COMUNE DI RADDUSA

CITTA' METROPOLITANA DI CATANIA

Settore dei Servizi Tecnici

LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA NUOVA SCUOLA ELEMENTARE NEL COMPARTO SCOLASTICO DI VIA ASILO NIDO

PROGETTO ESECUTIVO

Relazioni specialistiche

Elaborato: Relzione di calcolo impianto fotovoltaico

progetto U.T.C. Dott. Arch. Liborio Pavone	il R.U.P. Geom. Antonino Cicero	RADDUSA gennaio/2020
		allegato A.7g

Relazione di calcolo progetto fotovoltaico

Centrale/i	
Denominazione:	Nuova centrale termica

Sottosistema di generazione solare fotovoltaico	
Denominazione:	Nuovo impianto fotovoltaico

1 Norme di riferimento

UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici
UNI/TS 11300-4	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per il riscaldamento di ambienti e la preparazione di acqua calda sanitaria
UNI/TS 11300-5	Prestazioni energetiche degli edifici – Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili
UNI/TR 11328-1	Energia solare – Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia – Parte 1: Valutazione dell'energia raggiante ricevuta
UNI EN 15316-4-6	Impianti di riscaldamento degli edifici – Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto – Parte 4-6: Sistemi di generazione del calore, sistemi fotovoltaici

2. Legende

2.1 Legenda simboli

SIMBOLO/FORMULA	U.M.	DESCRIZIONE
z	[m]	Altitudine s.l.m
φ	[°]	Latitudine
δ	[°]	Gradiente verticale di temperatura
$\theta_{e,avg}$	[°C]	Temperatura giornaliera media mensile dell'aria esterna
H_h	[MJ/m²]	Irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale
ϑ	–	Riflettanza delle superfici
$W_{pv,tot}$	[kW_p]	Potenza di picco complessiva dell'impianto
f_p	–	Fattore di conversione in energia primaria
k_{em}	[$kgCO_2/kWh$]	Fattore di emissione per la CO_2
$A_{pv,sm}$	[m²]	Area del singolo modulo fotovoltaico, al netto del telaio
K_{pv}	[kW_p/m^2]	Fattore di potenza di picco
$W_{pv,sm}$	[kW_p]	Potenza di picco del singolo modulo
n_m	–	Numero complessivo di moduli del singolo generatore parziale
$W_{pv,gp}$	[kW_p]	Potenza di picco del singolo generatore parziale
f_{pv}	–	Fattore di efficienza
β	[°]	Angolo che il modulo forma con il piano orizzontale
γ	[°]	Angolo di azimuth del modulo: angolo formato dalla normale al piano del collettore e dal piano meridiano del luogo
E_{pv}	[kWh/m²]	Irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico
N	–	Numero progressivo del giorno medio del mese
δ	°	Angolo di declinazione del sole
T, U, V, T_h, U_h	–	Funzioni intermedie di calcolo
ω_s	°	Angolo orario del tramonto astronomico
H_o	[MJ/m²]	Irradiazione extra atmosferica orizzontale giornaliera

K_T	-	Indice di soleggiamento reale
ω_1'	°	Angolo orario del comparire del sole
ω_1''	°	Angolo orario dello scomparire del sole
ω_2'	°	Angolo orario del comparire del sole
ω_2''	°	Angolo orario dello scomparire del sole
$\overline{H}_{bh}$	[W/m²]	Irradiazione giornaliera diretta sul piano orizzontale. Valore medio mensile.
G_o	[W/m²]	Costante solare, pari a 1.367 W/m² (valore più recente fornito dal Duffie Beckman 3a edizione 2006, aggiornato rispetto al precedente valore di 1.353 W/m² di cui al UNI/TR 11328:2009, tratto quest'ultimo da UNI 8477-1:1983)
$\overline{H}_b$	[W/m²]	Irradiazione giornaliera diretta sul piano dei moduli. Valore medio mensile.
$\bar{R}_b$	-	Rapporto tra irradiazione giornaliera diretta sul piano dei moduli e sul piano orizzontale. Valore medio mensile.
$\bar{R}$	-	Rapporto tra irradiazione giornaliera totale (diretta+diffusa+riflessa) sulla superficie dei moduli e sul piano orizzontale. Valore medio mensile.
$\overline{H}$	[MJ/m²]	Irradiazione giornaliera totale (diretta+diffusa+riflessa) sulla superficie dei collettori. Valore medio mensile.
$E_{pv,gp}$	[kWh/m²]	Irradiazione solare mensile incidente sul singolo generatore parziale dell'impianto fotovoltaico
$E_{el,pv,out,gp}$	[kWh]	Energia elettrica prodotta dal singolo generatore parziale
$E_{el,pv,out}$	[kWh]	Energia elettrica prodotta dall'intero impianto fotovoltaico, somma di quella prodotta dai singoli generatori parziali presenti
$Q_{el,del,qa}$	[kWh]	Energia elettrica fornita all'edificio, limitatamente alla quota abbattibile con la produzione fotovoltaica, secondo i vincoli previsti da UNI/TS 11300-4. In base a tali vincoli, essa coincide con la somma del fabbisogno di energia elettrica di pompe di calore per climatizzazione e produzione di a.c.s., degli ausiliari degli impianti di produzione di energia dell'edificio e di illuminazione dell'edificio, nel caso di destinazioni non residenziali.
$Q_{el,exp} \equiv Q_{en.el,prod,gn,i}$	[kWh]	Energia elettrica autoprodotta ed utilizzata dall'edificio, secondo i vincoli previsti da UNI/TS 11300-4. Per valutazioni A1 ed A2, essa non può essere superiore alla $Q_{el,del,qa}$. Essa coincide con la $Q_{en,el,prod,gn,i}$ riportata nella relazione tecnica della centrale cui appartiene il generatore fotovoltaico, dove gn,i è il pedice che lo identifica.
Q_{sol}	[kWh]	Energia solare immessa nel sottosistema di generazione solare fotovoltaico
Q_p	[kWh]	Fabbisogno di energia primaria
η	-	Rendimento dell'impianto fotovoltaico
M_{net},CO_2	[kg]	Produzione netta di CO_2

2.2 Legenda pedici vettori energetici

PEDICE	DENOMINAZIONE VETTORE ENERGETICO
en,sol	Energia solare
en,el	Energia elettrica

3 Dati di progetto

3.1 Localitá (UNI 10349)

DATI GEOGRAFICI				
		Alt.	Lat.	Grad
		[m.s.l.]	[Deg]	[°C/m]
Comune	RADDUSA	350,00	37,28	0,007
Località di riferimento				

DATI CLIMATICI ED AMBIENTALI													
DESCRIZIONE	U.M	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Temperatura media mensile Ta	[°C]	9,95	8,45	9,85	13,45	16,85	21,45	23,85	24,55	20,95	17,85	13,15	10,35
Irradiazione media mensile H	[MJ/m²]	8,30	11,70	16,80	18,00	23,10	24,50	25,80	22,70	17,40	13,50	10,20	7,50
Riflettività mensile del terreno circostante	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

4 Dati dell'impianto

4.1 Dati generali

Numero di generatori parziali:	[-]	1
Potenza di picco complessiva $W_{pv,tot}$	[kW_p]	16,74

4.2 Dati dei vettori energetici

Vettore energetico	f_p	k_{em}
	-	[$kgCO_2/kWh$]
Energia elettrica	2,1740	0,4332
Energia solare		

4.3 Dati dei singoli generatori parziali

4.3.1 Generatore parziale Nuovo Generatore parziale

DATI DEI MODULI FOTOVOLTAICI											
Costruttore	Modello	Tipo di modulo	$A_{pv,sm}$	K_{pv}	$W_{pv,sm}$	Tipo di integrazione	f_{pv}	n_m	$W_{pv,gp}$	β(*)	γ(**)
-	-	-	[m²]	[kW_p/m^2]	[kW_p]	-	-	-	[kW_p]	[°]	[°]
--	250	Pannello policristallino	1,86	0,150	0,28	Moduli non ventilati	0,7	60	16,7	5,0	

(*)β >0 per inclinazione dal piano orizzontale verso l'alto - per β = 0° → collettore sul piano orizzontale
(**) per γ = -90 →collettore verso E; per γ = 90 →collettore verso O

5 Calcolo energetico

5.1 Generatore parziale Nuovo Generatore parziale

5.1.1 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dal singolo generatore parziale

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DAL SINGOLO GP [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
$E_{el,pv,out,gp}$	863,5	1.107,2	1.748,5	1.782,1	2.336,2	2.380,1	2.597,6	2.311,7	1.734,2	1.402,3	1.026,7	779,5	20.070

5.2 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dall'intero impianto fotovoltaico

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'IMPIANTO [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
$E_{el,pv,out}$	863,5	1.107,2	1.748,5	1.782,1	2.336,2	2.380,1	2.597,6	2.311,7	1.734,2	1.402,3	1.026,7	779,5	20.070

5.3 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dall'intero impianto fotovoltaico ed utilizzata dall'edificio

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'IMPIANTO ED UTILIZZATA DALL'EDIFICIO [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
$Q_{el,del,qa}$													
$Q_{el,exp} = Q_{en.el,prod,gn,i}$	863,5	1.107,2	1.748,5	1.782,1	2.336,2	2.380,1	2.597,6	2.311,7	1.734,2	1.402,3	1.026,7	779,5	20.070

5.4 Fabbisogni di energia primaria

5.4.1 Fabbisogni di energia primaria per vettore energetico e totale

ENERGIA ELETTRICA [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
$Q_{p,en,el}$	1.877,3	2.407,1	3.801,2	3.874,3	5.078,8	5.174,4	5.647,2	5.025,7	3.770,1	3.048,6	2.232,0	1.694,7	43.631

ENERGIA SOLARE [kwh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
Q_{sol}	8.224,0	10.545,0	16.652,1	16.972,5	22.249,2	22.667,7	24.739,1	22.016,5	16.516,0	13.355,3	9.778,0	7.424,0	191.139
$Q_{p,en,sol}$													

ENERGIA TOTALE [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
Q_p	-1.683,9	-2.159,1	-3.409,5	-3.475,1	-4.555,5	-4.641,2	-5.065,3	-4.507,9	-3.381,6	-2.734,5	-2.002,1	-1.520,1	-39.136

5.5 Rendimento dell'impianto fotovoltaico

RENDIMENTO DELL'IMPIANTO [-]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
η	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

5.6 Emissioni di CO_2

5.6.1 Emissioni di CO_2 per vettore energetico e totale

ENERGIA ELETTRICA [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
$M_{net}CO_{2,en,el}$	374	480	757	772	1.012	1.031	1.125	1.001	751	607	445	338	8.694

ENERGIA SOLARE [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
$M_{net}CO_{2,en,sol}$													

ENERGIA TOTALE [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	**Anno**
$M_{net}CO_2$	-374	-480	-757	-772	-1.012	-1.031	-1.125	-1.001	-751	-607	-445	-338	-8.694

5.7 Dati mensili ed annuali del generatore

Mese	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico [kWh]	863,5	1.107,2	1.748,5	1.782,1	2.336,2	2.380,1	2.597,6	2.311,7	1.734,2	1.402,3	1.026,7	779,5	20.070
Energia elettrica fornita per ausiliari [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energia elettrica utilizzata dall'edificio [kWh]	4.182,9	3.968,0	3.210,1	2.206,6	2.683,5	3.159,0	3.619,0	3.612,0	2.879,2	2.541,6	2.447,4	4.149,3	38.659
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico ed utilizzata dall'edificio [kWh]	863,5	1.107,2	1.748,5	1.782,1	2.336,2	2.380,1	2.597,6	2.311,7	1.734,2	1.402,3	1.026,7	779,5	20.069,6
Energia elettrica in eccesso rispetto ai fabbisogni [kWh]													
Rendimento [–] (*)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Emissioni di CO_2 [kg CO_2]	–374,1	–479,7	–757,4	–772,0	–1.012,0	–1.031,1	–1.125,3	–1.001,4	–751,2	–607,5	–444,8	–337,7	–8.694
Quota rinnovabili [kWh]	863,5	1.107,2	1.748,5	1.782,1	2.336,2	2.380,1	2.597,6	2.311,7	1.734,2	1.402,3	1.026,7	779,5	20.069,6

(*) Per il generatore fotovoltaico ci si riferisce al rendimento elettrico complessivo dell'impianto

Mese	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Progetto fotovoltaico: Nuovo impianto fotovoltaico													
$Q_{El,pv}$ [kWh]	863,5	1.107,2	1.748,5	1.782,1	2.336,2	2.380,1	2.597,6	2.311,7	1.734,2	1.402,3	1.026,7	779,5	20.070

Centrale Termica: Nuova centrale termica														
Servizio: Riscaldamento	$r_{el,PV}$ [-]	0,324	0,363	0,234								0,093	0,317	
	Q_{el} [kWh]	1.356,34	1.440,76	749,74								228,58	1.314,65	5.090,06
	$Q_{el,used}$ [kWh]	280,00	402,03	408,37								95,89	246,98	1.433,27
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]	1.076,34	1.038,73	341,37								132,69	1.067,68	3.656,80
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]													
	$Q_{el,rdel,an}$ [kWh]													
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]													
Servizio: Raffrescamento	$r_{el,PV}$ [-]				0,118	0,253	0,386	0,448	0,445	0,320	0,197	0,010		
	Q_{el} [kWh]				260,03	680,06	1.217,97	1.621,93	1.607,71	921,43	500,04	25,12		6.834,29
	$Q_{el,used}$ [kWh]				210,00	592,04	917,66	1.164,18	1.028,95	554,98	275,90	10,54		4.754,25
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]				50,02	88,01	300,31	457,75	578,76	366,45	224,15	14,58		2.080,04
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]													
	$Q_{el,rdel,an}$ [kWh]													
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]													
Servizio: Acqua calda sanitaria	$r_{el,PV}$ [-]	0,004	0,004	0,006	0,007	0,005	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006	0,004	
	Q_{el} [kWh]	18,09	17,06	18,04	15,47	13,91	10,80	9,70	9,32	11,10	13,32	15,61	17,90	170,31
	$Q_{el,used}$ [kWh]	3,73	4,76	9,82	12,49	12,11	8,14	6,96	5,96	6,68	7,35	6,55	3,36	87,93
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]	14,36	12,30	8,21	2,98	1,80	2,66	2,74	3,35	4,41	5,97	9,06	14,54	82,38
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]													
	$Q_{el,rdel,an}$ [kWh]													
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]													
Servizio: Ventilazione meccanica	$r_{el,PV}$ [-]	0,178	0,169	0,135								0,078	0,179	
	Q_{el} [kWh]													
	$Q_{el,used}$ [kWh]													
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]													
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]													
	$Q_{el,rdel,an}$ [kWh]													
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]													
Servizio: Illuminazione	$r_{el,PV}$ [-]	0,468	0,439	0,593	0,828	0,701	0,578	0,519	0,523	0,640	0,756	0,769	0,474	
	Q_{el} [kWh]	1.957,00	1.741,06	1.902,78	1.827,08	1.881,98	1.826,18	1.879,84	1.887,49	1.842,66	1.920,71	1.882,01	1.965,24	22.514,00
	$Q_{el,used}$ [kWh]													
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]													
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]													
	$Q_{el,rdel,an}$ [kWh]													
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]													

LEGENDA

DEFINIZIONE	SIMBOLO	UNITA' DI MISURA
FATTORE DI RIPARTIZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA PER OGNI SERVIZIO DELLE CENTRALI TERMICHE SERVITE	$r_{el,PV}$	[-]
ENERGIA ELETTRICA COMPLESSIVAMENTE ASSORBITA DALLA CENTRALE TERMICA PER LO SPECIFICO SERVIZIO	Q_{el}	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DA FOTOVOLTAICO ED UTILIZZATA PER LO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,uesd}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA IMPORTATA DALLA RETE ELETTRICA ED UTILIZZATA PER LO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,del,gross}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA IN ECCESSO E CONSEGNATA ALLA RETE ELETTRICA RIFERITA ALLO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,surplus}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA IN ECCESSO E CONSEGNATA ALLA RETE ELETTRICA E REIMPORTATA RIFERITA ALLO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,rdel,an}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA IN ECCESSO E NON REIMPORTATA RIFERITA ALLO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,exp,an}$	[kWh]