

Senza neanche un filo

Matteo Marino

“L’energia è ovunque, basta gestirla”: così recita il motto utilizzato da molti attori di rilievo dell’energy harvesting. E sembra proprio ‘non fare una piega’, anche se l’utilizzo delle varie forme di energia rinnovabile non sempre può ritrovare facile riscontro nelle applicazioni. L’impiego di energia proveniente da nuove sorgenti pulite, per impieghi di tipo remoto, costituisce una valida alternativa non solo ecologica, ma anche economica all’uso dei tradizionali sistemi di alimentazione. Oltre, infatti, ad aspetti legati ai costi di manutenzione per la sostituzione periodica, per esempio, delle batterie, l’utilizzo di soluzioni wireless alimentate da fonti pressoché inesauribili ha stimolato i produttori a fornire applicazioni efficienti e molto interessanti, che non richiedono alcun intervento periodico, anche in frangenti caratterizzati da elevata complessità o limitata accessibilità. L’uso di fonti alternative è anche in grado di affiancarsi ai sistemi tradizionali di alimentazione di apparati remoti, elevando il livello generale di affidabilità.



Un nodo di una rete wireless dotato di autonoma capacità di acquisizione dell’energia meccanica

di una o più fonti rinnovabili, che rende fruibile l’energia stessa per applicazioni dedicate. Tale processo è intrapreso da apparati elettronici in grado di alimentare reti a bassissima potenza, come circuiti di controllo o reti di sensori, che soddisfano svariate esigenze applicative. Negli ultimi anni il livello di efficienza degli apparati, dei dispositivi e dei microprocessori si è elevato considerevolmente, tanto da creare le condizioni per impieghi auto-sostenibili inimmaginabili fino

La veloce diffusione di soluzioni auto-consistenti apre la discussione sulle potenzialità dell’energia ‘pulita’ per le reti wireless

a qualche tempo fa, come le reti wireless di sensori senza batterie. L’energia ‘pulita’ e virtualmente illimitata può essere ottenuta da molte fonti naturali. Esiste, infatti, la meccanica prodotta da forze, pressioni o fonti vibratorie, la termica ottenuta grazie a residui fonti di calore, l’elettromagnetica prodotta da induttori, trasformatori o avvolgimenti, la naturale prodotta dal vento, flussi idrici, onde o dal Sole e l’umana, prodotta grazie al calore del corpo o dai movimenti dello stesso ecc. Tutti i sistemi di energy harvesting sono dotati di tre elementi basilari: il dispositivo di conversione dell’energia naturale in elettrica, il sistema di gestione o immagazzinamento, oltre ai sistemi applicativi che sfruttano la fonte inesauribile.

Reti di sensori

Le applicazioni di reti di sensori wireless hanno subito ultimamente un forte impulso grazie anche alle opportunità offerte dai sistemi di energy harvesting. Esistono applicazioni in cui i sensori devono poter recepire e trasmettere informazioni per tempi quasi illimitati, in luoghi non sempre del tutto accessibili. Per questo motivo, il modello circuitale auto-alimentato si sta facendo spazio tra le modalità convenzionali. Il rischio di disponibilità discontinua delle fonti naturali di energia determina qualche scetticismo, che si sta, però, progressivamente diradando grazie all’evoluzione rapida verso apparati con livelli sempre più elevati di efficienza.

Il problema più annoso delle reti wireless di sensori è probabilmente costituito proprio dall’energia richiesta per il loro corretto funzionamento. Devono infatti essere alimentati costantemente, per trasferire adeguatamente le informazioni acquisite. Considerato l’effetto della frequente inaccessibilità di tali sistemi, la fonte di energia che sembrerebbe meglio adattarsi a tale scopo è costituita dalle batterie, che sono in grado di ricoprire il requisito fino al loro naturale esaurimento. Tale fonte possiede l’indubbio pregio di fornire una potenza costante, anche se il livello di efficienza



Recenti studi dimostrano che i sistemi piezoelettrici sottoposti a stress vibrazionale possono produrre energia sufficiente a far trasmettere ai sensori via wireless messaggi relativi a temperatura e umidità

totale, quindi l'efficacia dell'intero impianto. L'impraticabilità di particolari ambienti con installazioni remote ne riduce ulteriormente l'usabilità, agevolando, invece, l'introduzione di sistemi alternativi o integrativi in grado di funzionare per sempre o quasi.

Stato dell'arte

L'impiego di energia rinnovabile è da anni un principio perseguito, che trova ampio consenso in tutti i campi, compreso quello della generazione di basse potenze per l'alimentazione di reti wireless con dispositivi di vario genere, come i sensori (WSN - Heap, Wireless Sensor Network powered by ambient energy harvesting). Esistono fattori critici che non devono essere, però, trascurati, per assicurare il successo della progettazione degli impianti, come la tipologia di fonte

complessiva raggiunto dagli ultimi sistemi di energy harvesting sta evidenziando sempre di più le potenzialità alternative. Le batterie risentono di un naturale decadimento, che peggiora se sottoposte a stress termici o meccanici, riducendone l'autonomia

energetica, la modalità d'immagazzinamento dell'energia, la gestione della potenza sui nodi, il protocollo e i requisiti specifici delle applicazioni. Attualmente, nonostante esistano numerose e diverse fonti di energia rinnovabile, il modello più diffuso di energy harvesting è basato probabilmente sulle fonti solare e termica, nonché meccanica.



Durante la progettazione delle reti wireless auto-consistenti occorre valutare alcuni fattori critici: tipologia della fonte energetica, modalità d'immagazzinamento dell'energia, gestione della potenza sui nodi e protocollo

L'energia solare è probabilmente la risorsa più consistente tra quelle utilizzate, anche grazie alla maturità della tecnologia. L'assenza di luce solare durante le ore notturne o l'applicazione di reti in luoghi chiusi costituisce, però, il tallone d'Achille del modello. Tale carenza può essere superata tramite sistemi in grado di alimentarsi con luce artificiale e attraverso circuiti di ricarica di batterie, che riescono a supplire ai cali di potenza. L'energia meccanica, attraverso le sue varianti, come la vibrazionale e la cinetica, è utilizzata in molte applicazioni, anche perché l'effetto vibratorio può essere percepito e utilizzato da sistemi di energy harvesting in svariate situazioni, come su strutture sospese, ponti, strade, ferrovie, banchine ecc. Le vibrazioni possono essere sfruttate per trasformare tale effetto in potenza sufficiente a far funzionare i sensori disposti su reti wireless dedicate.

TRASMISSIONI RADIO

Il consumo di un sistema di nodi wireless è determinato sostanzialmente dall'energia di trasmissione, che è strettamente correlata alle distanze tra gli apparati. Per questo motivo, molti algoritmi di trasferimento hanno il compito di ridurre la frequenza trasmissiva, riducendo contemporaneamente le distanze tra gli elementi. In generale, il sistema di routing delle reti wireless di sensori può essere suddiviso in 'basico' e 'gerarchico' in relazione alla struttura della rete. Nel modello 'flat' o basico ogni nodo è omogeneo agli altri e i sensori contribuiscono equamente alla gestione dell'acquisizione delle informazioni.

Vista la potenziale e ampia estensione dei nodi delle reti, non sempre è possibile generare degli identificatori per i vari nodi, portando così a creare una modalità d'instradamento basato sulle regioni della rete. Per tali regioni una stazione dominante lancia le richieste, attendendo le risposte da parte dei differenti nodi della sezione geograficamente omogenea e attendendo le risposte in relazione alle località specifiche di appartenenza.

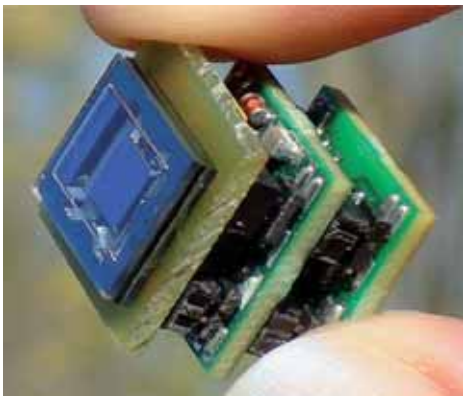
La gestione gerarchica dei nodi determina, invece, un maggiore livello di efficienza grazie alla scalabilità. Tale modello prevede che un numero limitato di nodi, sollecitati da una portata di energia maggiore, possano essere utilizzati per assecondare il processo di acquisizione e invio dei dati, mentre gli altri, sottoposti a un basso regime di potenza, siano interessati solo a un'attività ridotta e circoscritta.

La scalabilità di tale soluzione determina un'affidabilità del sistema più elevata con più alti livelli prestazionali e minori consumi. Uno dei più efficaci esempi di tale modello è costituito dal sistema di routing gerarchico Leach (Low energy adaptive clustering hierarchy), associato a protocolli come lo Heea (Hybrid energy efficient approach).

Recenti studi dimostrano che i sistemi piezoelettrici sottoposti a stress vibrazionale possono produrre una quantità di energia sufficiente a trasmettere via wireless messaggi completi a 12 bit. Un altro modello di energy harvesting è costituito, infine, dai sistemi termici, con i quali la corrente elettrica si genera grazie al gradiente di temperatura riscontrato tra due fonti.

Aspetti chiave

Le reti wireless di sensori con alimentazione tradizionale sono 'mature', ma la ricerca delle alternative basate su energia pulita è in pieno svolgimento, offrendo un panorama interessante. Il focus di tale disciplina è sulla gestione delle



potenze, che può determinare la reale svolta per le applicazioni. La naturale propensione dei sistemi di energy harvesting ad affiancarsi ai più tradizionali mezzi di alimentazione a batteria rende fondamentale la gestione ottimale delle potenze. Di fronte a reti alimentate in modo concomitante da fonti differenti, caratterizzate da intrinseca disomogeneità della fornitura di potenza nel tempo, riveste un'importanza cruciale generare condizioni adeguate di gestione dell'energia. Le logiche usuali di gestione della potenza residuale disponibile delle batterie non può più essere più utilizzata favorendo differenti metodi di valutazione. Il framework Eehf (Environmental energy harvesting framework) ne costituisce un esempio, mediante il quale è possibile ottenere uno schema generale di raccolta delle informazioni attraverso cui determinare, con un elevato livello di confidenza, quanta energia è possibile acquisire dall'ambiente circostante, perseguendo il modello di fornitura disomogenea ed estendendo, conseguentemente, la vita utile dei sistemi.

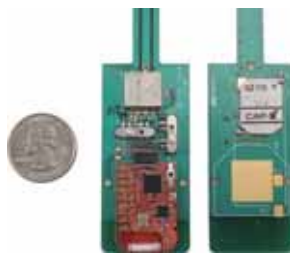
La gestione dei dati costituisce un ulteriore aspetto critico nella predisposizione di sistemi di sensori su reti wireless auto-consistenti. La disponibilità dei dati provenienti dai sensori è determinata sia dall'accesso alla rete da parte degli

stessi, sia dalla capacità di reindirizzare tali dati sulla rete stessa.

Molti approcci determinati da protocolli MAC (Medium Access Control) non sono in grado di esprimere scelte ottimali, per il semplice fatto che la schedulazione dei rilasci non può essere forzata, quando l'energia al nodo non è sufficiente per inoltrare i messaggi acquisiti. Tale fattore è dovuto essenzialmente alla disomogeneità caratteristica dei flussi di energia dei sistemi di energy harvesting, ma anche al degrado potenziale delle batterie. Gli studiosi del settore stanno analizzando molti schemi di routing per ottimizzare i fattori descritti. Il protocollo DD (Direct Diffusion), per esempio, ha subito modifiche nel tempo per adattarsi alla presenza di nodi sottoposti ad

alimentazione solare, creando un generale incremento delle prestazioni.

La topologia degli impianti wireless con doppia alimentazione può modificarsi a seconda dei livelli di potenza fornita dai sistemi, determinando una connettività ad assetto variabile. Anche tale aspetto riveste un'importanza fondamentale, per chi è tenuto a progettare reti wireless. Il controllo della potenza ha infatti un impatto diretto sulla topologia dell'impianto e per questo motivo gli studi fanno riferimento anche all'approccio matematico della teoria dei giochi, per individuare l'assetto ideale dei parametri che influenzano sulla 'veglia' e 'sonno' dei nodi. Un ulteriore elemento determinante del modello di energy harvesting applicato alle reti wireless di sensori è costituito dalla tecnologia d'immagazzinamento dell'energia. I cicli di ricarica delle batterie non sono per definizione infiniti e tale aspetto è in grado, come quelli



Le reti wireless di sensori con alimentazione tradizionale sono mature, ma la ricerca sulle alternative basate su energia pulita è in pieno svolgimento



I supercondensatori a doppio strato a elevata densità energetica costituiscono una vera 'svolta': il numero di cicli di ricarica può raggiungere fino a mezzo milione di periodi

citati in precedenza, di giocare un ruolo cardine in molte applicazioni, soprattutto caratterizzate da bassa accessibilità fisica agli strumenti. I supercondensatori a doppio strato (Edlc, Electrochemical double layer capacitor) con elevata densità energetica possono costituire una vera svolta rispetto agli utilizzi più classici dei condensatori, grazie alla loro predisposizione naturale a cicli di ricarica che possono raggiungere fino a mezzo milione di periodi con decadimenti del 20% dopo dieci anni di lavoro. ■