

CONSIGLI E VALUTAZIONI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI AD ISOLA CON ACCUMULO

PREMESSA

Questo manuale è stato realizzato con il fine di poter aiutare nella progettazione e nella scelta dei componenti più idonei per la realizzazione di impianti fotovoltaici ad isola "stand alone", con batterie di accumulo, per l'autoproduzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Le informazioni contenute in questo scritto sono frutto della collaborazione tecnica personale e volontaria (senza scopo di lucro), degli appartenenti al "Gruppo wutel.net" e pertanto hanno soltanto lo scopo di fornire una prima informazione a scopo didattico informale, per applicazioni "fai-da-te" di tipo dilettantistico.

L'esecuzione pratica degli impianti e i calcoli di dimensionamento dei componenti e dei cavi elettrici di collegamento derivati dalla consultazione del presente manuale, devono comunque sempre essere eseguiti, verificati e validati da personale tecnico specializzato, competente e qualificato, nel pieno rispetto di tutte le vigenti normative in materia elettrica e di sicurezza.

CAPITOLO 1

CALCOLO DEI CONSUMI ELETTRICI

La prima operazione da eseguire per il dimensionamento di un impianto fotovoltaico, è quella di quantificare, con la massima precisione possibile, tutte le utenze elettriche da collegare all'impianto, al fine di conoscere il più esattamente possibile (per ciascun apparecchio), il valore di potenza di consumo (Watt) e le ore di accensione (h). Per aiutarsi in questa fase, è possibile realizzare una tabella riepilogativa dove inserire per ciascun apparecchio (indipendentemente dalla sua tensione di funzionamento), la potenza (Watt) e le ore (h) presunte o certe di

funzionamento giornaliero. Il risultato finale che occorre conoscere, sono i "Wattora giornalieri consumati" (Wh), che si ottengono sommando per ogni apparecchio elettrico collegato all'impianto, le ore presunte o certe di accensione quotidiana, moltiplicato per la potenza (Watt). Watt x ore = Wattora

Nel caso fosse anche previsto l'impiego nell'impianto di un inverter per la produzione di energia elettrica a 230Volt, ricordarsi di inserire nella tabella anche l'autoconsumo dell'inverter per tutte le ore di accensione.

Esempio: un inverter a 24Volt da 2400Watt di potenza (con regolatore di carica integrato), ha un autoconsumo costante di circa 25Watt, anche se non c'è nessun utilizzatore elettrico collegato all'uscita a 230Volt. Quindi, se l'inverter rimane acceso 24 ore su 24, ha un autoconsumo giornaliero di 600Wh. (25Wx24h=600Wh).

Il dato di autoconsumo dell'inverter, se non espressamente indicato nel libretto di istruzioni dell'apparecchio, può essere ricavato utilizzando un tester/multimetro in modalità "amperometro", da collegare in serie ai cavi di alimentazione (in corrente continua) dell'inverter. La Potenza "W" di autoconsumo si calcola moltiplicando la tensione "V" di alimentazione dell'inverter, per la corrente "A", rilevata dal tester/multimetro.

ESEMPIO DI TABELLA RIEPILOGATIVA DEI CONSUMI ELETTRICI (senza inverter)

APPARECCHIO	POTENZA (Watt) W	ORE (h) DI ACCENSIONE PRESUNTE O CERTE	Wh consumati giornalmente da ciascun utilizzatore (Wh=Wxh)
Lampadina LED	10	5	50
Lampadina LED	7	8	56
Frigorifero	130	10	1300
Lampadina fluorescente	20	5	100
TV LED	35	4	140
PC portatile	40	6	240
Modem internet WiFi	10	24	240
TOTALE Wh / kWh consumati giornalmente →			2126Wh = 2,12kWh

Per poter aumentare la precisione di calcolo è anche possibile utilizzare degli strumenti di misura elettronici dei consumi elettrici (utilizzabili soltanto per gli apparecchi funzionanti a 230V), in grado di poter visualizzare (per ciascun apparecchio o somma di apparecchi), il valore esatto dei Watt consumati.



esempi di misuratori dei consumi elettrici per apparecchi funzionanti a 230Volt

CAPITOLO 2

CALCOLO DELLA POTENZA DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI

Una volta quantificato, con la massima precisione possibile, il nostro consumo elettrico giornaliero (Wh/kWh), è possibile passare alla determinazione di quanti pannelli fotovoltaici ci occorrono per produrre giornalmente la quantità di energia elettrica sufficiente a poter supportare le esigenze energetiche, in base alla località di installazione ed alla stagionalità d'utilizzo (tutto l'anno oppure solo nel periodo estivo).

Per poter quindi ottenere una prima valutazione di massima sulla produzione dei pannelli, occorre considerare la seguente tabella, che tiene in considerazione l'insolazione media giornaliera dei pannelli (ESH), in base alla posizione geografica di installazione.

UBICAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO	INSOLAZIONE MEDIA GIORNALIERA (ESH) INVERNALE O ANNUALE (circa)	INSOLAZIONE MEDIA GIORNALIERA (ESH) ESTIVA (circa)
NORD ITALIA	2	4
CENTRO ITALIA	2,5	4,5
SUD ITALIA	3	5
NORD AFRICA	4	6

N.B. per una maggiore precisione di calcolo delle ore di insolazione media giornaliera "ESH", riferirsi ai dati forniti dal **PhotoVoltaic Geographical Information System (PVGIS)** consultabili al seguente sito web:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Per calcolare la produzione energetica giornaliera (kWh) di un pannello fotovoltaico, occorre moltiplicare la sua potenza (Watt) per le ore medie di insolazione giornaliera (ESH) in base alla precedente tabella.

Una volta calcolata la produzione media giornaliera totale dei pannelli che vogliamo installare (kWh), occorre verificare che il valore che abbiamo precedentemente calcolato (capitolo 1), relativo ai nostri consumi elettrici giornalieri, sia uguale o, meglio, inferiore rispetto alla produzione (kWh) del/dei pannelli (è comunque sempre consigliato che i "kWh" prodotti giornalmente dai pannelli siano maggiori dei "kWh" consumati giornalmente dai nostri apparecchi elettrici).

Con questo raffronto di valori tra energia prodotta giornalmente (kWh) ed energia consumata giornalmente (kWh), è possibile determinare la potenza (Watt) complessiva dei pannelli da installare in base al nostro consumo elettrico giornaliero.

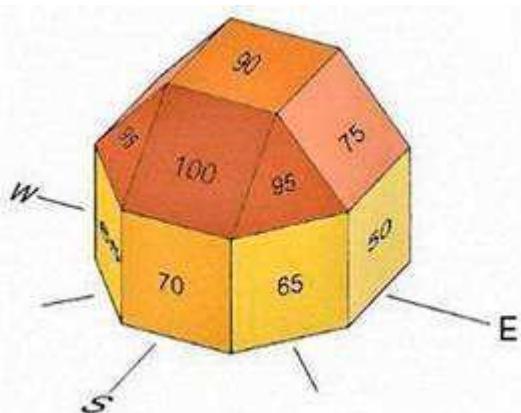
Esempio:

Un pannello da 100Watt di potenza installato in nord Italia, con inclinazione ottimale rispetto al suolo e direzionato verso sud, produce in inverno circa 200 Wh (200wattora = 0,2kilowattora), di cui al calcolo $100\text{Watt} \times 2\text{ESH invernali} = 200\text{Wh}$. Se il nostro consumo elettrico giornaliero è di 20Watt per 10 ore ($20 \times 10 = 200\text{Wh}$), ecco che allora il sistema fotovoltaico è sufficiente per gestire (tutto l'anno) il consumo di 200Wh (200Wh giornalieri prodotti dal pannello e 200Wh giornalieri consumati dalla nostra utenza elettrica).

CAPITOLO 3

ORIENTAMENTO E INCLINAZIONE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI

Come visto nel capitolo precedente, oltre ovviamente alla posizione geografica di installazione dei pannelli (latitudine), occorre anche tenere in considerazione il loro rendimento produttivo in base all'orientamento rispetto ai punti cardinali ed alla loro inclinazione rispetto al suolo (angolo di tilt). Le seguenti rappresentazioni grafiche, sono relative a questi due importanti parametri:



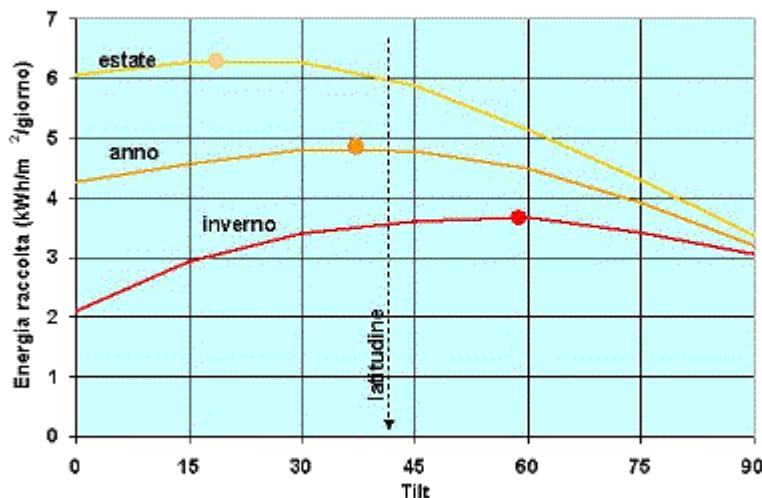
Il poliedro rappresenta la percentuale di rendimento di un pannello fotovoltaico in base all'orientamento rispetto ai punti cardinali ed in base all'inclinazione rispetto al suolo. Ad esempio, un pannello da 100Watt posizionato in verticale e rivolto verso sud, potrà produrre al massimo 70Watt, mentre lo stesso pannello posizionato invece in orizzontale produrrà al massimo 50Watt.

(nota tecnica: i pannelli posizionati in orizzontale necessitano di una maggiore verifica periodica della pulizia della superficie vetrata, in quanto risultano più soggetti ad essere sporcati da polveri, smog, foglie ed escrementi di volatili che, oscurando anche parzialmente le celle fotovoltaiche che li compongono, ne compromettono ulteriormente l'efficienza ed il rendimento).

Ovviamente per poter ottenere il 100% di rendimento di un pannello, oltre a direzionarlo verso sud, occorre anche inclinarlo rispetto al suolo con un angolo il più possibile ottimale. Come si vede dal seguente grafico, l'angolo di inclinazione ottimale è variabile in base alle stagioni dell'anno. Per le installazioni dove i pannelli risultassero di facile movimentazione, per esempio su tetti piani, terrazzi, terreni, si potrebbe anche valutare la possibilità di realizzare un semplice dispositivo che permetta di

variare l'angolo d'inclinazione in base alle stagioni. Questo accorgimento aumenterebbe così il rendimento dell'impianto, soprattutto nel periodo invernale dove si hanno poche ore di luce, con il sole basso sull'orizzonte e con meno energia rispetto alle altre stagioni.

LA SCELTA DELL'ANGOLO DI TILT



Utilizzando un'inclinazione del pannello rispetto al suolo di circa 35° (in Italia), si ottiene il massimo rendimento medio per tutto l'anno, come si vede dalla curva "anno" riportata nel grafico precedente.

L'area prescelta per il posizionamento dei pannelli fotovoltaici deve inoltre anche essere il più possibile priva di ombre dovute, ad esempio, ad alberi e rami, fili, cavi elettrici, antenne, edifici, comignoli, ecc. che possano oscurare anche parzialmente le celle fotovoltaiche.



Tutti i pannelli fotovoltaici per poter funzionare bene e produrre al massimo delle loro potenzialità, hanno bisogno di essere esposti al sole diretto su tutta la loro superficie.

Al fine inoltre della completa valutazione e conoscenza di tutti gli aspetti legati al rendimento di un pannello fotovoltaico, occorre ricordare che l'efficienza di produzione elettrica di ciascuna cella che compone il pannello, dipende anche dalla temperatura della cella stessa. Per le celle in silicio cristallino, si può considerare una perdita di rendimento dello 0,45 % circa, per ogni grado centigrado di aumento della temperatura ambiente, superiore a 25 °C.

Una cella in silicio cristallino che si trova ad una temperatura di 70°C, ha una perdita di produzione di circa il 25%.

Una temperatura di oltre 60°C delle celle fotovoltaiche, è normalmente raggiungibile nelle ore centrali della giornata, in normali condizioni d'insolazione estiva del pannello.



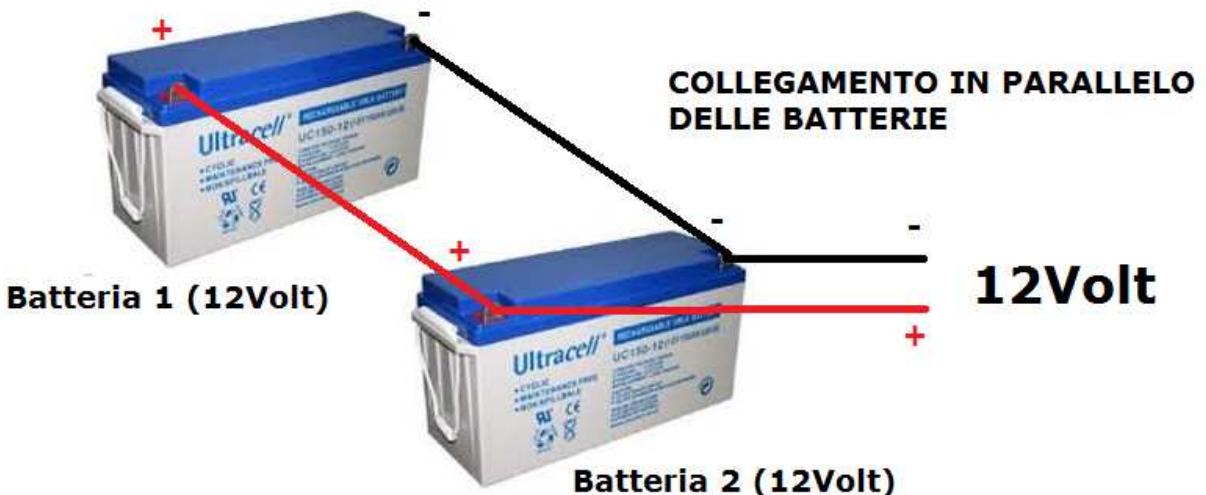
Se fattibile, occorre quindi installare i pannelli il più possibile distanziati dalla superficie di fissaggio, in modo da permettere sempre un adeguato flusso d'aria per il loro raffreddamento.

CAPITOLO 4

CALCOLO DELLA CAPACITÀ DI ACCUMULO DELLE BATTERIE PER GLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI AD ISOLA

Una volta calcolato il consumo giornaliero delle nostre utenze elettriche (kWh) e quello della produzione media giornaliera dei pannelli (kWh), è possibile determinare il numero e la capacità (Ah) delle batterie, necessarie per lo stoccaggio e la fornitura di energia alle nostre utenze elettriche, durante le ore serali/notturne, o nelle giornate senza sole.

Le batterie devono essere collegate tra loro in serie o in parallelo, in modo da ottenere la corretta tensione (Volt) per far funzionare l'impianto.



Nel collegamento in parallelo, la tensione risultante tra le due batterie rimane la stessa di ciascuna batteria.

Il collegamento diretto in parallelo delle batterie (di uguale capacità "Ah"), benché possibile, è comunque non consigliato, in quanto la capacità totale ottenuta sarà sempre inferiore alla somma delle capacità delle singole batterie, con una perdita energetica complessiva anche fino al 20%, dovuta ai flussi di corrente che si possono generare tra le batterie in parallelo. Tale scompenso è ancor più presente se le batterie non sono dello stesso anno/lotto di produzione. Se possibile, utilizzare quindi una batteria unica di maggiore capacità, oppure gestire il collegamento in parallelo delle batterie con appositi apparecchi elettronici di

ripartizione (es. deviatori multibatteria o regolatori di carica opportunamente predisposti per il collegamento di due batterie).

Nel collegamento in serie tra due (o più) batterie, la tensione complessiva sarà invece data dalla somma di tutte le tensioni di ciascuna batteria.

- con 2 batterie da 12Volt, la tensione totale dalla serie sarà di 24Volt;
- con 4 batterie da 12Volt, la tensione totale dalla serie sarà di 48Volt.



Sia nei collegamenti in serie che per quelli in parallelo, le batterie devono sempre essere di capacità (Ah) uguale tra loro e, possibilmente, dello stesso lotto/anno di produzione, nonché adeguate nel valore di capacità (Ah), in modo da poter ottenere un idoneo valore di accumulo, in grado di gestire sia l'energia prodotta dai pannelli, che tutti gli assorbimenti degli apparecchi elettrici collegati alla linea di alimentazione.

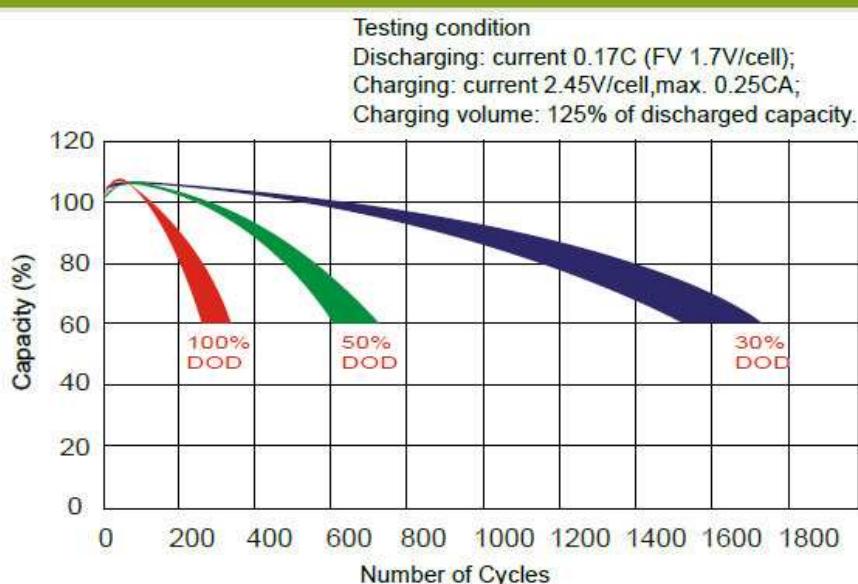
Ogni batteria ha un'energia massima di accumulo (Wh = wattora), pari al suo valore di tensione (Volt), moltiplicato per la sua capacità (Ah). Una batteria di capacità 100Ah ha quindi una capacità di accumulo d'energia di: $12\text{Volt} \times 100\text{Ah} = 1200\text{Wh}$ (1,2kWh).

Nei collegamenti serie/parallelo, non si potrà comunque mai ottenere un valore matematico esatto dato dalla somma dei singoli valori di capacità di ciascuna batteria installata nell'impianto, in quanto le batterie non saranno mai perfettamente uguali tra loro.

Per evitare inoltre un veloce decadimento della capacità di accumulo delle batterie tipo AGM/GEL (al piombo), non dobbiamo prelevare giornalmente tutta l'energia

accumulata in ciascuna batteria (scarica profonda), ma dobbiamo invece prevedere di utilizzare soltanto il 30% circa di capacità di ciascuna batteria. Se decidiamo infatti di prelevare ad ogni ciclo di scarica (da ciascuna batteria) oltre il 30% del suo valore di capacità, dobbiamo essere consapevoli che, benché possa essere elettricamente sopportato dall'accumulatore, ne ridurremo nel tempo la vita utile e pertanto occorrerà sostituire dopo pochi anni la batteria.

Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



Esempio: se desideriamo ottenere il massimo numero di cicli e quindi la massima durata (in anni) di una batteria da 100Ah - 12V, occorre utilizzarla soltanto al 30% della sua capacità (vedi precedente grafico), quindi la capacità energetica utile da poter sfruttare giornalmente alla batteria sarà: $30\text{Ah} \times 12\text{Volt} = 360\text{Wh}$.

Se nell'impianto sono ad esempio collegate due batterie da 100Ah - 12Volt (in serie tra loro), la capacità energetica utile da poter sfruttare sarà quindi di circa 720Wh ($360\text{Wh} \times 2 = 720\text{Wh}$).

Per poter fare in modo che una batteria da 12Volt non si scarichi oltre il 30% della sua capacità, occorre considerarla "scarica" quando la tensione ai suoi capi scende sotto il valore di 12Volt (es. 11,9Volt). Nel caso di impianti a 24Volt o 48Volt, i valori di 24V o 48V sono da considerarsi quelli minimi in cui ritenere scarico il gruppo di batterie.

Una batteria AGM/GEL da 12Volt, lavora quindi nel pieno della sua potenzialità energetica nel range di tensione compreso tra 12Volt e 14,4Volt.

Esempio di calcolo:

nel caso di un consumo elettrico giornaliero di 150 Wh (Wattora) e una tensione di batteria (Vb) di 12 Volt, la capacità di batteria (Ah) occorrente giornalmente, sarà di: $Ah = Wh/Vb$

quindi: $150Wh/12Volt = 12,5 Ah$ (giornalmente).

Ma, attenzione!

Non dobbiamo utilizzare una batteria di capacità 12,5 Ah, ma una batteria con capacità utile di 12,5 Ah/giorno.

I 12,5Ah devono infatti corrispondere al 30% della scarica della batteria.

Sceglieremo quindi una batteria da: $12,5Ah/0,3 = 41,67Ah$ (arrotondare sempre il risultato ottenuto, al valore superiore commerciale più vicino alla nostra esigenza di accumulo. In questo caso: 44Ah)

Se poi dobbiamo anche considerare un'autonomia di carica della batteria nei giorni di maltempo, occorre proseguire nei calcoli con le seguenti formule.

Ipotizzando di calcolare 3 giorni di autonomia, la nostra batteria dovrà poter accumulare $12,5Ah \times 3$ giorni = 37,5 Ah.

Quindi, la capacità (Ah) della batteria che ci consenta di ottenere i 3 giorni di autonomia, scaricandosi del 30%, sarà di: $37,5Ah/0,3 = 125 Ah$.

Se maggioriamo la capacità della batteria per avere più giorni di autonomia dell'impianto, va però tenuto in considerazione di aumentare anche, in proporzione, la potenza (Watt) del/dei pannelli, in modo da poter garantire la carica di batterie di maggiore capacità.

CAPITOLO 5

FISSAGGIO MECCANICO DEI PANNELLI

Per il fissaggio meccanico dei pannelli nelle varie situazioni strutturali (tetti, terrazzi, terreni, pali, camper, barche, ecc.), è possibile utilizzare dei supporti metallici appositamente studiati per meglio adattarsi alle superfici dove il pannello andrà posizionato.

I principali supporti meccanici per pannelli, a seconda delle superfici dove dovranno essere posizionati, sono i seguenti:

- Staffe sagomate e barre per tetti a tegola o a coppi:



- Barre per tetti in lamiera ondulata, lamiera grecata, ondulina in cemento, tegole canadesi, fogli o tegole di bitume:



- Supporti metallici triangolari per tetti piani, lastrici solari, terrazzi, terreni, pareti verticali:



- Supporti in cemento per tetti piani, lastrici solari, terrazzi, terreni:



- Supporti in plastica zavorrabili per tetti piani, lastrici solari, terrazzi, terreni:



- Supporti plastici angolari e lineari per tetti in vetroresina
(es. camper/roulotte/barche)



- Supporti metallici per fissaggi su palo:

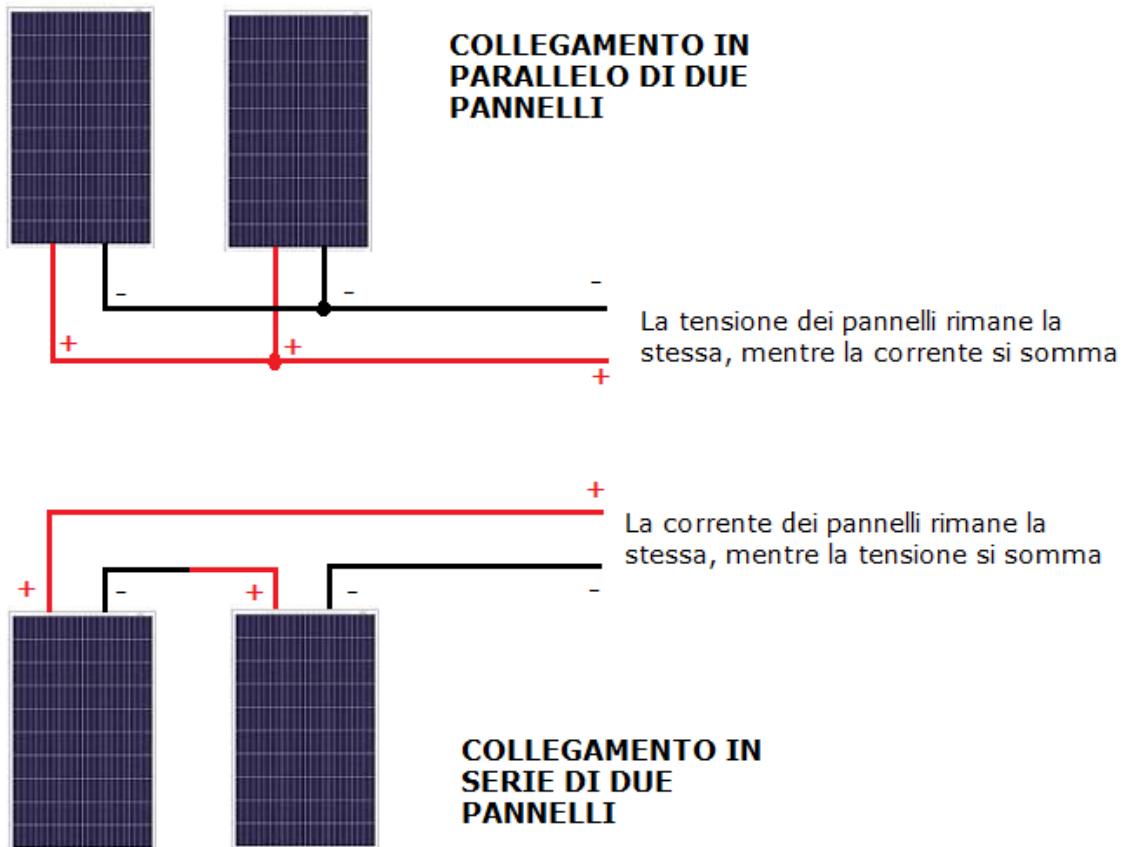


CAPITOLO 6

COLLEGAMENTI ELETTRICI

A seconda della configurazione dell'impianto, della potenza e della tensione dei pannelli, occorre opportunamente collegare tra loro i pannelli in modo da adattarli alle tensioni di batteria ed al regolatore di carica utilizzato (PWM o MPPT).

Come per le batterie, anche i pannelli possono essere collegati tra loro in serie o in parallelo:

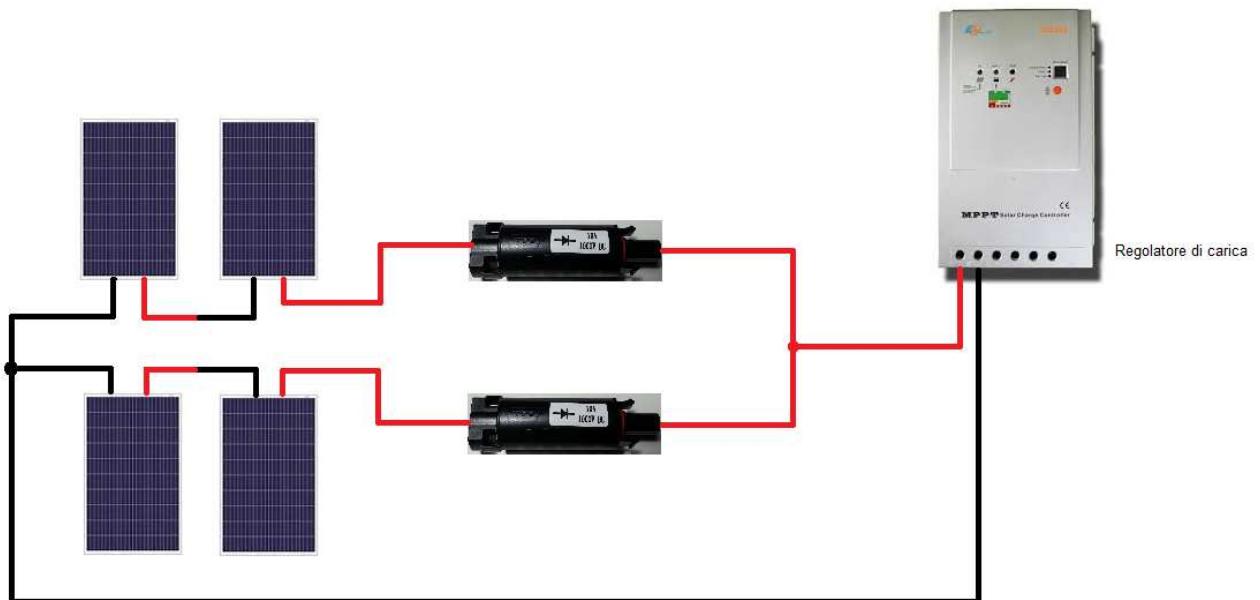


Anche nei collegamenti serie/parallelo dei pannelli, occorre verificare che i pannelli siano tutti della stessa potenza e di analoghe caratteristiche elettriche (raffrontare i valori elettrici riportati sulle tabelle presenti nel retro dei pannelli).

In particolare, nei collegamenti in parallelo dei pannelli, è consigliabile inserire dei diodi di blocco al fine di evitare le eventuali correnti di ritorno tra un pannello e l'altro, soprattutto nei casi dove si potrebbero verificare ombre nette su alcuni pannelli, mentre altri sono invece a pieno sole.



(Esempio di connettore multicontact con diodo di blocco da 10A)



Esempio di collegamento di pannelli fotovoltaici in serie/parallelo con diodi di blocco per evitare correnti inverse

I pannelli fotovoltaici hanno normalmente le seguenti modalità di connessione elettrica:

- tramite contatti con morsetto a vite o a saldare:



- tramite cavi già cablati con connettori tipo "multicontact":



Per tutte le modalità di connessione elettrica dei pannelli, occorre sempre verificare e prestare attenzione alle polarità (+) e (-), che sono indicate sulla morsettiera o con targhette presenti sui cavi. Nel caso non si riuscissero a trovare le indicazioni di polarità, è sempre possibile utilizzare un tester/multimetro (impostato come voltmetro), per determinare la polarità dei morsetti/connettori del pannello.

Durante il collegamento elettrico dei pannelli, prestare anche molta attenzione alle tensioni generate e presenti sui morsetti o nei connettori, in quanto possono essere di valore pericoloso e mortale (soprattutto nel caso di collegamento in serie di più pannelli mono/policristallini o nel caso di utilizzo di pannelli ad alta tensione tipo C.I.S. o amorfi).

Per i collegamenti elettrici tra i vari componenti dell'impianto fotovoltaico, occorre utilizzare dei cavi elettrici unipolari o bipolari (anche con guaina), di sezione adeguata sia al valore di corrente che circola nell'impianto (Ampere), che alla distanza (metri) tra i vari componenti. Maggiore è la lunghezza del cavo e/o più alta è la corrente che circola, maggiore dovrà essere la sezione del cavo da utilizzare. A titolo orientativo e per lunghezze di cavo limitate è possibile utilizzare le seguenti tabelle:

Conduttori unipolari inseriti in tubi o canaline

Nr. conduttori attivi presenti nel tubo	2	3	4	6
Sezione nominale [mm ²]	Portata (Ampere) dei cavi in rame, isolamento in PVC, senza guaina, (UNEL 35011-72; IEC 448) Portata (A)			
1,5	17,5	15,5	14	12
2,5	24	21	19	16,5
4	32	28	25	22
6	41	36	32	28
10	57	50	44	39
16	76	68	59	52,5
25	101	89	75	70
35	125	111	97	86

Cavi multipolari con guaina esterna

Sez. nom. [mm ²]	Isolamento in PVC o gomma comune			Isolamento in gomma G5 o polietilene		
	Bipolari	Tripolari	Tetrapolari	Bipolari	Tripolari	Tetrapolari
Portata (Ampere) per cavi in rame, multipolari, posizionati all'aperto e distanziati da altri cavi (UNEL 35011-72) Portata (A)						
1,5	19,5	17,5	15,5	24	22	19,5
2,5	26	24	21	33	30	26
4	35	32	28	45	40	35
6	46	41	36	58	52	46
10	63	57	50	80	71	63
16	85	76	68	107	96	85
25	112	101	89	142	127	112

Coefficiente di correzione della portata per cavi con guaina interrati o posizionati in tubazioni, cunicoli non ventilati o cassette di derivazione k = 0,8

Esempio: un cavo bipolare con isolamento e guaina in PVC di sezione 2,5 mm², se posizionato all'interno di tubazioni o canaline avrà una portata massima di 20,8A anziché di 26A $\rightarrow 26A \times k0,8 = 20,8A$.

Come accennato precedentemente, oltre alla portata (A) di un cavo, occorre soprattutto negli impianti a bassa tensione 12/24/48 Volt, tener conto della caduta di tensione della linea, infatti la resistenza elettrica di un cavo aumenta con la lunghezza del cavo stesso e diminuisce all'aumentare della sua sezione.

La resistenza del cavo è infatti data dalla formula: $R = (K \times L) : S$

Dove "K" è la resistenza specifica del rame (per i comuni cavi di rame vale circa 0,02 Ohm x metro), "L" è la lunghezza del cavo (in metri), mentre "S" è la sezione espressa in millimetri quadrati (mm²).

Applicando questa formula, possiamo quindi notare che un cavo di rame di sezione 1 mm² percorso da una corrente continua, produce una resistenza di circa 0,02 Ohm per ogni metro di lunghezza. Quindi, supponendo di avere un cavo lungo 10 metri con sezione 1 mm², il cavo avrà una resistenza di 0,2 Ohm ($0,02 \times 10 : 1 = 0,2$ Ohm).

CALCOLO DELLA CADUTA DI TENSIONE IN UNA LINEA ELETTRICA

Supponendo di dover utilizzare 10 metri di cavo per collegare tra loro i vari componenti dell'impianto fotovoltaico, occorre ricordare che per calcolare la caduta di tensione complessiva lungo i cavi, bisogna considerare sia il cavo positivo (+) che quello negativo (-), quindi considerare la somma delle resistenze delle due lunghezze dei cavi.

Esempio: se dobbiamo gestire una potenza elettrica di 60Watt, nei cavi dell'impianto alimentati a 12Volt scorre una corrente di 5 Ampere ($60\text{Watt} : 12\text{Volt} = 5\text{Ampere}$). Conoscendo quindi la corrente che circola nell'impianto (5A) e la resistenza dei 10 metri di cavo da 1mmq (0,2 Ohm), applicando la legge di Ohm ($\text{Volt} = \text{Ampere} \times \text{Ohm}$), possiamo calcolare la caduta di tensione che sarà di $5\text{A} \times 0,2\text{Ohm} = 1\text{ Volt}$ di caduta di tensione per ciascun cavo!

Questo vuol dire che anche con una batteria carica a 13Volt, alla fine dei 10 metri dei due cavi da 1mmq, avremo soltanto una tensione effettiva di 11Volt ($13\text{V} - 1\text{V} - 1\text{V} = 11\text{Volt}$), che risulta quindi di valore non sufficientemente adeguato per alimentare correttamente le nostre utenze elettriche.

Le possibili soluzioni per diminuire la caduta di tensione nei cavi sono: aumentare la sezione dei cavi, oppure (se possibile) diminuire la loro lunghezza complessiva. Nell'esempio riportato sopra, per poter ridurre la caduta di tensione nei cavi al di sotto del mezzo volt, mantenendo la lunghezza complessiva di 10 metri, bisognerebbe prevedere nell'impianto cavi di sezione minima di almeno di 2,5mmq (meglio ovviamente se utilizziamo cavi da 4mmq per ridurre ulteriormente la caduta di tensione).

Se la lunghezza dei cavi raddoppia, deve raddoppiare anche la loro sezione.

Ricapitolando: per calcolare la caduta di tensione in un cavo, conoscendo la sua lunghezza complessiva, la corrente che lo attraversa e la sezione utilizzata, si applica la seguente formula:

$$cV = (0,02 \times A \times Lc) : S$$

Dove "cV" è la caduta di tensione (in Volt) risultante, "0,02" è il coefficiente fisso di resistività al metro del cavo in rame, "A" è la corrente che lo attraversa (in Ampere), "Lc" la sua lunghezza complessiva in metri (cavo di andata più quello di ritorno) ed "S" è la sezione del cavo in mmq.

ATTENZIONE! Calcolare la corretta sezione dei cavi elettrici da utilizzare negli impianti fotovoltaici è molto importante. Utilizzare infatti cavi di sezione insufficiente rispetto alla corrente che vi circola o di sezione inadeguata alla

lunghezza, è molto pericoloso in quanto si potrebbero verificare dei surriscaldamenti dei cavi che possono innescare incendi, anche gravi. La resistenza specifica di un cavo aumenta infatti all'aumentare della sua temperatura e quindi si verrebbe a creare una pericolosa reazione a catena che si innesca poiché, aumentando la resistenza del cavo, aumenta di conseguenza anche la temperatura del cavo, e questo, a sua volta, fa ulteriormente aumentare la resistenza.

CAPITOLO 7

SCELTA DEL TIPO DI REGOLATORE DI CARICA

Il regolatore di carica è quel dispositivo elettronico, fondamentale negli impianti fotovoltaici con accumulo, che si occupa principalmente di:

- regolare correttamente e costantemente la corrente prodotta da pannello fotovoltaico ed inviata alla batteria, al fine di ottimizzare la carica ed il mantenimento dell'accumulatore;
- controllare la tensione di batteria (durante l'utilizzo) al fine di attivare/disattivare la tensione ai morsetti di uscita del regolatore (quelli con il simbolo della lampadina, se presenti), con distacco automatico dei carichi elettrici quando la batteria scende sotto un certo valore di tensione. Per alcuni modelli di regolatori di carica è anche possibile programmare il valore della tensione di stacco, nonché attivare accensioni programmate con funzioni crepuscolari e a tempo (in generale, le batterie non devono mai scaricarsi oltre una certa soglia di tensione minima, altrimenti si rovinano e durano pochi anni),
- permettere la verifica visiva (in tempo reale) del funzionamento del/dei pannelli e dello stato di carica della batteria, tramite indicatori luminosi a LED, oppure per alcuni modelli di regolatore, visualizzando i principali parametri elettrici dell'impianto (corrente/tensione fornita dal pannello, corrente assorbita dai carichi elettrici, tensione/stato di carica della batteria, ecc.), direttamente tramite display alfanumerico multifunzione (a seconda dei modelli di regolatore, il display può essere incorporato nell'apparecchio o collegabile esternamente tramite un apposito cavo).



(esempi di regolatori di carica in commercio)

I regolatori di carica si suddividono in due tipologie, a seconda della tecnologia di carica utilizzata:

- PWM (è l'acronimo di: Pulse Width Modulation)

Questi regolatori di carica sono i più diffusi anche per il fatto che la loro tecnologia costruttiva permette di avere dei costi produttivi minori rispetto ai modelli MPPT. Il regolatore di carica PWM trasferisce l'energia dai moduli fotovoltaici alle batterie tramite impulsi di corrente. Durante questi impulsi la tensione dei moduli fotovoltaici viene portata alla tensione di batteria, per questo motivo il valore di tensione può essere minore rispetto al valore di tensione di massima potenza (V_{mp}) del modulo fotovoltaico. Con questo tipo di regolatori di carica non è possibile utilizzare dei pannelli a 24Volt per caricare batterie a 12Volt;

- MPPT (è l'acronimo di: Maximum Power Point Tracking).

Questi particolari regolatori di carica sono in grado di gestire e sfruttare costantemente il punto di massima potenza erogata dal pannello fotovoltaico, in base all'irraggiamento solare a cui è sottoposto.

I principali vantaggi della tecnologia MPPT sono:

(-) Maggior corrente disponibile per la ricarica della batteria:

i regolatori MPPT sono infatti in grado di utilizzare tutta la potenza (Watt) generata dal pannello fotovoltaico per caricare la batteria, a differenza invece dei regolatori tradizionali PWM che sfruttano soltanto la corrente (Ampere) generata dal pannello per ricaricare la batteria.

Per comprendere meglio questo concetto, occorre innanzitutto specificare che la potenza (Watt) erogata da un pannello è il risultato della seguente formula matematica:

$$(\text{Watt} = A \times V)$$

dove (A) è la corrente erogata dal pannello e (V) la tensione generata dal pannello.

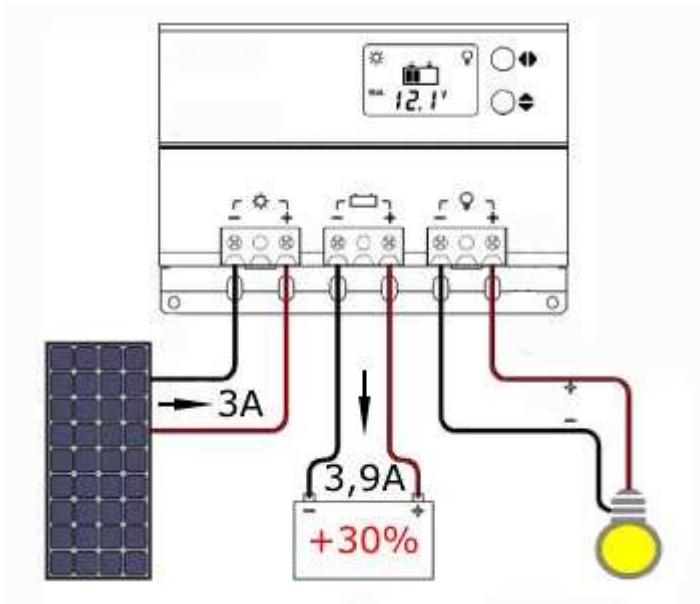
La tensione di lavoro generata da un pannello fotovoltaico (specifico per impianti "ad isola") è tipicamente intorno ai 16-18 Volt (e *non* 12 Volt come la tensione di batteria). Questo "surplus" di tensione (V) non viene considerato nei regolatori di carica tradizionali (a tecnologia PWM), mentre nei regolatori MPPT tutta la tensione generata dal pannello viene utilizzata al fine di aumentare l'energia disponibile per la carica della batteria.

Ad esempio:

se la corrente generata da un pannello fotovoltaico durante una certa condizione d'irraggiamento solare è 3 Ampere, con un regolatore PWM tradizionale la corrente che viene trasferita alla batteria per la ricarica è anch'essa pari a circa 3 Ampere. Mentre, utilizzando un regolatore MPPT si riesce a sfruttare tutta la potenza generata dal pannello (come sopra illustrato nella formula matematica $W = A \times V$), utilizzando anche il valore della tensione fornita dal pannello per la carica della batteria.

Pertanto, supponendo che la tensione generata del pannello sia in quel momento di 17 Volt, la potenza erogata dal pannello sarà di $17V \times 3A = 51Watt$.

Quindi, se la tensione di batteria è 13 Volt e la potenza fornita dal pannello in quell'istante è di 51 Watt, la corrente che verrà inviata alla batteria per la carica sarà di ben 3,9 Ampere (51W del pannello diviso i 13 Volt della batteria $A=W/V$).



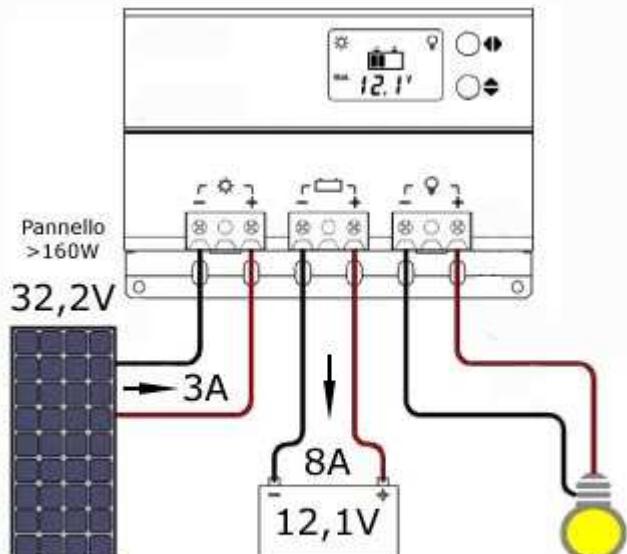
Si nota così che la batteria sarà caricata, grazie al regolatore con tecnologia **MPPT**, con una corrente di 3,9A, anziché soltanto con i 3A che sarebbero stati utilizzati dal regolatore tradizionale **PWM**. Quindi la ricarica della batteria sarà effettuata con una corrente maggiore del 30%, a parità di pannello e di corrente erogata da questo.

In pratica è come se utilizzassimo un pannello da 130W anziché uno da 100W, quindi il costo d'acquisto di un regolatore **MPPT** (attualmente maggiore rispetto ai regolatori **PWM**), viene comunque compensato dal risparmio sul costo d'acquisto del pannello.

(-) **Ampio range di tensione accettata in ingresso** (fino a 150V, a seconda dei modelli). Questa caratteristica del regolatore **MPPT** è molto utile, ad esempio, per dare la possibilità di caricare senza perdite di potenza una batteria a 12V, utilizzando un pannello fotovoltaico progettato per lavorare a 24V, oppure per utilizzare dei moduli fotovoltaici di tipo **C.I.S.** o **Amorfi** che hanno delle tensioni di lavoro più alte rispetto ai pannelli mono/policristallini.

Infatti, ipotizzando di collegare un pannello progettato per lavorare a 24V (come ad esempio quelli di potenza 250/300Watt), che hanno quindi valori di tensione nell'ordine di 32-36V, ecco come si comporta il regolatore **MPPT** (così come per l'esempio riportato sopra), con una corrente di 3A fornita dal pannello:

- la potenza erogata dal pannello sarà in questo caso di: $32,2V \times 3A = 96,6W$
- la corrente di carica della batteria (ad esempio con un valore di tensione di 12V della batteria) sarà di: $96,6W / 12V = 8A$



(N.B.: Valori orientativi)

Notiamo così come con una corrente di 3A prodotta da un pannello fotovoltaico a 34V riusciamo a caricare una batteria a 12V con una corrente di ben 8A, grazie al regolatore MPPT.

Un regolatore tradizionale PWM non avrebbe mai potuto effettuare questo "aumento di corrente", limitandosi a trasferire soltanto i 3A generati dal pannello (che si sarebbe quindi comportato come un pannello di metà potenza).

Anche in questo caso il maggior costo del regolatore MPPT (rispetto ai modelli PWM), viene compensato dal fatto che un pannello da 250W (a 24V), costa sicuramente meno di 2 pannelli da 120W (a 12V), garantendo inoltre una maggiore corrente disponibile per la carica della batteria.

CAPITOLO 8

SCELTA DELLA PORTATA DEL REGOLATORE DI CARICA

Per poter determinare la portata (Ampere) del regolatore di carica da installare nell'impianto occorre:

- nel caso di un regolatore di carica di tipo PWM, verificare che la corrente di corto circuito del/dei moduli installati (I_{sc}), risulti sempre inferiore alla corrente massima (A) sopportata del regolatore (portata). (N.B. negli impianti con pannelli

collegati in serie tra loro, ricordarsi che la corrente "Isc" rimane la stessa, mentre la tensione dei pannelli si somma);

- nel caso di un regolatore di carica di tipo MPPT, verificare invece che la potenza massima (Watt) dei moduli fotovoltaici installati, sia al massimo quella indicata nel manuale relativo allo specifico modello di regolatore, in base anche alla tensione di batteria (esempio: ad un regolatore di carica MPPT da 20 Ampere di portata può essere al massimo collegata una potenza fotovoltaica di 260Watt con batteria a 12Volt e di 520Watt con batterie a 24Volt).

CAPITOLO 9

GLI INVERTER

Gli inverter sono degli apparecchi elettronici che permettono di trasformare la tensione in corrente continua delle batterie (12, 24 o 48Volt), in corrente alternata a 230Volt.

In base alla loro tecnologia costruttiva, si suddividono principalmente in due categorie in base al tipo di forma d'onda alternata generata:

- ad onda pseudo-sinusoidale (onda quadra o modificata);
- ad onda sinusoidale (onda pura).

Gli inverter ad "onda quadra o modificata" hanno un costo minore rispetto a quelli ad "onda pura", ma sono indicati soltanto per il funzionamento di carichi elettrici resistivi (es. lampadine a incandescenza). Quelli ad "onda pura", invece, garantiscono decisamente una migliore forma d'onda alternata agli apparecchi collegati. La forma d'onda "pura" (che è praticamente uguale a quella della rete elettrica nazionale), generata da questi specifici modelli d'inverter, è infatti particolarmente indicata e consigliata per il collegamento di tutte le apparecchiature elettriche, elettroniche e informatiche, lampade a LED e fluorescenti, nonché per i carichi induttori (es. frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, ventilatori, pompe, ecc.).

I terminali d'ingresso (+) e (-) dell'inverter, si collegano alle batterie tramite dei cavi elettrici di sezione adeguata alla corrente ed alla potenza dell'inverter, rispettando la tensione di funzionamento dell'inverter e la polarità.

(Esempio: i cavi elettrici di collegamento alla batteria di un inverter da 1000Watt di potenza, funzionante a 12Volt, devono essere in grado di poter sopportare una corrente massima di 83Ampere $\rightarrow A=W/V \rightarrow 1000W/12V = 83A$).

E' molto importante ricordare che la tensione elettrica prodotta in uscita dall'inverter, è di valore pericoloso (230Volt) e quindi tutti i collegamenti elettrici vanno assolutamente eseguiti da persone esperte e qualificate. La sezione dei cavi da utilizzare a 230Volt, dovrà essere calcolata in base alla potenza dell'inverter.

(Esempio: i cavi elettrici in uscita a 230Volt da un inverter da 1000Watt di potenza, funzionante a 12Volt, devono essere in grado di poter sopportare una corrente di 5Ampere $\rightarrow A=W/V \rightarrow 1000W/230V = 4,3A$).

Un altro fattore importante da tenere in considerazione durante il dimensionamento degli impianti fotovoltaici ad accumulo dotati di inverter, è che tali apparecchiature hanno un loro autoconsumo non trascurabile (anche di 60Watt, ed oltre, per inverter di potenza con trasformatore interno di tipo tradizionale) e quindi durante i calcoli per la determinazione dei Wh (wattora) consumati giornalmente, occorre inserire anche i Watt di autoconsumo dell'inverter, moltiplicati per le 24 ore di accensione continua. I dati di autoconsumo degli inverter sono indicati nei manuali d'uso, oppure possono essere ricavati con appositi strumenti di misura (tester, multimetri, amperometri). Se nell'impianto non occorresse aver sempre disponibile la tensione di 230Volt, ricordarsi di agire sull'interruttore dell'inverter in modo da spegnerlo quando non è necessario, in modo così da evitare che le batterie continuino a scaricarsi inutilmente a causa dell'autoconsumo dell'inverter.

CAPITOLO 10

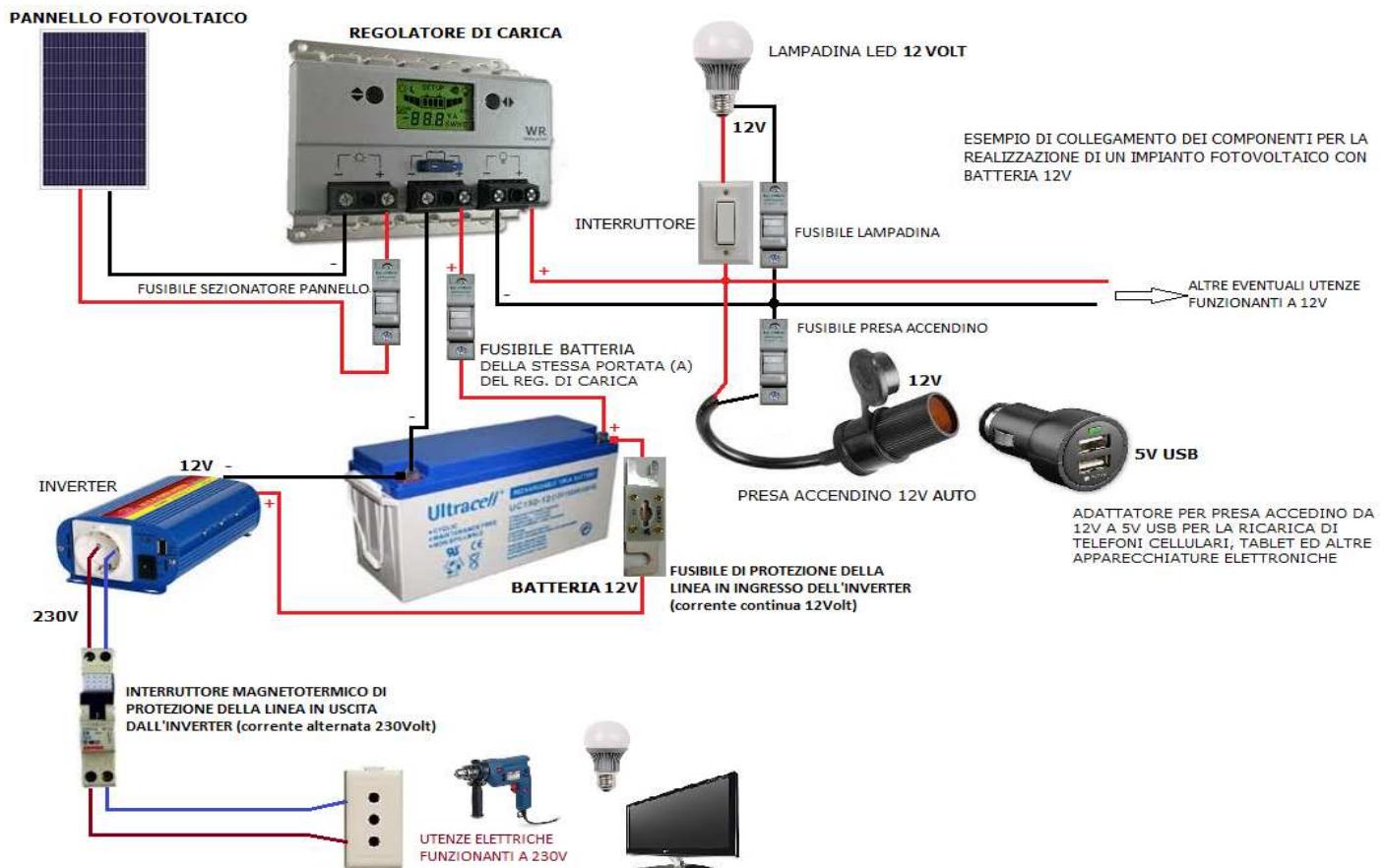
PROTEZIONI DA CORTOCIRCUITI O SOVRACCARICHI

Durante la progettazione ed il cablaggio degli impianti fotovoltaici è sempre opportuno prevedere dei dispositivi di sezionamento/protezione per ciascun componente dell'impianto, anche in aggiunta rispetto a quelli eventualmente già presenti in alcuni componenti (es. regolatore di carica e inverter). Tali dispositivi sono principalmente costituiti da fusibili, interruttori manuali o automatici, sezionatori ed eventuali scaricatori da sovratensioni.

Il posizionamento di tali dispositivi di protezione lungo i cavi elettrici dell'impianto, è di solito la seguente:

- un sezionatore (o interruttore) o un fusibile sezionatore sulla linea tra il/i pannello/i ed il regolatore di carica (morselli ingresso pannelli);

- un fusibile o un interruttore magnetotermico (specifico per corrente continua), sulla linea tra il regolatore di carica e la/le batteria/e (l'amperaggio di questa protezione non deve superare la portata "A" del regolatore di carica);
- uno o più fusibili tra l'uscita del regolatore di carica (morsetti con il simbolo della lampadina) e i vari utilizzatori elettrici. L'amperaggio dei vari fusibili di protezione andrà calcolato in base all'assorbimento massimo di ciascuna utenza elettrica e comunque il valore non dovrà mai superare la portata massima (A) dell'uscita del regolatore di carica (indicata sul manuale tecnico dell'apparecchio).
- un fusibile o un interruttore magnetotermico (specifico per corrente continua), sulla linea tra la/le batteria/e e l'ingresso dell'eventuale inverter presente nell'impianto. L'amperaggio (portata) di questa protezione deve essere calcolata in base alla potenza (Watt) dell'inverter ed alla tensione di alimentazione (Volt), secondo la formula $A=W/V$ (esempio: per un inverter da 1000W di potenza, alimentato con batteria a 12Volt, occorre un fusibile da 80Ampere);
- un fusibile o un interruttore magnetotermico (specifico per corrente alternata), tra l'uscita a 230Volt dell'inverter e la linea dove sono collegati gli utilizzatori elettrici a 230Volt presenti nell'impianto. L'amperaggio (portata) di questa protezione deve essere calcolata in base alla potenza (Watt) dell'inverter ed alla tensione di uscita (Volt), secondo la formula $A=W/V$ (esempio: per un inverter da 1000W di potenza, con uscita a 230Volt, occorre un fusibile o un interruttore magnetotermico da 5Ampere circa).



CAPITOLO 11

MANUTENZIONE

La manutenzione di un impianto fotovoltaico ad accumulo, consiste principalmente nel monitoraggio periodico:

- della superficie vetrata dei pannelli e della loro eventuale pulizia in caso di evidenti aree di sporco, tramite panni morbidi non abrasivi, inumiditi con acqua o detergenti neutri (ad esempio liquido per il lavaggio dei piatti e delle stoviglie), qualora l'installazione dei pannelli lo permetta e l'operazione non comporti eventuali rischi di cadute o infortuni (es. nel caso di installazione pannelli su tetti o pali);
- della tensione delle batterie presenti nell'impianto, con particolare attenzione nel caso vi fossero collegate più batterie in serie e/o in parallelo, in modo da individuare eventuali accumulatori con valori di tensione molto più bassi (durante l'erogazione di corrente agli utilizzatori collegati), rispetto alle altre batterie dell'impianto. Tale controllo permette così di individuare l'accumulatore eventualmente danneggiato, in modo da poterlo isolare e sostituire al più presto ed evitare che tutte le altre batterie risentano come prestazioni e durata;
- del serraggio di viti e bulloni di fissaggio meccanico dei pannelli (sempre se possibile), e di quelle dei morsetti dei collegamenti elettrici, con particolare attenzione a quelli delle batterie. Per tutti i serraggi (meccanici ed elettrici), vale la raccomandazione di non eccedere mai nella loro stretta, onde evitare di rovinare i filetti e rendere inservibile il morsetto;
- della polvere che si sia eventualmente accumulata in prossimità delle aperture di areazione del regolatore di carica e dell'eventuale inverter, nonché di un controllo delle ventole di raffreddamento presenti soprattutto negli inverter. Per la rimozione dell'eventuale polvere o di altro sporco presente sui componenti, utilizzare un panno morbido inumidito con pochissima acqua, oppure è possibile utilizzare delle bombolette di aria compressa, avendo cura di non eccedere nella potenza di soffio, in modo da non danneggiare i componenti.

CAPITOLO 12

MESSA IN SERVIZIO DELL'IMPIANTO

Dopo aver verificato la corretta esecuzione di tutti i collegamenti elettrici presenti nell'impianto, occorre metterlo in servizio seguendo la seguente procedura di attivazione:

- (1) alimentare il regolatore di carica (morsetti con il simbolo della batteria) tramite il collegamento della/delle batteria/e;
- (2) accertarsi che l'indicazione dello stato di carica della batteria sia indicato dal regolatore di carica tramite LED o display, a seconda del modello di apparecchio utilizzato;
- (3) collegare i pannelli al regolatore di carica;
- (4) accertarsi che l'indicazione di collegamento e di carica batteria da parte del pannello, sia indicato dal regolatore di carica tramite LED o display a seconda del modello di apparecchio utilizzato;
- (5) collegare le utenze elettriche a bassa tensione all'uscita del regolatore di carica (morsetti con il simbolo della lampadina);

Se l'inverter è presente nell'impianto:

- (6) collegare i cavi di alimentazione in corrente continua dell'inverter alla/alle batteria/e;
- (7) accendere l'inverter con l'interruttore posto sull'apparecchio e accertarsi che la spia di indicazione (o le informazioni fornite dal display, se presente), indichino la corretta e completa accensione dell'inverter.
- (8) collegare le utenze elettriche funzionanti a 230Volt all'uscita dell'inverter.