



Dipartimento di Ingegneria Elettrica,  
Elettronica e Informatica  
Università degli Studi di Catania (Italy)



# Sensori Green realizzati mediante materiali a basso impatto ambientale

## S. Graziani

# Motivazioni

Processi di produzione poco efficaci provocano uno spreco di risorse, mentre la natura dei cicli produttivi e la natura dei dispositivi produce un inquinamento troppo elevato.

Gli scenari si stanno evolvendo verso l'implementazione di nuove ecologie, quali Industrie 4.0, Smart Cities&Homes, Precision Agriculture, Internet of Food, ect..

Si tratta di tecnologie che richiedono sistemi di **misura (sensori) distribuiti**.

**Occorre implementare processi economici circolari che limitino l'uso di risorse non rinnovabili e l'immissione nell'ambiente di inquinanti. Ciò è possibile se si implementano tecnologie di produzione «green», che usano materie prime rinnovabili e producono dispositivi il cui smaltimento dopo la «vita utile» non pone problemi di inquinamento.**

# Motivazioni

La diffusione capillare dell'elettronica nella vita di tutti i giorni aumenterà la qualità della vita dei cittadini.

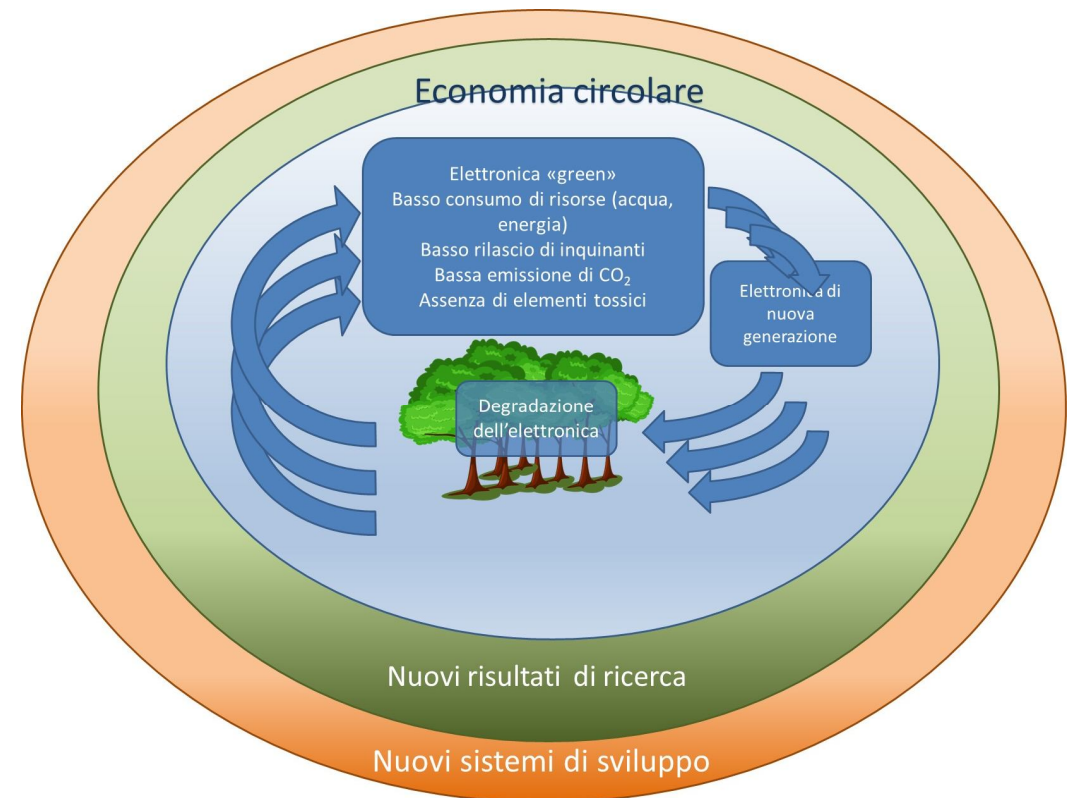
## Può l'elettronica tradizionale rispondere alle nuove esigenze?

- 1) La disponibilità di elettronica di consumo a basso costo sta stimolando un approccio "usa e getta" ai dispositivi: attualmente un telefono cellulare viene usato in media *per 18 mesi* prima di essere sostituito, un computer per **3 anni**.
- 2) Nel 2007, è stata stimata una produzione di **3.2 milioni di tennellate** di rifiuti elettronici (e-waste) per anno, con un corrispondente consumo di territorio per la realizzazione di discariche (Jung, Y.H., et al., Nat. Com., 2015, 6, art. no. 7170).
- 3) Il destino dell'elettronica dopo il suo utilizzo (**End-of-Life fate**) sta diventando un problema ambientale cruciale, a causa dei materiali impiegati, spesso tossici o pericolosi per gli operatori e per l'ambiente. Ciò è particolarmente rilevante per i paesi in via di sviluppo, dove vengono implementate procedure di smaltimento rudimentali, con un corrispondente rischio di malattie professionali (M.C. Vats, S.K. Singh, vol. 1, 2, pp. 49-61, October 2014).

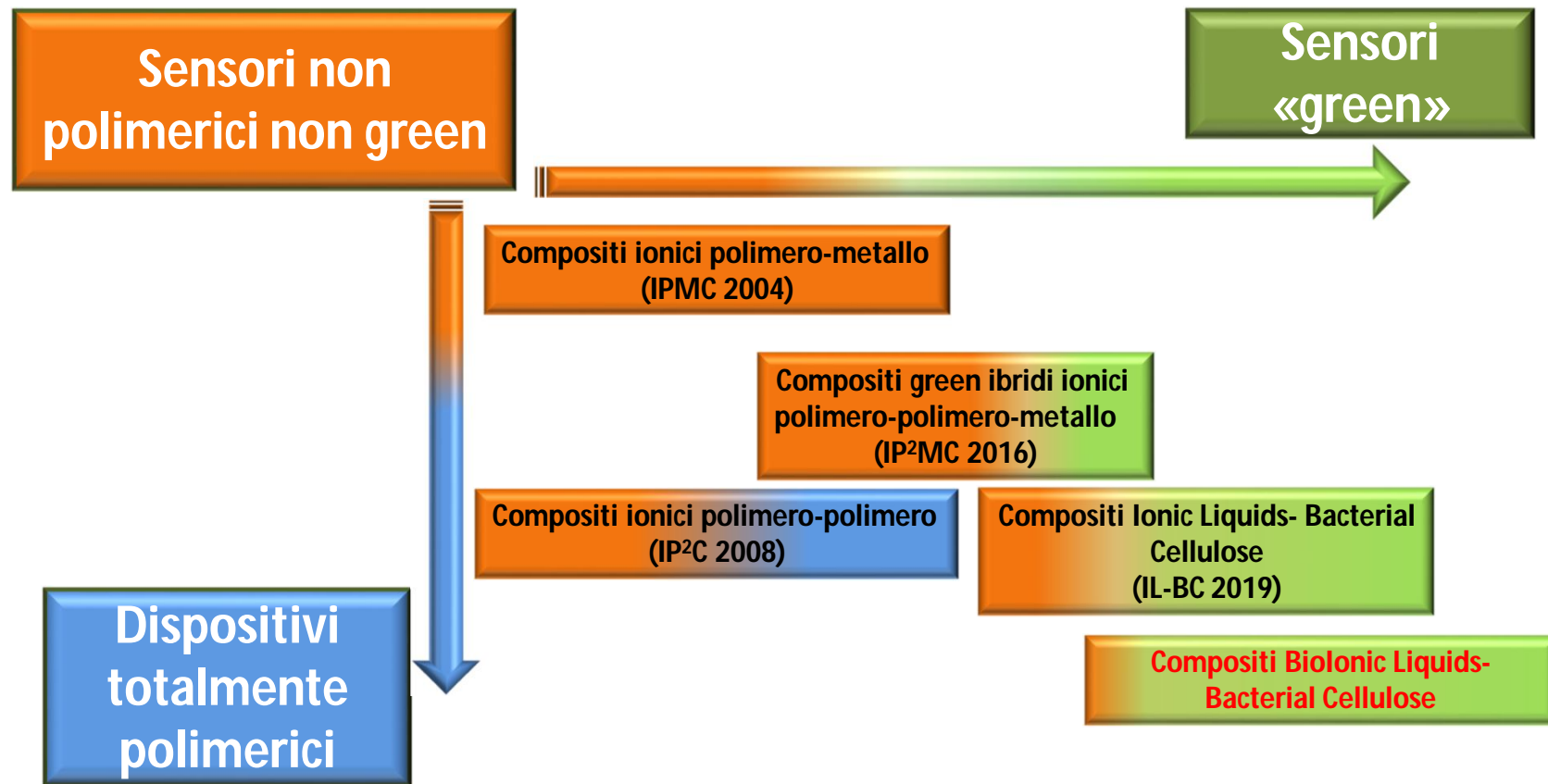
# Motivazioni

La necessità di sviluppare un'**economia sostenibile**, richiede lo sviluppo di un'elettronica nuova, basata su:

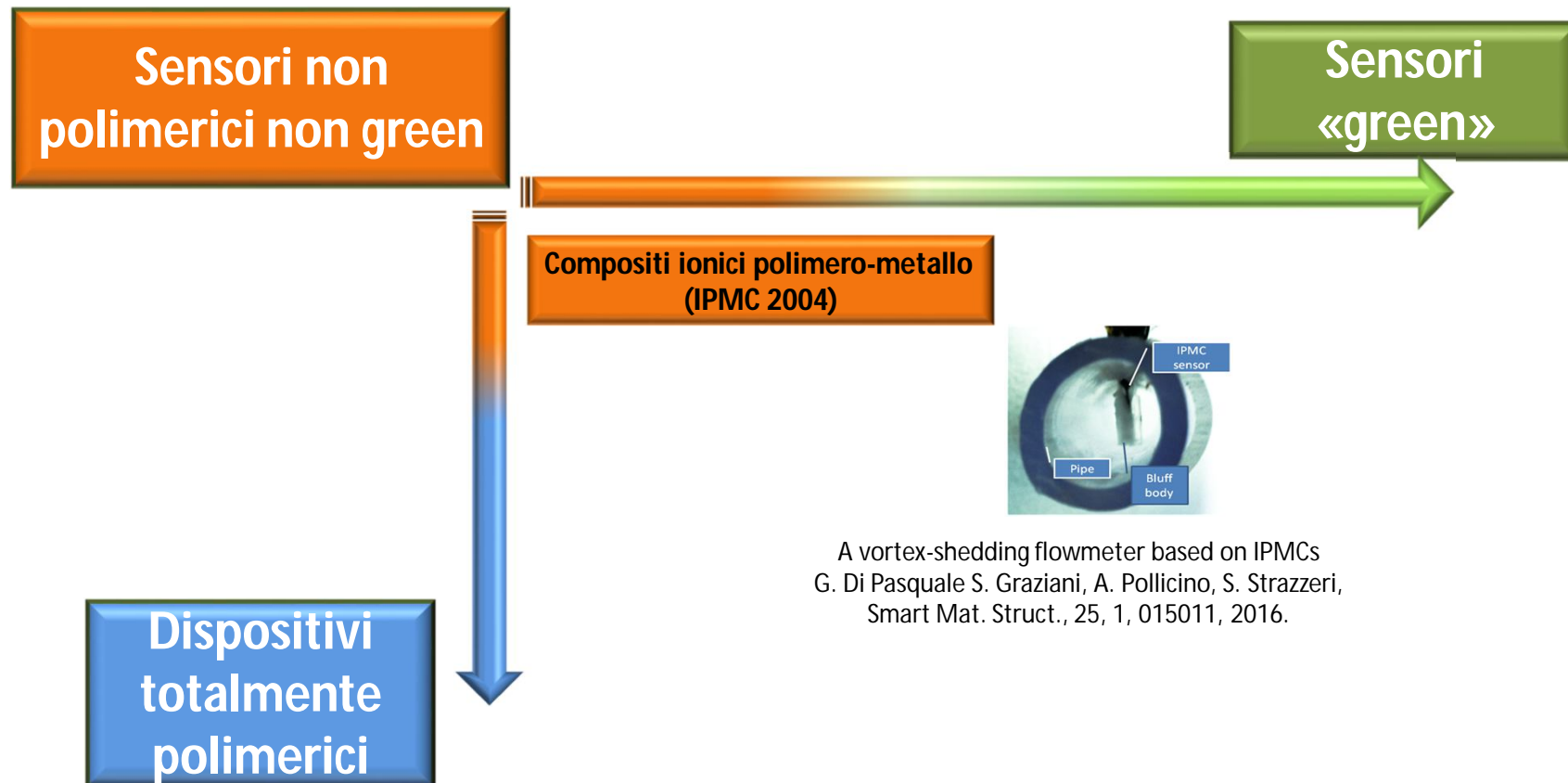
- ✓ Tecnologie di produzione a basso consumo di energia e di materiali rinnovabili, e che non rilasciano inquinanti;
- ✓ Di sorgenti di energia che non ricorrono ai combustibili fossili (decarbonizzazione) o a sistemi di accumulo tradizionali (batterie al litio);
- ✓ Di dispositivi biodegradabili, che possano essere riassorbiti dall'ambiente dopo la loro vita utile.



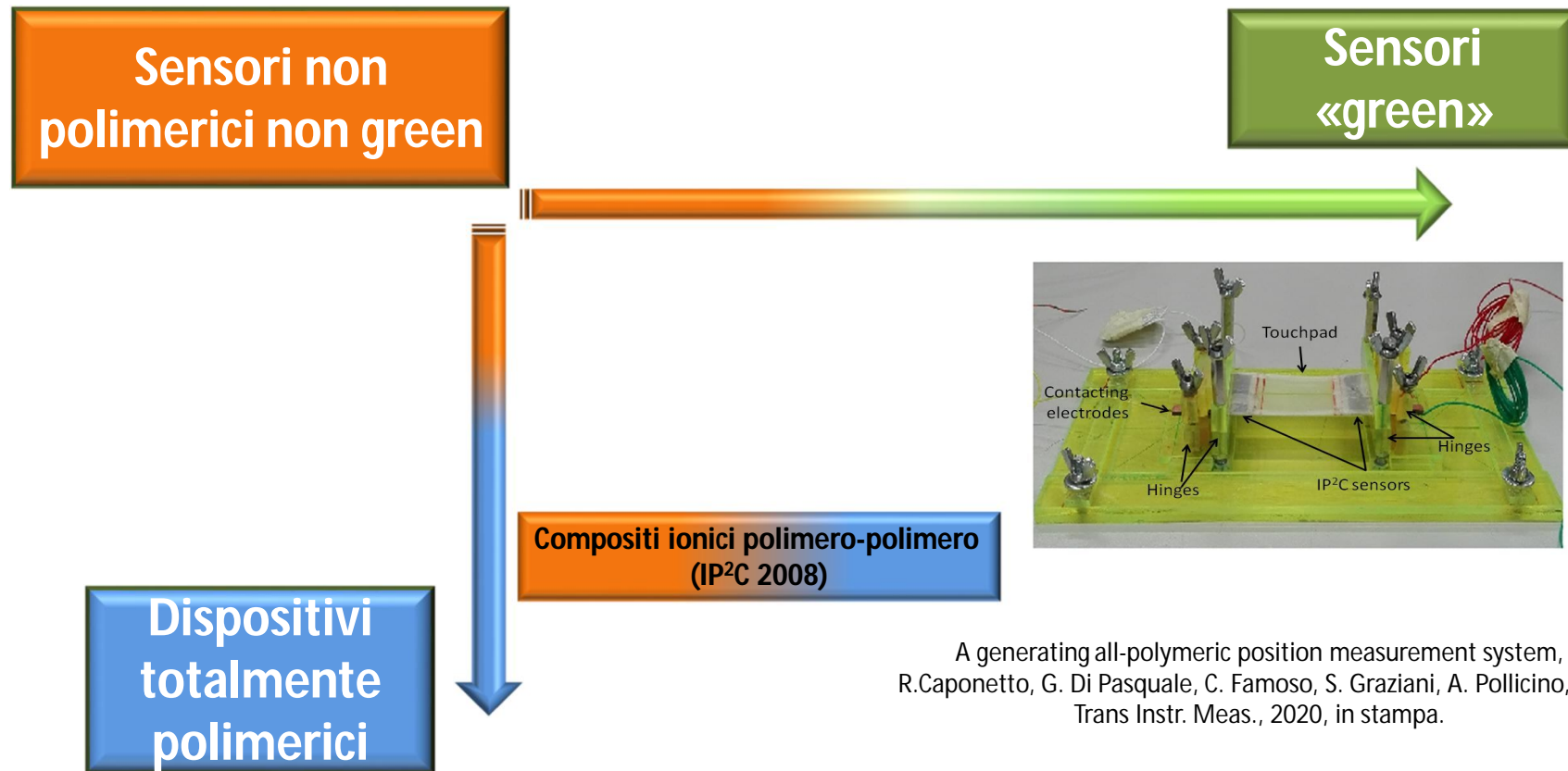
# Motivazioni



# Motivazioni



# Motivazioni

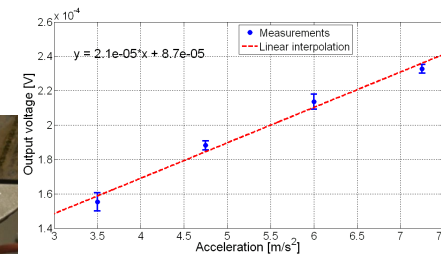
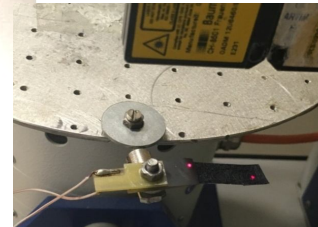
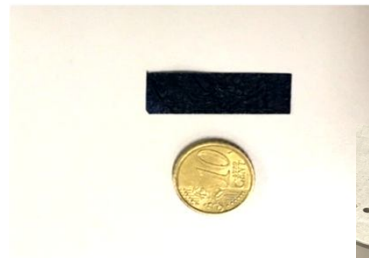


A generating all-polymeric position measurement system,  
R.Caponetto, G. Di Pasquale, C. Famoso, S. Graziani, A. Pollicino, IEEE  
Trans Instr. Meas., 2020, in stampa.

# Motivazioni

Non polymeric  
ungreen devices

Sensori  
«green»



Green Inertial Sensors based on Bacterial Cellulose, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, IEEE-SAS2019, 2019, Sophia Antipolis, F.  
A Bacterial Cellulose Based Mass Sensor, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona,, IEEE M&N 2019, July 2019, Catania, I.  
“Paper” Based Sensor for Deformation Measurements , G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, I<sup>2</sup>MTC2019, May 2019, Auckland, NZ.

Dispositivi  
totalmente  
polimerici

Compositi Ionic Liquids- Bacterial Cellulose (IL-BC 2019)



# I nuovi sensori



- **I polimeri** giocano un ruolo importante nello sviluppo di nuovi sistemi di sensori

- tutti i sistemi prodotti sono generalmente "ungreen" o non soddisfacenti dal punto di vista operativo

■ I batteri possono essere usati come una "fabbrica vivente" per produrre sistemi di sensing "green"!

The image shows a microscopic view of several rod-shaped bacteria, likely E. coli, against a dark background. The bacteria are light-colored and appear to be clustered together.

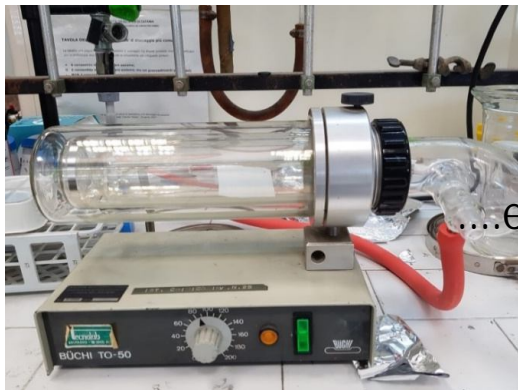
# I sensori basati sulla cellulosa batterica

- La **cellulosa** è tra i materiali biologici più economici e abbondanti sulla superficie terrestre e ha proprietà interessanti quali la flessibilità e la leggerezza. Essa è inoltre biodegradabile (si stima che venga degradata nel suolo dopo qualche mese).
- Tuttavia la cellulosa è prodotta tipicamente da sorgenti vegetali che solo parzialmente provengono da coltivazioni sostenibili.
- Il processo di produzione richiede un processo di estrazione che comporta consumi rilevanti di energia e acqua.
- La **Cellulosa Batterica** rappresenta un valido sostituto alla cellulosa di origine vegetale. Viene direttamente prodotta da alcuni batteri dei generi ***Acetobacter***, ***Sarcinaventriculi*** e ***Agrobacterium***. Il processo di produzione risulta molto più green rispetto a quello di estrazione della cellulose classica.

# La produzione dei sensori

■ I sensori vengono prodotti in tre passi:

## 1. La prerazione della BC...



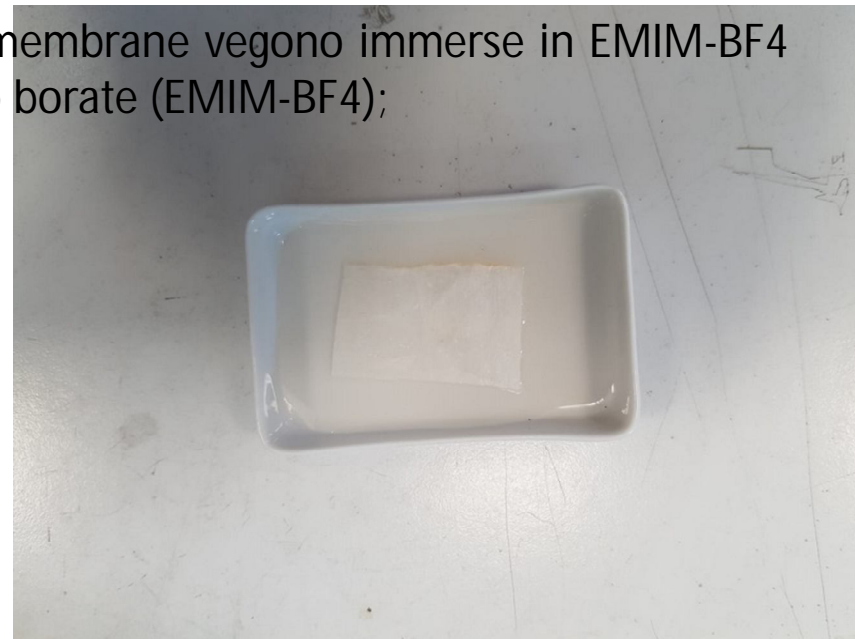
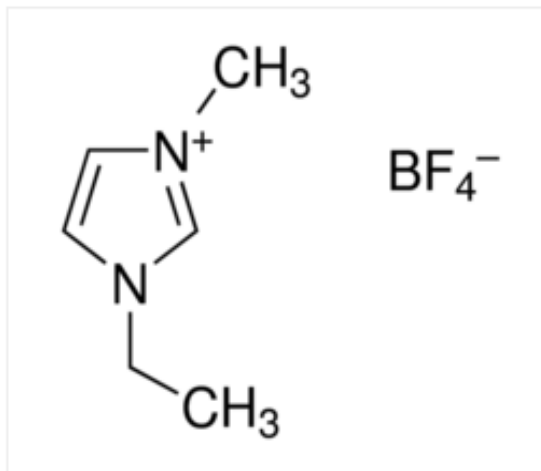
.....e l'essiccazione definitiva;

.....l'essiccazione in aria....



# La produzione dei sensori

**2. l'assorbimento dei liquidi ionici:** Le membrane vengono immerse in EMIM-BF<sub>4</sub> (1-Ethyl-3-Methylimidazolium tetrafluoro borate (EMIM-BF<sub>4</sub>));

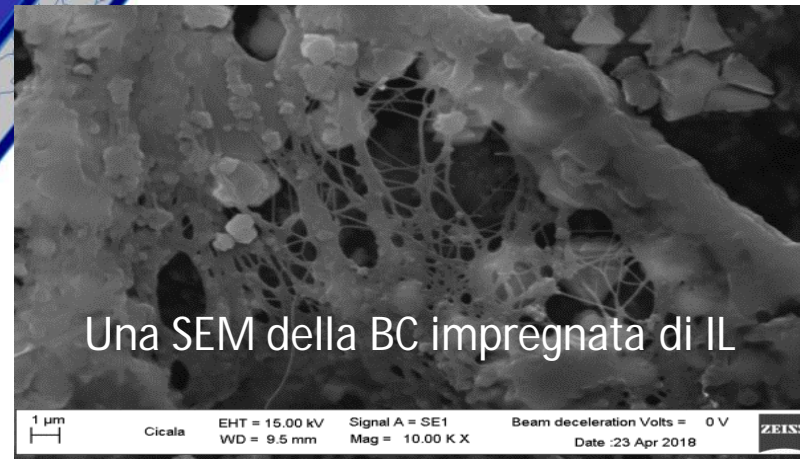
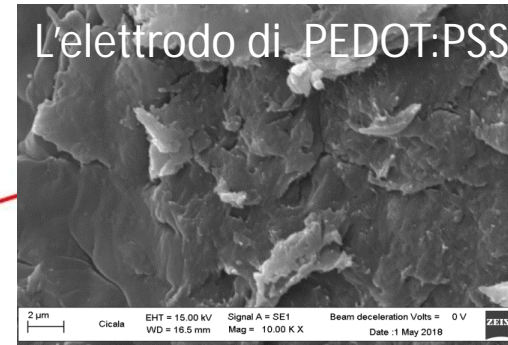


# La produzione dei sensori

**3. La costruzione degli elettrodi:** abbiamo usato 4 strati di (Poly-(3,4-ethylene-dioxythiophene)-polystyrene-sulfonic acid (PEDOT-PSS).

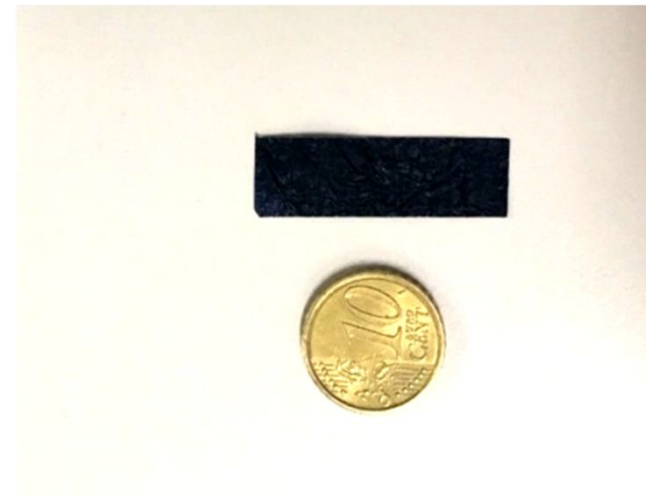
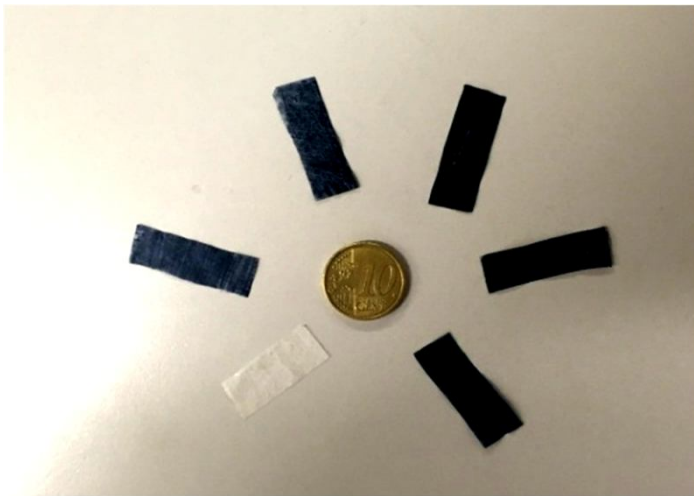


# I prototipi



# I prototipi

- Le membrane possono essere tagliate con un comune tagliabalsa...

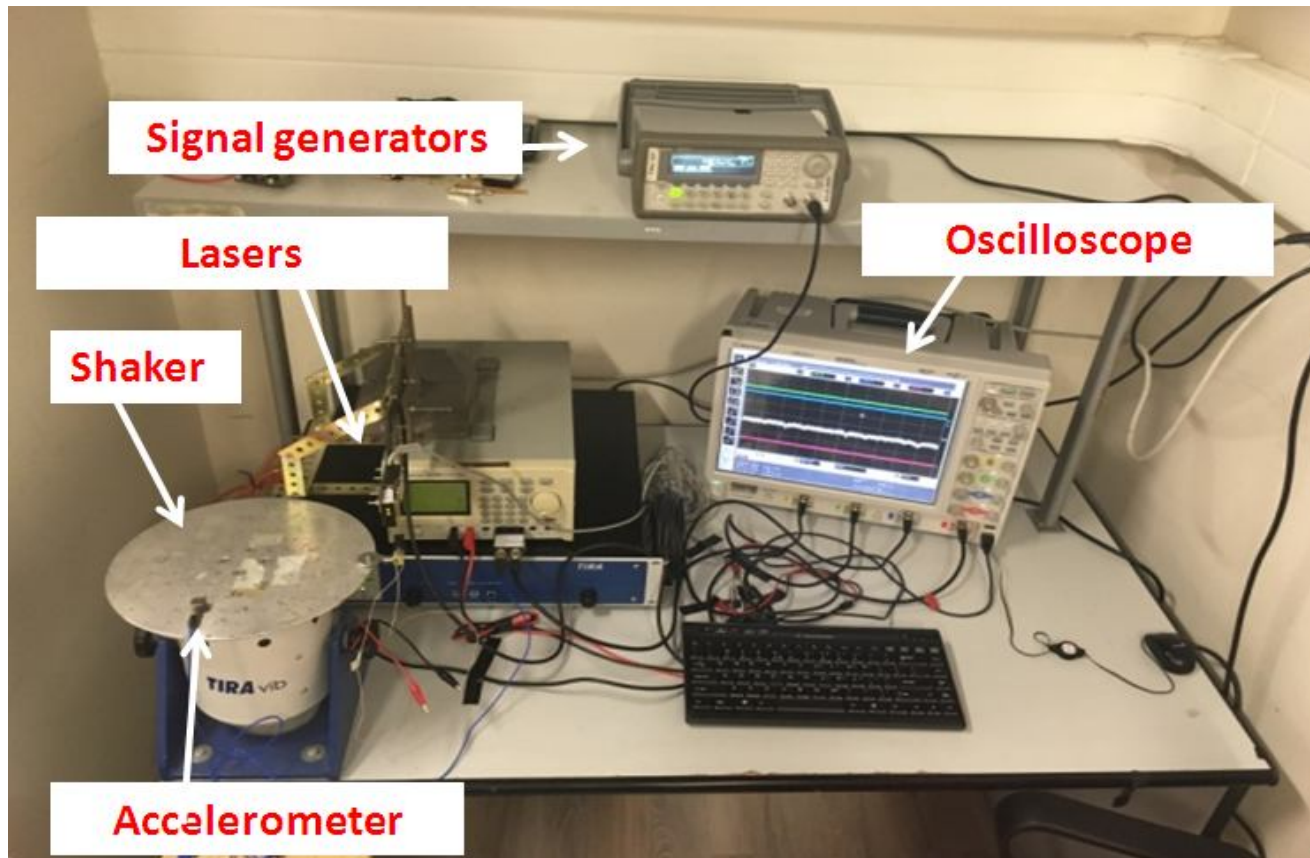


Green Inertial Sensors based on Bacterial Cellulose, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, IEEE-SAS2019, 2019, Sophia Antipolis, F.

A Bacterial Cellulose Based Mass Sensor, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, IEEE M&N 2019, July 2019, Catania, I.

"Paper" Based Sensor for Deformation Measurements, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, I<sup>2</sup>MTC2019, May 2019, Auckland, NZ.

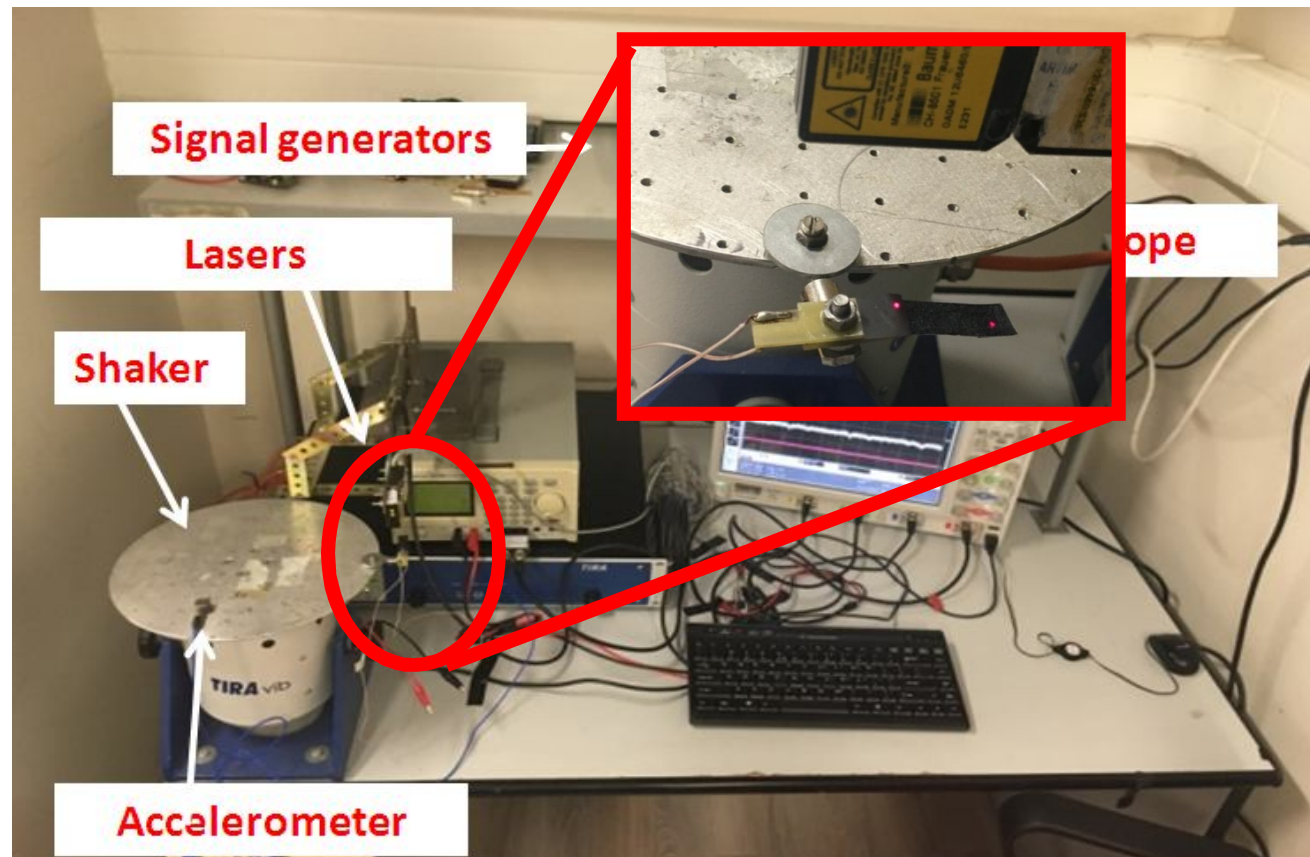
# L'attività di studio sperimentale



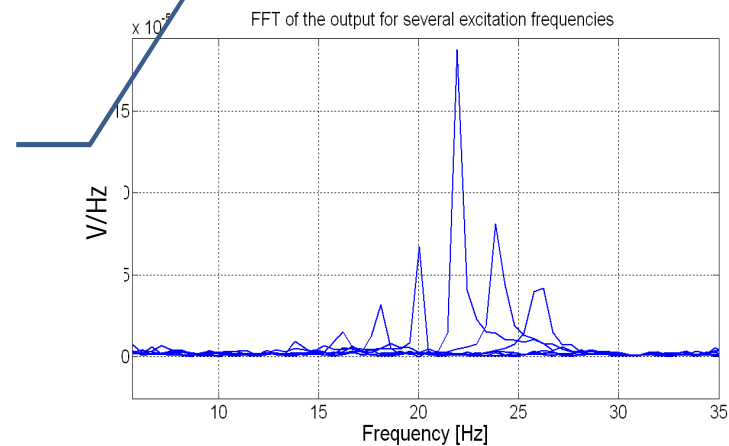
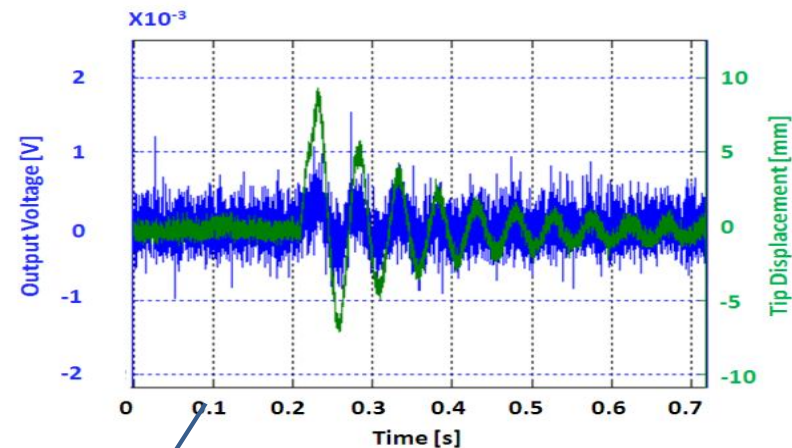
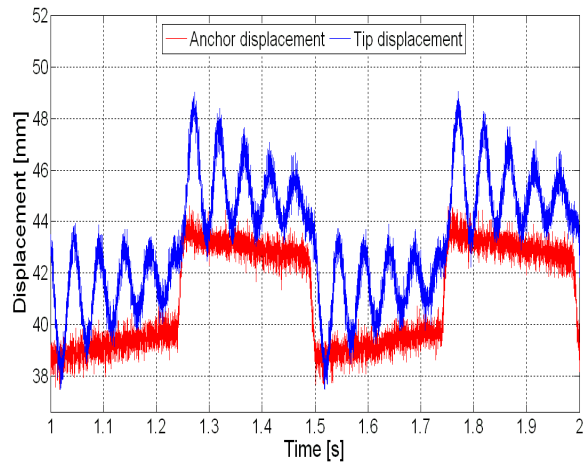
Green Inertial Sensors based on Bacterial Cellulose, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, IEEE-SAS2019, 2019, Sophia Antipolis, F.  
A Bacterial Cellulose Based Mass Sensor, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona., IEEE M&N 2019, July 2019, Catania, I.  
"Paper" Based Sensor for Deformation Measurements, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, I<sup>2</sup>MTC2019, May 2019, Auckland, NZ.



# Il sensore "sotto indagine"



# La BC come sensore di vibrazione



Possibili applicazioni nella stima dello stato di «benessere» delle colture o, ancora, per studiare lo «stato di salute» di strutture civili?

Green Inertial Sensors based on Bacterial Cellulose, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, IEEE-SAS2019, 2019, Sophia Antipolis, F.

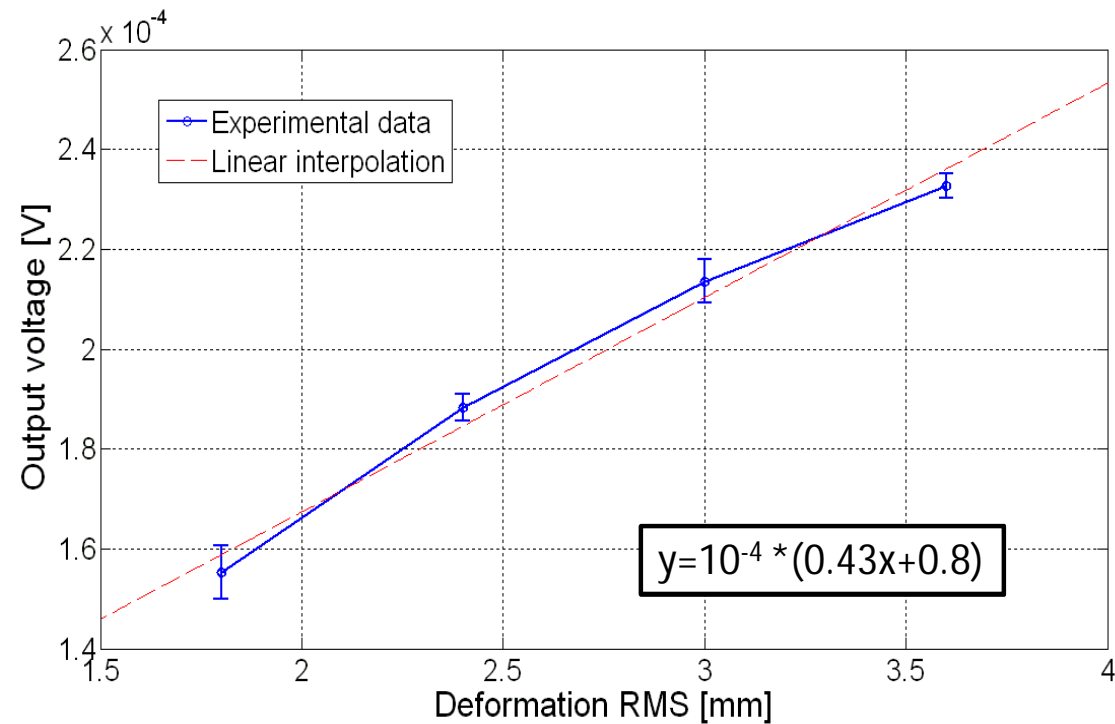
A Bacterial Cellulose Based Mass Sensor, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, IEEE M&N 2019, July 2019, Catania, I.

“Paper” Based Sensor for Deformation Measurements, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, I<sup>2</sup>MTC2019, May 2019, Auckland, NZ.

# I I sensore di vibrazione

sensitivity  $\approx 4.3 \cdot 10^{-5}$  V/mm  
resolution  $\approx 0.04$  mm

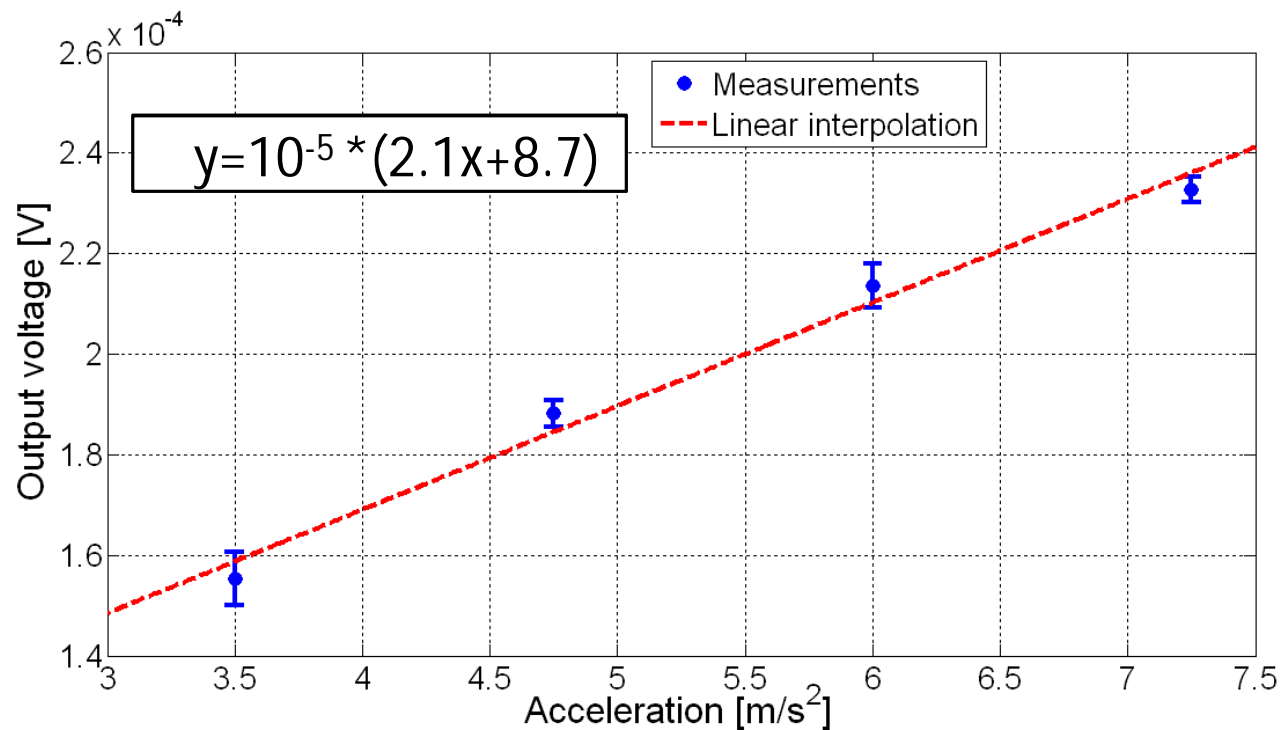
*Deformation measurements*



"Paper" Based Sensor for Deformation Measurements , G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, I<sup>2</sup>MTC2019, May 2019, Auckland, NZ.

# La BC come sensore di accelerazione

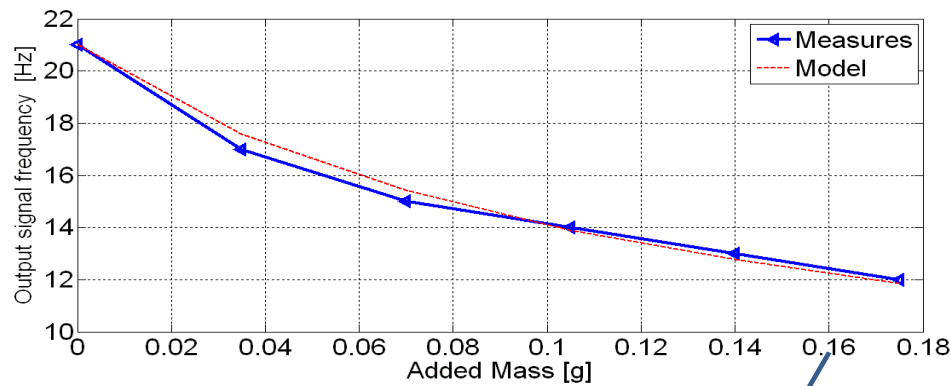
sensitivity  $\approx 2.1 \cdot 10^{-5} \text{ V/m/s}^2$     *Acceleration measurements*  
resolution  $\approx 0.47 \text{ m/s}^2$



Green Inertial Sensors based on Bacterial Cellulose, G. Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona, IEEE-SAS2019, 2019, Sophia Antipolis, F.

# Il sensore di massa

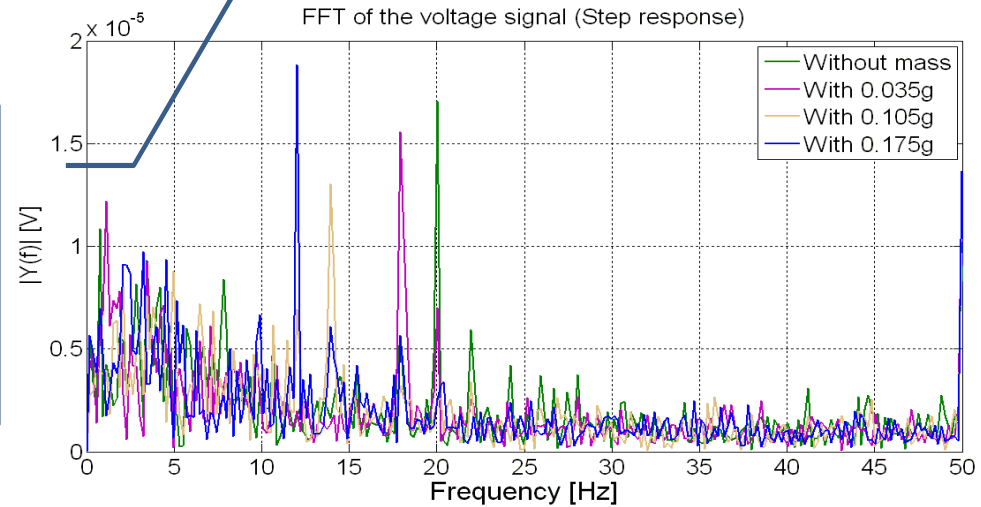
Mass measurements



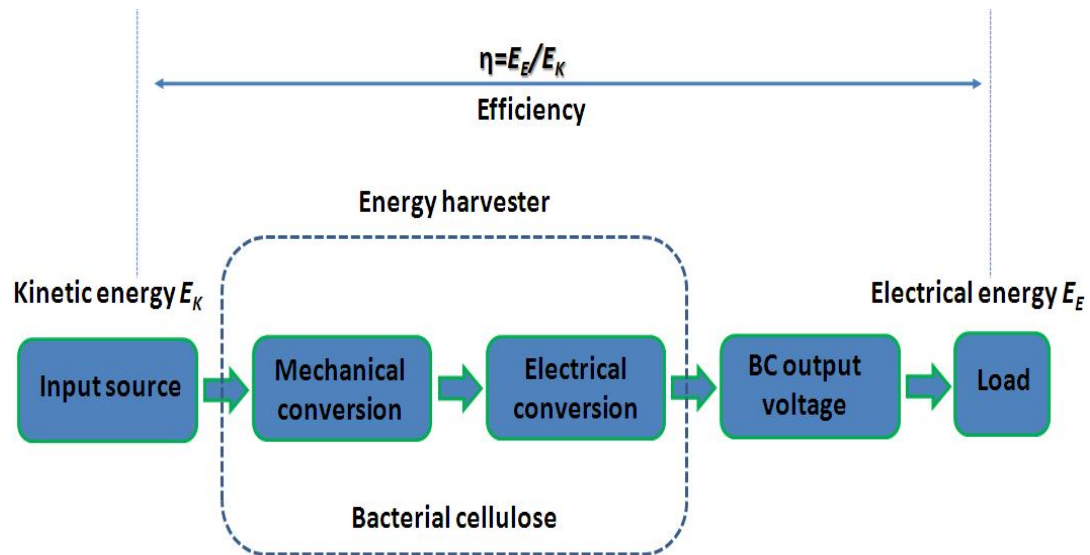
sensitivity  $\approx -28.6$  Hz/g  
resolution  $\approx 0.1$  Hz

A Bacterial Cellulose Based Mass Sensor, G.Di Pasquale, S. Graziani, A. Pollicino, C. Trigona,, IEEE M&N 2019, July 2019, Catania, I.

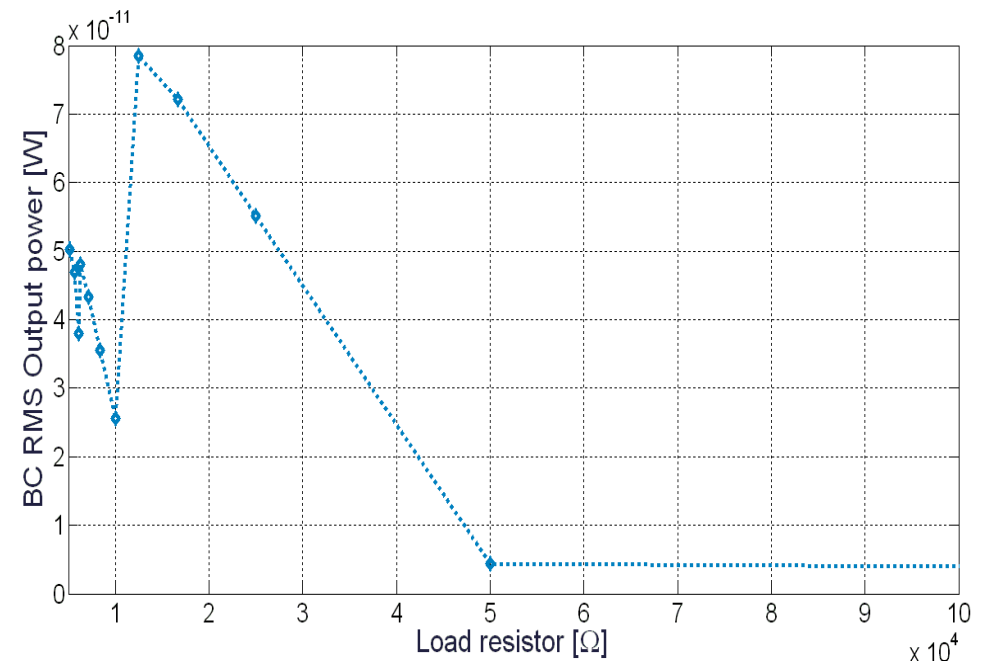
La massa può essere anche la massa assorbita da una struttura vibrante



# Come diamo energia ai sensori?



C Trigona, S Graziani, G Di Pasquale, A Pollicino, R Nisi, A Licciulli, Green Energy Harvester from Vibrations Based on Bacterial Cellulose, Sensors 20 (1), 136, 2020



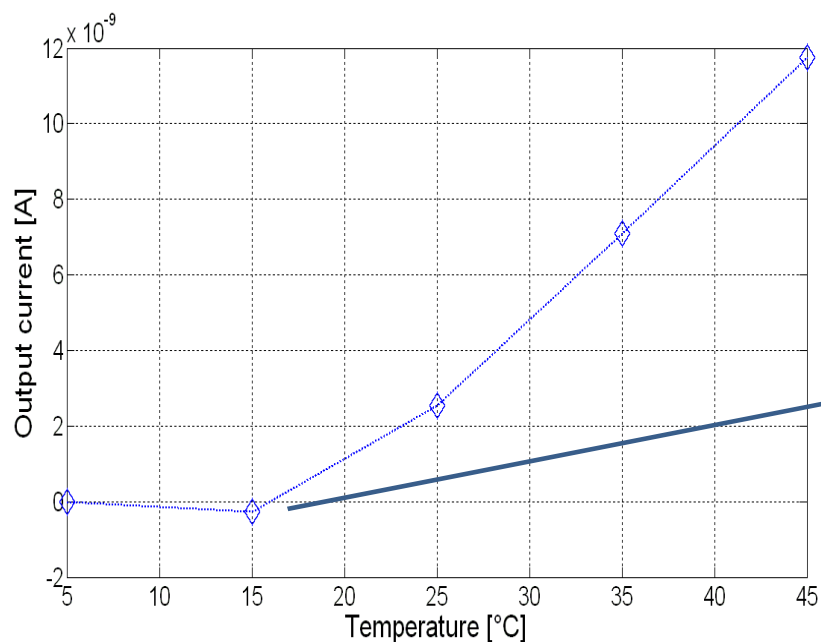
# L'indagine del fenomeno di trasduzione

**Qual è il fenomeno alla base della capacità di trasduzione meccano-elettrica del composito in esame?**

■ La letteratura riporta studi dei compositi in esame come trasduttori elettromeccanici e tale fenomeno è stato denominato **“piezo-ionico”**, in quanto dovuto alla **migrazione di specie elettricamente cariche**. E' stata cioè, dimostrata la natura del composito come **polimero ionico elettroattivo (ionic-electroactive polymer, IEAP)**.

# L'indagine del fenomeno di trasduzione

- Al fine di indagare il ruolo del liquido ionico è stata condotta un'indagine a temperatura controllata e variabile.....



La corrente si annulla in corrispondenza della temperatura di fusione del liquido ionico (15°C)

G.Di Pasquale, S. Graziani, A. Licciulli, R. Nisi, A. Pollicino, C. Trigona,  
*Geometrical and Thermal Influences on a Bacterial Cellulose-Based Sensing Element, ACTA IMEKO, in stampa*



# L'indagine del fenomeno di trasduzione

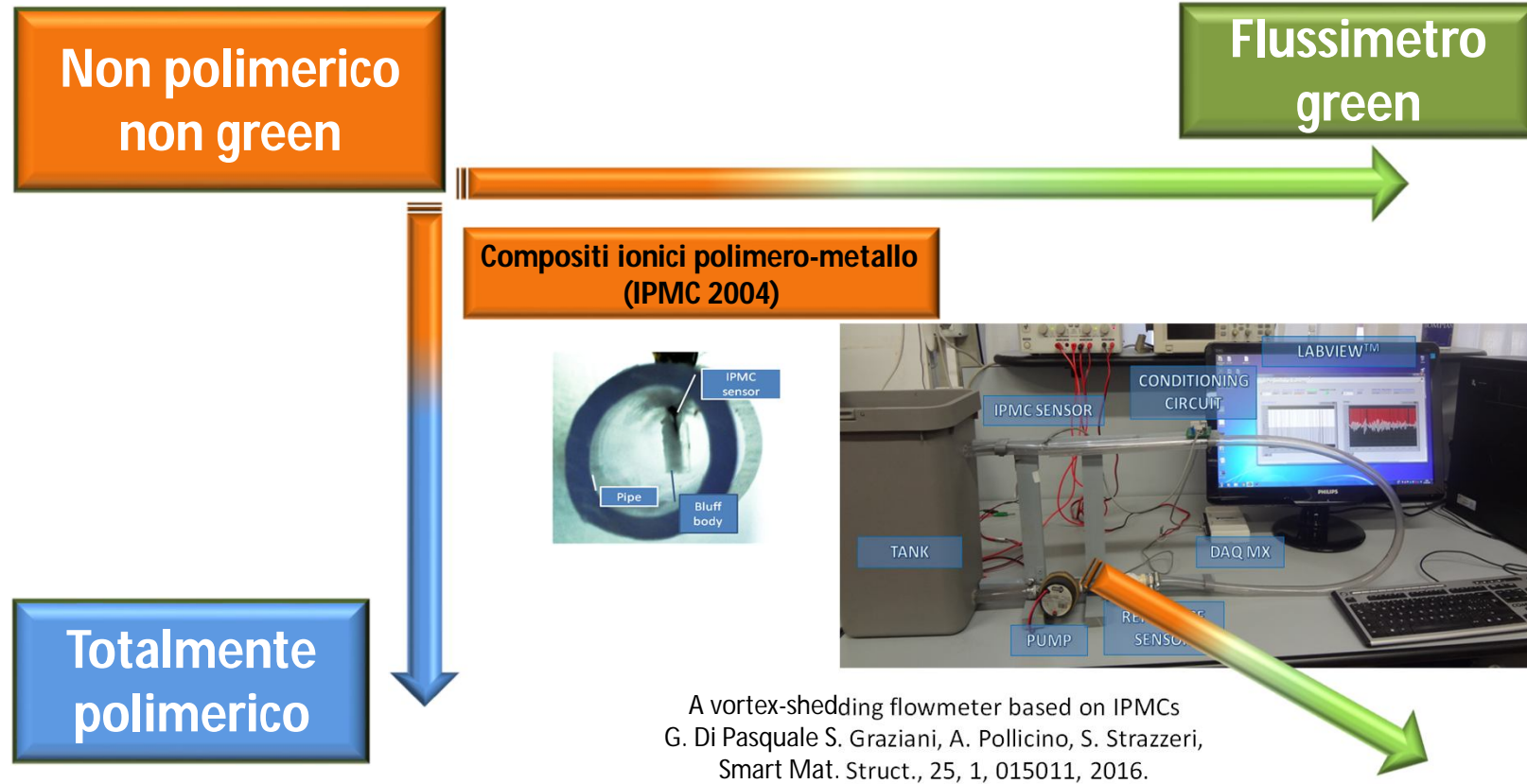
- Gli IEAP sono in grado di produrre sia una **trasduzione elettromeccanica**, sia una **trasduzione meccanoelettrica**.
- Si osserva un'**inversione di polarità**, tra il segnale meccanico e quello elettrico, nei due fenomeni di trasduzione.
- **Abbiamo condotto degli esperimenti sui compositi, sia come sensori sia come attuatori.** In maggior dettaglio, abbiamo eseguito degli esperimenti a bassa frequenza. Il composito è stato vincolato ad entrambi gli estremi e soggetto a sollecitazioni di vibrazione...

# L'indagine del fenomeno di trasduzione

**I risultati ottenuti permettono di ipotizzare che:**

- Gli **ioni liquidi** hanno un ruolo nel fenomeno di trasduzione.
- Nel fenomeno sono coinvolte **cariche positive mobili**.

# Applicazioni future?



# Applicazioni future?

