

Rapporti tecnici

INGV

**Upgrade del sistema di alimentazione
delle stazioni sismiche/GPS
e monitoraggio remoto dei parametri
elettrici**

398



Direttore Responsabile

Silvia MATTONI

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-ONT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI

Salvatore STRAMONDO (INGV-ONT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



Rapporti tecnici INGV

UPGRADE DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLE STAZIONI SISMICHE/GPS E MONITORAGGIO REMOTO DEI PARAMETRI ELETTRICI

Angelo Castagnozzi¹, Luigi Falco¹, Rocco Cogliano²

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti)

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica)

398

Come citare: Castagnozzi A., Falco L., Cogliano R., (2018). Upgrade del sistema di alimentazione delle stazioni sismiche/GPS e monitoraggio remoto dei parametri elettrici. Rapp. Tec. INGV, 398: 1-30.

Indice

Introduzione	7
1. Obbiettivi di progetto	7
2. Radiazione solare	7
3. Componenti stazione e carichi elettrici	8
4. Scelta dei componenti	9
4.1 Strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici	9
4.2 Moduli fotovoltaici	10
4.3 Regolatore di carica	11
4.4 Accumulatori	12
5. Dimensionamento elettrico di una stazione di monitoraggio	13
6. Schema impianto elettrico	14
7. Architettura sistema di acquisizione dati	15
7.1 Protocollo MODBUS	16
7.2 Lo script PYTHON	17
8. Applicativo web	18
8.1 Struttura della web-application	18
8.2 Le pagine della web-application	19
9. Esempi di funzionamento del sistema	22
10. Conclusioni	22
11. Ringraziamenti	23
Bibliografia e riferimenti esterni	23
Allegato 1 - Specifiche protocollo MODBUS-RTU su RS485 - regolatore WRM30	24

Introduzione

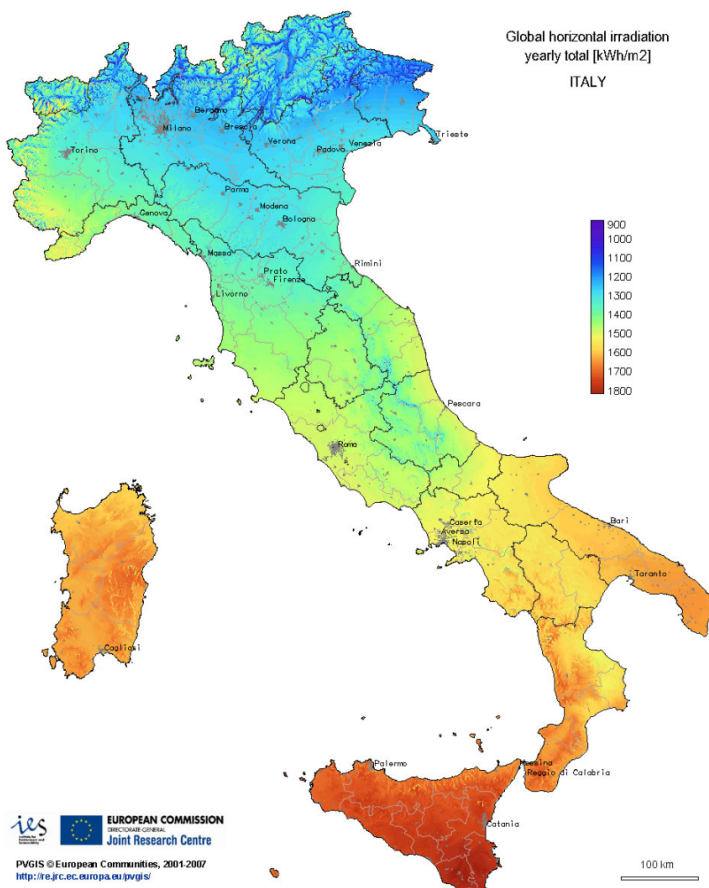
La Rete Sismica Nazionale (RSN) è composta da circa 350 stazioni multiparametriche che vengono alimentate per la maggior parte mediante sistema di alimentazione ad isola in modo da garantire una piena autonomia dal punto di vista energetico. In questo rapporto tecnico si farà riferimento esclusivamente a questo tipo di sistema. Allo stato attuale non risulta esserci una configurazione omogenea dell'impianto elettrico presente sui siti di monitoraggio e spesso, durante i mesi invernali, si va incontro a sofferenze dal punto di vista energetico. Questo rapporto tecnico suggerisce il corretto dimensionamento delle componenti elettriche e descrive l'infrastruttura hardware/software implementata per il controllo remoto dei sistemi di alimentazione.

1. Obiettivi di progetto

Si rende necessario dimensionare correttamente le componenti elettriche tenendo conto del fabbisogno energetico della singola stazione. Considerato, inoltre, che gli strumenti utilizzati fino ad oggi non consentono di monitorare da remoto i parametri elettrici (tensioni batteria, temperatura interna del regolatore, corrente fornita al carico, corrente di carica agli accumulatori, tensioni in ingresso, temperatura batterie, energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, energia assorbita dal carico) per il controllo delle condizioni di funzionamento dell'intero impianto si è optato per lo sviluppo di un opportuno sistema software. Tale sistema consente, inoltre, di effettuare l'eventuale distacco del carico da remoto per consentire un eventuale riavvio degli apparati collegati.

2. Radiazione solare

Per un corretto dimensionamento di un impianto fotovoltaico è necessario conoscere i dati di radiazione solare (Fig. 1).



Una delle fonti per la stima della radiazione globale incidente su una superficie captante è “L’Atlante Europeo della Radiazione Solare”, attraverso cui è possibile, dopo aver inserito i dati richiesti (latitudine, longitudine, albedo, orientamento ed inclinazione della superficie captante), conoscere la Radiazione solare giornaliera media mensile su superficie inclinata espressa in diverse unità di misura; la pagina è raggiungibile su internet al seguente indirizzo:

<http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmIncl/Calcola1.php>. [Castagnozzi, 2011].

Nell’emisfero boreale è necessario installare i moduli orientandoli a SUD (in presenza di ostacoli orografici si rende necessario effettuare il calcolo delle ombre che esula da questo rapporto tecnico); è necessario, inoltre, scegliere l’inclinazione dei moduli tenendo conto di come l’energia captata varia nei diversi periodi dell’anno Fig. 2; da ciò si

Figura 1. Carta della radiazione solare globale in Italia.

evince che l'inclinazione di 60° costituisce un valido compromesso al fine di garantire una buona captazione della radiazione solare sia nei mesi invernali (maggiormente critici) che in quelli estivi.

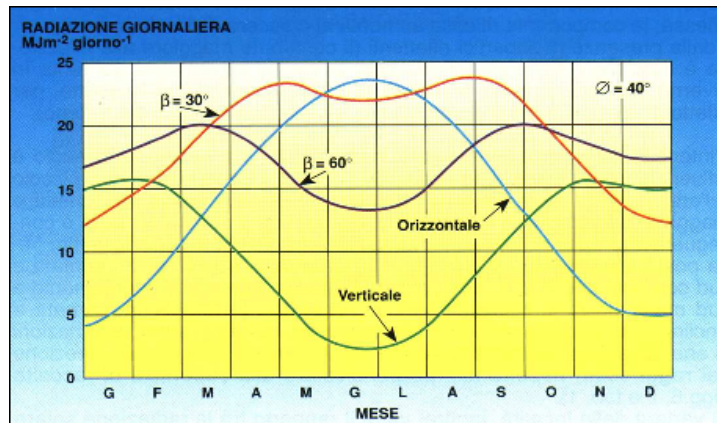


Figura 2. Radiazione giornaliera.

3. Componenti stazione e carichi elettrici

In linea generale una stazione multiparametrica che si intende alimentare con l'impianto ad isola è composta dai seguenti apparati:

- Sistema di alimentazione composto da: moduli fotovoltaici, regolatore di carica, accumulatori, cassetta ed accessori di collegamento.
- Sistema di rilevamento dati composto da: sensori (parlando di stazioni multiparametriche i sensori possono essere di vario tipo come ad esempio velocimetri, accelerometri, GPS, rilevatori di gas), digitalizzatori.
- Sistema di trasmissione dati composto da: modem/router satellitari, modem/router UMTS/GPRS/LTE, router WI-FI, antenne.

È facile intuire che, per quanto riguarda i carichi da alimentare, si possono avere diverse combinazioni di apparati e quindi diversi consumi. Risulta fondamentale riuscire a individuare la quantità di energia espressa in Wh che viene assorbita dal carico nel tempo.

Per il corretto dimensionamento dell'impianto elettrico si fa riferimento, in questo rapporto tecnico, alla stazione di BSSO (Busso - Fig. 3) che presenta un consumo elettrico di circa 35W equivalenti a 850 Wh nell'arco delle 24 ore; dimensionare il sistema elettrico significa, quindi, riuscire a garantire una produzione di energia giornaliera nel mese peggiore maggiore di 850 Wh consentendo l'alimentazione della stazione e la ricarica degli accumulatori.



Figura 3. Stazione di Busso.

4. Scelta dei componenti

Di seguito vengono descritti i componenti utilizzati per la realizzazione dell'intero sistema di alimentazione.

4.1 Strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici

Attualmente i moduli fotovoltaici sono ancorati ad una struttura tubolare in acciaio e su tale struttura vengono effettuati dei fori per l'ancoraggio dei moduli stessi. In caso di guasto di un modulo fotovoltaico ci si ritrova nella condizione di dover effettuare una sostituzione con analoghi moduli altrimenti potrebbe essere necessario forare nuovamente la struttura tubolare in altri punti.

È stato deciso di installare una struttura per il montaggio dei moduli costituita in linea generale da due profili in alluminio che fungeranno da binari su cui saranno ancorate delle graffe per il fissaggio dei moduli. La struttura da noi scelta semplifica l'installazione dei moduli fotovoltaici in quanto, una volta installata, permette il fissaggio dei moduli e l'eventuale sostituzione degli stessi intervenendo solo sulle graffe. Le graffe vengono installate con delle chiavi a brugola esagonali; in alternativa è possibile usare delle viti "antiefrazione".

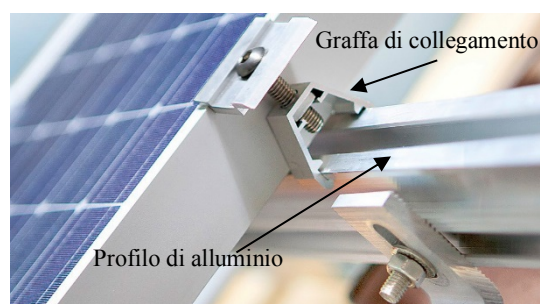


Figura 4. Particolare graffa ancoraggio pannello.

Tutti i componenti sono costruiti impiegando alluminio EN-AW-6063 T6 ed acciaio inox A2. L'uso di tali materiali permette una elevata durata nel tempo e buona resistenza alla corrosione ed agli agenti atmosferici. Al seguente link è possibile reperire la brochure completa con descrizione dei vari componenti: https://fs.wuerth.it/media/downloads/pdf/brochure_1/staffaggio_fotovoltaico_1/brochure_staffaggio_fotovoltaico_0312.pdf

La nuova struttura consente il montaggio di pannelli di varie dimensioni senza la necessità di eseguire lavori di carpenteria (fori, tagli, saldature e adattamenti vari) grazie alla presenza delle graffe che scorrono sui binari di alluminio (Fig. 4).

4.2 Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici in linea generale si dividono in tre grandi categorie, a seconda del tipo di materiale utilizzato: moduli in silicio monocristallino, moduli in silicio policristallino e moduli a film sottile.

I moduli in silicio monocristallino hanno un rendimento più elevato (12-19%) rispetto agli altri in silicio policristallino e film sottile; hanno un costo più elevato per via del fatto che il silicio ha un più alto grado di purezza e quando aumenta la temperatura il tasso di conversione elettrica diminuisce.

I moduli in silicio policristallino hanno un rendimento inferiore, un costo inferiore e hanno una tolleranza superiore al calore rispetto a quelli in silicio monocristallino.

Le celle a film sottile sono realizzate, invece, mediante applicazione di un film sottile di materiale attaccato ad un substrato; hanno un rendimento inferiore rispetto alle altre tecnologie ma leggermente superiore rispetto agli altri in caso di nuvolosità e ombreggiamenti riuscendo meglio a captare le radiazioni indirette; infine, a parità di potenza, hanno un costo inferiore.

Alcuni produttori cercano di migliorare l'efficienza del modulo integrando alle celle in silicio cristallino degli strati di silicio amorfo. La scelta è ricaduta su un pannello realizzato con tecnologia HIT sviluppata da Panasonic e consistente in wafer ibrido composto da silicio monocristallino e silicio amorfo (Fig. 5). Il cuore di ciascun pannello solare Panasonic HIT® è la cella solare. Nel 1990 gli scienziati di SANYO iniziarono a sviluppare la tecnologia dell'eterogiunzione. Si trattò di un passo avanti rispetto alla classica cella monocristallina, con materiali diversi dal wafer cristallino nella giunzione p-n (l'interfaccia che separa le parti di un semiconduttore sottoposte a drogaggio di tipo differente. [Giunzione P-N, https://it.wikipedia.org/wiki/Giunzione_p-n]).

Quest'invenzione mirò a risolvere una questione centrale della tecnologia solare: la riduzione delle perdite ai margini delle celle. Grazie a questo passo avanti, le celle utilizzate continuano a infrangere i record di efficienza e resa a temperature elevate. Nel marzo del 2016 il primato per l'efficienza di un pannello solare in formato commerciale è stato ottenuto da Panasonic con un pannello di 275W di area di apertura 1.1568 m². Per questo motivo abbiamo scelto il modello *VBHN240SJ25* con le caratteristiche tecniche riportate in tab 1.

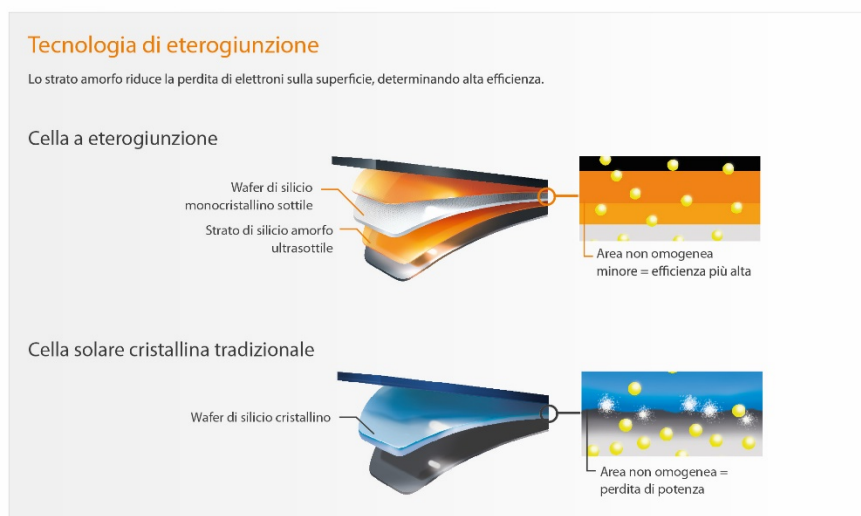


Figura 5. Cella con tecnologia HIT (Panasonic).

Dati di targa del modulo utilizzato (Panasonic VBHN240SJ25)	
Potenza nominale (Pmax) [W]	240
Tensione alla potenza nominale (Vmp) [V]	43,6
Corrente alla potenza nominale (Imp) [A]	5,51
Tensione di circuito aperto (Voc) [V]	52,4
Corrente di corto circuito (Isc) [A]	5,85
Protezione da sovracorrente max. [A]	15
Tolleranza di resa [%]	+10/-0
Massima tensione di sistema [V]	1000
Efficienza modulo (%)	19,0
Temperatura NOCT [°C]	44
Coefficiente della temp. di Pmax [%/°C]	-0,29
Coefficiente della temp. di Voc [V/°C]	-0,131
Coefficiente della temp. di Isc [mA/°C]	1,76

Tabella 1. Caratteristiche tecniche pannello Panasonic VBHN240SJ25.

4.3 Regolatore di carica

I regolatori di carica di solito utilizzati sono del tipo PWM o MPPT. I regolatori PWM hanno un costo inferiore e dovrebbero essere utilizzati solo quando tensione di pannello e tensione batteria sono pressoché equivalenti; nel momento in cui ciò non avviene il regolatore PWM non riesce a sfruttare a pieno l'energia prodotta dai moduli. In questo caso è bene utilizzare dei regolatori MPPT.

Il regolatore di carica è stato individuato tenendo in considerazione i seguenti requisiti:

- Regolazione della carica con algoritmo MPPT [Castagnozzi, 2011];
- Possibilità di interrogare il regolatore per la visualizzazione dei valori elettrici dello stesso;
- Possibilità di poter regolare i diversi parametri elettrici del regolatore;
- Possibilità di distacco del carico, utile nel caso in cui le apparecchiature alimentate avessero bisogno di un riavvio;
- Possibilità di installare diversi tipi di moduli fotovoltaici avendo a bordo del regolatore due ingressi MPPT; i due ingressi possono essere gestiti singolarmente oppure in parallelo. L'esigenza di installare due tipi diversi di moduli potrebbe nascere dal fatto di dover sostituire dei moduli fotovoltaici su una stazione e non riuscire a reperire lo stesso tipo di modulo;
- Ampia scelta nell'utilizzo di diversi accumulatori, compresi i più moderni ma ancora onerosi accumulatori agli ioni di Litio;
- Ampio intervallo di potenze installabili.



Figura 6. Regolatore Western WRM30.

La scelta è ricaduta su un regolatore della “Western & Co” mod. WRM30 (Fig. 6) siccome risponde ai requisiti che ci eravamo prefissi:

- Doppio regolatore MPPT;
- Interrogazione del regolatore tramite protocollo MODBUS-RTU (il regolatore è dotato di porta RS485);
- Possibilità di impostare i vari parametri del regolatore sia agendo sui suoi tasti che tramite il protocollo MODBUS-RTU;
- Possibilità di distacco del carico tramite protocollo MODBUS-RTU (tale richiesta è stata esaudita dal costruttore grazie ad una personalizzazione ad hoc del firmware del regolatore);
- Il regolatore essendo dotato di doppio ingresso MPPT riesce a gestire due stringhe di moduli fotovoltaici anche di tipologia diversa; i due ingressi MPPT possono, all’occorrenza, essere anche parallelati;
- Il regolatore riesce a gestire diversi tipi di accumulatori (Ermetici AGM, GEL, ad acido libero oppure agli ioni di Litio);
- Il regolatore riesce a supportare potenze in ingresso da un minimo di 225W@12V sul singolo canale fino a 1800W@48V sfruttando entrambi i canali come riportato in Fig. 7.

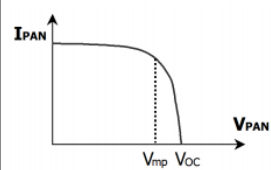
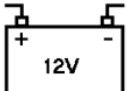
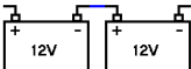
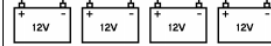
Tensione nominale batteria			Caratteristiche stringhe PV @25°C (per canale)	Range
	12V		V_{mp} : tensione alla massima potenza V_{oc} : tensione circuito aperto P_{MAX} : massima potenza N_{cs} : numero di celle in serie ¹	$15,0V \leq V_{mp} \leq 30V$ $< 40V$ $< 225W$ $36 \leq N_{cs} \leq 60$
	24V		V_{mp} : tensione alla massima potenza V_{oc} : tensione circuito aperto P_{MAX} : massima potenza N_{cs} : numero di celle in serie ¹	$30,0V \leq V_{mp} \leq 60V$ $< 80V$ $< 450W$ $72 \leq N_{cs} \leq 112$
	48V		V_{mp} : tensione alla massima potenza V_{oc} : tensione circuito aperto P_{MAX} : massima potenza N_{cs} : numero di celle in serie ¹	$60,0V \leq V_{mp} \leq 120V$ $< 140V$ $< 900W$ $144 \leq N_{cs} \leq 168$

Figura 7. Potenza massima del regolatore WRM30 in funzione della tensione degli accumulatori.

4.4 Accumulatori

Gli accumulatori rappresentano la riserva di energia che deve essere resa disponibile nel periodo notturno e soprattutto nei periodi di condizioni meteorologiche avverse in cui è necessario garantire una continuità alla trasmissione dei dati.

Le caratteristiche che contraddistinguono un buon accumulatore sono:

- lunga vita operativa in condizioni di lavoro (numero di cicli di carica/scarica);
- elevata efficienza (rapporto tra energia fornita ed energia immagazzinata);
- buona resistenza alle escursioni termiche;
- bassa manutenzione (costi di manutenzioni ridotti per il gestore);
- ridotta autoscarica (nel caso in cui gli accumulatori rimangano per brevi periodi a magazzino).

La nostra scelta è ricaduta sugli accumulatori della FIAMM (brand consolidato nella produzione di accumulatori) modello SMG130 12V (Fig. 8) con vita utile attesa di 15 anni sotto carico ciclico. Trattasi di accumulatori con elettrolita in Gel che non presentano il problema di eventuali sversamenti di acido libero. Inoltre, essendo dotati di doppia maniglia di sollevamento, riducono i rischi da movimentazione manuale di carichi. Gli accumulatori scelti, infine, sono del tipo a piastre tubolari e quindi riescono a far fronte alle applicazioni più critiche in termini di prestazioni e condizioni di utilizzo.



Figura 8. Accumulatori installati presso il sito di Busso.

5. Dimensionamento elettrico di una stazione di monitoraggio

Nell'effettuare il dimensionamento dei vari componenti è necessario definire l'esatto assorbimento elettrico della stazione e stabilire l'autonomia minima richiesta in caso di scarsa radiazione solare [Castagnozzi, 2011]; in particolare il dimensionamento è stato calcolato tenendo conto dei seguenti parametri (Tab. 2):

Potenza di carico	35 watt
Ore/giorno di funzionamento	24 H
Corrente di carico	1,45 A
Massima profondità di scarica degli accumulatori	80%
Giorni di autonomia in assenza di radiaz. solare	6 gg
Tensione accumulatori	24 V
Azimuth pannelli solari	0 °
Tilt pannelli solari	60 °
Modulo fotovoltaico utilizzato	Panasonic N240
Accumulatori in dotazione	FIAMM SMG130 12V

Tabella 2. Parametri sui quali si è basato il dimensionamento elettrico.

e della radiazione media mensile ($\text{Wh/m}^2/\text{day}$) per la località di Busso (CB) utilizzando il modello di calcolo ENEA-SOLTERM (Tab. 3):

Mese	$\text{Wh/m}^2/\text{day}$
Gennaio	3370
Febbraio	3971
Marzo	4240
Aprile	4563
Maggio	4674
Giugno	4726
Luglio	4758
Agosto	4710

Settembre	4430
Ottobre	4032
Novembre	3164
Dicembre	2988
Media annuale	4135
Mese peggiore	2988

Tabella 3. Radiazione media mensile località Busso.

Dal calcolo effettuato [Castagnozzi A., 2011] occorrerebbero 2 pannelli solari Panasonic N240 per soddisfare l'energia assorbita dal carico e consentire una ricarica completa delle batteria (in caso di accumulatori completamente scarichi) in circa 13 giorni nel mese peggiore (Dicembre) con piena insolazione; al fine di consentire una ricarica più veloce e avendo la possibilità di installare pannelli aggiuntivi si è optato per un numero totale di 4 pannelli che garantiscono una carica completa (alle stesse condizioni di cui prima) in circa 3 giorni. Siccome il regolatore di carica utilizzato presenta un doppio controller MPPT si è scelto di gestire separatamente 2 stringhe composte ciascuna da 2 pannelli fotovoltaici in parallelo tra di loro.

Con questa configurazione la tensione di massima potenza (V_{mp}) fornita all'ingresso di ciascun MPPT risulta essere di circa 43,60 V misurata a condizioni standard STC (così come rilevato dai dati di targa del modulo fotovoltaico utilizzato). Affinché i controller funzionino correttamente è necessario appurare che durante il normale esercizio dell'impianto non vengano mai fornite tensioni al di fuori dell'intervallo 30V - 60 V (intervallo definito in funzione della tensione del pacco batterie). Per questo motivo si è proceduto alla verifica delle tensioni dei pannelli alle temperature minime e massime cui possono essere esposti accertandoci che il voltaggio fornito in ingresso ai controller MPPT rientri sempre nell'intervallo precedentemente specificato. In particolare sono stati rilevati i seguenti valori: 48,3 V a -10°C e 37,7 a 70°C . Un'ulteriore verifica è stata effettuata sulla tensione a vuoto (V_{oc} massima) ammessa dal regolatore (150 V) rilevando i seguenti valori: 56,9 V a -10°C e 46,5 a 70°C .

Alla pari di quanto verificato per le tensioni, occorre accertarsi che la massima corrente fornita al controller MPPT non superi i 13A (come da specifiche del regolatore utilizzato). Dai dati di targa dei pannelli utilizzati si evince che la corrente di massima potenza (I_{mp}) di ciascuna stringa risulta pari a 11 A, al di sotto, quindi, della soglia massima consentita.

Dai calcoli effettuati, tenendo conto delle specifiche imposte e delle caratteristiche tecniche di pannelli e accumulatori utilizzati, l'impianto fotovoltaico dovrà essere composto, quindi, da 4 moduli fotovoltaici e 4 accumulatori che forniranno una capacità totale di circa 260Ah@24V. La scelta di realizzare un pacco batteria a 24 V deriva dal fatto che in questa configurazione il regolatore riesce a supportare in ingresso una potenza massima di 450 W a canale MPPT (Fig. 7).

6. Schema impianto elettrico

Il regolatore presenta una morsettieria così come riportato in Figura 9:

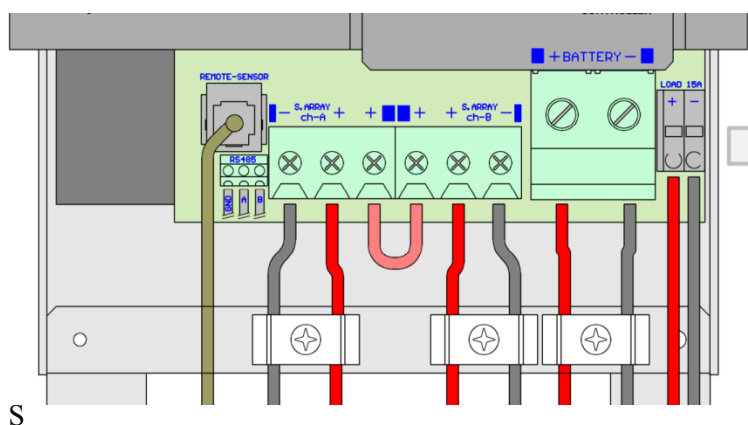


Figura 9. Schema morsettieria regolatore WRM30.

Sui morsetti “S.Array ch-A” e “S.Array ch-B” vengono collegate le due stringhe di moduli; i due morsetti + centrali (Ponticello rosa) vengono collegati tra di loro se si vogliono parallelare i due MPPT.

Ai morsetti *Battery* vanno collegati gli accumulatori e tal proposito si ricorda che è buona norma installare un fusibile in partenza dagli accumulatori in modo che un eventuale corto non possa produrre eventuali danni irreparabili alle apparecchiature. Sui morsetti *load* andrà collegato il carico che sarà alimentato con la stessa tensione del pacco batterie installato (24 V). Avendo necessità di alimentare dispositivi a 12 V si è reso necessario adoperare dei DC-DC (24/12 V). Il morsetto *remote sensor* serve per collegare il sensore temperatura sulle batterie garantendo la compensazione in temperatura della tensione di fine carica del sistema (VEoC); tale sensore è collegato direttamente alla batteria (in prossimità di essa) in modo che il regolatore rilevi la sua giusta tensione evitando che sia inclusa nella misura la caduta di tensione dovuta alla lunghezza dei cavi elettrici. I morsetti *RS485* consentono di interrogare il regolatore sfruttando il protocollo MODBUS-RTU.

Nelle Fig. 10 e 11 sono rappresentati rispettivamente il quadro elettrico realizzato ed il relativo schema elettrico presso la stazione di BSSO:



Figura 10. Quadro elettrico realizzato presso la stazione di Busso.

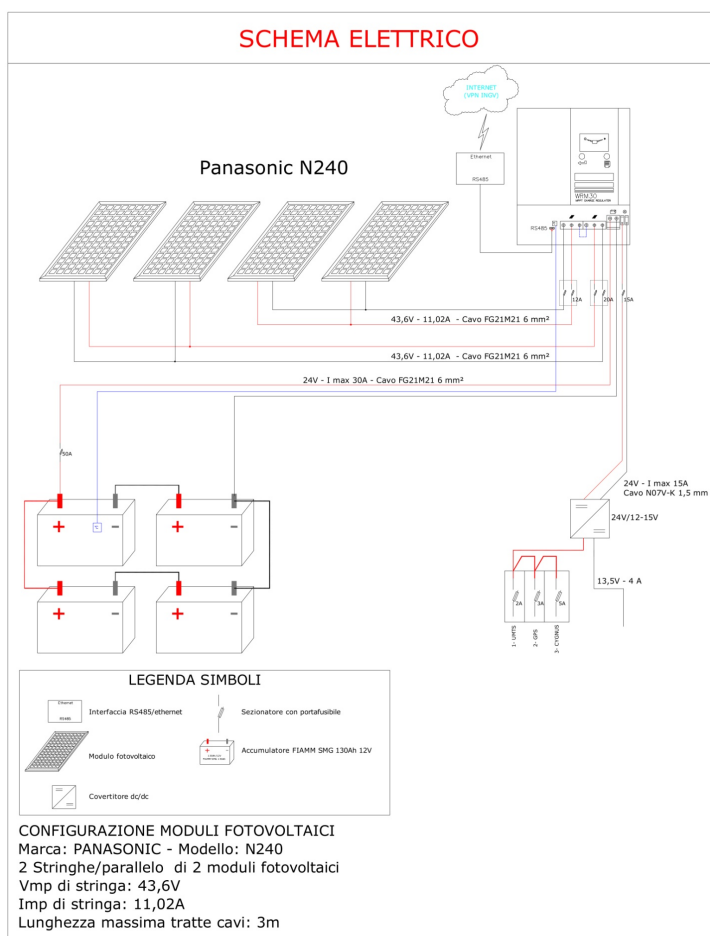


Figura 11. Schema elettrico.

7. Architettura sistema di acquisizione dati

Al fine di rispondere agli obiettivi di progetto, quali il controllo remoto delle condizioni di funzionamento degli impianti elettrici, si è implementata l'architettura hardware e software rappresentata in Fig. 12.



Figura 12. Architettura software sistema di acquisizione valori elettrici.

Ogni regolatore presente sulla singola stazione di monitoraggio è interrogabile localmente attraverso l'interfaccia seriale RS485 utilizzando il protocollo MODBUS-RTU. Dovendo effettuare interrogazioni da remoto si è reso necessario utilizzare un convertitore RS485-Ethernet come il modello ATC-100 della ATC Technology che accetta connessioni su una porta TCP definibile dall'utente ed inoltra tutto il traffico di ingresso e uscita direttamente all'interfaccia RS485 e quindi al regolatore MPPT. Presso la sede Irpinia dell'INGV, invece, è stata implementata una macchina virtuale su infrastruttura VMWare ESXi e sistema operativo Debian 8. La macchina ospita: il server web Apache che consente la pubblicazione dell'applicativo web (facilmente accessibile da browser senza, quindi, necessità di software aggiuntivi) per la visualizzazione dei grafici e dei parametri dei vari regolatori aggiornati in tempo quasi reale; lo script PYTHON che si preoccupa di interrogare circa ogni 3 minuti (intervallo ritenuto più che sufficiente per avere informazioni sull'andamento nel tempo dei vari valori elettrici) ciascun regolatore remoto al fine di recuperarne i parametri elettrici e archivarli localmente in file giornalieri in formato .csv.

7.1 Protocollo MODBUS

Il protocollo MODBUS definisce formato e modalità di comunicazione tra un "master" che effettua interrogazioni (come lo script python accennato nel paragrafo precedente) e uno o più "slave" che rispondono ad esse (i regolatori MPPT nel nostro caso). Le richieste e le relative risposte prendono il nome di transazioni e sono del tipo domanda/risposta diretta al singolo slave (come nel nostro caso) oppure broadcast in cui il messaggio viene inviato a tutti i dispositivi collegati al bus. Affinché possano avvenire le comunicazioni tramite MODBUS vanno definiti almeno i seguenti parametri:

- indirizzo del nodo a cui inviare la richiesta/domanda;
- il codice della funzione che si intende eseguire;
- il formato dei dati che vengono scambiati;
- il controllo d'errore.

L'indirizzo del nodo è un codice numerico che serve ad identificare univocamente il dispositivo su un bus e serve al nodo stesso per capire se è il destinatario di una certa richiesta/domanda. Ogni transazione MODBUS ha inizio proprio con i byte che rappresentano questo indirizzo. I regolatori MPPT della Western hanno un codice di default pari a 16 che in rappresentazione esadecimale equivale a "0x10"

Il codice della funzione serve a selezionare l'operazione che si vuole venga eseguita dal nodo slave. I codici delle funzioni disponibili per i regolatori MPPT utilizzati sono:

- 0x03 - Per la lettura dei registri interni;
- 0x10 - Per la scrittura dei registri interni.

Il formato dei dati definisce le dimensioni dei registri, i loro indirizzi, la loro rappresentazione binaria e come i relativi valori vanno interpretati. Per esempio nei regolatori di carica utilizzati esistono diversi registri interni ciascuno dei quali memorizza l'informazione relativa ad uno specifico parametro elettrico. Consultando le specifiche del regolatore (vedi Allegato 1) si può subito comprendere che esiste, ad esempio, un registro denominato “*_VbatLoc*” che consente di risalire alla tensione delle batterie moltiplicando il valore in esso contenuto per il valore 0,02.

Il controllo d'errore, invece, consente al dispositivo di verificare che la sequenza di bit ricevuti (che costituisce ad esempio la richiesta del “master”) non sia stata alterata da eventuali interferenze. Questo controllo viene effettuato apponendo alla fine del messaggio da trasmettere il codice di ridondanza ciclico calcolato mediante l'algoritmo CRC16. Alla ricezione del messaggio il nodo “slave” esegue a sua volta l'algoritmo CRC16 e in caso di assenza di errori questo dovrà essere identico a quello calcolato dal mittente (in caso di errori lo slave si rifiuterà di eseguire l'operazione richiesta).

L'allegato 1 del seguente RT riporta le specifiche complete relative al protocollo MODBUS-RTU implementato nei regolatori Western WRM30. In particolare, a titolo esemplificativo, si riporta un esempio di lettura dei registri *_VbatLoc* e *_VbatRem* (Fig. 13).

```

Example FC 0x03 (Read two registers from address 0x0026, _VbatLoc e _VbatRem )
Tx-Command(Hex) : "1003002600022681"
Explanation:
10   - Node Address
03   - Function Code
0026 - Starting Address
0002 - Quantity of Register to Read
2681 - CRC

Rx-Response(Hex) : "10030405DA0000DA05"
Explanation:
10   - Node Address
03   - Function Code
04   - Byte count
05DA - first Register value => conversion: 1498 * 0,02V = 29,96V
0000 - second Register value => conversion: 0000 * 0,02V = 00,00V
DA05 - CRC

```

Figura 13. Esempio lettura registri *_VbatLoc* e *_VbatRem* mediante protocollo MODBUS.

In particolare si noti come viene costruito il messaggio MODBUS:

- **10** è la rappresentazione esadecimale del codice univoco (16) assegnato di default ai regolatori MPPT;
- **03** è la funzione che si intende attivare; nel caso dei regolatori MPPT questa funzione consente di leggerne i registri interni;
- **0026** è l'indirizzo corrispondente al registro che si intende leggere (*_VbatLoc*);
- **0002** indica il numero di registri da leggere; in questo caso 2 perché oltre a *_VbatLoc* si vuole conoscere anche il valore del registro *_VbatRem* che ha indirizzo adiacente (0027); in questo caso si potevano realizzare 2 richieste singole oppure come mostrato in questo esempio un'unica richiesta ma chiedendo di leggere 2 registri;
- **2681** rappresenta la stringa CRC 16 calcolata su tutto il messaggio; vale a dire su: 0x100300260002. Il messaggio che quindi sarà trasmesso al regolatore sarà il seguente: 0x1003002600022681.

La Fig. 13 mostra inoltre la risposta che il regolatore fornisce a seguito dell'interrogazione. Interpretando correttamente i valori di risposta si riescono quindi a quantificare i vari valori elettrici del regolatore.

7.2 Lo script PYTHON

Per l'interrogazione periodica dei vari regolatori MPPT e l'archiviazione dei valori elettrici letti è stato realizzato uno script in PYTHON 3. Lo script prevede i seguenti parametri di ingresso:

- sigla stazione di monitoraggio presso la quale è installato il regolatore da monitorare;
- indirizzo IP del convertitore RS485-ETHERNET remoto che si intende interrogare;
- Porta TCP sulla quale il convertitore accetta connessioni in ingresso;

- directory all'interno della quale verranno salvati i file .csv che storicizzano i vari valori elettrici acquisiti.

Lo script viene lanciato automaticamente dal servizio crontab di Linux ogni 3 minuti; per ogni stazione di monitoraggio è presente una entry nel crontab.

Lo script utilizza le librerie standard *os* e *sys* di PYTHON oltre alla libreria *socket* grazie alla quale vengono realizzate le connessioni TCP verso i convertitori remoti. Ad ogni esecuzione lo script interroga i regolatori MPPT remoti, ne acquisisce i parametri elettrici e salva le informazioni nei relativi file .csv. Tali file saranno poi letti ed interpretati dall'applicativo web al fine di monitorare in tempo quasi reale lo stato di ciascun parametro elettrico e di produrre grafici sul loro andamento. Per consentire, inoltre, l'azzeramento dei registri quali *Energia Prodotta/Energia utilizzata* e il distacco del carico per 30 secondi sono stati realizzati appositi script PYTHON la cui esecuzione è attivabile dalla web-application.

8. Applicativo web

Per lo sviluppo dell'applicativo web per il monitoraggio dei parametri elettrici delle stazioni sono stati utilizzati:

- i linguaggi **HTML5** e **JavaScript** per la creazione dell'interfaccia grafica
- il linguaggio **PHP** per la parte elaborativa
- alcune **librerie JavaScript**, in particolare:
 - *moment.js*, per la gestione delle date
 - *jquery.js*, per la gestione del DOM (controllo degli oggetti sulle pagine)
 - *papaparse.js*, per il trattamento dei dati (parsing) in formato csv
 - *highcharts.js*, per la creazione dei grafici dei dati dei parametri elettrici acquisiti

8.1 Struttura della web-application

La struttura della web-application è descritta di seguito:



Home

Lista delle stazioni monitorate



Plotting parametri elettrici della stazione

Pagina dei grafici temporali dei valori dei parametri elettrici monitorati



Info

Pagina che riporta le informazioni sull'intero meccanismo di acquisizione dei parametri elettrici



Settings

Pagina per l'invio dei comandi da remoto al controller MPPT della stazione

Per la creazione della lista delle stazioni monitorate e dei grafici dei relativi parametri elettrici, vengono recuperati i dati scaricati dallo script Python e depositati nella cartella *history* del server web che ospita l'applicazione. Lo schema della cartella *history* è mostrato nella Figura 14:

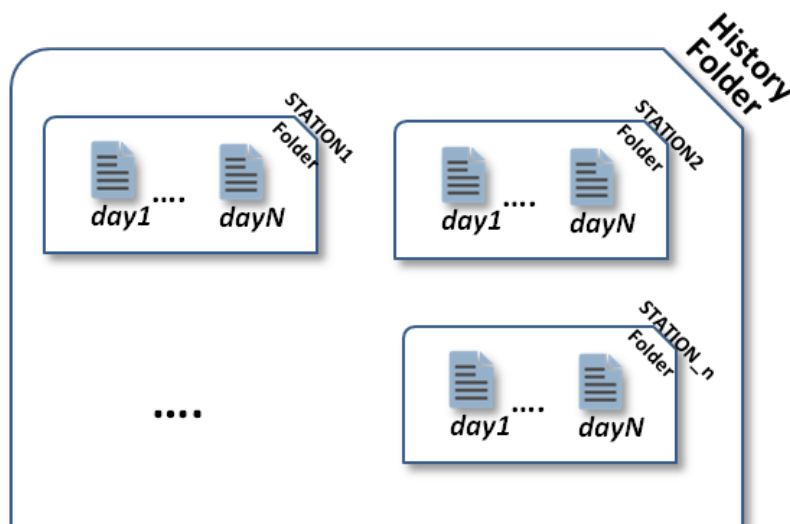


Figura 14. Schema della directory history, All'interno della cartella sono ospitate le cartelle, stazione per stazione, che ricevono i file giornalieri con la sequenza dei campioni rilevati.

8.2 Le pagine della web-application

HOME - è la pagina che riporta la lista delle stazioni monitorate:

Lista Stazioni Come acquistiamo questi dati?

Numero stazioni: 3

Nome Stazione	Tensione Batteria	Corrente di Carico	Corrente CH1	Corrente CH2	Tensione PV1	Tensione PV2	Temp Interna	Temp Batteria	Energia Usata*	Energia Prodotta*	Ultima Lettura	Ultimo Reset
BSSO	25.56 V	1.45 A	0.38 A	0.26 A	38.84 V	39.32 V	12.48° C	7.8° C	5869 Wh	5183 Wh	2018-02-07 14:18:02	2018-02-01 12:52:23
TEST	12.76 V	0.02 A	0.0 A	0.0 A	0.16 V	0.16 V	24.57° C	25.55° C	0 Wh	0 Wh	2018-02-02 15:36:01	2018-02-01 12:52:42
VITU	26.8 V	0.84 A	1.75 A	1.8 A	45.44 V	43.28 V	16.95° C	3.8° C	3229 Wh	3247 Wh	2018-02-07 14:18:02	2018-02-01 12:53:00

(*) i parametri 'Energia Prodotta' ed 'Energia Usata' sono i valori dei registri interni al regolatore, che si autoincrementano, e che hanno una dimensione di 2 byte ciascuno. Il valore massimo rappresentabile e' quindi 65535 Wh. Raggiunto questo limite il registro si resetta. Il reset puo' avvenire anche manualmente; in questo caso la colonna 'Ultimo Reset' mostra la data in cui e' stato effettuato manualmente il reset.

Figura 15. Home page applicativo web.

La lista (Fig. 15) riporta, oltre ai nomi delle stazioni, i valori delle grandezze elettriche relativi all'ultimo campione acquisito. La pagina si aggiorna automaticamente con la rilettura degli ultimi campioni ad intervalli di tempo regolari (fissati a 3 min) ed evidenzia anche la presenza di eventuali problemi sulla ricezione dei parametri, sulla bassa tensione delle batterie, etc. mostrando un'icona contrassegnata con un punto esclamativo.

PLOTTING - è la pagina che serve per produrre i grafici dei parametri elettrici e di temperatura della specifica stazione:

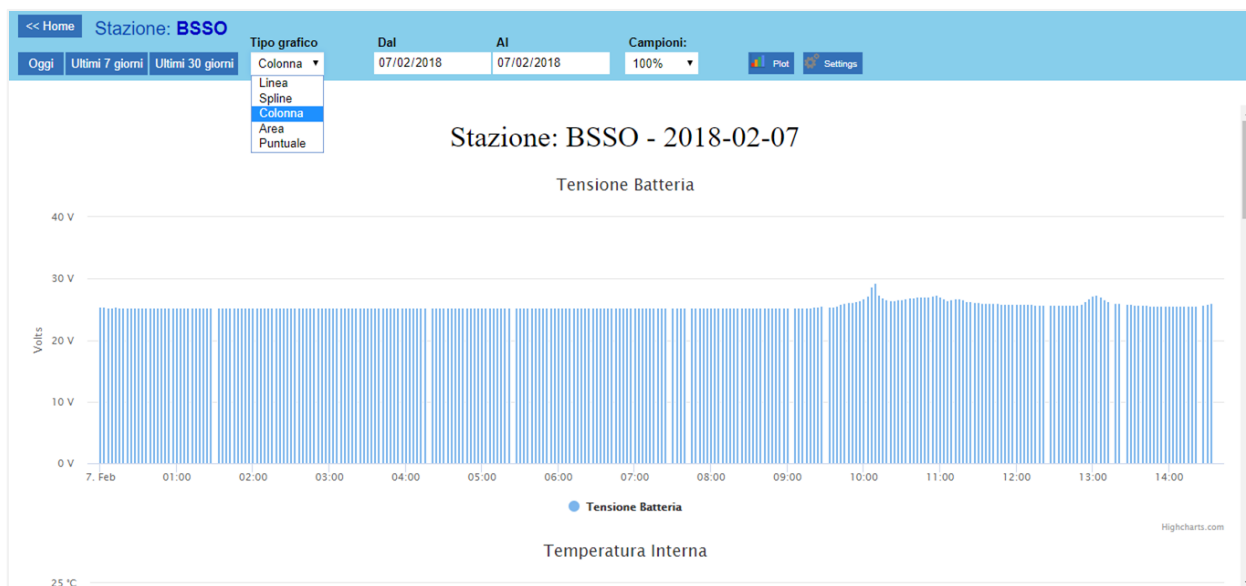


Figura 16. Pagina *Plotting* dei grafici relativi alla specifica stazione.

Per ogni stazione selezionata dalla *Home page* viene aperta la pagina (Fig. 16) che mostra nel dettaglio i grafici temporali dei seguenti parametri monitorati (quelli di nostro interesse; in realtà il regolatore consente di monitorarne anche altri):

- Tensione batteria (V):** tensione ai capi della batteria.
- Temperatura interna (°C):** temperature interna dell’elettronica del regolatore.
- Corrente di carico (A):** corrente fornita al carico.
- Corrente CH1 & CH2 (A):** correnti che ciascun controller MPPT sta trasferendo agli accumulatori.
- Tensione PV1 & PV2 (V):** tensioni di ingresso a ciascun controller MPPT.
- Temperatura batteria (°C):** temperatura ambiente misurata tramite sensore a contatto con gli accumulatori.
- Energia prodotta* (Wh):** energia totale prodotta da quando il regolatore è stato installato o dall’ultimo azzeramento dei registri interni.
- Energia usata* (Wh):** energia totale assorbita dal carico da quando il regolatore è stato installato o dall’ultimo azzeramento dei registri interni.

(*) i parametri ‘Energia Prodotti’ ed ‘Energia Usata’ sono i valori di registri interni al regolatore, che si autoincrementano, e che hanno una dimensione di 2 byte ciascuno. Il valore massimo rappresentabile è quindi 65535 wh. Raggiunto questo limite il registro si resetta. Il reset può avvenire anche manualmente; in questo caso la colonna ‘Ultimo reset’ mostra la data in cui è stato effettuato manualmente il reset.

La pagina *Plotting* si apre mostrando i grafici relativi ai parametri registrati dalla mezzanotte del giorno corrente.

È possibile scegliere un intervallo temporale da graficare tramite tre pulsanti predefiniti:

- “**Oggi**”
- “**Ultimi 7 giorni**”
- “**Ultimi 30 giorni**”

in alternativa, si possono configurare esattamente i due estremi dell’intervallo temporale di interesse tramite gli appositi controlli. È anche possibile scegliere il livello di dettaglio del plot tramite l’impostazione della percentuale di campioni da considerare nel grafico utilizzando la lista a discesa “*Campioni*” settabile dal 2% (circa 10 campioni al giorno) al 100% (480 campioni al giorno con una lettura di un campione ogni 3 minuti da parte dello script python). Per gli intervalli temporali preimpostati, il livello di dettaglio è settato automaticamente in modo da garantire un plot veloce. La scelta di maggior dettaglio, e quindi una percentuale alta di campioni da considerare, può influire sui tempi di creazione dei grafici. Tale scelta non

apporta reali benefici sulla visualizzazione dell'andamento dei parametri nel tempo. È quindi consigliabile affidarsi alle percentuali determinate automaticamente o se necessario, restringere l'intervallo di giorni da graficare.

La lista a discesa "Tipo grafico" permette di scegliere la modalità di plotting: "Linea", "Spline", "Colonna", "Area" e "Puntuale". Il valore impostato di default è "Colonna" che è il tipo di grafico che meglio mostra l'andamento generale dei parametri e mette in evidenza, a colpo d'occhio, eventuali interruzioni nell'acquisizione dei valori come anche bruschi abbassamenti o innalzamenti degli stessi che potrebbero indicare malfunzionamenti o problemi sulla stazione.

Dalla questa pagina è possibile raggiungere, tramite il pulsante "Settings", quella per l'invio di comandi al regolatore MPPT installato sulla stazione selezionata.

INFO - è la pagina che riporta le informazioni sull'intero meccanismo di acquisizione dei parametri elettrici:

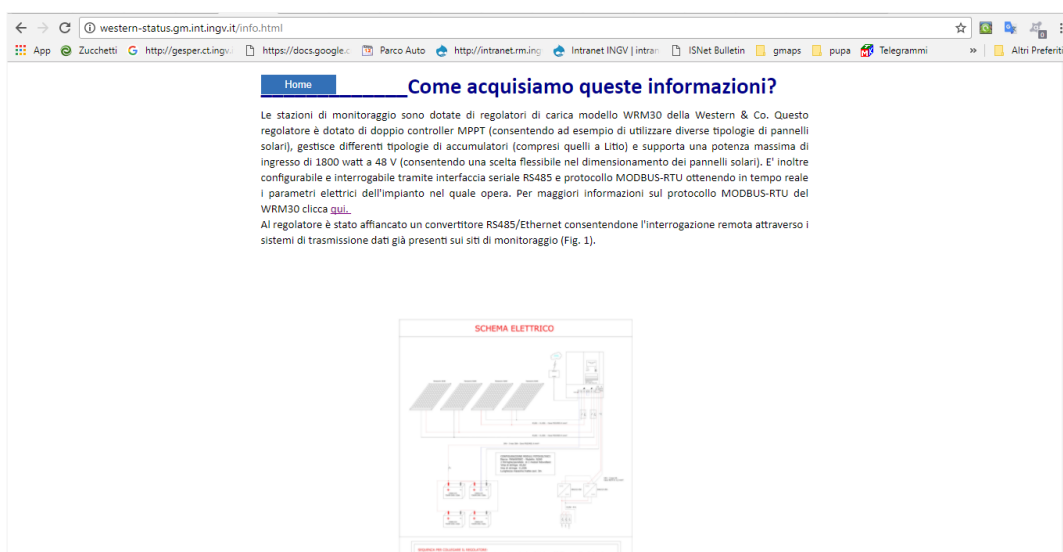


Figura 17. Pagina descrittiva sul sistema hardware/software realizzato.

La pagina *Info* (Fig. 17) riporta informazioni sul come i parametri vengono acquisiti, indicando anche l'hardware utilizzato per la realizzazione del sistema e il meccanismo di acquisizione.

SETTINGS - (Fig. 18): è la pagina per l'invio di comandi ai regolatori MPPT remoti installati sulle stazioni. Tramite questa pagina è possibile inoltrare il comando per il distacco del carico (della durata di 30 secondi), che permette ad esempio il riavvio dei dispositivi collegati come anche resettare i registri interni di un regolatore, come ad esempio quelli per il calcolo dell'energia prodotta e dell'energia utilizzata. L'invio di un comando al regolatore è protetto da password. La password è conosciuta solo da personale autorizzato per questioni di sicurezza.



Figura 18. Form della pagina *Settings* che permette l'invio dei comandi al regolatore MPPT della stazione selezionata.

9. Esempi di funzionamento del sistema

Nella Fig. 19 è riportato un mese di dati rilevati. È possibile notare che non si sono verificate interruzioni dovute a indisponibilità di energia elettrica e che nel periodo 27-29 dicembre 2017 c'è stata quasi totale assenza di insolazione. Il 30 dicembre, non appena è stato possibile (ricomparsa del sole), gli accumulatori si sono nuovamente ricaricati. Grazie ai risultati raccolti si può notare come la corrente in ingresso ai singoli MPPT solo nella giornata del 30 dicembre 2017 abbia avuto un maggiore picco sul singolo canale in ingresso pari a circa 14,5 A dovuto ad una maggiore richiesta di energia a seguito di una scarica parziale degli accumulatori.



Figura 19. Grafico tensione batteria e corrente di carica.

10. Conclusioni

Il sistema si è rivelato molto utile nel monitoraggio delle condizioni di funzionamento degli impianti elettrici realizzati presso le stazioni multiparametriche. Inoltre, proprio presso la stazione di BSSO, tra il 18 e il 19 febbraio 2018 (Fig. 20) è stato possibile indirizzare la diagnosi di guasto verso un probabile malfunzionamento all'acquisitore sismico e non del sistema di alimentazione siccome la corrente di carico non risultava conforme ai consumi stimati per la specifica stazione.



Figura 20. Grafico corrente di carico della stazione di BSSO.

11. Ringraziamenti

Si ringraziano i colleghi Antonino Memmolo, Felice Minichiello, Franco Migliari per il contributo dato all'installazione dei vari componenti sulla stazione in test di Busso; l'Ing. Alberto Delladdio per averci supportato nelle procedure di acquisto del materiale adoperato e l'Ing. Gaetano Riccio per i suggerimenti tecnici nella fase di sviluppo software.

Bibliografia e riferimenti esterni

- Castagnozzi A., (2011). *Dimensionamento elettrico di una stazione di acquisizione dati*. Rapporti Tecnici INGV, n.208, 2011.
- Groppi F., Zuccaro C., (2002). *Impianti solari fotovoltaici a norme CEI*. Editoriale Delfino.
- Battisti R., Barile R., Ferro P., Gamberale M., (2000). *I sistemi fotovoltaici progettazione tecnico – architettonica*. ISES-Italia, Verona. Foton International.
- Il protocollo MODBUS* - <https://it.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- Specifiche protocollo MODBUS-RTU su RS485 - regolatore WRM30*. Allegato 1
- <http://www.casasoleil.it/energieRinnovabili/irraggiamento.htm>
- http://www.energongroup.com/it/energie-alternative_18.html
- http://www.marconi-galletti.it/solare/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=25
- <http://www.solaritaly.enea.it/index.php>
- <http://www.itishertz.it/solare/progettazione.htm>
- <http://www.enerpoint.it/solare/fotovoltaico/tecnologia/cella-fotovoltaica.php>
- <http://www.ourearthome.com/energia-alternativa/energia-solare/inverter-fotovoltaico/>
- http://it.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation
- <http://www.itchiavari.org/chimica/lab/accumpb.html>
- <http://www.fullwavemarine.com/AGMBatteryinfo.html>
- <http://www.museoenergia.it/glossario.php?idvoce=16>
- Giunzione P-N, https://it.wikipedia.org/wiki/Giunzione_p-n

Allegato 1 - Specifiche protocollo MODBUS-RTU su RS485 - regolatore WRM30

Specification for RS485 communication with WRM30 (rev Fw: 1.50)

Physical Bus: RS485
 Used protocol: MODBUS-RTU
 Serial-Port Configuration:
 Baud: 9600
 Data-bit: 8
 parity: even
 stop-bit: 1
 handshake: none

Function code implemented:
 0x03 Read Holding Registers
 0x10 Write Multiple Registers

Notes:
 Wait for at least 300ms after the response to a command
 Timeout for the response of at least 300ms
 ModBus specification: <http://www.modbus.org/specs.php>

Register Address			Description	Allowed values	Conversion
Dec	Hex	Register Name			
REGISTERS OF READING AND WRITING (accessible only FC 0x10, 0x03)					
0	0000	EE_Setup_VEOC	End of charge voltage @ 25°C for kind of battery	0..10	0 => Flood: $V_{EOC(25)} = 14,80V * K_{SYS}^1$ 1 => Seal: $V_{EOC(25)} = 14,40V * K_{SYS}^1$ 2 => Leonardo: $V_{EOC(25)} = 14,40V * K_{SYS}^1$ 3 => Lithium: $V_{EOC} = 14,00V * K_{SYS}^1$ 4 => Lithium: $V_{EOC} = 14,10V * K_{SYS}^1$ 5 => Lithium: $V_{EOC} = 14,20V * K_{SYS}^1$ 6 => Lithium: $V_{EOC} = 14,30V * K_{SYS}^1$ 7 => Lithium: $V_{EOC} = 14,40V * K_{SYS}^1$ 8 => Lithium: $V_{EOC} = 14,50V * K_{SYS}^1$ 9 => Lithium: $V_{EOC} = 14,60V * K_{SYS}^1$ 10 => Lithium: $V_{EOC} = 14,70V * K_{SYS}^1$
1	0001	EE_Setup_VLB	Low battery in Voltage threshold	0..11	$V_{lb} = (10,80V + (EE_Setup_VLB * 8 * 0,02V)) * K_{SYS}$
2	0002	EE_Setup_VELB	Low battery out Voltage threshold	0..7	0 => Auto: $V_{elb} = V_{EOC} - 0,20V * K_{SYS}$ $V_{elb} = (12,56V + (EE_Setup_VELB * 8 * 0,02V)) * K_{SYS}$

3	0003	EE_Setup_LoadMode	Load operation	0..18	0 => always ON 1..16 => ON hours after sunset 17 => ON only at Night 18 => ON only at Day
4	0004	EE_Setup_Vnight	Sunset threshold	0..3	$V_{night} = 2,0V + EE_Setup_Vnight * 1,28V$
5	0005	EE_Setup_Algo	MPPT Algorithm	0..2	0 => Auto 1 => Paralleled 2 => Independent
6	0006	EE_Setup_Tabs	Hours waiting for entry into Float mode	0..7	$Tab_s = EE_Setup_Tab_s + 1$
7	0007	FlagRemoteCommand	Flag to execute remote commands	-	bit <7:5><3:1> not used bit 0: Reset counters (registers from 8 to 21, reset to 0 by the firmware) bit 4: Force the Load OFF for 30 sec. Read the register is always 0
8	0008	EE_WhChL	energy charging (register_L)		<EE_WhChH:EE_WhChL> variable 3-byte signed (2's complement) expressed in (Wh)
9	0009	EE_WhChH	energy charging (register_H)		
10	000A	EE_WhPan1L	energy supplied by the PV module ch1 (register_L)		<EE_WhPan1H:EE_WhPan1L> variable 3-byte signed (2's complement) expressed in (Wh)
11	000B	EE_WhPan1H	energy supplied by the PV module ch1 (register_H)		
12	000C	EE_WhPan2L	energy supplied by the PV module ch2 (register_L)		<EE_WhPan2H:EE_WhPan2L> variable 3-byte signed (2's complement) expressed in (Wh)
13	000D	EE_WhPan2H	energy supplied by the PV module ch2 (register_H)		
14	000E	EE_WhLoadL	energy supplied to load (register_L)		<EE_WhLoadH:EE_WhLoadL> variable 3-byte signed (2's complement) expressed in (Wh)
15	000F	EE_WhLoadH	energy supplied to load carico(register_H)		
16	0010	EE_NClcli	number of night events occurred (ie, cycles or days)	0..65535	
17	0011	EE_NLowBatt	number of Low battery event occurred	0..255	
18	0012	EE_NOverLoad	number of Overload event occurred	0..255	
19	0013	EE_NOverTemp	number of Overtemp event occurred	0..255	
20	0014	EE_NOverVolt	number of Overvolt event occurred	0..255	
21	0015	EE_ContaOre	number of hours in which the load is active (both day and night)	0..65535	

22	0016	EE_Setup_IDModBus	MODBUS node address	0..31	IDModBus = EE_Setup_IDModBus + 1
23	0017	_dummy	Not used		
24	0018	_dummy	Not used		
25	0019	_dummy	Not used		
26	001A	_dummy	Not used		
27	001B	_dummy	Not used		
28	001C	_dummy	Not used		
29	001D	_dummy	Not used		
30	001E	_dummy	Not used		
31	001F	_dummy	Not used		

READ-ONLY REGISTERS (accessible only FC 0x03)

32	0020	_Ipwm1	Charging current ch1		$I_{Ch(ch1)} = _Ipwm1 * 0,008A$
33	0021	_Ipwm2	Charging current ch2		$I_{Ch(ch2)} = _Ipwm2 * 0,008A$
34	0022	_Vpan2	Voltage FV string ch2		$V_{pan(ch2)} = _Vpan2 * 0,04V$
35	0023	_Vpan1	Voltage FV string ch1		$V_{pan(ch1)} = _Vpan1 * 0,04V$
36	0024	_ILoad	Load current		$I_{Load} = _ILoad * 0,004A$
37	0025	_Tint	Internal temperature		$T_{int} = (8400 - (_Tint * 3)) / 100$ (reliable range from -10 to +80°C)
38	0026	_VbatLoc	Local Battery Voltage		$V_{batLoc} = _VbatLoc * 0,02V$
39	0027	_VbatRem	Remote Battery Voltage local		$V_{batRem} = _VbatRem * 0,02V$
40	0028	_Tbat	Battery temperature	276..1584	$T_{bat} = (6790 - ((_Tbat \setminus 4) * 20)) / 100$ (measuring range from -11,3 to 54,1°C)
41	0029	_Vbatt	Battery voltage in progress		$V_{batt} = _Vbatt * 0,02V$
42	002A	_VBoCharge	End of charge voltage in progress (temperature compensated)		$V_{BoC} = _VBoCharge * 0,02V$
43	002B	DivisOraTimer	increments each ~260ms from sunset		
44	002C	TimerOre	increments each hour from sunset	0..255 ²	
45	002D	DivisOraFloat	increments each ~260ms from reaching the end of charge		
46	002E	TimerFloat	increments each hour from reaching the end of charge	0..7	
47	002F	FlagService0	Status flags n.1		bit 0: 1 = 12V system (KSYS = 1) bit 1: 1 = 24V system (KSYS = 2) bit 2: 1 = 48V system (KSYS = 4) bit 3: 1 = is in Overtemp

					bit 4: 1 = is in Overload bit 5: 1 = is in Low battery bit 6: 1 = is in Low-Low Battery bit 7: non usato
48	0030	FlagService1	Status flags n.2		bit 0: 1 = Error on the battery temperature sensor bit 1: 1 = Remote sensor voltage battery connected bit 2: 1 = VBoC Float mode in progress bit 3: 1 = VBoC Leo mode in progress bit 4: MPPT Algorithm in progress: 1 = paralleled; 0 = independent bit 5: 1 = Day detected, 0 = Night detected bit 6: 1 = Load ON bit 7: not used
49	0031	IDhdw	indicates the hardware version	1	
50	0032	VerPw	indicates the firmware version		BCD format: nH.nL

² Keys (conversion constant) is obtained by bits bit<2:0> of FlagService0 with the following encode: xxxxxx001 -> Keys = 1
xxxxxx010 -> Keys = 2
xxxxxx100 -> Keys = 4

² Basically the maximum value is equal to the maximum duration of the night.

Example FC 0x03 (Read two registers from address 0x0026, _VbatLoc e _VbatRem)

Tx-Command(Hex): "1003002600022681"

Explanation:

10 - Node Address
03 - Function Code
0026 - Starting Address
0002 - Quantity of Register to Read
2681 - CRC

Rx-Response(Hex): "10030405DA0000DA05"

Explanation:

10 - Node Address
03 - Function Code
04 - Byte count
05DA - first Register value => conversion: $1498 * 0,02V = 29,96V$
0000 - second Register value => conversion: $0000 * 0,02V = 00,00V$
DA05 - CRC

Example FC 0x10 (Write one register at address 0x0004, EE_Setup_Vnight con value = 0x0003)

Tx-Command(Hex): "1010000400010200032785"

Explanation:

10 - Node Address
10 - Function Code
0004 - Starting Address

0001 - Quantity of Register to Write
02 - Byte Count
0003 - Register value => conversion: 2V + 3 * 1,28V = 5,84V
2785 - CRC

Rx-response(Hex): "1010000400014349"
Explanation:
10 - Node Address
10 - Function Code
0004 - Starting Address
0001 - Quantity of Register
4349 - CRC

Rev. 1.5 personalizzata per INGV:
Descrizione: aggiunto un comando richiesto da INGV per spegnere da remoto i loro sistemi (reset).
Di fatto è stato aggiunto un comando su FlagRemoteCommand che disabilita il Load per 30sec e
poi lo riattiva.

Comando di esempio con Address ModBus = 0x01: "011000070001020010A62B"
<NodeAddress=0x01>
<FC=0x10>
<StartingAddress=0x0007>
<QuantityOfRegisterWrite=0x0001>
<ByteCount=0x02>
<RegisterValue=0x0010>
<CRC=A62B>

Risposta: "011000070001B008"
<NodeAddress=0x01>
<FC=0x10>
<StartingAddress=0x0007>
<QuantityOfRegister=0x0001>
<CRC=B008>

Nota: Nel loro caso, è probabile che non facciano in tempo a leggere la risposta in quanto disabilitando il
Load si disalimentano!

--- WESTERN CO --- 06/11/2017 ---

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2018 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia