



AZIENDA OSPEDALIERA UNIVERSITARIA POLICLINICO "G. RODOLICO - SAN MARCO"

P.O. "Gaspere Rodolico"

CUP I67H180016200006

Via Santa Sofia 78 - Catania

Cig 820405043B

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA EDIFICIO 2

COMMITTENTE

Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Sergio Lo Presti

PROGETTISTI:

Progetto architettonico e integrazione
delle prestazioni specialistiche:
arch. Andrea Taddia

Coordinamento per la sicurezza in fase di
progettazione:
ing. Roberto Taddia

Project management e coordinamento per la
sicurezza in fase di esecuzione:
ing. Pier Francesco Scandura

Progetto impianti:
ing. Giuseppe Feligioni

Esperto in gestione dell'energia:
ing. Chiara Giuseppina Maria Petrone



Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato
2	22/09/2022	Aggiornamento per validazione	SF	GF
1	06/05/2022	Aggiornamento per validazione	SF	GF
0	14/12/2021	Prima emissione	LB	EB

gruppo mandataria:

mandanti:

Disegno N.



Mythos Consorzio Stabile



Musa Progetti

dott. ing.
Pier Francesco
Scandura

dott. ing.
Chiara
Giuseppina
Maria Petrone

E-003

Oggetto

PROGETTO ESECUTIVO
Impianti elettrici

Scala:

Data

14/12/2021

Descrizione

Relazione di calcolo Impianti elettrici

Commessa
2021607

Nome file

E1607-E-003-2-RelCalcIE

PREMESSA

L'impianto, oggetto del presente documento, si propone di conseguire un significativo risparmio energetico per **l'Edificio 2 presso il P.O. "G. Rodolico" dell'A.O.U. Policlinico - Vittorio Emanuele di Catania**.

Tale obiettivo è stato perseguito con il ricorso alla fonte energetica alternativa rappresentata dal solare fotovoltaico.

Il presente documento costituisce pertanto la relazione tecnica per un impianto fotovoltaico della potenza complessiva di 290,80 kWp, di cui 123,60 kWp, su tetto piano (copertura piani: PT-IIIP-IVP), e di 167,20 kWp, su pensilina fotovoltaica (pensiline ingresso e retro), connesso alla rete elettrica di Media Tensione (20 kV) che alimenta l'Edificio 2, attraverso una cabina elettrica MT/BT preesistente, ma opportunamente adeguata alla norma CEI 016.

1 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

L'impianto sarà realizzato a regola d'arte, come prescritto dalla Legge n. 186 del 1° Marzo 1968 e ribadito dal decreto 22/01/08 n. 37.

Le caratteristiche degli impianti stessi, nonché dei loro componenti, devono essere in accordo con le forme di legge e di regolamento vigenti ed in particolare essere conformi:

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI EN 61439-1: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – Parte 1: Regole generali.
- CEI 110-31: Compatibilità elettromagnetica.
- CEI 82-22: Fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici.
- CEI 82-25: Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e bassa tensione.
- CEI 82-24: Componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali.
- 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.
- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Parte 7: Ambienti ed applicazioni particolari. Sistemi fotovoltaici (PV) di alimentazione.
- CEI 81-10/1:2013 Protezione delle strutture contro i fulmini. Parte 1: Principi Generali
- CEI 81-10/2:2013 Protezione delle strutture contro i fulmini. Parte 2: Valutazione del rischi
- CEI 81-10/3:2013 Protezione delle strutture contro i fulmini. Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone
- CEI 81-10/4:2013 Protezione delle strutture contro i fulmini. Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture

- CEI 64-57: Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione di impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici Impianti di piccola produzione distribuita.
- CEI 11-20: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria.
- CEI 20-91: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici.
- CEI 110-1: Compatibilità elettromagnetica - Prescrizioni per gli elettrodomestici, gli utensili elettrici e gli apparecchi simili Parte 1: Emissione.
- CEI 110-6: Apparecchi a radiofrequenza industriali, scientifici e medicali (ISM). Caratteristiche di radiodisturbo. Limiti e metodi di misura.
- CEI 110-8: Compatibilità elettromagnetica, norma generale di immunità.
- CEI EN 61724: Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici. Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati.
- CEI EN 61215: Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri.
- CEI EN 50380: Fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici.
- CEI 82-25: Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alla rete elettrica di media e bassa tensione.
- Delibera AEEG n 88/07: Disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione.
- Delibera AEEG 84/12: Interventi urgenti relativi agli impianti di produzione di energia elettrica, con particolare riferimento alla generazione distribuita, per garantire la sicurezza del sistema elettrico nazionale.
- Delibera AEEG 165/12: Individuazione dei valori definitivi dei premi riconosciuti nel caso di interventi di retrofit sui sistemi di protezione di interfaccia degli impianti di generazione distribuita.
- Aggiornamento della deliberazione dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas 84/12.
- Delibera AEEG 344/12: Approvazione della modifica all'Allegato A70 e dell'Allegato A72 al Codice di rete. Modifica della deliberazione dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas 84/12.
- Allegato A70 al Codice di Rete di Terna: Regolazione tecnica dei requisiti di sistema della generazione distribuita.
- Allegato A72 al Codice di Rete di Terna: Procedura per la riduzione della generazione distribuita in condizione di emergenza del Sistema elettrico nazionale (RIGEDI).

I riferimenti di cui sopra possono non essere esaustivi. Ulteriori disposizioni di legge, norme e deliberazioni in materia, purché vigenti al momento della pubblicazione del presente documento, anche se non espressamente richiamate, si considerano applicabili.

2 IMPIANTO FOTOVOLTAICO

2.1 Definizioni

2.1.1. Impianto fotovoltaico

Impianto di produzione dell'energia elettrica mediante conversione dell'energia solare per mezzo dell'effetto fotovoltaico.

L'impianto fotovoltaico oggetto di questo documento e del tipo fisso connesso alla rete.

2.1.2 Convertitori statici CC/CA (Inverter)

Un inverter converte la corrente elettrica continua prodotta dai moduli in corrente elettrica alternata, quella cioè, normalmente usata in ogni edificio. Il convertitore è anche in grado di portare la corrente elettrica alla frequenza di rete (50 Hz) e alla tensione di funzionamento (230V monofase, 400V trifase) in forma sinusoidale senza armoniche.

A seconda delle tipologie di impianto fotovoltaico per il quale sono destinati, gli inverter si suddividono in:

- Inverter per impianti in isola
- Inverter per impianti connessi alla rete

Il gruppo di conversione è generalmente basato su inverter a commutazione forzata, con tecnica PWM (Pulse Width Modulation), e privo di clock e/o riferimenti interni, ed è in grado di operare in modo completamente automatico e di inseguire il punto di massima potenza (MPPT, Maximum Power Point Tracker) del generatore fotovoltaico.

La scelta del modello di inverter e della sua taglia va effettuata in base alla potenza nominale fotovoltaica ad esso collegata, alle caratteristiche elettriche dei moduli fotovoltaici utilizzati e alla tipologia di installazione.

Il rendimento di un inverter non è costante, ma varia in funzione della tensione e della potenza alla quale lavora, che a sua volta dipende dalle condizioni ambientali, soprattutto dall'irraggiamento solare e dalla temperatura di funzionamento.

2.1.3 Funzionamento in parallelo con la rete

Il funzionamento in parallelo alla rete pubblica MT di un generatore FV è subordinato a precise condizioni come previsto dalla norma CEI 0-16 ultima edizione.

2.1.4 Scaricatore di sovratensione (SPD)

Per proteggere le apparecchiature bisogna scaricare verso terra le sovratensioni mediante SPD. Il compito degli SPD (Surge Protection Device), comunemente scaricatori, è quello di scaricare a terra la sovratensione in modo che non danneggi le apparecchiature. Un SPD è un dispositivo a impedenza variabile con la tensione applicata che, in presenza di una sovratensione, scarica la corrente associata alla sovratensione e mantiene la tensione ai suoi capi entro valori prefissati. Se la protezione contro le sovratensioni di un'apparecchiatura è essenziale, sono consigliabili gli SPD con contatto di segnalazione per indicare all'utente dell'impianto il guasto del dispositivo.

3 CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PROGETTO ELETTRICO

L'impianto fotovoltaico da 290,80 kWp sarà installato in apposite strutture (coperture piane a terrazza accessibili e pensiline) di pertinenza dell'Edificio n.2 e sarà connesso in conformità alla norma CEI 0-16.

La relazione che segue riguarda in particolare l'aspetto elettrico del lato C.C e del lato C.A a bassa tensione dell'impianto fotovoltaico.

Il generatore fotovoltaico, posto sulle diverse coperture dell'Edificio 2 e sulle predette pensiline, è composto complessivamente da 727 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, per una potenza di modulo pari a 400 Wp, e dotati di cornice di alluminio.

I moduli fotovoltaici sono collegati tra loro in modo da formare cinque sottocampi fotovoltaici:

- Il primo sottocampo fotovoltaico è costituito da 66 moduli installati sulla copertura di piano terra dell'Edificio 2 orientati a SUD, suddivisi in 6 stringhe ciascuna con 11 moduli in serie;
- Il secondo sottocampo fotovoltaico è costituito da 168 moduli installati sulle pensiline del parcheggio sul retro dell'Edificio 2 orientati a SUD, suddivisi in 14 stringhe ciascuna con 12 moduli in serie;
- Il terzo sottocampo fotovoltaico è costituito da 144 moduli installati sulla copertura del terzo piano dell'Edificio orientati a EST-OVEST, suddivisi in 12 stringhe ciascuna con 12 moduli in serie;
- Il quarto sottocampo fotovoltaico è costituito da 99 moduli installati sulla copertura del quarto piano dell'Edificio 2 orientati a SUD, suddivisi in 4 stringhe ciascuna con 12 moduli in serie, 3 stringhe ciascuna con 11 moduli in serie e 2 stringhe da 9 moduli in serie;
- Il quinto sottocampo fotovoltaico è costituito da 250 moduli installati nel parcheggio ingresso dell'Edificio 2 orientati a SUD, suddivisi in 20 stringhe ciascuna con 1 moduli in serie e in 12 stringhe ciascuna con 11 moduli in serie;

4 CALCOLO DELLE LINEE IN C.A DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Il calcolo elettrico delle linee in BT, eseguito con l'ausilio del software-tecnico TISYSTEM 7 di bticino, poiché si è in presenza di una cabina elettrica MT/BT, è stato impostato partendo da una configurazione TN-S ed inserendo i dati richiesti dal calcolo in BT relativi ai nuovi circuiti in c.a interessati dal presente progetto (linee in c.a che collegano tramite gli inverter il generatore fotovoltaico al punto di scambio con la rete BT utente).

Considerato che il quadro BT della cabina elettrica MT/BT (QCAB) preesistente, nonché il quadro generale di BT (QGBT) preesistente e i relativi circuiti in uscita non subiranno modifiche dall'intervento progettuale di cui trattasi, i risultati di calcolo attesi hanno riguardato pertanto esclusivamente i predetti nuovi circuiti in c.a che collegano il nuovo generatore fotovoltaico di progetto al punto di scambio con la rete BT dell'utente.

In questo senso sono stati considerati, ai fini del calcolo, per il quadro cabina (QCAB) la potenza (1000 kVA) dei singoli trasformatori installati (esercizio e riserva) presenti in cabina, la corrente nominale (1600 A) del relativo quadro generale BT (QGBT) allo stato in esercizio e le relative distanze geometriche tra di loro.

Relativamente invece ai nuovi circuiti in c.a di distribuzione elettrica interessati dal generatore fotovoltaico, poiché la sbarra al di sotto del congiuntore del predetto quadro (QGBT) è prevista come *“punto di scambio con la rete utente in BT”* da predetto generatore, ai fini del calcolo sono state considerate solo le grandezze elettriche e geometriche delle nuove linee in c.a per il collegamento, a partire dagli inverter previsti, con il predetto punto di scambio.

Nel programma di calcolo sono stati imputati pertanto le potenze elettriche (kW) impegnate dagli inverter come “carichi fittizi”, le effettive condizioni di posa previste dei circuiti

interessati e le distanze geometriche effettive ricavate dal modello BIM, secondo la configurazione elettrica rappresentata nell'elaborato E-505 "Distribuzione elettrica edificio 2".

Con riferimento quindi alla consistenza degli impianti fotovoltaici che sono stati previsti al servizio dell'Edificio n.2 oggetto di intervento, sono state determinate le sezioni delle seguenti linee elettriche in cavo e i relativi interruttori automatici, come riportati nello schema elettrico del dell'elaborato E-101 "Schemi unifilari quadri elettrici"

- linee in c.a in uscita dai centralini da parete (QFV1-QFV2-QFV3-4-QV5-QFV6) per collegamento n.8 inverter collegati a n.5 campi fotovoltaici;
- linee in c.a in uscita del quadro generale di parallelo fotovoltaico (QPAFV) per collegamento ai predetti centralini;
- linea in c.a uscita dal quadro interfaccia con rincalzo dispositivo generale (DG) impianto FV (QINT) per collegamento al predetto quadro generale di parallelo fotovoltaico.

Il dispositivo generale (DG) presente nel quadro interfaccia (QINT) sarà quindi collegato alla sbarra sotto il congiuntore del quadro generale BT Edificio 2 (QGBT), che allo stato presenta un interruttore magnetotermico differenziale da 1600 A, 400 V, sfruttando il cunicolo esistente nel locale.

In considerazione di quanto sopra il quadro QGBT Edificio 2 non subirà pertanto nessuna modifica.

La predetta sbarra del quadro infatti, come suddetto, svolgerà esclusivamente la funzione di **"punto di scambio"** dell'impianto fotovoltaico con la rete.

La tavola grafica E-504 IMPIANTI FOTOVOLTAICI-SCHEMI UNIFILARI riporta la configurazione elettrica generale degli impianti realizzati.

I predetti quadri (QGBT) e (QINT) sono previsti entrambi nel locale "quadri di bassa tensione" dell'edificio n.2.

Il presente progetto esecutivo, invece, relativamente alla cabina MT/BT, prevede la mera sostituzione del preesistente quadro MT/BT al fine di un adeguamento della cabina MT/BT interessata alla norma 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".

Il nuovo quadro MT in questione risponde a tutti i requisiti previsti dalla predetta norma e sarà collegato quindi ai morsetti MT dei trasformatori allo stato presenti (n.2, di cui uno con funzione di riserva) e al pulsante di sgancio esistente all'esterno del locale.

Ai sensi della norma CEI 0-16 Edizione III, il Sistema di protezione interfaccia (SPI) rileva i dati della rete MT di cabina, attraverso lo scomparto misura M-TV del nuovo quadro MT, conforme alla predetta norma. E' prevista altresì l'installazione di UPS on-line doppia conversione da 1 kVA per l'alimentazione senza soluzione di continuità del relè di protezione multifunzione presente nel primo scomparto MT arrivo linea e-Distribuzione.

La configurazione lato BT della cabina non subirà, come suddetto, alcuna modifica e pertanto i morsetti lato BT del trasformatore in esercizio resteranno collegati al predetto quadro di cabina (QGBT) dell'Edificio 2 attraverso l'attuale componentistica elettrica presente.

Il calcolo che segue riguarda quindi nuovi circuiti elettrici in bassa a tensione a 230-400 V, alla frequenza di 50 Hz che nel caso in esame si integreranno con un sistema impianto esistente di tipo TN-S.

Per una migliore comprensione dei locali bT/MT e delle relative apparecchiature bT/MT installate, oggetto del presente progetto, si rimanda alla documentazione fotografica allegata.

5 DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE C.A E DISPOSITIVI DI PROTEZIONE

Il calcolo elettrico delle linee in BT è stato eseguito utilizzando il programma TISYSTEM 7 di bticino, partendo da una configurazione TN-S, in quanto in presenza di una cabina preesistente MT/BT, ed inserendo i dati richiesti dal calcolo relativamente ai nuovi circuiti in c.a previsti dal presente progetto.

I risultati del suddetto calcolo sono riassunti dall'elaborato E-101 "Schemi quadri elettrici" e dall'elaborato E-004 "Report dettagliato risultati di calcolo impianti elettrici".

Scopo del presente capitolo è quello di illustrare i principi normativi adottati dal software utilizzato per il dimensionamento delle linee in c.a dell'impianto fotovoltaico, gli organi di protezione adottati, nonché le misure di protezione contro i contatti diretti e indiretti.

Vengono pertanto di seguito evidenziati e chiariti i criteri di progettazione delle parti in questione, partendo dai vincoli normativi stabiliti dalla norma CEI 64-8.

Il progetto è stato redatto per ottenere quindi un impianto elettrico in conformità alla regola dell'arte, cioè secondo le norme tecniche applicabili nel settore (CEI-UNEL) e con particolare riferimento a quanto previsto dal predetto D.M. 37/2008 in materia di sicurezza degli impianti. I dispositivi di protezione utilizzati per ogni singola linea saranno pertanto interruttori generali magnetotermici e magnetotermici differenziali con corrente nominale e potere di interruzione calcolati e corrente differenziale a bassa, media e alta sensibilità, a seconda del punto di installazione. E' prevista sia la protezione contro le sovracorrenti che il coordinamento dei dispositivi di protezione verso terra, al fine di assicurare la tempestiva interruzione del circuito di guasto quando la tensione di contatto indiretto assume valori maggiori od uguali a 25 Volt, in conformità alla norma CEI 64-8. In questo senso per ogni utenza elettrica ricadente all'interno degli edifici oggetto di intervento è previsto infatti un impianto di terra che risulta collegato ad un dispersore di terra (DI) unico per tutto il complesso degli edifici presenti alimentati in BT, attraverso una configurazione TN-S

L'impiego di tali protezioni garantisce un altissimo grado di sicurezza sia per gli impianti che per le persone.

L'aspetto fondamentale per il dimensionamento delle linee elettriche è, oltre alla scelta della sezione più idonea in relazione al tipo di posa e all'entità del carico contenendo il valore delle cadute di tensione (c.d.t) al valore massimo del 4%, la verifica delle protezioni dalle sovracorrenti (sovraccarico e cortocircuito).

Una sovracorrente infatti genera un surriscaldamento del conduttore, che se di notevole entità, danneggia l'isolamento.

Nel nostro caso tuttavia, il cavo di collegamento tra ogni inverter e quadro di parallelo inverter non è soggetto a protezione dai sovraccarichi, ma la protezione dai cortocircuiti deve essere tempestiva ed efficace.

Gli articoli della parte 712 della norma CEI 64-8 stabiliscono i criteri di dimensionamento nonché i fattori di coordinamento tra conduttori e dispositivi di protezione affinché siano garantite le condizioni di cui sopra.

5.1 PROTEZIONE DAI SOVRACCARICHI

Per quanto concerne la condizione di sovraccarico, come suddetto, la stessa non è necessaria, ma in questo caso il problema consiste nel corretto dimensionamento dei circuiti in relazione alle correnti d'impiego (I_b), alle portate dei conduttori (I_z) e ai dispositivi di protezione adottati contro i cortocircuiti (I_n), onde evitare che una sovracorrente eccessiva provochi il surriscaldamento del conduttore oltre il valore limite, con conseguente deterioramento dell'isolante.

Per quanto riguarda i cavi in PVC il corretto dimensionamento termico avviene qualora in regime permanente la loro temperatura massima di funzionamento non superi mai i 70°C.

Per quanto riguarda i cavi in EPR il corretto dimensionamento termico avviene qualora in regime permanente la loro temperatura massima di funzionamento non superi mai i 90°C.

Affinché ciò sia possibile è necessario il corretto coordinamento tra le correnti **I_b , I_z , I_n** secondo quanto prescritto dall'art. 433 della Norma CEI 64/8 con le seguenti relazioni:

$$I_b < I_n < I_z \quad \text{e} \quad I_f < 1,45 \times I_z \quad \text{dove:}$$

- **I_b è la corrente di impiego del circuito in [A];**
- **I_n è la corrente nominale del dispositivo di protezione in [A];**
- **I_z è la portata effettiva del cavo in regime permanente in dipendenza del tipo di posa in [A] riferita alla massima temperatura di lavoro;**
- **I_f è la corrente convenzionale di funzionamento al valore limite del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite.**

La seconda relazione è sempre garantita in quanto è prevista l'installazione di interruttori magnetotermici costruiti in conformità alla norma CEI 23-3 e/o CEI 17-5 per i quali si ha che **$I_f = 1,30 \times I_n$ per interruttori ad uso civile e $I_f = 1,45 \times I_n$ per interruttori ad uso industriale.**

Per l'espletamento della verifica si terrà pertanto conto soltanto della prima relazione ¹.

Dalle espressioni sopra citate, si evince chiaramente che, una volta individuate le correnti di impiego del carico e le correnti nominali dei dispositivi di protezione deducibili dai dati di targa e/o dai cataloghi delle case costruttrici, l'unica incognita è la determinazione della portata effettiva (I_z) del cavo in regime permanente.

Qui di seguito viene esplicitato il criterio di determinazione di tale valore.

Il metodo utilizzato è quello proposto dalle Norme **CEI 64/8 e IEC 60364 con riferimento alle tabelle delle norme CEI-UNEL 35024-1-2 e CEI UNEL 35026**, dalle quali, in funzione delle condizioni di posa, (in aria o interrata) in funzione del tipo di cavo (PVC, EPR, etc.) e del n.ro di circuiti adiacenti, è possibile determinare il valore della portata alle effettive condizioni di funzionamento.

5.2 PROTEZIONE DAI CORTO CIRCUITI

La protezione dal cortocircuito è garantita se:

¹ Nel caso di protezione effettuata con fusibili deve essere soddisfatta la seguente relazione: $I_b < I_n < 0,9 I_z$

- Il dispositivo di protezione ha un potere d'interruzione (I_{cu} e/o I_{cn}) ² maggiore o uguale alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione
- l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore durante il suo intervento non supera quella sopportabile dal cavo in qualunque punto della condotta onde evitare il superamento della temperatura ammessa (160°C per i cavi in PVC e 250°C per i cavi in EPR), secondo la relazione dettata dalla norma CEI 64/8-4 art. 434.

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

dove:

I^2t = integrale di joule o energia specifica in $A^2 \times S$ lasciata passare, per la durata del corto circuito, dal dispositivo di protezione;

I = corrente di corto circuito in [A] in valore efficace;

K = fattore dipendente dal tipo di conduttore e isolamento;

S = sezione dei conduttori da proteggere in [mm²] t = tempo di intervento del dispositivo di protezione assunto ≤ 5 s.

In pratica è sufficiente la verifica immediatamente a valle degli organi di protezione dove si ha la corrente di cortocircuito massima (I_{ccmax}) ovvero quella trifase, e nel punto terminale del circuito dove si ha la corrente di cortocircuito minima (I_{ccmin}) ovvero quella fase-neutro (fase-fase per linee trifasi senza neutro) onde verificare che la lunghezza del conduttore permetta, in caso di guasto, lo stabilirsi di una corrente di cortocircuito sufficiente a far intervenire lo sganciatore elettromagnetico dell'interruttore.

Le relazioni di calcolo utilizzate per il calcolo dei valori delle correnti di corto circuito sono:

$$I_{cc \text{ trifase}} = \frac{1,05 \times V}{1,73 \times Z}$$

$$I_{cc \text{ fase / neutro}} = \frac{1,05 \times V_0}{1,73 \times Z}$$

$$I_{cc \text{ fase / fase}} = \frac{1,05 \times V}{2 \times Z}$$

dove:

- V = Tensione concatenata 400 V di alimentazione del circuito guasto durante il corto circuito;
- V_0 = Tensione di fase 230 V di alimentazione del circuito guasto durante il corto circuito;

² I_{cn} rappresenta il potere di cortocircuito nominale degli interruttori automatici per uso domestico e similare, e I_{cu} rappresenta il potere di cortocircuito estremo degli interruttori automatici per uso industriale.

- Z = impedenza complessiva [Ω] degli elementi del circuito di guasto (impedenza rete pubblica, impedenza del trasformatore, impedenza della linea di distribuzione):
 - Nel caso di corto circuito trifase l'impedenza della linea di distribuzione è quella relativa al conduttore di fase;
 - Nel caso di corto circuito fase-fase l'impedenza della linea di distribuzione è quella relativa a due volte il conduttore di fase
 - Nel caso di corto circuito monofase l'impedenza della linea di distribuzione è pari alla somma dell'impedenza del conduttore di fase e del conduttore di neutro.
- 1,5 è il fattore che tiene conto delle oscillazioni della tensione di rete.

Dalle espressioni sopra citate si evince che per un'esatta determinazione delle correnti di corto circuito occorre conoscere le caratteristiche della rete a monte della conduttura (impedenza della rete pubblica e impedenza del trasformatore).

Essendo in presenza di un impianto BT con configurazione TN-S, alla luce di quanto sopra, si deduce che nella scelta di un dispositivo a protezione dai cortocircuiti di una linea elettrica, bisogna definire due parametri fondamentali:

- Potere d'interruzione (P.I) maggiore o uguale alla corrente massima di cortocircuito;
- Corrente magnetica (I_m) minore o uguale alla corrente di corto circuito minima;

Tuttavia, occorre precisare che nel caso in cui il dimensionamento delle linee e dei loro dispositivi di protezione dai sovraccarichi viene eseguito ai sensi di quanto ammesso dalla Norma CEI 64-8 e qualora lo stesso dispositivo deve assicurare la protezione delle linee dai sovraccarichi e dai cortocircuiti, la verifica della massima lunghezza protetta ai fini dell' I^2t può non essere necessaria.

5. 3 DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE IN C.A

Il dimensionamento secondo le prescrizioni sopra esposte, eseguito con l'ausilio del software-tecnico (TISYSTEM 7 di bticino), consente il dimensionamento completo di reti elettriche in bassa tensione. Partendo dalla configurazione del sistema (TN-S) ed inserendo i dati relativi ai circuiti di distribuzione e terminali, è possibile calcolare per ogni nodo dell'impianto:

- il valore delle correnti
- la sezione dei cavi e relativa caduta di tensione
- il livello delle correnti di corto circuito minime e massime monofasi.

Vengono quindi proposti i tipi e le caratteristiche degli interruttori idonei a garantire la protezione dalle sovracorrenti e dai contatti indiretti, scelti sulla base degli elementi anzidetti e dei criteri introdotti (famiglie di interruttori, protezioni serie, ecc.).

Particolari e sofisticati algoritmi di calcolo permettono di ottimizzare la sezione dei conduttori di neutro e protezione.

Si ottiene infine uno schema elettrico completo dell'impianto, costituito da linee e quadri di distribuzione principali e secondari.

Un programma permette ancora la visualizzazione grafica delle caratteristiche d'intervento termomagnetico e I^2t/I_{cc} di tutti gli interruttori automatici magneto-termici utilizzati che nel caso in oggetto risultano BTicino.

Sono inoltre inserite le curve dei valori massimi ammissibili nell'integrale di Joule per i cavi in rame isolati in PVC.

La sovrapposizione di queste curve con le caratteristiche $I^2 \times t / I_{cc}$, anzidette, consente un'immediata verifica della sollecitazione termica dei cavi in condizioni di corto circuito, come prescritto dalla Norma 64-8.

I risultati dei calcoli eseguiti sono allegati alla presente relazione sotto forma di schemi unifilari a partire dalla linea in corrente alternata BT in uscita da ogni singolo inverter e report di calcolo dettagliati. Lo schema di calcolo ha avuto lo scopo esclusivo di determinare le correnti di impiego, le relative sezioni di linea in cavo e conseguentemente i relativi apparecchi di protezione dei nuovi impianti.

6 CALCOLO DELLE LINEE IN C.C DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

6.1 PORTATA DEI CAVI IN REGIME PERMANENTE

Le sezioni dei cavi per i vari collegamenti sono tali da assicurare una durata di vita soddisfacente dei conduttori e degli isolamenti sottoposti agli effetti termici causati dal passaggio della corrente elettrica per periodi prolungati e in condizioni ordinarie di esercizio. La verifica per sovraccarico è stata eseguita utilizzando le relazioni:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad e \quad I_f \leq 1,45 \cdot I_Z$$

Mentre nel caso in cui la protezione è affidata a fusibili:

$$I_B \leq I_N \leq 0,9 I_Z$$

Per la parte in corrente continua la I_B risulta pari alla corrente nominale dei moduli fotovoltaici in corrispondenza della loro potenza di picco maggiorata del 25% per tenere conto di irraggiamenti superiori ai massimi previsti, mentre per la protezione contro corto circuito si ricorre a fusibili di opportuna portata.

- Collegamenti tra i moduli fotovoltaici e i quadri di campo FV1-FV2-FV5.

Ogni campo fotovoltaico presenta cavi unipolare H1Z2Z2-K 0,6/1 kV – classe 5 – isolante HEPR tipo G21 di sezione 6 mm², con posa in canale metallico chiuso.

$I_B = 6,58 \times 1,25 = 8,23$ A (corrente nominale del modulo)

$I_N = 16$ A (corrente nominale fusibile)

$I_Z = 70$ A (portata di corrente del cavo in aria libera)

Risulta:

$8,23 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 70 \text{ A}$

Si scelgono pertanto fusibili tipo 10,3 x 38 – 1000 VCC - gPV.

- Collegamenti tra i quadri di campo FV1-FV2-FV5 e il lato CC dei rispettivi Inverter.

I collegamenti tra i predetti campi fotovoltaici e i rispettivi inverter lato CC sono realizzati anch'essi con cavi sezione 6 mm^2 ma con posa in opportuna tubazione.

Il dimensionamento è stato eseguito considerando un massimo di 6 stringhe in parallelo per ciascun inverter.

$$I_B = 8,23 \text{ A} \times 6 = 49,38 \text{ A}$$

$$I_Z = 70 \text{ A}$$

Risulta:

$$49,38 \text{ A} \leq 70 \text{ A} \text{ e } I_f \leq 101,50 \text{ A}$$

6.2 PROTEZIONE CONTRO IL CORTO CIRCUITO

Per la parte di circuito in corrente continua, la protezione contro il cortocircuito è assicurata dalla caratteristica tensione-corrente dei moduli fotovoltaici che limita la corrente di corto circuito degli stessi a valori noti e di poco superiori alla loro corrente nominale.

Nel calcolo della portata dei cavi in regime permanente si è già tenuto conto di tali valori, attribuibili a I_N assicurando così anche la protezione contro il corto circuito.

Per ciò che riguarda il circuito in corrente alternata, la protezione contro il corto circuito è assicurata dal dispositivo limitatore contenuto all'interno dell'inverter.

L'interruttore magnetotermico posto a valle dell'inverter agisce da rincalzo all'azione del dispositivo di protezione interno dell'inverter stesso.

7 CADUTE DI TENSIONE

Le cadute di tensione, calcolate facendo riferimento alle tabelle CEI-UNEL 35364, 35747 e 35756, per i cavi in rame e in ogni caso dovranno risultare compatibili con le prescrizioni di cui alle norme CEI 64-8.

8 STIPAMENTO DEI CAVI NEI CANALI

I cavi unipolari di collegamento tra moduli fotovoltaici e il rispettivo quadro di campo non necessitano di protezione e risultano posati in canalina metallica chiusa con sezione $150 \times 100 \text{ mm}$.

I cavi di collegamento nel tratto inverter fino al quadro di parallelo risultano posati in canalina metallica chiusa con sezione $150 \times 100 \text{ mm}$.

I cavi di collegamento nei tratti interrati tra pensiline e relativi box inverter sono posati in cavidotto con sezione $\phi 90 \text{ mm}$.

I cavi di collegamento tra quadro di parallelo e pozzetto di progetto in prossimità dei chiller sono posati in canalina metallica chiusa a pavimento con sezione $150 \times 100 \text{ mm}$.

I cavi di collegamento nel tratto interrato tra il suddetto pozzetto di progetto ed il pozzetto esistente davanti al locale BT sono posati in cavidotto con sezione $\phi 110 \text{ mm}$.

I cavi di collegamento nel tratto interrato tra il suddetto pozzetto esistente davanti al locale BT ed il cunicolo tecnico esistente interno al locale BT sono posati in cavidotto con sezione $\phi 100/70 \text{ mm}$.

I cavi di collegamento nel tratto quadro interfaccia e collegamento a sbarra quadro generale BT risultano posati in cunicolo tecnico esistente.

Le canalette e i cavidotti di nuova realizzazione sono stati previsti con una sezione superiore al valore ottenuto in ragione delle relazioni specifiche di calcolo dello stipamento per i vari tratti di condotta considerati e adottando un coefficiente di riempimento massimo delle stesse pari al 50% per i canali e 60% per i cavidotti.

9 SEZIONE DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE

La norma CEI 64-8 riporta due metodi per il dimensionamento del conduttore di protezione (PE):

- a) la sezione del conduttore di protezione S_p non deve essere inferiore al valore determinato dalla seguente formula:

b)

$$\frac{\sqrt{I t}}{K}$$

$S_p \geq$

K

dove $I t$ è l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione, mentre il coefficiente K tiene conto del tipo di isolante (115 per cavi in PVC e 143 per cavi in EPR)

- c) La sezione dei conduttori di protezione può essere determinata facendo riferimento alla seguente tabella, in questo caso non è necessaria la verifica di cui al punto a. Se la sezione della tabella risulta non unificata, si approssima a favore di sicurezza alla sezione unificata per eccesso.

Sezione dei conduttori di fase (mm ²)	Sezione minima del conduttore di protezione (mm ²)
$S_f \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S_f \leq 35$	16
$S_f > 35$	$S_p = S/2$

Nel nostro caso è stata adottata la metodologia “b”.

Negli impianti fotovoltaici è buona pratica salvaguardare sempre l'ingresso lato C.C. degli inverter, che rappresentano dal punto di vista delle sovratensioni il componente più delicato di tutto il sistema, per mezzo di SPD particolari per questo tipo di applicazioni.

Si è scelto di effettuare i collegamenti lato CC utilizzando cavo tipo H1Z2Z2-K da 6 mm² e lato CA tipo FG16OM16 da 16/25/35/50 mm²

10 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI DIRETTI

Ogni parte elettrica dell'impianto, sia in corrente alternata che in corrente continua, è da considerarsi in bassa tensione. La protezione contro i contatti diretti è assicurata dall'utilizzo dei seguenti accorgimenti:

- utilizzo di componenti dotati di marchio CE (Direttiva CEE 73/23);
- utilizzo di componenti aventi un idoneo grado di protezione alla penetrazione di solidi e liquidi;
- collegamenti effettuati utilizzando cavo, idoneo per la tensione nominale utilizzata e alloggiato in condotto portacavi (tubo protettivo) idoneo allo scopo. Alcuni brevi tratti di collegamento tra i moduli fotovoltaici non risultano alloggiati in tubi. Questi collegamenti, tuttavia, essendo protetti dai moduli stessi, non sono soggetti a sollecitazioni meccaniche di alcun tipo, né risultano ubicati in luoghi ove sussistano rischi di danneggiamento.

11 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI

11.1 Sistemi in corrente alternata (TN-S)

L'inverter e quanto contenuto nel quadro elettrico c.a. sono collegati all'impianto elettrico dell'edificio e pertanto fanno parte del sistema elettrico TN-S di quest'ultimo.

La protezione contro i contatti indiretti, è, in questo caso, assicurata dai seguenti accorgimenti:

- collegamento al conduttore di protezione PE di tutte le masse, ad eccezione degli involucri metallici delle apparecchiature di classe II;
- verifica, da eseguire in corso d'opera o in fase di collaudo, che i dispositivi di protezione inseriti nel quadro di distribuzione BT siano rispondenti all'art.531, norma CEI 64-8, edizione 2012.

11.2 Sistema in corrente continua

L'assenza del trasformatore di isolamento tra sezione c.c. e sezione c.a. nell'inverter non consente di classificare come IT il sistema in corrente continua costituito dalla serie di moduli fotovoltaici, dagli scaricatori di sovratensione e dai loro collegamenti all'inverter.

Il sistema Fotovoltaico diventa quindi un'estensione della rete, la quale ha in genere un punto a terra (sistema TT). Il sistema Fotovoltaico è quindi a terra tramite la rete.

Le masse sono state collegate a terra, ma la sicurezza dipende dall'interruzione dell'alimentazione, occorre quindi accertarsi che a seguito di un guasto a terra l'alimentazione sia interrotta nei modi e nei tempi previsti dalla norma.

La protezione nei confronti dei contatti indiretti è in questo caso assicurata dalle seguenti caratteristiche dei componenti e del circuito:

- collegamento al conduttore PE delle carcasse metalliche.

Il numero di moduli fotovoltaici, posizionati sul tetto, suggerisce misure di protezione aggiuntive rispetto a quanto prescritto dalle norme CEI 64-8, le quali consistono nel collegamento equipotenziale di ogni struttura di fissaggio facente capo ad una stringa di moduli fotovoltaici.

In fase di collaudo la continuità elettrica dovrà comunque essere verificata con uno strumento opportuno.

I circuiti equipotenziali così ottenuti faranno capo, ognuno, ad un morsetto, nella cassetta di terra, contenente anche gli scaricatori di sovratensione.

12 MISURE DI PROTEZIONE SUL COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA

La protezione del sistema di generazione fotovoltaica nei confronti sia della rete autoproduttore che della rete di distribuzione pubblica è realizzata in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 0-16.

L'impianto risulta pertanto equipaggiato con un sistema di protezione che si articola su 3 livelli: dispositivo del generatore, dispositivo di interfaccia e dispositivo generale.

- Dispositivo di generatore

L'inverter è internamente protetto contro il cortocircuito e il sovraccarico. Il riconoscimento della presenza di guasti interni provoca l'immediato distacco dell'inverter dalla rete elettrica. L'interruttore magnetotermico presente sull'uscita dell'inverter agisce come rincalzo a tale funzione.

- Dispositivo di interfaccia

Il dispositivo di interfaccia deve provocare il distacco dell'intero sistema di generazione in caso di guasto sulla rete elettrica o su azione manuale sul pulsante di sgancio all'uopo installato all'esterno del locale BT. Il riconoscimento di eventuali anomalie sulla rete avviene considerando come anormali le condizioni di funzionamento che fuoriescono da una determinata finestra di tensione e frequenza fissata dalla norma CEI 0-16 ultima edizione.

- Dispositivo generale

Il dispositivo generale ha la funzione di salvaguardare il funzionamento della rete nei confronti di guasti nel sistema di generazione elettrica. Nel caso specifico è stato installato all'interno di un quadro a colonna dedicato (QINT) in prossimità della sbarra sotto il congiuntore del quadro QGBT dell'Edificio 2 (punto di scambio RETE/FV).

13 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO GLI EFFETTI DELLE SCARICHE ATMOSFERICHE

13.1 Fulminazione diretta

L'impianto fotovoltaico non influisce sulla forma o volumetria dell'edificio e pertanto non aumenta la probabilità di fulminazione diretta sulla struttura.

In ogni caso la struttura, oggetto d'intervento, risulta AUTOPROTETTA per la presenza di una grande antenna RAI che ricade all'interno dell'area del Policlinico e presenta le dimensioni geometriche e costruttive prescritte dalle norme tecniche del settore applicabili. Tale informazione è stata assunta dai progettisti durante i sopralluoghi eseguiti.

13.2 Fulminazione indiretta

L'abbattersi di scariche atmosferiche in prossimità dell'impianto può provocare il concatenamento del flusso magnetico associato alla corrente di fulmine con i circuiti dell'impianto fotovoltaico, così da provocare sovratensione in grado di mettere fuori uso i componenti tra cui, in particolare, l'inverter.

I morsetti dell'inverter risultano protette internamente con varistori a pastiglia. Tuttavia, la notevole estensione dei collegamenti ha suggerito, in fase di progetto, di rinforzare tale protezione con l'inserzione di dispositivi SPD a varistore sulla sezione c.c. dell'impianto in prossimità del generatore fotovoltaico all'interno della cassetta di terra e sul lato in c.a.

14 COLLEGAMENTI CON SPD (SPD1-SPD2)

Negli impianti fotovoltaici isolati da terra la massima tensione continuativa degli SPD, per lato corrente continua, può essere definita valutando, in modo semplificato, la massima tensione a vuoto dell'impianto.

Tale valore si può ottenere moltiplicando la tensione a circuito aperto del modulo fotovoltaico per il coefficiente di compensazione e per il numero dei moduli in serie costituenti ciascuna stringa.

$$U_C(\text{SPD}) = V_{OC \text{ STC (modulo fotovoltaico)}} \times K \times N = 75,6 \times 1,15 \times 10 = 869,40 \text{ V}$$

SPD1 L10/40 400

SPD2 L10/40 230

Sono stati scelti fusibili da 125 A gG e la sezione del cavo pari a 6 mm².

16 CONFIGURAZIONE RIEPILOGATIVA GENERALE DELLE LINEE IN C.C E IN C.A DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO E POTENZE IMPEGNATE

La tavola grafica E-505 IMPIANTI FOTOVOLTAICI-DISTRIBUZIONE ELETTRICA EDIFICIO 2 riporta tutti i circuiti in corrente continua e in corrente alternata relativi all'impianto fotovoltaico, con riferimento alla schema elettrico allegato di progetto.

Gli stessi riguardano i collegamenti tra gli inverter e il quadro di parallelo inverter installato all'esterno nelle immediate vicinanze delle macchine UTA al servizio dell'edificio.

Tale quadro di parallelo è previsto, come suddetto, per n.5 CAMPI FOTOVOLTAICI, così distinti:

- CAMPO FV1 ubicato sulla copertura di piano terra dove risultano installati n.66 moduli fotovoltaici (44+22) riportati e identificati nelle parti della predetta copertura interessata rispettivamente con il n.101 e n.302;

- CAMPO FV2 ubicato nel parcheggio sul retro in corrispondenza di n.3 pensiline dove risultano installati complessivamente n.168 moduli fotovoltaici (72+48+48);
- CAMPO FV3-FV4 ubicati sulla copertura del terzo piano dove risultano installati n.144 moduli fotovoltaici (24+120) riportati e identificati nelle parti della predetta copertura interessata rispettivamente con il n.301 e n.401;
- CAMPO FV5 ubicato sulla copertura del quarto piano dove risultano installati n.99 moduli fotovoltaici (42+27+24+6) riportati e identificati nelle parti della predetta copertura interessata con il n.401, n.402, n.501 e n.502;
- CAMPO FV6 ubicato nel parcheggio lato ingresso in corrispondenza di n.4 pensiline dove risultano installati complessivamente n.250 moduli fotovoltaici (72+72+72+36);

La potenza complessiva dell'impianto fotovoltaico risulta pari a 290,80 kWp (727 x 400 W), dove 727 è il numero complessivo di moduli fotovoltaici e 400 W è la potenza fotovoltaica del singolo modulo.

Tale potenza fotovoltaica complessiva risulta suddivisa su n.8 inverter di potenza pari rispettivamente a:

INVERTER N.1 CAMPO FV1: 26,40 kWp;
 INVERTER N.2 CAMPO FV2: 28,80 kWp;
 INVERTER N.3 CAMPO FV2: 19,20 kWp;
 INVERTER N.4 CAMPO FV2: 19,20 kWp;
 INVERTER N.5 CAMPO FV3-4: 57,60 kWp;
 INVERTER N.6 CAMPO FV5: 19,80 kWp;
 INVERTER N.7 CAMPO FV5: 19,80 kWp;
 INVERTER N.8 CAMPO FV6: 100,00 kWp;

In merito alla consistenza e alle caratteristiche elettriche del quadro di parallelo in questione, si rimanda al predetto elaborato E-101 "SCHEMI UNIFILARI QUADRI ELETTRICI", dove sono riportati le caratteristiche elettriche degli apparecchi di protezione e comando e quelle delle relative linee elettriche in c.a. in uscita dagli inverter sopra riportati

A valle del predetto quadro di parallelo, rispetto alla sorgente di energia solare, risulta installato il quadro di interfaccia (QINT) per il collegamento con il PUNTO DI SCAMBIO RETE/FV, previsto in corrispondenza della sbarra sotto il congiuntore del quadro generale di bassa tensione dell'Edificio 2 (QGBT).

Il quadro (QINT) è previsto cablato con in cascata il misuratore dell'energia totale fotovoltaica prodotta dall'intero impianto fotovoltaico di 290,80 kW, il sistema di protezione di interfaccia (SPI), lo scaricatore (SPD) e quindi il dispositivo generale (DG), direttamente collegato alle sbarre del predetto quadro (QGBT).

L'installazione del quadro interfaccia (QINT) è prevista quindi in prossimità del quadro generale di bassa tensione dell'Edificio 2 (QGBT).



QUADRO MT



SCOMPARTO MT CABINA: QUADRO MT E TRAFI 1 E 2



CONDOTTI BLINDATI DA TRAF0 1 E TRAF0 2 A QGBT



QUADRO GENERALE BT



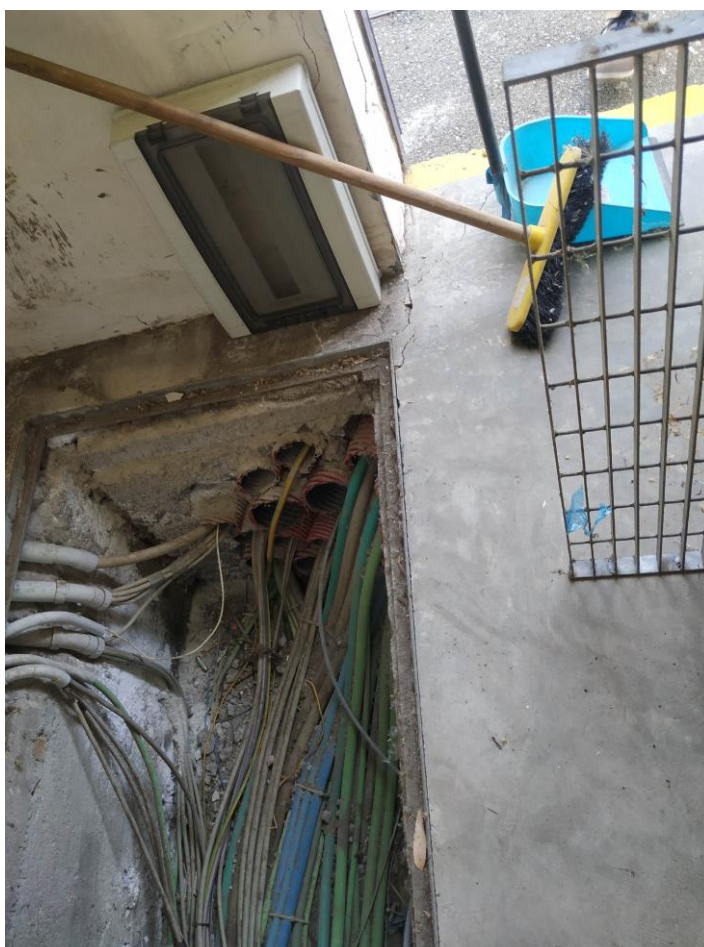
QUADRO GENERALE BT: NODO DI SCAMBIO



QUADRO GENERALE BT: NODO DI SCAMBIO



SCOMPARTO BT CABINA: CUNICOLO TECNICO



SCOMPARTO BT CABINA: ARRIVO CAVIDOTTI LIBERI DA POZZETTO ESTERNO



POZZETTO ESTERNO SCOMPARTO BT CABINA