



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE Lavori di Potenziamento dello Svincolo Tiburtina 1° Stralcio Funzionale

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: PROGETTAZIONE GRANDI INFRASTRUTTURE – PROGIN SPA

PROGETTISTA:
Dott. Ing. Lorenzo Infante
Ordine degli Ingegneri Provincia di Salerno n°3446

IL GEOLOGO:
Dott. Geol. Gianluca Pandolfi Elmi

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:
Prof. Ing. Antonio Grimaldi

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Michele Curiale

VISTO IL RESP. DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Achille Devitofranceschi

PROTOCOLLO DATA



PROGETTAZIONE:

PROGETTAZIONE
GRANDI
INFRASTRUTTURE
PROGIN S.p.A.
Mandataria

ITI
Italtec Ingegneria s.r.l.
Mandante

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

RELAZIONE TECNICA IMPIANTISTICA

CODICE PROGETTO		NOME FILE DG1909_D_1701_P00_IM00_IMP_RE02_B_DOCX	REVISIONE	FOGLIO	SCALA
PROGETTO DG109	LIV.PROG. D	N.PROG. 1701	CODICE ELAB. P00IM00IMP RE02	B	00 DI 00
C					
B	EMISSIONE A SEGUITO OSSERVAZIONI CDS	Marzo 2020	P. Pacelli	R. Velotta	L. Infante
A	EMISSIONE PER CDS	06/2017	C. Giardina	B. De Santis	L. Infante
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

2 di 36

INDICE

1. IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE	3
1.1 OGGETTO.....	3
1.2 DIMENSIONAMENTO ILLUMINOTECNICO	3
1.2.1 Obiettivi.....	3
1.2.2 Riferimenti normativi e legislativi	4
1.2.3 Criterio di dimensionamento	5
1.2.4 Tipologia delle lampade SAP	8
1.2.5 Quantità e tipo di lampade previste in progetto	9
1.2.6 Apparecchi illuminanti.....	9
1.2.7 Rispetto delle norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso.....	10
1.2.8 Soluzioni progettuali.....	10
2. IMPIANTO DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA	12
2.1 DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	12
2.1.1 Obiettivi.....	12
2.1.2 Riferimenti normativi.....	12
2.1.3 Aspetti generali.....	14
2.1.4 Fornitura di energia elettrica	15
2.1.5 Tabella dati elettrici.....	15
2.1.6 Quadro torre faro.....	16
2.1.7 Cavi, cavidotti e pozzetti	17
2.1.8 Derivazione.....	18
2.1.9 Impianto di terra	18
2.1.10 Regolatore di tensione e dispositivi di accensione.....	18
2.1.11 Riferimenti per il dimensionamento elettrico delle linee.....	19
2.1.11.1 Calcolo delle correnti di impiego.....	20
2.1.11.2 Calcolo delle correnti di impiego.....	21
2.1.11.3 Integrale di Joule.....	22
2.1.11.4 Dimensionamento dei conduttori di neutro	24
2.1.11.5 Dimensionamento dei conduttori di protezione.....	25
2.1.11.6 Calcolo della temperatura dei cavi.....	26
2.1.11.7 Cadute di tensione.....	26
2.1.11.8 Fornitura della rete.....	27
2.1.11.9 Bassa tensione.....	27
2.1.11.10 Calcolo dei guasti.....	29
2.1.11.11 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito.....	29
2.1.11.12 Calcolo delle correnti minime di cortocircuito.....	32
2.1.11.13 Scelta delle protezioni.....	33
2.1.11.14 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture.....	33
2.1.11.15 Verifica di selettività.....	34
2.1.12 Protezione dai contatti diretti ed indiretti	35
2.1.12.1 Contatti diretti.....	35
2.1.12.2 Contatti indiretti.....	36



1. IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

1.1 OGGETTO

Nel documento sono illustrate le scelte progettuali adottate per il dimensionamento dei quattro impianti di illuminazione previsti all'interno del progetto "Potenziamento dello svincolo Tiburtina sull'Autostrada Grande Raccordo Anulare" e denominati, procedendo da nord a sud:

1. Rampa di inversione Nord
2. Svincolo Tiburtina
3. Rampa Est
4. Rampa Ovest

Nello specifico i tre interventi denominati "Rampa di inversione Nord", "Rampa Est" e "Rampa Ovest" consistono nella realizzazione ex-novo dell'impianto elettrico e di illuminazione e comprendono le relative opere di scavo con fornitura e posa dei cavidotti, dei plinti e pozzetti, dei cavi di alimentazione, dei pali di illuminazione, delle armature stradali, del quadro di misura del distributore locale oltre al quadro di controllo e comando dotato di regolatore di tensione. L'impianto di illuminazione prevede palificazioni in acciaio zincato da 10m fuori terra con apparecchio illuminante stradale da 150 S.A.P.

L'intervento denominato "Svincolo Tiburtina" prevede il ricollocamento di due delle sei torri faro esistenti oltre alla realizzazione delle opere di scavo con fornitura e posa dei cavidotti, dei plinti e pozzetti, dei cavi di alimentazione, dei pali di illuminazione, delle armature stradali, del quadro di misura del distributore locale oltre al quadro di controllo e comando dotato di regolatore di tensione.

1.2 DIMENSIONAMENTO ILLUMINOTECNICO

1.2.1 Obiettivi

I requisiti che il nuovo impianto di illuminazione deve garantire sono:

- un adeguato illuminamento, nonché luminanza media dell'area in modo tale che essa sia riconoscibile dal guidatore e che venga realizzato un sufficiente contrasto fra possibili ostacoli e sfondo.
- L'uniformità dell'illuminamento e della luminanza dell'area al fine di assicurare che in ogni punto ci sia il suddetto contrasto con gli oggetti da individuare.
- La limitazione dell'abbagliamento da parte dei centri luminosi. La disposizione planimetrica dei centri luminosi deve fornire una buona guida ottica e segnalare eventuali variazioni del normale tracciato.



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

4 di 36

- Consentire all'utente della strada di transitare in sicurezza sulla strada fornendo in tempo reale tutte le informazioni necessarie per consentire una guida sicura e senza indecisioni.
- Contenere i costi di gestione con l'adozione di apparecchi illuminanti aventi rendimenti superiori all'80%, con l'impiego di sorgenti luminose al Sodio Alta Pressione con rendimenti superiori ai 105 lumen/watt e utilizzare sistemi di regolazione del flusso luminoso.
- Limitare nel tempo gli interventi di manutenzione mediante:
 - Adozione di apparecchi illuminanti completamente in fusione di alluminio e grado di protezione minimo IP66 (vano ottico + vano ausiliari);
 - Adozione di riduttori di tensione in grado di limitare il flusso luminoso nelle ore notturne con scarso traffico facendo funzionare le sorgenti luminose a tensione ridotta e quindi incrementare notevolmente la vita media delle lampade e degli ausiliari elettrici;
 - Adozione di riduttori di tensione che restituendo una tensione stabilizzata consentono di ridurre i costi di gestione dell'impianto;
- Garantire il rispetto dei riferimenti legislativi in vigore nella regione Lazio quali la Legge Regionale 13 aprile 2000, n. 23 "Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso - Modificazioni alla legge regionale 6 agosto 1999, n. 14" ed il Regolamento di Attuazione della L.R. 23/2000 del Lazio pubblicato il 30 Aprile sul BURL ed entrato in vigore il 1° maggio 2000.
- Sicurezza degli operatori, degli utenti e degli impianti.
- Semplicità ed economia della manutenzione.
- Scelta di apparecchiature improntata a criteri di qualità, semplicità e robustezza.
- Risparmio energetico.
- Affidabilità e massima continuità di servizio.

1.2.2 Riferimenti normativi e legislativi

- UNI EN 11248- Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche.
- UNI EN 13201-2 Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali.
- UNI EN 13201-3 Illuminazione stradale - Parte 3: Calcolo delle prestazioni.
- UNI EN 13201-4 Illuminazione stradale - Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche.
- Legge Regionale 13 aprile 2000, n. 23 "Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso - Modificazioni alla legge regionale 6 agosto 1999, n. 14".



- Regolamento di Attuazione della L.R. 23/2000 del Lazio pubblicato il 30 Aprile sul BURL ed entrato in vigore il 1° maggio 2000.
- Norme CEI 34.21 "Apparecchi illuminanti"
- EN 40 "Palificazioni"
- D.P.R. 462/01;
- D.M. N° 37/2008
- Legge 168 del 01.03.1986;
- D.P.R. n° 547/55

1.2.3 Criterio di dimensionamento

Dal punto di vista delle caratteristiche geometriche e funzionali una classificazione sistematica delle possibili forme elementari delle intersezioni stradali è effettuata dalla legislazione vigente (*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali* - DM 19 aprile 2006 - G.U. n. 170 del 24/07/2006).

Nel caso specifico, i principali elementi geometrici e funzionali componenti l'intersezione sono le rampe e le corsie specializzate, destinate ai veicoli che si accingono ad effettuare le manovre di svolta e che consentono di non arrecare eccessivo disturbo alla corrente di traffico principale ovvero:

- *corsia di entrata* (o immissione): composta dai tratti elementari di accelerazione, immissione e di raccordo;
- *corsie di uscita* (o diversione): composta dai tratti elementari di manovra, decelerazione e di accumulo.

Le caratteristiche fotometriche di un impianto di illuminazione stradale sono definite mediante una o più categorie illuminotecniche, che dipendono da numerosi parametri di influenza.

Per l'individuazione delle categorie illuminotecniche da assegnare ai tratti stradali oggetto del presente progetto è stata utilizzata la norma UNI 11248:2007 "Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche", ovvero il prospetto di seguito riportato.

**Anas SpA**

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
 Lavori di Potenziamento dello
 Svincolo Tiburtina
 1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
 TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

6 di 36

Tipo di strada	Descrizione del tipo di strada	Limiti di velocità [km h-1]	Categoria illuminotecnica di riferimento
A ₁	Autostrade extraurbane	130 - 150	ME1
	Autostrade urbane	130	
A ₂	Strade di servizio alle autostrade	70 - 90	ME3a
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	ME3a
	Strade di servizio alle autostrade principali	70 - 90	ME4a
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2 ⁴)	70 - 90	ME3a
	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	ME3a
D	Strade urbane di scorrimento veloce	70	ME3a
		50	
E	Strade urbane interquartiere	50	ME3c
	Strade urbane di quartiere	50	
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2 ⁴)	70 - 90	ME3a
	Strade locali extraurbane	50	ME3c
		30	ME3a
	Strade locali urbane (tipi F1 e F2 ⁴)	50	ME4b
	Strade locali urbane: centri storici; isole ambientali; zone 30	30	S3
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	ME4b
	Strade locali urbane: aree pedonali	5	CE4
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE5 / S3
50			
Strade locali interzonali	50	S3	
	30		
	Piste ciclabili ⁵⁾	Non dichiarato	S3
	Strade a destinazione particolare ⁶⁾	30	

La stessa norma specifica che nel caso di intersezioni stradali, considerata la loro complessità e varietà, le indicazioni fornite sono da considerarsi come informative.

Ciò posto sono state individuate le seguenti categorie illuminotecniche:

- la *categoria illuminotecnica di riferimento*, che dipende esclusivamente dal tipo di strada presente nella zona di studio considerata secondo la classificazione delle strade adottata dal Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n. 285 "Nuovo Codice della Strada e successive integrazioni e modifiche";
- la *categoria illuminotecnica di progetto*, che dipende dall'applicazione dei parametri di influenza e specifica i requisiti illuminotecnici da considerare nel progetto dell'impianto;
- la *categoria illuminotecnica di esercizio* che specifica sia le condizioni operative istantanee di funzionamento di un impianto sia le possibili condizioni operative previste con un piano di esercizio stagionale/giornaliero, in base alla variabilità nel tempo dei parametri di influenza. Tale assegnazione dovrà essere oggetto del progetto esecutivo e definita di concerto con l'ente gestore della strada.

Gli aspetti illuminotecnici assunti nella progettazione sono stati dedotti dalle attuali normative UNI, in particolare, si è fatto riferimento, per l'identificazione della classe d'illuminamento, alla



suddetta norma UNI 11248:2007 che recepisce i principi di valutazione del rapporto tecnico CEN/TR 13201-1.

Per la definizione dei parametri prestazionali si è fatto riferimento alla norma UNI EN 13201-2.

L'appendice C "Illuminazione delle intersezioni stradali" della UNI 11248:2007, analizzando le intersezioni stradali, consente di definire le zone di nostro interesse, oggetto del progetto, quali gli svincoli.

Al punto C.3 "illuminazione delle intersezioni a raso lineari ed a livelli sfalsati" la norma classifica i principali elementi componenti le intersezioni in:

- rampe;
- corsie specializzate: di entrata e di uscita.

In generale gli elementi componenti le intersezioni (rampe e corsie specializzate), per le loro caratteristiche geometriche e funzionali, possono essere illuminati applicando le categorie illuminotecniche della serie CE, integrate con i requisiti sull'abbagliamento debilitante, come specificato al punto 9.1.1.

Occorre osservare che gli elementi delle intersezioni in oggetto costituiscono delle zone di conflitto, nelle quali statisticamente si verifica il maggior numero di incidenti, anche se la velocità ammessa è minore di quella delle strade principali.

Al punto C.3.2.1 "Caso delle strade principali (delle quali gli elementi di intersezione fanno parte) illuminate" è indicato che la categoria illuminotecnica selezionata dovrebbe essere maggiore di un livello luminoso rispetto alla maggiore tra quelle selezionate per le strade di accesso, facendo riferimento al prospetto 6 di seguito riportato.

Comparazione di categorie illuminotecniche

Categoria illuminotecnica								
	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6		
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6

Nel caso particolare la categoria illuminotecnica delle strade di accesso è definita ME3 e, conseguentemente, nell'intersezione è stata prevista la categoria illuminotecnica CE2.

Di seguito si riporta il prospetto 1a della UNI EN 13201-2 in cui sono indicati i valori illuminotecnici per ciascuna categoria serie ME.



Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto			Abbagliamento debilitante
	L [cd/m ²] minima mantenuta	U _o minima	U _L minima	TI in % massimo
ME1	2,0	0,4	0,7	10
ME2	1,5	0,4	0,7	10
ME3a	1,0	0,4	0,7	15
ME3b	1,0	0,4	0,6	15
ME3c	1,0	0,4	0,5	15
ME4a	0,75	0,4	0,6	15
ME4b	0,75	0,4	0,5	15
ME5	0,5	0,35	0,4	15
ME6	0,3	0,35	0,4	15

La stessa norma, nel prospetto 2 di seguito riportato, quantifica i valori di illuminamento per le categorie illuminotecniche CE.

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	\bar{E} in lx (minimo mantenuto)	U _o (minima)
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

1.2.4 Tipologia delle lampade SAP

Le lampade previste nei quattro interventi in progetto sono del tipo a scarica al sodio ad alta pressione (SAP) aventi le seguenti caratteristiche:

Potenza	Flusso luminoso [lumen]	Efficienza luminosa [lumen/W]	Attacco	Tipologia	Tonalità
150W	17.000	113	E40	tubolare	2000°K
1000W	130.000	130	E40	tubolare	2000°K

Le lampade SAP sono attualmente le più utilizzate per l'illuminazione stradale e, tra l'altro, sono attualmente utilizzate sia sul G.R.A. che sulla via Tiburtina.



I principali vantaggi delle lampade SAP sono:

- elevata efficienza luminosa
- buona penetrazione del flusso luminoso nella nebbia;
- accettabile resa cromatica;
- ridotte dimensioni;
- funzionamento in qualsiasi posizione;
- particolarmente adatte alla riduzione del flusso luminoso tramite variazione della tensione di alimentazione.

1.2.5 Quantità e tipo di lampade previste in progetto

Nella tabella seguente sono state riportate, per ciascuno dei quattro interventi, la potenza e il numero di lampade SAP previste.

<i>Intervento</i>	<i>Potenza lampade SAP</i>	<i>Quantità</i>
Inversione di marcia Nord	150 W	19
Svincolo Tiburtina	1000 W	32
Rampa Est	150 W	19
Rampa Ovest	150 W	23

1.2.6 Apparecchi illuminanti

Gli apparecchi illuminanti impiegati dovranno rispondere alle Norme CEI 34.21 ed avere un grado di protezione minimo IP65 oltre a garantire il rispetto della Legge Regionale del Lazio 13 aprile 2000, n. 23 ed, in particolare, dovranno avere le seguenti caratteristiche costruttive:

- Corpo in fusione di alluminio comprensivo da vano ausiliari come reattore, accenditore e condensatore di rifasamento con grado di protezione non inferiore a IP65;
- Ottica in alluminio purissimo cut-off anabbagliante con rendimento non inferiore all'80%;
- Vetro di chiusura piano in grado di assicurare al gruppo ottico un grado di protezione non inferiore a IP65 al fine di mantenere inalterate nel tempo le caratteristiche illuminotecniche.



1.2.7 Rispetto delle norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso

L'impianto è stato progettato nel rispetto delle norme sulla riduzione e prevenzione dell'inquinamento luminoso vigenti nella regione Lazio e in particolare:

- Legge Regionale 13 aprile 2000, n. 23 "Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso - Modificazioni alla legge regionale 6 agosto 1999, n. 14".
- Regolamento di Attuazione della L.R. 23/2000 del Lazio pubblicato il 30 Aprile sul BURL ed entrato in vigore il 1° maggio 2000.

All'art. 2 del suddetto regolamento di attuazione è richiesto: "... per gli impianti di tipo stradale con impiego di armature stradali o di altro genere: emissione massima 5 cd/klm a 90° e 0 cd/klm a 95° e oltre" e "... per gli impianti di qualsiasi altro tipo anche con uso di proiettori e torri-faro: emissione massima 15 cd/klm a 90° se con ottiche simmetriche, 5 cd/klm a 90° se con ottiche asimmetriche e comunque 0 cd/klm a 100° e oltre per entrambi i tipi".

Nello specifico, al fine di escludere qualsiasi problematica di inquinamento luminoso, sono stati adottati apparecchi illuminanti dotati di ottiche del tipo cut-off con intensità luminosa nell'emisfero superiore (cioè con $\gamma \geq 90^\circ$) di 0 (zero) cd/klm ed installazione a tilt nullo. Tali accorgimenti soddisfano non solo quanto richiesto dalla Legge Regionale ma anche la norma UNI 10819.

All'art. 4 è espressamente enunciato il divieto di utilizzare lampade con efficienza luminosa inferiore a 90 lm/W.

Le lampade previste in progetto sono del tipo SAP (Sodio ad Alta Pressione) che garantiscono una efficienza luminosa notevolmente superiore al valore minimo indicato all'art. 4.

Nell'ottica di contribuire alla diminuzione dell'inquinamento luminoso e nel contempo alla diminuzione del consumo di energia elettrica, sono stati previsti appositi regolatori di flusso luminoso a servizio dei tre impianti di illuminazione previsti in progetto.

1.2.8 Soluzioni progettuali

I tre diversi interventi previsti in progetto sono stati denominati:

- Rampa di inversione Nord;
- Svincolo Tiburtina
- Rampa Est
- Rampa Ovest



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

11 di 36

Per gli interventi "Rampa di inversione Nord", "Rampa Est" e "Rampa Nord" sono stati previsti pali di illuminazione aventi un'altezza di 10 m e dotati di armature a vetro piano con lampade SAP da 150 W.

La disposizione dei pali è prevista sul lato esterno delle rampe.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le informazioni relative ai tre suddetti interventi.

<i>Intervento</i>	<i>Potenza lampade SAP</i>	<i>Quantità armature stradali</i>	<i>Quantità pali</i>
Inversione di marcia Nord	150 W	19	15
Rampa Est	150 W	19	19
Rampa Ovest	150 W	23	19

L'intervento "Svincolo Tiburtina" prevede, invece, l'utilizzo delle sei torri faro esistenti dotate di proiettori SAP da 1000 W di cui due, come evidenziato nella relativa tavola grafica, sono state riposizionate in quanto interessate dall'intervento stradale.



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

12 di 36

2. IMPIANTO DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Nel documento sono illustrate le scelte progettuali adottate per il dimensionamento dell'impianto di alimentazione elettrica funzionale all'illuminazione dei quattro interventi presenti in progetto e denominati, procedendo da nord a sud:

- Rampa di inversione Nord;
- Svincolo Tiburtina
- Rampa Est
- Rampa Ovest

2.1 DIMENSIONAMENTO ELETTRICO

2.1.1 Obiettivi

Le scelte che hanno informato la progettazione sono:

- garantire la sicurezza degli utenti e degli operatori
- garantire una elevata affidabilità e funzionalità del sistema
- diminuire i costi legati agli interventi di manutenzione
- consentire un ampliamento dell'impianto senza dover modificare le sezione dei cavi
- contenere le perdite di energia

2.1.2 Riferimenti normativi

Gli impianti elettrici interessati dal progetto riguardano gli impianti di illuminazione pubblica o similari, entrambi sottostanti all'ambito applicativo delle Norme CEI 64-8 "Impianti utilizzatori a tensione nominale inferiore a 1000 V in c.a." e specificatamente per l'impianto di illuminazione, nell'ambito della sezione 714 che dal 1° giugno 2005 sostituisce la Norma CEI 64/7, terza edizione, fascicolo 4618 «Impianti elettrici di illuminazione pubblica».

Tutti gli impianti dovranno essere realizzati a perfetta regola d'arte secondo le seguenti leggi, norme e guide tecniche impiantistiche di riferimento:

- Prescrizioni degli Enti preposti al controllo degli impianti nella zona in cui si eseguiranno i lavori, ed in particolare: Ispettorato del Lavoro, Vigili del Fuoco, ASL, ISPESL.
- Legge n. 86 del 1/3/1968 - Disposizioni concernenti la produzione di materiali apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici.



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO
13 di 36

- Prevenzione Infortuni, con particolare riguardo al DL 106/2009
- Società Distributrice dell'Energia Elettrica
- tabelle di unificazione dell'UNEL
- Testo unico sulla sicurezza DL 81/2008.
- Decreto correttivo D. Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 e s.m.i.
- Decreto Ministeriale 22 Gennaio 2008, n. 37
- CEI 0-13 "Protezione contro i contatti elettrici - Aspetti comuni per gli impianti e le apparecchiature".
- CEI 0-14 "Guida all'applicazione del DPR 462/01 relativo 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".
- CEI 11-1 "Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica".
- CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo".
- CEI EN 60439-1 "Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per BT".
- CEI 23-116 "Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche".
- CEI 34-21 (EN 60598-1) "Apparecchi di illuminazione".
- CEI 23-44 (CEI EN 61009-1) "Interruttori differenziali con sganciatori di sovracorrente incorporati per installazioni domestiche e similari".
- CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua".
- CEI 64-8/7 "Impianti elettrici di illuminazione pubblica e similari".
- CEI 81-10 "Protezione dai fulmini".
- 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 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.



- CEI 33-5 la 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 Via Ed. 2007: 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.
- IEC 60364-5-52: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2009: 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.

2.1.3 Aspetti generali

Gli impianti elettrici interessati dal progetto comprendono tutti quelli relativi all'alimentazione dell'illuminazione esterna dei quattro interventi in progetto.

Il punto di consegna dell'energia elettrica per l'alimentazione delle torri faro dello "Svincolo Tiburtina – GRA" è stato collocato nelle adiacenze di quello attualmente esistente mentre, per gli altri tre interventi, sono stati individuati i punti di consegna uno per ciascun intervento come è facilmente individuabile negli elaborati grafici dedicati.

Sono previste quattro distinte forniture elettriche ciascuna dedicata ad uno dei quattro interventi. Ogni fornitura alimenterà il quadro elettrico generale QGBT a cui saranno attestate le linee elettriche di alimentazione delle torri faro o dei pali di illuminazione.

Per ciascuno dei quattro interventi è previsto un regolatore di tensione per il controllo del flusso luminoso delle lampada.

La posa dei circuiti è prevista in cavidotti interrati e, in caso di posa all'aperto, in passerelle portacavi.

Negli elaborati grafici sono evidenziate le informazioni necessarie per una corretta definizione delle soluzioni scelte.

**Anas SpA**

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio FunzionaleIMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

15 di 36

2.1.4 Fornitura di energia elettrica

Il sistema elettrico presenta le seguenti caratteristiche comuni ai quattro interventi previsti in progetto:

- Sistema di distribuzione: TT
- Corrente alternata
- Frequenza: 50 Hz

La fornitura è prevista:

- Svincolo Tiburtina: trifase 230/400 V
- Inversione di marcia, Rampa Est, Rampa Ovest: monofase 230 V.

2.1.5 Tabella dati elettrici

Si riportano le tabelle specifiche per ciascuno dei quattro interventi previsti in progetto in cui sono riportati i risultate le principali informazioni determinate a valle del dimensionamento elettrico.

Inversione di marcia

Linea di alimentazione	Lunghezza linea di alimentazione [m]	Tipologia cavo	Sezione cavo [mm ²]	Potenza nominale lampada SAP [W]	Potenza assorbita lampada SAP [W]	Numero di armature stradali	Potenza totale assorbita [W]
L1	294	FG7OR 0,6/1 kV	2 x 10	150	172	9	1.548
L2	155	FG7OR 0,6/1 kV	2 x 6	150	172	10	1.720

Potenza totale 3.268



Svincolo Tiburtina – GRA

Linea di alimentazione	Lunghezza linea di alimentazione [m]	Tipologia cavo	Sezione cavo [mm ²]	Utenza Torre faro	Potenza nominale lampada SAP [W]	Potenza assorbita lampada SAP [W]	Numero di proiettori	Potenza totale assorbita [W]
L1	35	FG7OR 0,6/1 kV	4 x 6	T1	1.000	1.058	5	5.290
L2	130	FG7OR 0,6/1 kV	4 x 6	T2	1.000	1.059	6	6.354
L3	230	FG7OR 0,6/1 kV	4 x 10	T3	1.000	1.060	6	6.360
L4	190	FG7OR 0,6/1 kV	4 x 10	T4	1.000	1.061	5	5.305
L5	180	FG7OR 0,6/1 kV	4 x 10	T5	1.000	1.062	5	5.310
L6	230	FG7OR 0,6/1 kV	4 x 10	T6	1.000	1.063	5	5.315

Potenza totale 33.934

Rampa Est

Linea di alimentazione	Lunghezza linea di alimentazione [m]	Tipologia cavo	Sezione cavo [mm ²]	Potenza nominale lampada SAP [W]	Potenza assorbita lampada SAP [W]	Numero di armature stradali	Potenza totale assorbita [W]
L1	294	FG7OR 0,6/1 kV	2 x 10	150	172	11	1.892
L2	210	FG7OR 0,6/1 kV	2 x 10	150	172	8	1.376

Potenza totale 3.268

Rampa Ovest

Linea di alimentazione	Lunghezza linea di alimentazione [m]	Tipologia cavo	Sezione cavo [mm ²]	Potenza nominale lampada SAP [W]	Potenza assorbita lampada SAP [W]	Numero di armature stradali	Potenza totale assorbita [W]
L1	238	FG7OR 0,6/1 kV	2 x 10	150	172	9	1.548
L2	157	FG7OR 0,6/1 kV	2 x 6	150	172	5	860
L3	265	FG7OR 0,6/1 kV	2 x 10	150	172	9	1.548

Potenza totale 3.956

2.1.6 Quadro torre faro

Per l'alimentazione delle torri faro è prevista, a valle della linea di alimentazione, la realizzazione di un quadro elettrico specifico, da posizionare nelle adiacenze della base della torre faro. Il quadro conterrà gli interruttori di protezione e comando per l'alimentazione degli apparecchi illuminanti e prese del tipo CEE di innesto.



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

17 di 36

Ciascun quadro sarà costituito da armadio con grado di protezione non inferiore a IP55 in materiale sintetico come poliestere rinforzato con fibre di vetro (non metallico) completa di serratura agibile mediante chiave di sicurezza, prese d'aria anteriori e sottotetto. La posa avverrà su zoccolo, anch'esso in vetroresina, fissato a plinto di fondazione sporgente di 20 cm circa dalla quota della pavimentazione.

All'interno del basamento occorrerà prevedere un foro per il passaggio dei cavi ed all'esterno, un pozzetto di calcestruzzo, per lo smistamento dei cavi in arrivo ed in uscita dal quadro. L'equipaggiamento generale del quadro sarà costituito da un sezionatore di arrivo linea, due interruttori automatici per i circuiti trifase di alimentazione delle lampade ed un interruttore automatico per gli ausiliari.

2.1.7 Cavi, cavidotti e pozzetti

I circuiti di distribuzione (dorsali di alimentazione) saranno realizzati con cavi multipolari con guaina del tipo FG7OR non propagante la fiamma CEI 20-35 e l'incendio CEI 20-22 a bassa emissione di gas corrosivi.

La rete di distribuzione è prevista, per i percorsi interrati, posata in tubazioni a doppio strato in polietilene di diametro 110 mm, e per i percorsi all'aperto, in passerelle portacavi in acciaio zincato secondo le modalità di posa riportate negli elaborati grafici.

Per l'infilaggio dei cavi sono previsti idonei pozzetti lungo il percorso di sezione 0,4x0,4m. I pozzetti sono previsti in corrispondenza delle derivazioni, dei centri luminosi, dei cambi di direzione, ecc. in modo da facilitare la posa dei cavi, rendere l'impianto sfilabile ed accessibile alle riparazioni o ampliamenti. Nelle tavole grafiche sono indicati e numerati i pozzetti previsti in progetto.

Al fine di ottimizzare la distribuzione e in funzione della distanza e della potenza elettrica del carico, sono stati previsti, per l'alimentazione delle torri faro, circuiti trifasi, mentre per l'alimentazione dei pali di illuminazione, circuiti monofase.

La linea di alimentazione all'interno della torre faro è prevista con cavo pentapolare (3 fasi, neutro, PE) mentre la derivazione verso le armature dei pali di illuminazione è prevista in cavo tribolare (fase, neutro, PE).

Per i percorsi comuni a più circuiti i conduttori potranno essere posati in un'unica tubazione, rispettando sempre le condizioni di sfilabilità dei cavi stessi secondo le quali il diametro interno del tubo deve essere pari ad almeno 1,3 volte il diametro del cerchio circoscritto al fascio dei cavi in esso contenuti.

Il tracciato del tubo protettivo interrato dovrà essere tale da consentire un andamento rettilineo orizzontale; le curve dovranno essere effettuate con accessori idonei che non dovranno danneggiare i cavi in esse posati.



2.1.8 Derivazione

Per la derivazione dei pali stradali è stato previsto un sistema “entra-esci” da realizzare nell’apposita morsettiera monofase collocata nell’asola del palo di illuminazione. La morsettiera è prevista di dispositivo porta fusibile con un fusibile per la protezione del circuito terminale al fine di fornire una protezione addizionale in caso di cortocircuito. La morsettiera garantisce il dispositivo di giunzione per il cavo principale del circuito (dorsale). Devono essere evitate le giunzioni e le derivazioni nei pozzetti o nelle canale portacavi.

2.1.9 Impianto di terra

E previsto un impianto di terra specifico per ciascuno dei quattro interventi previsti in progetto e composto da:

- un dispersore comune, costituito da una corda di rame nuda da 25 mm², posata interrata lungo il percorso del cavidotto dei circuiti di collegamento alla profondità di posa del cavidotto;
- un collettore o nodo principale di terra del quadro generale costituito da un una barra di rame a cui sono collegate le corde di rame nuda in partenza;
- collegamenti dei pali metallici e delle torri faro al dispersore costituito dalla corda di rame nuda

Inoltre, al piede di ogni torre faro sarà installato un dispersore in acciaio zincato della lunghezza di 1,5 metri al quale faranno capo tutte le masse metalliche della torre faro; tale collegamento sarà realizzato con conduttore in rame giallo verde di adeguata sezione. Il dispersore di ciascuna torre faro sarà ubicato in proprio pozzetto di ispezione e le giunzioni tra tale dispersore e la treccia di rame nudo da 25 mm² direttamente interrata saranno realizzate con appositi morsetti del tipo in acciaio zincato a caldo o in rame indurito.

2.1.10 Regolatore di tensione e dispositivi di accensione

Al fine di contenere i consumi di energia elettrica, di diminuire l’inquinamento luminoso e di incrementare la durata delle lampade, è previsto, per ciascuno dei quattro interventi, un dispositivo denominato “regolatore di tensione” specifico per tipologia di alimentazione e potenza installata che consentirà la regolazione del flusso luminoso dei corpi illuminanti.

Il regolatore di tensione è un dispositivo elettronico centralizzato per l’alimentazione delle lampade al sodio ad alta pressione (SAP) previste in progetto. La principale funzione di tale dispositivo è quella di variare la tensione di alimentazione entro un intervallo specifico delle lampade SAP oltre a garantire una tensione di alimentazione stabilizzata.

Alla messa in servizio il regolatore dovrà essere predisposto per effettuare il ciclo di accensione ad un valore fissato, che correttamente può essere di 205 V. Al termine del ciclo di accensione,



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

19 di 36

il regolatore inizierà gradualmente ad incrementare la tensione d'uscita fino al raggiungimento del valore nominale (230V), permettendo alle lampade di lavorare al massimo della luminosità.

Durante le ore notturne, contraddistinte da un minor traffico veicolare, il regolatore consentirà al gestore dell'impianto di alimentare le lampade con tensione ridotta raggiungendo le prestazioni illuminotecniche associate alla categoria di esercizio che verrà stabilita in sede di progettazione esecutiva e confermata al momento dell'apertura al traffico della strada. I benefici energetici associati sono correlati alla minor richiesta di potenza elettrica nei periodi in cui risulta diminuita la tensione dei circuiti di alimentazione delle sorgenti luminose.

Il regolatore di tensione garantisce anche la stabilizzazione della tensione con conseguente incremento della vita media delle lampade, consentendo nel contempo un corretto livello d'illuminamento nel tempo, senza evidenti decadimenti prestazionali e con interventi di manutenzione prolungati nel tempo (costi manutentivi inferiori). In qualsiasi condizione di funzionamento il regolatore dovrà assicurare la stabilizzazione della tensione in uscita con una precisione del "+/-1%" in presenza di variazioni di tensioni d'ingresso sino al "+/- 10%"

I comandi di accensione e di regolazione della tensione avverranno tramite il segnale della fotocellula installata in campo e tramite l'orologio programmabile presente nel quadro del regolatore di flusso .

In presenza di un Black-out, al ritorno dell'alimentazione di rete, il regolatore ripeterà nuovamente il ciclo di accensione, garantendo l'innesco della lampada, per poi ritornare al valore della tensione prefissato prima dell'interruzione dell'alimentazione.

2.1.11 Riferimenti per il dimensionamento elettrico delle linee

Il calcolo delle sezioni dei conduttori, considerando la lunghezza delle linee e il basso carico elettrico collegato, è stato effettuato in funzione della caduta di tensione. Si è operato con l'obiettivo di non superare, in generale, la caduta di tensione a fondo linea del 3% accettando, come valore massimo ammissibile il 4%. Tale soluzione contempla la possibilità di effettuare futuri ampliamenti senza la necessità di modificare le linee. Per la valutazione della caduta di tensione e degli altri parametri richiesti dal quadro normativo vigente, si è operato attraverso l'utilizzo di uno specifico software per il dimensionamento degli impianti elettrici i cui risultati sono contenuti nella relazione tecnica di calcolo.

Gli interruttori automatici a protezione delle linee di alimentazione, sia delle torri faro che dei pali di illuminazione, sono del tipo magnetotermico differenziale con soglia pari a 0,3-0,5A e curva di tipo C. Ciascun palo di illuminazione è inoltre protetto da apposito fusibile collocato nella morsettiera a palo.

I dati di base, i calcoli, le verifiche e gli schemi unifilari dei quadri elettrici sono contenuti nella relazione di calcolo.



2.1.11.1 Calcolo delle correnti di impiego

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

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

nella quale:

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

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 (somma P_d 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 (somma Q_d a valle).

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



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE

Lavori di Potenziamento dello

Svincolo Tiburtina

1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

21 di 36

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

2.1.11.2 Calcolo delle correnti di impiego

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

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

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

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

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

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

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

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Le sette tabelle utilizzate sono:

- IEC 448;
- IEC 364-5-523 (1983);
- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR);
- IEC 60364-5-52 (Mineral);
- CEI-UNEL 35024/1;
- CEI-UNEL 35024/2;
- CEI-UNEL 35026.

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



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

22 di 36

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 dall'utente.

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

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

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

2.1.11.3 *Integrale di Joule*

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

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

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.



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

Cavo in rame e isolato in PVC: K = 115

Cavo in rame e isolato in gomma G: K = 135

Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7: K = 143

Cavo in 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

2.1.11.4 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 mmq;
- 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 mmq se il conduttore è in rame e a 25 mmq 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 mmq se conduttore in rame e 25 mmq se e conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase. In base alle esigenze progettuali, sono gestiti fino a tre metodi di dimensionamento del conduttore di neutro, mediante:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione tramite rapporto tra le portate dei conduttori;
- determinazione in relazione alla portata del neutro.

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore in questione secondo i seguenti vincoli dati dalla norma:

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

Il secondo criterio consiste nell'impostare il rapporto tra le portate del conduttore di fase e il conduttore di neutro, e il programma determinerà la sezione in base alla portata.

Il terzo criterio consiste nel dimensionare il conduttore tenendo conto della corrente di impiego circolante nel neutro come per un conduttore di fase.

Le sezioni dei neutri possono comunque assumere valori differenti rispetto ai metodi appena citati, comunque sempre calcolati a regola d'arte.



2.1.11.5 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, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{K}$$

dove:

- S_p è la sezione del conduttore di protezione (mm^2);
- I è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- K è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

Se il risultato della formula non è una sezione unificata, viene presa una unificata immediatamente superiore.

In entrambi i casi si deve tener conto, per quanto riguarda la sezione minima, del paragrafo 543.1.3.

Esso afferma che la sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della conduttura di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- $2,5 \text{ mm}^2$ se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 se non è prevista una protezione meccanica;

E' possibile, altresì, determinare la sezione mediante il rapporto tra le portate del conduttore di fase e del conduttore di protezione.



2.1.11.6 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:

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

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

esprese 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.

2.1.11.7 Cadute di tensione

Le cadute di tensione sono calcolate 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 riportata 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 del 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 Ω /km. La $cdt(I_b)$ è la caduta di tensione alla corrente I_b e calcolata analogamente alla $cdt(I_b)$.

Se la frequenza di esercizio è differente dai 50 Hz si imposta

$$X'_{cavo} = \frac{f}{50} \cdot X_{cavo}$$

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di una utenza è determinata come somma delle cadute di tensione vettoriale, riferite ad un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

27 di 36

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.

Sono adeguatamente calcolate le cadute di tensione totali nel caso siano presenti trasformatori lungo la linea (per esempio trasformatori MT/BT o BT/BT). In tale circostanza, infatti, il calcolo della caduta di tensione totale tiene conto sia della caduta interna nei trasformatori, sia della presenza di spine di regolazione del rapporto spire dei trasformatori stessi.

Se al termine del calcolo delle cadute di tensione alcune utenze abbiano valori superiori a quelli definiti, si ricorre ad un procedimento di ottimizzazione per far rientrare la caduta di tensione entro limiti prestabiliti (limiti dati da CEI 64-8 par. 525). Le sezioni dei cavi vengono forzate a valori superiori cercando di seguire una crescita uniforme fino a portare tutte le cadute di tensione sotto i limiti.

2.1.11.8 *Fornitura della rete*

La conoscenza della fornitura della rete è necessaria per l'inizializzazione della stessa al fine di eseguire il calcolo dei guasti.

Le tipologie di fornitura possono essere:

- in bassa tensione
- in media tensione
- in alta tensione
- ad impedenza nota
- 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 cortocircuito 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.

2.1.11.9 *Bassa tensione*

Questa può essere utilizzata quando il circuito è alimentato alla rete di distribuzione in bassa tensione, oppure quando il circuito da dimensionare è collegato in sottoquadro ad una rete preesistente di cui si conosca la corrente di cortocircuito sul punto di consegna.

I dati richiesti sono:

- tensione concatenata di alimentazione espressa in V;



- corrente di cortocircuito trifase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).
- corrente di cortocircuito monofase della rete di fornitura espressa in kA (usualmente nel caso di fornitura ENEL 4.5-6 kA).

Dai primi due valori si determina l'impedenza diretta corrispondente alla corrente di cortocircuito I_{cctrif} , in mΩ:

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

In base alla tabella fornita dalla norma CEI 17-5 che fornisce il $\cos \phi_{cc}$ di cortocircuito in relazione alla corrente di cortocircuito 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 mΩ:

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

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

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

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:



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

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

2.1.11.10 Calcolo dei guasti

Con il 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 (disimmetrico);
- guasto fase terra (disimmetrico);
- guasto fase neutro (disimmetrico).

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.

2.1.11.11 Calcolo delle correnti massime di cortocircuito

Il calcolo è condotto nelle seguenti condizioni:

- a) tensione di alimentazione nominale valutata con fattore di tensione Cmax;
- b) 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 mΩ 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, se f è la 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 le utenze con impedenza nota, le componenti della sequenza diretta sono i valori stessi di resistenza e reattanza dell'impedenza.

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:

$$\begin{aligned} R_{0cavoNeutro} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoNeutro} \\ X_{0cavoNeutro} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

Per il conduttore di protezione, invece, si ottiene:

$$\begin{aligned} R_{0cavoPE} &= R_{dcavo} + 3 \cdot R_{dcavoPE} \\ X_{0cavoPE} &= 3 \cdot X_{dcavo} \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} R_{0sbarraNeutro} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraNeutro} \\ X_{0sbarraNeutro} &= 3 \cdot X_{dsbarra} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_{0sbarraPE} &= R_{dsbarra} + 3 \cdot R_{dsbarraPE} \\ X_{0sbarraPE} &= 2 \cdot X_{anello_guasto} \end{aligned}$$

I parametri di ogni utenza vengono sommati con i parametri, alla stessa sequenza, della utenza a monte, espressi in m²:



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

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

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

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

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

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

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 m Ω) di guasto trifase:

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

Fase neutro (se il neutro è distribuito):

$$Z_{k1Neutro \min} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_d + R_{0Neutro})^2 + (2 \cdot X_d + X_{0Neutro})^2}$$

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 $I_{k1Neutro \max}$, fase terra $I_{k1PE \max}$ e bifase $I_{k2 \max}$ espresse in kA:

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

$$I_{k1Neutro \max} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutro \min}}$$

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

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

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

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

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

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



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

dove:

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

Vengono ora esposti i criteri di calcolo delle impedenze allo spunto dei motori sincroni ed asincroni, valori che sommati 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 (seconda edizione 2001).

2.1.11.12 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 servizio 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:

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

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

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

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_{k1min} e fase terra, espresse in kA:

$$I_{k1min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{kmax}}$$
$$I_{k1Neutr\ om\ in} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1Neutr\ om\ max}}$$
$$I_{k1PE\ min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1PE\ max}}$$
$$I_{k2min} = \frac{0.95 \cdot V_n}{2 \cdot Z_{kmax}}$$

2.1.11.13 Scelta delle protezioni

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

- corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- numero poli;
- tipo di protezione;
- tensione di impiego, pari alla tensione nominale 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 differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea ($I_{mag\ max}$).

2.1.11.14 Verifica della protezione a cortocircuito delle condutture

Secondo la norma 64-8 par. 34.3 "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:



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE
Lavori di Potenziamento dello
Svincolo Tiburtina
1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

34 di 36

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

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:

a) Le intersezioni sono due:

$I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$ (quest'ultima riportata nella norma come Ia);

$I_{ccmax} \geq I_{inters\ max}$ (quest'ultima riportata nella norma come Ib).

b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:

$I_{ccmin} \geq I_{inters\ min}$.

c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:

$I_{cc\ max} \geq I_{inters\ max}$.

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

Note:

- La rappresentazione della curva del cavo è una iperbole con asintoti e la I_z dello stesso.
- La verifica della protezione a cortocircuito eseguita dal programma consiste in una verifica qualitativa, in quanto le curve vengono inserite riprendendo i dati dai grafici di catalogo e non direttamente da dati di prova; la precisione con cui vengono rappresentate è relativa.

2.1.11.15 Verifica di selettività

E' verificata la selettività tra protezioni mediante la sovrapposizione delle curve di intervento. 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: viene indicato se la caratteristica della protezione a monte si colloca sopra alla caratteristica della protezione a valle (totale) o solo parzialmente (parziale a sovraccarico se l'intersezione tra le curve si ha nel tratto termico).
- Selettività cronometrica: con essa viene indicata 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.

Quando possibile, alla selettività grafica viene affiancata la selettività gabbellare tramite i valori forniti dalle case costruttrici. I valori forniti corrispondono ai limiti di selettività in A relativi ad una coppia di protezioni poste una a monte dell'altra. La corrente di guasto minima a valle deve risultare inferiore a tale parametro per garantire la selettività.

2.1.12 Protezione dai contatti diretti ed indiretti

2.1.12.1 Contatti diretti

La Norma CEI 64.8 sez 714.413 stabilisce che per la protezione da contatti diretti è necessario adottare le seguenti soluzioni impiantistiche:

- Tutte le parti attive dei componenti elettrici devono essere protette mediante isolamento o mediante barriere o involucri per impedire i contatti indiretti.
- Se uno sportello, pur apribile con chiave o attrezzo, è posto a meno di 2,5 m dal suolo e dà accesso a parti attive, queste devono essere inaccessibili al dito di prova (IPXXB) o devono essere protette da un ulteriore schermo con uguale grado di protezione, a meno che lo sportello non si trovi in un locale accessibile solo alle persone autorizzate.
- Le lampade degli apparecchi di illuminazione non devono diventare accessibili se non dopo aver rimosso un involucro o una barriera per mezzo di un attrezzo, a meno che l'apparecchio non si trovi ad una altezza superiore a 2,8 m.

Per la protezione dai contatti diretti è stata applicata la regola generale, in base alla quale tutte le parti attive devono essere isolate, o protette con involucri o barriere.



Anas SpA

Area Compartimentale Lazio

AUTOSTRADA DEL GRANDE RACCORDO ANULARE

Lavori di Potenziamento dello

Svincolo Tiburtina

1° Stralcio Funzionale

IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: RELAZIONE
TECNICA IMPIANTISTICA

DG1909

D

1701

P00 IM00 IMP RE02

B

FOGLIO

36 di 36

2.1.12.2 Contatti indiretti

Protezione contro i contatti indiretti (Norme CEI 64.8 Sez. 714.412); per quanto riguarda la protezione da contatti indiretti per impianti di illuminazione all'esterno:

La protezione mediante luoghi non conduttori e la protezione mediante collegamento equipotenziale locale non connesso a terra non devono essere utilizzate.

Non è necessario collegare all'impianto di terra dell'impianto di illuminazione le strutture metalliche (quali recinti, griglie, ecc.), che sono situate in prossimità ma non fanno parte dell'impianto di illuminazione esterno.

Per la protezione dai contatti indiretti si è proceduto al coordinamento dei dispositivi di interruzione automatica con l'impianto di terra. Tale procedura sarà adottata per l'alimentazione delle torri faro e per l'impianto di illuminazione a pali realizzando un idoneo impianto di terra costituito da un dispersore a picchetto e corda di rame nuda da 25 mmq che li collega alla sbarra generale del QGBT, ottenendo una resistenza di terra unica di tutto l'impianto che sarà poi a sua volta coordinata con il valore d'intervento della corrente del differenziale preposto all'interruzione automatica del circuito, al fine di soddisfare la relazione indicata dalla Norma CEI 64.8 art. 413.1.4.2

$$R_E \times I_{dn} \leq 50$$

dove:

R_E = valore della resistenza globale dell'impianto di terra (ohm)

I_{dn} = valore della corrente d'intervento dell'interruttore differenziale (A)

50 = valore della tensione di contatto limite (V)

Per la protezione dai contatti indiretti, considerando la presenza di apparecchi di classe prima, è stato previsto un impianto di messa a terra coordinato con interruttori differenziali.