

## Un innovativo progetto MEMS per il riutilizzo delle vibrazioni ambientali

*La raccolta dell'energia vibrazionale dall'ambiente può essere la soluzione ottimale per molti problemi energetici tipici degli apparecchi embedded portatili*

Els Parton, Tom Sterken, Paolo Fiorini  
IMEC, Leuven

**G**li elementi chiave per le infrastrutture intelligenti del prossimo futuro saranno i sensori senza fili con funzionamento indipendente, installati in forma embedded dappertutto e connessi come reti distribuite.

Per arrivare a questo tipo di applicazioni in rete basate su nodi sensibili saranno indispensabili insieme ai dispositivi elettronici dal consumo sempre più basso anche dei particolari dispositivi "spazzini" capaci di "raccattare" energia dall'ambiente. In realtà dall'ambiente può essere efficacemente raccolta l'energia

vibrazionale usando le tecnologie MEMS. I dispositivi MEMS per l'accumulo e il riutilizzo dell'energia vibrazionale possono arrivare a generare densità di potenza dell'ordine dei  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^3$  e anche fino a  $1 \text{ mW}/\text{cm}^3$ .

Recentemente, un prototipo è stato realizzato usando un innovativo progetto basato su un particolare elemento denominato "electret", che permette di sfruttare meglio la tensione disponibile ed esclude la necessità di alcun'altra sorgente ausiliaria di tensione a bordo dei dispositivi di raccolta.

### Piccoli, intelligenti e autonomi

Il continuo rimpicciolirsi delle dimensioni dei transistor ha finito col trasformare l'intera elettronica di consumo in prodotti portatili. Giacché questi apparecchi si affidano alle batterie, non ci sono alternative per i progettisti delle applicazioni di nuova generazione se non realizzare dispositivi di calcolo e di comunicazione embedded senza fili sempre più piccoli, funzionali e confortevoli, tali da poterci accompagnare ovunque attorno a noi, o insieme a noi. D'altra parte, non è

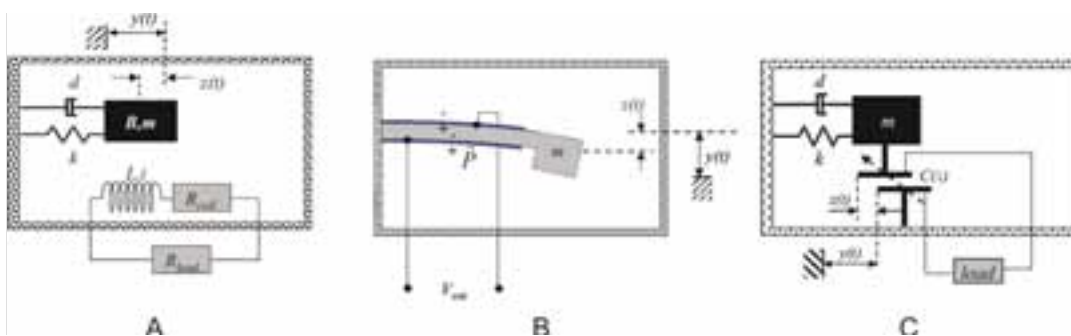


Fig. 1 - Principio di funzionamento dei convertitori di energia vibrazionale elettromagnetici (A), piezoelettrici (B) ed elettrostatici (C)

sempre facile sostituire le batterie esaurite e soprattutto nelle apparecchiature mediche, nei sensori di rilevamento (per esempio negli impianti in costruzione) o nelle complesse reti formate da molti nodi di sensori.

Una soluzione a tutto ciò può essere il riutilizzo dell'energia ambientale. La generale evoluzione verso i componenti elettronici a basso consumo incoraggia l'interesse nei riguardi di queste sorgenti di energia tipicamente a bassa densità di potenza.

Probabilmente, un bel giorno vedremo realizzare sistemi di questo tipo in grado di erogare densità di potenza dell'ordine dei  $15000 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ , ma per ora nelle applicazioni domestiche difficilmente si possono ricavare in questo modo più di  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ .

Un'alternativa può essere rappresentata dall'uso dell'energia termica, dato che alcuni esperimenti hanno dimostrato che i dispositivi di generazione di potenza basati sulla catalizzazione dell'energia termo-elettrica sono in grado di ricavare un'erogazione di  $15 \mu\text{W}/\text{cm}^3$  da una differenza di temperatura di  $10^\circ\text{C}$ . Purtroppo, questo tipo di energia non è utilizzabile in numerose applicazioni. Per contro, l'energia meccanica è sempre disponibile e abbondante in tutti gli ambienti, soprattutto in termini di deformazioni e vibrazioni. Apparecchiature ricche di vibrazioni abbondano nelle industrie, nelle applicazioni domestiche, negli impianti di ventilazione e riscaldamento di tutti gli edifici, nelle automobili e negli aerei. Inoltre, i ricercatori prevedono di poter estrarre dalle vibrazioni presenti in questi ambienti densità di potenza dell'ordine dei  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ .

### **Concentrare l'energia vibrazionale**

Com'è facilmente intuibile, i dispositivi di raccolta dell'energia vibrazionale si basano per lo più sulla legge d'inerzia di Newton e sfruttano il movimento relativo di una massa, confrontandolo rispetto al telaio stabile che la sostiene. Ci sono diversi modi che permettono di convertire questo movimento relativo in energia elettrica riutilizzabile e ottenere, pertanto, raccoglitori di energia vibrazionale basati su tecnologia elettromagnetica, piezoelettrica o elettrostatica. I convertitori di energia dalla forma vibrazionale alla forma elettromagnetica montano connesso alla massa un materiale magnetico che è a sua volta unito a un avvolgimento induttivo. In tal modo, il movimento della massa si trasforma in una variazione del flusso magnetico nell'avvolgimento. La seconda possibilità è la conversione delle vibrazioni di un'opportuna linguetta di materiale piezoelettrico collegata fra la massa e un riferimento: i movimenti della massa cau-

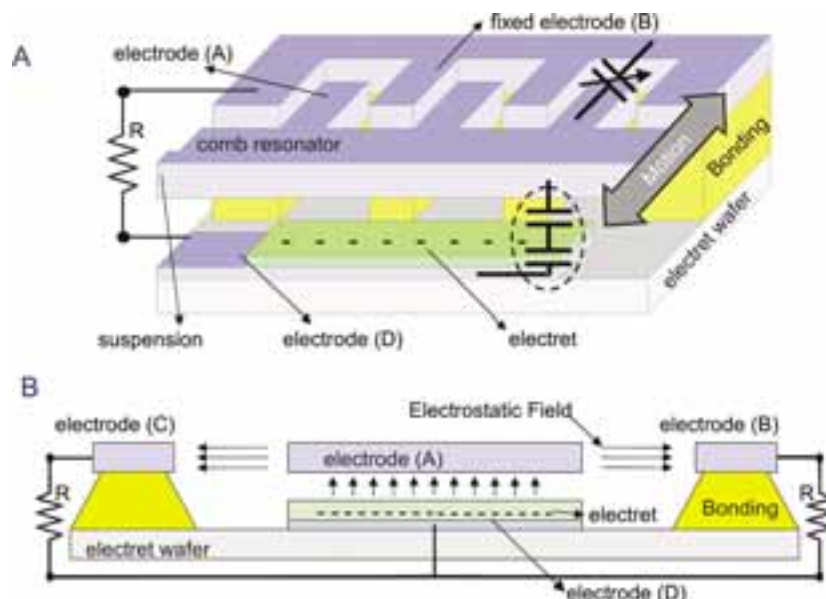


Fig. 2 - Sezione (a) e vista laterale (b) dell'architettura basata sull'electret, proposta per l'accumulo dell'energia vibrazionale

sano una deformazione nel piezoelettrico che induce una proporzionale variazione nel dielettrico posto fra i due morsetti di sostegno. Infine, i dispositivi elettrostatici usano per raccogliere le vibrazioni uno o più condensatori a capacità variabile posti fra la massa e il telaio di riferimento. Quando la massa si muove, il volume compreso fra i piatti paralleli di ogni condensatore cambia e parimenti varia la capacità, generando una corrente elettrica che viene immessa nel circuito esterno.

Per valutare la convenienza delle tre tecnologie di conversione è necessario considerarne le problematiche al momento della fabbricazione: gli avvolgimenti 3D dei convertitori elettromagnetici non sono realizzabili con le tradizionali tecnologie basate su wafer 2D e lo stesso vale per i materiali magnetici e piezoelettrici che non sono fabbricabili con le tecnologie standard, il che lascia i dispositivi elettrostatici come unica possibilità. Questi ultimi, inoltre, hanno il vantaggio che i condensatori a capacità variabile possono essere facilmente realizzati e miniaturizzati sul silicio con le tecnologie MEMS.

### Convertitori elettrostatici di vibrazioni

I ricercatori dell'IMEC hanno recentemente sviluppato un nuovo tipo di dispositivi elettrostatici per la conversione dell'energia vibrazionale basati sulle tecnologie MEMS. In pratica, la tecnica è impostata sull'uso di due wafer. Il wafer principale contiene un elettrodo mobile con una massa  $m$ , sospeso fra due morsetti che gli conferiscono libertà di movimento elastico. Due elettrodi fissi sono posizionati sui due lati esterni dell'elettrodo, realizzando in tal modo due condensatori variabili intrecciati con direzioni di variazione della capacità contrap-

poste. Questa doppia architettura ha il vantaggio che il trasporto di carica nell'elettrodo comune è sempre nullo, il che riduce le perdite di energia dovute alla sua resistenza interna.

L'aspetto più innovativo di questo dispositivo per la raccolta dell'energia si trova sul wafer secondario. Esso, infatti, contiene un dielettrico carico denominato "electret" che si trova a contatto con un ulteriore elettrodo. L'electret offre alcuni importanti benefici: (1) il condensatore può essere polarizzato senza bisogno di un apposito circuito di carica, né di una sorgente di tensione (come già dimostrato dai gruppi di ricerca del MIT e di Berkeley), (2) il campo elettrico generato fra i piatti dei condensatori variabili a causa della presenza dell'electret è equivalente al campo generato da una sorgente di tensione regolabile

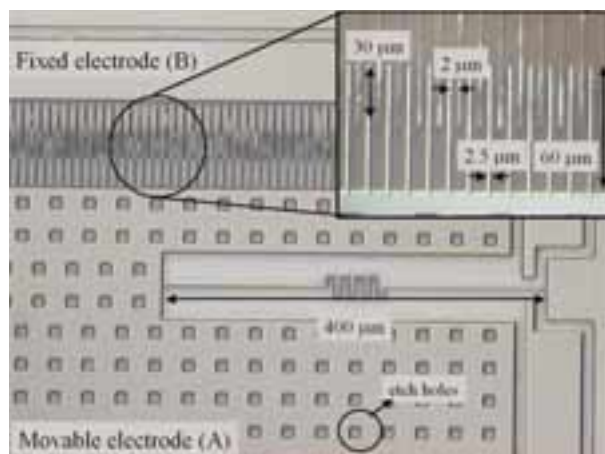


Fig. 3 - Il prototipo realizzato

fra 100 e 300 V, (3) il ciclo di vita dell'electret supera il decennio.


Per verificare la fattibilità dell'architettura di un dispositivo di accumulo di energia vibrazionale basato sui movimenti dell'electret è stato realizzato un complesso modello comprendente gli schemi di funzionamento dell'electret, dei condensatori varianti e della parte meccanica. Assumendo di poter contare sulle dimensioni micromeccaniche allo stato dell'arte, tale modello ha dimostrato di essere in grado di erogare fino a  $1 \text{ mW/cm}^3$  nella condizione di risonanza.

Per verificare il modello, è stato realizzato un prototipo usando una tecnologia micromeccanica superficiale SOI MPW. Lo svantaggio di quest'approccio è la modestia delle incisioni che permettono di ottenere solo masse di piccoli spessori (20  $\mu\text{m}$ ). Ciò significa che anche l'electret risultante è piccolo e l'esigua

rigidità consente di sopportare una tensione equivalente applicata limitata a circa 50 V per prevenire i rischi di malfunzionamento. Il prototipo realizzato ha una lunghezza di 2,4 mm e una larghezza di 1,1 mm, occupando in totale una superficie di circa  $2,65 \text{ mm}^2$ . In quest'area sono state realizzate due coppie di "pettini", con 255 "denti" ciascuno, che danno vita ai due condensatori con capacità di 0,6 pF ciascuno. La massima separazione fra i pettini è fissata a 25  $\mu\text{m}$  da opportuni fermagli che impediscono escursioni di capacità per oltre l'83%. I denti sono larghi 2,5  $\mu\text{m}$  e lunghi 60  $\mu\text{m}$ , mentre la distanza che ne separa le punte terminali è di 2  $\mu\text{m}$  e, inoltre, queste ultime si sovrappongono per 30  $\mu\text{m}$ . La struttura è fabbricata in modo tale da rendere lineare e stabile la costante elastica del movimento meccanico. Il prototipo ha una frequenza di risonanza di 980

Hz e può generare 1  $\mu\text{W}$  se gli viene applicata una vibrazione esterna di 0,1  $\mu\text{m}$ .

### I risultati

Nel progetto di questo dispositivo per la raccolta dell'energia vibrazionale sono stati proposti svariati concetti del tutto innovativi: una struttura a due wafer contenente due condensatori a capacità variabile contrapposti e un elemento electret che serve a polarizzare i condensatori ed è equivalente a una sorgente di tensione regolabile fra 100 e 300 V. Per descrivere la potenza d'uscita è stata ottenuta un'equazione in forma chiusa, dalla quale è risultata una capacità di produzione fino a 20  $\mu\text{W}$  per ogni 0,1  $\text{cm}^2$  di superficie. Alla fine è stato realizzato un prototipo funzionante. 

**IMEC**

[www.imec.be](http://www.imec.be)