

APPENDICE B
CALCOLI ESECUTIVI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

INDICE

	<u>Pagina</u>
B.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELL'OPERA	1
B.1.1 DEFINIZIONE DELL'OPERA	1
B.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	2
B.2.1 LEGGI DI RIFERIMENTO	2
B.2.2 NORME E/O GUIDE DI RIFERIMENTO	2
B.2.3 ALTRI DOCUMENTI	3
B.2.4 DOCUMENTI DI PROGETTO	3
B.3 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI	4
B.4 AREE OGGETTO DI INTERVENTI: STATO DI FATTO E CONDIZIONI AMBIENTALI DI RIFERIMENTO	5
B.4.1 DISPERSORI DI TERRA	5
B.5 STATO DI PROGETTO	6
B.6 GENERATORE FOTOVOLTAICO	7
B.6.1 GENERALE	7
B.6.2 PARAMETRI ELETTRICI PER STC (1.000 W/M ² , 25 °C, AM 1.5 CONFORMEMENTE ALLA NORMA EN 60904-3)	7
B.6.3 PARAMETRI TERMICI	7
B.6.4 PARAMETRI MECCANICI	7
B.6.5 STRUTTURA MODULARE DEL CAMPO FOTOVOLTAICO	8
B.6.6 QUADRO DI PARALLELO STRINGHE	8
B.6.7 CABLAGGIO DI COLLEGAMENTO QUADRI PARALLELO STRINGHE- POSTAZIONE INVERTER	9
B.7 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO	10
B.7.1 IMPIANTO IN CC	10
B.7.2 IMPIANTO IN C.A.	15

APPENDICE B CALCOLI ESECUTIVI IMPIANTO FOTOVOLTAICO

B.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELL'OPERA

B.1.1 DEFINIZIONE DELL'OPERA

La presente relazione è relativa alla progettazione esecutiva degli impianti elettrici e speciali a servizio del parco fotovoltaico che sarà realizzato sul tetto della palazzina Delfino del campus Universitario di Savona, di potenza complessiva pari a 49,9 kWp.

Le opere da realizzarsi saranno finalizzate a consentire la produzione di energia elettrica da sorgente fotovoltaica, nel rispetto delle condizioni per la sicurezza delle apparecchiature e delle persone.

Si ritiene opportuno enfatizzare che la progettazione delle strutture di supporto dei moduli fotovoltaici, della loro installazione sui tetti delle palazzine oggetto dell'intervento e delle verifiche strutturali conseguenti a detta installazione sono oggetto di attività progettuale rientrante nell'ambito della disciplina civile/meccanica

B.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

B.2.1 LEGGI DI RIFERIMENTO

- LRif1. D.Lgs. 9 aprile 2008 n. 81 “Attuazione dell’art. 1 della legge 3 aprile 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”;
- LRif2. D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 “Disposizioni integrative e correttive del D. Lgs. 9 aprile 2008 n. 81 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”;
- LRif3. Legge n. 186/1968: “Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed elettronici”;
- LRif4. D.M. 16-02-82: “Modificazioni del decreto ministeriale 27 settembre 1965, concernente la determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione”;
- LRif5. D.P.R. 380/1, capo V: “Norme per la sicurezza degli impianti”.
- LRif6. D.P.R. n° 462 del 22 ottobre 2001 “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 pericolosi”;
- LRif7. “Testo Unico delle disposizioni legislative concernenti le imposte sulla produzione e sui consumi e relative sanzioni penali e amministrative”, approvato con D.L. 26/10/1995 n. 504 ed integrato con le modifiche apportate dal D. Lgs. 02/02/2007 n. 26
- LRif8. Delibera AEEG n. 88/07 “Disposizioni in materia di misura dell’energia elettrica prodotta da impianti di generazione”
- LRif9. D.M. 05/05/2011 “Incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solati fotovoltaici” (“quarto conto energia”);

B.2.2 NORME E/O GUIDE DI RIFERIMENTO

I documenti normativi e/o guide di riferimento, congiuntamente alle varianti e/o errata corrige eventualmente intervenute, sono da intendersi applicabili nella loro edizione in vigore al momento di emissione del presente documento.

L’applicazione di eventuali varianti e/o errata corrige che intervengano dopo l’emissione del presente documento ma prima della realizzazione delle opere potrà essere sottoposta all’attenzione del progettista da parte del soggetto responsabile della costruzione.

- LRif10. CEI 64-8: “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua”;
- LRif11. CEI 82-25 “Guida alla realizzazione di sistemi di generazione di energia fotovoltaica collegati alle reti elettriche dei sistemi di Media e Bassa Tensione”;
- LRif12. CEI 11-25 (EN 60909-0): “Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata, Parte 0: Calcolo delle correnti”;
- LRif13. CEI 11-1 “Impianti elettrici utilizzatori con tensione nominale superiore a 1kV in corrente alternata”;
- LRif14. CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica”;
- LRif15. CEI 11-37 “Guida per l’esecuzione degli impianti di terra di impianti utilizzatori in cui siano presenti sistemi con tensione maggiore di 1kV”;
- LRif16. CEI 64-14 “Guida alle verifiche degli impianti elettrici utilizzatori”;

- LRif17. CEI 20-91 “ Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e 1500V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici”;
- LRif18. CEI EN 60076-11 “Trasformatori di potenza – Parte 11: trasformatori di tipo a secco”
- LRif19. CEI EN 62305-1 “Protezione contro i fulmini. Parte 1: principi generali”;
- LRif20. CEI EN 62305-2 “Protezione contro i fulmini. Parte 2: valutazione del rischio dovuto al fulmine”;
- LRif21. CEI EN 62305-3 “Protezione contro i fulmini. Parte 3: danno materiale alle strutture e pericolo per le persone”;
- LRif22. CEI EN 62305-4 “Protezione contro i fulmini. Parte 4: impianti elettrici ed elettronici nelle strutture”;
- LRif23. CEI 0-16 “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia elettrica”;
- LRif24. ENEL S.p.A. “Guida per le connessioni alla rete elettrica di distribuzione”, rev. Dicembre 2010

B.2.3 ALTRI DOCUMENTI

I contenuti del presente documento richiamano i contenuti di documentazione di riferimento consegnata dalla Committenza (identificati con la sigla “DC”) nonché di altri documenti costituenti il progetto (identificati con la sigla “DP”).

- DCRif1. Planimetria generale Campus
- DCRif2. Dis. Agenzia d’architettura 5+1 architetti associati N° En01.3 progetto architettonico “Palazzina nord. Pianta copertura”
- DCRif3. Dis. Università degli studi di genova Dipartimento gestione e sviluppo patrimonio edilizio N° 007 Palazzina delfino “Planimetria piano terra”
- DCRif4. Dis. Università degli studi di genova Dipartimento gestione e sviluppo patrimonio edilizio N° 007 Palazzina delfino “Planimetria piano
- DCRif5: Doc. “Moduli fotovoltaici serie AP 60-240” emesso da Ferrania Solis

B.2.4 DOCUMENTI DI PROGETTO

I documenti di progetto sono elencati nell’elenco elaborati.

B.3 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI

I contenuti del presente documento utilizzano le seguenti abbreviazioni e sigle delle quali viene riportata spiegazione nel prospetto seguente:

IEC	International Electrotechnical Commission
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano
MT	Media Tensione
BT	Bassa Tensione
Uoc	Tensione a vuoto del modulo fotovoltaico, in condizioni standard di riferimento (T=25°C)
Isc	Corrente di corto circuito del modulo fotovoltaico, in condizioni standard di riferimento (STC)
QPS	Quadro di parallelo stringhe
QPDC	Quadro di parallelo in corrente continua

B.4 AREE OGGETTO DI INTERVENTI: STATO DI FATTO E CONDIZIONI AMBIENTALI DI RIFERIMENTO

L'area oggetto di intervento, definita in DPRif2, risulta allo stato attuale urbanizzata e costituita da superfici e palazzine ad uso universitario e servizi ad esse attinenti (mensa, spogliatoi, ecc.)

Sulla base delle informazioni desumibili dagli elaborati grafici di cui in DCRif1, a livello di infrastrutture esistenti sull'area interessata dalla STM sono presenti:

- una linea di distribuzione interna in MT (15kV);
- un sistema di distribuzione interna in BT (400V);
- sistemi di distribuzione acqua/gas;

Le condizioni ambientali di riferimento del sito sono qui di seguito riassunte:

- Temperatura ambiente: $-5^{\circ}\text{C} \div +40^{\circ}\text{C}$;
- Fulminazione al suolo: 2,5 fulmini/anno*kmq.

B.4.1 DISPERSORI DI TERRA

Le aree oggetto di intervento sono già dotate di dispersori di terra a servizio del sistema di distribuzione in MT e BT, la cui idoneità è periodicamente verificata ai sensi di quanto previsto in LRif6.

B.5 STATO DI PROGETTO

In considerazione dello stato di fatto descritto in precedenza, per la realizzazione dell'opera di cui in oggetto sono previste le seguenti attività:

- realizzazione del generatore fotovoltaico ubicato sull'ala nord del tetto della Palazzina "Delfino";
- realizzazione di postazione inverter in un nuovo vano tecnico ubicato al piano terra dell'edificio;
- realizzazione condutture di collegamento tra stringhe di moduli fotovoltaici e quadro di parallelo stringhe;
- realizzazione conduttura BT di collegamento tra quadro parallelo stringhe e postazione inverter;
- realizzazione, all'interno del vano tecnico, di quadro di misura e dei suoi collegamenti alle uscite degli inverter;
- realizzazione conduttura BT di collegamento tra postazione inverter e quadro di anello ubicato esternamente sulla facciata ovest dell'edificio e in cavidotto esistente;
- realizzazione di sistema di supervisione remota da rete Ethernet;

Le condutture di collegamento tra il quadro di stringa ubicato in copertura ed il locale inverter saranno realizzate in canale metallico/ e tubo metallico.

Le condutture di collegamento tra postazione inverter e quadro di anello Q02 saranno in parte realizzate in tubo metallico e in parte sfrutteranno percorso interrato esistente.

B.6 GENERATORE FOTOVOLTAICO

B.6.1 GENERALE

Il generatore fotovoltaico sarà basato sull'impiego dei moduli fotovoltaici Ferrania Solis Serie AP60-240Wp, già acquisiti da parte del Campus Universitario, le cui caratteristiche tecniche sono definite in DC.Rif5 e qui di seguito riassunte per comodità di lettura.

B.6.2 PARAMETRI ELETTRICI PER STC (1.000 W/M2, 25 °C, AM 1.5 CONFORMEMENTE ALLA NORMA EN 60904-3)

• Tipo di modulo	AP 60-240
• Potenza massima [W]	240,0
• Efficienza del modulo [%]	14.48
• Tensione max. Vmpp [V]	29,73
• Corrente max. Imp [A]	8,08
• Tensione a circuito aperto Voc [V]	37,92
• Corrente di cortocircuito Isc [A]	8,63
• Tensione massima di sistema [V]	1,000 VDC

B.6.3 PARAMETRI TERMICI

• NOCT (Temperatura Nominale Operativa della Cella) [°C]	43 +/- 2
• Coefficiente temperatura α per Isc [%/°C]	+ 0,06
• Coefficiente temperatura β per Voc [%/°C]	- 0,31
• Coefficiente temperatura γ per Pmpp [%/°C]	- 0,43

B.6.4 PARAMETRI MECCANICI

• Dimensioni (lung. [mm] / largh. [mm] / prof. [mm])	1.663 / 998 / 45
• Peso [kg]	22
• Scatola di conn.(codice IP / Classe)	IP65 / II
• Cavo pos. e cavo neg. (lungh.[mm]/sezione[mmq])	1000 / 4,0
• Lato anteriore (materiale / spessore [mm])	Vetro temprato, 4mm ad alta
• trasparenza	
• Tipo cella (quantità / tecnologia)	60 / policristallina / 156 x
• 156	
• Incasso cella (materiale)	Etilene Vinile Acetato
• (EVA)	
• Lato posteriore (materiale)	Laminato polimerico bianco
• Telaio (materiale)	Alluminio 6060 anodizzato

Saranno impiegati in totale N° 208 moduli per una potenza complessiva di 49,2 kWp costituenti un unico campo fotovoltaico.

B.6.5 STRUTTURA MODULARE DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

I moduli fotovoltaici di cui in 0 saranno installati su profilati ad Ω portanti in acciaio zincato a caldo, connessi alla copertura degli edifici e inclinati di 30° .

I moduli sono orientati a -30° rispetto a Sud e seguono la geometria del tetto: considerate le finalità dell'infrastruttura, si ritiene accettabile la minore producibilità dovuta alla non ottimale esposizione verso Sud

La struttura portante prevista è descritta a livello preliminare negli elaborati progettuali: la definizione progettuale a livello costruttivo della struttura portante, in termini di materiali e tipologia di assemblaggio e relative verifiche ai carichi statici (neve e vento), sarà definita nell'ambito dei documenti del progetto meccanico/civile.

Il collegamento elettrico tra i singoli moduli sarà del tipo "in serie", in maniera tale da formare una stringa di 16 moduli avente tensione a vuoto alla minima temperatura ambiente pari a 672,5V: tale collegamento avverrà mediante i cavi in dotazione ai singoli moduli, ed impiego di cavi "solari", conformi alla Norma CEI 20_91 (LRif17), e caratterizzati da tensione nominale $U_0/U=0,9/1,5kV$. I cavi uscenti da ciascuna stringa saranno portati al quadro di parallelo stringhe in un canale adiacente alla struttura portante .

Nel quadro parallelo stringhe, realizzato in materiale isolante, sarà effettuato il collegamento in parallelo di n. 13 stringhe.

B.6.6 QUADRO DI PARALLELO STRINGHE

I quadri di parallelo stringhe saranno realizzati in materiale isolante, a grado di protezione non inferiore a IP66 e tensione nominale fino a 1000V c.c..

Ciascun quadro sarà dotato di:

- pressacavi e dadi a passo metrico - IP 68
- ingresso stringhe con connettori isolati
- interruttore di manovra-sezionatore generale con bobina di minima tensione
- scaricatore di sovratensione con contatto di segnalazione di avvenuto intervento
- interruttore di manovra-fusibile bipolare su ogni arrivo di stringa, equipaggiato con fusibili gG 690 Vcc 12 A
- morsetti a vite per tensioni fino a 1000 V e sezioni cavi da 2,5 a 10mmq o superiori
- interfaccia di comunicazione in grado di trasmettere in RS-485 al sistema remoto almeno le seguenti informazione:
 - misure di corrente di stringa
 - misure di tensione di quadro
 - allarmi digitali (intervento scaricatore ecc)
 - misure di irraggiamento e temperatura dei moduli
 - alimentatore per sistemi ausiliari

Lo scaricatore di sovratensione (SPD) dovrà essere equipaggiato con contatto di stato del dispositivo di protezione stesso connesso al sistema di supervisione remota.

Qualora venissero impiegati fusibili a protezione degli scaricatori di sovratensione, i relativi portafusibili saranno del tipo con segnalazione visiva e remota dello stato di intervento.

L'alimentazione dei sistemi ausiliari sarà derivata da apposito circuito del quadro in c.a. a 230V c.a. ubicato nel vano tecnico a piano terra.

Dovranno essere tenuti in considerazione ulteriori e più specifici criteri di installazione desunti dalle norme di riferimento.

B.6.7 CABLAGGIO DI COLLEGAMENTO QUADRI PARALLELO STRINGHE- POSTAZIONE INVERTER

Il quadro parallelo stringhe sarà collegato all'inverter sistemati nella postazione inverter mediante cavi aventi sezione tale da limitare le perdite in cc a valori inferiori al 2% della potenza trasmessa

A causa della esposizione ad alte temperature i cavi impiegati saranno "cavi solari" rispondenti alla Norma CEI 20-91 e caratterizzati da $U_0/U=0.9/1.5kV$; essi saranno installati in canali asolati con coperchio sul tetto edifici della palazzina oggetto dell'intervento e in tubo metallico/flessibile (ove necessario) lungo la sua parete lato Ovest penetrando quindi nel locale destinato a ospitare l'inverter al piano terra.

Il passaggio orizzontale verso l'interno della postazione inverter dovrà avvenire in maniera tale da ripristinare le originali condizioni di integrità ed isolamento della parete stessa.

B.7 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

B.7.1 IMPIANTO IN CC

B.7.1.1 Criteri Generali

Le caratteristiche di isolamento e le sezioni dei cavi della sezione in c.c. sono state scelte in modo da rispettare le seguenti condizioni:

- tensione nominale maggiore di un gradino rispetto a quella necessaria per il sistema servito al fine di rendere minimo il rischio di guasto a terra o corto circuito (Classe II);
- massima caduta di tensione ammissibile inferiore a 2% in corrispondenza della corrente alla massima potenza dell'impianto al fine di limitare le perdite in c.c.;
- portata del cavo nelle condizioni di effettiva installazione maggiore della corrente di impiego ($I_z > I_b$).

B.7.1.2 Dimensionamento delle Condotture

B.7.1.2.1 Tensione nominale

La tensione di riferimento per l'isolamento verso terra (U_0) dei cavi in c.c. è stata scelta in maniera tale da soddisfare la condizione:

$$U_0 * 1.5 \geq U_{ocmax}$$

In cui :

$U_{ocmax} = U_{oc}$ stringa alla minima temperatura di progetto

Nel caso dell'impianto oggetto della presente relazione la tensione massima, calcolata alla minima temperatura ambiente, risulta pari a : $U_{ocmax} = 672,5V$

In virtù del criterio sopra esposto, e delle caratteristiche di resistenza alle condizioni ambientali particolari richieste, saranno impiegati cavi di tipo "solare" rispondenti alle Norme CEI 20-91, caratterizzati da tensione nominale $U_0/U = 0.9/1.5kV$ in c.c. .

B.7.1.3 Caduta di Tensione (Perdite in cc)

Le perdite in cc dovranno essere contenute entro valori inferiori a 2% quando i cavi sono caricati dalla corrente alla massima potenza dell'impianto.

I calcoli sono stati eseguiti considerando i valori di resistenza dei cavi prescelti e le relative lunghezze, secondo quanto sintetizzato in Tab. B.1.

Tabella B.1: Dimensionamento Cavi Sezione c.c.

Stringa	Lunghezza cavo stringa	Cavo solare	Sezione cavo stringa	Lunghezza cavo QPS/ INVERTER	Cavo solare	Sezione cavo QPS/QPCC	DV %
S1	42	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	1,00%
S2	40	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,98%
S3	38	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,96%
S4	36	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,94%
S5	34	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,92%

Stringa	Lunghezza cavo stringa	Cavo solare	Sezione cavo stringa	Lunghezza cavo QPS/ INVERTER	Cavo solare	Sezione cavo QPS/QPCC	DV %
S6	35	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,93%
S7	42	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	1,00%
S8	40	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,98%
S9	38	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,96%
S10	36	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,94%
S11	34	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,92%
S12	32	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,90%
S13	30	FG21M21	4	50	FG21M21	2//1x50	0,88%

B.7.1.4 Verifica Termica

I cavi dovranno avere portata I_z che soddisfi la seguente condizione tenendo conto delle condizioni di temperatura nelle quali essi operano, del loro raggruppamento in fascio e delle condizioni di posa:

$$I_z \geq IB$$

dove la corrente di impiego IB è calcolata maggiorando del 25% la corrente I_{sc} per tenere conto in via molto cautelativa di valori di irraggiamento superiori a $1000\text{W}/\text{m}^2$, ed è pari a $IB=1,25 I_{sc}$

Le portate dei cavi solari sono fornite generalmente dal costruttore a 30°C e in aria libera. La portata di detti cavi sarà corretta tenendo conto di:

- coefficiente di correzione per effetto della temperatura k_1 , calcolato come segue:

$$k_1 = \sqrt{\frac{(\Theta_s - \Theta_a)}{(\Theta_s - \Theta_0)}}$$

in cui:

- Θ_s : temperatura massima di funzionamento dell'isolante
- Θ_0 : temperatura alla quale è riferita la portata
- Θ_a : temperatura ambiente

Le Norme CEI 20-91 forniscono le portate dei cavi solari a 60°C e in tabella coefficienti di riduzione della portata a varie temperature ambiente.

- coefficiente di correzione per posa di più circuiti in fascio k_2 , come da tabella seguente:

Numero circ. in fascio	Coefficiente di correzione
2	0,80
3	0,70
4	0,65
5	0,60
6	0,57
7	0,54
8	0,52
9	0,50
12	0,45

Numero circ. in fascio	Coefficiente di correzione
16	0,41
20	0,38

- coefficiente per posa non in aria libera (tubo o altro) pari a 0,8

Il risultato della verifica è riportato in Tab. 1.

Tabella B.2: Verifica Termica Cavi Solari

Cavo	Cavo stringa/QPS	Cavo QPS-INVERTER
Corrente di impiego IB (A)	10,8	140,2
Tipo di cavo	FG21M21	FG21M21
Sezione (mmq)	4	2//1x50
Portata cavo a 70°C (Norme CEI 20-91)	50	502
k1:coefficiente di temperatura (se necessario)	1	1
k2:coefficiente cavi in fascio	0,6	0,8
k3: coefficiente di correzione per posa in tubo/canale (se necessario)	0,8	0,8
Portata Iz (A)	24	321,28
Verifica	ok	ok

Tab. 1. Verifica termica cavi solari

B.7.1.5 Protezione delle Condotture di Campo in cc dalle Sovracorrenti

B.7.1.5.1 Correnti di Corto Circuito

Le correnti di corto circuito dell'impianto in cc sono calcolate considerando il corto circuito sui cavi di collegamento tra stringhe e quadri parallelo stringhe e il corto circuito sui cavi di collegamento tra quadri parallelo stringhe e inverter.

Il calcolo è eseguito considerando la corrente di corto circuito dovuta ai moduli Isc in condizioni standard di riferimento (STC), maggiorata del 25%, per tenere conto in via molto cautelativa di valori di irraggiamento superiori a 1000W/m².

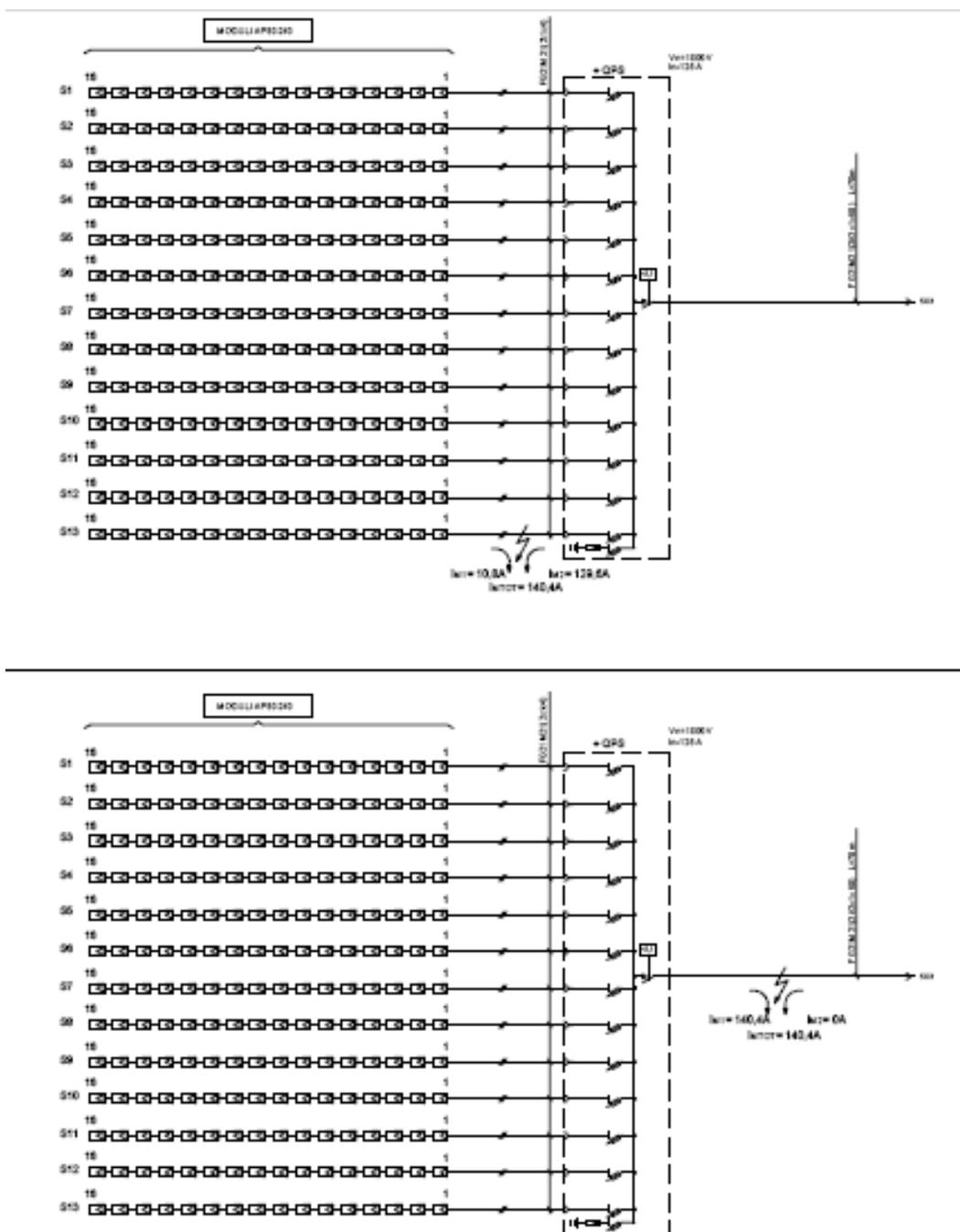


Figura B.1: Guasto su Cavo di Stringa e su Collegamento a Inverter : Correnti di Corto Circuito

Lo schema di cui in Fig. 1 riporta i valori di corto circuito calcolati nelle due ipotesi di guasto suddette nelle due condizioni di irraggiamento standard, maggiorate del 25%.

B.7.1.6 Dispositivi di Protezione

Verranno impiegati fusibili ad intervento rapido, in particolare destinati ad impianti FV.

Essi avranno tensione nominale di 690V maggiore della massima tensione del generatore PV calcolata alla minima temperatura di progetto pari a 675V.

Protezione dei cavi di stringa

Tenuto conto che i cavi di stringa sono stati scelti con una portata almeno uguale alla massima corrente che li può interessare nelle condizioni più severe non sono necessarie la protezione contro il sovraccarico (inferiore alla portata del cavo) né la protezione contro il corto circuito poiché detta portata risulta anche superiore alla corrente di corto circuito dovuta al contributo al guasto delle stringe non interessate al guasto.

Protezione dei moduli contro corrente inversa

La protezione dei moduli contro corrente inversa sarà conseguita mediante impiego di fusibili installati entro i quadri di stringa.

Tali fusibili dovranno consentire la generazione di corrente da parte della stringa protetta in condizioni migliori delle condizioni STC (cautelativamente $I_{sc}^* = 1.25 \cdot I_{sc}$) ed interrompere il contributo complessivo delle altre stringhe per corto circuito interno alla stringa protetta, proteggendo i moduli fotovoltaici.

Dovranno dunque essere caratterizzati da:

$$1.25 \cdot I_{sc} \leq I_n \leq 2I_{sc}$$

Ove si è assunto, in mancanza di indicazioni del costruttore, che la corrente inversa sopportabile dai moduli sia pari a $2I_{sc}$.

L'energia specifica tollerabile dal cavo dovrà inoltre essere inferiore all'energia specifica passante del fusibile, qualora questo sia caratterizzato da $I_n \geq 0.9 \cdot I_z$.

Il rispetto delle condizioni di cui sopra ha condotto a definire le correnti nominali dei fusibili dei quadri di stringa riportate nell'ambito della documentazione progettuale

Protezione dei cavi di collegamento tra QPS e INVERTER

Tenuto conto della portata del cavo di collegamento tra QPS ed Inverter non si rende necessario proteggere il cavo contro sovraccarico e corto circuito.

Per isolare la sezione di impianto facente capo al QPS interessato, sarà previsto un interruttore di manovra sezionatore.

B.7.1.7 Inverter

L'inverter è stato scelto con potenza massima maggiore del 90% della potenza di picco del generatore FV. Le tensioni e le correnti dell'inverter sono totalmente coordinate con quelle del generatore.

L'inverter sarà provvisto di sezionatore sul lato in c.c. per scollegare il campo ad esso afferente e di interruttore automatico sul lato AC a protezione del cavo uscente.

L'inverter sarà provvisto di dispositivo di controllo dello stato di isolamento sul lato c.c..

B.7.2 IMPIANTO IN C.A.

B.7.2.1 Criteri Generali

Le caratteristiche di isolamento e le sezioni dei cavi della sezione in c.a. sono state scelte in modo da rispettare le seguenti condizioni:

- tensione nominale maggiore di un gradino rispetto a quella necessaria per il sistema servito al fine di rendere minimo il rischio di guasto a terra o corto circuito (Classe II);
- massima caduta di tensione ammissibile inferiore a 4% in corrispondenza della corrente alla massima potenza dell'impianto al fine di limitare le perdite in c.a.;
- portata del cavo nelle condizioni di effettiva installazione maggiore della corrente di impiego ($I_z > I_b$)

B.7.2.1.1 Correnti di Corto Circuito

Le correnti di corto circuito calcolate nell'ambito del documento "Calcoli esecutivi impianti elettrici" conducono alla necessità di installazione di interruttori caratterizzati dai poteri di interruzione definiti nell'ambito della documentazione progettuale.

B.7.2.1.2 Protezione dai Contatti Diretti

La protezione da contatti diretti, mirata ad evitare contatti accidentali con parti normalmente in tensione, sarà ottenuta mediante il conseguimento di almeno una delle seguenti condizioni:

- isolamento;
- separazione con barriere od involucri;

A tal fine:

- Tutti i conduttori elettrici dovranno possedere un grado di isolamento minimo $U_0/U=450V/750V$;
- Tutte gli involucri dovranno possedere grado di protezione minimo IP2X o IPXXD.

Dispositivi differenziali potranno essere utilizzati come salvaguardia addizionale.

B.7.2.2 Protezione dai Contatti Indiretti

La protezione da contatti indiretti, mirata a garantire un accettabile grado di sicurezza in caso di contatto con parti dell'impianto elettrico normalmente non attive, sarà conseguita applicando le seguenti soluzioni:

- Interruzione automatica dell'alimentazione in caso di guasto a massa del sistema;
- Collegamento dei conduttori di protezione all'impianto di messa a terra;
- Utilizzo di componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente;
- Separazione elettrica.

Le soluzioni dovranno essere opportunamente coordinate: a tale scopo, si prevede il raggiungimento di un buon compromesso tecnico/economico utilizzando:

B.7.2.3 Dimensionamento Conduttori di Protezione

Ogni conduttore di protezione dovrà essere in corda di rame nudo od in guaina di colore giallo-verde, o identificato mediante nastratura o guaina termorestringente ad ogni sua estremità, di sezione S_p pari a:

- $S_p = S$ per $S \leq 16 \text{ mm}^2$
- $S_p = 16 \text{ mm}^2$ per $16 < S \leq 35 \text{ mm}^2$

- $S_p = S/2$ per $S > 35 \text{ mm}^2$

essendo S la sezione dei conduttori di fase, secondo quanto descritto nella normativa CEI 64-8/5.

I conduttori di protezione sono previsti per il collegamento di tutte le apparecchiature elettriche in campo, con esclusione delle apparecchiature in classe II, quali gli apparecchi di illuminazione: il conduttore di protezione dovrà comunque essere cablato nella presa a spina di derivazione della linea del corpo illuminante dalla dorsale.

B.7.2.3.1 Protezione delle condutture dalle sovracorrenti

La protezione delle condutture dalle sovracorrenti sarà ottenuta, nelle parti di impianto interessate dalla presente relazione, mediante adozione di interruttori automatici dotati di sganciatori termomagnetici.

Come stabilito da normativa CEI 64-8/4, occorre ricercare il rispetto delle seguenti condizioni:

$$1. I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$2. I_f \leq 1.45 I_z$$

dove I_n è la corrente nominale del dispositivo di protezione. Per i dispositivi di protezione regolabili, la corrente I_n è la corrente di regolazione scelta per il dispositivo di protezione contro il sovraccarico.

B.7.2.3.2 Protezione delle condutture dai cortocircuiti

La protezione delle condutture dai cortocircuiti sarà ottenuta, nelle parti di impianto interessate dalla presente relazione, mediante adozione di interruttori automatici dotati di sganciatori termomagnetici.

Come stabilito da normativa CEI 64-8/4, occorre fare in modo che ogni dispositivo di protezione risponda alle due seguenti condizioni:

- il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione:

$$P_i \geq I''k \text{ max}$$

dove $I''k \text{ max}$ è il valore efficace della corrente di corto circuito simmetrica massima, cioè per guasto ad inizio della linea protetta.

- in condizioni di corto circuito, l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore (o serie di interruttori) a monte del punto di guasto deve essere inferiore all'energia specifica tollerabile dal cavo in esame:

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

con $K=143$ per i conduttori in rame isolati con gomma etilenpropilenica.

Inoltre, il potere di stabilimento (o potere di chiusura) dell'interruttore deve essere maggiore del valore di cresta i_p della corrente di corto circuito massima, calcolato secondo la norma CEI EN 60909-0 (CEI 11-25) par. 4.3.1.1, come:

$$i_p = k \sqrt{2} I''k$$

con k funzione del rapporto X/R della linea a monte del dispositivo.

Dovrà essere garantita la selettività di intervento tra gli interruttori automatici generali di quadro e gli interruttori automatici posti sulle singole partenze.