



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE



# Come recuperare energia dalle vibrazioni: energy harvesting piezoelettrico

D. Desideri, A. Doria, F. Moro

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Università di Padova

***LEDs L'Energia degli Studenti – aula Me 16:30 – 10/04/17***

# Contenuti

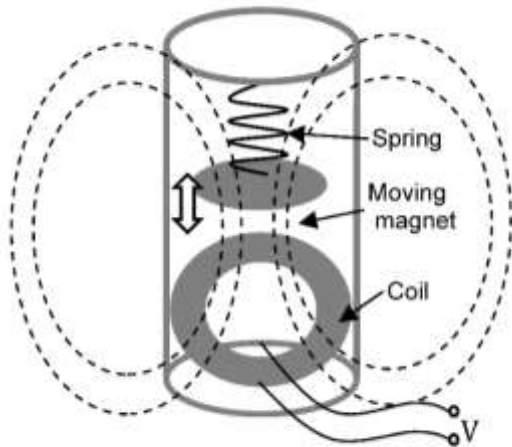
- Meccanica delle vibrazioni
- Energia elettrica dalle vibrazioni
- Fenomeno piezoelettrico
- Convertitori piezoelettrici
- Sviluppo di un harvester prototipo
- Applicazioni dell'energy harvesting

# Recuperare energia dall'ambiente

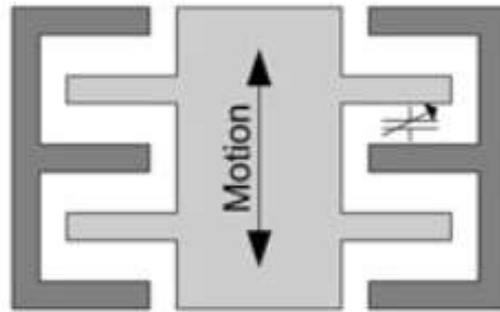
- Elettronica di consumo (cell, tablet,...) e sensori wireless in forte crescita nel mercato consumer
- Batterie al litio di durata limitata
- **Le vibrazioni nell'ambiente sono fonte di energia**
- Semiconduttori scesi a livelli di potenza del mW (funzionamento), nW (stand-by)
- **Basse potenze: alimentazione dell'elettronica con convertitori piezoelettrici, senza batteria**
- Applicazione di frontiera: miniaturizzazione ed integrazione su chip delle sorgenti elettriche

# Come recuperare energia dalle vibrazioni?

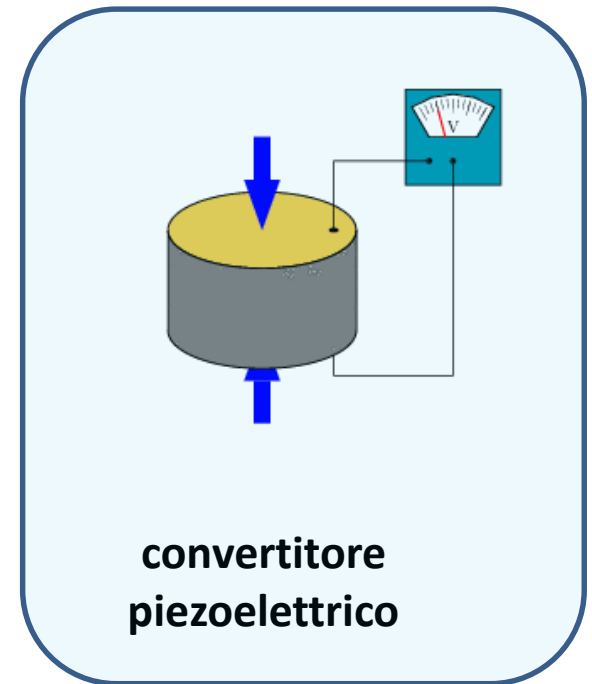
**Raccoglitori di energia cinetica:** convertono energia meccanica (vibrazioni) in energia elettrica



**convertitore  
elettromagnetico**



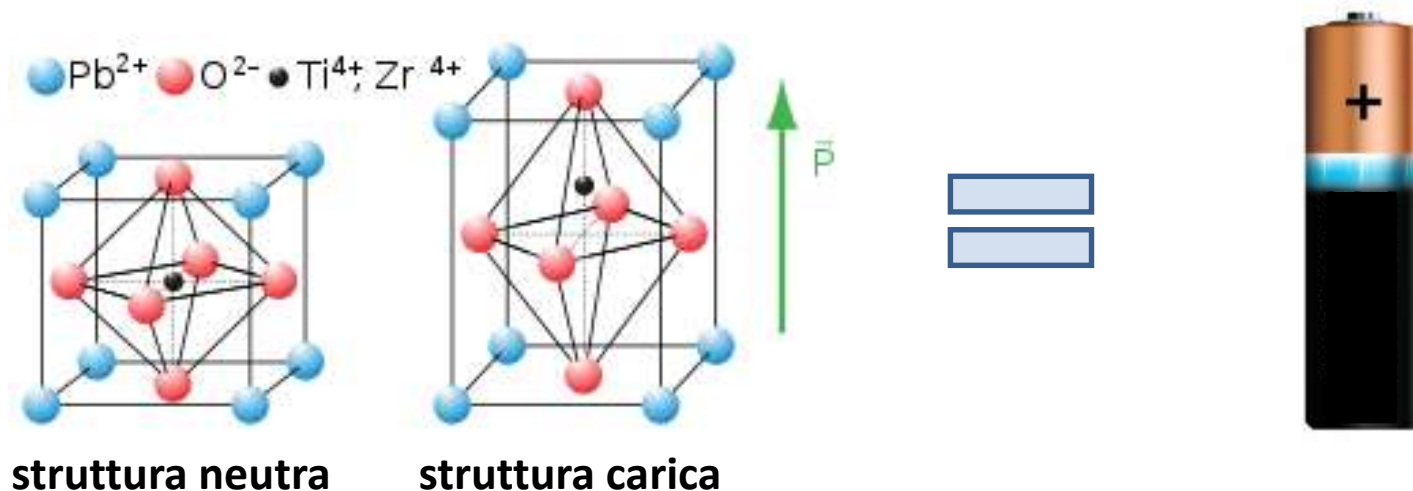
**convertitore  
elettrostatico**



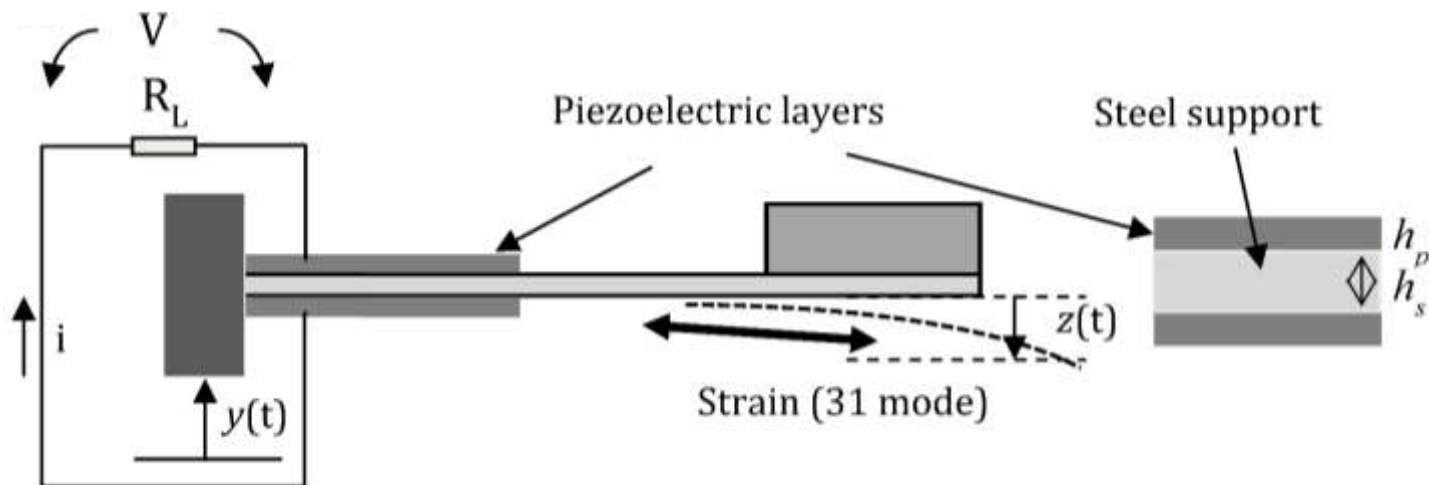
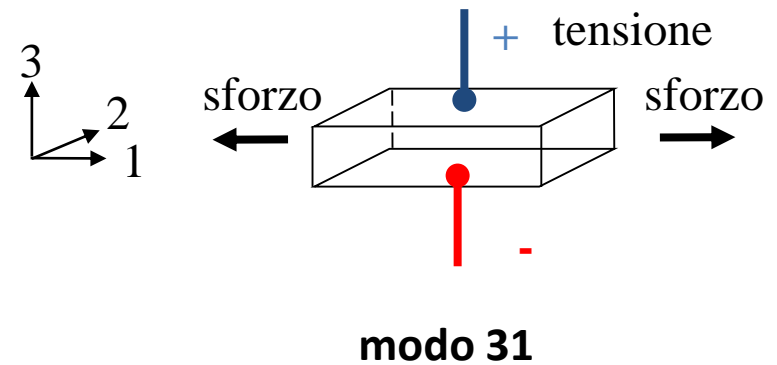
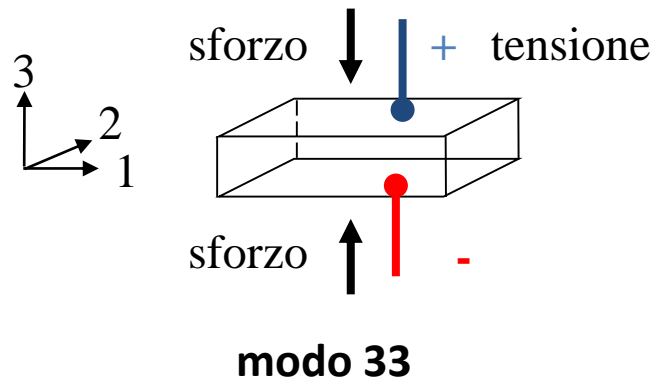
**convertitore  
piezoelettrico**

# Effetto piezoelettrico nei cristalli

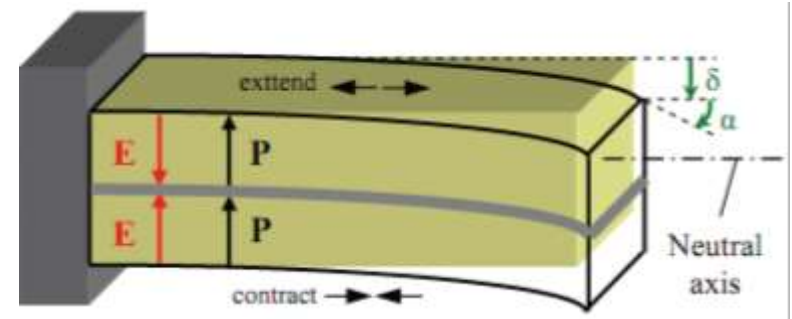
- Alcuni cristalli (es. quarzo) presentano una struttura **elettricamente simmetrica**
- Tale simmetria viene meno sotto l'azione esterna di una forza (**trazione/compressione**)
- Si forma separazione di carica elettrica (dipoli **P**), compare quindi una **tensione elettrica**



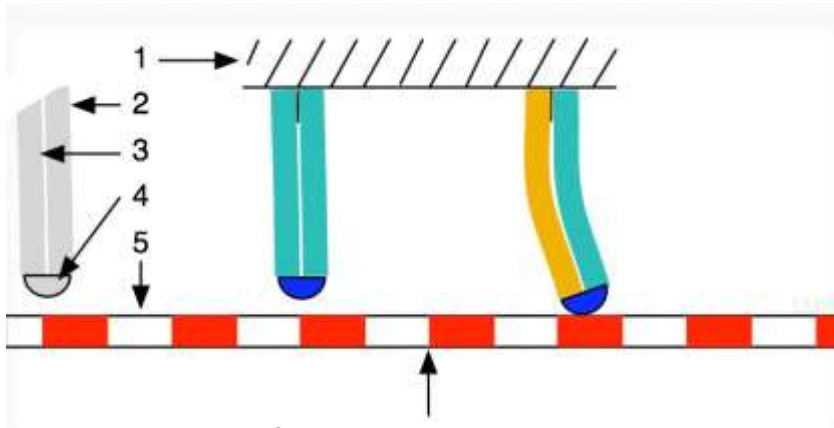
# Convertitori piezoelettrici



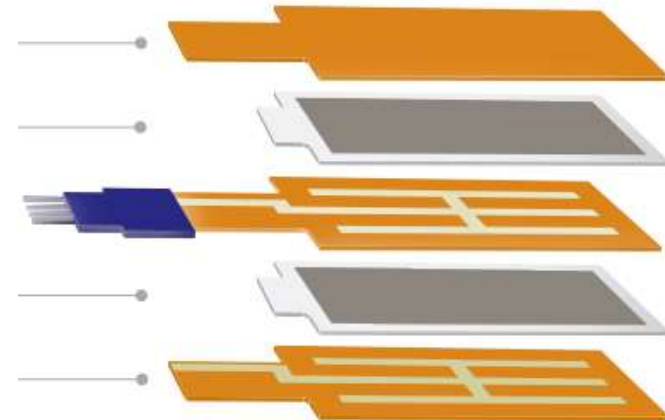
# Lamine piezoelettriche



**principio di funzionamento**



**es. applicazione: piezo-motore**



**struttura del cantilever**

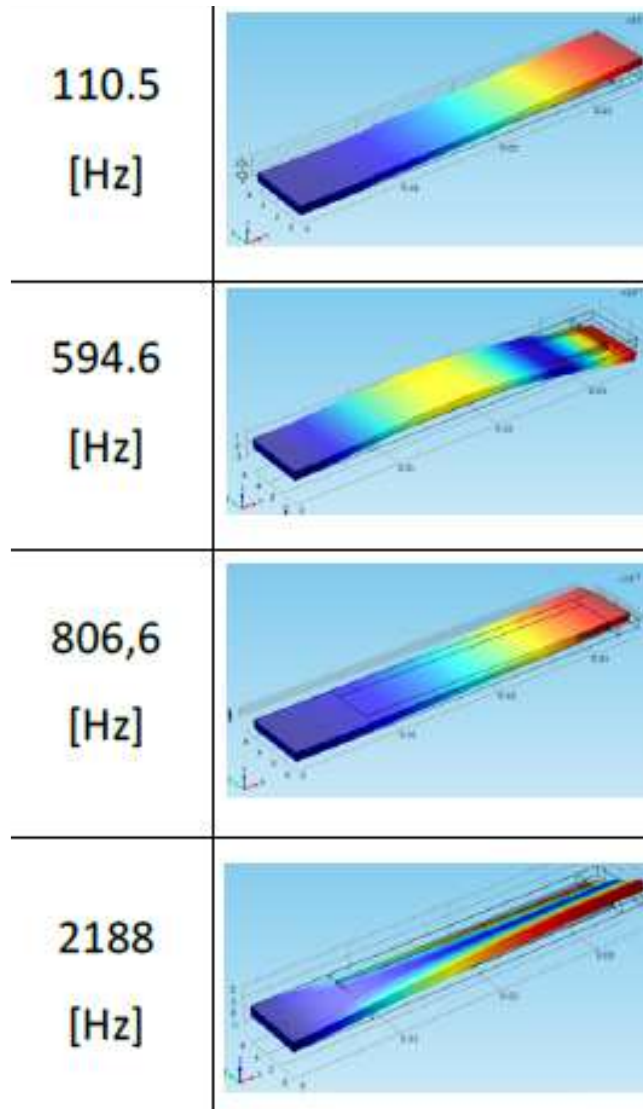
# Progetto di Ateneo «Piezo-MEMS»

- Obiettivo: sviluppare un **convertitore piezoelettrico con AlN** (nitruro alluminio) per sensori automotive
- Competenze multidisciplinari del gruppo:
  - ✓ **meccanica delle vibrazioni**
  - ✓ **elettrotecnica ed elettronica**
  - ✓ **ingegneria dei materiali**
- Attività modellistica e sperimentale:
  - ✓ modellazione numerica ed identificazione parametri
  - ✓ realizzazione di film sottili con magnetron sputtering
  - ✓ realizzazione di un set-up di prova impulsivo e messa a punto di un prototipo

*Progetto Ateneo (CPDA142798) – "Piezoelectric Micro-Electro-Mechanical Power Supply for Automotive Wireless Sensors" – D. Desideri, A. Doria, A. Maschio, F. Moro (Dip. Ing. Industriale)*



# Modellistica numerica del convertitore



- Analisi numerica del dispositivo considerando **struttura reale**
- Modello accoppiato meccanico, elettrico e circuitale (FEM/FIT)
- Analisi modale (modi vibrazione) per individuare frequenze di risonanza
- Simulazione statica/dinamica della risposta elettrica/meccanica
- **Quanta energia posso estrarre?**
- Design/ottimizzazione prototipo

# Realizzazione di film sottili con sputtering

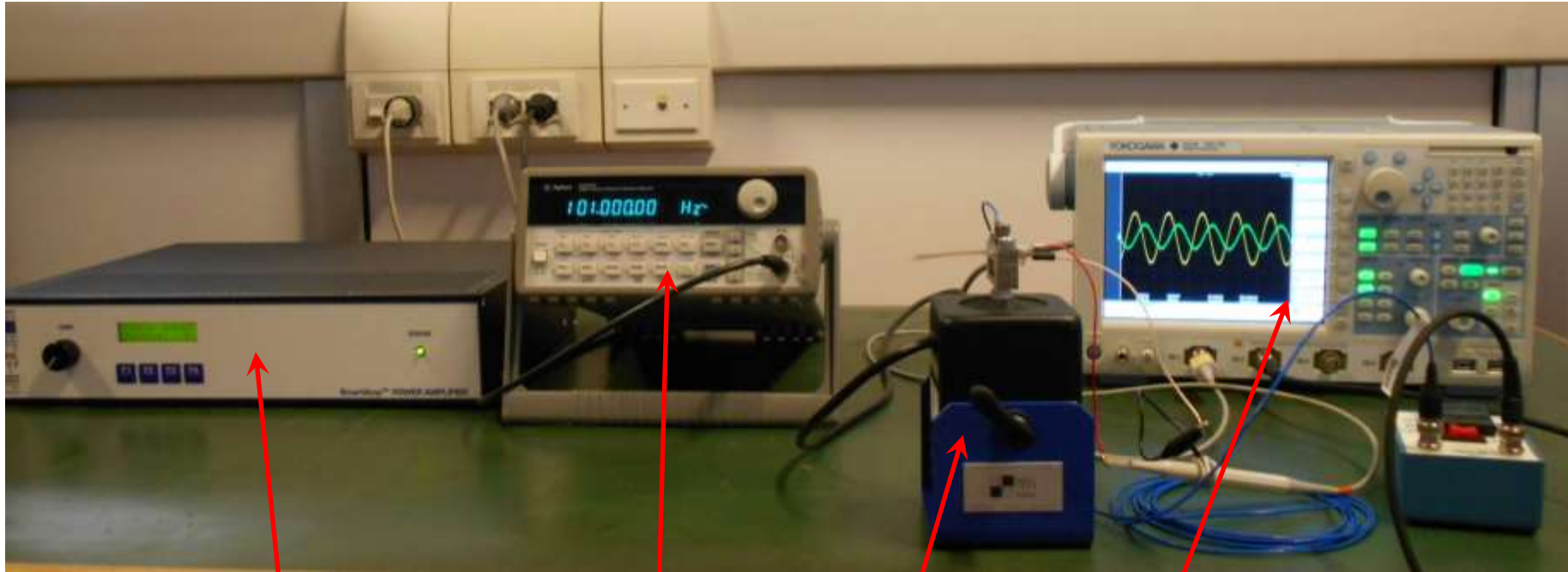


- AlN molto promettente come **sostituto del PZT (piombo)**
- Impianto magnetron sputtering con camera vuoto (457 x 457 x 612 mm<sup>3</sup>, catodi diametro 6")
- Film uniformi, elevato tasso di deposizione, stabilità
- Caratterizzazione dei film con profilometro e diffrattometro a raggi X

# Prototipo di convertitore piezoelettrico AlN



# Set-up di prova per test su prototipo



generatore di  
corrente

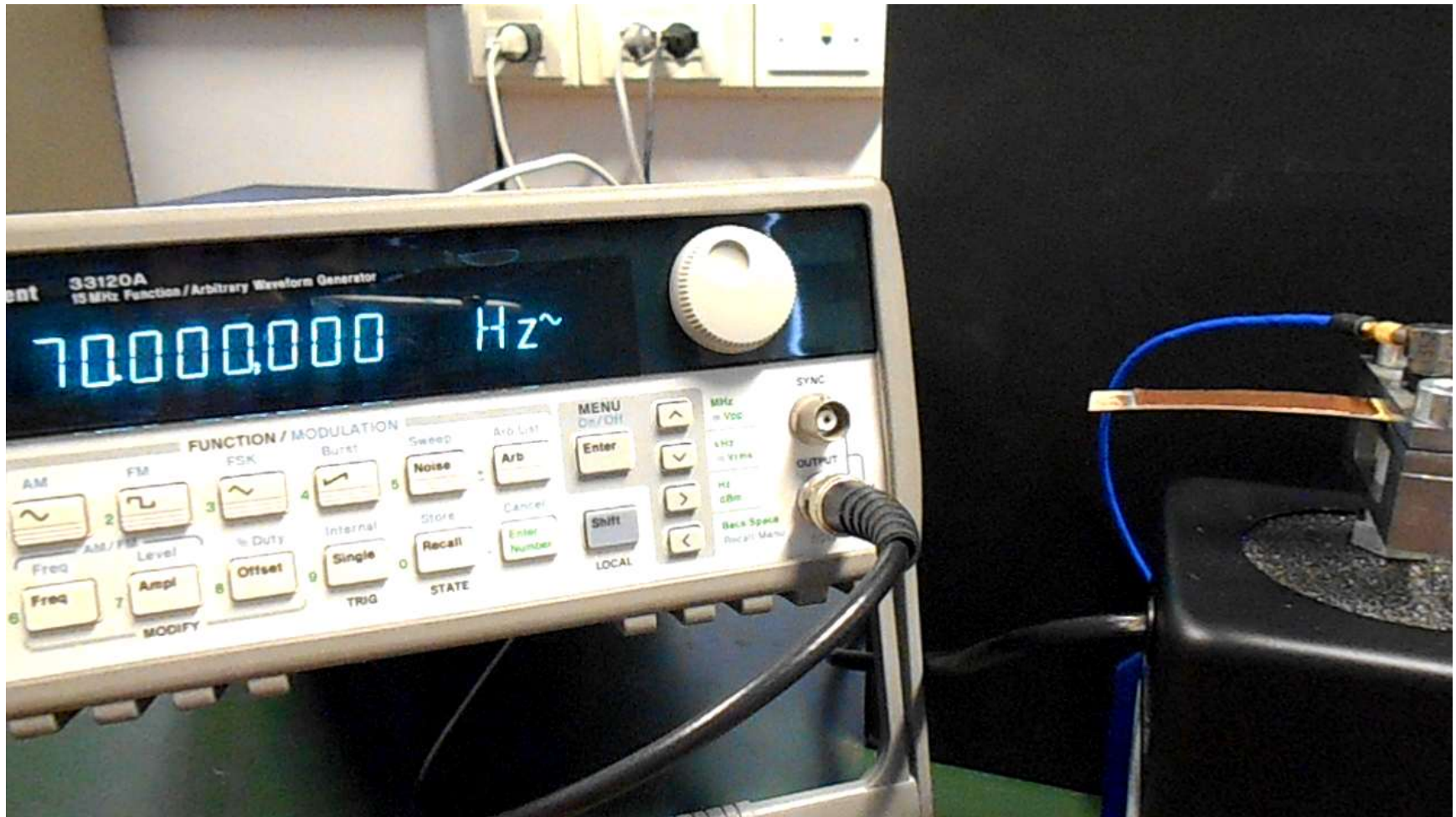
generatore di  
segnale

prototipo + shaker

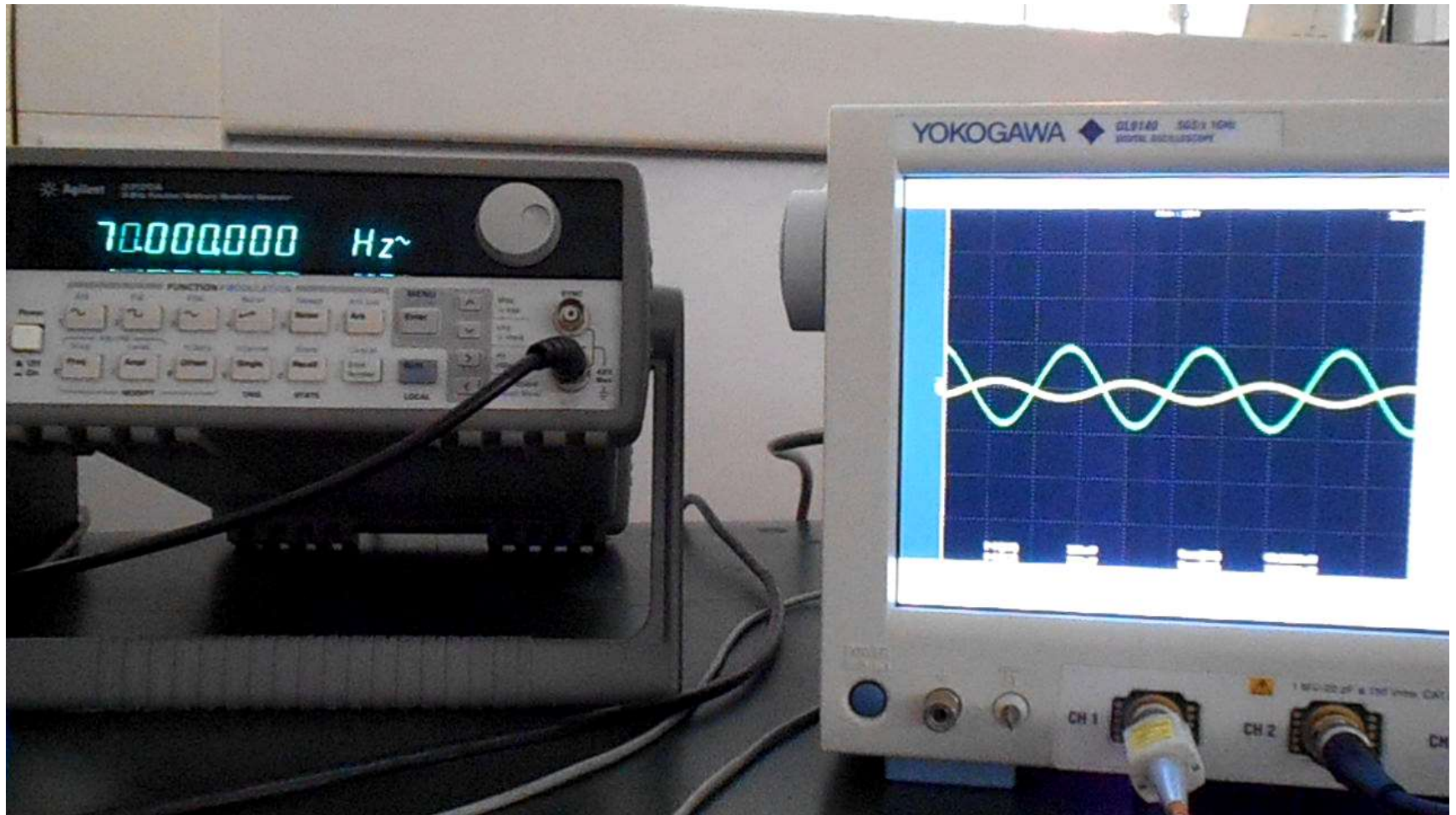
oscilloscopio



# Risposta in frequenza del prototipo (1)



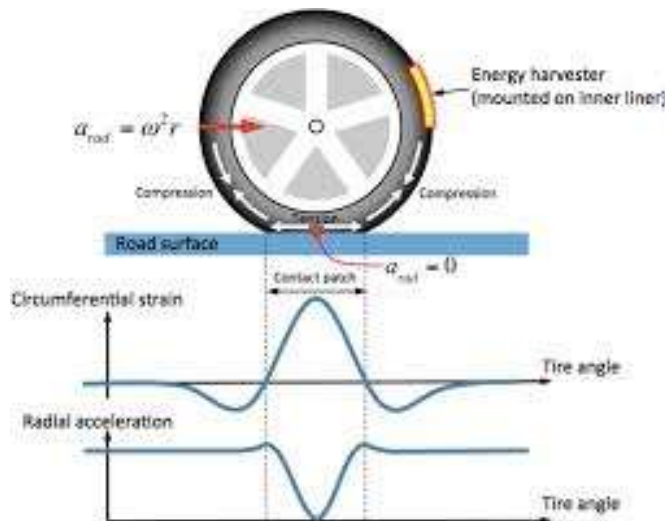
# Risposta in frequenza del prototipo (2)



# Sistema di prova di tipo impulsivo



- Convertitore piezoelettrico montato su pneumatico, eccitato da impulso di accelerazione periodico
- Caratterizzazione dinamica dalla risposta impulsiva
- Sistema costituito da sbarra sospesa da funi (sistemi disaccoppiati)
- Sbarra eccitata longitudinalmente con martello per analisi modale





# Applicazioni dei raccoglitori di energia cinetica

## Micro

Alimentazione di sistemi micromeccatronici e microelettronici integrando la lamina nel sistema

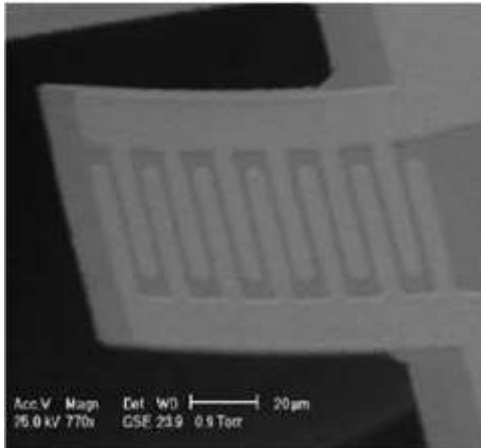


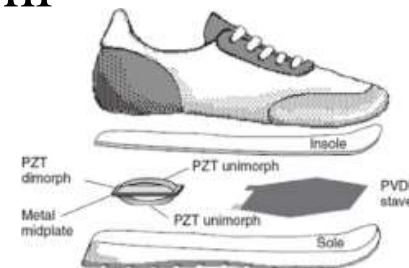
Foto al microscopio elettronico di una micro-lamina da Jeon et alii 2005

## Macro

Alimentazione di sensori utilizzando le vibrazioni delle macchine



Alimentazione di apparecchi elettronici e biomedicali sfruttando il movimento umano

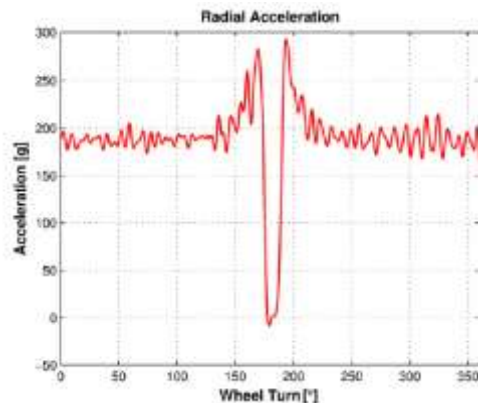
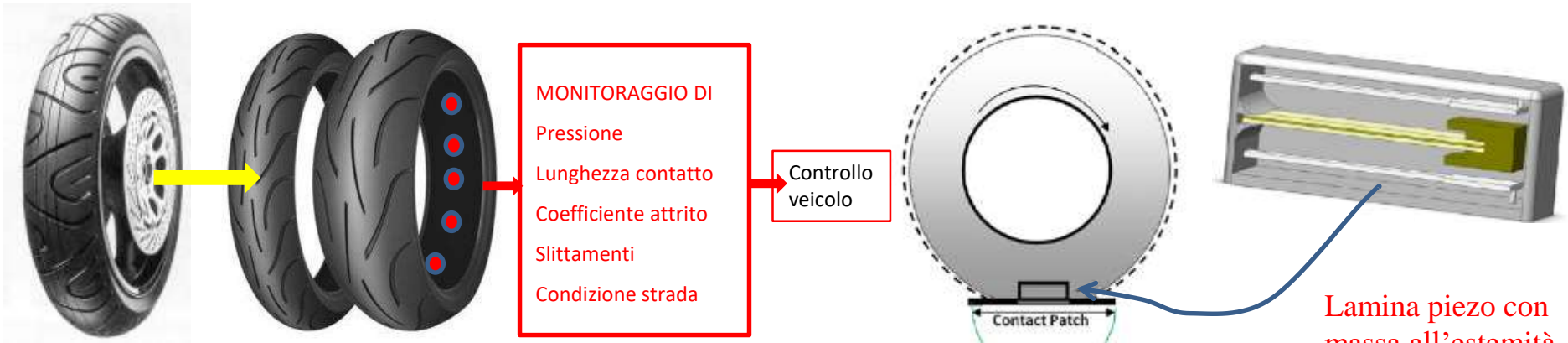


Raccolta di energia dal moto dei fluidi

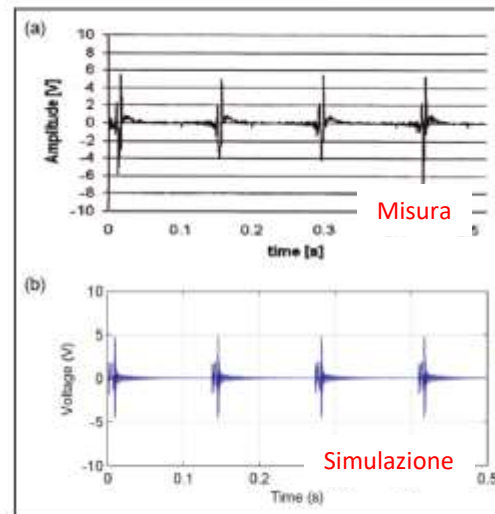




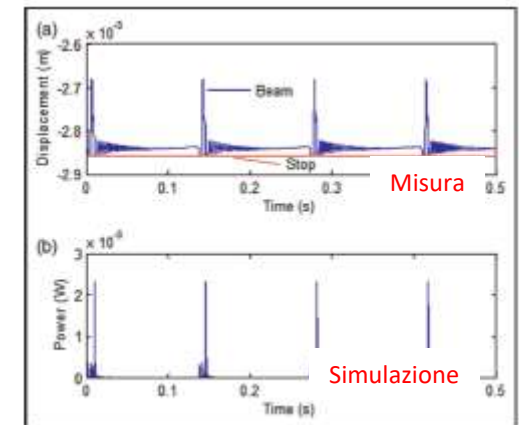
# Alimentazione pneumatico intelligente



Accelerazione radiale del punto ove è montata la lamina piezoelettrica

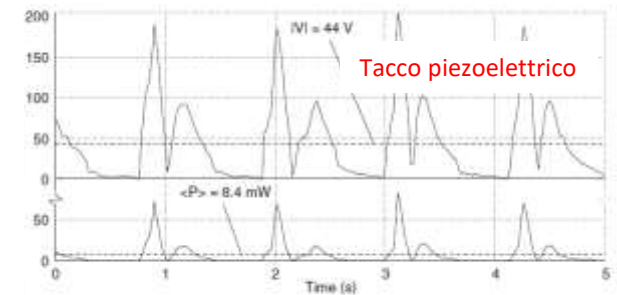
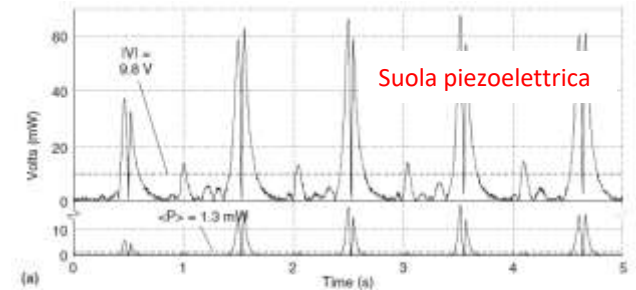
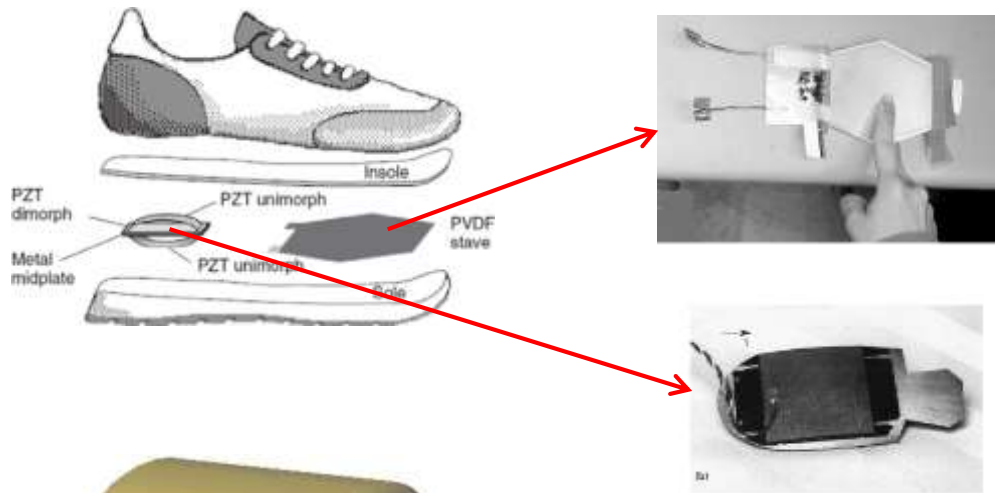


Tensione generata

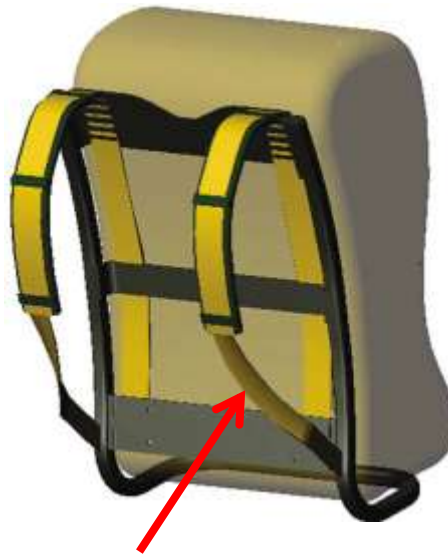


Potenza generata

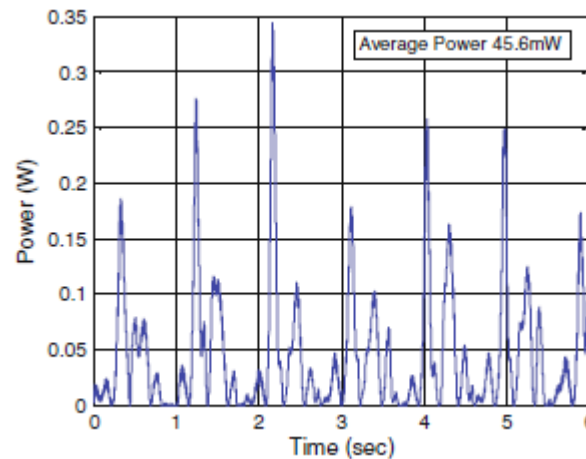
# Raccolta di energia dal movimento



Tensioni elettriche e potenze generate nella camminata

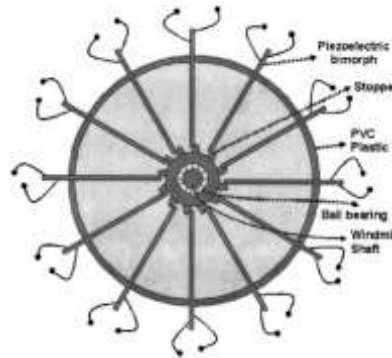


Cinghie piezoelettriche

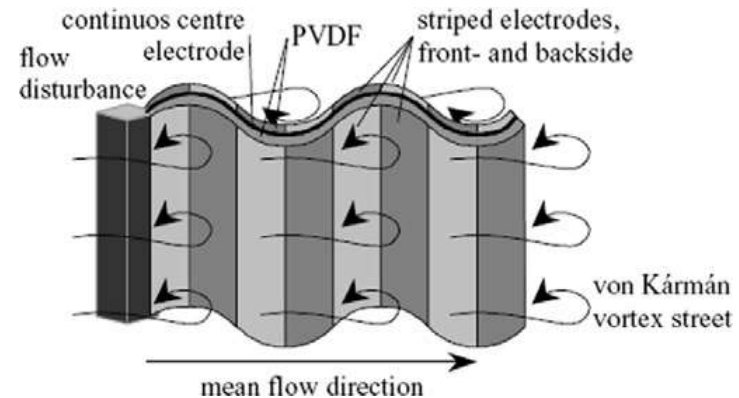
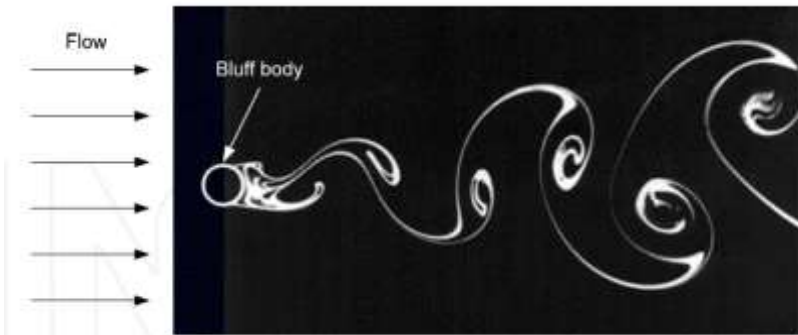


Potenze generate dalle cinghie piezoelettriche

# Raccolta di energia dal moto dei fluidi



Mulino a vento piezoelettrico: la rotazione delle pale provoca la deflessione delle lamine.  
Potenza 7.5 mW a 10 nodi.



Il distacco di vortici di von Karman genera la vibrazione della lamina piezoelettrica.