

INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA E  
DELL'INFORMAZIONE "GUGLIELMO MARCONI"  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

# Energy Harvesters Indossabili

Elaborato in Elettronica

Relatore:  
Prof. Claudio Fiegna

Presentata da:  
Simone Morgagni

Anno Accademico 2023/2024

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
1.1	Dispositivi Indossabili . . . . .	3
1.2	Harvesting Energetico . . . . .	4
1.3	Applcazioni Harvester Energetici . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Metodi Harvesting Energetico</b>	<b>5</b>
2.1	Sorgenti Corporee . . . . .	5
2.1.1	Generatori Triboelettrici . . . . .	5
2.1.2	Generatori Piezoelettrici . . . . .	5
2.1.3	Generatori Termoelettrici . . . . .	6
2.1.4	Generatori Elettrostatici . . . . .	6
2.1.5	Generatori Elettromagnetici . . . . .	6
2.1.6	Celle a Biocombustibili . . . . .	6
2.1.7	Generatori Idroelettrici . . . . .	7
2.2	Sorgenti Ambientali . . . . .	7
2.2.1	Generatori Fotovoltaici . . . . .	7
2.2.2	Generatori a Radiofrequenza . . . . .	7
2.2.3	Trasferimentod di Potenza Wireless . . . . .	7

# Abstract

Si è voluto valutare i metodi e le applicazioni di harvesting possibili con particolare attenzione su alcuni esempi...

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Dispositivi Indossabili

Pur essendo presenti in campo medico da tempo, i dispositivi indossabili e impiantabili hanno subito una rapida evoluzione. Tra le possibili applicazioni si hanno diagnosi attraverso la registrazione di segnali e marcatori biologici, ma anche terapia attraverso stimoli elettrici o rilascio di medicinali. In particolare la portabilità abilita al funzionamento lontano dagli ospedali, rispondendo ai requisiti della telemedicina. Questo li rende particolarmente adatti al trattamento di condizioni croniche, sgravando sia strutture sanitarie che pazienti. Permettono inoltre misure costanti, a lungo termine e non invasive.

I dispositivi indossabili, oltre a sensori e attuatori specifici dell'applicazione, richiedono anche componenti a bassa potenza come processori e antenne. Questi componenti sono necessari per svolgere funzioni di controllo automatico, elaborazione e trasmissione dei segnali misurati. Quando un modulo wireless e' disponibile, invece di conservare i dati, e' possibile inviarli a una hub intermedia o direttamente al destinatario finale in una struttura medica.

La forma ideale e' piccola abbastanza da svolgere le funzioni volute senza

intralciare il paziente. Nelle installazioni invasive e' essenziale che le dimensioni siano ridotte per abbassare i rischi e la complessita' dell'operazione. Anche nel caso non invasivo pero' si preferiscono dispositivi sottili e di piccole dimensioni che possono sostituire o integrarsi a capi di abbigliamento. L'aspetto non intrusivo o piacevole puo' incentivare l'uso regolare. Evitare dimenticanze e' infatti importante in pazienti a rischio che richiedono controllo costante. Avere numerosi punti di possibile applicazione permette di usare piu' dispositivi in combinazione.

Si vuole quindi approfondire uno degli aspetti piu' critici dei dispositivi medici indossabili e impiantabili, ovvero la loro alimentazione. Ogni tipologia avra' necessita' energitiche diverse da pochi microwatt a milliwatt, ma al momento hanno tutti in comune l'uso di batterie come fonte. Gli svantaggi di un sistema a batteria sono evidenti nell'autonomia limitata e il bisogno di ricarica o sostituzione, specialmente quando si parla di dispositivi impiantabili. Inoltre i materiali usati nelle batterie sono pesanti e potenzialmente tossici, il che riduce la compatibilita' all'uso prolungato.

## 1.2 Harvesting Energetico

Le tecniche di harvesting energetico consistono nel recupero di energia da fonti esterne al dispositivo. I vantaggi di queste tecnologie sono molteplici, come estensione dell'autonomia in modo indefinito, riduzione di dimensioni e peso, flessibilità e biocompatibilità. Rappresentano una potenziale alternativa all'uso di batterie su dispositivi a bassa potenza.

Le sorgenti principali a cui un harvester può attingere sono classificabili secondo lo schema #. I generatori utilizzabili sono termoelettrici, fotovoltaici, a radio frequenza, elettromagnetici, elettrostatici, piezoelettrici, triboelettrici e a biocombustibile. La potenza in ingresso ad un harvester di dimensioni ridotte è necessariamente piccola, quindi quella prodotta sarà limitata anche se si lavora ad alto rendimento. Combinazioni di più sistemi, detti harvester ibridi, possono migliorare le prestazioni al costo di maggiore complessità. La localizzazione del dispositivo sul corpo determina quale fonte energetica è più accessibile e quindi in gran parte anche la tecnologia di harvesting migliore.

La maggior parte delle fonti non è sempre disponibile e nemmeno prevedibile. È possibile però usare harvester accoppiati a componenti di accumulo come batterie o supercondensatori quando è richiesta un'alimentazione regolare. Un'alternativa per monitorare segnali a rischio più basso è accende-

re il dispositivo solo quando l'energia è disponibile. Similmente per aumentare l'efficienza si possono alimentare i singoli moduli quando diventano necessari. La gestione intelligente dell'energia richiede una power management unit.

## 1.3 Applicazioni Harvester Energetici

Esistono versioni indossabili per la misura non invasiva di molti parametri di interesse rilevante come ECG, EEG, pressione sanguigna, saturazione di ossigeno nel sangue e frequenza respiratoria. Altri dispositivi sono in grado di raccogliere in maniera più o meno invasiva fluidi corporei come sangue, sudore o liquido interstiziale per intercettare problemi metabolici.

Monitorare facilmente e con costanza questi parametri consente di individuare lo sviluppo di alcune malattie in anticipo rispetto ai metodi tradizionali, aumentando le probabilità di successo nel trattamento.

Soluzioni con harvester hanno ancora troppi svantaggi rispetto a sola batteria. Tra questi, la bassa densità energetica e l'affidabilità incerta li rendono un'opzione immatura per scopi medici critici. Questi sono gravosi soprattutto per dispositivi impiantabili che richiedono dimensioni minime e la certezza del funzionamento a lungo termine. I costi di produzione sono alti, dovuti anche alla mancanza di una catena manifatturiera paragonabile a prodotti altamente diffusi come le batterie. #

# Capitolo 2

## Metodi Harvesting Energetico

### 2.1 Sorgenti Corporee      2.1.2 Generatori Piezoelettrici

Movimento, vibrazioni, gradienti di temperatura e reazioni enzimatiche possono essere convertiti in energia elettrica da harvester. L'attività fisica e i processi fisiologici offrono fonti energetiche con intensità irregolare ma sempre accessibile. In particolare un livello basale di energia meccanica dovuto al movimento è sempre disponibile, così come l'energia chimica immagazzinata nei liquidi corporei.

#### 2.1.1 Generatori Triboelettrici

Un generatore triboelettrico sfrutta materiali che si caricano elettricamente strisciando l'uno sull'altro. È una proprietà presente anche in molti materiali organici e leggeri. Quando stimolati producono alte tensioni e basse correnti per piccoli istanti di tempo. Usare più strati di materiali aumenta la potenza prodotta. Le migliori zone di applicazione sono negli arti inferiori dove si sviluppano le forze maggiori, come nella pianta del piede.

I sistemi di harvesting piezoelettrici producono energia elettrica attraverso la deformazione elastica di materiali piezoelettrici. Possono essere di forma e dimensione arbitraria, inoltre usano materiali leggeri, poco costosi, non tossici e anche facili da assemblare. Producono corrente anche per stimoli molto piccoli, ma la potenza è bassa così come l'efficienza. Lo studio di materiali flessibili è una possibile soluzione dato che permetterebbero l'installazione in zone del corpo che subiscono forze maggiori. In mancanza di stimoli prevalenti si ha una conversione dell'energia meccanica data dalle vibrazioni. Le performance di elementi ottenuti da strati di materiale sono inferiori ai tessuti di fibre. Il polivinilidene-fluoro PVDF abbinato a vari additivi è il polimero più usato negli studi. La quantità di energia generata dipende dal posizionamento dell'harvester e dallo stato di attività fisica. Gli arti inferiori sono sottoposti a forze maggiori, soprattutto durante il cammino. Posizionare il generatore in una suola o accoppiarlo al movimento del ginocchio offre i risultati migliori in termini di potenza. La tecnologia piezoelettrica è però anche valida come sensoristica attiva di pressione. Sensori di questo tipo possono

essere usati per monitorare la respirazione, le pulsazioni o lo spostamento dei singoli arti.

### **2.1.3 Generatori Termoelettrici**

L'effetto di Seebeck, o termoelettrico, trasforma un gradiente di temperatura alle estremità dell'elemento in una differenza di potenziale. Un harvester che sfrutta l'effetto di Seebeck ha una forma sottile e usa il corpo e l'ambiente circostante come fonti calde e fredde. E' possibile rendere questo tipo di harvester flessibili, si migliora così sia l'adesione alla pelle, che la portabilità. Allargare l'area disponibile aumenta il trasferimento di calore senza che questo diventi percettibile all'utente. La mancanza di parti mobili determina un'elevata affidabilità. I materiali dove l'effetto termoelettrico è più marcato sono però relativamente pesanti, come Bismuto e Tellurio. E' possibile, attraverso rectenne o celle termo-fotovoltaiche, recuperare anche il calore irradiato dal corpo.

### **2.1.4 Generatori Elettrostatici**

Un generatore elettrostatico genera corrente in seguito alla variazione nella capacità di un condensatore. La variazione è causata dal movimento relativo delle armature. Si preferiscono condensatori con forma planare che cambiano al propria capacità in risposta a una deformazione, ad esempio strutture a nido d'ape o a pettine.

### **2.1.5 Generatori Elettromagnetici**

I generatori elettromagnetici sfruttano la legge di Farady per produrre corrente dal movimento relativo di spire e magneti. La mancanza di accoppiamento meccanico tra le componenti riduce l'usura dovuta all'attrito rispetto alle altre soluzioni di harvesting per energia meccanica. La maggior parte delle implementazioni preferiscono l'assetto lineare al rotazionale. Il magnete permanente è accoppiato a una molla per aumentare l'efficienza e in movimento all'interno degli avvolgimenti conduttivi.

### **2.1.6 Celle a Biocombustibili**

Le celle a biocombustibile producono corrente attraverso l'ossidazione di una macromolecola disponibile nel corpo come glucosio o acido lattico. Una membrana permeabile solo a cariche positive separa anodo e catodo della cella per forzare la corrente elettronica sul circuito voluto. La reazione necessita di catalizzatori per massimizzare l'efficienza. Enzimi, microbi e strutture inorganiche possono essere usati come catalizzatori. Gli enzimi, ma soprattutto i batteri richiedono il perfetto isolamento della cella per evitare perdite di efficienza o infezioni. Catalizzatori solidi sono più sicuri ma meno efficaci. Finché i reagenti sono disponibili la cella può produrre energia in modo continuato. Questo tipo di harvester si presta sia a dispositivi indossabili, raccogliendo acido lattico dal sudore, ma anche a dispositivi impiantabili che possono accedere al glucosio interstiziale che è ancora più energetico.

### **2.1.7 Generatori Idroelettrici**

I generatori idroelettrici per harvesting energetico sfruttano l'effetto idrovoltai-co tra molecole di vapore acqueo e un nanomateriale. Il passaggio delle molecole d'acqua attraverso la struttura porosa contro gradiente di concentrazione crea una differenza di potenziale sulle pareti che si traduce in piccole correnti. La densita' di potenza prodotta e' bassa e dipende dalla differenza di umidita' alle estremita'. Possibili applicazioni sono a contatto con la superficie corporea raccogliendo la traspirazione o in sensori montanti su maschere.

## **2.2 Sorgenti Ambientali**

Le fonti ambientali...

### **2.2.1 Generatori Fotovoltaici**

### **2.2.2 Generatori a Radiofrequenza**

### **2.2.3 Trasferimento di Potenza Wireless**



# Bibliografia