

# IMPERATIVO: ENERGY HARVESTING

Paolo De Vittor

L'esigenza di sfruttare l'energy harvesting - un concetto poco conosciuto fino a qualche anno fa - sta rapidamente diventando un imperativo in molteplici settori, e non solo nelle applicazioni remote



Fig. 2 - Modulo termogeneratore TE-Core della tedesca Micropelt per applicazioni di EH ultra-low power

**S**i sente sempre più spesso parlare oggi di "energy harvesting" o di Power harvesting o di Energy scavenging. Che significa, di preciso? Con questa espressione ci si riferisce alla possibilità di garantire il funzionamento di dispositivi o circuiti elettronici non solo senza la necessità di collegarli alla linea elettrica, ma addirittura senza l'obbligo di alimentarli con una batteria.

Da dove ricavano allora l'energia necessaria al loro funzionamento? La risposta è: dall'ambiente circostante, ovvero da fonti naturali oppure accidentali. Lo schema a blocchi di un sistema di questo tipo per alimentare in modalità remota

un sensore wireless è visibile in figura 1. In realtà, a ben pensarci, le fonti di energia ambientali presenti attorno a molti dispositivi elettronici sono molte: basti pensare ad esempio alla presenza di luce, calore, onde radio, differenza di temperatura, vibrazioni, deformazioni, reazioni chimiche, flusso di gas o di liquidi, e altre ancora. Poiché però il più delle volte le energie ricavabili da queste fonti sono estremamente ridotte, è necessario che i circuiti o i dispositivi da alimentare si accontentino di livelli di corrente e tensione sufficientemente contenuti, e quindi questa tecnica è applicabile solo ai dispositivi più recenti,

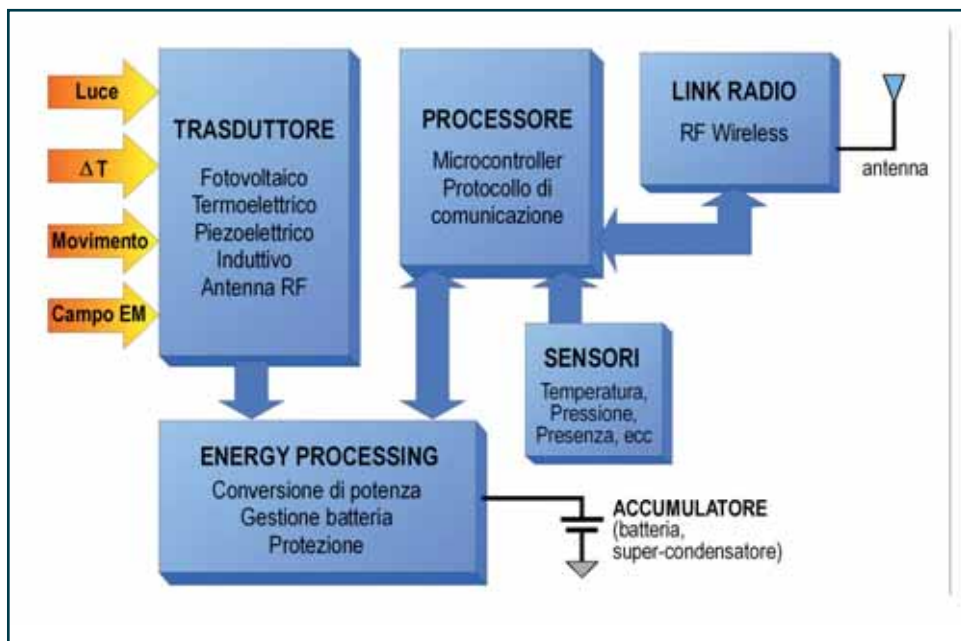


Fig. 1 - Schema a blocchi di un tipico sistema di energy harvesting utilizzato per alimentare un sensore wireless



**Fig. 3 – Modulo a generatore TEG per il monitoraggio wireless dei termosifoni negli impianti centralizzati, prodotto da Micropelt**

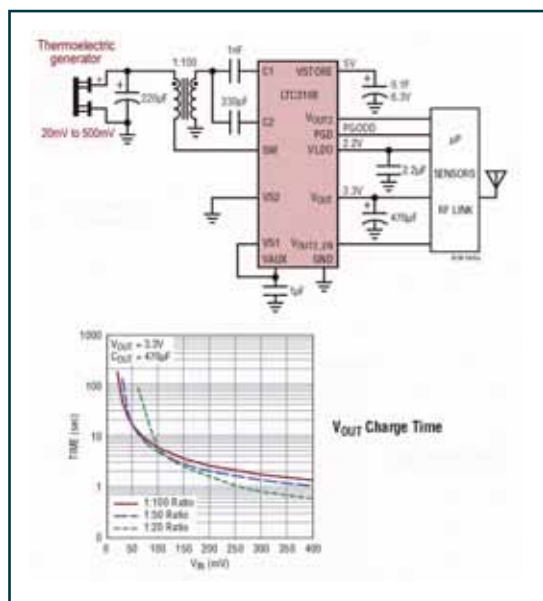
progettati appositamente. D'altronde, la tendenza a ridurre progressivamente il consumo di energia dei dispositivi elettronici è ormai consolidata, ed in molti settori si sono raggiunti livelli davvero notevoli, con interi circuiti che sono in grado di operare con tensioni di meno di 1 volt con correnti di frazioni di microampere.

### Il ruolo dei trasduttori

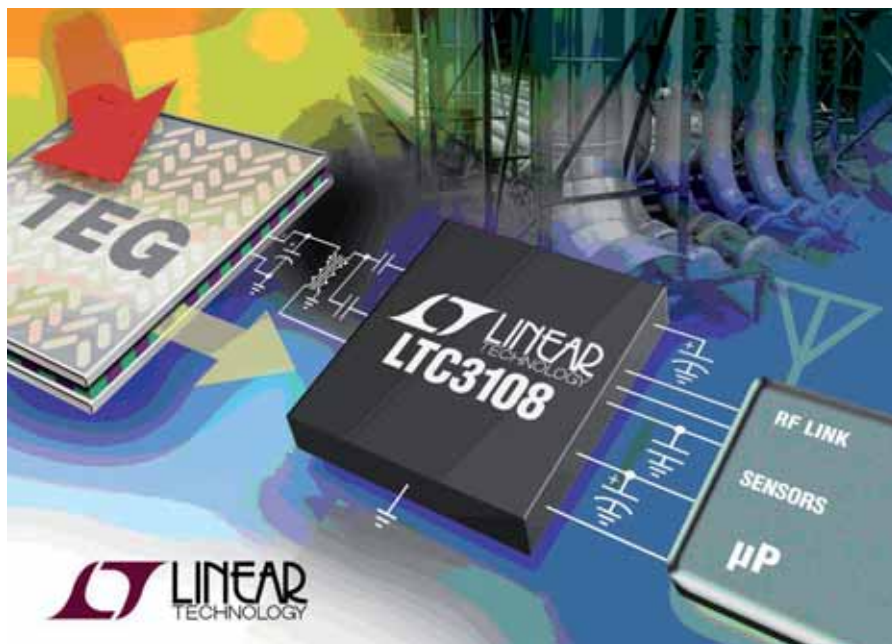
Parallelamente ai circuiti a basso assorbimento, però, fondamentali risultano i trasduttori, proprio quelli che hanno la funzione di convertire l'energia ambientale in energia elettrica. Proprio in relazione alle basse potenze in gioco, è necessario scegliere quei trasduttori che presentano la massima efficienza di conversione proprio ai

bassi livelli di tensione ottenibili. A valle di questi sensori, poi, sono da pensare appositi circuiti in grado di stabilizzare la tensione ed adeguarla alle necessità del circuito da alimentare, ovvero eventualmente elevarla ad esempio con tecniche del tipo a pompa di cariche.

Inoltre, poiché i fenomeni ambientali dai quali è possibile ottenere energia sono per loro stessa natura molto spesso inevitabilmente discontinui, con cicli imprevedibili e di intensità molto



**Fig. 5 – Tipico circuito applicativo dell'LTC3108 di Linear Technology**



**Fig. 4 – L'LTC3108 di Linear Technology è un dc/dc converter di tipo step-up per applicazioni di EH alimentabile a partire da un generatore termoelettrico**

variabile, è necessario che il circuito che provvede all'energy harvesting (che chiameremo per brevità EH) sia in grado di collezionare comunque l'energia disponibile, di convertirla in energia elettrica, di accumularla e di fornirla successivamente al carico sotto forma di tensione stabilizzata, il più possibile indipendente dai cicli irregolari della fonte ambientale, compito molto spesso non

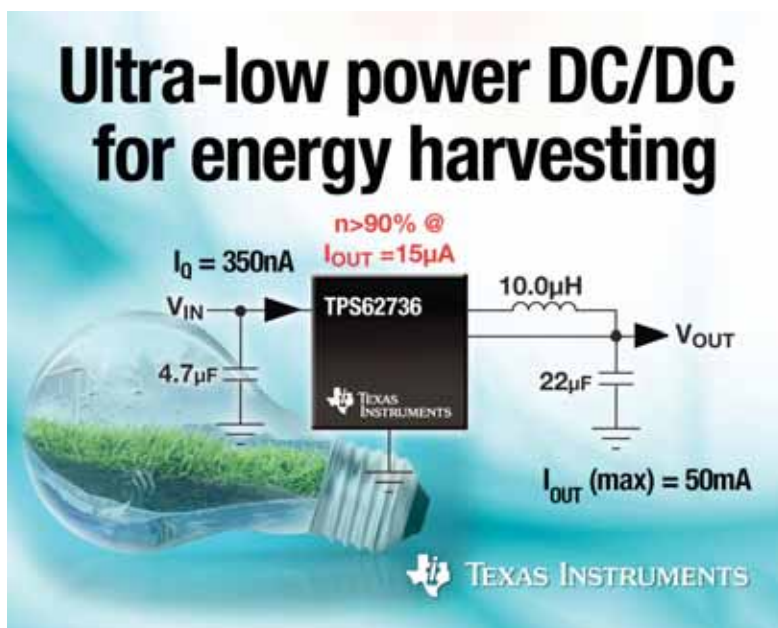


Fig. 6 – Il dc/dc converter TPS62736 di Texas Instruments è stato progettato per l'energy harvesting ad alta efficienza

soluzioni basate su materiali organici a basso costo in sostituzione dei semiconduttori classici per impieghi quali ad esempio le celle fotovoltaiche e i materiali termoelettrici e piezoelettrici flessibili. Come esempio di impiego dei termogeneratori TEG, si cita il caso della tedesca Micropelt, che ha realizzato il TE-Core (Fig. 2) per applicazioni wireless di EH ultra-low power di tipo battery-less, in grado di autoalimentarsi quando posto in contatto con una sorgente

semplice. I trasduttori utilizzabili per energy harvesting possono essere i più disparati a seconda delle fonti che si intendono utilizzare, e vanno dalle termocoppie (come termopile) alle celle a effetto Seebeck per il calore, agli elementi fotovoltaici per la luce, dai trasduttori piezoelettrici a quelli a induzione per il movimento e le vibrazioni, alle antenne per le onde radio, e così via. Oggi, grazie alla spinta delle nuove tecnologie, si stanno sperimentando

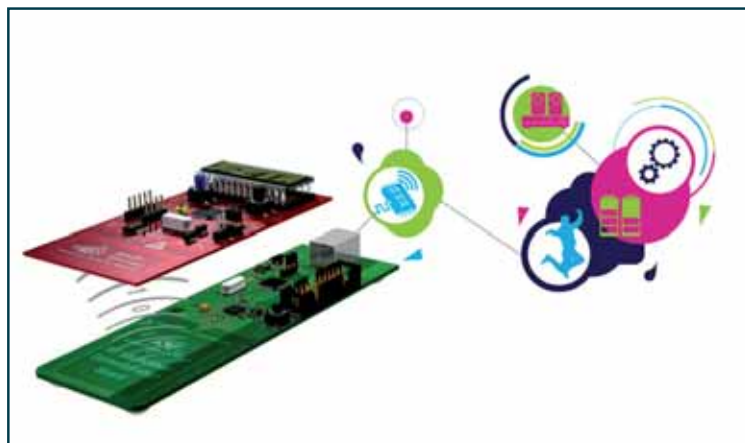


Fig. 7 – Il Discovery Kit M24LR di ST Microelectronics permette di valutare l'efficienza di vari circuiti di energy harvesting

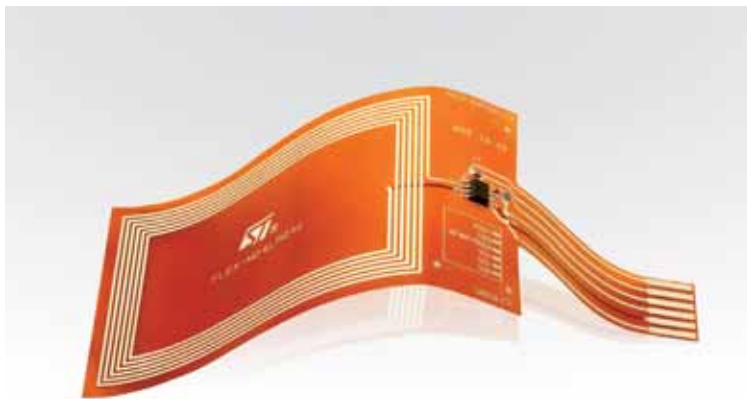


Fig. 8 – La "flexible reference board" di STMicroelectronics è progettata per applicazioni di EH da campo elettromagnetico

di calore di almeno 10°C al di sopra di quella dell'aria sovrastante, generando una potenza che può andare dai 150µW fino ad oltre 10mW, mentre la tensione d'uscita può essere selezionata fra 1.9V e 4.5V.

Dispositivi di questo tipo – che possono essere fissati ad una tubatura con un ancoraggio meccanico o magnetico – sono ideali ad esempio per il monitoraggio senza necessità di batteria e quindi di manutenzione per impianti di riscaldamento domestico (monitoraggio wireless dei termosifoni negli impianti centralizzati, Fig. 3) o locazioni remote di impianti industriali.

## Converter e circuiti a basso consumo

A valle del trasduttore - una volta convertita l'energia ambientale in elettrica - occorre effettuare un ulteriore passaggio: quello di adattare la tensione erogata dal trasduttore a quella richiesta dal carico e, se la sorgente ambientale è di tipo discontinuo, caricare un elemento di accumulo quale una batteria ricaricabile o un condensatore a basse perdite.

Se poi la sorgente ambientale oltre ad essere discontinua genera picchi di energia istantanea elevati, il circuito di conversione deve essere in grado di sopportare picchi di tensione elevati, o sopprimendoli o sfruttandoli per la carica dell'accumulatore. Infine, la tensione applicata al circuito di carico - sia esso un microcontroller, un amplificatore per sensore o un circuito per comunicazione radio - deve essere opportunamente stabilizzata.

Più di una sono le società che producono convertitori utilizzabili in applicazioni di energy harvesting.

Fra i costruttori impegnati in questo settore, Linear Technology ha a catalogo alcuni convertitori a bassa tensione progettati proprio per le applicazioni di EH. Ad esempio, l'LTC3108, è un dc/dc converter di tipo step-up alimentabile a partire da un generatore termoelettrico (Fig. 4) in grado di fornire tensioni d'uscita selezionabili in 4 step da 2.35 a 5V. Il chip integra un regolatore LDO da 2.2V a 3mA, ed è in grado di operare a partire da soli 20mV d'ingresso, con una corrente a riposo di 6µA; in figura 5 è visibile il circuito applicativo.

Un altro dispositivo analogo è l'LTC3109, un converter auto-polarity che può operare a partire da un segnale d'ingresso di soli ±30mV che, utilizzando un generatore termoelettrico, richiedono una differenza di temperatura di solo ±1°C fra le due facce del TEG. Fra i converter utilizzabili con i generatori piezoelettrici, vi è ad esempio l'LTC3588-1, in grado di operare con una corrente d'ingresso in assenza di carico di soli 950nA (450nA in modalità UVLO) con tensioni da 2.7 a 20V.

Fra le altre società, Texas Instruments ha a catalogo alcuni dc/dc converter progettati per l'energy harvesting ad alta efficienza: ne sono un esempio prodotti quali il TPS62736 (Fig. 6), che evidenzia un'efficienza superiore al 90% anche a

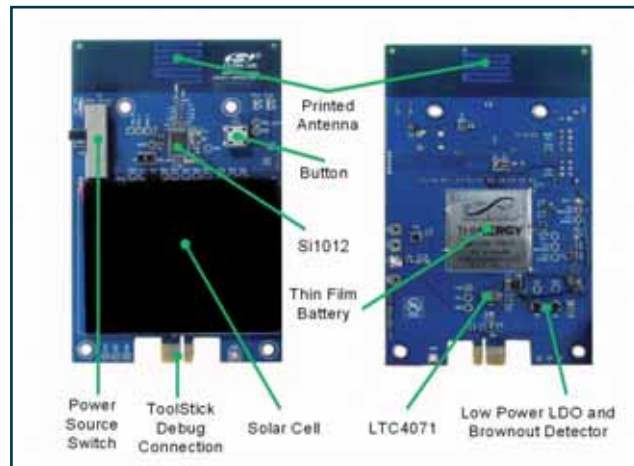


Fig. 9 - La "reference design board" di Silicon Laboratories per applicazioni di EH da energia solare



Fig. 10 - Batterie ricaricabili per applicazioni embedded della serie Thinergy di Infinite Power Solutions



Fig. 11 - Kit di valutazione a MEC/Energy Harvesting di Infinite Power Solutions che utilizza una cella solare amorfa

correnti di soli 15µA e presenta un assorbimento di corrente di soli 350nA; fra gli altri prodotti di TI per EH sono da annoverare anche microcontrol-



**Fig. 12** – Gli EnerChip CC di Cymbet integrano direttamente al loro interno la batterie a film sottile da 12 $\mu$ Ah, supportate da circuiti di power-management

ler a basso consumo ed interfacce a transponder a basso consumo quali ad esempio il TMS37157. Anche Maxim ha a catalogo un prodotto per EH, e precisamente il MAX17710, un converter in grado di caricare e proteggere una batteria di tipo micropower (una Micro-Energy Cell, detta anche MEC) partendo da sorgenti scarsamente regolate che forniscono da 1 $\mu$ W a 100mW, garantendo la carica della micro-batteria anche da tensioni d'ingresso di soli 0.75V e fornendo una tensione regolata selezionabile di 1.8V, 2.3V o 3.3V.

ST Microelectronics propone l'M24LR Discovery Kit (visibile in Fig. 7) per valutare l'efficienza di

energy harvesting dei circuiti di supporto della memoria EEprom dual-interface M24LR come il microcontroller ultra-low power STM8L, caratterizzato da un assorbimento di 150 $\mu$ A/MHz e da una modalità di power-down in modalità Halt che assorbe solo 0.3 $\mu$ A. Il kit permette di semplificare lo sviluppo di applicazioni battery-free che scambiano dati con smartphones NFC (Near Field Communication) o con dispositivi RFID bidirezionali. Abbinabile al kit, è disponibile una "flexible reference board" (Fig. 8) contenente l'antenna, la Eeprom M24LR, un filtro da 10nF ed un'interfaccia I2C.

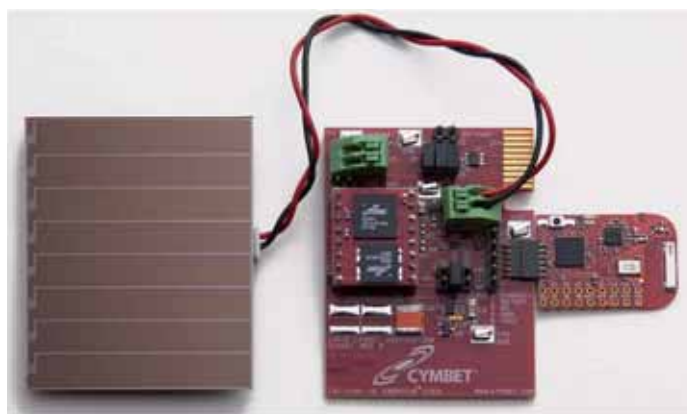
Fra gli altri circuiti proposti da ST, vi sono ancora l'SPV1040, un converter autoprotetto di tipo step-up che accetta in ingresso tensioni da 300mV a 5.5V generate da una singola cella solare o una fuel cell. Caratterizzato da una corrente a riposo di soli 60 $\mu$ A (che scendono a 0.7 $\mu$ A in modalità shutdown),

questo converter implementa appositi algoritmi MPPT proprietari di tipo "perturb & observe" atti a massimizzare l'energia collezionata dalla sorgente anche al variare delle condizioni ambientali, garantendo un'efficienza del 90%. La tensione d'uscita – utilizzabile per caricare un super-condensatore o una batteria – è di 5.5V.

Vi sono comunque altre società impegnate nella produzione di converter a bassissimo consumo proprio per applicazioni di EH. Ne è un esempio Anagear, che con l'ANG1002 Extreme propone un PMIC (Power Management IC) progettato per WSN (Wireless Sensor Node) che si accontenta di 250 nA in standby mode e di soli 50 nA in sleep-mode.

Prodotti di questo tipo sono concepiti per supportare la pratica implementazione del concetto di IOT (Internet of Things). Proprio a questo scopo il controller di Anagear possiede un numero di device-ID univoco utilizzabile nelle applicazioni di RTLS (Real Time Location Sensing) nelle reti di sensori wireless.

Silicon Laboratories propone un "reference design board" (Fig. 9) basata sul chip EZRadioPRO che utilizza una cella solare. Sulla scheda è montato l'Si1012, un microcontroller a basso



**Fig. 13** – Kit di valutazione a energia solare che utilizza due EnerChip di Cymbet abbinato ad un kit di Texas Instruments basato sull'MSP430

consumo (0.1µA a 1.8V in sleep mode) che integra un A/D converter ed un transceiver a 240-960 MHz.

### Immagazzinare l'energia

A indispensabile completamento dei sistemi di energy-harvesting, fondamentale è la funzione svolta dagli elementi di immagazzinamento dell'energia, che può essere accumulata da batterie ricaricabili, dai super-condensatori o dalle recentissime batterie a film sottile o TFB (Thin-Film Batteries). Ne sono un esempio le batterie

ricaricabili per applicazioni embedded della serie Thinergy MEC (Micro-Energy Cell) di Infinite Power Solutions (IPS), che vengono prodotte in package ultra sottili (in Fig. 10 è visibile un elemento da 4V e 1mAh). Il brevetto depositato da IPS riguarda elemento accumulatori flessibili ermetici con incapsulamento a film metallico, garantite per 100 mila cicli e ideali per applicazioni quali "powered cards", dispositivi RFID/RTLS, dispositivi medici, Real-time clock, backup nei moduli di memoria e alimentazione di sensori wireless, compresi i dispositivi Bluetooth Smart. IPS propone inoltre il kit di valutazione a MEC/Energy Harvesting IPS-EVAL-EH-01 (Fig. 11) che integra una MEC IPS da 0.7mAh, un PMIC di Maxim ed una cella solare amorfa di Sanyo/Amorton.

Altre soluzioni sono in via di sviluppo: ad esempio Cymbet Corp. produce batterie ricaricabili a stato solido a film sottile per EH disponibili in package per montaggio superficiale QFN o DFN, una soluzione a basso profilo non ottenibile con soluzioni tradizionali quali le batterie al litio a bottone o i super-condensatori.

La SSB (Solid-state Smart Battery) EnerChip di Cymbet, infatti, risulta ideale per essere utilizzata come batteria di backup di tipo embedded, ed occupa un volume di soli 0.073 centimetri cubi contro 1.04 centimetri cubi di una cella al litio a bottone. Grazie alla possibilità di essere saldata direttamente con tecniche di reflow, è utilizzabile su entrambe le facce di un circuito stampato, e può essere collocata direttamente all'interno di

### EVAL-09 Universal Energy Harvesting Kit

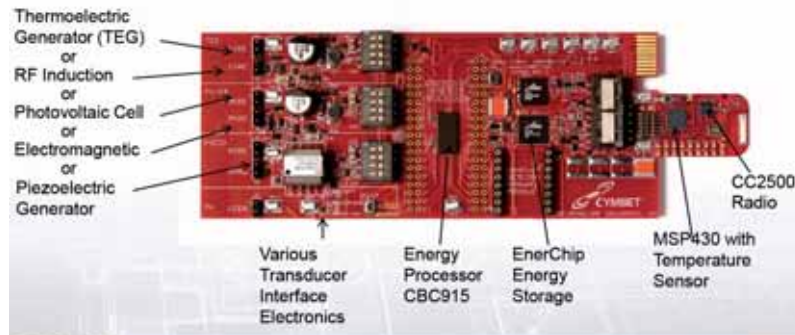


Fig. 14 – Development-kit che utilizza – accanto all'MPS430 di TI – gli EnerChip di storage e l'Energy Processor CBC915 di Cymbet, con la possibilità di ricavare energia da qualunque tipo di trasduttore

moduli multichip MCM o di dispositivi SoC, ed è disponibile con capacità di 12µAh e di 50µAh con una tensione di 3.8V.

Non solo, ma Cymbet ha a catalogo una famiglia di EnerChip CC (Fig. 12) che integrano direttamente al loro interno la batterie a film sottile da 12µAh supportate da circuiti di power-management deputati al controllo di carica, alla protezione della batteria, al monitoraggio della temperatura e al controllo della tensione di switchover, il tutto con un assorbimento di 3.5µA a 3.3V. In figura 13 è visibile un kit di valutazione a energia solare che utilizza due EnerChip di Cymbet abbinato ad un kit di Texas Instruments basato sull'MSP430. Accanto a questi dispositivi, Cymbet dispone dell'Energy Processor CBC915 per EH in grado di interfacciarsi con tutti i tipi di trasduttori per la cattura dell'energia ambientale, che elimina i problemi di adattamento fra l'impedenza del trasduttore e quella del carico.

Il chip implementa opportuni algoritmi di power-tracking dei picchi di energia atti a garantire il massimo dell'efficienza di conversione, e dispone di un'interfaccia seriale verso il microcontroller di sistema per indicare i livelli di energia in ingresso e accumulata, oltre ad integrare tutte le funzioni prima viste per gli EnerChip CC. In figura 14 un development-kit che utilizza – accanto all'MPS430 di TI – gli EnerChip di storage e l'Energy Processor CBC915 di Cymbet, con la possibilità di ricavare energia da qualunque tipo di trasduttore. ■