

POWER CONTROL



Strumento per l'analisi e il monitoraggio della
produzione e dell'autoconsumo di un impianto
fotovoltaico domestico

Saraceni Rodolfo

Indice

Introduzione.....	3
La produzione fotovoltaica.....	3
La massimizzazione dell'autoconsumo.....	3
L'autoconsumo in Italia.....	4
Il quinto Conto Energia.....	5
Progettazione del prototipo.....	6
Il Power Control.....	6
La raccolta dei dati.....	6
L'inverter.....	6
I contatori.....	8
Lo stoccaggio dei dati.....	12
OpenSSH.....	12
Script in Python3.....	12
InfluxDB.....	13
Il monitoraggio dei dati raccolti.....	13
Conclusione e sviluppi futuri.....	15
Bibliografia e sitografia.....	16
Firmware.....	16

Introduzione

La produzione fotovoltaica

La produzione fotovoltaica è una delle principali fonti di energia rinnovabile dell'ultimo decennio, anche grazie alla sua semplicità di installazione e i costi contenuti che ne hanno permesso una diffusione capillare. Alla fine del 2016 gli impianti fotovoltaici italiani producevano circa 19 MW, che nell'intero anno hanno generato circa 22 GWh. Esistono differenti tipologie di pannelli che ne permettono l'installazione nei luoghi più disparati: tetti delle case, coperture di parcheggi, finestre e negli ultimi mesi addirittura strade. I vari impianti possono essere categorizzati in base al numero di pannelli e alla quantità di energia prodotta. Si parte da sistemi che garantiscono produzioni di picco pari a 5.000 kW, fino a impianti di piccola taglia di circa 20 kW. Quest'ultima categoria rappresenta il 90% degli impianti installati in Italia, che costituiscono il 20% della produzione nazionale. Rientrano tra questi i piccoli impianti domestici, cioè con una produzione pari o inferiore a 3 kW.

Grandi aziende o investitori hanno creato grossi impianti che scambiano con la rete grandi quantità di energia, senza utilizzarla direttamente (tecnica dello ritiro dedicato, RD), ma con l'esclusivo intento di guadagnare con la vendita della propria produzione. Allo stesso tempo molti privati, approfittando dei contributi offerti dallo stato (i cosiddetti Conti Energia) hanno installato nel proprio giardino o sul tetto della propria casa dei piccoli impianti atti a soddisfare il fabbisogno energetico quotidiano e allo stesso tempo possono cedere energia alla rete (tecnica dello scambio sul posto, SSP). Questi al 31 Dicembre 2016 risultavano essere 245.293, con una produzione totale di 670 MW^[1]. Queste abitazioni diminuiscono la quantità di energia prelevata dalla rete e nel momento in cui la produzione eccede il fabbisogno la immettono. Ciò ha portato a un calo della richiesta alle centrali o all'estero e un cospicuo aumento della produzione da energie rinnovabili.

In questo quadro bisogna ricordare che i sistemi fotovoltaici permettono l'utilizzo di apparecchiature poste in luoghi difficilmente raggiungibili dalla rete elettrica. Infatti singoli pannelli collegati a batterie per accumulare l'energia prodotta vengono utilizzati per alimentare segnali stradali, ponti radio o sensori sparsi nel territorio.

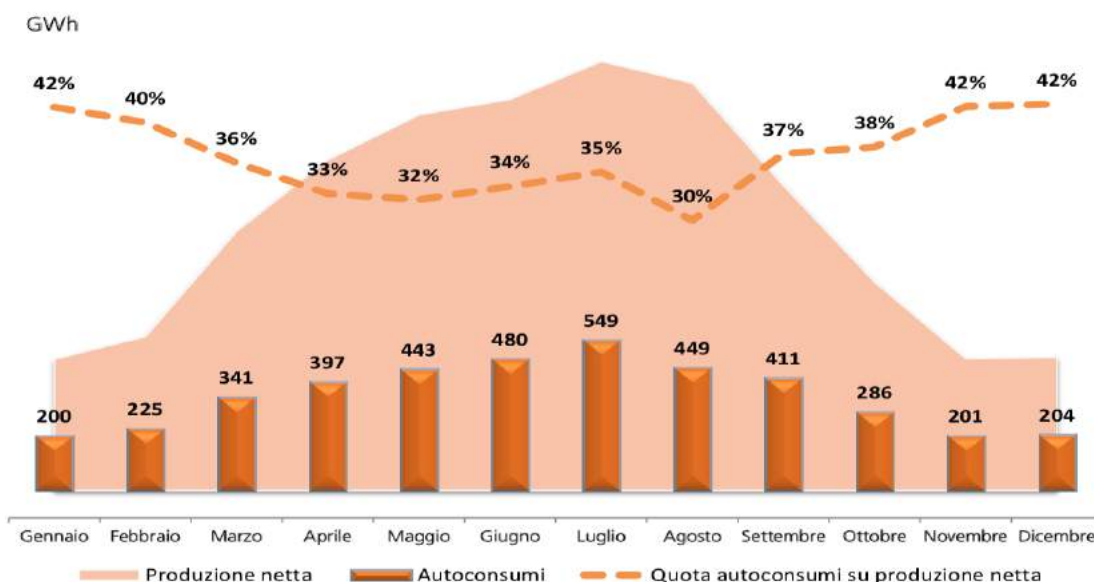
La massimizzazione dell'autoconsumo

Uno degli aspetti più importanti e spesso sottovalutato nei piccoli impianti di produzione fotovoltaici è quello della massimizzazione dell'autoconsumo. Nella maggior parte dei casi, una volta installato un impianto domestico, il cliente tende ad occuparsi esclusivamente della manutenzione straordinaria senza preoccuparsi dei reali benefici che tale sistema possa apportare ai suoi consumi e alle relative spese. L'autoconsumo è quella parte di energia elettrica erogata dall'inverter e utilizzata per il sostentamento energetico dell'edificio. D'altro canto la produzione in surplus, quindi non utilizzata direttamente dall'utenza, viene ceduta alla rete e quindi acquistata dal GSE (Gestore Servizi Energetici). Il prezzo di vendita si aggira intorno al 50-60%^[2] del prezzo di acquisto applicato dai distributori, come Enel, ai clienti privati con impianti di 3kW (considerando un PUN, Prezzo Unico Nazionale, di circa 0,25 €/kWh, al lordo delle imposte e degli Oneri Generali di Sistema e Servizi)^[3]. Viene da sé che realizzare un impianto fotovoltaico di piccola

taglia esclusivamente per la vendita di energia elettrica risulta altamente svantaggioso, inoltre è facilmente intuibile quanto sia conveniente l'autoconsumo, cioè il consumo per il personale fabbisogno, dell'energia prodotta rispetto all'acquisto da un gestore esterno. Semplicemente con il monitoraggio della produzione e del consumo, che inoltre garantisce un controllo sul corretto funzionamento dell'impianto, è possibile verificare e massimizzare i valori di autoconsumo. Per incrementare l'autoconsumo e abbattere i costi in bolletta spesso è sufficiente concentrare l'accensione degli elettrodomestici durante gli orari di massima produzione rispetto che nelle ore notturne, come magari si era abituati dalla comune tariffazione a fasce orarie. Tale processo può anche essere automatizzato grazie ad gestione intelligente e centralizzata dell'impianto elettrico dell'abitazione, come ad esempio nei sistemi domotici.

L'autoconsumo in Italia

Nel 2016 in Italia l'autoconsumo, invece di aumentare come ci si aspetterebbe, è calato del 2%, considerato che la quantità di energia elettrica autoconsumata nell'intero anno è di soli 4.185 GWh. Attualmente 879 GWh dei 3.057 GWh prodotti dagli impianti di piccola taglia (di cui gli impianti domestici, cioè con una produzione inferiore a 3kW, sono solamente il 36%) vengono autocosumati^[1]. Le regioni del nord Italia, con la Lombardia in prima fila, garantiscono dei valori di autoconsumo più elevati rispetto al resto del paese.



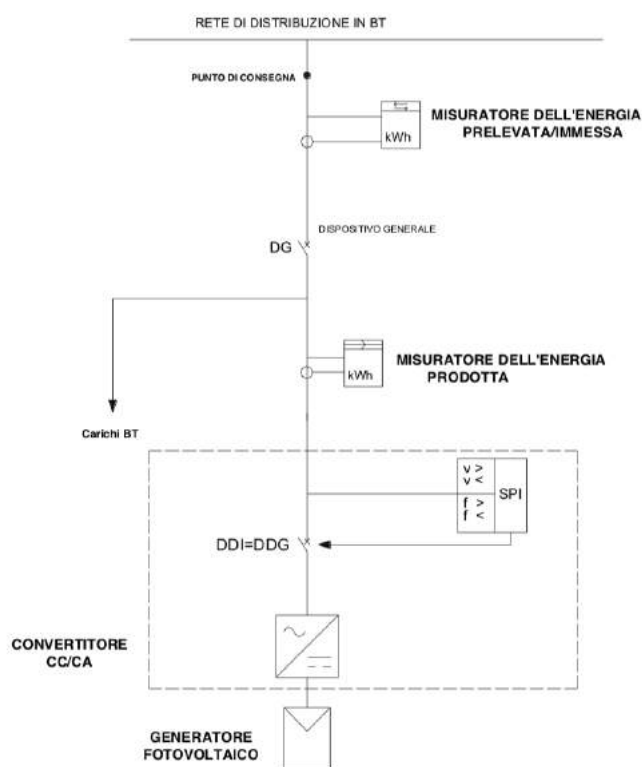
Il quinto Conto Energia

Il Conto Energia è il programma che incentiva la produzione di corrente elettrica da impianti fotovoltaici connessi alla rete sul territorio nazionale. Dalla Direttiva comunitaria per le fonti rinnovabili 2001/77/CE, deriva il Primo Conto Energia. Entrato in vigore il 6 Febbraio 2006, sancisce l'inizio di una serie di provvedimenti statali per l'incentivazione dell'installazione di impianti fotovoltaici e della produzione ad essi legata, sostituendo i precedenti contributi statali a fondo perduto.

Nel corso degli anni si sono susseguiti altre forme di incentivazione^[4], che si differenziavano tra loro per le condizioni di ingresso, le modalità di contribuzione e la tipologia di impianti. In particolare: con il D.M. del 19 Febbraio 2007 nasce il Secondo Conto Energia, il Terzo con il D.M. del 6 Agosto 2010, il Quarto con il D.M. del 5 Maggio 2011 ed infine il Quinto e ultimo Conto Energia con il D.M. del 5 Luglio 2012. Tutte le modalità definite dai vari conti restano comunque attive tuttora per tutti coloro che rientravano nelle condizioni richieste nei periodi sopra indicati.

Il Quinto Conto Energia ha cessato di essere applicato 30 giorni dopo aver raggiunto il costo di 6,7 miliardi di euro, cioè il 6 Luglio 2013. Nel caso di impianti di piccola taglia ridefiniva le modalità di incentivazione con il principale intento di premiare l'autoconsumo. Infatti il Gestore dei Servizi Energetici ha previsto il monitoraggio sia dell'energia prodotta, attraverso un apposito contatore, che di quella scambiata con la rete, dotando l'impianto elettrico dell'abitazione di un contatore bidirezionale, cioè in grado di misurare sia l'energia prelevata dalla rete che immessa.

Al cliente viene applicata una tariffazione unica, chiamata onnicomprensiva, poiché include sia una componente incentivante che una componente di valorizzazione dell'energia elettrica immessa in rete, calcolate in base alla tipologia di impianto (integrato o meno, a concentrazione o con componenti innovative). In aggiunta l'utente riceve un "premio" quando supera una certa soglia di autoconsumo, calcolata per sottrazione dai valore letti dai due contatori sopra citati.



Progettazione del prototipo

Il Power Control

Il Power Control è frutto di un'esigenza personale. Come in tantissime altre situazioni domestiche dopo aver fatto montare sul tetto della mia abitazione un impianto di produzione fotovoltaica da circa 3.5 kW di picco, utilizzando il Quinto Conto Energia (quindi seguendo la configurazione sopra citata), l'azienda installatrice mi ha proposto un sistema di monitoraggio della produzione e di tutti gli altri parametri dell'inverter. La maggior parte di tali dispositivi non considerano la differenza tra l'energia prodotta dall'impianto e quella direttamente consumata, impedendo una qualsiasi valutazione dell'energia autoconsumata. Dalla necessità di avere un dispositivo flessibile, pratico ed economico che mi permetta di monitorare il corretto funzionamento dell'impianto e allo stesso tempo di misurare l'autoconsumo nasce il Power Control.

Tramite degli appositi sensori vengono misurati i valori di corrente, e quindi di potenza, prodotti dal generatore e quelli consumati dall'utenza domestica. Da queste letture, per sintesi sottrattiva, si ricavano i valori di potenza ceduta e prelevata dalla rete e di autoconsumo. Allo stesso tempo vengono raccolti dati dall'inverter dell'impianto fotovoltaico al fine di monitorare approfonditamente la produzione. Infatti esclusivamente attraverso la valutazione dei valori in corrente continua delle stringhe di pannelli, e altri parametri specifici ottenibili solamente dall'inverter, si può effettuare un'attenta analisi del corretto funzionamento dell'intero sistema di generazione. La quale risulterebbe estremamente riduttiva e incompleta se basata esclusivamente sui valori di produzione.

Al fine di comprendere al meglio il suo funzionamento possiamo suddividere il sistema in due blocchi hardware interconnessi: uno è la rete di sensori di raccolta dati e l'altro il server di stoccaggio e monitoring dei dati raccolti.

La raccolta dei dati

La raccolta dei dati necessari al Power Control avviene da 3 differenti sorgenti:

- l'inverter dell'impianto fotovoltaico;
- il contatore di scambio di energia elettrica con la rete;
- il contatore di produzione.

L'inverter

L'inverter è un dispositivo fondamentale di qualsiasi impianto fotovoltaico. Esso ha il compito di convertire l'energia elettrica prodotta dai pannelli, che ha un regime continuo, in regime alternato a 50 Hz. Tali dispositivi sono dotati almeno di una porta seriale per l'esportazione di dati in tempo reale, ma poiché spesso sono collocati in posti non facilmente raggiungibili, come sul tetto dell'edificio vicino all'impianto stesso o nelle cantine, risulta difficile collegarli al server centrale via cavo o sfruttando reti pre-esistenti. Per ovviare a questo problema ho scelto per la trasmissione

la neonata tecnologia delle reti LPWAN (Low Power WAN). Queste reti a bassa potenza lavorano a frequenze più basse permettendo una maggiore penetrazione degli ostacoli, raggiungendo anche i posti isolati dalle altre reti. Inoltre sono caratterizzate da una trasmissione limitata nel tempo, nella potenza e nel quantità di dati. Queste caratteristiche ne permettono l'applicazione nel campo dell'IoT, dove si richiede di collegare innumerevoli sensori che essendo alimentati a batteria non possono avere grande potenza in trasmissione.

Per il Power Control la scelta è ricaduta sulla neonata SigFox. L'architettura di rete, che opera in 868 MHz in Europa (ETSI) e 902 MHz in America (FCC), permette di inviare messaggi con payload fino a 128 bit, con un massimo di 140 messaggi al giorno suddivisi in 6 messaggi l'ora (la normativa europea che disciplina la banda dei 868 MHz consente un duty cycle di trasmissione dell'1%)^[5]. In particolare per lo sviluppo



è stato utilizzato un Arduino MRFox1200^[6] che integra una scheda Arduino MR equipaggiata con un ARM SAMD21 e un modulo ATA8520 per la connettività SigFox.

La scheda può essere alimentata a batteria poichè grazie al microcontrollore ARM-Based posso avere una gestione energetica ottimizzata. Inoltre è dotata di una porta UART che tramite un apposito convertitore RS485-RS232 mi permette di comunicare con l'inverter tramite protocollo MODBUS RTU su connessione fisica RS485 (9600-8-1). Lo sketch .ino, in allegato, ha il compito di interrogare la macchina ogni 15 minuti e inviare nella rete SigFox una stringa di 128 byte contenenti i parametri ottenuti. Tramite una callbacks (funzione fornita dall'infrastruttura di rete SigFox) la stringa inviata viene inviata al server di stoccaggio dati attraverso una chiamata POST del protocollo HTTP. I dati vengono trasmessi utilizzando il formato Json che oltre a risultare uno standard nel settore facilita il successivo inserimento nel database.

Nel caso specifico l'inverter (marca Ingeteam, modello INGECON SUN 2,5 TL) si trova sul tetto dell'edificio e fornisce innumerevoli parametri in real-time, quelli che ho selezionato e quindi vengono inviati al server sono:

- Energia totale prodotta (numero intero formato da due registri a 16 bit);
- VDC, tensione in corrente continua in ingresso;
- IDC, corrente in continua in ingresso;
- PAC, potenza prodotta in regime alternato;
- VAC, tensione in uscita in regime alternato.



Lo stoccaggio di questi valori mi permette di verificare il corretto funzionamento del dispositivo durante il suo periodo di funzionamento (durante le ore di notturne l'inverter entra in sleep fino alla ripresa della produzione). Tra i dati raccolti è presente il valore della "PAC", cioè della produzione istantanea di potenza attiva a regime sinusoidale del mio impianto fotovoltaico, basando la misura sia sul valore di corrente che di tensione in uscita. Questa misura risulta, nella maggior parte dei dispositivi molto imprecisa, rispetto a quelle effettuabili direttamente sui contatori; ma può comunque essere utilizzata come riscontro.

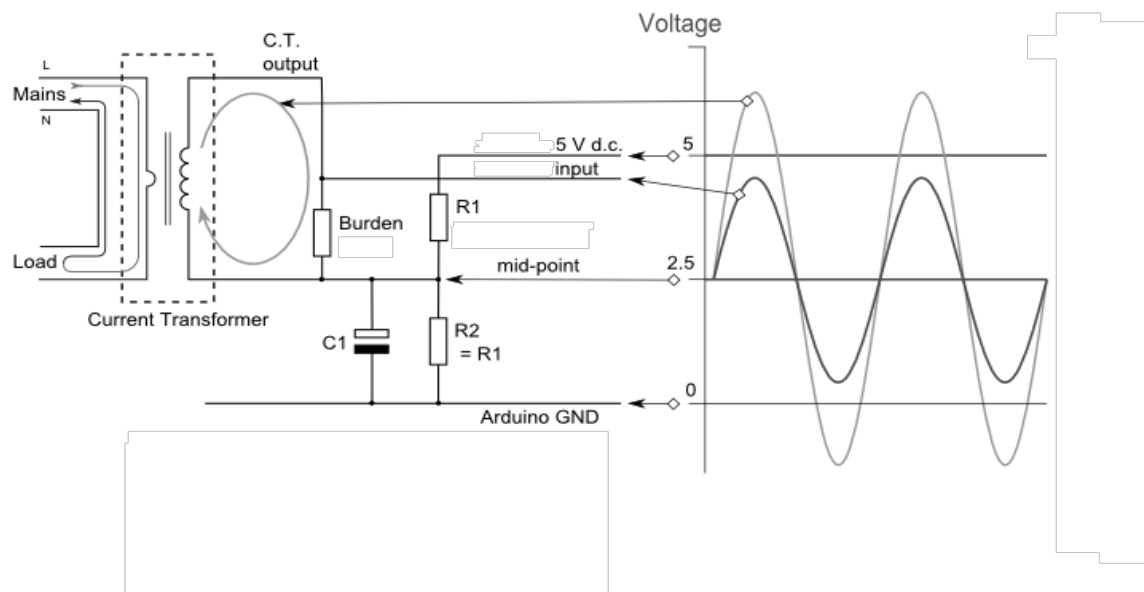
I contatori

Se, come nel mio caso, si rientra nel Quinto Conto Energia e si sceglie la tecnica di scambio sul posto quando si installa un impianto fotovoltaico, oltre al solito contatore di consumo ne viene



aggiunto un secondo detto di produzione, che ha il compito di misurare la quantità di energia elettrica prodotta dall'impianto. Utilizzando dei trasformatori amperometrici è possibile misurare la quantità di corrente attraversata dal conduttore di fase, e con una semplice sottrazione, ottenere i valori di energia autoconsumata. Inoltre sono dei sensori non invasivi che non necessitano di interrompere il conduttore di fase e arrivano a livelli di corrente elevati, a differenza della tipologia ad effetto Hall. Infatti i trasformatori amperometrici possono essere installati velocemente e senza effettuare modifiche sull'impianto

elettrico grazie alla cerniera che permette di aprire il nucleo. Il suo funzionamento è molto semplice e richiede una circuiteria di controllo molto semplice. Come un qualsiasi trasformatore basa il suo funzionamento sull'iterazione tra campi elettrici e campi magnetici di due avvolgimenti posti su un nucleo di materiale ferromagnetico. L'avvolgimento primario è sostituito dal cavo di fase, che passando attraverso al nucleo induce sull'avvolgimento secondario una corrente tanto minore quanto è il rapporto di spire (trasformer ratio) tra i due avvolgimenti.



Nella lettura di corrente effettuata dal sensore è di fondamentale importanza il valore della resistenza di burn (burden resistor). Il suo compito è quello di trasformare il valore di corrente che viene indotto nell'avvolgimento secondario del trasformatore in un preciso valore di tensione che può essere letto dai pin analogici di un qualsiasi convertitore analogico digitale (ADC).

In particolare i trasformatori usati hanno un ratio di 2000 (con dati di targa 100A:0.05mA) quindi la corrente dell'avvolgimento di indotto sarà:

$$\text{secondary current} = \text{primary current} \div \text{transformer ratio}$$

a questo punto posso conoscere il valore in tensione che avrò nel pin analogico semplicemente applicando la prima legge di Ohm:

$$\text{input pin voltage} = \text{secondary current} \times \text{burden resistance}$$

Questa differenza di potenziale può essere letta da un qualsiasi ADC. In particolare nel prototipo ne ho dovuto usare uno esterno, poiché avendo scelto una Espressif 8266-01 per gestire le misure, essa non è dotata di pin analogici. La scelta è ricaduta sull'ADS 1115 dell'Adafruit, che accetta segnali fino a 6.144 Volt se il PGA interno è settato su 3/2. Questo ADC utilizza 16 bit, il più significativo dei quali è usato per il segno del valore letto, con una risoluzione reale di 15 bit.

Il valore letto dal convertitore, chiamato counts, sarà pari a:

$$\text{counts} = (\text{input pin voltage} \div V_{\text{ref}}) \times 2^{(\text{bit risoluzione ADC})}$$

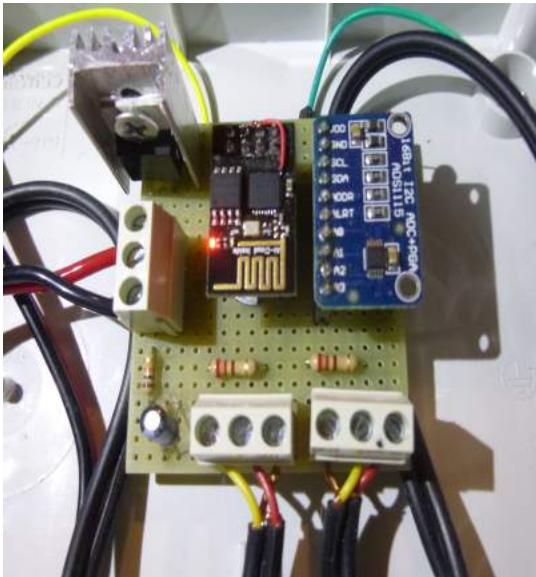
Una volta calcolate le apposite costanti:

$$\begin{aligned} a \text{ constant} &= \text{current constant} \times (V_{\text{ref}} \div 2^{(\text{bit risoluzione ADC})}) \\ \text{current constant} &= (\text{trasformer ratio}) \div \text{burden resistor} \end{aligned}$$

posso ottenere il valore di corrente irms misurata tramite l'espressione:

$$I_{\text{supply}} = \text{count} \times a \text{ constant}$$

Dal valore di tensione è molto semplice calcolare la potenza corrispondenti in Watt, considerando una tensione di alimentazione di 230V, come da contratto.



Tramite un partitore di tensione riduco la tensione di alimentazione di 5 Volt a 2,5 Volt. Questa viene utilizzata per centrare la d.d.p. ai capi della resistenza di burn sul valore di 2,5V in modo da poter leggere sia i valori della semi-onda positiva che di quella negativa eliminando poi l'offset introdotto nella misura. Inoltre l'alimentazione è ulteriormente filtrata da un condensatore elettrolitico da 10 μ F.

Questi calcoli e la procedura di misura è ripresa dalla libreria OpenSource Emonlib^[7], che gestisce le letture di tensioni e correnti tramite la board Arduino. Al fine di poter utilizzare la libreria sulle schede Espressif ho dovuto modificarla e adattarla alla differente

configurazione, sacrificando alcune sue funzioni e implementandone altre all'interno dello sketch stesso. Oltre al calcolo diretto dei valori di corrente prodotta dal generatore e consumata dall'utenza domestica, lo sketch deriva per sottrazione i valori di energia scambiata con la rete, quindi venduta o acquistata.

```
if (consumo >= produzione) {
    prelevata = consumo - produzione;
    ceduta = 0;
    autoconsumo = produzione;
}
else {
    ceduta = produzione - consumo;
    prelevata = 0;
    autoconsumo = consumo;
}
```

La board 8266-01 è collegata al convertitore ADC tramite un bus fisico I2C e ha il compito di inviare ogni 5 minuti, tramite una richiesta POST del protocollo HTTP su rete Wi-Fi, i dati letti dai sensori al server di stoccaggio, che si occuperà di memorizzarli nel database. Come per la scheda Arduino per la trasmissione ho scelto il formato Json. Nel tempo di non operatività la scheda è posta in deep sleep in modo tale da ridurre i consumi (anche se tale circuito è alimentato direttamente da rete e i suoi consumi sono irrilevanti, finché si mantiene un campionamento così lasco sarebbe uno spreco mantenere la scheda sempre in attività). Però per poter essere risvegliata le schede 8266-01 necessitano di una piccola modifica al loro circuito. Infatti a differenza delle loro "sorelle" più grandi, come la 8266-12/E, non hanno un pin della GPIO collegato al RTC interno, questo impedisce di avere disponibile un segnale logico basso quando il tempo impostato per il deep sleep scade, ma è possibile ovviare a questa limitazione semplicemente collegando il pin relativo del chip Espressif al pin di Reset. Così scaduti i 5 minuti la scheda riceve un impulso low al pin di reset che la riaccende rieseguendo l'intero firmware caricato.



Per mantenere un'alta adattabilità del sistema si è scelto di suddividere fisicamente la parte di raccolta e conversione dei dati da quella di trasmissione. Infatti nel caso del prototipo il vano contatori era accessibile tramite rete Wi-Fi, mentre nel caso in cui non lo sia posso sostituire il modulo Espressif con un altro che supporti un link adeguato alla situazione, magari anche un altro modulo SigFox. Allo stesso modo nel caso in cui anche l'inverter sia raggiungibile tramite rete Wi-Fi posso escludere il modulo SigFox.

Il circuito di filtraggio e adattamento e le relative schede sono racchiuse all'interno di un centralino elettrico (in plastica, in modo da non attenuare la trasmissione) con relativo interruttore magnetotermico differenziale di protezione e un alimentatore da 5 Volt 2 Ampere, così da poter essere installato correttamente nel vano contatori condominiale. I trasformatori sono connessi al circuito tramite due connettori non invertibili e con sicura, utilizzando un cavo 24 AWG a due poli più calza esterna.



Lo stoccaggio dei dati

Il nucleo del Power control è il server che svolge la funzione di collettore tra tutti i sensori disposti nell'edificio ed è costituito da un Raspberry PI 3 appositamente configurato. Ho scelto questa scheda per le eccellenti prestazioni in un prodotto economico ed estremamente flessibile. Inoltre tramite i pin della GPIO è possibile attivare o meno un determinato carico al verificarsi di precise condizioni pre-configurabili. Nella macchina è installato:

- OpenSSH: un server SSH per il controllo remoto tramite linea di comando;
- Script in Python3: script per la ricezione e il redirect al database delle letture;
- InfluxDB^[8]: un time-series database relazionale;
- Grafana^[9]: un'applicazione di visualizzazione e monitoraggio dati open source.

OpenSSH

Il server ssh installato sulla macchina permette un accesso remoto sicuro tramite linea di comando. Grazie a un servizio gratuito di dynamic dns (che permette di abbinare un dominio di terzo livello al nostro ip pubblico e di aggiornarsi automaticamente ogni volta che esso cambia) il Raspberry è raggiungibile anche dalla rete esterna. Questa scelta, anche se molto comoda per amministrare e gestire il server da remoto, comporta la necessità di configurare appositamente la rete privata che ospita il server in modo tale da reindirizzare le richieste su una specifica porta esterna verso la porta interna in cui è in ascolto il demone ssh e di proteggere il server con piccoli accorgimenti di sicurezza.

Script in Python3

Dal lato server è necessario avere una o più applicazioni che ricevano i dati dai differenti sensori e li ordinino e li indirizzino al database in modo da poter essere stoccati correttamente. Ho deciso di scriverle in Python3 per la sua flessibilità e semplicità. In particolare il Raspberry al suo avvio, tramite il gestore di servizi systemd, lancia due script come demoni in background:

- Il primo tramite il framework Flask rimane in ascolto su uno specifico socket attendendo una richiesta post http dal servizio di backend di SigFox. Una volta ottenuti i dati effettua un parse in Json e li passa a InfluxDb tramite l'apposito modulo per Python3.
- Il secondo script ha lo stesso compito e una struttura simile al primo. L'unica differenza è che riceve i dati della potenza prodotta e consumata dal sensore di corrente collegato al ESP8266-01, i valori così raccolti vengono convertiti e stoccati nel database.

Il gestore di servizi di systemd fornisce anche un utility di log: journalctl. Tramite il quale posso effettuare un debug in tempo reale e verificare il corretto caricamento e funzionamento dei moduli in Python3.

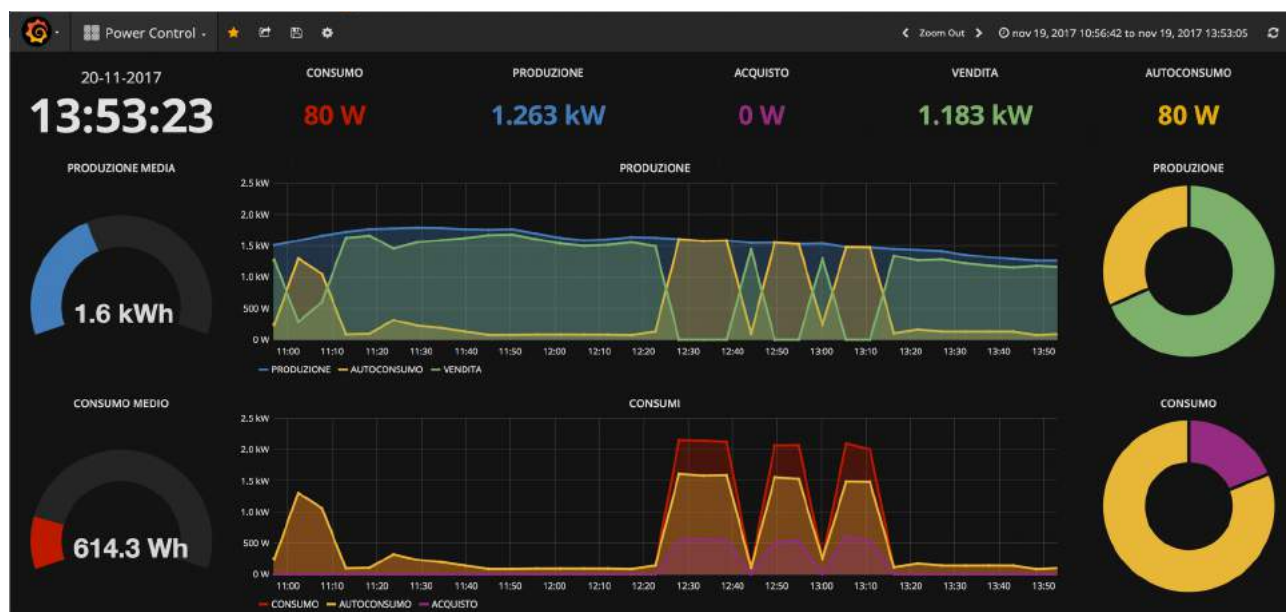
InfluxDB

InfluxDB è un database OpenSource scritto in linguaggio Go, utilizzato da grandi aziende come IBM, eBay e CISCO. La sua particolarità è di essere di tipo relazionale time-series, cioè un database in cui il campo della prima colonna è il tempo. Ogni volta che viene inserito un dato ad esso viene associato l'orario della misurazione in notazione Unix (quindi utilizza il fuso orario Tempo Coordinato Universale, ovvero l'UTC). Il database può essere interrogato tramite l'interfaccia CLI oppure direttamente con delle query da tool esterni come Grafana.

Il monitoraggio dei dati raccolti

La parte più importante di tutto lo strumento è proprio la visualizzazione e il monitoraggio dei dati stoccati nel database. Tale compito è affidato all'applicazione web OpenSource Grafana, scelta per la sua intuitività sia dal lato utente che dal lato amministratore.

L'app si basa su un semplice server web che acquisisce i dati dal database time-series, ospitato in InfluxDb sullo stesso server, tramite delle query che vengono richiamate automaticamente e ciclicamente. In pratica visualizza sempre dati aggiornati in tempo reale. L'utente accende alla dashboard relativa al suo impianto con le proprie credenziali e si trova davanti una schermata simile a questa:



Screenshot n.1: prima schermata relativa a circa 3 ore di lettura, in cui la produzione è sufficiente a soddisfare i consumi, ed il surplus viene ceduto alla rete. All'accensione di un elettrodomestico, l'energia consumata è maggiore della produzione fotovoltaica, quindi l'utente è costretto a prelevare e quindi acquistare energia elettrica dalla rete.

Come si può vedere dallo screenshot della prima pagina, l'interfaccia è suddivisibile in due: una prima riga riportante la situazione in tempo reale e una seconda parte che permette una valutazione nel tempo di tutti i parametri. All'inizio della pagina troviamo un orologio e tutti i valori relativi all'ultima lettura del sensore posto nel vano contatori. Questi permettono all'utente di avere un quadro globale della situazione istantanea (in verità i dati non sono in real-time, ma sono relativi all'ultima misura raccolta), inoltre definiscono un abbinamento colore-parametro fondamentale per la comprensione del resto dei grafici. Scendendo si trovano altre due righe, molto simili, relative

una alla produzione e una ai consumi. In particolare sono composte da un indicatore a valore singolo, un grafico su piano cartesiano e un grafico a torta. Il primo riporta esclusivamente il valore mediato nel tempo mentre gli altri due analizzano a fondo, utilizzando tutti i valori a disposizione legati alla produzione e al consumo. Il grafico cartesiano rappresenta contemporaneamente l'andamento nel tempo della potenza prodotta (blu), sovrapponendogli la sia la porzione che viene ceduta alla rete, quindi venduta (verde), che quella viene autoconsumata (giallo). Grazie ai colori l'utente può facilmente intuire l'utilizzo dell'energia elettrica prodotta dal suo impianto e in quali percentuali istante per istante in tutto l'intervallo di tempo selezionato. Il grafico a torta combina gli stessi parametri mediati nel tempo in una visualizzazione molto rapida e intuitiva. La riga seguente è composta allo stesso modo con la differenza che i parametri visualizzati sono quelli relativi ai consumi. In dettaglio: potenza consumata (rosso), porzione prelevata e quindi acquistata dalla rete (viola) e infine porzione autoconsumata (giallo). Semplicemente cliccando sulla leggenda dei piani cartesiani, l'utente, può scegliere se visualizzare tutte le letture sovrapposte o focalizzarsi su una in particolare. Personalmente ritengo questa scelta la più immediata e completa. Infatti l'indicatore di valore medio, insieme ai piani cartesiani e ai grafici a torta permettono una rapida lettura sia dell'andamento passato istante per istante che mediato su un preciso intervallo di tempo, che può essere selezionato dall'utente tramite l'apposito menù. Esso permette una scelta rapida di periodi di tempo prestabiliti (come ultimo giorno o ultime 2 o 3 ore) oppure consente di selezionare l'intervallo desiderato in tutto lo storico delle letture.

Time -	PARAMETRI INVERTER				
	POTENZA TOTALE	VDC	IDC	PAC	VAC
2017-11-19 13:45:01	24.52 kW	317 V	409 A	1.31 kW	235 V
2017-11-19 13:30:01	24.52 kW	315 V	455 A	1.45 kW	237 V
2017-11-19 13:15:01	24.52 kW	305 V	481 A	1.48 kW	238 V
2017-11-19 13:00:01	24.52 kW	324 V	494 A	1.60 kW	236 V
2017-11-19 12:45:01	24.52 kW	304 V	525 A	1.60 kW	234 V

Screenshot n.2: Seconda schermata relativa alle stesse tre ore della prima (le altre letture dell'inverter si possono vedere scorrendo la tabella relativa).

Scorrendo la pagina si trova una tabella riportante i valori relativi alle letture dell'Arduino MRFox-1200 dall'inverter. I valori sono organizzati in una semplice tabella che è possibile scorrere e, come il resto, sono relativi al periodo temporale scelto dall'utente.

Come già indicato, questa è una configurazione di base, che può essere altamente personalizzata e modificata, sia dall'utente stesso che dall'amministratore. Infatti l'user può scegliere se aggiungere altri grafici per controllare l'andamento nel tempo di un qualsiasi altro parametro o utilizzare degli istogrammi rispetto che un grafico a torta. Il limite è solo la fantasia, visto che tramite l'installazione di plugin, sia dello stesso sviluppatore che di terze parti, le possibilità dell'applicazione sono praticamente infinite. La configurazione avviene completamente tramite interfaccia grafica senza dover scrivere alcuna riga di codice.

Conclusione e sviluppi futuri

Il consumo di energia elettrica autoprodotta è alla base della così detta smart home (casa intelligente a livello energetico, che gestisce, monitora e riduce i suoi consumi). Infatti ricordando l'importanza di un consumo energetico ponderato ed esente da sprechi, questa è l'energia con il rapporto "ambientale/economico" migliore. Il Power Control ha l'intento principale di massimizzare questi valori, portando l'utente a prestare maggiore attenzione ai suoi consumi ed eventuali sprechi, e magari ad implementare e/o rinnovare il suo impianto passivo, ad esempio con illuminazione a led, o installando accumulatori nel suo impianto attivo.

Il Power Control è un dispositivo altamente scalabile e personalizzabile, la suddivisione in blocchi hardware indipendenti permette di adattarlo ad ogni impianto fotovoltaico in qualsiasi modo esso sia configurato. Infatti sia il bus di comunicazione tra i sensori e il server centrale può essere scelto a seconda delle esigenze modificando solamente l'ultimo anello della catena di raccolta dati. L'installazione del Power Control non è legata strettamente alla generazione solare, ma può essere utilizzato su qualsiasi altra tipologia di impianto; magari sacrificando la comunicazione con il convertitore statico (inverter) se tale configurazione ne è sprovvista. Inoltre non è legato strettamente ad impianti che rientrano nel Quinto Conto Energia, ma può essere facilmente installato e utilizzato, nel pieno delle sue funzionalità, in tutte le tipologie di configurazione; anzi permette letture della produzione che magari non sono previste.

In tutto il progetto e lo sviluppo del Power Control è stata data particolare attenzione all'utilizzo di applicazioni e programmi OpenSource. Allo stesso modo gli script e i firmware sono condivisi con la stessa politica alla fine di questo documento.

I costi del Power Control sono contenuti, infatti non necessitando di manutenzione ordinaria dopo la sua installazione e configurazione le uniche spese fisse risultano essere le varie componenti hardware. Nella valutazione di un eventuale lancio sul mercato risulterebbe più conveniente venderlo in abbonamento rispetto che far pagare il prodotto e la sua installazione. Infatti la sottoscrizione di un abbonamento, ad esempio decennale, permetterebbe di avere degli incassi garantiti distribuiti nel tempo. L'eventuale abbonamento comprenderebbe sia l'installazione e la configurazione del prodotto che l'assistenza per tutto il periodo di sottoscrizione. Questa opportunità è molto allettante per il cliente che non si trova a spendere grosse cifre nell'immediato e ha un prodotto garantito nel tempo, mentre l'assistenza e l'eventuale personalizzazione può essere effettuata da remoto senza grandi costi per l'installatore.

Il Power Control si presta facilmente a futuri ampliamenti, ad esempio basandosi sui valori di autoconsumo è possibile decidere se attivare o meno dei dispositivi specifici, come uno scaldabagno, che altrimenti graverebbero sull'energia acquistata dalla rete. In questo modo, quando raggiungi dei valori di produzione sufficienti un controller wi-fi attiverrebbe un sezionatore che attiverrebbe il carico. Per effettuare tale "gestione intelligente" dei carichi, si dovrebbero intensificare le misure, aumentando la frequenza di campionamento, inoltre non può essere affidata all'esclusivo superamento di una soglia, ma deve essere gestita da uno specifico algoritmo che gestisca la priorità e l'importanza del carico cercando di massimizzare il consumo della produzione fotovoltaico rispetto a quella della rete.

Bibliografia e sitografia

[1] = Solare fotovoltaico -Rapporto statistico 2016 GSE

www.gse.it/it/Statistiche/RapportiStatistici/Pagine/default.aspx

[2] = Scambio sul posto SSP o ritiro dedicato RD

www.fotovoltaiconorditalia.it/mondo-fotovoltaico/quanto-viene-pagata-l-energia-prodotta-dal-fotovoltaico

[3] = Costo kWh al consumatore

tagliabolletta.it/quanto-costa-un-kwh

[4] = Conto Energia

<http://www.gse.it/it/Conto%20Energia/Pages/home.aspx>

[5] = Architettura di rete Sigfox, sito del provider ufficiale italiano Sigfox

www.nettrotter.io/index.php/it/our-company-it/tecnologia-sigfox

[6] = Sito ufficiale scheda Arduino MRFox1200

www.arduino.cc/en/Main.ArduinoBoardMRFox1200

[7] = Pagina calcoli Emonlib – sito ufficiale progetto OpenEnergy

www.learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ac-power-theory/introduction

[8] = Sito ufficiale InfluxDB

www.influxdata.com

[9] = Sito ufficiale Grafana

www.grafana.com

Firmware

Metto a disposizione di chiunque voglia i codici utilizzati nel progetto in un'ottica di condivisione caratteristica dell'OpenSource. A seguire il link della pagina GitHub dove sono salvati gli sketch sia della scheda Arduino MRFox1200 che della Espressif ESP8266-01 e gli script in Python3.

www.github.com/rodosara/power_control