

Dario Narducci,  
Dipartimento di Scienza dei Materiali  
[dario.narducci@unimib.it](mailto:dario.narducci@unimib.it)

# Materiali e dispositivi termoelettrici per il recupero di calore a bassa temperatura

# Macro e microharvesting di calore

- L'effetto termoelettrico consente la conversione in energia elettrica di calore – senza ricorso a parti in movimento

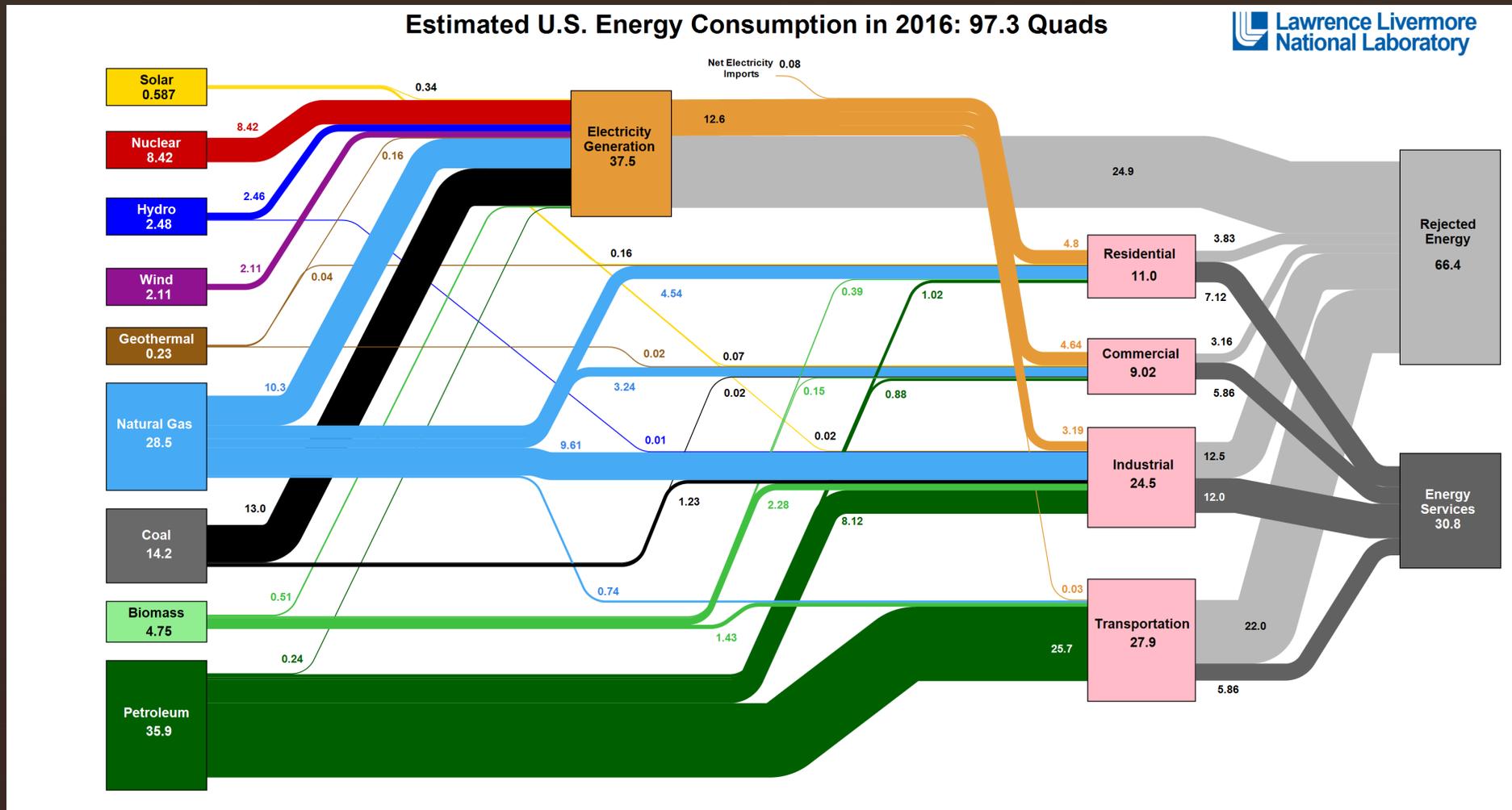


Un buon materiale termoelettrico deve avere:

- una buona conducibilità elettrica
- un elevato coefficiente Seebeck  $-\Delta V / \Delta T$
- una bassa conducibilità termica

- Le tesi proposte studiano sia sul piano fondamentale sia su quello applicativo la correlazione tra struttura, chimica e proprietà di trasporto di materiali termoelettrici

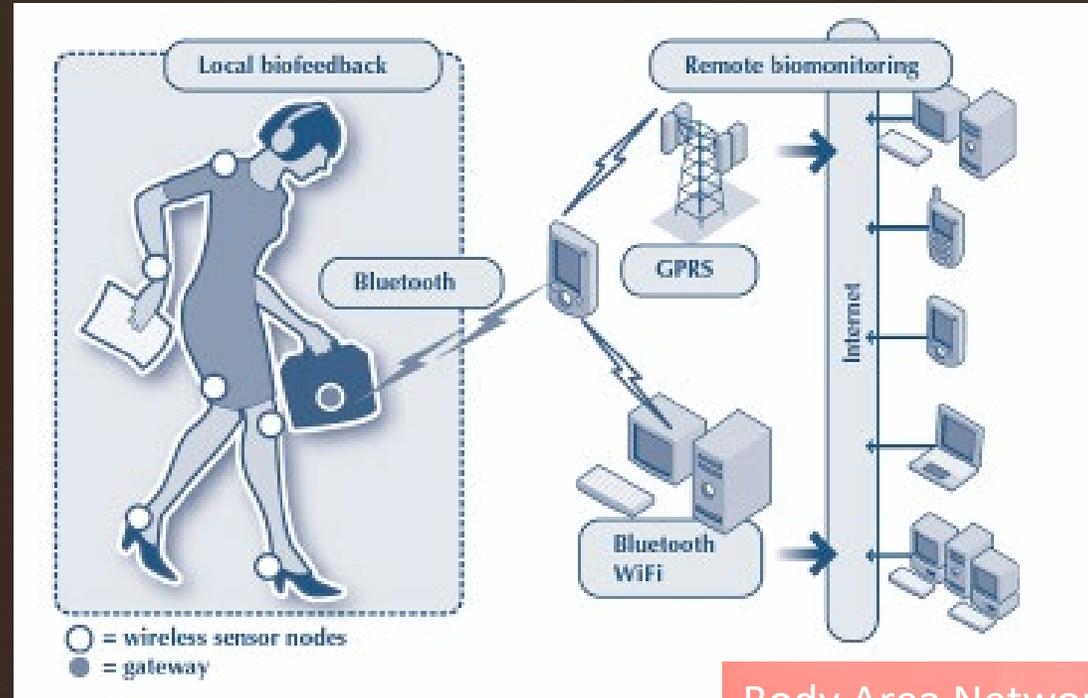
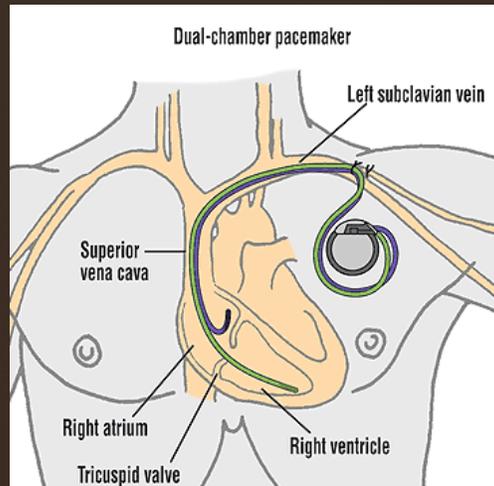
Correntemente, quasi il 50% dell'energia meccanica ed elettrica prodotta a livello mondiale viene dispersa come calore a bassa temperatura. La possibilità di recuperare anche solo il 10% di tale energia porterebbe a disporre di una nuova fonte equivalente per energia erogata al nucleare.



1 quad =  $10^{15}$  BTU =  $1.055 \times 10^{18}$  joule = 293 miliardi di kWh

Le tecnologie di Industrie 4.0 e dell'Internet of Things richiedono fonti di potenza elettrica rinnovabili nell'ordine dei mW.

## Monitoraggio sanitario



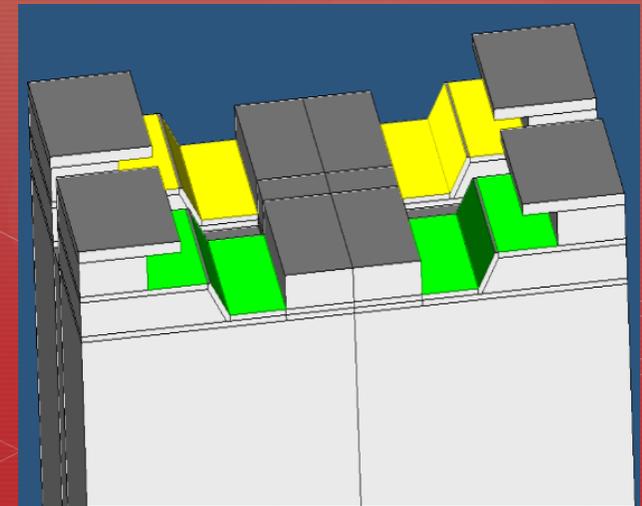
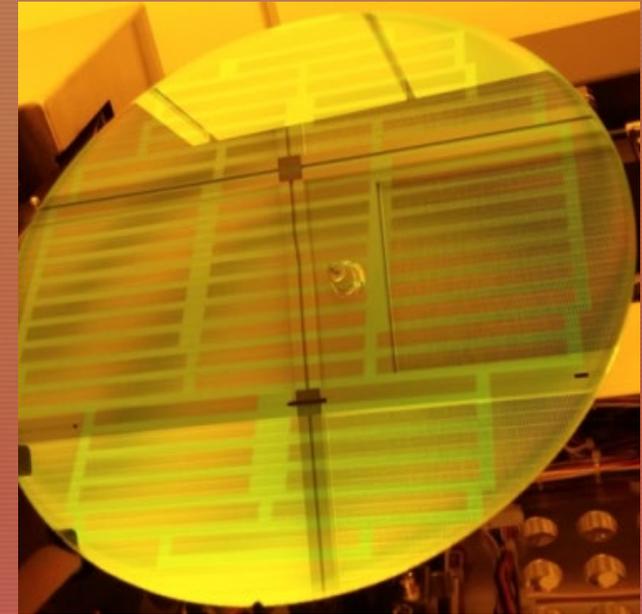
Body Area Network

## Wireless Sensor Networks



# Le tesi: film sottili di silicio nanocristallino iper-drogato

- Il silicio è di per sé un materiale poco efficiente per applicazioni termoelettriche
- Nel 2004, nell'ambito di una partnership industriale, è stato evidenziato come precipitati di  $\text{SiB}_x$  in film di silicio nanocristallino potevano decuplicare l'efficienza di Si
- I film nanocristallini hanno una bassa conducibilità termica ma anche una bassa conducibilità elettrica
- Conducibilità elettrica e coefficiente Seebeck sono stati incrementati di un ordine di grandezza filtrando le lacune di bassa energia attraverso le barriere di potenziale ai bordi di grano



# Le tesi: film sottili di silicio nanocristallino iper-drogato

L'attività di tesi prevede:

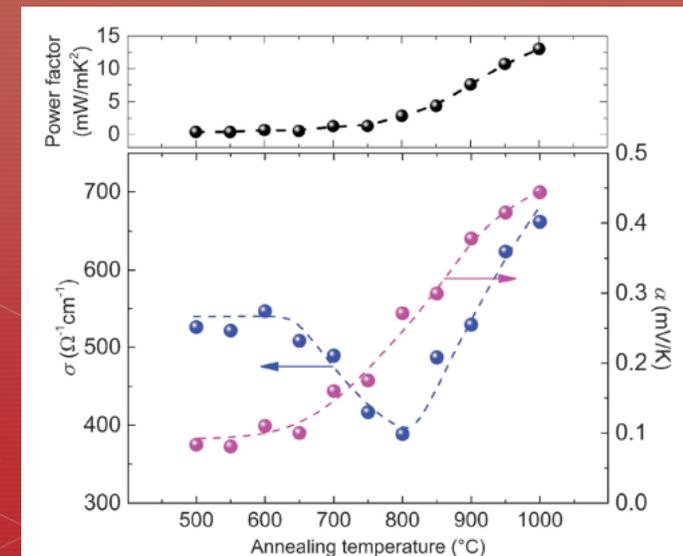
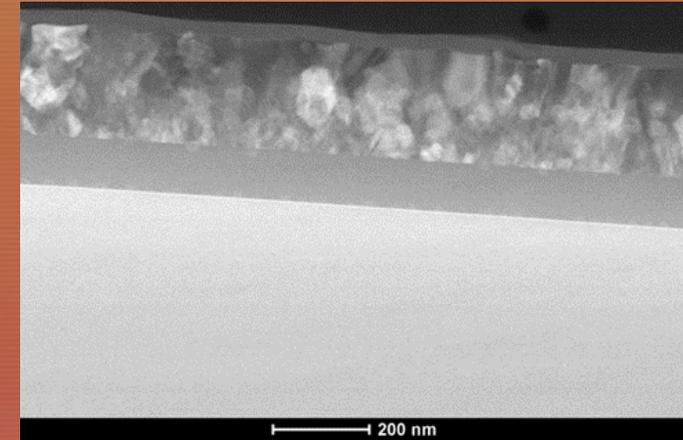
- la progettazione del ciclo di preparazione di film sottili di silicio nanocristallino \*
- lo studio dell'effetto di cicli di trattamento termico sulla distribuzione del drogante nella fase e sulla eventuale formazione di precipitati
- lo studio delle proprietà di trasporto del materiale

Il/la laureando/a

- apprenderà le tecniche di crescita, trattamento e caratterizzazione di film sottili
- svilupperà competenze relative alla chimica fisica delle soluzioni solide di silicio e alla loro connessione con le proprietà di trasporto di carica e energia\*\*

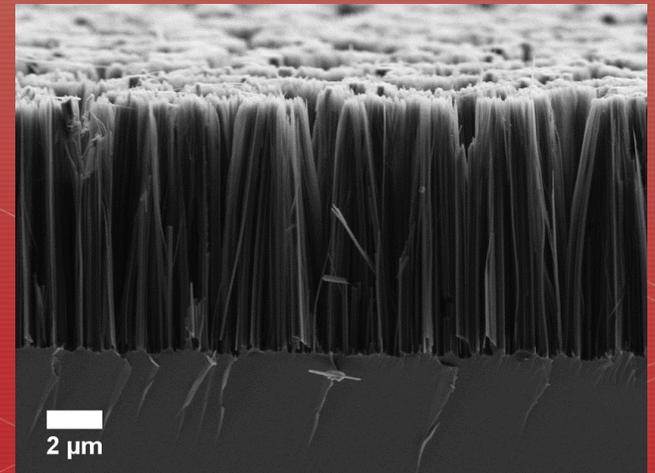
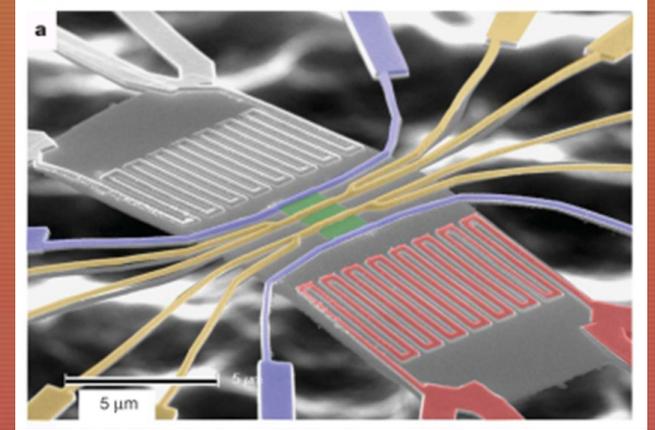
\* in collaborazione con ENEA, CSIC e Univ. de Lille

\*\* in collaborazione con la Aix-Marseille University



# Le tesi: nanofili di silicio monocristallino

- Nei nanofili la conducibilità termica del silicio monocristallino è ridotta dallo scattering fononico alla superficie dei fili, che non modifica le proprietà di trasporto di carica
- I nanofili sono ottenibili con tecniche di attacco chimico in soluzione
- Sulle «foreste» di nanofili è possibile realizzare contatti elettrici con tecniche elettrochimiche
- «Foreste» di nanofili contattati elettricamente permettono di realizzare dispositivi termoelettrici \*



\* in collaborazione con GemaTEG srl

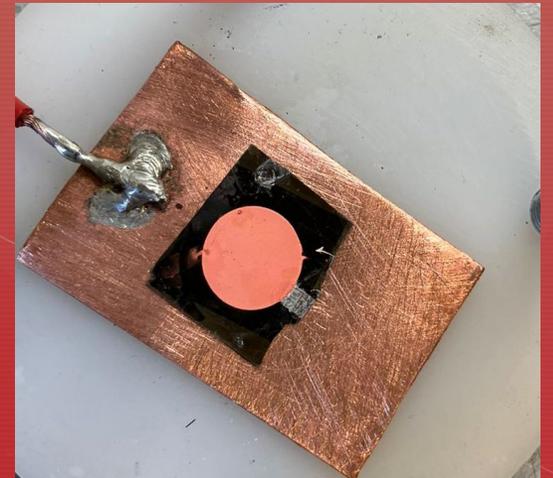
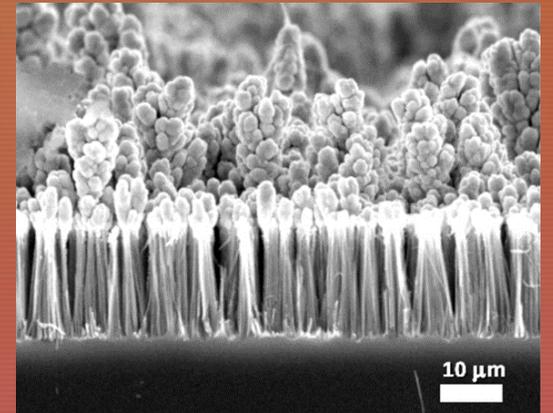
# Le tesi: nanofili di silicio monocristallino

L'attività di tesi prevede:

- la preparazione per via chimica di nanofili ad alto drogaggio
- l'analisi della morfologia dei nanofili in funzione della chimica della soluzione di etching
- lo studio delle relazioni tra le caratteristiche dei contatti e delle condizioni di preparazione

Il/la laureando/a

- svilupperà competenze relative alla chimica fisica degli attacchi chimici su silicio e delle interazioni tra nanofili
- analizzerà le proprietà delle interfacce silicio-metallo in rapporto alle caratteristiche del processo di metallizzazione



# Per ulteriori informazioni/disponibilità

<https://sites.google.com/unimib.it/thermoelectrics/home>

Thermoelectrics@UNIMIB

[Home](#) [People](#) [Research](#) [Projects](#) [Links](#) [Contacts](#) [Tesi \(in Italian\)](#) 

## The Lab

[Home](#) [People](#) [Research](#) [Projects](#) [Links](#) [Contacts](#) [Tesi \(in Italian\)](#) 

Just out in the *Japanese Journal of Applied Physics*: "Hybrid thermoelectric-photovoltaic solar harvesters: technological and economic issues", a Progress Review by D. Narducci and B. Lorenzi

Narducci delivered a keynote at [ENGE2022](#) in Korea on silicon for thermoelectricity

Working at an ITN proposal on integrated silicon TEGs/TECs/phononics. Interested? Please [mail us](#)

Federico Giulio awarded for the best junior talk at the Italian National Conference on Thermoelectrics (GiTe 2022).

Silicon for low-temperature thermoelectric harvesting. A review just published in *Materials* (open access).

Thermoelectricity is among the most exciting fields of research for a materials scientist, as it embodies the full spirit of materials science.

First, you have a challenge, namely that of devising materials with exceptional properties such as low thermal conductivity, high electrical conductivity and a large Seebeck coefficient - all in one material. As all challenges, it must be faced in a creative way, both choosing solids that best approximate this set of conflicting properties; and handling defects in a smart way, making them a tool to improve properties the way you need.

Then, you must think materials in view of their application, which means accounting for several other materials issues, from controlling diffusivity at interfaces to mastering differential thermal dilation at junctions.

Not enough: device geometry must serve a specific application context, so materials and devices must meet real-world requirements including that of being part of a proper thermal chain or of being shaped as curved surfaces. The choice of the materials preparation technique and of the device assembly must keep together all of the above - from defect and stoichiometry control to appropriate contact resistance under the