

COME RECUPERARE ENERGIA DALLE FONTI AMBIENTALI

L'Energy Harvesting per la strumentazione

Sulla spinta della crescenti necessità di riduzione dei consumi e di risparmio energetico, le tecniche di Energy Harvesting (EH) trovano soprattutto impiego nelle reti di sensori wireless (WSN) basate su dispositivi autonomi in grado di funzionare in rete con altri dispositivi. Dal momento che un nodo wireless consuma energia in tutte le fasi del suo funzionamento, risulta fondamentale lo sviluppo di protocolli ottimizzati per garantire bassi consumi e comunicazioni affidabili. Un esempio è dato dalla tecnologia di comunicazione EnOcean.

Giuseppe Fezza

Keyword

Energy Harvesting, TEG, microgeneratori, Energy Awareness, Harvester, Supercapacitori, Batterie Primarie, Batterie Secondarie, Sensori Autonomi, Wakeup Radio, TinyOS, WSN, RFid, EnOcean

L'AUTORE

Questo articolo è stato rielaborato dall'autore a partire dalla tesi di Laurea "Uno studio sulle soluzioni Energy Harvesting utilizzate nei sistemi di misura e controllo" in Ingegneria dell'Automazione Industriale presso l'università telematica E-Campus.

Le tecnologie di energy harvesting (EH) o power harvesting o energy scavenging raggruppano tutte le tecniche e i processi che rendono possibile il recupero, la trasformazione e l'accumulo di energia, anche di piccole quantità, ricavate da diverse fonti presenti nell'ambiente (calore, luce, vibrazioni, vento, onde radio ecc.). Attraverso l'utilizzo di queste tecnologie è possibile alimentare un dispositivo elettronico, liberandolo dalla necessità di essere allacciato ad una rete di distribuzione elettrica o di utilizzare delle batterie, garantendo un risparmio in termini economici, con la possibilità di avere una fonte di alimentazione gratuita, per tutta la durata dell'applicazione e praticamente senza alcuna manutenzione.

Secondo una ricerca fatta da IDTechEx, nel 2011 il mercato dell'EH ha avuto un giro d'affari di 700 milioni di dollari, di cui la maggior parte riguardante applicazioni di elettronica di consumo. Queste tecnologie cominciano ad affacciarsi anche nell'industria e soprattutto in applicazioni Wireless Sensor Network (WSN), con 1,6 milioni di dollari investiti. Secondo una stima di Pike Research, nel 2010 sono stati prodotti 29,3 milioni di dispositivi che fanno uso di tecnologie EH, nel 2015 il numero di dispositivi salirà a 235,4 milioni. Il volume di affari, sempre secondo IDTechEx, nel 2021 si aggirerà intorno ai 4,4 miliardi di dollari con oltre 250 milioni di dispositivi EH solo per applicazioni industriali.

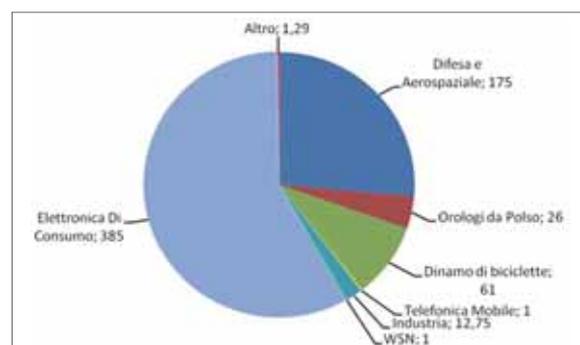


Figura 1 - Mercato dell'Energy Harvesting 2011 (700 milioni di dollari). Fonte: IDTechEx

Le fonti per l'EH

La sfida è ricavare alimentazione dalle fonti di energia sempre disponibili nell'ambiente, come la luce, il vento, le differenze di temperatura, le

Fonte Energetica	Densità di Potenza
Rumore acustico	0,003 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ a 75 dB
	0,96 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ a 100 dB
Variazioni di temperatura	10 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$
Radiofrequenza	1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Luce ambiente	100 mW/cm^2 (luce solare)
	100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (illuminazione interna)
Termoelettrico	60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Vibrazione (microgenerazione)	4 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ (movimenti umani - Hz)
	800 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ (movimenti macchine - kHz)
Vibrazione (piezoelettricità)	200 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$
Vento	1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Tabella 1 - Densità di potenza di alcune fonti per le tecniche di EH. Fonte: Yildiz, Faruk, "Potential Ambient Energy-Harvesting Sources and Techniques", The Journal Of Technology Studies, 2009. Vol. 35 Num. 1

vibrazioni, le onde radio ecc., in modo da far funzionare un qualsiasi dispositivo elettronico.

Di seguito viene presentata un panoramica sulle fonti di energia ambientali da cui è possibile ricavare alimentazione.

Energia termica

Differenze di temperatura e flussi di calore sono presenti ovunque nell'ambiente che ci circonda. Esempi tipici sono rappresentati dal calore disperso dai motori degli autoveicoli, dal calore geotermico contenuto nel sottosuolo, dal calore presente nelle acque di raffreddamento nelle acciaierie o in altri processi industriali. L'EH termoelettrico sta diventando una tecnologia molto valida e si prevede che diventi via via più diffusa con il diminuire delle richieste di potenza di alimentazione per le applicazioni. I dispositivi che consentono di ricavare energia elettrica dai gradienti di temperatura sono i termogeneratori (TEG) e si basano sull'effetto termoelettrico di Seebeck.

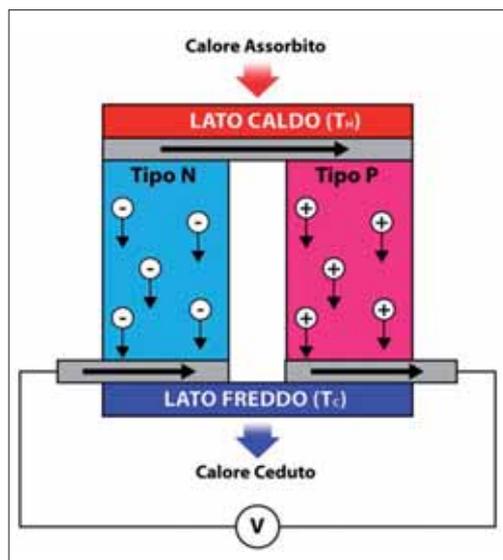


Figura 2 - Termocoppia a semiconduttore. Base del generatore termoelettrico.

Energia fotovoltaica

Negli ultimi anni l'energia solare, o fotovoltaica, è diventata la più importante fonte di energia rinnovabile. Tutto ciò è dovuto all'abbondanza che caratterizza questa fonte, alla facilità di sfruttamento e all'ormai elevata diffusione dei componenti per il suo recupero. La cella fotovoltaica consente di convertire la luce in elettricità attraverso un processo fisico conosciuto come effetto fotoelettrico. Esistono diverse applicazioni di EH fotovoltaico, si va dai sistemi di generazione di energia elettrica residenziali, alle applicazioni in ambito navale e marittimo, sino alle applicazioni nei trasporti.

Energia dalle vibrazioni

Vibrazioni caratterizzate da un livello energetico tale da rendere interessante una loro conversione in elettricità si trovano in numerose applicazioni, tra le quali gli elettrodomestici di uso quotidiano nelle case, i macchinari industriali, i mezzi di trasporto e le strutture civili come edifici, strade e ponti. Esistono tre tipologie di generatore in grado di recuperare l'energia contenuta nelle vibrazioni a seconda del principio di misura: elettromagnetico, piezoelettrico ed elettrostatico.

Energia dalle onde radio

L'energia RF rappresenta una fonte di grande interesse per l'alimentazione nelle reti di sensori wireless; attraverso sistemi di distribuzione wireless della potenza è possibile avere un'infrastruttura ad hoc in grado di alimentare intere reti costituite da centinaia o migliaia di nodi, con un'unica fonte di trasmissione. L'applicazione più comune di queste tecnologie sono i sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFid). Oggi, però, la vera sfida nella ricerca e nello sviluppo di queste tecnologie è poter recuperare la potenza trasmessa dai servizi di telecomunicazione pubblici, come le trasmissioni TV e radio o le comunicazioni di telefonia mobile.

Energia dal corpo umano

Un'altra ricca fonte di energia è il corpo umano. In questo caso il recupero dell'energia deve essere poco invadente e non deve recare disturbo allo svolgimento delle normali attività umane. È possibile recuperare potenza utile per alimentare dispositivi elettronici di varia natura sfruttando il calore corporeo, la pressione sanguigna, la respirazione e i movimenti degli arti. Sbocco principale per lo sviluppo di tali tecnologie è soprattutto il settore medico, con la creazione di apparecchiature e sensori indossabili per il monitoraggio dei parametri fisiologici, che non arrecano fastidio al paziente.

Energia eolica

Oggi grazie all'uso delle turbine eoliche è possibile generare grandi quantità di energia elettrica, in pratica il vento fa ruotare le pale della turbina che è collegata ad un albero, il quale a sua volta è collegato ad un generatore di energia elettrica. Per recuperare in maniera efficiente l'energia eolica è necessario considerare alcuni parametri. Particolarmente importante è la velocità del vento, in quanto la potenza recuperata è direttamente proporzionale al cubo di quest'ultima. Questa relazione torna utile nelle piccole applicazioni, perché è possibile, così, ricavare quantità di energia relativamente elevate a fronte di piccoli flussi d'aria.

Energia dal mare

L'utilizzo dell'energia proveniente dal mare può essere di due tipologie: recupero dell'energia potenziale dalle maree o recupero dell'energia cinetica dalle correnti marine e dalle onde. Un esempio è l'Energy Harvesting Eel, un dispositivo in grado di estrarre una potenza che varia da pochi milliwatt a qualche watt in funzione della velocità del flusso d'acqua (Taylor 2001), che consente di alimentare, ad esempio, sensori utilizzati per misure oceanografiche o reti di campionamento. Il sistema è costituito da un telaio alla cui sommità è posizionata un'asta alla quale sono attaccate alcune strisce di materiale piezoelettrico.

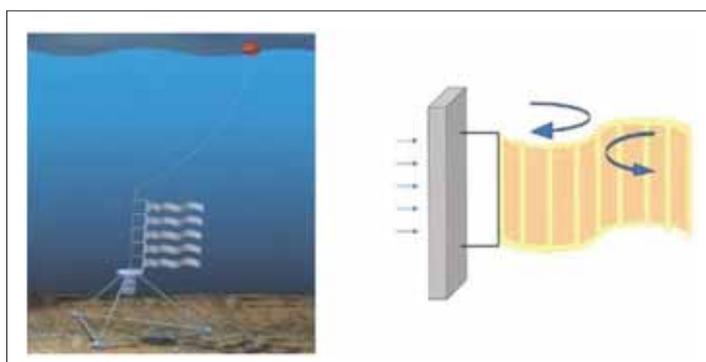
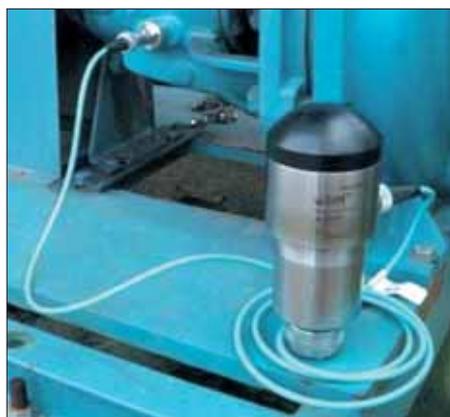


Figura 3 - Energy Harvesting Eel, sviluppato da Taylor et al. (2001)

Sensori Autonomi

Nel corso degli ultimi anni, si è affermato il concetto di sensore autonomo inteso come dispositivo indipendente di rilevamento integrato in una rete. I sistemi autonomi differiscono nella loro modalità di alimentazione. Allo stato attuale l'alimentazione convenzionale a batteria dei nodi sensore pone limitazioni sulla loro vita utile e sulle attività che possono svolgere. In questo contesto, le tecnologie EH offrono le potenzialità per sostenere il funzionamento dei nodi sensore in maniera teoricamente infinita, purché ci sia sufficiente energia ambientale da sfruttare. Un esempio di queste applicazioni è la rete di sensori wireless autoalimentati con microgeneratori a vibrazione prodotti da Perpetuum e realizzata presso l'impianto Shell, per il trattamento del gas di Nyhamna in Norvegia. Il sistema consiste in un numero elevato di punti di monitoraggio, molti dei quali posti in aree pericolose, che forniscono temperatura e vibrazioni ogni cinque minuti ed aiutano gli ingegneri responsabili della manutenzione ad individuare in anticipo potenziali guasti del sistema. Shell prevede che l'uso di questa soluzione diventerà uno standard globale entro pochi anni.

Figura 4 - Un nodo sensore wireless alimentato con un generatore a vibrazioni Perpetuum installato nell'impianto Shell di Nyhamna



Nei sensori autonomi non vengono utilizzati cavi, né per la trasmissione dei dati, né per l'alimentazione. Essi trascorrono la maggior parte del tempo in standby e si "svegliano" solo per eseguire specifiche azioni, ovvero la misurazione, l'elaborazione e la trasmissione/ricezione dei dati. Come descritto dallo schema a blocchi della ► figura 5, i sensori autonomi sono costituiti da una sorgente di alimentazione, da un blocco di condizionamento della potenza generata, da un modulo sensore per il rilevamento delle grandezze da misurare, da un processore per le elaborazioni e da un modulo transceiver per la gestione della ricezione e della trasmissione dei dati. Oltre che da batterie primarie o secondarie (ricaricabili), i dispositivi autonomi possono trarre alimentazione da specifici trasduttori EH. La maggioranza di questi non è in grado di fornire energia in maniera costante per lunghi periodi di tempo al dispositivo autonomo. Per cui, al fine di raggiungere questo obiettivo, può essere utile adottare una batteria secondaria o un supercapacitore, in modo da consentire l'accumulo di energia prodotta dall'harvester, che può essere sfruttata per alimentare un dispositivo nelle situazioni di indisponibilità della fonte ambientale principale.

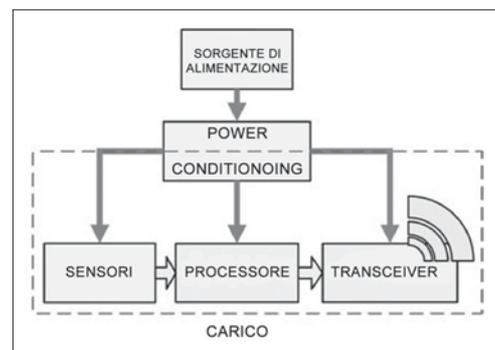


Figura 5 - Schema a blocchi di un sensore autonomo

Wireless Sensor Network

La "naturale" applicazione dei sistemi autonomi sono le reti di sensori wireless. I sensori autonomi sono in grado di auto-configurarsi all'interno di una rete wireless operativa e di lavorare in maniera automatica. In un contesto del genere l'EH permette di estendere la durata del funzionamento, di eliminare il costo e l'inconveniente della sostituzione delle batterie sui nodi sensori, di ridurre gli sprechi e di accrescere l'energy awareness dei nodi sensori, nel senso che questi sono in grado di gestire le proprie risorse energetiche in modo intelligente per fornire un funzionamento sostenibile. Uno dei problemi principali di queste reti è la gestione dell'energia per aumentare la vita di funzionamento del sistema, soddisfacendo, nel contempo, i requisiti funzionali e di rilevamento.

Su queste basi si è sviluppata un'ampia ricerca di fonti alternative di energia, soprattutto per applicazioni che richiedono funzionamento per lunghi periodi o sensori in cui la sostituzione della batteria risulterebbe faticosa, se non impraticabile. Risulta infine particolarmente interessante l'integrazione delle tecnologie RFid e WSN, sfruttando la capacità dei tag RFid di potersi autoalimentare tramite il campo di interrogazione trasmesso dal dispositivo lettore e di utilizzarlo per sostituire alcuni dei nodi sensore delle WSN. Inoltre, un oggetto che è integrato con un tag RFid è rintracciabile, per cui la tecnologia RFid fornisce una capacità addizionale alle reti di sensori wireless nel tracking degli oggetti. D'altra parte, i sensori sono in grado di fornire varie funzionalità di rilevamento ai tag RFid; introducono capacità computazionali nei nodi per consentire ai lettori e ai tag di avere intelligenza, fornendo ad un sistema RFid la capacità di operare in modo multihop, che potenzialmente può estendere il numero di applicazioni RFid.

Protocolli di comunicazione

Un protocollo di comunicazione adatto ai requisiti EH prevede l'attuazione di un routing dei pacchetti di dati (attraverso lo sviluppo di algoritmi adattativi) in modo da garantire l'attuazione di un instradamento che sia la più efficiente possibile. Altro elemento importante in uno stack protocol-lare di comunicazione è il livello MAC (Medium Access Control), che gestisce e controlla l'utilizzo del mezzo condiviso di trasmissione da parte dei nodi partecipanti alla rete. Un altro concetto attraente per le reti reattive a bassa energia è quello del wakeup radio, dove in un nodo wireless sono incorporati due ricevitori; quello primario viene svegliato dal ricevitore secondario a più basso consumo (di solito un tag RFID), che agisce in risposta ad un trigger inviato dal nodo di trasmissione. Da segnalare, poi, la disponibilità di diversi sistemi operativi. Tra questi TinyOS è ampiamente utilizzato sia per WSN realizzate a scopo di ricerca sia per WSN commerciali. TinyOS è stato progettato per operazioni a bassissimo consumo di potenza, con un'azione di default, che è quella di spegnere le periferiche quando non sono in uso, fornendo al programmatore, mediante apposite funzioni, la possibilità di cambiare gli stati di alimentazione del microcontrollore e del ricetrasmittente.

La tecnologia EnOcean

Una tecnologia esemplificativa di quanto descritto fino ad ora è EnOcean. Si tratta di una tecnologia radio in grado di implementare soluzioni senza batterie, sviluppata per rendere gli edifici intelligenti e sostenibili. Una soluzione EnOcean

recupera l'energia necessaria dall'ambiente circostante, sfruttando le tecnologie EH per recuperare potenza utile, soprattutto dalle vibrazioni, dalla luce o dalle differenze di temperatura. Alcune caratteristiche vincenti di questa tecnologia sono l'effettiva possibilità di avere un sistema fortemente ottimizzato, la facilità di integrazione dei componenti, l'adozione di moduli radio senza batterie (che consumano circa 50 μ W/s per ogni telegramma inviato), il range di trasmissione abbastanza esteso (circa 300 m per applicazioni outdoor e 30 m per quelle indoor), la minima emissione di energia (un milione di volte inferiore a quelle di un normale telefono cellulare), la trasmissione del segnale affidabile (adatto a sistemi con centinaia di sensori, dove il tempo di trasmissione di un segnale è di un millesimo di secondo soltanto) e l'elevata immunità ai disturbi. Ad oggi, sostanzialmente non esistono ostacoli all'utilizzo dell'EnOcean in aree Ex, in quanto la quantità di energia contenuta nei segnali trasmessi è troppo piccola per produrre un'esplosione. EnOcean risulta molto utile in termini di risparmi economici anche nella realizzazione di sistemi di monitoraggio delle reti elettriche e della distribuzione del gas o dell'acqua.

Conclusioni

Ad oggi, la tecnologia Energy Harvesting riesce a recuperare quantità di energia dalle fonti ambientali ancora relativamente limitate rispetto alle necessità di alimentazione di un qualsiasi dispositivo elettronico. Inoltre, lo sviluppo e la produzione di un sistema autonomo risulta essere un'attività relativamente complessa, nella quale per l'utilizzo dei processi di EH devono essere valutate preliminarmente e attentamente tutte le fonti disponibili e se necessario integrare più fonti, aumentando in questo caso di molto le complessità sia hardware dei circuiti, sia software per la gestione delle operazioni e delle elaborazioni. D'altra parte, benefici a queste tecnologie possono derivare in maniera indiretta dagli sviluppi recenti nelle micro e nano-tecnologie, che hanno portato alla realizzazione di dispositivi di dimensioni sempre più ridotte e con consumi energetici che si riducono di conseguenza. Inoltre, l'utilizzo dell'Energy Harvesting comporta l'eliminazione degli svantaggi che nascono con l'utilizzo delle batterie come unica fonte di alimentazione, tra questi l'eliminazione delle attività necessarie per la loro manutenzione e per la loro sostituzione, che a volte può risultare molto onerosa. Ultimo vantaggio, ma non per importanza, dei sistemi Energy Harvesting rispetto ai sistemi di alimentazione tradizionali è il grande risparmio nei costi di implementazione e di esercizio. ■