

- (a) a microneedle patch that uses fluorescent nanoscale labels to detect small amounts of antibodies in interstitial fluid;
- (b) a method to manufacture carbon nanotube transistors in commercial facilities that fabricate silicon-based transistors;
- (c) a nanomaterial (two-dimensional BN substrate, blue, with imperfections that host tiny Ni clusters) that could help make H a viable energy carrier;
- (d) a technique that converts recycled plastic into graphene;
- (e) nanoscale sensors and fiber optics that measure elusive water levels in leaves;
- (f) an image from a detector that, when used with an electron microscope, enables the observation of atoms at unprecedented resolution;
- (g) stretchable metal antennas integrated onto a conductive graphene material that can harvest energy from radio waves to power wearable devices.

## Esempi di applicazioni nanotec

<https://www.nano.gov/about-nanotechnology/applications-nanotechnology>

# ***Ingegneria delle Nanotecnologie a.a. 2022-2023***

## ***Presentazione del manifesto degli studi agli allievi***

### **14.00 Saluti di benvenuto e introduzione all'incontro**

**Paolo GAUDENZI** - Membro del Senato Accademico, Direttore del dip.to di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

### **14.10 Le infrastrutture aperte di ricerca e il PNRR in Sapienza per le Nanotecnologie e le altre KET (Key Enabling Technologies)**

**Maria Sabrina SARTO** - Pro-Rettrice alla Ricerca

### **14.20 Esperienze post-laurea di Alumni di Ingegneria delle Nanotecnologie**

- **Marco NATALI**, Leonardo Company SpA - Le nanotecnologie nel mondo del lavoro
- **Mario BERNARDI**, Laboratorio NEST, Scuola Normale Superiore, Pisa - Ingegneria delle nanotecnologie: prospettive di ricerca e opportunità lavorative
- **Flavio COGNIGNI**, Carl Zeiss & Sapienza Università di Roma - Tomografie Microscopie per la ricerca accademica e industriale
- **Giulia PEDRIZZETTI**, Baker Hughes & Sapienza Università di Roma - Tecnologie innovative di ingegneria delle superfici per applicazioni industriali in ambienti ostili

### **14.50 ILLUSTRAZIONE DEL NUOVO PERCORSO FORMATIVO PER L'A.A. 2021-22: FINALITÀ DELLA LM E REQUISITI DI ACCESSO**

**Marco ROSSI, Carlo Massimo CASCIOLA, Giovanni DE BELLIS, Domenico CAPUTO** - *Docenti del corso di LM*

### **15.20 LE NANOTECNOLOGIE: IL PUNTO DI VISTA DEL MONDO DEL LAVORO**

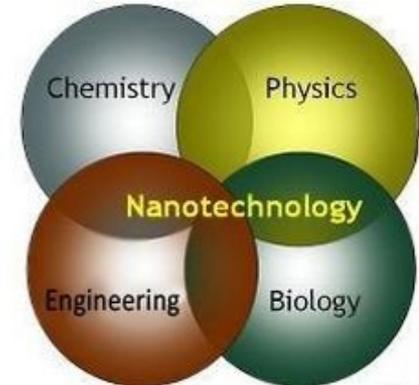
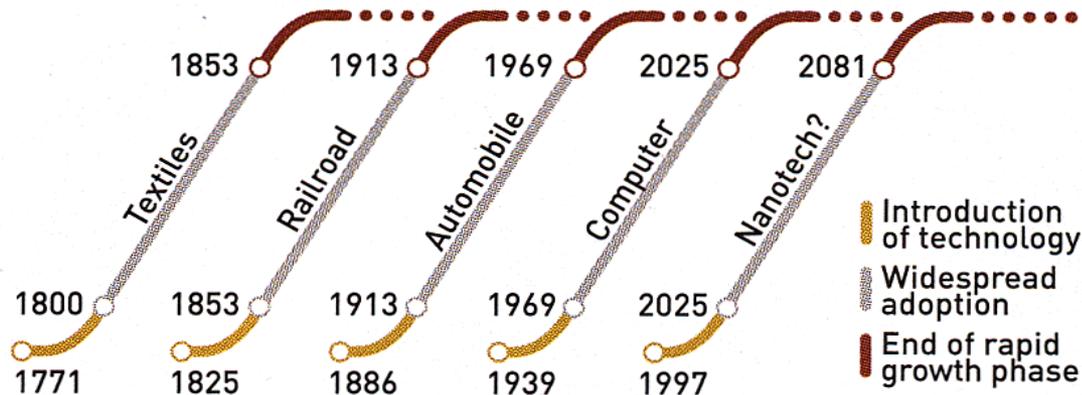
- **Sabrina ZUCCALÀ**, 4ward360, Milano - Lo sviluppo imprenditoriale innovativo e le Nanotecnologie: dall'Edilizia allo Spazio
- **Antonino Onofrio CACIOPPO**, LFoundry, L'Aquila - La dimensione nano nell'industria dei semiconduttori
- **Francesco BIANCARDI**, Carl Zeiss - Ottica e Innovazione Zeiss: soluzioni per dare forma al progresso tecnologico
- **Pietro GIMONDO**, RINA-CSM - Materiali e Innovazione: una nuova sfida
- **Fabrizio FAMÀ**, yourHR®, a division of yourYOURgroup - La necessità di una formazione multidisciplinare per l'industria High-Tech

### **LA PAROLA AGLI STUDENTI**

Al termine, i docenti ed i relatori presenti risponderanno alle domande poste dagli allievi

### **CONCLUSIONE DELL'INCONTRO**

# Laurea Magistrale in Ingegneria delle Nanotecnologie



## Dati occupazionali dopo **5 anni** dalla LM Ingegneria delle Nanotecnologie

Dato statistico	LM Nanotecnologie Sapienza	Media Facoltà ICI Sapienza, Roma	Media Ingegneria Nazionale
Lavora	<b>85,7%</b>	82,3%	78,6%
Lavora con contratto a tempo indeterminato	<b>89,0%</b>	62,7%	55,4%
Ha partecipato ad almeno un'attività di formazione	<b>85,7%</b>	65,7%	65,3%
PhD (in corso e/o concluso)	<b>42,9%</b>	19,4%	10,3%
Retribuzione media mensile (netto)	<b>1959 Euro</b>	1713 Euro	1576 Euro

Fonte istituzionale: [www.almalaurea.it](http://www.almalaurea.it)

# DATI OCCUPAZIONALI

## Dopo 3 anni\*

### dalla LM in Ingegneria delle Nanotecnologie

Dato statistico	LM Nanotecnologie Sapienza	Media Facoltà ICI Sapienza, Roma	Media Ingegneria Nazionale
Lavora	<b>46,2%**</b>	84,8%	86,6%
Lavora con contratto a tempo indeterminato	<b>72,7%</b>	64,9%	<b>67.1%</b>
Ha partecipato ad almeno un'attività di formazione post-laurea	<b>80,0%</b>	62,4%	56,9%
PhD (in corso e/o concluso)	<b>48,0%</b>	12,1%	10,3%
Retribuzione media mensile (netto)	<b>1.626 Euro</b>	1.671 Euro	1.649 Euro

\*Ultima Indagine Almalaurea 2019

\*\* Almalaurea non considera come occupati i laureati che svolgono attività di dottorato, da qui la differenza percentuale rispetto alla altre Ingegnerie

Il corso di Ingegneria delle nanotecnologie è ad elevato contenuto innovativo, e forma professionisti con una visione verso l'acquisizione di conoscenze di alto grado di specializzazione:

→ Elevatissimo numero di laureati che hanno svolto attività post-doc e/o PhD

→ I dati retributivi sono in linea con quelli di Ingegneria

# DATI OCCUPAZIONALI

## Dopo 5 anni\*

### dalla LM in Ingegneria delle Nanotecnologie

Dato statistico	LM Nanotecnologie Sapienza	Media Facoltà ICI Sapienza, Roma	Media Ingegneria Nazionale
Lavora con continuità	<b>89,7%</b>	87,3%	88,6%
Lavora con contratto a tempo indeterminato	<b>88,0%</b>	62,7%	55,4%
Ha partecipato ad almeno un'attività di formazione	<b>85,7%</b>	65,7%	65,3%
PhD (in corso e/o concluso)	<b>42,9%</b>	19,4%	10,3%
Retribuzione media mensile (netto)	<b>1890 Euro</b>	1713 Euro	1576 Euro

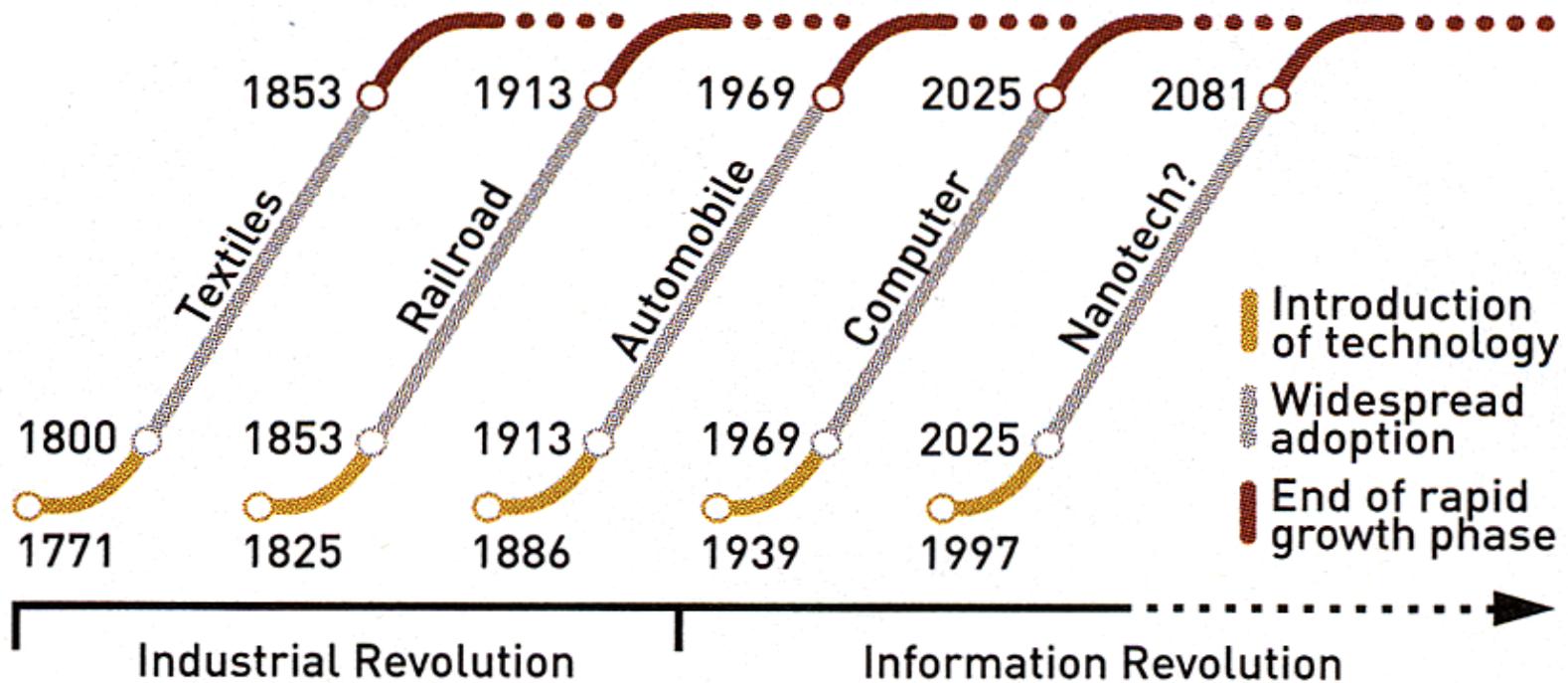
\* Media delle ultime 3 coorti chiuse da più di 5 anni nel 2019

Dopo 5 anni, i laureati si sono formati con alto un grado di specializzazione, e sono molto apprezzati dal mercato del lavoro e della ricerca:

- La totalità dei laureati occupati ha trovato stabilmente collocazione, molti anche in ambito ricerca
- Il dottorato risulta avere effetti molto positivi sulla qualità occupazionale

# *Le nanotecnologie rappresentano veramente il futuro?*

Basic advancements in science and technology come about twice a century and lead to massive wealth creation.



SOURCE: Norman Poire, Merrill Lynch



# National Nanotechnology Initiative

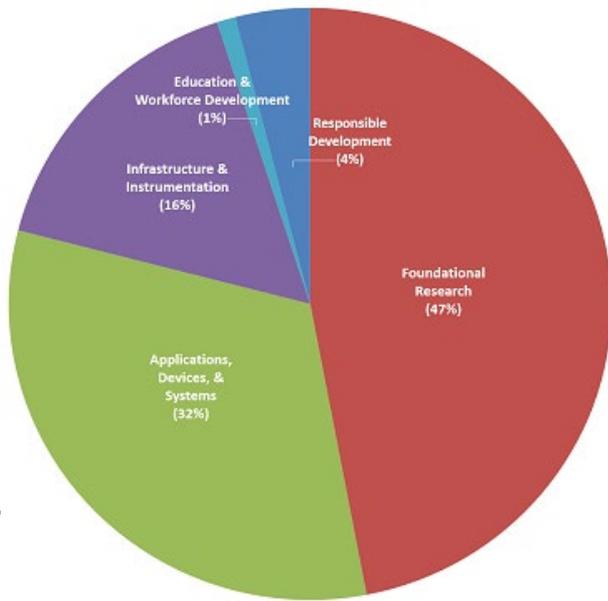
<https://www.nano.gov>

 THE NATIONAL  
NANOTECHNOLOGY INITIATIVE  
SUPPLEMENT TO THE  
PRESIDENT'S 2022 BUDGET

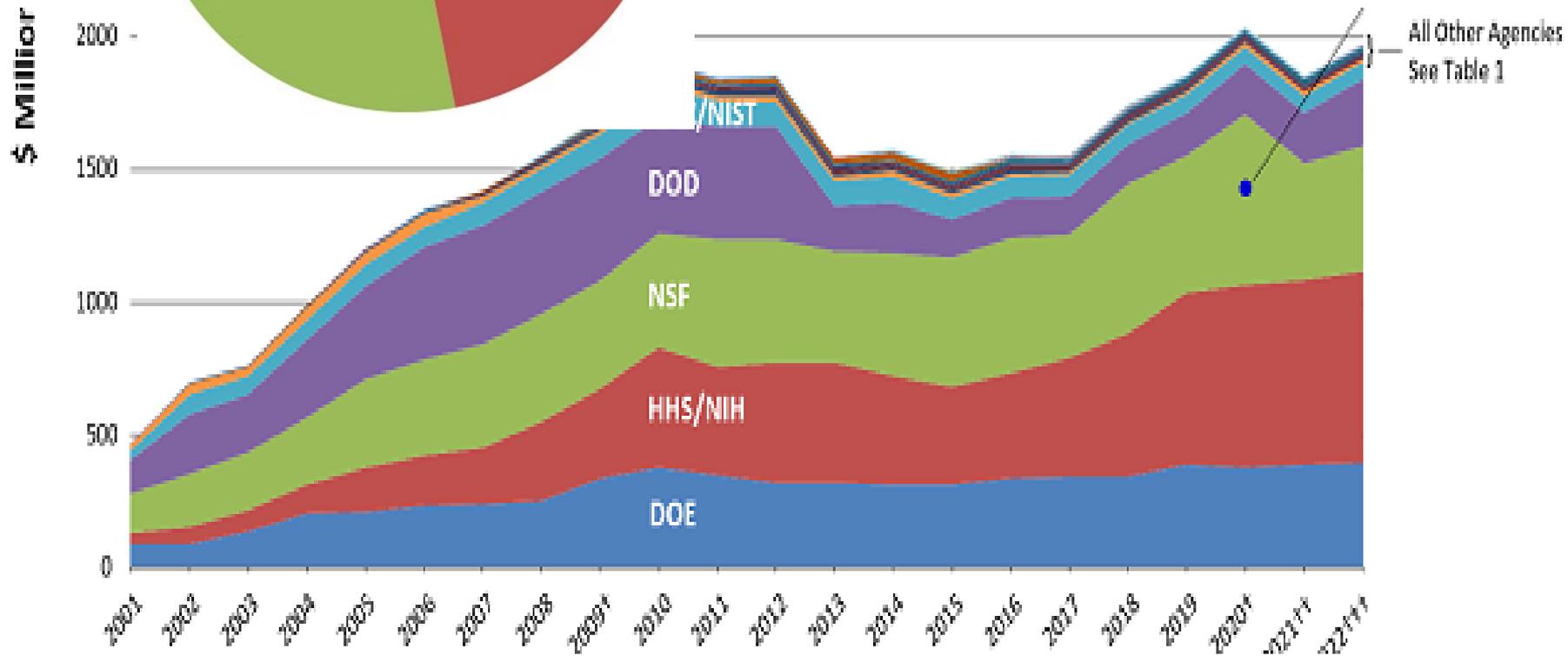
Product of the  
SUBCOMMITTEE ON NANOSCALE SCIENCE,  
ENGINEERING, AND TECHNOLOGY  
COMMITTEE ON TECHNOLOGY  
of the  
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL

  
National Nanotechnology Coordination Office  
2415 Eisenhower Avenue, Alexandria, Virginia 22314

MARCH 2022



# NNI – BUDGET 2001-2022



# ***Caratteristiche delle Nanotecnologie***

## ***Tecnologie alternative***

- ✓ Sostituiscono precedenti tecnologie e rendono possibile l'imporsi di prodotti e processi radicalmente nuovi

## ***Tecnologie abilitanti***

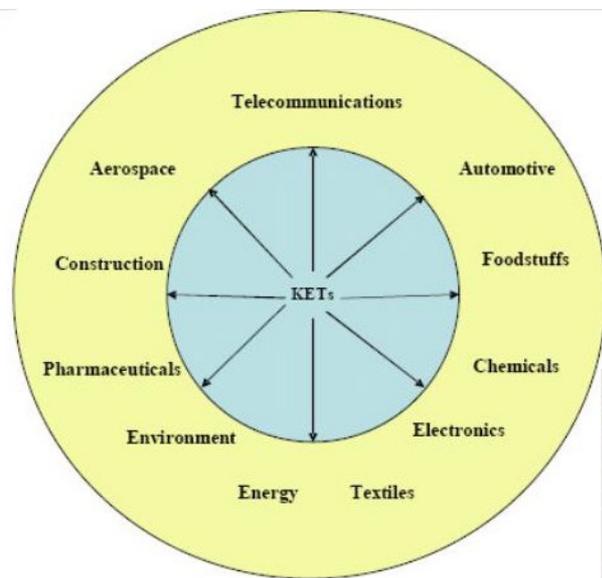
- ✓ Come l'elettricità, il motore a combustione interna, l'informatica e Internet, il loro impatto sarà ampio e imprevedibile

## ***Tecnologie interdisciplinari***

- ✓ Porteranno/costringeranno a lavorare insieme ricercatori di settori scientifici tradizionalmente separati favorendo la nascita di nuove idee attraverso la fertilizzazione incrociata

# Definition of key enabling technologies (KETs)

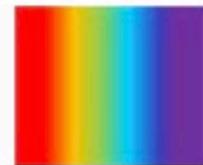
- Characteristics:
  - Knowledge-intensive
  - Associated with high R&D intensity
  - Rapid innovation cycles
  - High capital expenditure
  - Highly skilled workforce
- KETs enable process, goods and service innovation across the economy and are of systemic relevance
- KETs are multidisciplinary
- KETs can assist technology leaders in other fields



**Societal  
Challenge  
Energy**

De-carbonisation  
of transport

Transdisciplinarity: Combining several KETs for advanced products  
→ Case study: electric vehicle



**NANO X**  
Nanotechnologies



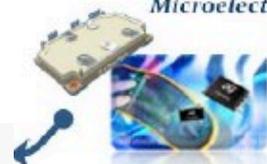
Advanced  
Manufacturing  
Systems



**Electric vehicle**



Advanced  
materials



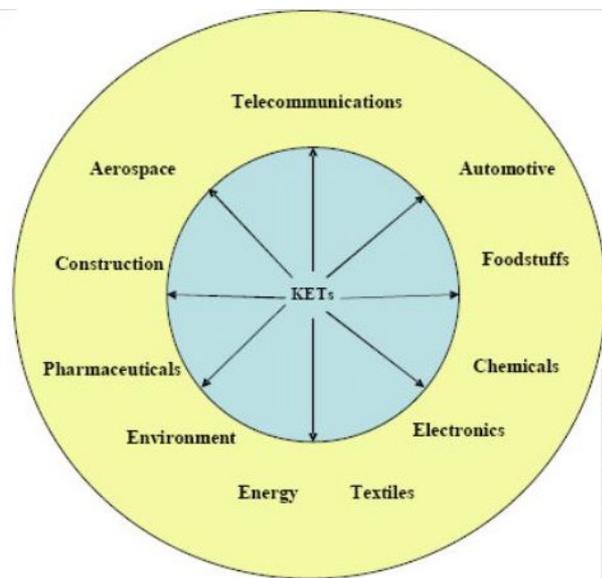
Microelectronics



Biotechnologies



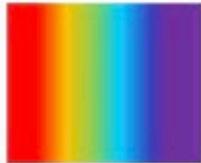
Photonics



**Societal  
Challenge  
Energy**

De-carbonisation  
of transport

Transdisciplinarity: Combining several KETs for  
advanced products  
→ Case study: electric vehicle



Nanotechnologies



Advanced  
Manufacturing  
Systems

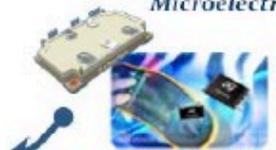


Electric vehicle

Advanced  
materials



Biotechnologies



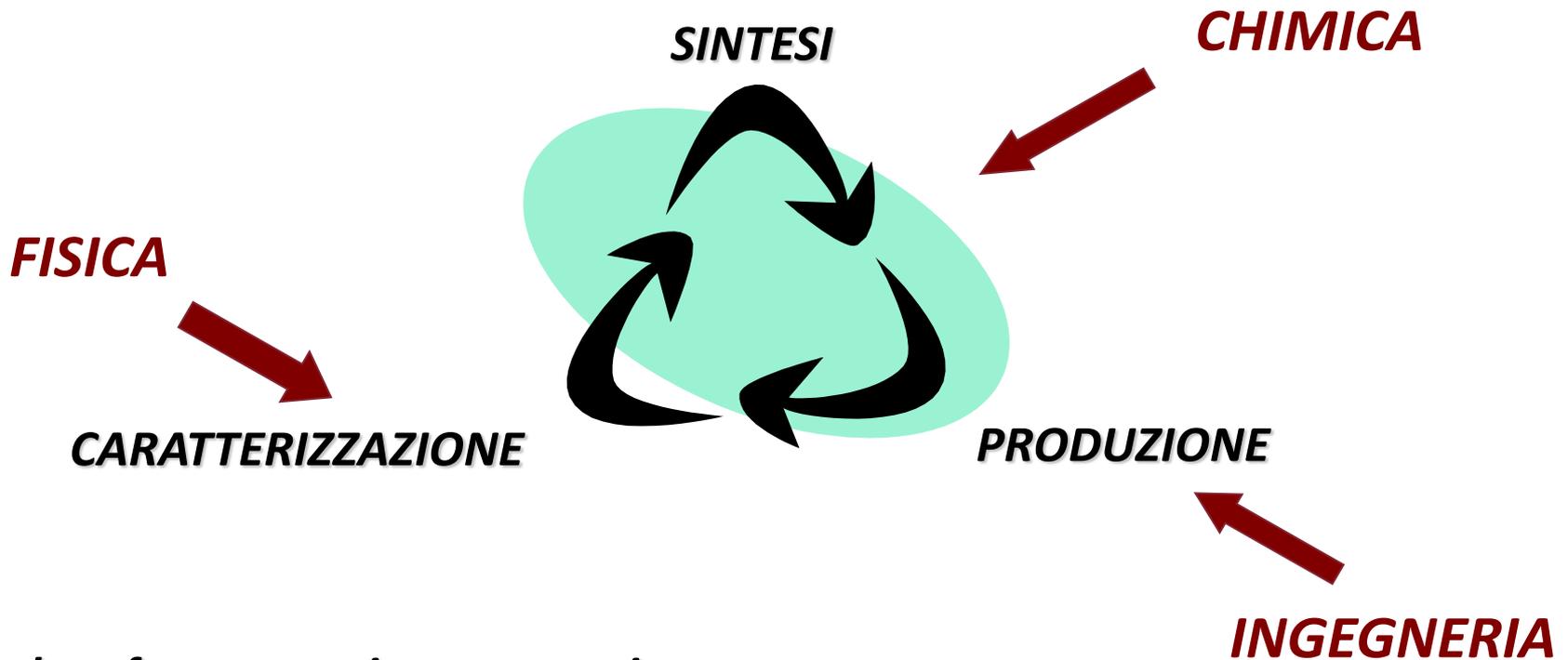
Microelectronics



Photonics

# *Operare nella dimensione “nano”...*

*...significa sviluppare metodi nuovi di*

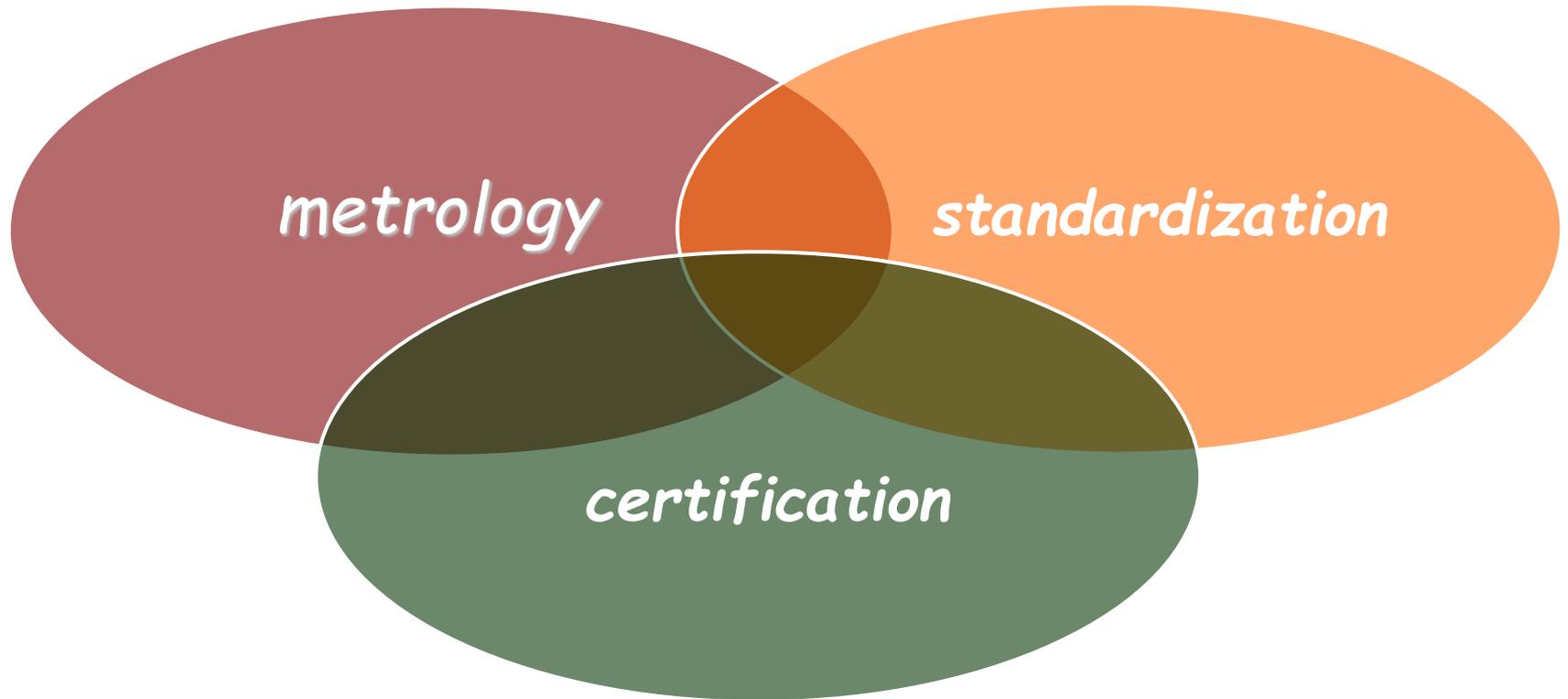


*tra loro fortemente interconnessi*

**= MULTIDISCIPLINARIETA'**

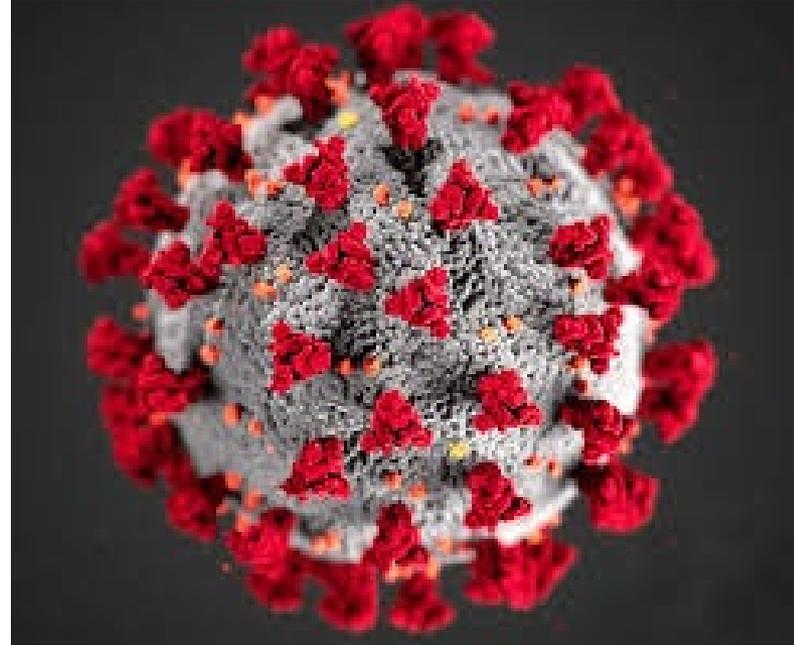
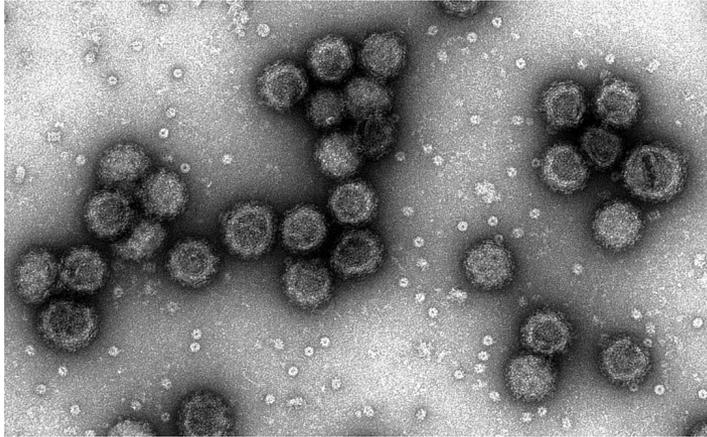
# ***Nanometrology: an open question***

***Impossible to measure = Impossible to produce***

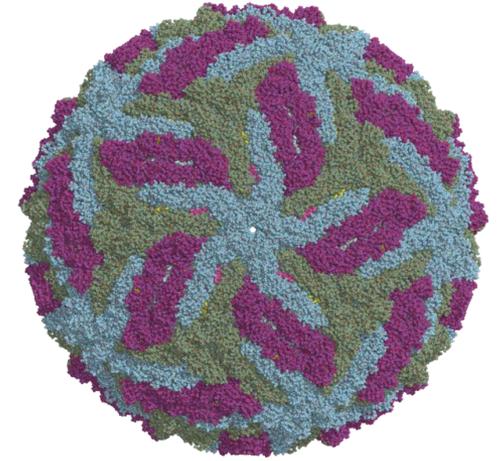


***If a product cannot be measured, it cannot be manufactured***

# COronaVirus-19



# Cryo Transmission Electron Microscopy



Zika virus cryo-EM structure



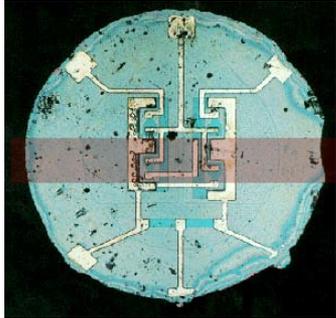
**Chemistry Nobel 2017** goes to:

**Jacques Dubochet** (*biologo molecolare*)

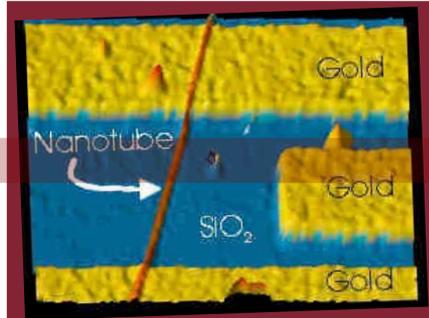
**Joachim Frank** (*fisico*)

**Richard Henderson** (*fisico*)

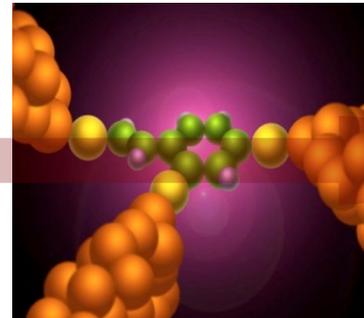
# L'evoluzione dell'elettronica



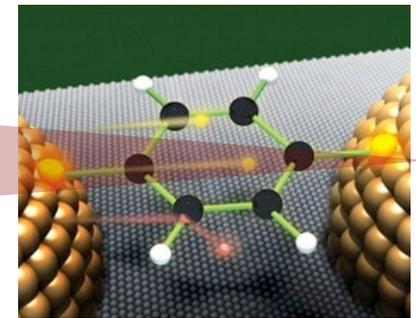
1961



1998



2008 (model)



12.2009 (exp)

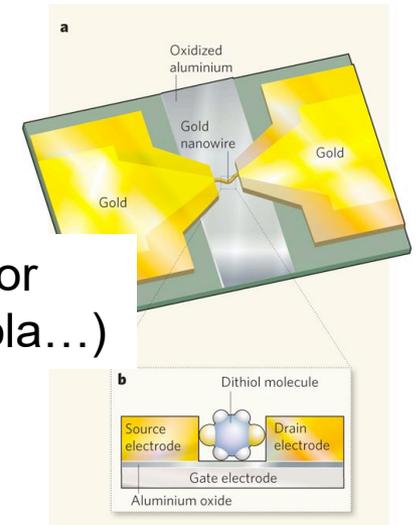
Dal primo Transistor  
(molto discreto...)



16 dicembre 1947  
W. Shockley, J. Bardeen, W. Brattain



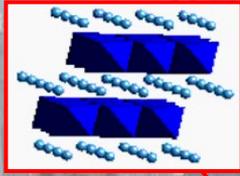
all'ultimo Transistor  
(una sola molecola...)



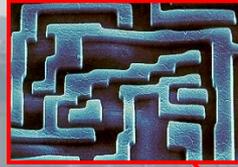
# Una giornata tipica...



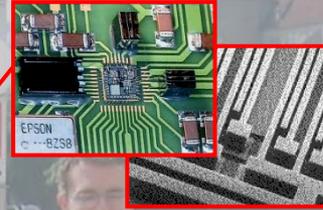
**Pace Maker**  
Li-Batterie



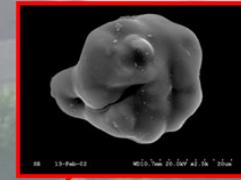
**GPS Navigatore**  
Materiali funzionali



**Air Bag**  
Sensori Accelerazione  
MEMS



**Cosmetici**  
TiO<sub>2</sub> Nanoparticelle



**Cellulare**  
SAW Strutture



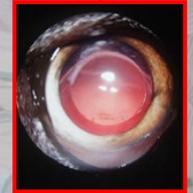
**Anca Artificiale**  
Materiali  
Biocompatibili



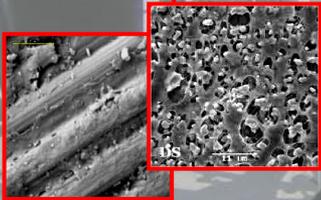
**Lenti e rivestimenti**  
Ottici Materiali  
Filtri UV r



**Camera Digitale**  
CCD Chip



**Lenti Artificiali**  
Polimeri  
Biocompatibili



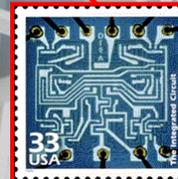
**Telaio Bici**  
Fibre di Carbonio  
Materiali Compositi



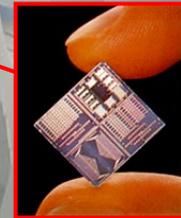
**Testina lettura**  
Multistrati  
Magnetici



**LED Display**  
Materiali Fotonici



**Carta di Credito**  
Circuiti Integrati



**Cronometro-Satellite**  
Dispositivi Semiconduttori  
Micro-Batterie

# ***Laurea Magistrale in Ingegneria delle Nanotecnologie***

istituita nell'a.a. 2008-09  
ai sensi del DM 270

III revisione

*LM 53 (Scienza e Ingegneria dei Materiali)*

# ***Finalità della laurea***

**L'Ingegneria delle Nanotecnologie richiede competenze specifiche per analisi, sviluppo, simulazione e ottimizzazione di dispositivi, materiali e processi fondati sulle nanotecnologie.**

**Obiettivo formativo primario è il conseguimento di attitudini volte alla:**

- ◆ gestione e utilizzazione di micro- e nanotecnologie per materiali, biotecnologie e processi realizzativi di micro- e nano-dispositivi;
- ◆ progettazione di micro-nano-dispositivi per applicazioni funzionali e multifunzionali;
- ◆ progettazione e gestione di micro- e nano-sistemi complessi;
- ◆ gestione del rischio e della sicurezza nell'utilizzo delle nanotecnologie.

# ***Sbocchi occupazionali***

Il percorso formativo dell'Ingegnere Magistrale delle Nanotecnologie è finalizzato alle esigenze nell'***industria manifatturiera ad alto contenuto tecnologico*** che opera nei diversi settori dell'ingegneria (meccanica, elettronica, aerospazio, automotive, trasporti, materiali avanzati, elettrotecnica, bioingegneria, processi di trasformazione e di produzione, ingegneria biomedica).

Ulteriori sbocchi occupazionali previsti sono presso ***centri di ricerca*** come ricercatore o dirigente di ricerca, presso ***enti pubblici o privati*** che operano nel settore delle tecnologie avanzate e dell'innovazione tecnologica come ***esperto di tecnologie e ingegnere dell'innovazione*** (inclusi comuni, province, e soprattutto regioni).

Inoltre, grazie ad un'approfondita conoscenza di discipline ingegneristiche, si propone come **qualificato professionista**.

**Può accedere all'albo degli Ingegneri per la sezione industriale.**

# *Articolazione del percorso formativo*

La LM in Ingegneria delle Nanotecnologie prevede una durata di **2 anni** al termine dei quali l'allievo discute una tesi di laurea, con un'acquisizione complessiva di **120 CFU**.

La LM offre 2 'percorsi', di analogo contenuto formativo, che si distinguono essenzialmente per la lingua di erogazione:

**percorso A:** con insegnamenti in prevalenza in *lingua italiana*

**percorso B:** con tutti gli insegnamenti in *lingua inglese, dedicato agli studenti internazionali*

Entrambi i percorsi formativi la Laurea Magistrale in Ingegneria delle Nanotecnologie si articolano in due tipologie di insegnamenti:

- **OBBLIGATORI:** **8** insegnamenti per un totale di 72 CFU
- **DI COMPLETAMENTO E SPECIALIZZAZIONE:** **1** insegnamento (6 CFU) a scelta in un gruppo opzionale; **2** insegnamenti (per un totale di 12 CFU) a scelta in un blocco di completamento; **Insegnamenti a scelta libera** dell'allievo (per un totale di almeno 12 CFU)

Viene garantita anche la possibilità di presentare piani di studi 'personalizzati', nel rispetto dell'ordinamento vigente e soggetti alla specifica approvazione del CAD.

***<https://web.uniroma1.it/nano/>***

# Dettaglio insegnamenti 'bloccati'

1	Chimica superiore per nanotecnologie		9	Mattiello	I	Chim/07
<i>STRUTTURA DELLA MATERIA CON ELEMENTI DI MECCANICA QUANTISTICA E SIMULAZIONI ATOMISTICHE</i>						
2	UDI	Struttura della materia con elementi di meccanica quantistica	6	Postorino	I	FIS/03
		Simulazioni atomistiche	6	Zollo	II	FIS/01
<i>INGEGNERIA DELLE SUPERFICI E DEI FILM SOTTILI E MATERIALI NANOSTRUTTURATI</i>						
3	UDI	Materiali nanostrutturati	6	Pulci	I	ING-IND/22
		Ingegneria delle superfici e dei film sottili	6	Marra	II	ING-IND/22
4	Fabbricazione e caratterizzazione di nanostrutture		6	Mariani	II	FIS/03
5	Microscopie e tecniche di nanocaratterizzazione		9	Rossi	II	FIS/01
6	Micro-nanofluidica		6	Casciola	III	ING-IND/06
7	Micro-nano devices and materials for electrical-electromagnetic applications		6	Sarto	III	ING_IND/31
<i>COMPONENTI NANOELETRONICI E MICROELETTROMECCANICI INTEGRATI</i>						
8	UDI	Componenti elettronici integrati	6	Irrera	III	ING-INF/01
		Micro electromechanical systems	6	Balucani	IV	ING-INF/01
9	1 su 2	Dinamica di sistemi micromeccanici	6	Culla	III	ING-IND/13
		Processi industriali per la produzione di micro e nano particelle		Stoller		ING-IND/25

<https://web.uniroma1.it/nano/>

# Requisiti di accesso

## 1° Requisito automatico di accesso: **85 CFU nei seguenti ambiti disciplinari**

### **27 CFU negli SSD di formazione di base**

CHIM/03; FIS/01; FIS/03; MAT/02; MAT/03; MAT/05; MAT/06; MAT/07

### **58 CFU negli SSD relativi alla formazione ingegneristica e applicativa**

CHIM/02; CHIM/07; FIS/07; INF/01; ING-IND/03; ING-IND/04; ING-IND/06; ING-IND/07; ING-IND/08; ING-IND/09; ING-IND/10; ING-IND/11; ING-IND/12; ING-IND/13; ING-IND/14; ING-IND/21; ING-IND/22; ING-IND/24; ING-IND/25; ING-IND/26; ING-IND/27; ING-IND/31; ING-IND/32; ING-IND/33; ING-IND/34; ICAR/08; ING-INF/01; ING-INF/02; ING-INF/03; ING-INF/04; ING-INF/06; ING-INF/07; MAT/08; MAT/09



*In assenza del requisito automatico di accesso l'immatricolazione è subordinata a verifica da parte del Consiglio d'Area (CdA) dei requisiti curriculari. La verifica si basa sul curriculum dell'allievo, sui programmi dei corsi e su un colloquio volto ad accertare il possesso delle conoscenze riconducibili agli 85 CFU che costituiscono il requisito automatico di accesso.*

## 2° Requisito automatico di accesso: **media degli esami sostenuti $\geq 23/30$**

# ***Assenza dei Requisiti di accesso***

**Gli allievi privi del 1° requisito automatico di accesso (85 CFU nei SSD specificati), anche dopo la verifica di equipollenza e in possesso di laurea triennale conseguita in Italia in una classe diversa da quelle dell'ingegneria (L7, L8 e L9) devono acquisire, oltre a quanto previsto obbligatoriamente nell'offerta formativa, un minimo di 24 CFU negli ambiti disciplinari riportati nel seguito:**

- **un minimo di 6 CFU nel SSD ING-IND/31**
- **un minimo di 6 CFU nel SSD ING-IND/13**
- **un minimo di 6 CFU nel SSD ICAR/08**
- **un minimo di 6 CFU in uno di questi SSD: ING-IND/06, ING-INF/04, ING-IND/25.**

**Per gli allievi privi del 2° requisito automatico di accesso (media esami  $\geq 23/30$ ), la verifica della preparazione personale avverrà mediante apposita **prova di ammissione scritta e orale su argomenti caratterizzanti gli aspetti di base dell'ingegneria.****

Sul sito del Consiglio d'Area saranno riportate le modalità di svolgimento e il calendario delle prove di ammissione (almeno 2 per a.a.). La prova di ammissione può accertare una preparazione sufficiente o insufficiente. Nell'ultimo caso, non è consentita l'iscrizione.

# *Le nanotecnologie rappresentano veramente il futuro?*

**“640K ought to be enough for anybody.”**

- Bill Gates, 1981  
(though today he denies he said it)

*Le NanoTecnologie necessitano di:*

- *Conoscenze allo stato dell'arte e approcci multidisciplinari*
- *Investimenti, visione strategica, azione e determinazione*

***Superare lo scetticismo è più arduo che risolvere le difficoltà tecniche pur grandi insite nello sviluppo di tecnologie estremamente innovative e di assoluto stato dell'arte.***

***Dietro ogni problema c'è una opportunità***

***G. Galilei***