

ESERCIZIO: DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO AUTONOMO**Esempio Casa in Valle di Muggio****DATI CONOSCIUTI :**

- Uso tutto l'anno, giornalmente
- Autonomia desiderata: 15 giorni
- Temperatura minima:
- Tensione di sistema preliminare:
- Fabbisogno energetico stabilito con il cliente :

$$g = 7$$

$$n = 15$$

$$\text{ca. } + 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U = 12 \text{ V}_{\text{DC}}$$

No utenza	Descrizione	Potenza [W]	Utilizzo [h/giorno]
1	sala	30	4.8
2	camera 1	10	1.3
3	camera 2	15	0.9
4	cucina	25	2.5
5	entrata	10	1
6	cantina	10	0.5
7	TV	25	3.9

Tot. 125

Putot = 125 W

DETERMINARE:

- i) La capacità dell' (degli) accumulatore(i) [Ah]
- ii) La potenza del generatore fotovoltaico, il numero di moduli, la loro inclinazione ed il loro orientamento

SOLUZIONE:

- 1) Innanzitutto determiniamo l'inclinazione e l'orientamento dei moduli, ed i parametri meteorologici riferiti ad un tale sistema.

- Orientamento: a sud (si suppone che l'orizzonte sia libero)
- Inclinazione: ° che, dalla tabella 2, per la nostra regione è il valore ottimale se l'impianto viene utilizzato tutto l'anno.

Energia disponibile : (usare la tabella 3)

- Giorni di bassa insolazione (soglia di debole insolazione = 2.7 kWh/m².giorno):
- Energia globale dell'irraggiamento per il mese immediatamente prima o dopo il periodo di bassa insolazione, sul piano dei moduli:
- Energia globale dell'irraggiamento per il periodo di bassa insolazione (valore medio giornaliero), sul piano dei moduli fotovoltaici :

$m = \dots\dots\dots$ giorni

$R_s = \dots\dots\dots$ [kWh/m ² .giorno]
--

$R_{sm} = \dots\dots\dots$ [kWh/m ² .giorno]

2) Calcoliamo in seguito l'energia elettrica consumata giornalmente dall'utente :

$$E_{utot} = \sum_{i=1}^{tot\ utenze} P\ utenza_i \cdot t_i = \dots\dots\dots$$

$$Eu\ tot = \dots\dots\dots [Wh/giorno]$$

3) Calcoliamo la capacità C_n dell' accumulatore:

$$C_n = (C_1 + C_2) k , \text{ dove :}$$

$$C_1 = \frac{E_{utot} \cdot n}{U \cdot 0,8} = \dots\dots\dots [Ah]$$

$$C_2 = \frac{E_{utot} \cdot m}{U \cdot 0,8} \left(1 - \frac{R_{sm}}{R_s} \right) = \dots\dots\dots [Ah]$$

$k = \dots\dots\dots$ (vedi tabella 1)

$$\Rightarrow C_n = \dots\dots\dots [Ah]$$

Quindi la capacità nominale dell'accumulatore, arrotondata a $\pm 0.1\%$, vale :

$$C_n = \dots\dots\dots [Ah]$$

Bisognerebbe quindi scegliere un accumulatore da 12 V e $\dots\dots\dots$ Ah. Purtroppo accumulatori di questo genere a prezzi ragionevoli non esistono.

Cambiamo dunque la tensione di sistema da 12VDC a 24 VDC. Per motivi pratici ed economici colleghiamo in serie 4 accumulatori da 6 Volt e da $1/2 C_n = \dots\dots\dots$ Ah ciascuno.

Verifichiamo che il contenuto energetico è identico:

$$4 \times 6V \times 1/2 C_n \text{ Ah} = \dots\dots\dots Wh = 1 \times 12V \times C_n \text{ Ah} = \dots\dots\dots Wh$$

Quindi la tensione di sistema è :

$$U = 24 V$$

e la capacità di ogni accumulatore vale:

$$C_n^I = 1/2 C_n = \dots\dots\dots [Ah]$$

4) Verifichiamo che i parametri di funzionamento siano corretti:

Calcoliamo la corrente di scarica massima, e verifichiamo che non sia troppo grande :

$$I_u = \frac{P_u\ tot}{U} = \dots\dots\dots A$$

Verifichiamo se vale la disequazione seguente:

$$C_n^I \stackrel{?}{\geq} 20 \cdot I_u$$

$\dots\dots > 20 \dots\dots \Rightarrow \dots\dots > \dots\dots \Rightarrow$ OK, gli accumulatori sono adatti.

5) Calcoliamo la potenza del generatore fotovoltaico :
$$P_s = \frac{E_{u\ tot} \cdot 1,25 \cdot g}{R_s \cdot 7} = \dots\dots\dots [W]$$

6) Calcoliamo il numero di moduli necessari :

a) Supponiamo di voler utilizzare il modulo Solarex MSX 60 (vedi tabella 4).

Allora la potenza massima realmente ottenibile P_{mr} è:

$$P_{mr} = 0.82 P_{max} = \dots\dots\dots[W]$$

Il numero di moduli necessari risulta da : $P_s/P_{mr} = \dots\dots\dots$

Arrotondando questo rapporto al numero intero più vicino, il numero N di moduli necessari sarebbe : $N^\circ = \dots\dots\dots$ moduli

Ora, visto che la tensione di sistema è di 24 V, occorrono stringhe, ognuna formata da 2 moduli in serie (il no° tot. di moduli dev'essere un multiplo di 2). Quindi occorrono in totale moduli. Constatiamo quindi che un modulo è necessario unicamente per motivi di circuito : la potenza che fornisce non è necessaria !!! Il cliente pagherebbe un modulo che fornisce una potenza di cui non ha bisogno. Si deve quindi cercare una soluzione migliore, con un altro tipo di modulo.

b) Supponiamo di utilizzare il modulo Kyocera PSA 361/48 (vedi tabella 4). Risulta :

$$P_{mr} = 0.82 P_{max} = \dots\dots\dots[W]$$

$$P_s/P_{mr} = \dots\dots\dots$$

Quindi il numero di moduli necessari è : $N = \dots\dots\dots$ moduli, che è un multiplo di 2 (quindi nessun modulo è sprecato).

7) Controlliamo se la corrente di carica si trova entro i limiti corretti :

Il generatore fotovoltaico fornisce la corrente I_c seguente (vedi tabella 4, modulo Kyocera PSA 361/48) :

$$I_c = \dots\dots I_n = \dots\dots\dots[A]$$

Tutti gli accumulatori sono in serie. Ognuno è percorso da I_c ed ha una capacità di C_n^I Ah . Sostituiamo quindi, nelle formule, C_n con C_n^I e verifichiamo se vale la disequazione seguente:

$$20 \leq \frac{C_n^I}{I_c} \leq 100 \quad \text{Risulta :}$$

$20 < \frac{C_n^I}{I_c} = \dots\dots\dots < 100 \quad \Rightarrow$ disequazione verificata, OK, il sistema è dimensionato correttamente

N.B : È possibile ottenere un sistema meno costoso usando il modulo Kyocera PSA 361/44 (v. tabella 4). Risulterebbe $P_s/P_{mr} = \dots\dots\dots$ quindi numero di moduli necessari $N = \dots\dots\dots$. Pure questo sistema sarebbe dimensionato correttamente poichè sarebbe verificata la disequazione relativa alla corrente di carica ; infatti

$$20 < \frac{C_n^I}{I_c} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots < 100$$

ALLEGATO, PER LA RISOLUZIONE DELL'ESERCIZIO 1

°C	k
25	1.00
10	1.11
0	1.18
-10	1.32
-20	1.56

Tabella 1: Fattore k in funzione della temperatura di esercizio (correzione capacità della batteria).

Periodo	Inclinazione
Febbraio-Marzo-Aprile Agosto-Settembre-Ottobre	45°
Maggio-Giugno-Luglio	25°
Novembre-Dicembre-Gennaio	65°
Tutto l'anno	45°

Tabella 2 : Periodi ed inclinazioni consigliate, per la nostra regione

Mese	0°	30°	45°	60°	90°
Gennaio	1.6	2.6	2.9	3.0	3.1
Febbraio	2.36	3.25	3.46	3.5	3.36
Marzo	3.56	4.52	4.58	4.45	3.62
Aprile	4.8	5.2	5.03	4.63	3.24
Maggio	5.55	5.61	5.23	4.61	2.87
Giugno	6.07	5.94	5.43	4.74	2.87
Luglio	6.42	6.42	5.94	5.19	3.2
Agosto	5.29	5.65	5.39	4.9	3.45
Settembre	3.93	4.67	4.67	4.47	3.56
Ottobre	2.77	3.87	4.13	4.13	3.35
Novembre	1.43	2.23	2.47	2.53	2.43
Dicembre	1.39	2.42	2.65	2.77	2.84

Tabella 3 : Radiazione globale mensile media per una superficie rivolta a sud, orizzontale, rispettivamente inclinata a 30, 45, 60, e 90 gradi. I valori sono espressi in kWh/m².giorno, e sono validi per la nostra regione.

Marca Modulo	Tipo modulo	Pmax a 25 °C	Un	In
Solarex	MSX 60	60 W	17.5 V	3.6 A
Kyocera	PSA 361/48	48 W	16.5 V	2.9 A
Kyocera	PSA 361/44	44 W	16.5 V	2.7 A

Tabella 4 : Tipi di modulo a disposizione per il nostro esercizio

Esercizio 1 : Dimensionamento di un impianto autonomo**Soluzione:**

_ uso tutto l'anno, giornalmente $\Rightarrow g = 7$ (7 giorni alla settimana)
 dalla tabella 2 \Rightarrow inclinazione **45°** circa, orientamento **sud** circa
 autonomia max. $\Rightarrow n = 15$ giorni

_ giorni con insolazione $< 2.7 \text{ kWh/m}^2$ al giorno (bassa insolazione)
 dalla tabella 3 $\Rightarrow m = 60$ giorni

_ insolazione globale media giornaliera per il mese immediatamente prima o dopo il periodo di bassa insolazione @ inclinazione scelta
 dalla tabella 3 $\Rightarrow R_s = 2.9 \text{ kWh/m}^2$ al giorno

_ insolazione globale media giornaliera per il periodo di bassa insolazione @ inclinazione scelta
 dalla tabella 3 $\Rightarrow R_{sm} = \frac{2.47+2.65}{2} = 2.56 \text{ kWh/m}^2$ al giorno

_ Energia elettrica utilizzata giornalmente

$$Eu_{totale} = 30 \cdot 4.8 + 10 \cdot 1.3 + \dots = 345.5 \text{ Wh/giorno}$$

_ Capacità dell'accumulatore

$$C_n = (C_1 + C_2) \cdot k \quad \begin{array}{l} C_1 : \text{capacità per garantire autonomia di } n \text{ giorni} \\ C_2 : \text{capacità per garantire a. di } n \text{ giorni per periodi di bassa insolazione} \end{array}$$

$$C_1 = \frac{Eu_{tot} \cdot n}{U \cdot 0.8} = \frac{345.5 \cdot 15}{12 \cdot 0.8} \cong 540 \text{ Ah} \quad \begin{array}{l} \text{dove } 12 \text{ V} = \text{tensione nominale impianto (24V ?, 48V ?) e} \\ 0.8 = \text{stato di carico minimo dell'accumulatore (80\%)} \end{array}$$

$$C_2 = \frac{Eu_{tot} \cdot m}{U \cdot 0.8} \left(1 - \frac{R_{sm}}{R_s}\right) = \frac{345.5 \cdot 60}{12 \cdot 0.8} \left(1 - \frac{2.56}{2.9}\right) \cong 253 \text{ Ah}$$

$$C_n = (C_1 + C_2) k = (540 + 253) 1.11 = 880 \text{ Ah}$$

dalla tabella 1 dove $\Rightarrow k = 1.11$ (temperatura minima ambiente)

\Rightarrow Quindi occorrerà un accumulatore da 12 V, 880 Ah !

Difficile da trovare con 880 Ah , per esempio utilizziamo allora 4 accumulatori in serie da 6 V

ocio :

$$\Rightarrow U = 24 \text{ V}$$

$$\Rightarrow C_n' = C_n / 2 \quad (\text{se raddoppiamo la tensione nominale d'impianto si dimezza la capacità})$$

Contenuto energetico identico? $4 \cdot 06 \text{ V} \cdot 440 \text{ Ah} = 10'560 \text{ Wh}$
 $1 \cdot 12 \text{ V} \cdot 880 \text{ Ah} = 10'560 \text{ Wh}$ } A parità di carico e
 pari condizioni di utilizzo

⇒ **Quindi 4 accumulatori in serie da 6 V, 440 Ah C20 e Unom sistema = 24 V**

Verifiche : corrente max. utilizzatori ?

$$I_u = \frac{Pu_{tot}}{U_n} = \frac{125 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 5.21 \text{ A}$$

con accu C20 : $C_n > I_u \cdot 20(\text{h})$:

$$440 > 5.21 \cdot 20 = 104.2 \quad \text{Ok}$$

Nota :

autonomia max. con tutto il carico acceso 24/24h con $I_{carica} = 0 \text{ A}$

(modulo PV o regolatore di carica rotti oppure tempo pessimo per svariati giorni) :

$$4 \cdot 6 \text{ V} \cdot 440 \text{ Ah} = 10'560 \text{ Wh}$$

$$10'560 / 24 \text{ V} = 440 \text{ Ah}$$

$$440 \text{ Ah} / 5.2 \text{ A} = 85 \text{ h}$$

⇒ quindi minimo 3.5 giorni

$$\text{ma } C_n''_{@C85} = C_n' \cdot 1.4 = 615 \text{ Ah}$$

$$615 / 5.2 \text{ Ah} = 118 \text{ h}$$

⇒ max. 5 giorni

_ Con lo stesso impianto ma utilizzato solo il weekend, quindi autonomia di, poniamo, 3 giorni (1 giorno riserva) :

$$C_1 = \frac{345.5 \cdot 3}{12 \cdot 0.8} = 108 \text{ Ah}$$

$$C_2 = \frac{345.5 \cdot 60}{12 \cdot 0.8} \left(\frac{3}{7} \right) \left(1 - \frac{2.56}{2.9} \right) = 108 \text{ Ah}$$

$$C_n = (C_1 + C_2) \cdot k = 239 \text{ Ah}$$

⇒ quindi accu 12 V, 240 Ah C20 , per esempio

Verifica :

$$I_u = \frac{Pu_{tot}}{U_n} = \frac{125 \text{ W}}{12 \text{ V}} \cong 11 \text{ A}$$

con accu C20 : $C_n > I_u \cdot 20 = 220$

$240 > 220$ con $U_n = 12 \text{ V}$, **Ok, ma al limite !!**

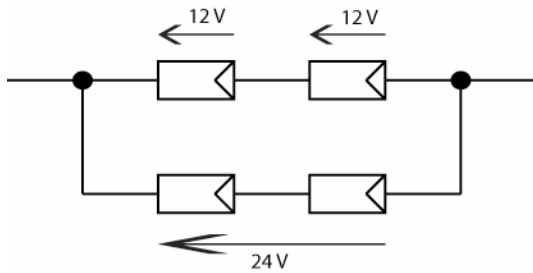
_ potenza nominale generatore fotovoltaico (Pn modulo PV)

$$P_s = \frac{E_u \cdot 1.25 \cdot g}{R_s \cdot 7} = \frac{345.5 \cdot 1.25 \cdot 7}{2.9 \cdot 7} \cong 150W$$

_ potenza corretta (@ STC)

$$P_s' = \frac{P_s}{0.82} = \frac{130}{0.82} = 183W$$

Prendendo per esempio il tipo di modulo SOLAREX MSX 60 occorrono al minimo 3 moduli. Ma siccome la tensione di circuito è di 24 V ne servono almeno 4. Il quarto modulo serve solo per questioni di circuito elettrico ma la sua energia fornita sarebbe superflua.



Altra soluzione :

prendiamo per esempio Kyocera 361/48 (48 W)

Numero moduli : $183 W / 48 W = 3.81 \Rightarrow \mathbf{Ok}$ per 4 moduli Kyocera 361/48

_ verifica della corrente di carica :

per accumulatori al piombo acido C20 vale la relazione :

(possibilmente consultare dati tecnici specifici dell'accumulatore)

$$20 < \frac{C_n}{I_c} = \frac{440}{2.9A \cdot 2} \cong 76 < 100 \quad \mathbf{Ok}$$

Se i dati tecnici specifici lo permettono (per es. per accu Pb gel (sealed battery)) si può usare anche :

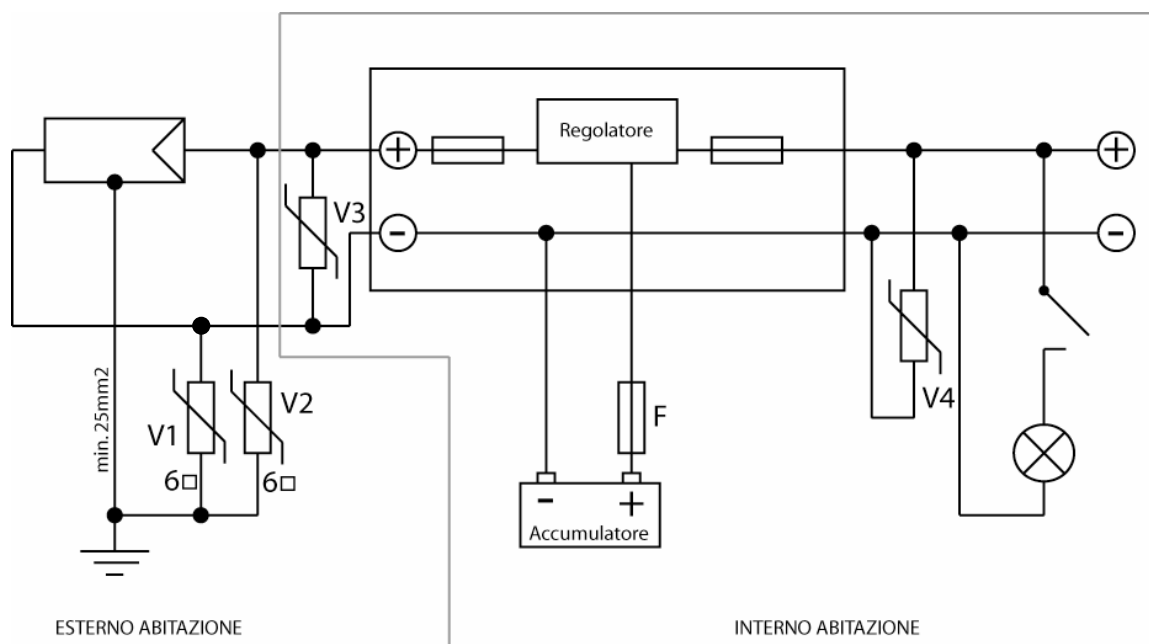
$$10 < \frac{C_n}{I_c} < 100$$

Nota:

Se l'utilizzo dell'impianto è continuo (7/7g), aggiungere un 10 – 20% di Watt in più (sulla potenza del modulo PV), vale a dire maggiore corrente di carica, per supplire eventuali giorni di insolazione molto bassa e/o utilizzo energetico maggiore di quanto ipotizzato.

Schema di principio :

_ con protezione alle sovratensioni (scariche elettrostatiche, fulmini) **con** “messa a terra” del modulo PV (e supporto modulo).



Un = 12 VDC	V1 = V2	B40K75
	V3 = V4	S20K17
Un = 24 VDC	V1 = V2	B40K75
	V3 = V4	S20K17