



Serena Liverani Silvia Maggi - Architetti



COMUNE DI BRISIGHELLA

**REDAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO DEI LAVORI PER
LA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA STRUTTURA
SCOLASTICA A MARZENO ATTA AD OSPITARE I
LOCALI DELLA SCUOLA PRIMARIA “GIACOMO
LEOPARDI” E I LOCALI DELLA SCUOLA INFANZIA
“CADUTI DI CEFALONIA”**

Committente: COMUNE DI BRISIGHELLA

Ubicazione: fraz. Marzeno – via Ettore Bendandi

RELAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Faenza, 24.10.2013

ALLEGATO ALLA RELAZIONE DI CALCOLO

Centrale/i

Denominazione:

CT

Sottosistema di generazione solare fotovoltaico

Denominazione:

FV

DETTAGLIO DEL CALCOLO ENERGETICO

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
RACCOMANDAZIONE CTI 14	Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione della prestazione energetica per la classificazione dell'edificio
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
ϱ	–	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	$[^\circ]$	Angolo che il modulo forma con il piano orizzontale
γ	$[^\circ]$	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	$^\circ$	Angolo di declinazione del sole
T, U, V, T_h, U_h	–	Funzioni intermedie di calcolo
ω_s	$^\circ$	Angolo orario del tramonto astronomico
H_o	$[MJ/m^2]$	Irradiazione extratmosferica orizzontale giornaliera
K_T	–	Indice di soleggiamento reale
ω_1'	$^\circ$	Angolo orario del comparire del sole
ω_1''	$^\circ$	Angolo orario dello scomparire del sole
ω_2'	$^\circ$	Angolo orario del comparire del sole
ω_2''	$^\circ$	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	BRISIGHELLA	115,00	44,13	0,005
Provincia di riferimento	RAVENNA	4,00	44,25	
2° Prov. per la radiazione solare			44,13	

DATI CLIMATICI ED AMBIENTALI													
DESCRIZIONE	U.M	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Temperatura media mensile Ta	[°C]	1,35	2,85	7,55	11,85	15,85	20,35	22,85	22,35	19,15	13,75	8,35	3,25
Irradiazione media mensile H	[MJ/m²]	4,40	7,10	12,60	17,70	20,90	23,90	25,30	21,00	15,50	9,50	5,10	3,60
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:	[-]	1
Potenza di picco complessiva $W_{pv,tot}$	[kW _p]	12,00

4.2 DATI DEI VETTORI ENERGETICI

Vettore energetico	f_p	k_{em}
	–	[kgCO ₂ /kWh]
Energia elettrica	2,1740	0,4332
Energia solare	0,0000	0,0000

4.3 DATI DEI SINGOLI GENERATORI PARZIALI

4.3.1 GENERATORE PARZIALE FV

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]	[°]	[°]
	250	Pannello policristallino	1,94	0,130	0,25	Moduli non ventilati	0,7	48	12,0	30,0	0,0

(*) $\beta > 0$ 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 FV

5.1.1 CALCOLO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DAL SINGOLO GENERATORE PARZIALE

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DAL SINGOLO GP														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
E _{el,pv,out,gp}	[kWh]	493,7	639,0	1.127,5	1.333,8	1.473,4	1.561,6	1.743,0	1.575,7	1.282,3	936,0	538,9	414,6	13.119

5.2 CALCOLO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'INTERO IMPIANTO FOTOVOLTAICO

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'IMPIANTO														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
E _{el,pv,out}	[kWh]	493,7	639,0	1.127,5	1.333,8	1.473,4	1.561,6	1.743,0	1.575,7	1.282,3	936,0	538,9	414,6	13.119

5.3 CALCOLO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'INTERO IMPIANTO FOTOVOLTAICO ED UTILIZZATA DALL'EDIFICIO

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'IMPIANTO ED UTILIZZATA DALL'EDIFICIO														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
$Q_{el,del,qa}$	[kWh]													
$Q_{el,exp} \equiv Q_{en,el,prod,an,i}$	[kWh]	493,7	639,0	1.127,5	625,6	37,9	33,5	32,8	33,2	34,3	648,5	538,9	414,6	4.659

5.4 FABBISOGNI DI ENERGIA PRIMARIA

5.4.1 FABBISOGNI DI ENERGIA PRIMARIA PER VETTORE ENERGETICO E TOTALE

5.4.1.1 VETTORE ENERGIA ELETTRICA

ENERGIA ELETTRICA														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
$Q_{p,en,el}$	[kWh]	1.073,4	1.389,2	2.451,2	2.899,7	3.203,1	3.395,0	3.789,3	3.425,5	2.787,6	2.034,8	1.171,5	901,2	28.522

5.4.1.2 VETTORE ENERGIA SOLARE

ENERGIA SOLARE														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q_{sol}	[kWh]	5.474,4	7.085,4	12.501,7	14.789,0	16.336,2	17.314,8	19.325,9	17.470,7	14.217,3	10.377,7	5.974,8	4.596,5	145.464
$Q_{p,en,sol}$	[kWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0

5.4.1.3 TOTALE, PER TUTTI I VETTORI

ENERGIA TOTALE														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q_p	[kWh]	1.073,4	1.389,2	2.451,2	2.899,7	3.203,1	3.395,0	3.789,3	3.425,5	2.787,6	2.034,8	1.171,5	901,2	28.522

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 CO₂

5.6.1 EMISSIONI DI CO₂ PER VETTORE ENERGETICO E TOTALE

5.6.1.1 VETTORE ENERGIA ELETTRICA

ENERGIA ELETTRICA														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
M _{net} CO _{2,en,el}	[kWh]	214	277	488	578	638	676	755	683	555	405	233	180	5.683

5.6.1.2 VETTORE ENERGIA SOLARE

ENERGIA SOLARE														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
M _{net} CO _{2,en,sol}	[kWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

5.6.1.3 TOTALE, PER TUTTI I VETTORI

ENERGIA TOTALE														
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
M _{net} CO ₂	[kWh]	-214	-277	-488	-578	-638	-676	-755	-683	-555	-405	-233	-180	-5.683

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]	493,7	639,0	1.127,5	1.333,8	1.473,4	1.561,6	1.743,0	1.575,7	1.282,3	936,0	538,9	414,6	13.119
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]	3.390,9	2.716,6	1.972,1	625,6	37,9	33,5	32,8	33,2	34,3	648,5	1.928,0	3.040,9	14.494
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico ed utilizzata dall'edificio [kWh]	493,7	639,0	1.127,5	625,6	37,9	33,5	32,8	33,2	34,3	648,5	538,9	414,6	4.659,5
Energia elettrica in eccesso rispetto ai fabbisogni [kWh]	0,0	0,0	0,0	708,3	1.435,5	1.528,1	1.710,2	1.542,5	1.247,9	287,5	0,0	0,0	8.459,9
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]	-213,9	-276,8	-488,4	-577,8	-638,3	-676,5	-755,1	-682,6	-555,5	-405,5	-233,4	-179,6	-5.683
Quota rinnovabili [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(*) 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: FV													
Q _{El,pv} [kWh]	493,7	639,0	1.127,5	1.333,8	1.473,4	1.561,6	1.743,0	1.575,7	1.282,3	936,0	538,9	414,6	13.119

Centrale					
Riscaldamento	$r_{el,PV}$ [-]	0,986	0,984	0,978	0,978
	Q_{el} [kWh]	3.342,47	2.673,88	1.928,21	583,39
	$Q_{el,used}$ [kWh]	486,69	628,97	1.102,42	583,39
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]	2.855,78	2.044,90	825,79	0,00
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]	0,00	0,00	0,00	663,39
	$Q_{el,rdel,an}$ [kWh]				

	Q _{el,exp,an} [kWh]				
	r _{el,PV} [-]	0,000	0,000	0,000	0,
	Q _{el} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
	Q _{el,used} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
	Q _{el,del,gross} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
	Q _{el,surplus} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
	Q _{el,rdel,an} [kWh]				
	Q _{el,exp,an} [kWh]				
Raffrescamento					
	r _{el,PV} [-]	0,014	0,016	0,022	0,
	Q _{el} [kWh]	48,41	42,74	43,91	39
Acqua calda sanitaria					

	$Q_{el,used}$ [kWh]	7,05	10,05	25,11	39,21
	$Q_{el,del,gross}$ [kWh]	41,36	32,69	18,81	0,00
	$Q_{el,surplus}$ [kWh]	0,00	0,00	0,00	4,00
	$Q_{el,rdei,an}$ [kWh]				
	$Q_{el,exp,an}$ [kWh]				
Ventilazione meccanica invernale	$r_{el,PV}$ [-]	0,000	0,000	0,000	0,000

		Q _{el} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
		Q _{el,used} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
		Q _{el,del,gross} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
		Q _{el,surplus} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
		Q _{el,rdel,an} [kWh]				
		Q _{el,exp,an} [kWh]				
Ventilazione meccanica estiva		r _{el,PV} [-]	0,000	0,000	0,000	0,
		Q _{el} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
		Q _{el,used} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
		Q _{el,del,gross} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0
		Q _{el,surplus} [kWh]	0,00	0,00	0,00	0

	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	$\Gamma_{el,pv}$	[-]
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	$Q_{el,used}$	[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]