

7. Dimensionamento di massima degli impianti fotovoltaici

Il dimensionamento di un impianto fotovoltaico può essere eseguito a diversi livelli di dettaglio con il limite dato non tanto dal dettaglio con cui sono descritti i diversi sottosistemi che compongono l'impianto ma quanto dall'accuratezza con cui sono noti i diagrammi d'insolazione e di carico. Ciò è ancor più vero per impianti fv destinati ai PVS, per es. la Somalia, i quali verosimilmente dovrebbero essere i primi a sviluppare intensamente il fotovoltaico, pur non avendo una buona rete di rilevamento dei dati climatici.

Esistono varie formule che diversi autori hanno proposto per il dimensionamento di massima degli impianti fv. Tali formule, anche se a prima vista possono sembrare diverse, in pratica si basano sullo stesso principio, cioè quello del bilancio energetico tra i diversi componenti dell'impianto. D'altronde, bisogna notare che la differenza dei risultati ottenuti con di tali formule, è semplicemente dovuta alle ipotesi di partenza, diverse per ogni metodo. Ipotesi che riguardano parametri come: l'autonomia richiesta dalle batterie, il rapporto pannelli - batterie migliore ecc..

In questo capitolo, i dimensionamenti saranno eseguiti in base al principio del bilancio energetico per ogni impianto. A secondo del caso, utilizzeremo la formula, tra quelle proposte, che meglio si adatta alla situazione. Per ogni impianto, nella fase dimensionamento, saranno specificati i parametri dei componenti come il rendimento, la potenza ecc..

La parti dell'impianto che vengono dimensionate sono : il campo fotovoltaico e il sistema di accumulo. Essi rappresentano le parti principali dall'impianto che una volta scelte determinano automaticamente le dimensioni del resto dei componenti dell'impianto. Quindi il metodo proposto in questo capitolo ha lo scopo principale di determinare le dimensioni degli impianti attraverso il campo fotovoltaico e, se previsto, la capacità del sistema di accumulo necessari.

Il metodo di calcolo che si esporrà consente di progettare un sistema contenente una batteria di accumulatori partendo da un dato comunemente noto nella maggior parte dei Paesi, cioè dalla radiazione globale giornaliera. Infatti, è in base a questo dato che vengono costruite le mappe isoradiative, le quali spesso costituiscono l'unica sorgente a disposizione per una prima valutazione della radiazione incidente.

Il procedimento di calcolo consiste nel definire le caratteristiche dei vari componenti dell'impianto; definire il modo con cui essi sono connessi nell'impianto, in modo da mettere in evidenza il flusso dell'energia da un

sottosistema all'altro. In fine, si scrivono le equazioni del bilancio energetico fra i vari componenti.

La scelta dell'angolo di inclinazione S (l'angolo formato dal pannello con l'orizzontale) dei pannelli fv rappresenta un aspetto importante nel dimensionamento di un impianto fv. Teoricamente si può dimostrare che è possibile calcolare l'inclinazione che consente di raccogliere la massima energia nell'anno e che l'energia raccolta è massima quando l'inclinazione è uguale alla latitudine della località, cioè si raccoglie la massima energia nell'anno su di un pannello che sia inclinato verso l'Equatore di un angolo pari alla latitudine della località. Questo risultato è rigoroso per una superficie posta fuori della atmosfera. Al contrario, esso è solo approssimato per una superficie posta al suolo. Per i sistemi a pannelli piani non è conveniente prevedere sistemi di aggiustamento stagionale dell'inclinazione in quanto il maggior onere conseguente all'impiego di strutture con inclinazione variabile non compensa l'aumento di energia. L'unica eccezione è per i sistemi di taglia assai modesta i quali vengono spesso commercializzati insieme a supporti la cui inclinazione è variabile in modo da rendere il sistema utilizzabile a diverse latitudini. In tal caso l'aggiustamento stagionale, da eseguire manualmente, non comporta costi aggiuntivi.

Per i sistemi montati su supporti fissi, sorge il problema di determinare l'inclinazione più opportuna da assegnare ai pannelli. Questa scelta dipende in larga misura dal problema specifico in quanto al variare della inclinazione dei pannelli varia non solo l'energia totale raccolta ma anche la sua distribuzione nell'anno. In altre parole, è possibile modificare in una certa misura la forma del diagramma annuale dell'energia raccolta, agendo sull'inclinazione dei pannelli.

Poiché il problema della progettazione di un impianto fv è riconducibile ad un problema di adattamento fra disponibilità di energia e richiesta dell'utenza, ne segue che l'inclinazione dei pannelli può essere scelta o con l'obiettivo di rendere massima l'energia raccolta complessivamente nell'anno, o con l'obiettivo di rendere massima l'energia raccolta in un particolare periodo dell'anno in cui è concentrata una punta del carico. Questa considerazione è, in certa misura, applicabile anche ad impianti di potenza destinati a fornire energia alla rete, dato il diverso valore che si attribuisce all'energia prodotta in diversi periodi dell'anno.

Per i diversi periodi dell'anno esiste un diverso valore dell'angolo ottimale, il quale cambia secondo che l'impianto sia costituito da un pannello singolo o da file multiple di pannelli. L'angolo che rende massima l'energia raccolta da file multiple di pannelli è sempre minore di quello corrispondente al pannello singolo. Questo risultato è generale e dipende dalla minore quantità di radiazione diffusa raccolta dalla file di

pannelli a parità di inclinazione. Per la stessa ragione, anche l'energia raccolta dalla file di pannelli è inferiore a quella del pannello singolo, qualunque sia il periodo dell'anno in esame.

A partire da una certa taglia, la soluzione a pannello singolo è praticabile solo se l'inclinazione è assai ridotta. D'altra parte la configurazione a file multiple raccoglie in genere meno energia ed è più onerosa sia in termini di strutture sia in termini di strutture che di area occupata dall'impianto, rispetto alla soluzione

In genere si è dimostrato che se l'angolo di inclinazione dei pannelli β sono all'interno dell'intervallo $\text{lat}-15^\circ$ e $\text{lat}+15^\circ$ la differenza tra l'energia raccolta dall'impianto e quella massima possibile è trascurabile e quindi la scelta dell'angolo di inclinazione viene fatta all'interno di questo intervallo.

Nel nostro caso, considerando che il sito ha una latitudine molto vicina all'Equatore, 2.05° , in teoria i pannelli dovrebbero essere disposti orizzontalmente. In pratica però, l'inclinazione adottata è di 15° , sufficiente ad evitare l'accumulo di polveri sui pannelli.

La scelta dell'angolo di azimuth (l'angolo fra la normale al pannello e il piano meridiano) normalmente non rappresenta un problema, esso viene quasi sempre posto uguale a zero. Se al sistema di pannelli fotovoltaici si assegna un angolo di azimuth diverso da zero si altera la modalità con cui l'energia viene raccolta. La ragione per assegnare al sistema di pannelli un angolo di azimuth diverso da zero sono legate a situazioni non facili da analizzare in dettaglio. Ad esempio, vale la pena orientare i pannelli verso Est in località caratterizzate da foschie pomeridiane, oppure dove esistono montagne o altri ostacoli naturali che limitano l'orizzonte dal lato occidentale producendo un tramonto prematuro rispetto a quello calcolato in base ai dati astronomici.

In linea di principio, la scelta di un azimuth diverso da zero potrebbe essere motivata anche da un particolare andamento orario della domanda di energia elettrica da parte dell'utenza. Tuttavia un sistema fv correttamente dimensionato dispone in genere di una unità di accumulo corrispondente ad una autonomia di almeno alcuni giorni; uno spostamento di alcune ore della curva oraria di disponibilità dell'energia elettrica prodotta comporta, per conseguenza, effetti trascurabili sull'efficienza totale del sistema.

7.1 Dimensionamento dell'impianto di pompaggio

Come già riportato nei capitoli precedenti, il sistema di pompaggio è composto da due pompe sommerse, un serbatoio ed un sistema di tubazioni che collega i vari elementi. La configurazione elettrica scelta prevede che il campo fotovoltaico alimenti le pompe

attraverso due inverter (uno per ogni pompa). Il sistema di alimentazione non contiene batterie di accumulo, eccetto quella di spunto. Tale funzione viene svolta dal serbatoio, dimensionato in modo da garantire all'impianto due giorni di autonomia.

In pratica, il dimensionamento dell'impianto fv, in questo caso, si riduce ad un semplice calcolo della dimensione del campo fotovoltaico capace di generare l'energia richiesta dall'impianto di pompaggio. La scelta degli inverter e dei cavi di collegamento tra i vari elementi elettrici dell'impianto bisogna determinarla in base alle potenze delle pompe ed alle correnti in gioco.

Ipotizzando che la durata media di funzionamento delle due pompe, funzionando contemporaneamente, è di sei ore, il fabbisogno di energia dell'impianto di pompaggio è dato da (caratteristiche delle pompe Caprari scelte):

Pompa sul pozzo trivellato (A) $E_a = 1,1 \text{ Kw} \times 6 \text{ ore} = 6,6 \text{ KWh}$

Pompa sul pozzo scavato a mano (B) $E_b = 0,37 \text{ Kw} \times 6 \text{ ore} = 2,22 \text{ Kwh}$

Quindi complessivamente si ha

$$E_p = E_a + E_b = 8,82 \text{ Kwh}$$

L'energia disponibile è rappresentata dalle radiazioni solari, che per la Somalia hanno un valore giornaliero medio che si aggira intorno alle 6.7 Kwh/d. Un valore abbastanza elevato in confronto ad altre località del globo. Purtroppo, di tale energia i pannelli fotovoltaici ne riescono a convertire mediamente solo il 10%, tenendo conto quindi del rendimento dell'inverter, abbastanza elevato 90%, e utilizzando un pannello con un'area utile di 0.4 m², si ha:

$$N_p = \frac{R}{I_g h_p h_i A_p} = \frac{8820}{6700 \times 0,1 \times 0,9 \times 0,4} = 36,57$$

dove N_p = numero di pannelli

R = L'energia media richiesta giornalmente dal carico
[Wh/d]

I_s = L'insolazione media giornaliera [Wh/m²]

η_p = rendimento medio dei pannelli

η_i = rendimento medio dell'inverter

A_p = area utile del pannello [m²]

Avendo preso come riferimento un pannello con potenza di picco di 53 Watt, la potenza totale del campo fotovoltaico è di 1938 Watt (53 Watt x 36,57). Quindi il campo sarà composto, arrotonda in eccesso, da 48 pannelli modello 40 SL/01 della Pragma.

Un'alternativa per dimensionare un impianto di pompaggio fotovoltaico ci viene offerta dai diagrammi realizzati dalla Grundfos, una ditta specializzata nel campo dei PVP. Tali diagrammi, realizzati sperimentalmente in laboratorio, forniscono le prestazioni delle pompe Grundfos nelle varie situazioni (di funzionamento e climatiche). Una volta nota portata volumetrica e prevalenza richiesta, è possibile scegliere la pompa adatta al compito. Inoltre è anche possibile risalire alla potenza di picco del campo fv necessario.

Consultando il diagramma 6.1, si vede che: per il pozzo scavato a mano la pompa modello SP 8A - 5 possa andare bene, dove invece per il pozzo trivellato la pompa modello SP 3A - 10 risulta la più adatta. Evidente, da come si può notare dai diagrammi, le prestazioni delle pompe riportate si riferiscono a condizioni leggermente diverse da quelle del nostro caso (es. 11 ore di funzionamento, temperatura ambiente media di 30 °C).

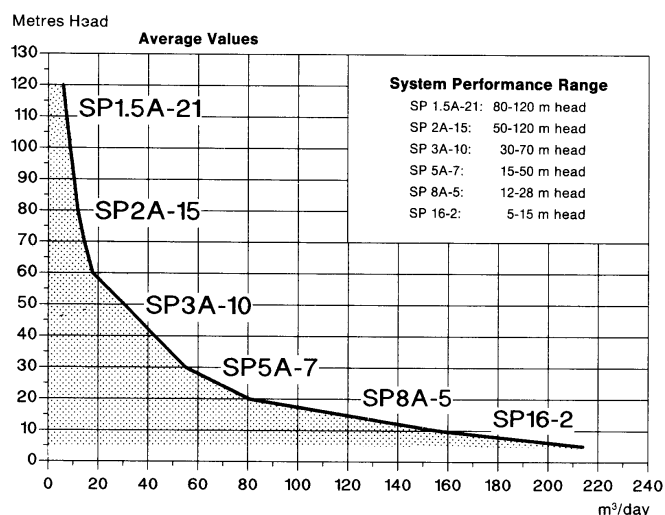


Diagramma 7-1

Per poter valutare i parametri di ogni pompa dobbiamo fare riferimento ai loro diagrammi specifici e quindi abbiamo:

- Pompa sul pozzo scavato a mano (modello SP 8A-5): i parametri richiesti sono una portata di 3 mc/h ad una prevalenza di 20 metri. Avendo supposto che le pompe ipoteticamente funzioneranno per almeno 6 ore, il volume complessivo che la pompa in questione pomperà è da 18 mc/giorno. Partendo dall'asse dei fabbisogni d'acqua con tale volume ed incrociando sia la curva con prevalenza 23 m e la retta in basso con 6,7 Kwh/m², troviamo che la potenza di picco del campo fv corrisponde a 900 Wp.

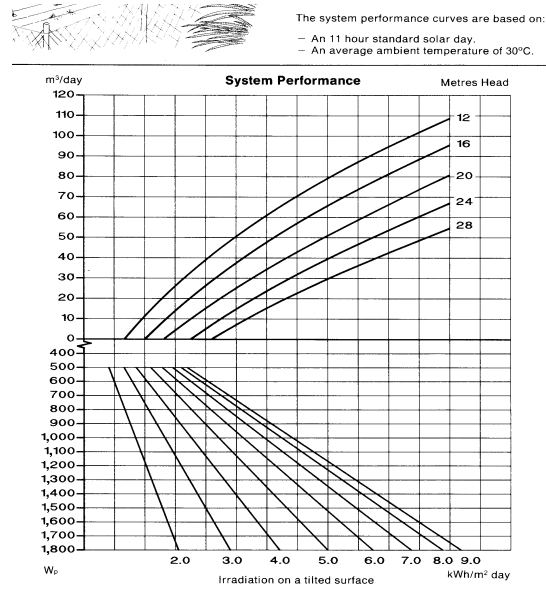


Diagramma 7-2

Per verificare il valore istantaneo non superi la portata emungibile dal pozzo si usa il diagramma dei valori istantanei. Per la pompa SP 5A-7 troviamo che utilizzando il campo fv appena scelto con una potenza effettiva di 720 Wdc (0.8x900W) la portata massima è di 3,5 mc/h, valore inferiore a quello emungibile dal pozzo scavato a mano.

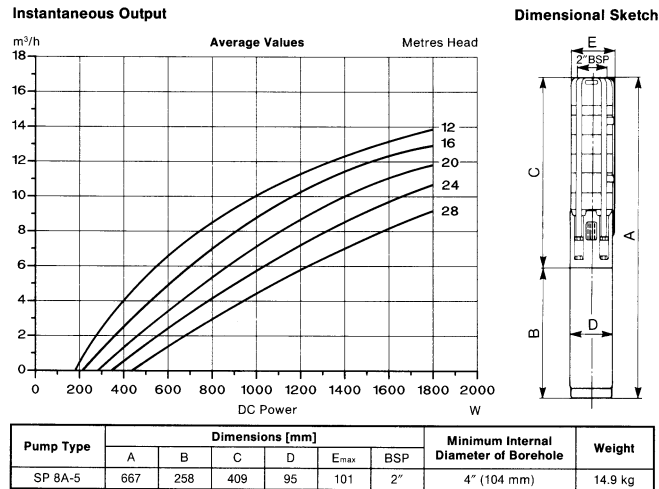


Diagramma 7-3

- Pompa sul pozzo trivellato (modello 3A-10) : La quantità di acqua da estrarre da questo pozzo è di 4,34 mc/h ad una prevalenza di 55.18 metri. Il volume complessivo che questa pompa deve erogare è 26 mc/giorno (6hx4,34mc). Consultando il diagramma 6-3 si vede che la potenza del campo si aggira sulle 1800 Wp.

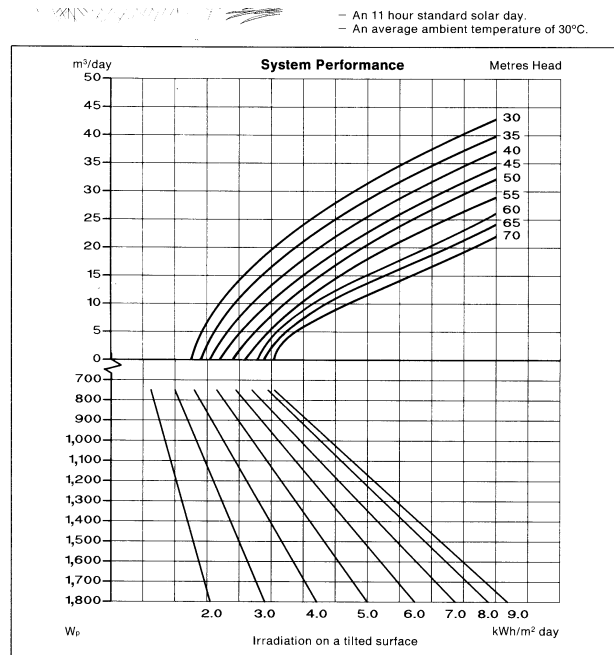


Diagramma 7-4

In base alle caratteristiche del pozzo trivellato, si può notare che non esiste il pericolo di superare la portata massima emungibile dal pozzo. Consultando il diagramma del comportamento istantaneo della pompa scelta, si vede che la portata istantanea non supera i 7 mc/h, dove invece quella emungibile dal pozzo è di 100 m³/h.

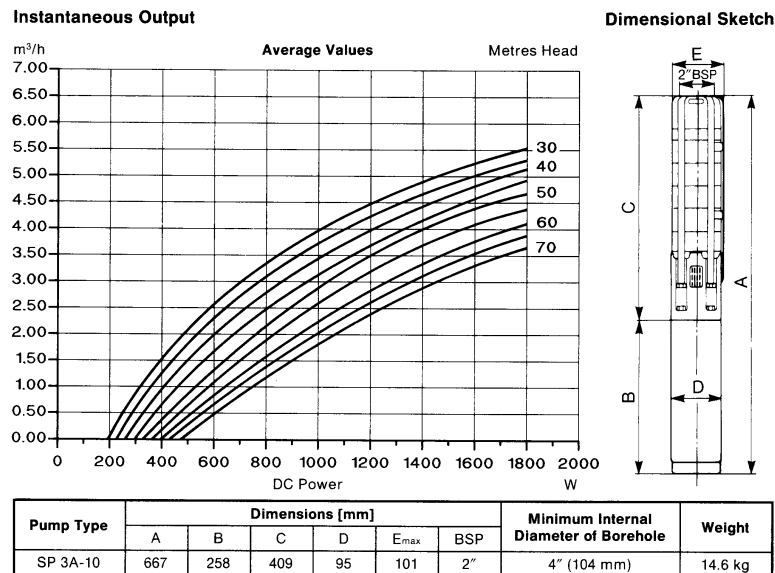


Diagramma 7-5

In definitiva, abbiamo che la potenza complessiva del campo fotovoltaico richiesta è 2700 W_p, valore molto superiore a quello precedente calcolato. In effetti tale risultato, come riportato nei diagrammi, si riferisce ad un funzionamento delle pompe di 11 ore giornaliere dove

invece tale durata nel nostro caso è di sole 6 ore. Quindi la potenza complessiva del campo viene ridotta del 46%, avendo così il risultato di 1242 Wp.

Ogni pompa viene alimentata attraverso un inverter con le seguenti caratteristiche :

Tabella 7.1 - Caratteristiche dell'inverter modello SA 1500 della Solartronic

Input (DC)	Nominal	Maximum	Minimum
Load voltage	120 V	140 V	100 V
No-load voltage	155 V	175 V	115 V
Load current	12,5 A	14,0 A	---
Power	1500 W	1960 W	---
Battery operation	120 V	140 V	100 V
Output (AC)	Nominal	Maximum	Minimum
Current	--	14,0 A	--
Frequency	--	63 Hz	7 Hz
Efficiency	0.96	0,97	0.95
Battery operation	60 Hz	---	--

Un altro aspetto molto importante dell'impianto di pompaggio è quello riguardante il suo controllo automatico. La realizzazione di un sistema di controllo capace di gestire autonomamente tutte le situazioni che l'impianto incontra durante l'anno, rappresenta un elemento fondamentale per l'efficienza globale del sistema di pompaggio. Basti pensare al controllo del livello del serbatoio, che quando raggiunge il massimo disattiva le due pompe dove invece nelle ore diurne della giornata, se il livello del serbatoio va al di sotto di un certo livello, le pompe vengono riattivate. In sostanza, l'impianto deve avere un algoritmo di controllo che ottimizza lo sfruttamento dell'energia solare da una parte e dall'altra soddisfare le esigenze degli abitanti del villaggio.

Un buon provvedimento per migliorare le caratteristiche dell'impianto in una fase di avviamento è quello di aggiungere altri condensatori al condensatore di spunto già previsto per le pompe. L'aggiunta di condensatori in parallelo permette all'impianto fv di poter erogare un'elevata corrente che si rende necessaria in fase di avviamento nei motori asincroni a cui le pompe sono accoppiate.

7.2 Dimensionamento dell'impianto frigo - illuminazione

I sistemi di refrigerazione per la conservazione dei vaccini devono rispettare determinati requisiti, tra il più importante è che la temperatura interna si mantenga all'interno dell'intervallo -3 °C a 8 °C. Il

dimensionamento deve essere fatto in modo da garantire che tale condizione sia rispettata.

Come abbiamo già accennato nei capitoli precedenti, l'utenza in questo caso è rappresentata da un frigorifero in continua che assorbe mediamente ogni giorno 250 Wh ad una tensione nominale di 12 v e da due lampade da 20 Watt che si ipoteticamente assorbono 240 Wh (6 h x 40 W) . È stato previsto, come riportato nella configurazione dell'impianto, un sistema di accumulo elettrico a batterie che dovrà garantire energia nei periodi di maltempo prolungati. I tre componenti dell'impianto, pannelli, batterie e frigo - illuminazione, sono collegati ad un unico sistema di controllo che in base ad una logica di gestione minimizza i disservizi dell'impianto.

Nel dimensionamento di massima ipotizziamo che i rendimenti medi del pannello della batteria siano del 10% e del 70% rispettivamente. Utilizzando un pannello con un'area utile di 0.4 m², abbiamo che il numero di pannelli necessari per alimentare il sistema frigo-illuminazione è dato da:-

$$N_p = \frac{R}{I_s \eta_p \eta_b A_p} = \frac{250 + 240}{6700 \times 0.1 \times 0.7 \times 0.4} = 2.61$$

dove N_p = numero di pannelli

R = L'energia media richiesta giornalmente dal carico

[Wh/d]

I_s = L'insolazione media giornaliera [Wh/m²]

η_p = rendimento medio dei pannelli

η_b = rendimento medio delle batterie

A_p = area utile del pannello [m²]

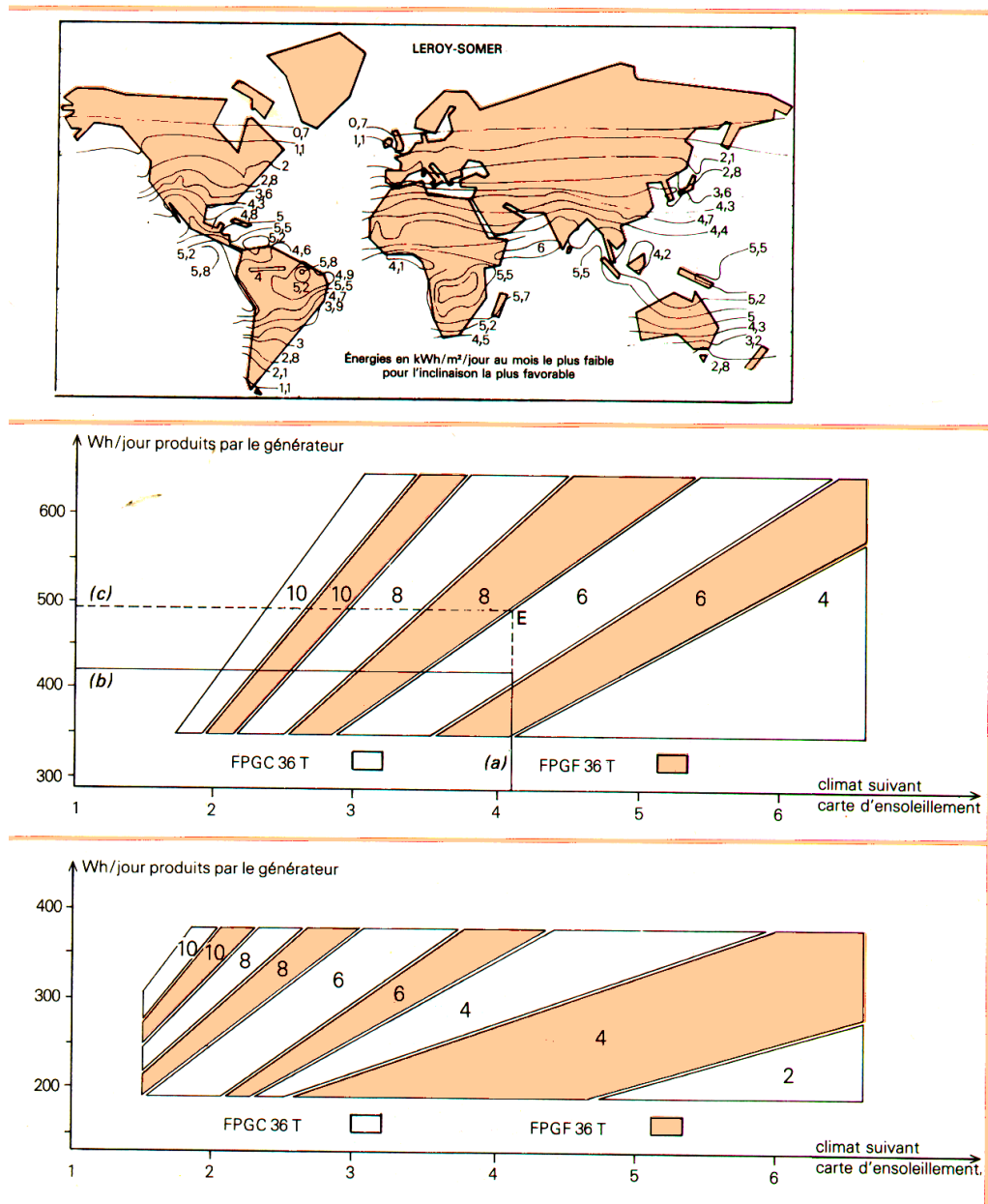
Avendo preso come riferimento un pannello con potenza di picco di 53 Watt, la potenza totale del campo fotovoltaico è di 138.33 Watt (53 Watt x 2,61). Quindi il campo sarà composto, arrotonda in eccesso, da quattro pannelli modello 40 SL/01 della Pragma collegati in parallelo.

Principali caratteristiche (valori tipici)	
Potenza di picco	40 W
Tensione alla potenza di picco	17,8 V
Tensione di circuito aperto	23,2 V
Corrente di corto circuito	2,3 A
Tensione nominale	14 V
NOCT	40 °C

Tabella 7.2

Tale risultato viene confermato dai diagrammi di scelta dei pannelli di Leroy-Somer (vedi figura N°). Sul diagramma, entrando sull'asse X con il valore dell'energia richiesta giornalmente dal frigorifero (490 Wh) e sull'asse Y con il valore dell'insolazione media giornaliera della Somalia (6700 Wh/m²) abbiamo che il punto di incrocio avviene in corrispondenza di 144 Watt di picco (4x36).

Diagramma di Leroy-Somer



È da notare che la tensione del pannello corrisponde alla massima potenza è di poco superiore a quella richiesta dall'utente, comunque sia essa subirà delle cadute nel tratto tra il pannello e l'utente tali da rendere irrilevante l'effetto.

Per quanto riguarda il dimensionamento delle batterie di accumulo il problema è abbastanza complesso. In genere, nel caso di utenze particolarmente importanti come un frigorifero per i medicinali che quindi si preferisce abbiano un'alta affidabilità, le batterie di accumulo vengono dimensionate per un periodo di autonomia di 5 giorni in cui si ipotizza possa durare il maltempo.

In realtà però, il fenomeno non è così facilmente schematizzabile. Esistono molte situazioni impreviste, basti pensare alla situazione in cui

dopo una notte di funzionamento il sistema di accumulo dovesse affrontare un lungo periodo di maltempo (5 giorni), senza avere la possibilità di ricaricarsi.

Comunque è chiaro che un paese come la Somalia la persistenza del maltempo non supera i due giorni, quindi le batterie di accumulo sono sovra dimensionate rispetto al clima della località.

Per quantificare l'effettiva energia che devono erogare le batterie, nel caso di maltempo prolungato, bisogna stimare approssimativamente il numero di ore in cui il frigorifero e quindi il suo moto - compressore è in funzione, che è diverso dal numero totale di ore per cui dura il maltempo (5 x 24 ore) .

Come in tutti frigoriferi, il sistema di controllo della temperatura interna è affidato ad un termostato che controlla l'accensione e lo spegnimento del moto compressore. Ogni volta che la temperatura interna del frigo supera il limite superiore (8 °C) provoca l'accensione del motocompressore che rimane in funzione fino a quando la temperatura interna non ha raggiunto il limite inferiore dell'intervallo prescritto (0 °C). In base ai dati del frigorifero scelto, ma anche per altri simili, il rapporto tra la durata di funzionamento del motocompressore e la durata totale del ciclo funzionamento-riposo vale 0.2, ciò vuol dire che in regime normale, non transitorio, il motocompressore funziona solo il 20 % del periodo totale. Quindi considerando i 5 giorni di autonomia, il motocompressore funzia effettivamente per sole 25 ore. Supponendo che il frigorifero funzioni al 80% della sua potenza nominale (60X0.8), si ha che l'energia totale che la batteria deve garantire al frigorifero nel periodo dei 5 giorni di maltempo è di 1250 Wh (25hx50W) che corrisponde alla somma dell'energia richiesta dal frigo per l'intervallo di tempo (5x250Wh). Analogamente il sistema illuminazione necessita di 1200 Wh (240Whx4) di energia per rimanere in funzione.

La dimensione della batterie di accumulo è data da:

$$C_{Ah} = \frac{R \times A}{V_n K_f \eta_b} = \frac{490 \times 5}{12 \times 1,5 \times 0,7} = 194$$

dove C_{Ah} = La capacità delle batterie [Ah]

R = l'energia richiesta dall'utente giornalmente [Wh]

A = i giorni di autonomia

η_b = il rendimento delle batterie

V_n = la tensione nominale delle batterie

K_f = il fattore di correzione

Il fattore di correzione dipende dal numero di giorni di autonomia considerati.

Tabella 7.3

A	2	3	4	5	6	7
K _f	1,37	1,43	1,49	1,5	1,51	1,52

L'unità di controllo viene impostata in modo che possa garantire le seguenti condizioni :

- In fase di carica, quando la batterie raggiunge la tensione di 14.1 volt, il sistema di controllo deve sconnettere i pannelli fotovoltaici dal sistema, in modo da evitare il sovra carico, quindi il carico sarà alimentato solo dalle batterie.
- In fase di scarica, quando la tensione della batteria raggiunge i 10.5 volt, il sistema di controllo deve sconnettere il carico dal resto del sistema, evitando così di scaricare eccessivamente la batteria. Il relè dell'illuminazione invece interviene quando il SOC della batteria ha raggiunto il 60% del SOCmax.
- Nelle condizioni di normale funzionamento, carico o scarica, il sistema di controllo deve essere in grado di regolare tensione e corrente in modo da garantire alla batteria le modalità prescritte di carica o scarica.

Il sistema di accumulo sarà composta da due batterie da 100 Ah messe in parallelo, ognuna composta da 6 elementi in serie (14,1 volt/2.4 volt) essendo 2.4 volt la tensione massima raggiunta da una cella al Pionbo - acido. Dove invece la tensione di fine carica è di 1.75 volt (10.5volt/6 volt).

Consultando le tabelle di scarica di diverse batterie con tensione finale di 1.75 volt, si vede che il modello 82 000 della Varta a 12 V con 100 Ah risulti il più adatto a svolgere il ruolo richiesto.

Caratteristiche tecniche della batteria	
Tensione nominale	12 volt
Capacità nominale	100 Ah
Corrente nominale	1 Amp (100 ore)
Densità dell'elettrolito	1.26 0.01 Kg/l a 20 °C 1.23 0.01 Kg/l amb. Trop.
Tensione massima di carica	14,1 volt a 20 °C
Tensione minima di scarica	10,5 volt
Temperatura di funzionamento consigliata	5 - 30 °C

Un importante fattore delle prestazioni di un sistema di refrigerazione è rappresentato dalla disponibilità del sistema “availability”, essa in sostanza rappresenta la percentuale di tempo in cui il frigo funziona all'interno del range prescritto. Quando la disponibilità ha un valore minore del 100% si ha la perdita di parte dei vaccini che si traduce in costi sia quantificabili che non. La porzione dei costi quantificabili è rappresentata dal costo dei vaccini scartati perché non propriamente conservati. Dai dati della WHO è stato determinato che mediamente un litro di vaccino costa 19 \$, un costo importante nella valutazioni economiche dei sistemi di conservazione. D'altro canto, i costi non quantificabili sono rappresentati dal potenziale costo umano dovuto alla incapacità di conservare adeguatamente i vaccini.

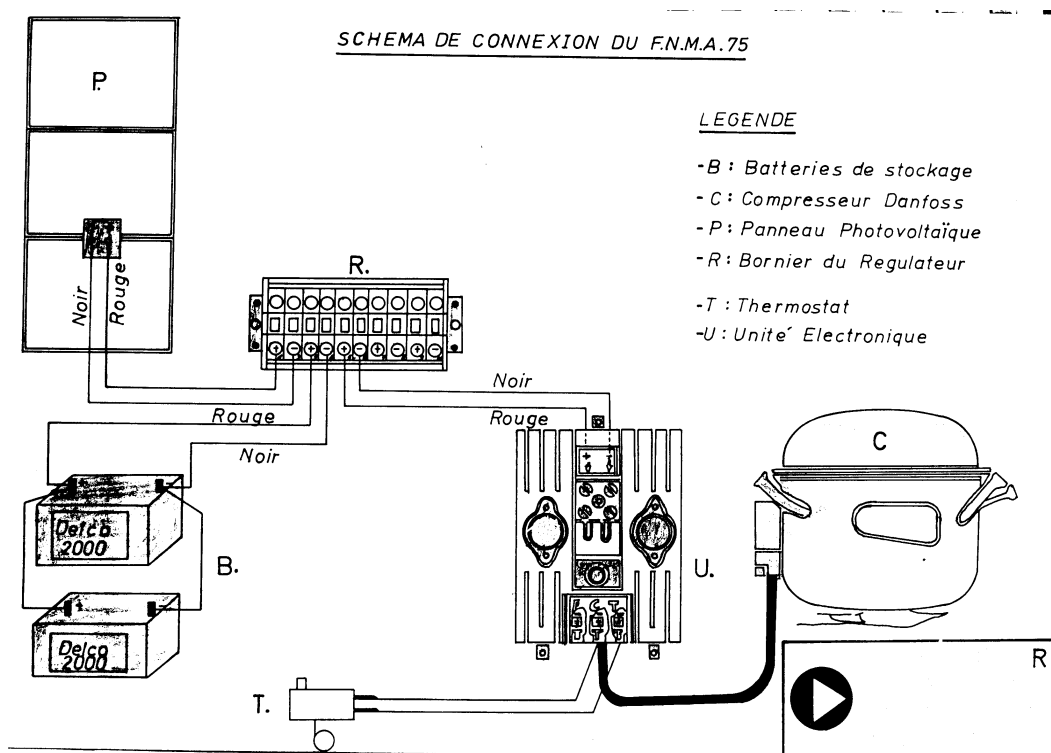


Figura 7.1

In base a test realizzati nel programma SEP (O.M.M. Elton - S.A. Omen, A.Z. Taha - Performance of a photovoltaic solar refrigerator in tropical climate conditions - renewable energy vol.1 N°2 pp. 199-205 - 1991 - UK) si è dimostrato che anche se il sistema di refrigerazione va in crisi, la capacità del frigo di mantenere il contenuto a temperatura al di sotto dello zero, se non aperto, è di tre giorni. Quindi anche se durante l'anno il sistema di refrigerazione andasse in crisi per insufficienza di energia, se tale evento ha una durata non superiore al giorno il frigo è in grado di conservare propriamente il contenuto a temperature non superiore allo zero.

In definitiva, il sistema fotovoltaico sarà assemblato come riportato in figura 10.1.

Il problema della struttura di sostegno dei pannelli in questo impianto non si pone essendo solo quattro moduli e quindi sistemabili sul tetto del locale dove verrà ubicato il frigorifero.

A titolo di esempio riportiamo i dati di un impianti frigoriferi che la WHO ha adottato nei suoi programmi sanitari. Il sistema è composto da un frigorifero modello lec ev 5750 della BP Solar System, collegato ad un campo fotovoltaico di 198 Wp attraverso un sistema di controllo e un sistema di accumulo a batterie di 5.47 KWh. Il sistema è stato dimensionato in modo che possa garantire una disponibilità del 95%. Per garantire tale disponibilità le batterie sono state dimensionate per affrontare una periodo di autonomia di 5 giorni. Le località prese in considerazione hanno valori d'insolazione giornaliera che vanno dai 5,8 KW/m² ai 7 KW/m².

Tabella 7.4 - Sistema di refrigerazione vaccini - condizioni di prova Tamb=32 °C, irradiazione solare 5.8-7 Kwh/d, giorni di non sole 5, nessun congelamento

Pv array	198	Wp
Battery size	5.47	KWh
Power consumption	0.35	KWh/d
Refrigeration, vaccine storage	24	litri

7.3 Dimensionamento dell'impianto del mulino

Il mulino tradizionale, molto utilizzato nelle aree rurali della Somalia, è composto da due cilindri in roccia disposti uno sopra l'altro, tradizionalmente veniva tirato da un cammello che ruotava intorno al mulino. Nelle zone dove esiste la possibilità di utilizzare l'energia elettrica, il mulino, attraverso una cinghia, viene accoppiato ad un motore asincrono.

Proprio per la mancanza di dati riferimento per quanto riguarda i mulini tradizionali nel nostro impianto abbiamo adottato un mulino elettrico

moderno capace di macinare la quantità necessaria al villaggio giornalmente. Come riportato nei capitoli precedenti, il mulino scelto è il modello B2 che con una capacità di 160 Kg/h riesce in 6 ore a macinare tutto il fabbisogno giornaliero di cereali del villaggio. Inoltre, essendo la potenza nominale del mulino di 1,5 Kw, l'energia assorbita mediamente dal mulino è data da : $0.8 \times 1500 \text{ Watt} \times 6 = 7200 \text{ Wh}$. Ipotizzando dei rendimenti uguali a quelli sopra riportati il campo fotovoltaico complessivamente dovrebbe avere una potenza di picco di 1582 Wp. Quindi sarà necessario un inverter che abbia una potenza nominale almeno di 1600 W. Sarà sufficiente una batteria da 12 volt a 100 Ah per poter garantire la corrente di spunto in fase di avviamento. Il sistema di controllo in questo caso si riduce al semplice monitoraggio della tensione sul carico, che se fuori esce dai limiti prescritti provocherebbe la sconnessione del carico.