

Università degli Studi di Genova Centro di Servizi Interfacoltà del Polo Universitario di Savona Savona, Italia

**Progettazione Preliminare,
Definitiva ed Esecutiva, per la
Realizzazione di un’Infrastruttura
Sperimentale-Dimostrativa di
Poligenerazione Denominata
“Smart Polygeneration Microgrid”**

**Progetto Esecutivo
Valutazione del Rischio
dovuto a Scariche
Atmosferiche**

Università degli Studi di Genova Centro di Servizi Interfacoltà del Polo Universitario di Savona Savona, Italia

**Progettazione Preliminare,
Definitiva ed Esecutiva, per la
Realizzazione di un'Infrastruttura
Sperimentale-Dimostrativa di
Poligenerazione Denominata
"Smart Polygeneration Microgrid"**

**Progetto Esecutivo
Valutazione del Rischio
dovuto a Scariche
Atmosferiche**

Preparato da	Firma	Data
Alessandro Venturin		Aprile 2012
Andrea Podestà		Aprile 2012
Controllato da	Firma	Data
Gianluca Cassulo		Aprile 2012
Approvato da	Firma	Data
Claudio Mordini		Aprile 2012
Sottoscritto da	Firma	Data
Roberto Carpaneto		Aprile 2012

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Sottoscritto da	Data
0	Prima Emissione	ALV/ANP	GIC	CSM	RC	Aprile 2012

INDICE

	<u>Pagina</u>
ELENCO DELLE FIGURE	II
1 GENERALITÀ	1
1.1 OGGETTO DEL DOCUMENTO	1
1.2 DEFINIZIONI DELLE STRUTTURE OGGETTO DELLA VALUTAZIONE	1
1.3 SIMBOLI E ABBREVIAZIONI	1
2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1 LEGGI	3
2.2 NORME	3
2.3 ALTRI DOCUMENTI	4
3 DATI DI PROGETTO	5
3.1 RISCHI ANALIZZATI	5
3.2 INDIVIDUAZIONE AREE DI RACCOLTA DEL FULMINE	6
3.3 DATI DI INGRESSO STRUTTURE: VALORI RILEVATI ED ASSUNTI	8
3.4 DATI DI INGRESSO SERVIZI ENTRANTI: VALORI RILEVATI / ASSUNTI	10
4 PALAZZINA “DELFINO”: VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FULMINAZIONE	11
4.1 DIMENSIONI DELLA STRUTTURA	11
4.2 DETERMINAZIONE AREE DI RACCOLTA DELLA STRUTTURA E DELLE LINEE	11
4.3 DETERMINAZIONE DEL NUMERO ATTESO DI EVENTI PERICOLOSI	11
4.4 CALCOLO DEL RISCHIO R_1	12
4.5 CALCOLO DEL RISCHIO R_4	13
5 CONCLUSIONI	16
5.1 GENERALITÀ	16

ELENCO DELLE FIGURE

<u>Figura No.</u>	<u>Pagina</u>
Figura 3.1: Aree di Raccolta per Fulminazione Diretta su Palazzina Delfino	7
Figura 3.2: Aree di Raccolta per Fulminazione in Prossimità Palazzina Delfino	7

**PROGETTO ESECUTIVO
VALUTAZIONE DEL RISCHIO DOVUTO A SCARICHE ATMOSFERICHE
PROGETTAZIONE PRELIMINARE, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, PER LA
REALIZZAZIONE DI UN'INFRASTRUTTURA SPERIMENTALE-
DIMOSTRATIVA DI POLIGENERAZIONE DENOMINATA "SMART
POLYGENERATION MICROGRID"**

1 GENERALITÀ

1.1 OGGETTO DEL DOCUMENTO

Oggetto del presente documento è la valutazione del rischio dovuto al fulmine per le strutture interessate dallo sviluppo del progetto "Smart Polygeneration Microgrid" (nel seguito SPM).

Tale studio è necessario a seguito dell'installazione dei nuovi impianti di generazione definiti nell'ambito del progetto, di cui questo documento è parte integrante.

Lo studio è sviluppato sulla base della norma CEI EN 63205-2 del febbraio 2006 e successive varianti.

1.2 DEFINIZIONI DELLE STRUTTURE OGGETTO DELLA VALUTAZIONE

La struttura oggetto della presente valutazione è la Palazzina Delfino.

La palazzina Delfino è un edificio esistente, ma la valutazione del rischio è necessaria a seguito della prevista installazione di un impianto fotovoltaico a tetto che, pur non modificando sostanzialmente la geometria dell'edificio, comporta una serie di considerazioni connesse alla protezione del nuovo impianto dal fulmine. Inoltre, considerato che non è attualmente presente un impianto di protezione contro le scariche atmosferiche e che non risulta essere esistente un precedente studio, è necessario, a beneficio di sicurezza, valutare anche la sicurezza per le persone.

La palazzina Delfino è un edificio di due piani con pianta a "C", di dimensioni 61m x 65m, ed è alta 10.3m.

L'elevazione massima della struttura consente di valutare le aree di raccolta del fulmine.

L'installazione del nuovo impianto fotovoltaico non modifica sostanzialmente le dimensioni dell'edificio e quindi l'area di raccolta per fulminazione diretta è stata valutata con le dimensioni di cui sopra, dove l'altezza è quella corrispondente all'elevazione massima di uno dei due lucernai presenti sul tetto.

1.3 SIMBOLI E ABBREVIAZIONI

A beneficio di praticità viene riportato in Tabella 1.1 un elenco di simboli e abbreviazioni che saranno utilizzati nell'ambito della presente valutazione ed i relativi significati.

Tabella 1.1: Acronimi ed Abbreviazioni

L_1	Perdita di vite umane in una struttura
L_2	Perdita di servizio pubblico in una struttura
L_3	Perdita di patrimonio culturale insostituibile in una struttura
L_4	Perdita economica in una struttura
R_1	Rischio di perdita di vite umane
R_2	Rischio di perdita di servizio pubblico
R_3	Rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile
R_4	Rischio di perdita economica
R_A	Componente di rischio: danni ad esseri viventi per fulminazione diretta della struttura
R_B	Componente di rischio: danni materiali per fulminazione diretta della struttura
R_C	Componente di rischio: guasto di impianti interni per fulminazione diretta della struttura
R_M	Componente di rischio: guasto di impianti interni per fulminazione in prossimità della struttura
R_U	Componente di rischio: danno ad esseri viventi per fulminazione sul servizio connesso
R_V	Componente di rischio: danno materiale per fulminazione sul servizio connesso
R_W	Componente di rischio: guasto agli impianti interni per fulminazione sul servizio connesso
R_Z	Componente di rischio: guasto agli impianti interni per fulminazione in prossimità del servizio connesso
R_D	Rischio della struttura per fulminazione della struttura ($R_D = R_A + R_B + R_C$)
R_I	Rischio della struttura per fulminazione indiretta della struttura ($R_I = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$)
R_O	Rischio di guasto degli impianti interni della struttura ($R_O = R_M + R_C + R_W + R_Z$)
R_S	Rischio della struttura per danno ad esseri viventi ($R_S = R_A + R_U$)
R_T	Rischio tollerabile
C_A	Costo degli animali
C_S	Costo degli impianti nella struttura
C_B	Costo dell'edificio
C_C	Costo del contenuto dell'edificio
C_M	Costo per mancata produzione (per impianti di generazione)
S	Risparmio derivante dall'impiego di un sistema di protezione contro il fulmine
C_L	Ammontare della perdita in moneta corrente per la struttura senza sistema di protezione
C_{RL}	Ammontare della perdita residua in moneta corrente per la struttura protetta
C_P	Costo del sistema di protezione
C_{PM}	Costo attualizzato del sistema di protezione
i	Tasso di interesse del sistema di protezione
m	Tasso dei costi di manutenzione del sistema di protezione
a	Tasso di ammortamento del sistema di protezione (1/numero anni)
LPL	Livello di protezione
LPS	Impianto di protezione
$LEMP$	Impulso elettromagnetico dovuto al fulmine
SPD	Limitatore di sovratensione

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 LEGGI

In base alla destinazione d'uso delle strutture in oggetto, definite in Sezione 1.1, risultano applicabili i seguenti riferimenti legislativi:

- 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”

2.2 NORME

In base alla destinazione d'uso delle strutture in oggetto, definite in Sezione 1.1, risultano applicabili i seguenti vincoli di normativa tecnica:

- NRif1. CEI EN 62305-1 (Classificazione CEI 81-10/1): “Protezione contro i fulmini. Parte 1: Principi generali” e successive varianti;
- NRif2. CEI EN 62305-2 (Classificazione CEI 81-10/2): “Protezione contro i fulmini. Parte 2: Valutazione del rischio dovuto al fulmine” e successive varianti;
- NRif3. CEI EN 62305-3 (Classificazione CEI 81-10/3): “Protezione contro i fulmini. Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone” e successive varianti;
- NRif4. CEI EN 62305-4 (Classificazione CEI 81-10/3): “Protezione contro i fulmini. Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture” e successive varianti;
- NRif5. CEI 81-3: “Valori medi del numero dei fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato dei Comuni d’Italia, in ordine alfabetico”.
- NRif6. CEI 82-25 “Guida alla realizzazione di sistemi di generazione di energia fotovoltaica collegati alle reti elettriche dei sistemi di Media e Bassa Tensione”.

2.3 ALTRI DOCUMENTI

I contenuti del presente documento richiamano i contenuti di documentazione di riferimento consegnata dalla Committenza (identificati con la sigla “DC”):

DCRif1. Dis. En01.3 “Palazzina Nord: pianta copertura” emesso da Agenzia di architettura 5+1 architetti associati in rev. 0 in data maggio 2000;

DCRif2. Dis. AeNsdf004a “Palazzina Nord: prospetti” emesso da Agenzia di architettura 5+1 architetti associati in rev. 0 in data novembre 2005;

DCRif3. Dis. “Campus Savona: planimetria generale” emesso in data 08/06/2011.

3 DATI DI PROGETTO

3.1 RISCHI ANALIZZATI

In base alla destinazione d'uso delle strutture in oggetto definite in Sezione 1.2, risultano prevedibili le seguenti tipologie di perdita:

- perdita di vite umane L1;
- perdita economica L4.

Nell'ambito della presente relazione sono pertanto considerate:

- rischio R_1 (perdita di vite umane). I risultati ottenuti sono confrontati con il valore limite tollerabile $R_{T1} < 10^{-5}$, come definito in NRif2, al fine di valutare la necessità di un sistema di protezione dedicato;
- rischio R_4 (perdite economiche). La norma NRif2 non prescrive un limite ammissibile, in quanto esso è funzione del valore complessivo della struttura da proteggere.

La seguente Tabella 3.1 riassume l'approccio impiegato dal presente documento.

Tabella 3.1: Strategia di Individuazione del Rischio

Struttura valutata	Tipologia del rischio	Strategia impiegata
<i>Palazzina "Delfino"</i>	Perdita di vite umane (R_1)	Il rischio di fulminazione è calcolato con il procedimento contenuto in NRif2
	Perdita economica (R_4)	Il rischio di fulminazione è calcolato con il procedimento contenuto in NRif2. Successivamente vengono proposte alcune misure volte a limitarlo

Generalmente i rischi di tipo R_1 ed R_4 sono ottenuti dalla somma di 8 componenti funzione di parametri ambientali ed impiantistici, descritti in Tabella 3.2.

Entrambi i fattori di rischio sono ottenuti dalla somma delle 8 componenti definite nel prospetto riportato:

Per il calcolo di R_1 si applica la seguente relazione:

$$R_I = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$$

in cui le componenti R_C , R_M , R_W ed R_Z sono da considerarsi solo per strutture con rischio di esplosione (presenza di materiale esplosivo o zona classificata per presenza continuativa di gas, zona 0, o per presenza continuativa di polveri combustibili, zona 20), ospedali, o altre strutture in cui guasti di impianti interni provochino immediato pericolo per la vita umana.

Nell'ambito del presente documento, poiché le strutture considerate non presentano zone classificate a rischio di esplosione per il fulmine e non contengono apparecchiature vitali, il calcolo del rischio R_1 si riduce alla seguente relazione, composta esclusivamente dalle componenti associate alla fulminazione diretta degli edifici o delle relative linee entranti:

$$R_I = R_A + R_B + R_U + R_V$$

Tabella 3.2: Componenti Determinanti il Rischio

Componente di rischio	Descrizione
R_A	Rischio dovuto a danni a esseri viventi per tensioni di contatto o di passo per fulminazione diretta della struttura
R_B	Rischio dovuto a danni materiali (incendio / esplosione) a causa di scariche pericolose interne alla struttura per fulminazione diretta della stessa
R_C	Rischio dovuto al guasto di impianti interni causato da LEMP (impulso elettromagnetico) per fulminazione diretta
R_M	Rischio dovuto al guasto di impianti interni causato da LEMP per fulminazione indiretta
R_U	Rischio dovuto a danni a esseri viventi per tensione di contatto per corrente di fulmine iniettata nella linea entrante per fulminazione diretta della stessa
R_V	Rischio dovuto a danni materiali (incendio / esplosione) a causa di scariche pericolose interne alla struttura per fulminazione diretta del servizio connesso
R_W	Rischio dovuto al guasto di impianti interni causato da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse all'interno per fulminazione diretta del servizio connesso
R_Z	Rischio dovuto al guasto di impianti interni causato da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse all'interno per fulminazione indiretta del servizio connesso

Per il calcolo di R_4 si applica la seguente relazione:

$$R_4 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$$

in cui le componenti R_A ed R_U sono da considerarsi soltanto in strutture ad uso agricolo in cui si può verificare perdita di animali traducibile in danno economico.

Pertanto il calcolo del rischio R_4 si riduce alla seguente relazione:

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

in cui permangono i rischi connessi al pericolo di incendio / esplosione o di danneggiamento degli impianti per sovratensioni e sovracorrenti indotte.

3.2 INDIVIDUAZIONE AREE DI RACCOLTA DEL FULMINE

I dati di progetto assunti ai fini dell'individuazione delle aree di raccolta del fulmine sono stati dedotti dalla documentazione fornita dal Committente.

Per area di raccolta si intende la superficie che, in assenza della struttura, verrebbe colpita dallo stesso numero di fulmini incidenti sulla stessa.

A beneficio di chiarezza sono di seguito rappresentate in Figura 3.1 la costruzione grafica relativa all'area di raccolta per fulminazione diretta della struttura ed in Figura 3.2 quella relativa all'area di raccolta per fulminazione in prossimità della palazzina Delfino.

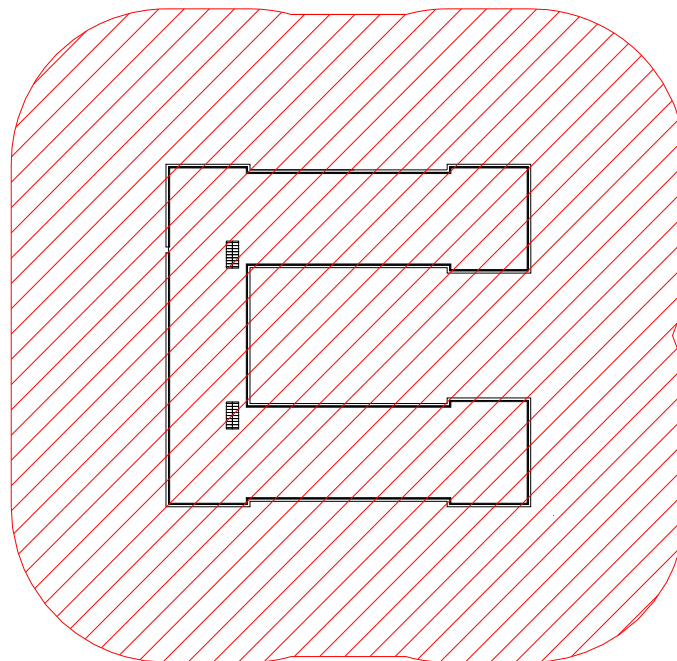


Figura 3.1: Aree di Raccolta per Fulminazione Diretta su Palazzina Delfino

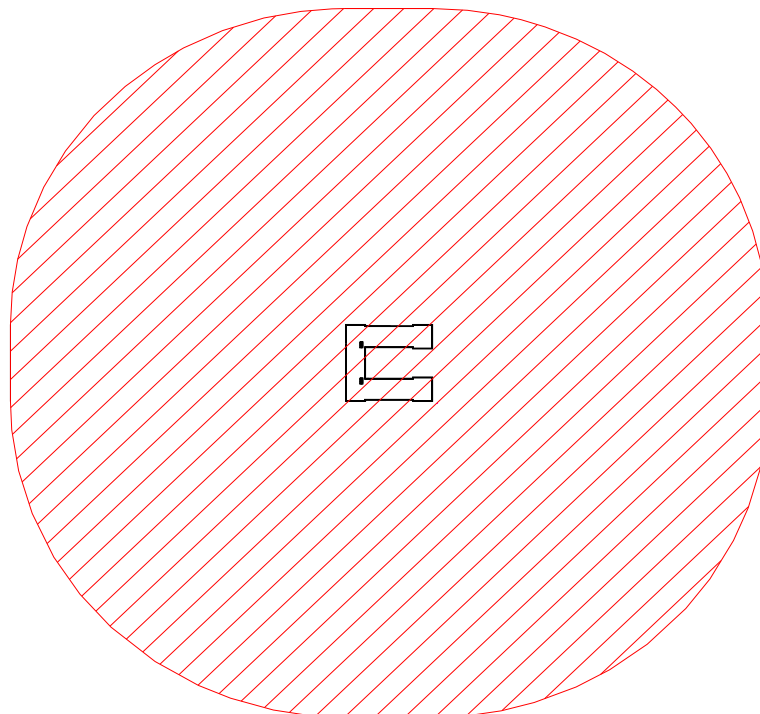


Figura 3.2: Aree di Raccolta per Fulminazione in Prossimità Palazzina Delfino

La quantificazione delle rispettive aree di raccolta è riportata, per ciascuna struttura, nel paragrafo dedicato.

3.3 DATI DI INGRESSO STRUTTURE: VALORI RILEVATI ED ASSUNTI

I dati per i quali non risultano disponibili informazioni con un grado di dettaglio sufficiente sono stati assunti con riferimento ai prospetti di cui in NRif2 e/o ipotizzando, a scopo cautelativo, le condizioni di vincolo più sfavorevoli ai fini della valutazione del rischio.

L'esame delle strutture e dell'ambiente circostante, nonché la definizione in sede preventiva dei parametri di rischio accettabile di cui al paragrafo precedente, permette di formulare i vincoli di progetto, di seguito riassunti in Tabella 3.3.

Tabella 3.3: Parametri Rilevanti

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Densità fulmini al suolo (anno/km ²)	Savona (SV)	N_g	2,5 (da CEI 81-3)
Coefficiente di posizione struttura	Struttura circondata da altre di altezza equivalente	C_d	0,5
Perdita dovuta a tensioni di contatto e di passo	Per tutti i tipi di struttura (da Tab. C.1 NRif2)	L_t	All'interno e all'esterno 10^{-2}
Tipo di superficie esterna	Asfalto (da Tab. C.2 NRif2)	r_a	Asfalto: 10^{-5}
Tipo di superficie interna	Piastrelle in cotto (da Tab. C.2 NRif2)	r_u	10^{-3}
Resistività del terreno ($\Omega \cdot m$)	Valore massimo prescritto cautelativamente da NRif2 quando il dato è incerto	r	500
Rischio di incendio	Ordinario (carico specifico d'incendio tra 400 e 800MJ/mq)	r_f	10^{-2}
Pericoli particolari	Struttura a livello medio di panico	h_z	5
Misure per ridurre le conseguenze dell'incendio	Manuali (estintori)	r_p	0.5
Perdita per danni materiali (per R_1)	Industriale, commerciale, scuole	L_f	$5 \cdot 10^{-3}$
Perdita per danni materiali (per R_4)	Perdita per danni materiali associata alla massima perdita ipotizzabile a seguito fulminazione diretta (10 pannelli), rapportata al valore globale dell'impianto	L_f	$3,33 \cdot 10^3$
Perdita per guasti degli impianti interni (per R_4)	Perdita associata al guasto interno peggiore (inverter), rapportata al valore complessivo dell'impianto (palazzina Delfino)	L_o	$1,66 \cdot 10^{-2}$
Probabilità di danno ad esseri viventi per tensioni passo e contatto per fulminazione diretta della struttura	Funzione delle misure protettive contro tensioni di contatto e passo (da Tab.B1 NRif2)	P_A	1

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Probabilità di danno materiale per incendio / esplosione per fulminazione diretta della struttura	Funzione delle misure protettive per ridurre danno materiale (presenza LPS) (da Tab.B2 NRif2)	P_B	1
Probabilità di guasto ad impianti interni (LEMP) per fulminazione diretta della struttura	Funzione del livello di protezione SPD (se presenti) (da Tab.B3 NRif2)	P_C	1
Probabilità di guasto ad impianti interni (LEMP) per fulminazione in prossimità della struttura	Funzione delle misure di protezione installate (SPD se presenti o misure supplementari:schermature, cablaggi, tensioni di tenuta all'impulso delle apparecchiature elettriche) (se presenti SPD la probabilità minore tra le due) (da Tab.B4-B5 NRif2)	P_M	1
Probabilità di danno ad esseri viventi per fulminazione diretta del servizio connesso (interno struttura)	Funzione delle misure di protezione installate (SPD se presenti o misure supplementari:schermature, cablaggi, tensioni di tenuta all'impulso delle apparecchiature elettriche) (se presenti SPD la minore tra le due) (da Tab.B6 NRif2)	P_U	1
Probabilità di danno materiale per incendio / esplosione per fulminazione diretta del servizio connesso	Funzione delle misure di protezione installate (SPD se presenti o misure supplementari:schermature, cablaggi, tensioni di tenuta all'impulso delle apparecchiature elettriche) (se presenti SPD la minore tra le due) (da Tab.B6 NRif2)	P_V	1
Probabilità di guasto ad impianti interni per fulminazione diretta del servizio connesso	Funzione delle misure di protezione installate (SPD se presenti o misure supplementari:schermature, cablaggi, tensioni di tenuta all'impulso delle apparecchiature elettriche) (se presenti SPD la minore tra le due) (da Tab.B6 NRif2)	P_W	1
Probabilità di guasto ad impianti interni per fulminazione in prossimità del servizio connesso	Funzione delle misure di protezione installate (SPD se presenti o misure supplementari:schermature, cablaggi, tensioni di tenuta all'impulso delle apparecchiature elettriche) (se presenti SPD la minore tra le due) (da Tab.B7 NRif2)	P_Z	1
Nota generale:			
<ul style="list-style-type: none"> - Le probabilità di danno collegate a ciascun tipo di rischio sono state considerate massime ($P=1 \rightarrow$ se il fulmine colpisce causa danno). - Nei successivi paragrafi, dove i coefficienti di rischio così calcolati risultano superiori al limite tollerabile, sono proposte delle misure di protezione che consentono di impiegare valori di probabilità più bassi e di conseguenza di limitare il coefficiente di rischio. Di tali variazioni viene data evidenza. 			

3.4 DATI DI INGRESSO SERVIZI ENTRANTI: VALORI RILEVATI / ASSUNTI

Nelle successive Tabella 3.4 e Tabella 3.5 vengono indicati i dati caratteristici per le linee di energia/segnale entranti/uscenti nelle due strutture. Per la palazzina Delfino si è considerata la presenza di una linea BT e di una linea di segnale.

Le linee BT presenti sono molteplici ma, avendo percorsi comuni, possono essere sintetizzate in un'unica linea equivalente avente le caratteristiche peggiori tra quelle presenti ai fini del rischio di fulminazione.

Tabella 3.4: Caratteristiche Linea Bassa Tensione in Cavo Interrato

Parametro	Commento	Simbolo	Valore rilevato / assunto
Lunghezza linea [m]	-	L_c	50
Altezza linea [m]	Interrata	H_c	0
Altezza struttura all'estremità del servizio connesso [m]	Cabina elettrica	H_a	3
Trasformatore AT/BT	No	C_t	1
Coefficiente di posizione linea	La linea è in cavo interrato tra gli edifici del complesso industriale	C_d	0,25
Coefficiente ambientale della linea	Urbano	C_e	0,1

Tabella 3.5: Caratteristiche Linee Segnale in Cavo Interrato

Parametro	Commento	Simbolo	Valore rilevato / assunto
Lunghezza linea [m]	-	L_c	1000
Altezza linea [m]	Interrata	H_c	0
Trasformatore	No	C_t	1
Coefficiente di posizione linea	La linea è in cavo interrato tra gli edifici del complesso industriale	C_d	0,25
Coefficiente ambientale della linea	Urbano	C_e	0,1

4 PALAZZINA “DELFINO”: VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FULMINAZIONE

4.1 DIMENSIONI DELLA STRUTTURA

La palazzina Delfino ha spazi interni allestiti come uffici, laboratori ed aule. Le sue dimensioni in pianta sono 65 per 61 metri, con un'elevazione massima – in corrispondenza dei due lucernai – pari a 10.3 metri.

4.2 DETERMINAZIONE AREE DI RACCOLTA DELLA STRUTTURA E DELLE LINEE

Sulla base delle dimensioni di cui in 4.1 è stata calcolata l'area di raccolta del fulmine impiegata nella successiva valutazione:

Le aree di raccolta sono riportate in Tabella 4.1.

Tabella 4.1: Aree di Raccolta per Fulminazione

Simbolo	Area di raccolta per	Formula	Valore [m ²]
A_d	Fulmine diretto sulla struttura	Metodo grafico	$1,49 \cdot 10^4$
A_{da}	Fulmine diretto sulla struttura connessa	Metodo grafico	$6,2 \cdot 10^2$
$A_{i(BT)}$	Fulmine sulla linea di energia BT	$A_{i(BT)} = \sqrt{\rho} \cdot [L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)]$	$2,26 \cdot 10^2$
$A_{i(BT)}$	Fulmine in prossimità della linea di energia BT	$A_{i(BT)} = 25 \cdot \sqrt{\rho} \cdot L_c$	$2,8 \cdot 10^4$
$A_{i(S)}$	Fulmine sulla linea di segnale	$A_{i(S)} = \sqrt{\rho} \cdot [L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)]$	$2,15 \cdot 10^4$
$A_{i(S)}$	Fulmine in prossimità della linea di segnale	$A_{i(S)} = 25 \cdot \sqrt{\rho} \cdot L_c$	$5,6 \cdot 10^5$
A_m	Fulmine in prossimità della struttura	Metodo grafico	$2,63 \cdot 10^5$

4.3 DETERMINAZIONE DEL NUMERO ATTESO DI EVENTI PERICOLOSI

Il numero annuale medio N di eventi pericolosi è determinato moltiplicando la densità di fulmini al suolo N_g (di cui al paragrafo 3.3) per l'area di raccolta della struttura, tenendo conto dei coefficienti correttivi per le caratteristiche fisiche della struttura stessa.

Il numero annuale medio di eventi pericolosi per la struttura in oggetto è riportato in Tabella 4.2.

Tabella 4.2: Valutazione del Numero medio di Fulmini

Simbolo	Numero di fulmini	Formula	Valore [1/anno]
N_D	sulla struttura	$N_d = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6}$	$1,86 \cdot 10^{-2}$
$N_{l(BT)}$	sulla linea di energia BT	$N_{l(BT)} = N_g \cdot A_{l(BT)} \cdot C_{d(BT)} \cdot C_{t(BT)} \cdot 10$	$1,41 \cdot 10^{-4}$
$N_{i(BT)}$	in prossimità della linea di energia BT	$N_{i(BT)} = N_g \cdot A_{i(BT)} \cdot C_{d(BT)} \cdot C_{e(BT)} \cdot 10$	$6,99 \cdot 10^{-3}$
$N_{l(S)}$	sulla linea di segnale	$N_{l(S)} = N_g \cdot A_{l(S)} \cdot C_{d(S)} \cdot C_{t(S)} \cdot 10^{-6}$	$1,34 \cdot 10^{-2}$
$N_{i(S)}$	in prossimità della linea segnale	$N_{i(S)} = N_g \cdot A_{i(S)} \cdot C_{d(S)} \cdot C_{e(S)} \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
$N_{Da(BT)}$	su struttura adiacente connessa alla struttura in oggetto (cabina elettrica inverter)	$N_{d/a(BT)} = N_g \cdot A_{d/a(BT)} \cdot C_{d/a(BT)} \cdot C_{t(BT)}$	$3,88 \cdot 10^{-4}$
N_M	in prossimità della struttura	$N_M = N_g \cdot (A_m - A_d \cdot C_d) \cdot 10^{-6}$	$6,38 \cdot 10^{-1}$

4.4 CALCOLO DEL RISCHIO R_1

Il rischio R_1 (rischio di perdita di vite umane) per la struttura in oggetto, come definito alla Sezione 3.1, può essere calcolato attraverso la somma delle seguenti componenti di rischio:

$$R_1 = R_A + R_B + R_{U(BT)} + R_{U(S)} + R_{V(BT)} + R_{V(S)}$$

Il dettaglio delle valutazioni per i singoli componenti è riportato in Tabella 4.3.

Tabella 4.3: Rischio di Perdita di Vite Umane

Componente	Formula	Valore
R_A	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot r_a \cdot L_t$	$1,86 \cdot 10^{-9}$
R_B	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$2,32 \cdot 10^{-6}$
$R_{U(BT)}$	$R_{U(BT)} = (N_{Da(BT)} + N_{l(BT)}) \cdot P_U \cdot r_u \cdot L_t$	$5,29 \cdot 10^{-9}$
$R_{U(S)}$	$R_{U(S)} = (N_{Da(S)} + N_{l(S)}) \cdot P_U \cdot r_u \cdot L_t$	$1,34 \cdot 10^{-7}$
$R_{V(BT)}$	$R_{V(BT)} = (N_{Da(BT)} + N_{l(BT)}) \cdot P_V \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$6,61 \cdot 10^{-8}$
$R_{V(S)}$	$R_{V(S)} = (N_{Da(S)} + N_{l(S)}) \cdot P_V \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$1,68 \cdot 10^{-6}$

Il rischio R_1 (perdita di vite umane) complessivo risulta pertanto pari a $4,20 \cdot 10^{-6}$: tale valore è inferiore al limite tollerabile $R_{T1} < 10^{-5}$ e quindi **la palazzina “Delfino” risulta essere Autoprotetta contro il rischio di fulminazione di tipo 1 (perdita di vite umane).**

4.5 CALCOLO DEL RISCHIO R_4

Il rischio R_4 (rischio di perdita economica) per la struttura in oggetto, come definito in 3.1, può essere calcolato attraverso la somma delle seguenti componenti di rischio:

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_{V(BT)} + R_{V(S)} + R_{W(BT)} + R_{W(S)} + R_{Z(BT)} + R_{Z(S)}$$

Il dettaglio delle valutazioni per i singoli componenti è riportato nella successiva Tabella 4.4.

Tabella 4.4: Componenti del Rischio di Perdita Economica

Componente	Formula	Valore
R_B	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$2,32 \cdot 10^{-6}$
R_C	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_o$	$4,65 \cdot 10^{-4}$
R_M	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_o$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
$R_{V(BT)}$	$R_{V(BT)} = (N_{Da(BT)} + N_{I(BT)}) \cdot P_V \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$6,61 \cdot 10^{-8}$
$R_{V(S)}$	$R_{V(S)} = (N_{Da(S)} + N_{I(S)}) \cdot P_V \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$1,68 \cdot 10^{-6}$
$R_{W(BT)}$	$R_{W(BT)} = (N_{Da(BT)} + N_{I(BT)}) \cdot P_W \cdot L_o$	$1,32 \cdot 10^{-5}$
$R_{W(S)}$	$R_{W(S)} = (N_{Da(S)} + N_{I(S)}) \cdot P_W \cdot L_o$	$3,35 \cdot 10^{-4}$
$R_{Z(BT)}$	$R_{Z(BT)} = (N_{i(BT)} - N_{l(BT)}) \cdot P_Z \cdot L_o$	$1,71 \cdot 10^{-4}$
$R_{Z(S)}$	$R_{Z(S)} = (N_{i(S)} - N_{l(S)}) \cdot P_Z \cdot L_o$	$3,16 \cdot 10^{-3}$

Il rischio R_4 complessivo risulta pertanto pari a $2 \cdot 10^{-2}$.

La norma NRif2, a differenza di quanto accade per il rischio di tipo 1, non fornisce alcuna indicazione circa la tollerabilità del rischio in quanto non sarebbe realistico quantificare in modo generico il valore di una struttura e di tutto ciò che contiene, applicando dei parametri standard in funzione della tipologia dell'edificio.

Tuttavia, al fine di effettuare alcune valutazioni di tipo economico, è prima necessario capire la tipologia delle protezioni che meglio si adattano al caso specifico. Per fare ciò occorre prendere in esame il valore del rischio R_4 e scomporlo in relazione alla sorgente e al tipo di danno.

Il raggruppamento di componenti analoghe permette di recepire più chiaramente le problematiche principali e di stabilire una linea di intervento per migliorare la situazione.

La seguente Tabella 4.5 riporta i risultati così ottenuti.

Tabella 4.5: Riepilogo del Rischio di Danni

Rischio (sorgente di danno)	Descrizione	Valore	% su R_4
$R_D = R_B + R_C$	Fulminazione diretta della struttura	$4,7 \cdot 10^{-4}$	2,32
$R_I = R_M + R_V + R_W + R_Z$	Fulminazione indiretta della struttura	$1,96 \cdot 10^{-2}$	97,68
Rischio (tipo di danno)	Descrizione	Valore	% su R_4
$R_F = R_B + R_V$	Danni materiali	$4,1 \cdot 10^{-6}$	0,02
$R_O = R_M + R_C + R_W + R_Z$	Guasti ad impianti interni	$2 \cdot 10^{-2}$	99,98

Dall'analisi dei dati risulta che le maggiori probabilità di danno sono associate alla fulminazione indiretta di struttura/servizi per guasto ad impianti interni.

Le misure adatte per la riduzione di questo tipo di rischi sono:

- utilizzo di cavi schermati o posati entro canale metallico continuo (schermo o canale collegati a terra ad entrambe le estremità);
- collegamenti equipotenziali diretti quando possibile.

e/o

- installazione di SPD di livello (LPL) adeguato sulle linee di energia e telecomunicazione entranti.

Nel caso in esame si è stabilito di proteggere tutte le linee da/verso la struttura con scaricatori di sovratensioni con livello di protezione II (LPL II). Ciò comporta le modifiche ai dati in ingresso riportate in Tabella 4.6.

Tabella 4.6: Valori dei Parametri Modificati Introducendo gli Scaricatori

Parametro modificati a seguito dell'impiego di protezioni	Valore in assenza di protezioni	Valore modificato	Note
P_C	1	1 (*)	I valori di probabilità indicati possono dipendere anche da altri fattori (schermature, accorgimenti nei cablaggi, tensioni di tenuta all'impulso delle apparecchiature, ecc.). Tali protezioni addizionali potrebbero in parte essere presenti ma, per uniformità di trattazione, è preferibile considerare tutte i servizi entranti protetti solamente tramite SPD
P_M	1	0.02	
P_V	1	0.02	
P_W	1	0.02	
P_Z	1	0.02	

(*) In strutture in cui non sia presente un LPS (parafulmine), non abbiano schermo metallico continuo o i ferri di armatura del calcestruzzo non abbiano i requisiti normativi necessari all'equipotenzializzazione e alla messa a terra, il fattore di riduzione della probabilità di danno non è applicabile anche in presenza di installazione di un sistema di protezione tramite scaricatori

In base a tali assunzioni il calcolo della componente di rischio associata a perdita economica (R_4) risulta essere così modificata nelle singole componenti, riportate in Tabella 4.7.

Tabella 4.7: Componenti di Rischio Modificate Introducendo gli Scaricatori

Componente	Formula	Valore
R_B	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$2,32 \cdot 10^{-6}$
R_C	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_o$	$4,65 \cdot 10^{-4}$
R_M	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_o$	$3,2 \cdot 10^{-4}$
$R_{V(BT)}$	$R_{V(BT)} = (N_{Da(BT)} + N_{I(BT)}) \cdot P_V \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$1,32 \cdot 10^{-9}$
$R_{V(S)}$	$R_{V(S)} = (N_{Da(S)} + N_{I(S)}) \cdot P_V \cdot r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$	$3,35 \cdot 10^{-8}$
$R_{W(BT)}$	$R_{W(BT)} = (N_{Da(BT)} + N_{I(BT)}) \cdot P_W \cdot L_o$	$2,64 \cdot 10^{-7}$
$R_{W(S)}$	$R_{W(S)} = (N_{Da(S)} + N_{I(S)}) \cdot P_W \cdot L_o$	$6,71 \cdot 10^{-6}$
$R_{Z(BT)}$	$R_{Z(BT)} = (N_{i(BT)} - N_{l(BT)}) \cdot P_Z \cdot L_o$	$3,42 \cdot 10^{-6}$
$R_{Z(S)}$	$R_{Z(S)} = (N_{i(S)} - N_{l(S)}) \cdot P_Z \cdot L_o$	$6,32 \cdot 10^{-5}$

Il rischio R_4 complessivo risulta pertanto pari a $8,6 \cdot 10^{-4}$.

In conclusione:

- l'impiego di SPD a protezione delle linee di energia / segnale entranti nella struttura consente di ridurre in maniera significativa il coefficiente di rischio;
- l'impiego di SPD ed LPS esterno (parafulmine) consentirebbe di ridurre ulteriormente tale perdita. Tuttavia considerata la modesta incidenza del rischio associata a fulminazione diretta non è conveniente prevedere l'installazione di LPS, in ragione dell'elevato costo di tale sistema. L'installazione, oltre al costo intrinseco dell'LPS, deve tener conto dell'effetto di ombreggiamento e di conseguenza del calo di produzione di energia elettrica che causerebbe sull'impianto fotovoltaico. Tale perdita, funzione del posizionamento e delle dimensioni dell'LPS, è difficilmente quantificabile ma sicuramente non trascurabile.

5 CONCLUSIONI

5.1 GENERALITÀ

In merito al rischio di fulminazione per le strutture valutate nel presente documento si possono trarre le seguenti conclusioni:

Rischio di perdita di vite umane: il valore di rischio calcolato risulta essere inferiore al limite normativo e in quanto la struttura risulta essere auto protetta e non necessita di misure di protezione dedicate.

Rischio di perdita economica: può essere utile distinguere le problematiche relative alla fulminazione diretta e indiretta

- fulminazione diretta:
 - *Palazzina Delfino*: è stato valutato di accettare il rischio economico derivante da danni alle strutture portanti dei moduli ed ai moduli stessi, in quanto l'installazione di un sistema di protezione contro la fulminazione diretta (LPS) non risulta essere una scelta economicamente vantaggiosa;
- fulminazione indiretta:
 - *Palazzina Delfino*: è stato valutato di non accettare il rischio economico derivante da guasti agli impianti interni in quanto l'impiego dei dispositivi volti a realizzare la protezione da sovratensioni di origine atmosferiche (SPD) è comunque da considerarsi conveniente, se rapportato al valore globale dell'edificio protetto.

A valle di quanto sopra, la protezione dal fulmine della *palazzina Delfino*, con particolare riguardo all'impianto fotovoltaico di nuova installazione, sarà realizzata tramite:

- rispetto di particolari accorgimenti costruttivi nella realizzazione dei collegamenti in campo, mirati a minimizzare il flusso concatenato del campo magnetico indotto dal fulmine;
- installazione di sistemi di protezione dalle sovratensioni (SPD) di tipo 2 entro il quadro di parallelo stringhe ;
- installazione di sistemi di protezione dalle sovratensioni (SPD) di tipo 2 ai terminali dc dell'inverter, coordinati con gli SPD entro il quadro di sottocampo;
- installazione di sistemi di protezione dalle sovratensioni (SPD) di tipo 2 sulle linee di energia / segnale entranti all'interno della struttura.

Tali misure di protezione sono definite con maggiore grado di dettaglio nel relativo elaborato progettuale.

ALV/ANP/GIC/CSM/RC:mcs