

“Energy harvesting”: il limite è l’immaginazione

John Donovan
Mouser Electronics

L’abbinamento tra MCU a bassissimi consumi e tecniche di accumulo e riutilizzo dell’energia ha permesso lo sviluppo di nuove applicazioni che in precedenza non era possibile implementare

Nel momento in cui i telefoni mobile si sono trasformati da apparati analogici wireless a computer portatili, gli utenti hanno cominciato a utilizzare funzionalità che richiedono parecchia energia – navigazione sul Web, video, gaming, posta elettronica – pur continuando a esigere una durata della batteria sempre maggiore. Poiché i costruttori di batterie non sono in grado di fornire, al momento, un valido ausilio alla soluzione del problema, i produttori di semiconduttori hanno iniziato a sviluppare numerose tecniche di risparmio energetico atte a soddisfare le esigenze degli utilizzatori.

I bassi consumi sono stati il più importante criterio che ha ispirato la progettazione elettronica, nell’ultimo decennio. Grazie alla legge di Moore e all’impiego di tecniche di design sempre più “intelligenti”, i livelli di potenza richiesti dai semiconduttori è calato drasticamente: questi dispositivi spesso consumano potenze dell’ordine dei milliWatt durante il funzionamento e dei nanoWatt in modalità “standby”. Questa evoluzione ha permesso l’implementazione di reti wireless “sensorless” (ovvero prive di sensori) contraddistinte da bassissimi consumi che hanno trovato ampia diffusione. I sensori ora sono ubicati in località remote o difficilmente raggiungibili e sono impiegati per monitorare un gran numero di fenomeni: le sollecitazioni di edifici e di ponti, l’inquinamento atmosferico, i movimenti franosi, gli incendi boschivi, l’usura dei cuscinetti e le vibrazioni delle ali. Le reti di sensori wireless a bassissimo consumo sono diventate l’elemento centrale di un gran numero di applicazioni nei settori industriale, medicale e commerciale.

I nodi off-grid (ovvero che non hanno accesso a una rete) così come i nodi sensori portatili sono alimentati a batteria e devono quindi affrontare i medesimi

problemi dei telefoni cellulari. In questi casi è consigliabile prolungare la durata delle batterie sfruttando tecniche di harvesting (ovvero di accumulo e di trasformazione) delle fonti energetiche ambientali, spesso disponibili, sotto forma di luce, calore, vibrazioni, movimento oppure onde a radiofrequenza prodotte dall’ambiente elettromagnetico naturale. Se le richieste, in termini di energia, di un dispositivo sono molto ridotte e la sostituzione della batteria si rivela un’operazione costosa o di difficile esecuzione, si potrebbe

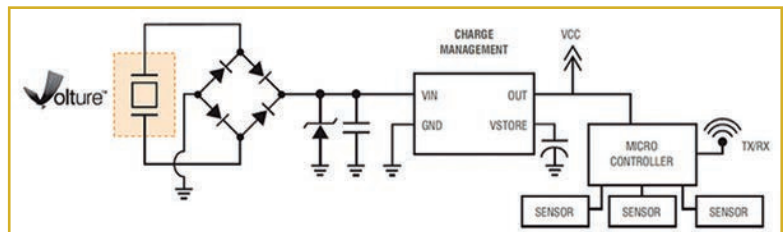


Fig. 1 – Schema dei dispositivi per l’accumulo di energia piezoelettrica della linea Vulture di Midé (Fonte Midé)

pensare di rinunciare del tutto alla batteria e sfruttare le fonti energetiche ambientali per l’alimentazione. L’abbinamento tra MCU a bassissimi consumi e tecniche di accumulo e riutilizzo dell’energia ha permesso lo sviluppo di nuove applicazioni che in precedenza non era possibile implementare.

Quello delle applicazioni di “energy harvesting” è un mercato di ampie dimensioni e in rapida crescita. In base alle stime degli analisti di IDTechEx questo settore, che nel 2012 valeva 0,7 miliardi di dollari, supererà i 5 miliardi nel 2022: entro quell’anno 250 milioni di sensori saranno alimentati mediante fonti energetiche che sfruttano il concetto di accumulo e riutilizzo dell’energia. Il mercato dei sistemi di “energy harvesting” di tipo termoelettrico, da solo, genererà nel 2023 un fatturato pari a 865 milioni di dollari.

Tecnologie e applicazioni attuali

Per quel che concerne le tecnologie di “energy harvesting”, parecchie sono già ampiamente utilizzate, mentre molte altre si stanno affacciando alla ribalta. Le più comuni fonti di energia sono luce, calore, vibrazioni e radiofrequenza. Anche se i pannelli solari su un tetto non producono singolarmente una grande quantità di energia (si faccia riferimento alla Tab. 1), uno o più pannelli possono essere più che adeguati per alimentare dispositivi a basso consumo in un particolare ambiente.

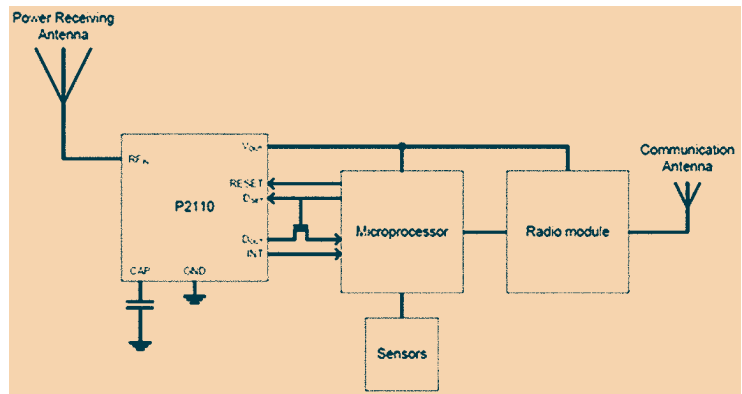


Fig. 2 – Schema di utilizzo del ricevitore Powercast P2110 in un sensore wireless che non prevede l'uso di batterie (Fonte Powercast)

Solare

In ogni ufficio o abitazione vi è quasi certamente una calcolatrice alimentata a luce solare – ovvero una calcolatrice con una pila a bottone e una cella fotovoltaica (PV) posta sulla parte superiore. Le celle, realizzate con silicio policristallino o di tipo a film sottile, convertono i fotoni in elettroni con un'efficienza tipica compresa tra il 15 e il 20% (per le celle in silicio policristallino) e tra il 6 e il 12% (per le celle a film sottile). Poiché la potenza disponibile sfruttando l'illuminazione esterna è pari a soli $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, la loro utilità è funzione della dimensione del modulo e dalla composizione spettrale della luce.

Celle solari di dimensioni ridotte sono frequentemente utilizzate nei settori industriali e consumer per applicazioni quali giocattoli, orologi, calcolatrici, sistemi di controllo dell'illuminazione stradale, alimentatori portatili e satelliti. Poiché solitamente le sorgenti luminose sono di natura intermittente, le celle solari sono usate per caricare batterie e/o supercondensatori al fine di garantire una fonte di energia stabile.

Termoelettrica

I sistemi di accumulo di tipo termoelettrico sfruttano l'effetto Seebeck, che consiste nella comparsa di una tensione agli estremi di un circuito aperto costituito da due conduttori di materiali diversi tra loro quando, in corrispondenza delle loro giunzioni, vi è una differenza di temperatura. I generatori termoelettrici (TEG) sono formati da una serie di termocoppie collegate in serie a una fonte di calore che può essere un motore, una caldaia o persino la parte posteriore di un pannello solare. L'uscita dipende dalle dimensioni del generatore termoelettrico e dalla differenza di temperatura che può essere mantenuta. Questi generatori sono comunemente impiegati per alimentare nodi sensori wireless in ambiente a elevata tem-

peratura come ad esempio i sistemi di riscaldamento industriali. Un generatore termoelettrico montato tra un transistor di potenza e uno scambiatore di calore può riciclare una parte di energia che altrimenti sarebbe persa sotto forma di calore.

I moduli per l'accumulo di energia TE-CORE7 di MicroPelt convertono il calore disperso localmente per assicurare il funzionamento per lunghi periodi di dispositivi a basso consumo. Il generatore TE-CORE converte il calore in una carica elettrica: questa viene aumentata, immagazzinata in un condensatore di capacità pari a $100 \mu\text{F}$ e regolata in modo da fornire una tensione di valore massimo di 5,5V. Operante a una temperatura di 50°C , TE-CORE7 può fornire annualmente una capacità nominale di 6,424 mAh (milliampere/ora), equivalente a quella di tre o quattro batterie AA: si tenga presente a questo riguardo che per fornire una capacità simile le batterie dovrebbero essere ricaricate su base regolare dopo pochi mesi. Quando si forza una corrente a fluire attraverso la giunzione di metalli diversi il calore si trasferirà dalla giunzione calda a quella fredda: questo è il principio su cui si basa l'effetto Peltier – in pratica l'opposto dell'effetto Seebeck – utilizzato per realizzare le pompe di calore termoelettriche.

Piezolettrico

I trasduttori piezoelettrici, capaci cioè di generare elettricità quando sono sollecitati, sono i candidati ideali per i sensori di vibrazione utilizzati nei moduli per l'accumulo di energia preposti al rilevamento del rumore dei cuscinetti di un motore e le vibrazioni delle ali di un aeroplano. I moduli per l'accumulo di energia Voltare V-20W di Midé Technology utilizzano una sottilissima trave a sbalzo vincolata a un'estremità (cantilever) che si collega a un cristal-

lo piezoelettrico (Fig. 1). Nel momento in cui le vibrazioni mettono in movimento la membrana, questa genera una tensione di uscita alternata che è rettificata, regolata e immagazzinata in un supercondensatore o una batteria a film sottile.

Radio frequenza – RF

Il principio di funzionamento della tecnologia RFID prevede il raddrizzamento di un segnale locale di forte intensità (non l'energia a radiofrequenza dall'ambiente) destinato direttamente a un sensore. In maniera del tutto analoga il ricevitore RF P2110 della linea Powerharvester di Powercast converte i segnali RF a bassa frequenza in una tensione di 5,25V fornendo in uscita una corrente massima di 50 mA. Se abbinato a una MCU a basso consumo, sensori e un modulo radio, il ricevitore P2110 permette di realizzare un nodo sensore completo privo di batteria operante in modalità wireless in grado di funzionare con un ingresso RF caratterizzato da una potenza di soli -11.5 dBm (Fig. 2). Tra le applicazioni tipiche di questo dispositivo si possono annoverare sensori wireless senza batterie utilizzati per monitoraggio industriale, automazione degli edifici, agricoltura e difesa. Presso Mouser sono disponibili kit di sviluppo per la carica della batterie e sensori wireless.

Le nuove frontiere

Nel chiuso dei laboratori sono in fase di studio innovative tecnologie per l'accumulo e la trasformazione dell'energia che, nel volgere di pochi anni, potrebbero rivoluzionare questo settore.

Dispositivi per applicazioni medicali e il fitness

Nel settore dell'accumulo di energia mediante trasduttori piezoelettrici stanno emergendo alcune modalità di utilizzo particolarmente interessanti. Alcuni ricercatori che lavorano presso l'Università del Michigan hanno sviluppato un dispositivo che accumula l'energia prodotto dal riverbero del battito cardiaco attraverso il torace e la converte in elettricità utile per far funzionare un pacemaker o in defibrillatore impiantato, con l'obiettivo di evitare la periodica sostituzione delle batterie. Sono in corso studi mirati all'accumulo dell'energia prodotta dal calore corporeo, dal movimento e dalle vibrazioni al fine di alimentare altri dispositivi impiantabili.

La radiofrequenza è già utilizzata in via sperimentale per ricaricare le batterie presenti nei pacemaker e nei dispositivi TENS (Transcutaneous Electrical Nerve

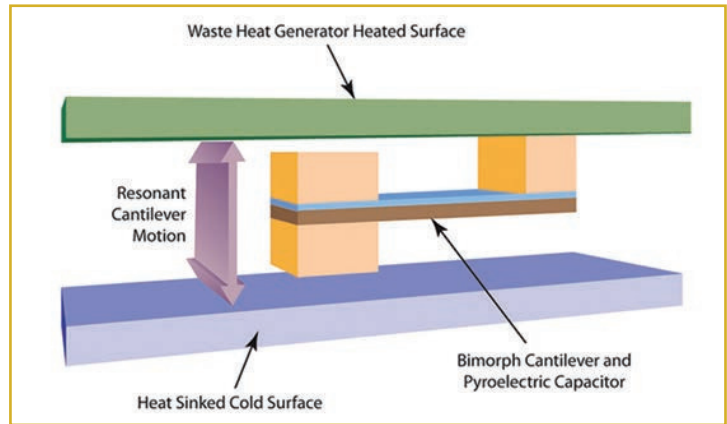


Fig. 3 – Struttura di un generatore piroelettrico MEMS (Fonte Oak Ridge National Laboratories)

Stimulation – neurostimolazione elettrica transcutanea). Il paziente è seduto su una sedia che contiene un sorgente RF a bassa frequenza la cui uscita è ricevuta, rettificata e immagazzinata dal dispositivo.

Ricercatori del MIT e dell'università di Harvard hanno messo a punto un chip impiantabile nell'orecchio interno che deriva la propria alimentazione dall'accumulo dell'energia generata dalle onde sonore. Il chip in questione è stato progettato per monitorare l'attività biologica delle orecchie delle persone affette da disturbi di udito o dell'equilibrio.

Gli appassionati di fitness saranno sicuramente felici di sapere che possono "rientrare in possesso" di parte dell'energia spesa in palestra. Tre Università britanniche hanno deciso di collaborare allo sviluppo di un dispositivo per l'accumulo di energia piezoelettrica da collegare al ginocchio in grado di generare potenza nel momento in cui la persona che lo indossa cammina o corre sul tapis roulant. L'Università Tecnica di Riga ha ideato un dispositivo di accumulo di energia meccanica che richiede alcuni magneti cuciti nelle maniche e bobine nella tasca di una giacca: facendo oscillare le braccia accanto alle tasche durante una camminata si genera una corrente che può essere immagazzinata in una batteria.

Generatore piroelettrico MEMS

Gli Oak Ridge National Laboratories hanno sviluppato un generatore piroelettrico capace di raffreddare dispositivi elettronici, fotocelle, computer e anche sistemi di grandi dimensioni che disperdono parecchio calore producendo nel contempo elettricità. Il dispositivo è basato su un condensatore piroelettrico MEMS situato all'estremità di un cantilever bi-

metallico che oscilla tra le superfici calda e fredda. La punta del cantilever caldo entra in contatto con una superficie fredda, ovvero il dissipatore: a questo punto perde rapidamente il suo calore e ritorna nuovamente in contatto con la superficie calda (Fig. 3). Questa oscillazione prosegue finché vi è una differenza di temperatura sufficiente – da pochi gradi a parecchie centinaia di gradi – tra le due superfici. Le strutture a cantilever hanno dimensioni pari a solo 1 mm² e generano una potenza di valore compreso tra 1 e 10mW per dispositivo: in ogni caso è possibile collegare un migliaio di questi dispositivi a un substrato di area pari a 1 pollice quadrato, generando in tal modo una fonte capace di fornire una potenza di uscita relativamente alta. A causa del rapido tempo di ciclo del cantilever, gli sviluppatori prevedono di raggiungere livelli di efficienza compresi tra il 10 e il 30% - percentuali molto migliori di quelle degli attuali dispositivi per l'accumulo di energia di tipi termoelettrico e piezoelettrico.

Nano antenne

Le celle fotovoltaiche, sebbene siano i più diffusi sistemi per l'accumulo di energia, non risultano particolarmente efficienti. Le migliori celle fotovoltaiche monocristalline – caratterizzate da un'efficienza teorica massima del 30% – raggiungono livelli di efficienza del 20%. Scienziati dell'Università del Missouri e dell'Idaho National Laboratory hanno sviluppato un film fotovoltaico flessibile in grado di garantire un'efficienza teorica massima del 90%.

Il film in questione è costituito essenzialmente da una serie di nano-antenne ciascuna delle quali è sintonizzata su una specifica frequenza della radiazione luminosa. Invece di generare singole coppie elettrone-lacuna, come accade nel caso del materiale delle celle fotovoltaiche, il campo elettromagnetico proveniente dal sole induce una corrente nell'antenna che è raccolta nel punto di alimentazione, rettificata e immagazzinata. I collettori NEC (Nanoelectronic Electromagnetic Collector) possono essere configurati sotto forma di superfici selettive rispetto alla frequenza per assorbire in maniera efficiente l'intero spettro solare. In alternativa questi collettori possono essere configurati come filtri passabanda riflettenti centrati su una lunghezza d'onda di 6,5 μm: in questo modo essi possono assorbire i raggi infrarossi, riciclando il calore dissipato da motori, fornaci o altre fonti di potenza ad alta temperatura.

Sebbene siano stati già realizzati prototipi funzionan-

Tabella 1 - Quantità di potenza disponibile dalle diverse fonti di "energy harvesting"

Fonte	Potenza della fonte	Energia accumulata
Luce		
Interna	0.1 mW/cm ²	10 μW/cm ²
Esterna	100 mW/cm ²	10 mW/cm ²
Vibrazioni/ Movimento		
Persone	0.5m at 1 Hz	
	1m/s ² at 50 Hz	4 μW/cm ²
Macchine	1m at 5 Hz	
	10m/s ² at 1 kHz	100 μW/cm ²
Termica		
Persone	20 mW/cm ²	30 μW/cm ²
Macchine	100 mW/cm ²	1-10 mW/cm ²
RF		
GSM BSS	0.3 μW/cm ²	0.1 μW/cm ²

ti di dispositivi NEC utilizzando come substrato sia il silicio sia il polietilene, la produzione di massa a costi ragionevoli richiede ancora tempo e ulteriori finanziamenti. I ricercatori prevedono di realizzare un prodotto che rappresenti un complemento dei tradizionali pannelli fotovoltaici e sia in grado di catturare l'energia a infrarossi attualmente inutilizzata. La disponibilità sotto forma di film ne permette l'uso all'interno di infrastrutture e materiali per costruzione. I collettori NEC, inoltre, possono essere integrati in materiali polimerici ed essere incorporati nel rivestimento di dispositivi elettronici consumer per caricare su base continua le batterie.

Uno sguardo al futuro

Lo sviluppo di MCU a bassissima dissipazione ha contribuito alla creazione di un mercato, quello dell'energy harvesting, in continua e rapida espansione dal quale siamo sempre più dipendenti. La prima ondata di dispositivi per l'accumulo e il riutilizzo dell'energia ha portato alla realizzazione di sensori wireless a basso consumo divenuti sempre più pervasivi. Ma l'effetto domino è destinato a proseguire nei mercati consumer, industriale e medicale, generando lo sviluppo di applicazioni che solo ora possiamo iniziare a immaginare. Sia che si tratti di sviluppare dispositivi portatili alimentati a batteria sia che si intenda migliorare l'efficienza energetica di sistemi di più ampie dimensioni, tutti i progettisti dovrebbero prevedere l'impiego di tecniche di "energy harvesting" nei loro prodotti. Nel sito Energy Harvesting di Mouser Electronics è possibile trovare l'ampia gamma di prodotti e soluzioni che la società mette a disposizione per lo sviluppo di queste applicazioni. ■