

Microgeneratori di energia di nuova
concezione per l'alimentazione di dispositivi
elettronici mobili

Helios Vocca

NiPS Laboratory, Dipartimento di Fisica

Università degli Studi di Perugia

&

Wisepower srl



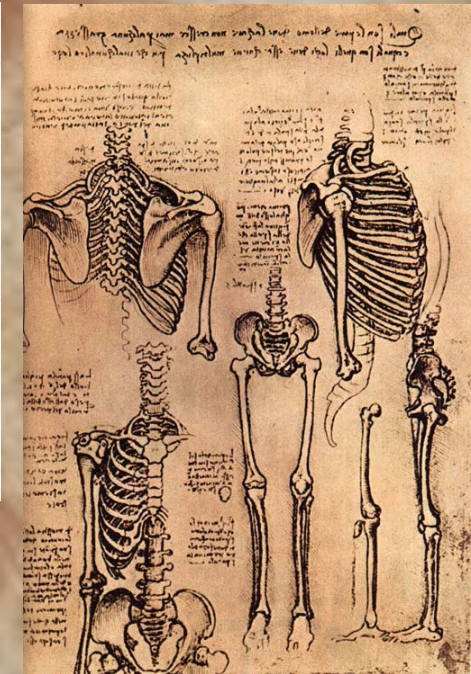
N.i.P.S Laboratory
Noise in Physical Systems



Qualche domanda per capire il quadro...

Perché Leonardo?

Leonardo è stato senza ombra di dubbio **il più grande genio multidisciplinare di sempre!**

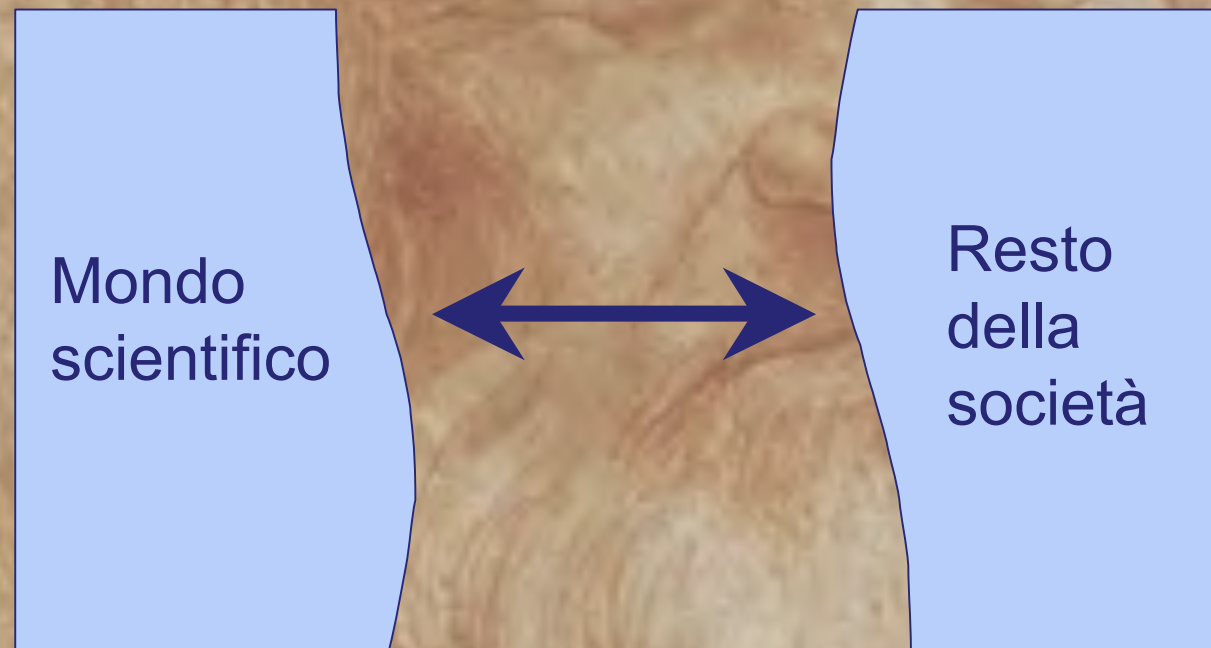


Leonardo da Vinci - Uomo | Genio | Inventore
Dalla Meccanica di Leonardo all'energia alternativa

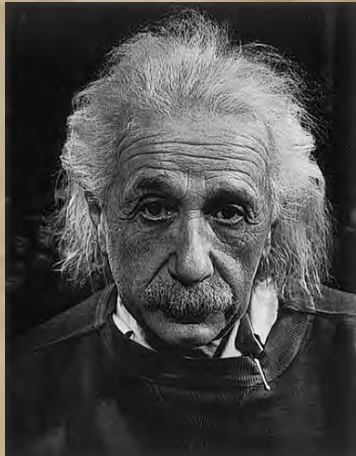
Qualche domanda per capire il quadro...

Perché ho accettato?

- ✓ è sempre un piacere onorare personaggi di tale calibro...
- ✓ è fondamentale che il mondo scientifico interagisca con l'esterno!!!



Perché la Fisica?



Albert Einstein

The important thing is not to stop questioning.

(L'importante è non smettere di fare domande..)



Richard P. Feynman

Physics is like sex. Sure, it may give some practical results, but that's not why we do it.

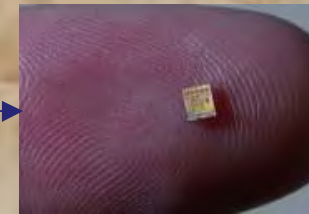
(La fisica è come il sesso. Certo, può avere qualche conseguenza concreta, ma non è per quello che la facciamo.)

Reti di sensori wireless

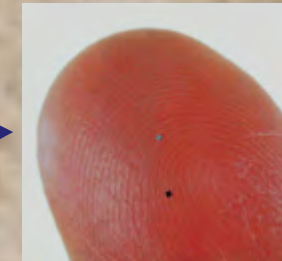
- piccoli ($<1\text{cm}^3$)
- leggeri ($<100\text{ gr}$)
- **Basso consumo ($<100\ \mu\text{W}$)**
- Lunga-durata (2-10 yr)
- Basso costo ($<1\ \text{€}$)
- Basso scambio di dati
- Senza fili
- Flessibili



Presente
(centimetri cubi)



($< \text{mm}^3$)



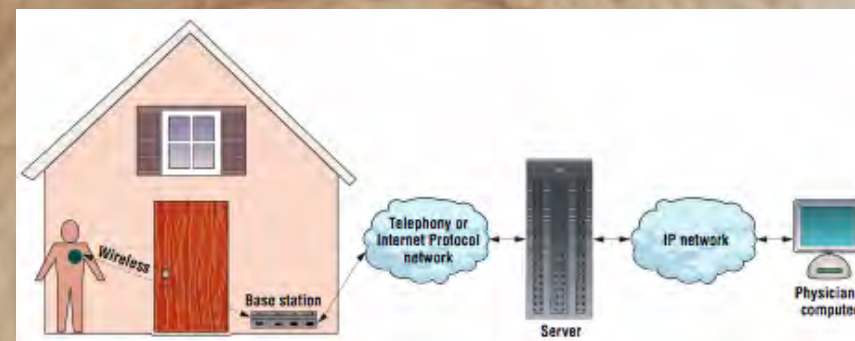
Futuro
($< \mu\text{m}^3$)

Il monitoraggio ed il controllo di ambienti differenti attraverso una **rete di piccoli apparecchi (a basso consumo e basso prezzo, distribuiti, adattabili all'ambiente e interconnessi)** rappresenta una nuova ed importante opportunità che sta rapidamente diventando una realtà...

Reti di sensori wireless

Applicazioni

- **Monitoring ambientale**
 - Monitoring di ambienti anche di grosse dimensioni
 - Sistemi biologici integrati
 - Monitoring strutturale
- **Controllo ed interazione**
 - Biosensori medici
 - Risposta alle emergenze medico
 - Sistemi di controllo
 - Sistemi anti-intrusione
 - Automazione
 - ...



Reti di sensori wireless

In queste condizioni l'alimentazione è ancora un problema da risolvere infatti le batterie tradizionali hanno diversi svantaggi:

- **Sono di grandi dimensioni** - *non esistono batterie che possano alimentare dispositivi millimetrici o sub-millimetrici;*
- **Inquinano** - *le batterie sono realizzate con metalli pesanti ed elementi fortemente inquinanti per l'ambiente;*
- **Si scaricano velocemente** - *Le batterie tendono ad esaurire la propria capacità in tempi definiti. Inoltre con il passare del tempo e l'aumentare dei cicli di scarica-ricarica le batterie tendono a deteriorarsi.*

Un nuovo paradigma...

C'è un cambio sostanziale nel classico paradigma!

Approccio Tradizionale:

L'energia è prodotta in luoghi preposti ed immagazzinata in batterie per un utilizzo futuro.

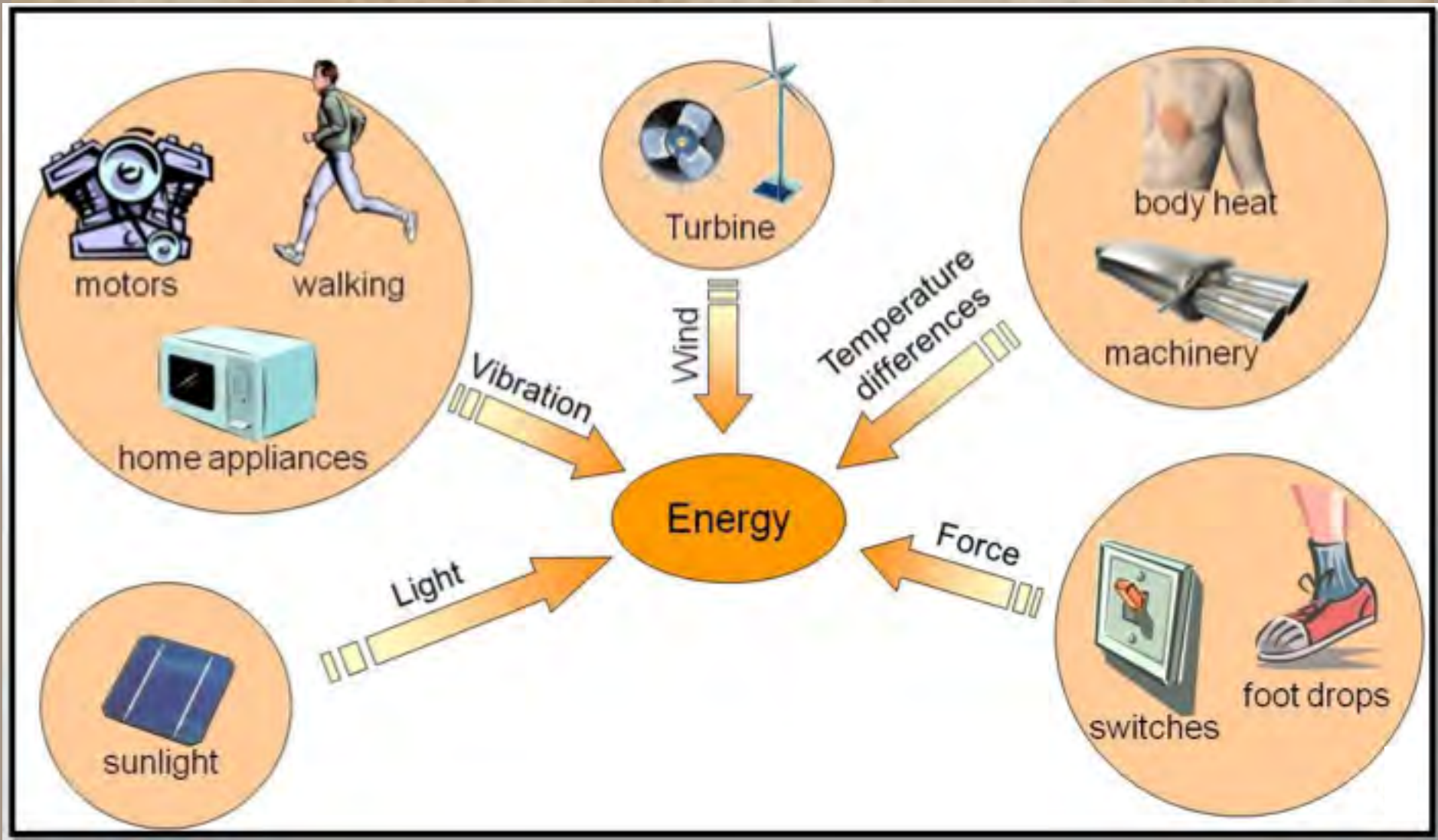
Nuovo approccio:

L'energia è prodotta localmente, quando e dove serve.

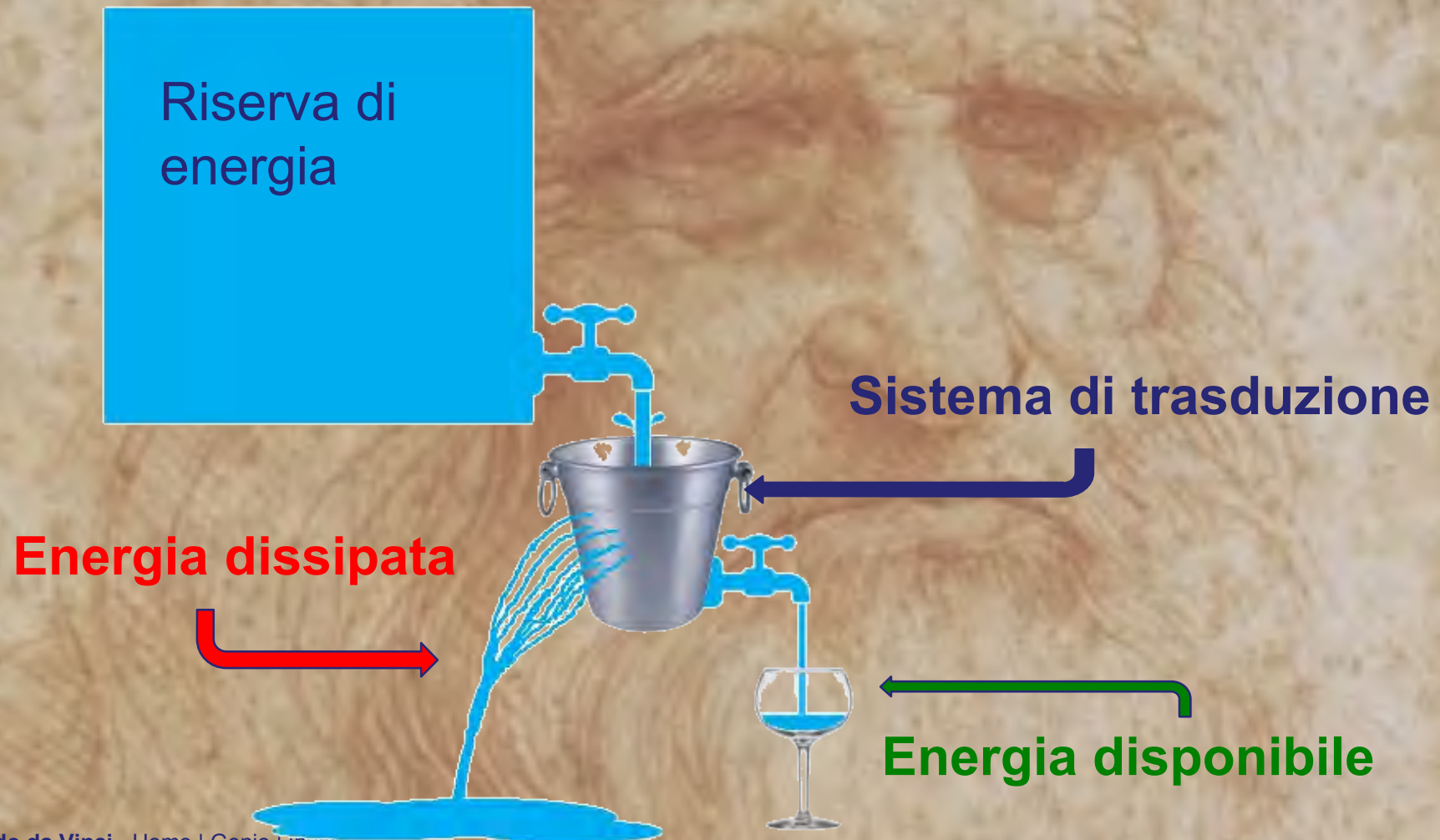
Apparecchiature piccole come granelli di polvere devono essere in grado di prendere energia per il proprio uso dall'ambiente che li circonda (luce, rumore ambientale, gradienti termici...).



Energy Harvesting



Energy harvesting idea di base





Energy harvesting idea di base

Energia cinetica

wind

sound

Falling bodies

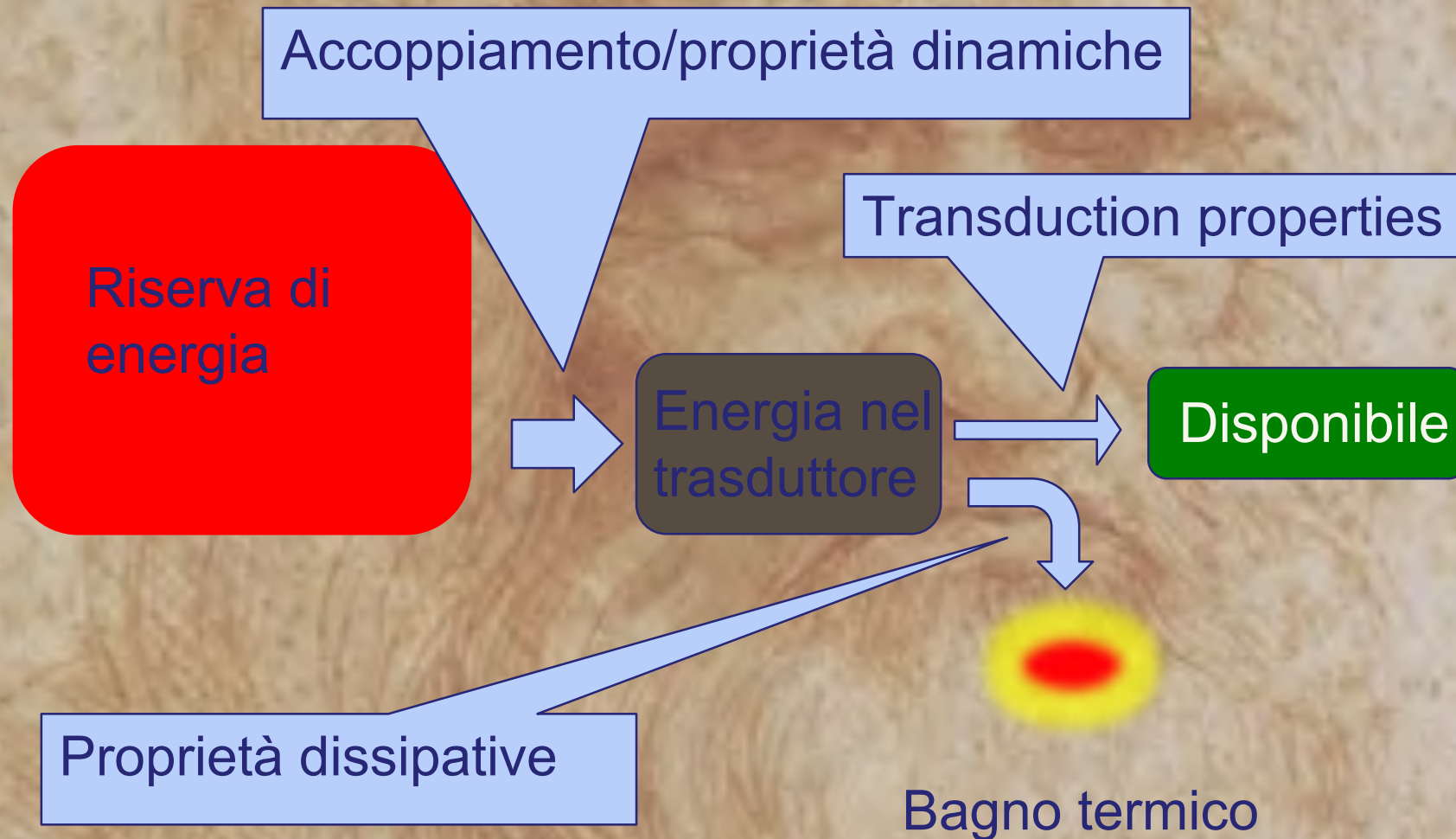
vibrations

water waves and tides

Noi ci interesseremo del caso delle **vibrazioni casuali (rumore)** di corpi solidi....

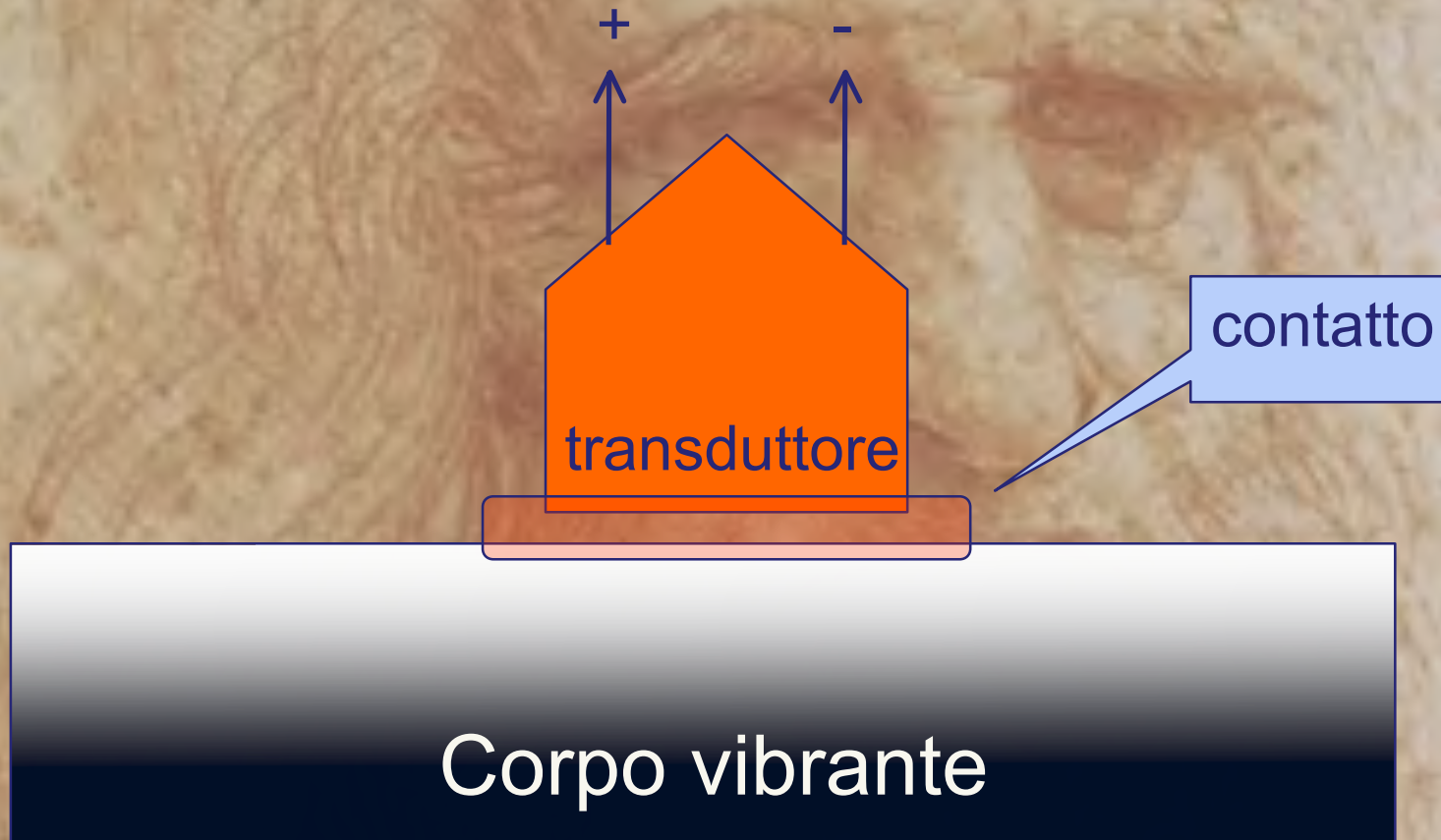
Energy harvesting

Budget energetico



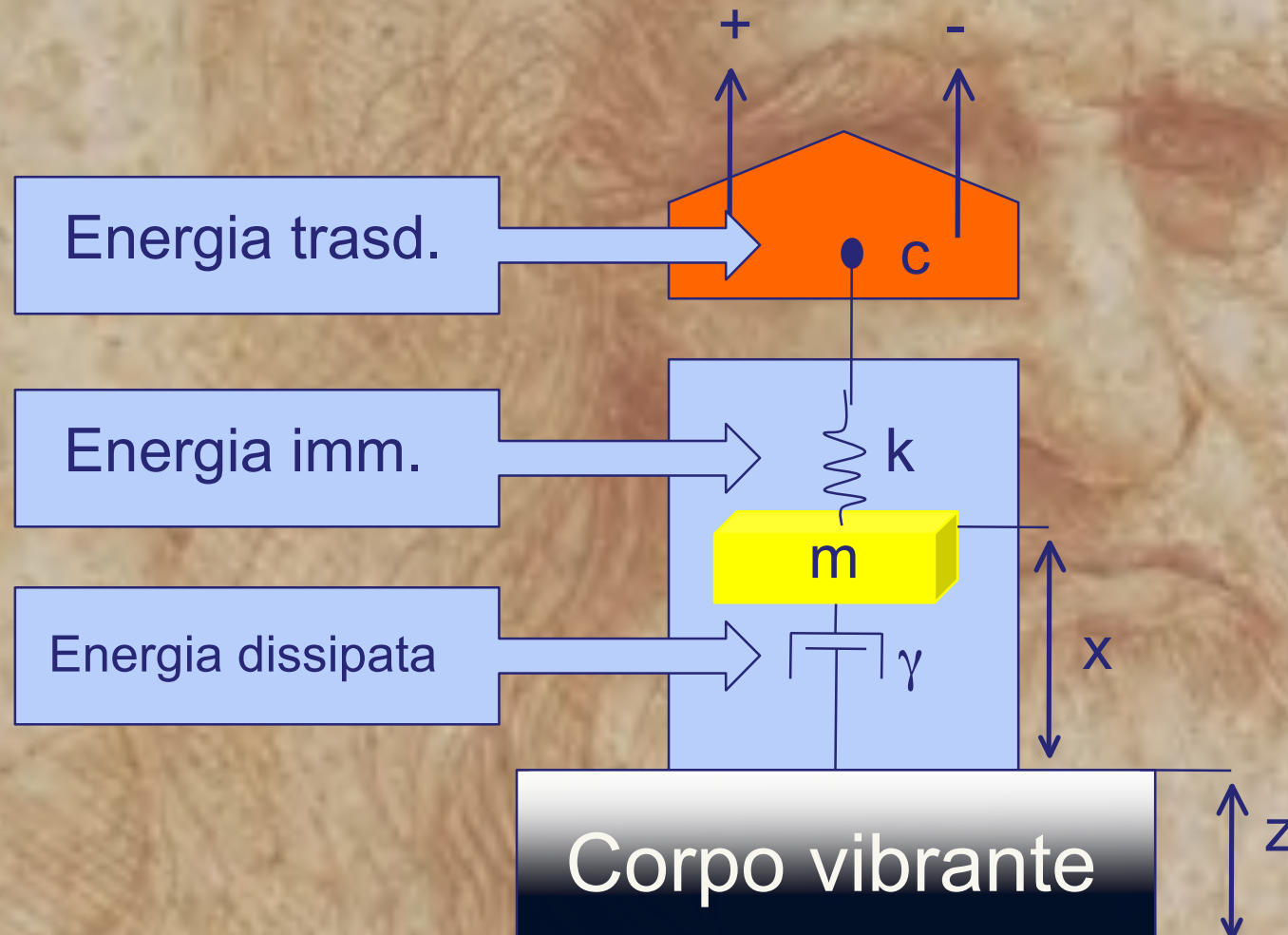
Noise energy harvesting

Schema basilare

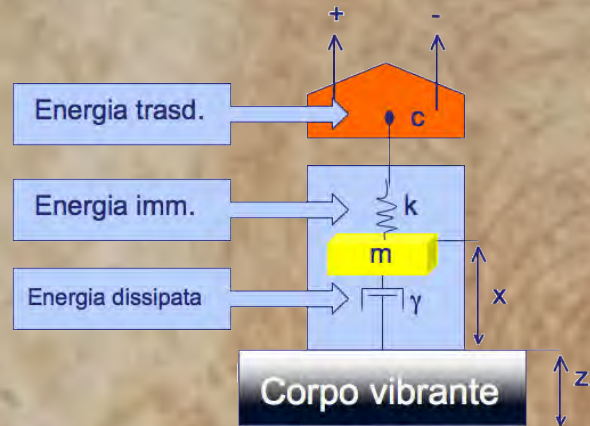


Noise energy harvesting

Modello dinamico



Noise energy harvesting

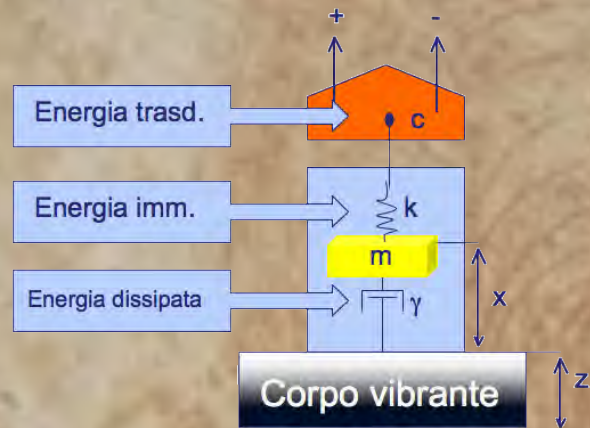


Modello dinamico

$$m\ddot{x} = -\frac{dU(x)}{dx} - \gamma\dot{x} - c(x,V) + \xi_z$$

- Dove:
- $U(x)$ Rappresenta l'Energia immagazzinata
 - $\gamma\dot{x}$ Tiene conto dell'Energia dissipata
 - $c(x,V)$ Tiene conto dell'Energia del trasd.
 - ξ_z Tiene conto dell'Energia di ingresso

Noise energy harvesting



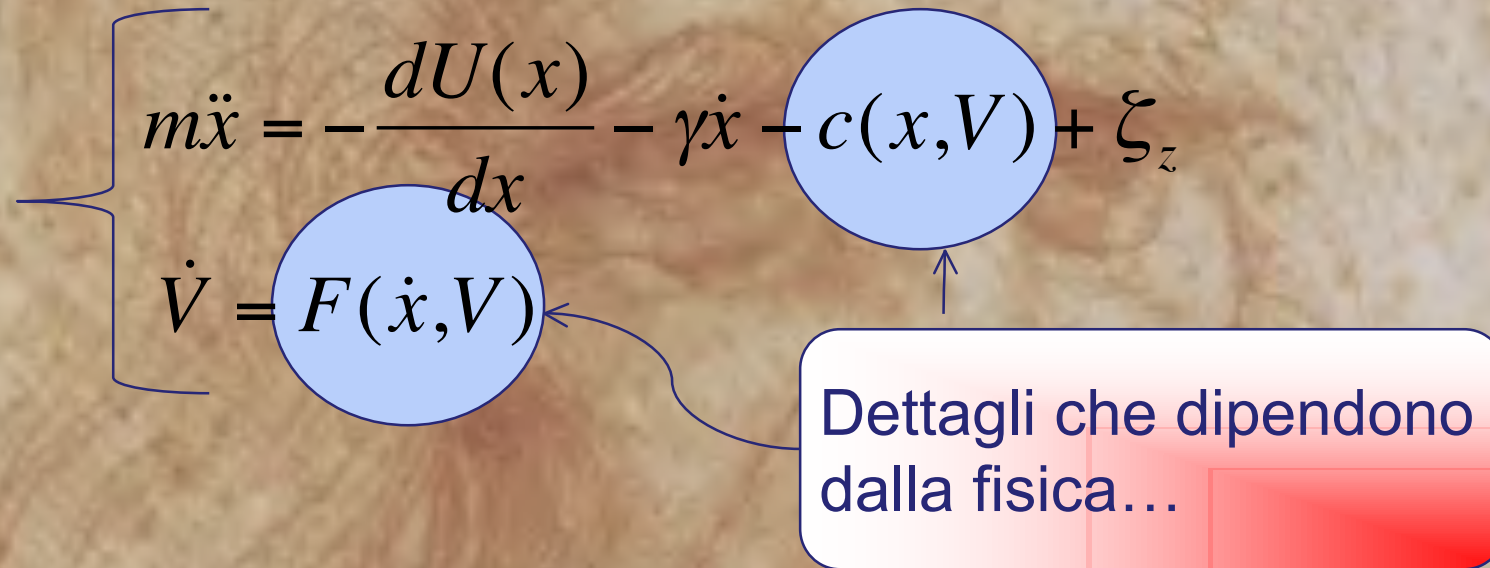
Modello dinamico

$$\left\{ \begin{array}{l} m\ddot{x} = -\frac{dU(x)}{dx} - \gamma\dot{x} - c(x,V) + \xi_z \\ \dot{V} = F(\dot{x},V) \end{array} \right.$$

Equazioni che tengono in conto del legame tra spostamento indotto dalle vibrazioni ed il voltaggio.

Noise energy harvesting

Modello dinamico



Esistono tre principali modi di trasformare vibrazioni in energia elettrica: piezoelettrico, capacitivo ed induttivo... ma questa è un'altra storia!

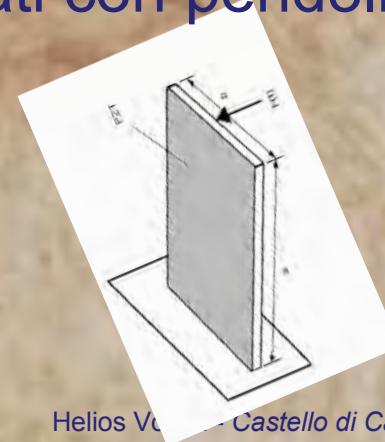
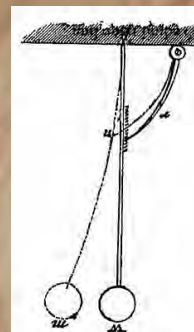
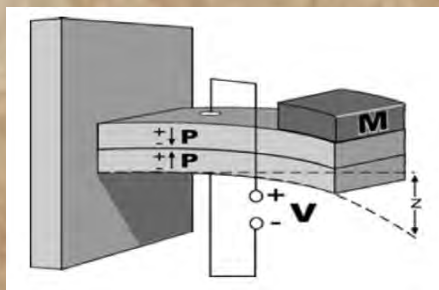
Noise energy harvesting (metodo tradizionale)

Sistemi lineari

Quando $U(x) = \frac{1}{2} kx^2$ si tratta di un sistema lineare

I sistemi lineari hanno caratteristiche interessanti... (ed agli ingegneri piacciono molto!!!)

- 1) Esiste una semplice teoria matematica per risolvere le eq.
- 2) Hanno un comportamento risonante
- 3) Possono essere “facilmente” realizzati con pendoli o barrette



Noise energy harvesting (metodo tradizionale)

Sistemi lineari

La semplicità di tali sistemi ha un prezzo, essi infatti rispondono agli stimoli principalmente alla loro frequenza di risonanza... questo sistema è efficiente solo se l'energia ambientale è abbondante in tale regione...

Questo è un serio limite per poter costruire generatori di piccole dimensioni...

Perché ?!!



Noise energy harvesting (metodo tradizionale)

Sistemi lineari

Per due ragioni principali...

- (1) L'energia disponibile nell'ambiente è tipicamente molto distribuita in frequenza
- (2) La maggior parte dell'energia ambientale è disponibile a basse frequenze ed è impossibile costruire sistemi risonanti di piccole dimensioni con una risonanza a bassa frequenza...



Noise energy harvesting

Una soluzione all'orizzonte...

Per risolvere il problema abbiamo bisogno di qualche cosa che:

- 1) Prenda energia da un'ampia gamma di frequenze
- 2) Non abbia bisogno di essere "sintonizzata"
- 3) Risponda bene alle basse frequenze

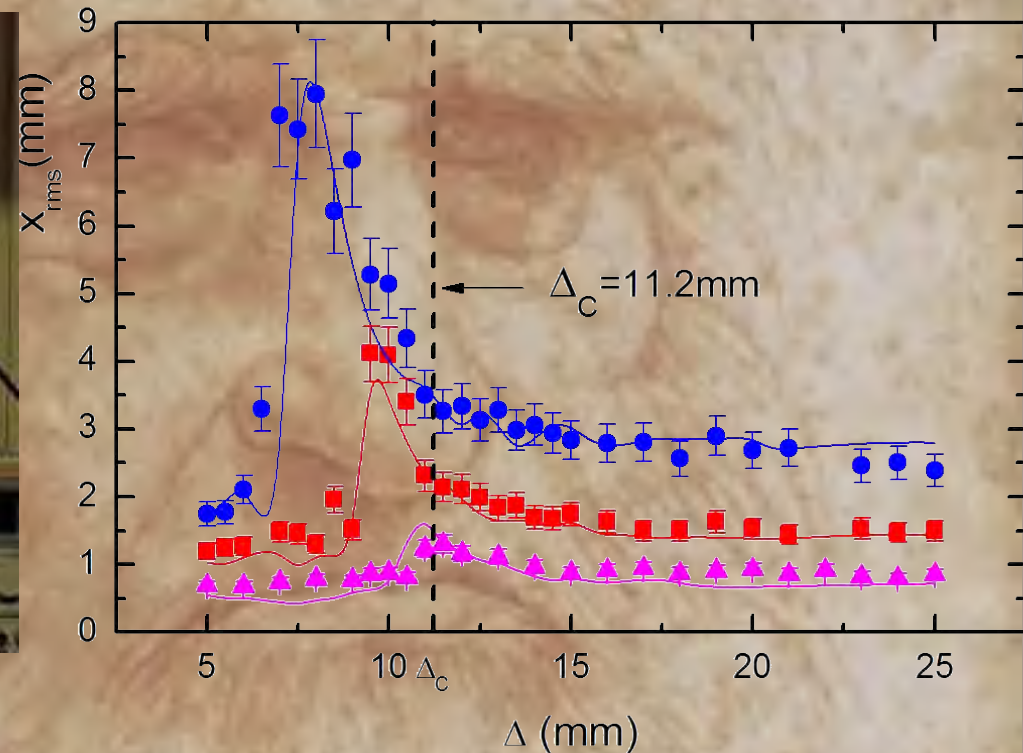
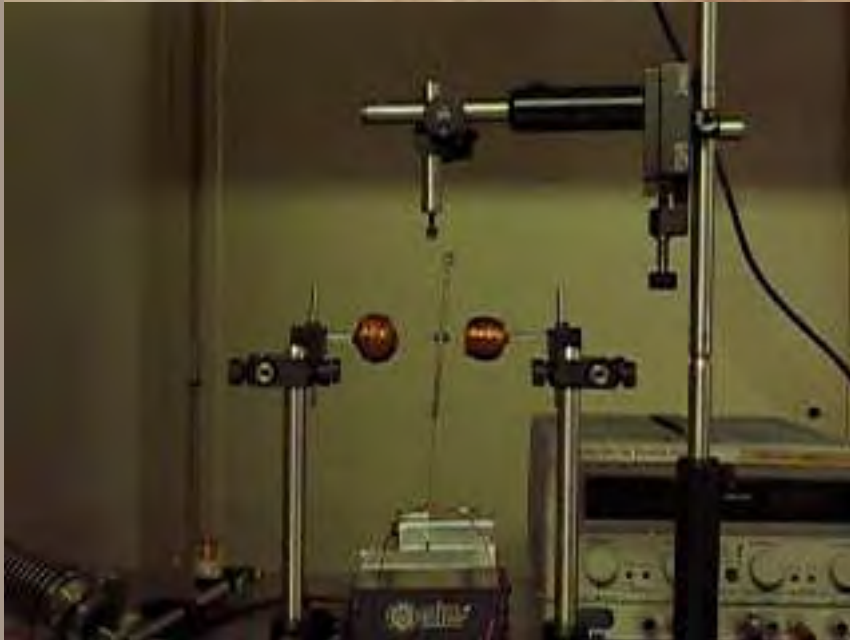


"Wisepower effect"...

Utilizzo di sistemi non-lineari:
Più complicati da gestire ma danno
una soluzione unica ed efficiente!!!

Noise energy harvesting

Uso di oscillatori NON-Lineari come trasduttori



<http://www.nipslab.org/node/1676>

Nonlinear Energy Harvesting, F. Cottone; H. Vocca; L. Gammaitoni
Physical Review Letters, 102, 080601 (2009)

La realizzazione di microgeneratori è ora possibile!!!



Abbiamo aperto le danze... Ora è il momento di ballare!!!

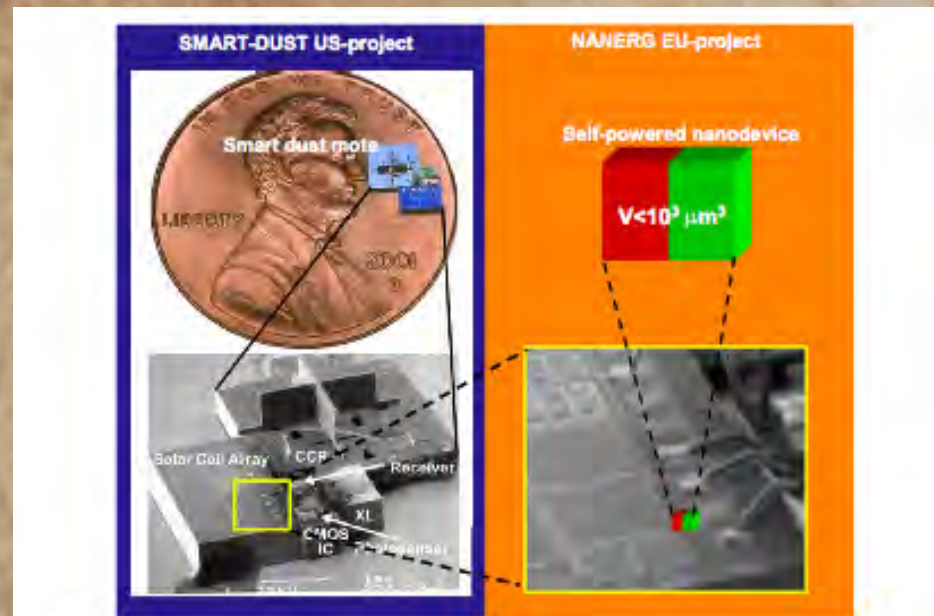
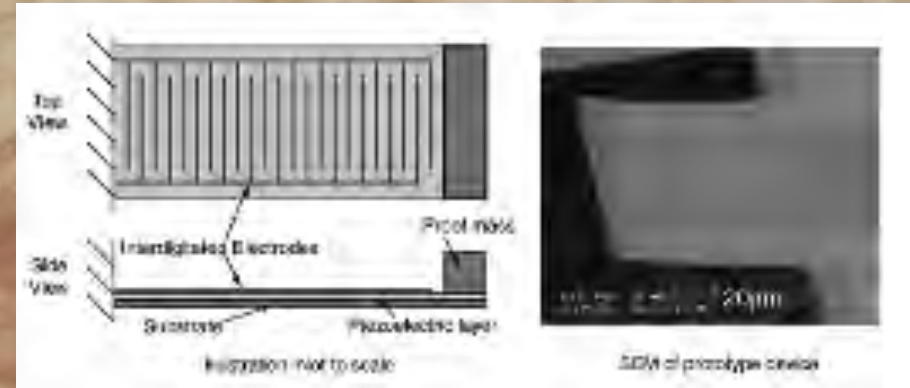
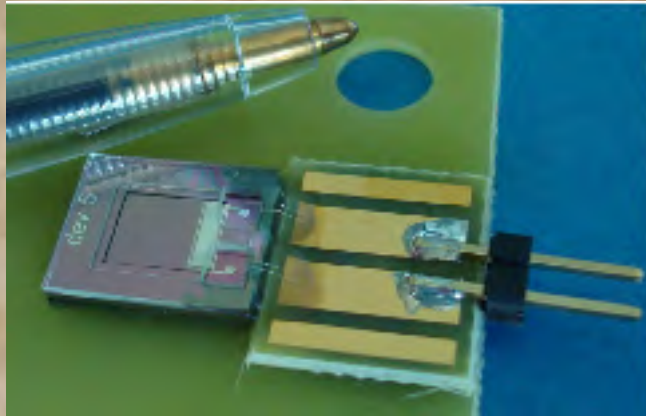


Figure 3.2: Miniaturization level comparison between NANERG and smart-dust US project

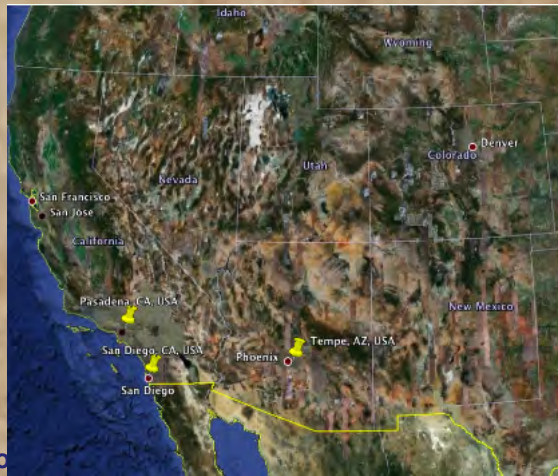
La collaborazione (e la competizione) ora è globale...

Italia: Università di *Camerino, Brescia e Catania*

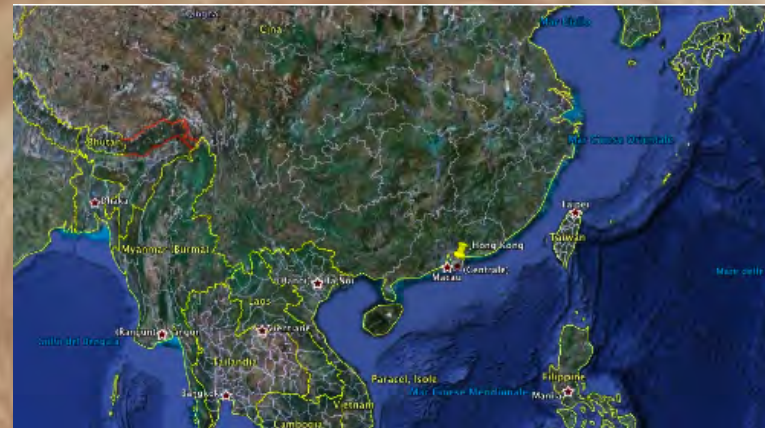


Europa: *Germania* (Tubinga, Wurzburg), *Svizzera* (Losanna, Ginevra), *Spagna* (Madrid, Barcellona), *Finlandia* (Helsinki), *Svezia* (Lund), *Danimarca* (Lyngby), *Olanda* (Twente), *Ungheria* (Budapest)

USA: *California* (Pasadena, San Diego), *Arizona* (Phoenix)



Asia: *Cina* (Hong-Kong)





Ora comincia il bello... stanno nascendo prospettive per incredibili applicazioni in tutti i settori:

- tecnologia (automobili, cellulari, computer...)
- medicina (diagnostiche, cliniche...)
- biotecnologia (controllo funzionalità organi...)
- ingegneria (civile, meccanica...)
- elettronica
- ...

Grazie a tutti...

Il Futuro è ORA!!!
Il Futuro è ORA!!!