in presenza di correnti di terra è quella che si manifesta tra uno spigolo del dispersore e un punto sul terreno a distanza di un metro dallo stesso):

$$E_p = \rho \cdot I_g \cdot K_s \cdot \frac{K_i}{L_c}$$

dove K_s vale

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \right)$$

Il contributo dei picchetti, considerando che la distanza tra i picchetti è piccola, si valuta:

$$R_t = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left(2 \cdot \frac{L}{R_e} \right)$$

dove R_e rappresenta il raggio equivalente medio geometrico del gruppo di picchetti considerato.

