

Relazione di calcolo progetto fotovoltaico

Centrale/i	
Denominazione:	Centrale Riscaldamento/A.C.S.-Scuola
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/m ²]	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
$A_{pv,sm}$	[m ²]	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/m ²]	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/m ²]	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
\bar{H}_{bh}	[W/m ²]	Irradiazione giornaliera diretta sul piano orizzontale. Valore medio mensile.
G_o	[W/m ²]	Costante solare, pari a 1.367 W/m ² (valore più recente fornito dal Duffie Beckman 3a edizione 2006, aggiornato rispetto al precedente valore di 1.353 W/m ² di cui al UNI/TR 11328:2009, tratto quest'ultimo da UNI 8477-1:1983)
\bar{H}_b	[W/m ²]	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.
\bar{H}	[MJ/m ²]	Irradiazione giornaliera totale (diretta+diffusa+riflessa) sulla superficie dei collettori. Valore medio mensile.
$E_{pv, gp}$	[kWh/m ²]	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 Località (UNI 10349)

DATI GEOGRAFICI				
		Alt.	Lat.	Grad
		[m.s.l.]	[Deg]	[°C/m]
Comune	Vittoria	168,00	36,95	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]	9,07	9,67	11,37	14,57	19,17	24,07	27,07	27,07	22,27	20,47	14,37	13,17
Irradiazione media mensile H	[MJ/m²]	7,90	10,50	16,00	18,90	23,30	24,60	25,50	23,20	18,00	14,00	9,20	7,60
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:	[–]	2
Potenza di picco complessiva $W_{pv,tot}$	[kW _p]	20,64

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 Generatore esistente

DATI DEI MODULI FOTOVOLTAICI											
Costruttore	Modello	Tipo di modulo	$A_{pv,sm}$	K_{pv}	$W_{pv,sm}$	Tipo di integrazione	f_{pv}	n_m	$W_{pv,gp}$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$
–	–	–	[m ²]	[kW _p /m ²]	[kW _p]	–	–	–	[kW _p]	[[°]]	[[°]]
Sun Power	SUNPOWER X21-345	Pannello monocristallino	1,63	0,150	0,34	Moduli non ventilati	0,7	41	13,7	30,0	

(*) $\beta > 0$ per inclinazione dal piano orizzontale verso l'alto - per $\beta = 0^{\circ} \rightarrow$ collettore sul piano orizzontale

(**) per $\gamma = -90 \rightarrow$ collettore verso E; per $\gamma = 90 \rightarrow$ collettore verso O

5 Calcolo energetico

5.1 Generatore parziale Generatore esistente

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}	737,9	890,4	1 476,4	1 547,4	1 815,1	1 775,0	1 933,8	1 889,1	1 534,8	1 339,3	850,0	717,4	16 507

4.3.1 Generatore parziale Nuovo generatore

DATI DEI MODULI FOTOVOLTAICI									
Modello	Tipo di modulo		A _{pv,sm}	K _{pv}	W _{pv,sm}	Tipo di integrazione	f _{pv}	n _m	W _{pv,gp}
–	–		[m ²]	[kW _p /m ²]	[kW _p]	–	–	–	[kW _p]
SUNPOWER OD ALTRA MARCA 460 W	Pannello monocristallino		2,17	0,150	0,46	Moduli non ventilati	0,7	15	6,9

(*) $\beta > 0$ per inclinazione dal piano orizzontale verso l'alto – per $\beta = 0^\circ \rightarrow$ collettore sul piano orizzontale

(**) per $\gamma = -90 \rightarrow$ collettore verso E; per $\gamma = 90 \rightarrow$ collettore verso O

6 Calcolo energetico

5.1 Generatore parziale Nuovo generatore

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
$E_{el,pv,out,gp}$	370,7	447,3	741,7	777,3	911,8	891,7	971,5	949,0	771,0	672,8	427,0	360,4	8 292

6.2 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
$E_{el,pv,out}$	1 108,6	1 337,7	2 218,1	2 324,7	2 726,9	2 666,6	2 905,3	2 838,2	2 305,9	2 012,1	1 277,0	1 077,8	24 799

6.3 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
$Q_{el,del,qa}$													
$Q_{el,exp} \equiv$	1	1	2	859,4	1	2	2	2	1	1	1	1	20
$Q_{en,el,prod,gn,i}$	108,6	337,7	218,1		412,5	349,0	905,3	838,2	756,4	214,3	277,0	077,8	354

6.4 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
$Q_{p,en,el}$	2 410,0	2 908,2	4 822,2	5 053,9	5 928,3	5 797,2	6 316,0	6 170,2	5 013,0	4 374,2	2 776,2	2 343,1	53 913

ENERGIA SOLARE [kwh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q_{sol}	7 630,5	9 207,8	15 267,8	16 001,6	18 769,8	18 355,0	19 997,6	19 535,8	15 872,0	13 849,4	8 790,0	7 418,7	170 696
$Q_{p,en,sol}$													

ENERGIA TOTALE [kwh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q_p	-2 161,7	-2 608,5	-4 325,3	-4 533,2	-5 317,4	-5 199,9	-5 665,3	-5 534,4	-4 496,5	-3 923,5	-2 490,2	-2 101,7	-48 358

6.5 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

6.6 Emissioni di CO₂

5.6.1 Emissioni di CO₂ per vettore energetico e totale

ENERGIA ELETTRICA [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
$M_{netCO_2,en,el}$	480	579	961	1 007	1 181	1 155	1 259	1 230	999	872	553	467	10 743

ENERGIA SOLARE [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
$M_{netCO_2,en,sol}$													

ENERGIA TOTALE [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
M_{netCO_2}	-480	-579	-961	-1 007	-1 181	-1 155	-1 259	-1 230	-999	-872	-553	-467	-10 743

Data: 28/07/2022

Elaborato con: MC4Suite 2022

6.7 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]	1 108,6	1 337,7	2 218,1	2 324,7	2 726,9	2 666,6	2 905,3	2 838,2	2 305,9	2 012,1	1 277,0	1 077,8	24 799
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]	3 404,8	2 731,4	2 284,9	859,4	1 412,5	2 349,0	3 293,0	3 261,0	1 756,4	1 214,3	1 403,8	2 285,3	26 256
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico ed utilizzata dall'edificio [kWh]	1 108,6	1 337,7	2 218,1	859,4	1 412,5	2 349,0	2 905,3	2 838,2	1 756,4	1 214,3	1 277,0	1 077,8	20 354,3
Energia elettrica in eccesso rispetto ai fabbisogni [kWh]				1 465,3	1 314,4	317,6			549,5	797,8			4 444,5
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]	-480,2	-579,5	-960,9	-1 007,1	-1 181,3	-1 155,2	-1 258,6	-1 229,5	-998,9	-871,6	-553,2	-466,9	-10 743
Quota rinnovabili [kWh]	1 108,6	1 337,7	2 218,1	859,4	1 412,5	2 349,0	2 905,3	2 838,2	1 756,4	1 214,3	1 277,0	1 077,8	20 354,3

(*) 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]	1 108,6	1 337,7	2 218,1	2 324,7	2 726,9	2 666,6	2 905,3	2 838,2	2 305,9	2 012,1	1 277,0	1 077,8	24 799

Centrale Termica: Centrale Riscaldamento/A.C.S.-Scuola

Servizio: Riscaldamento	$r_{el,PV}$ [-]	0,745	0,718	0,631							0,406	0,618	
	Q_{el} [kWh]	2 536,67	1 960,45	1 440,71							570,62	1 413,22	7 921,66
	$Q_{el,used}$ [kWh]	825,92	960,12	1 398,60							519,09	666,50	4 370,22
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]	1 710,76	1 000,32	42,11							51,53	746,72	3 551,45
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]												
	$Q_{el,rdei,an}$ [kWh]												
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]												
Servizio: Raffrescamento	$r_{el,PV}$ [-]				0,056	0,408	0,655	0,747	0,743	0,535	0,299		
	Q_{el} [kWh]				47,79	576,34	1 539,38	2 459,39	2 424,47	940,19	363,54		8 351,10
	$Q_{el,used}$ [kWh]				47,79	576,34	1 539,38	2 169,81	2 110,14	940,19	363,54		7 747,19
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]							289,59	314,33				603,91
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]				81,49	536,28	208,13			294,13	238,83		1 358,86
	$Q_{el,rdei,an}$ [kWh]												603,91
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]												754,95
Servizio: Acqua calda sanitaria	$r_{el,PV}$ [-]	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001	0,003	0,004	0,004	0,004
	Q_{el} [kWh]	8,02	5,23	5,67	5,29	5,09	4,06	3,27	3,27	4,51	4,98	5,31	8,26
	$Q_{el,used}$ [kWh]	2,61	2,56	5,51	5,29	5,09	4,06	2,88	2,84	4,51	4,98	4,83	3,90
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]	5,41	2,67	0,17				0,38	0,42			0,48	4,36
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]				9,02	4,74	0,55			1,41	3,27		18,99
	$Q_{el,rdei,an}$ [kWh]												13,89
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]												5,09
Servizio: Ventilazione meccanica	$r_{el,PV}$ [-]												
	Q_{el} [kWh]												
	$Q_{el,used}$ [kWh]												
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]												
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]												
	$Q_{el,rdei,an}$ [kWh]												
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]												
Servizio: Illuminazione	$r_{el,PV}$ [-]	0,253	0,280	0,367	0,938	0,588	0,343	0,252	0,256	0,462	0,697	0,590	0,378
	Q_{el} [kWh]	860,08	765,77	838,51	806,34	831,11	805,58	830,34	833,21	811,70	845,79	827,86	863,83
	$Q_{el,used}$ [kWh]												
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]												
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]												
	$Q_{el,rdei,an}$ [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	$Q_{el,rdei,an}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA IN ECCESSO E NON REIMPORTATA RIFERITA ALLO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,exp,an}$	[kWh]