



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

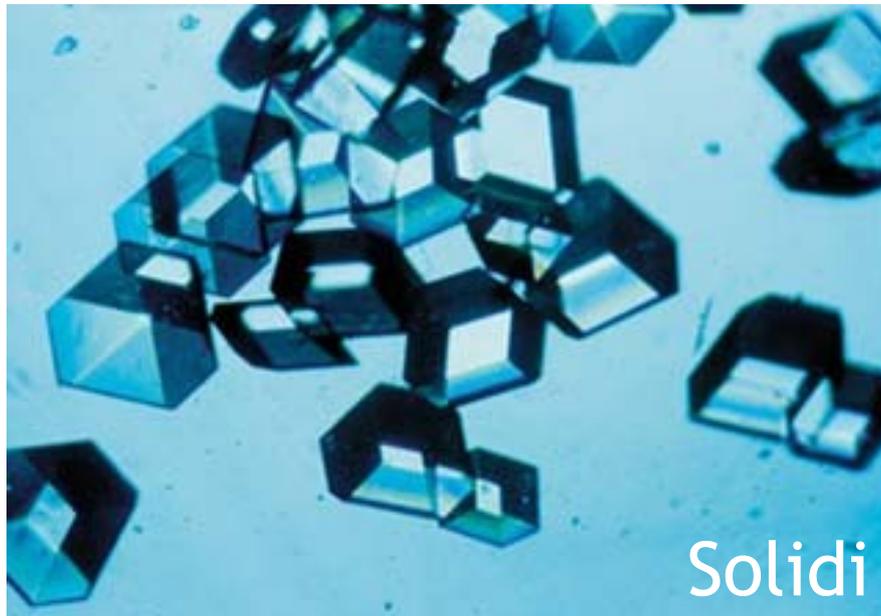
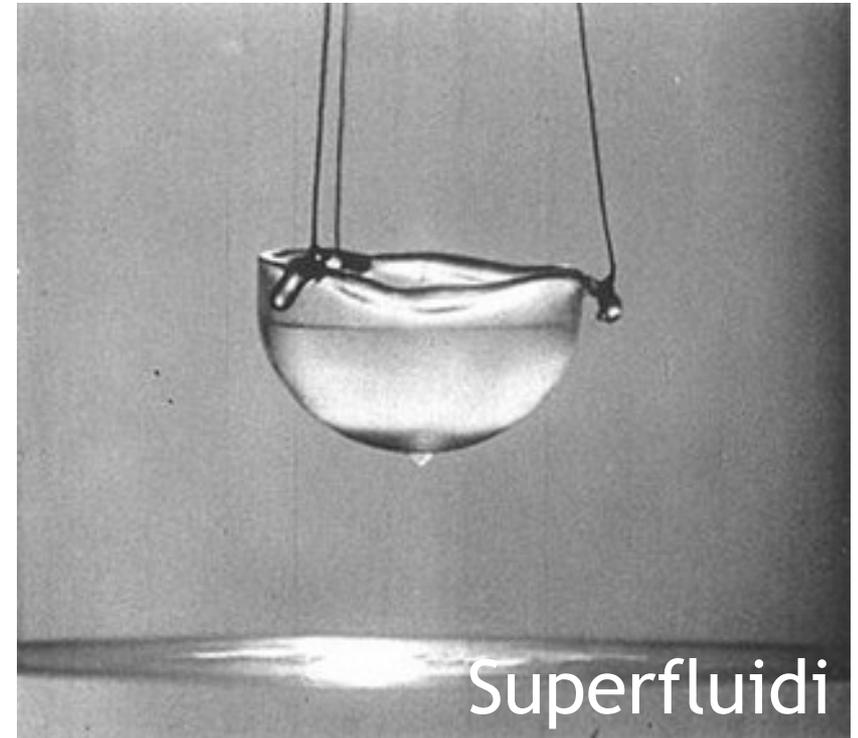
Teoria della Materia Condensata

Presentazione dei percorsi
per la Laurea Magistrale
12 giugno 2019



Teoria della Materia Condensata

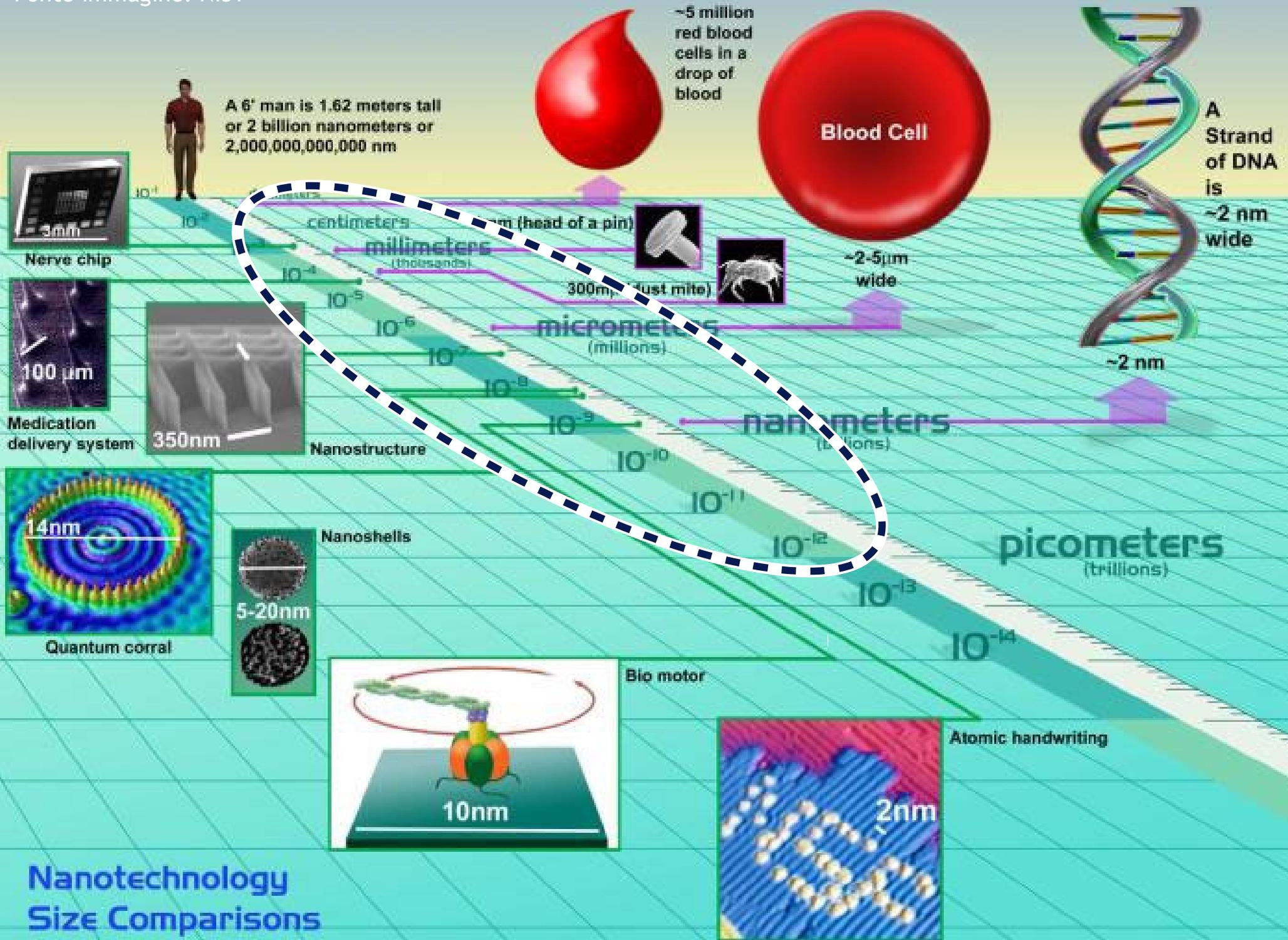
Fonte immagini: wikipedia CC



$$V(\mathbf{r} + \mathbf{R}) = V(\mathbf{r})$$

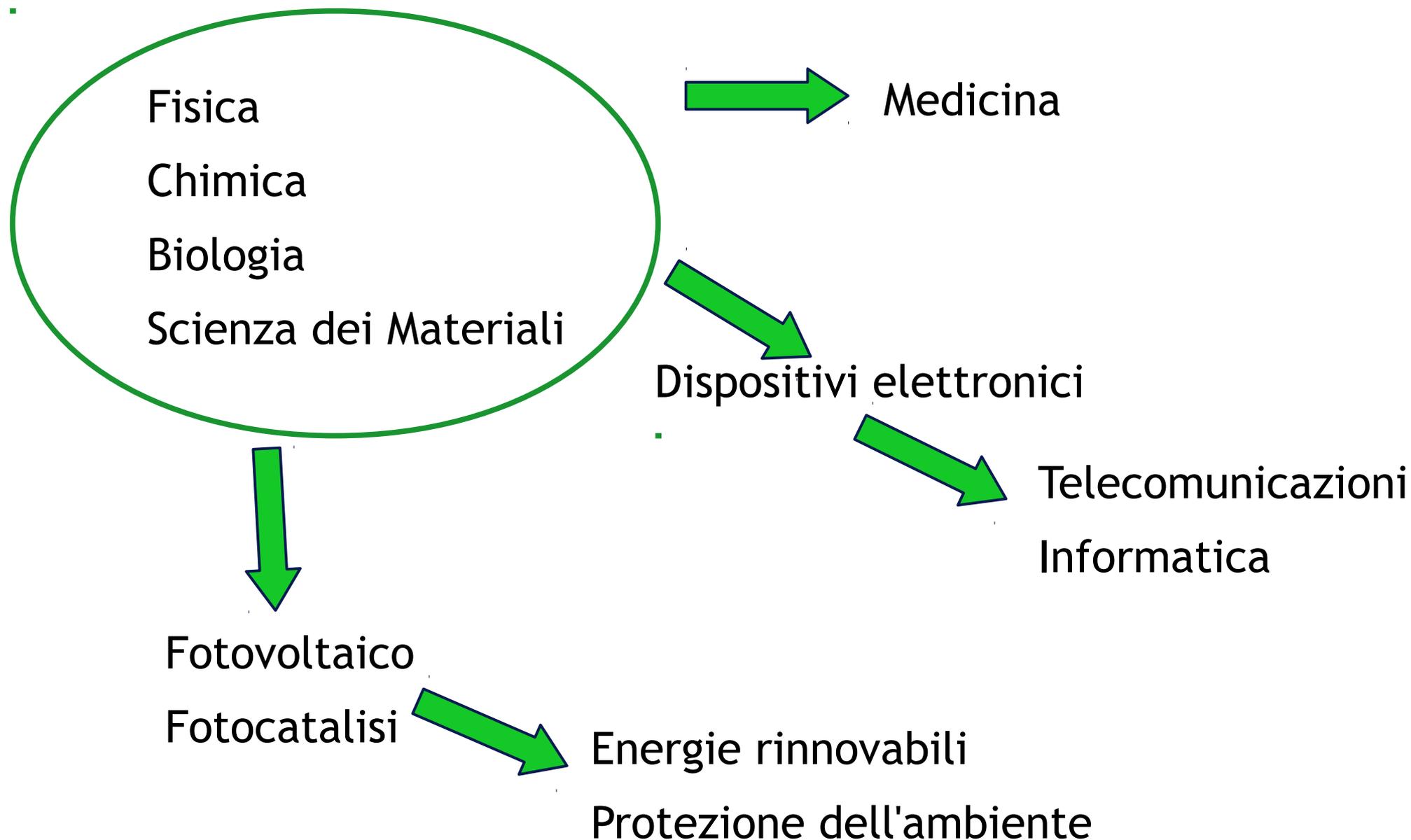
$$\Rightarrow \psi(\mathbf{r}) = e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}} u_{n\mathbf{k}}(\mathbf{r})$$





Nanotechnology Size Comparisons

Multidisciplinarietà



Nobel in Materia Condensata (teorica e sperimentale)

All Nobel Laureates in Physics

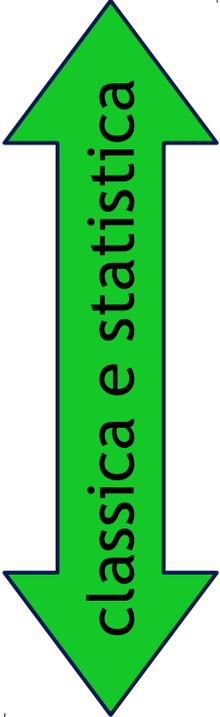


The Nobel Prize in Physics has been awarded 103 times to 187 Nobel Laureates between 1901 and 2009. John Bardeen is the only Nobel Laureate who has been awarded the Nobel Prize in Physics twice, in 1952 and 1972. This means that a total of 186 individuals have received the Nobel Prize in Physics. Click on each name to see the Nobel Laureate's page.

Jump down to: | 1980 | 1960 | 1940 | 1920 |

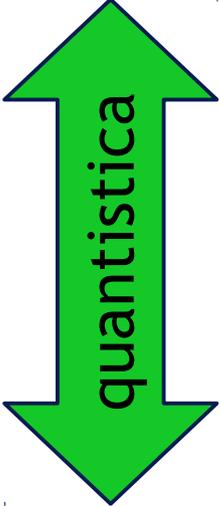
-  2014 - Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Shuji Nakamura
-  2013 - François Englert, Peter Higgs
-  2012 - Serge Haroche, David J. Wineland
-  2011 - Saul Perlmutter
-  2010 - Andre Geim, Konstantin Novoselov
-  2009 - Charles K. Kao, Willard S. Boyle, George E. Smith
-  2008 - Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa
-  2007 - Albert Fert, Peter Grünberg
-  2006 - John C. Mather, George F. Smoot
-  2005 - Roy J. Glauber, John L. Hall, Theodor W. Hänsch
-  2004 - David J. Gross, H. David Politzer, Frank Wilczek
-  2003 - Alexei A. Abrikosov, Vitaly L. Ginzburg, Anthony J. Leggett
-  2002 - Raymond Davis Jr., Masatoshi Koshiba, Riccardo Giacconi
-  2001 - Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle, Carl E. Wieman
-  2000 - Zhores I. Alferov, Herbert Kroemer, Jack S. Kilby
-  1999 - Gerardus 't Hooft, Martinus J.G. Veltman
-  1998 - Robert B. Laughlin, Horst L. Störmer, Daniel C. Tsui
-  1997 - Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji, William D. Phillips
-  1996 - David M. Lee, Douglas D. Osheroff, Robert C. Richardson
-  1995 - Martin L. Perl, Frederick Reines
-  1994 - Bertram N. Brockhouse, Clifford G. Shull
-  1993 - Russell A. Hulse, Joseph H. Taylor Jr.
-  1992 - Georges Charpak
-  1991 - Pierre-Gilles de Gennes
-  1990 - Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall, Richard E. Taylor
-  1989 - Norman F. Ramsey, Hans G. Dehmelt, Wolfgang Paul
-  1988 - Leon M. Lederman, Melvin Schwartz, Jack Steinberger
-  1987 - J. Georg Bednorz, K. Alex Müller
-  1986 - Ernst Ruska, Gerd Binnig, Heinrich Rohrer
-  1985 - Klaus von Klitzing
-  1984 - Carlo Rubbia, Simon van der Meer
-  1983 - Subramanyan Chandrasekhar, William A. Fowler
-  1982 - Kenneth G. Wilson
- 1981 - Nicolaas Bloembergen, Arthur L. Schawlow, Kai M. Siegbahn
- 1980 - James Cronin, Val Fitch

- >50% dei premi Nobel per la Fisica dal 1980 ad oggi
- Nobel per la Chimica (1998)
- Nobel 2016 “*per le scoperte teoriche di transizioni di fase topologiche e fasi topologiche della materia*”
 - ➔ nuovi stati esotici della materia condensata
 - ➔ applicazioni in campo tecnologico
- Nobel 2018 “*per invenzioni rivoluzionarie nel campo della fisica del laser*”



classica e statistica

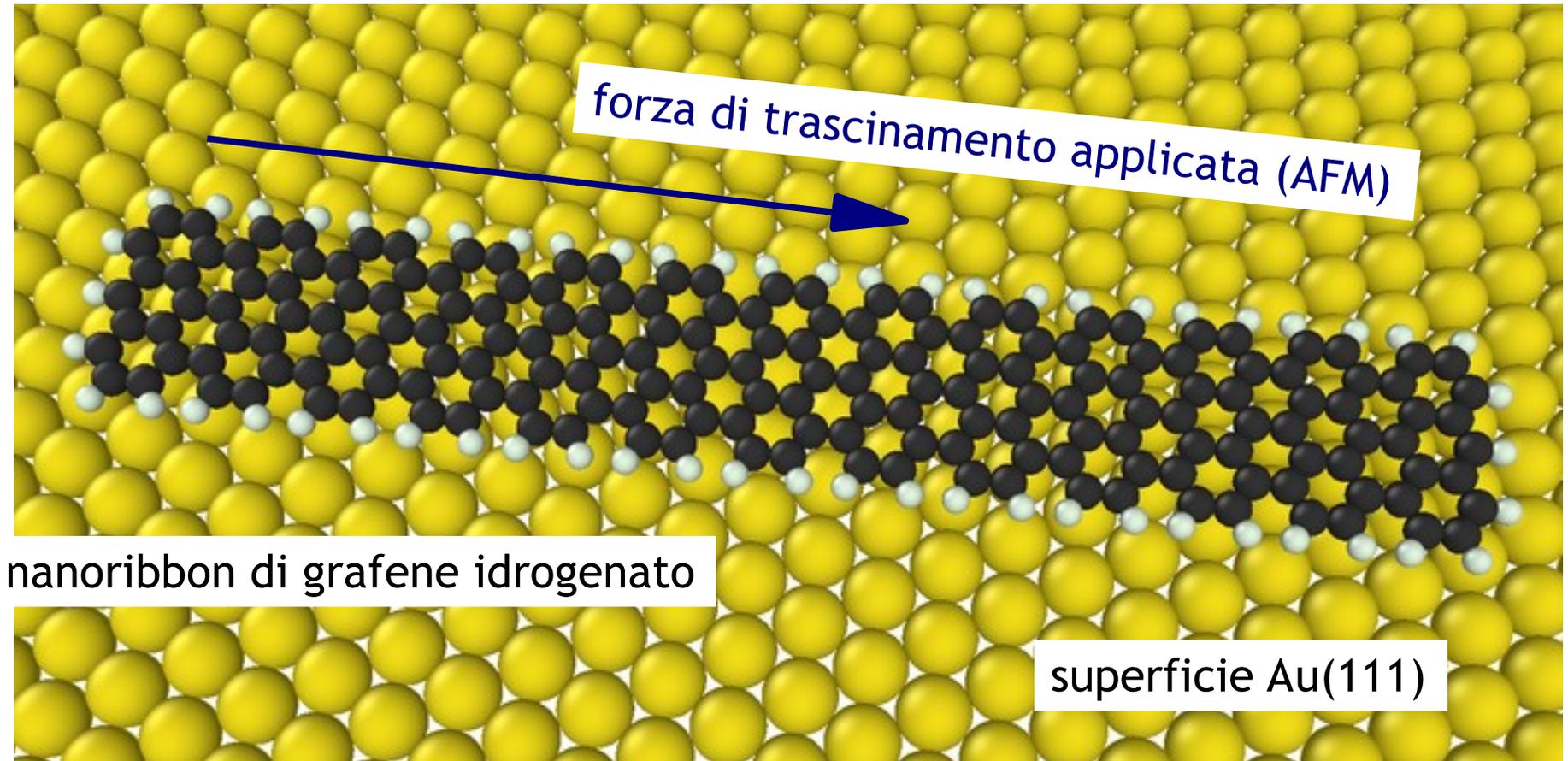
- Attrito alla scala atomica (N. Manini)
- Meccanica statistica dei materiali (S. Zapperi)
- Materia soffice (D. Pini, D. E. Galli)
- Computational Intelligence e Machine Learning per analisi dati (D.E. Galli)



quantistica

- Gas, fluidi e solidi quantistici (D.E. Galli)
- Struttura elettronica e spettroscopia (G. Fratesi, N. Manini, G. Onida)

Simulazioni di attrito alla scala atomica



Varie tesi in questo campo

ad es. <http://materia.fisica.unimi.it/manini/theses/tentori.pdf>

Molti interessanti problemi aperti.



N. Manini

Meccanica statistica dei materiali

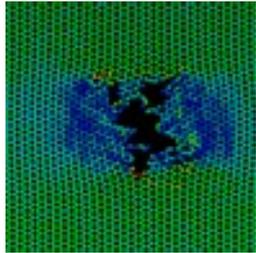
Simulazioni di fratture su diverse scale

10^{-9}

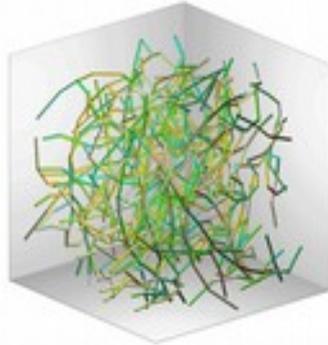
10^{-6}

10^{-3}

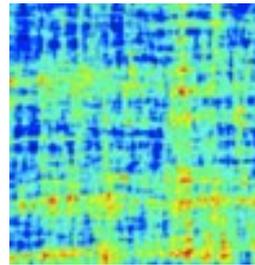
1 [m]



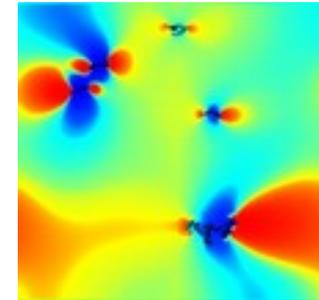
Scala atomica



Dislocazioni



Shear bands

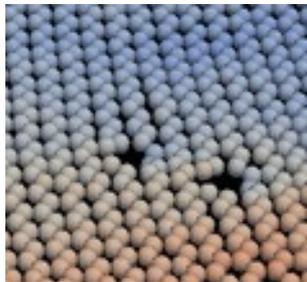


Interazioni tra
fratture

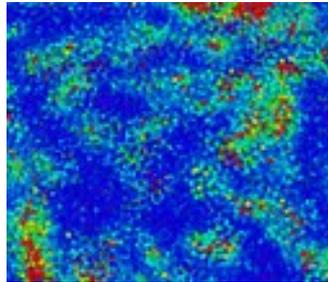


S. Zapperi

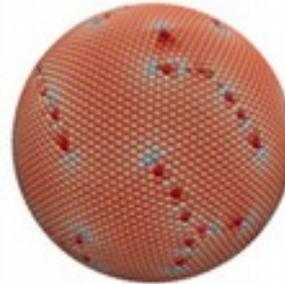
Ruolo del disordine e di caratteristiche strutturali



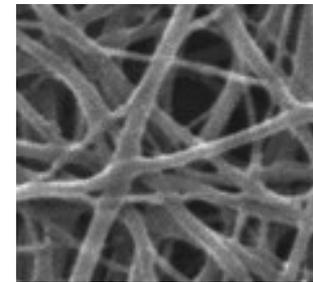
Cristalli con
difetti atomici



Mezzi amorfi



Disordine
topologico



Materiali biologici



R. Guerra

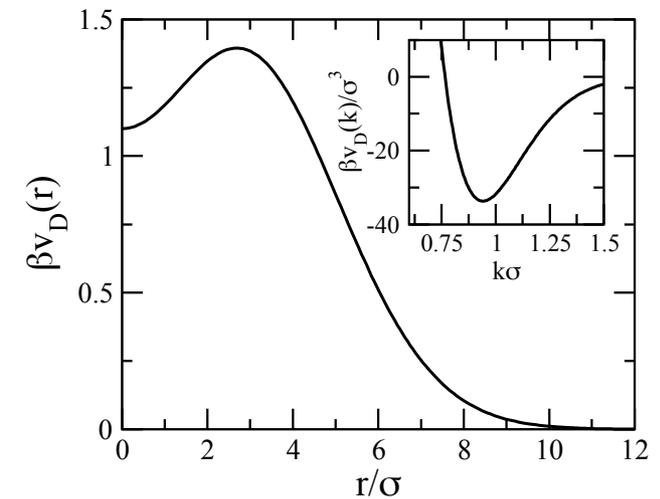
<http://www.smmlab.it>
<http://complexitybiosystems.it>

Liquidi classici e materia soffice



D. Pini

A partire da semplici interazioni modello:



... con metodi di stato liquido

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{1}{\chi_{\text{red}}} \right) = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial \rho^2}$$

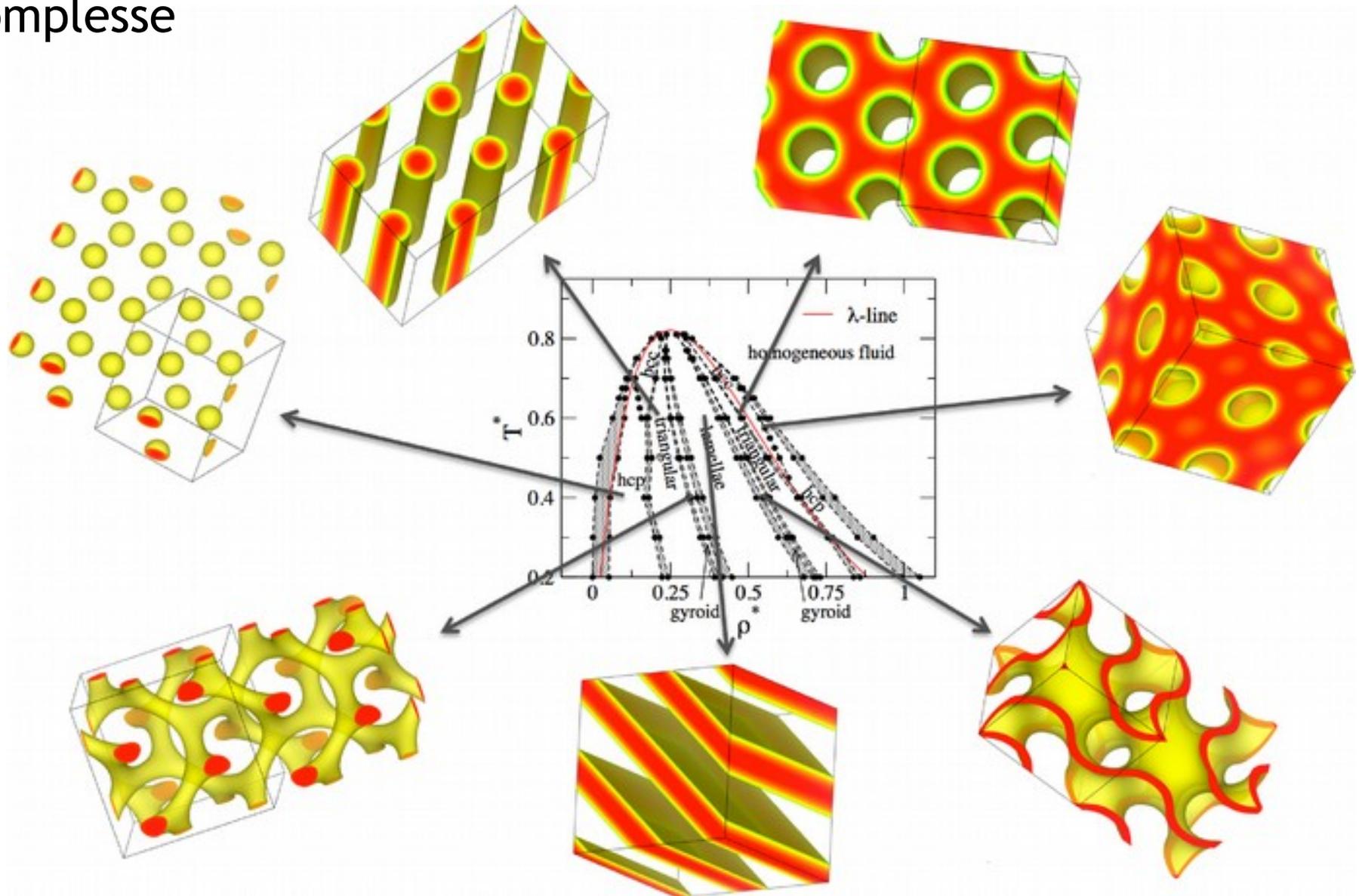
... o del funzionale densità

$$\beta \Omega = \int d^3 \mathbf{r} \rho(\mathbf{r}) \{ \ln[\rho(\mathbf{r}) \lambda^3] - 1 - \beta \mu \} + \frac{1}{2} \int d^3 \mathbf{r} \int d^3 \mathbf{r}' \beta v(\mathbf{r} - \mathbf{r}') \rho(\mathbf{r}) \rho(\mathbf{r}')$$

→ diagramma di fase, natura delle fasi, proprietà strutturali

Liquidi classici e materia soffice

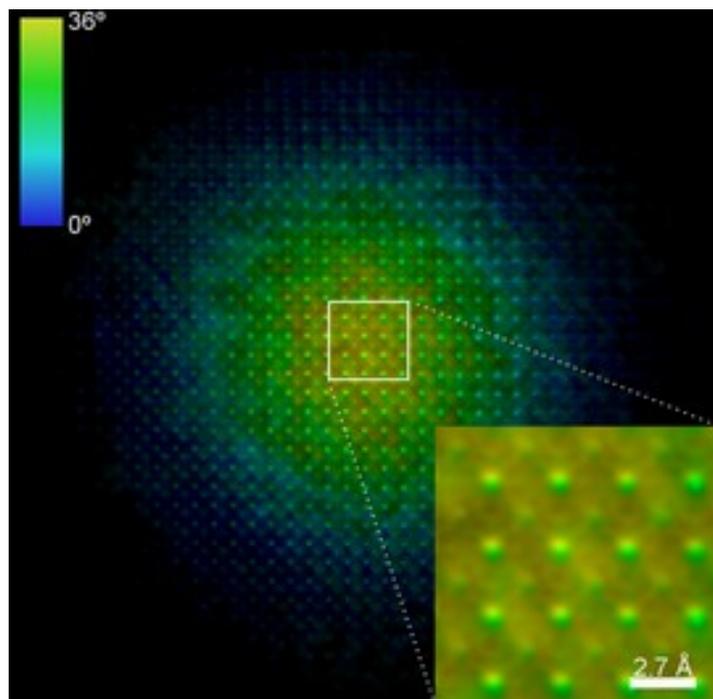
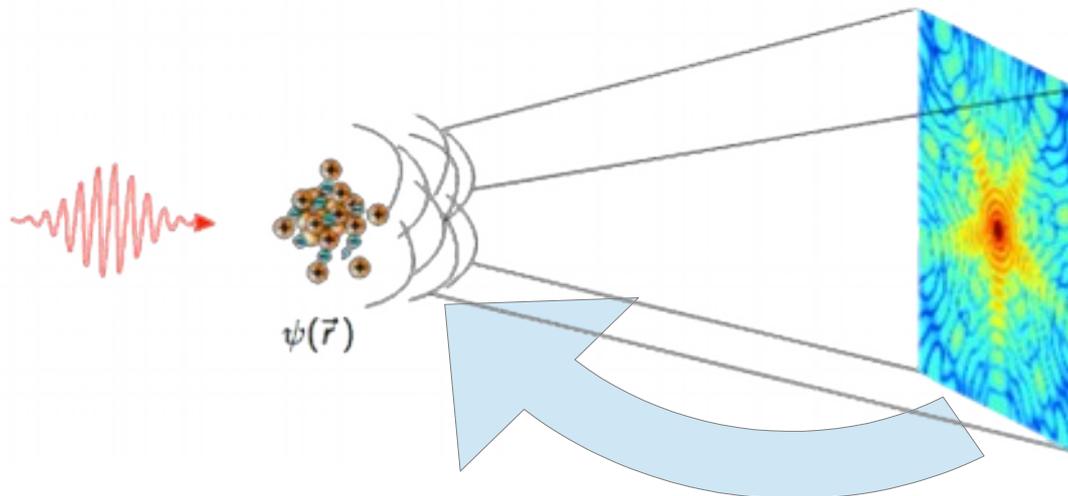
- Interazioni semplici possono dar luogo a fasi sorprendentemente complesse



Comp. Intelligence & Machine Learning per analisi dati



D.E. Galli



Machine Learning applicato all'inversione di dati sperimentali o simulati. Ad es. scattering da radiazione coerente (es. XFEL / Electron diffraction) → problema di ottimizzazione. (supercalcolo)



Ricostruzione di immagini della materia:

- fino a risoluzioni spaziali $<10^{-10}$ m
- fino a risoluzioni temporali $\sim 10^{-14}$ s

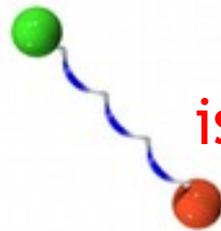


Gas, fluidi e solidi quantistici e metodi Monte Carlo

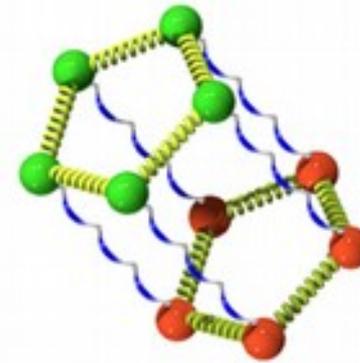


D.E. Galli

Sistema
quantistico di
N particelle
interagenti

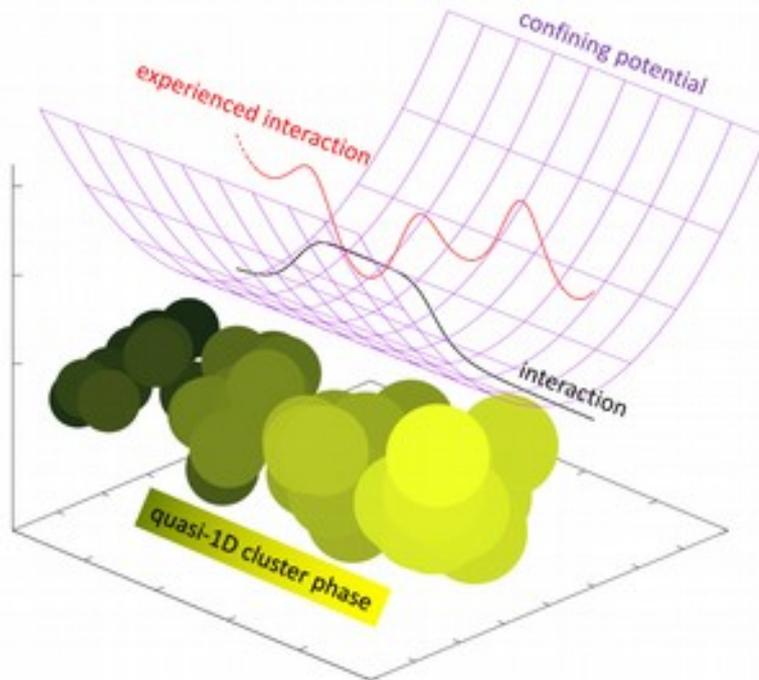


isomorfo a

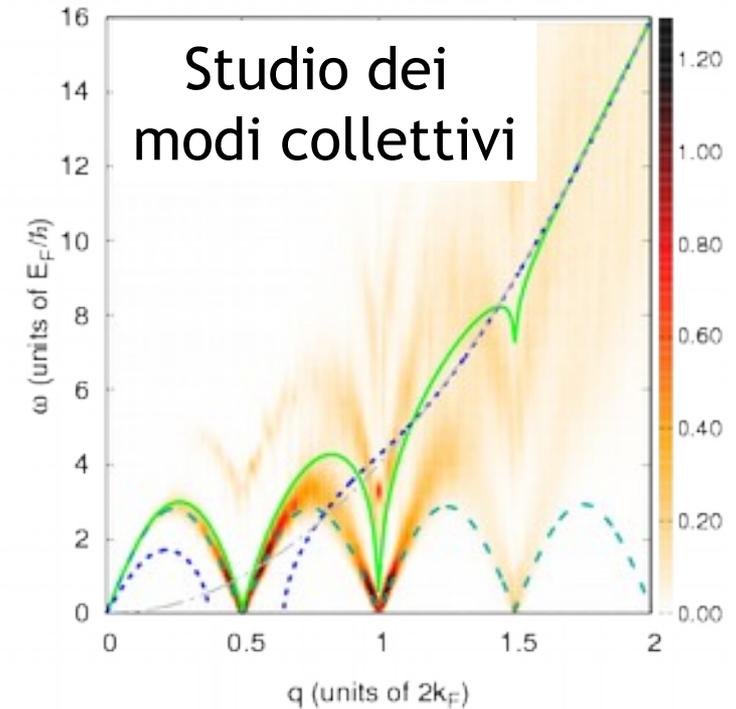


Sistema
classico di N
polimeri
interagenti

Metodi Path integral Monte Carlo (supercalcolo)



Interazioni soffici:
Clusterizzazione + superfluidità



Struttura elettronica e spettroscopia

- *Ab initio* (da principi primi): nessun parametro fenomenologico
- Ingredienti: specie atomiche; costanti fondamentali

→ Predittività

→ Design di materiali

In UNIMI:

- Superfici / sistemi a bassa dimensionalità
- Spettroscopia teorica



G. Onida



N. Manini



G. Fratesi

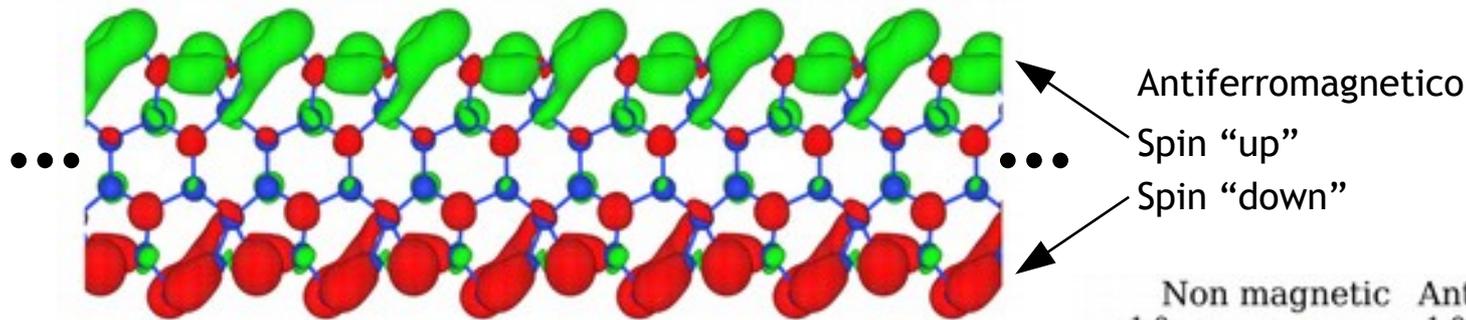


S. Achilli
Assegnista

Struttura elettronica da principi primi

- Sistemi 2D (grafene ma non solo) → elettronica flessibile, ...
- Ottimizzare le proprietà elettroniche / ottiche / magnetiche:

Sottili strisce di Si 2D (“Silicene ribbons”)

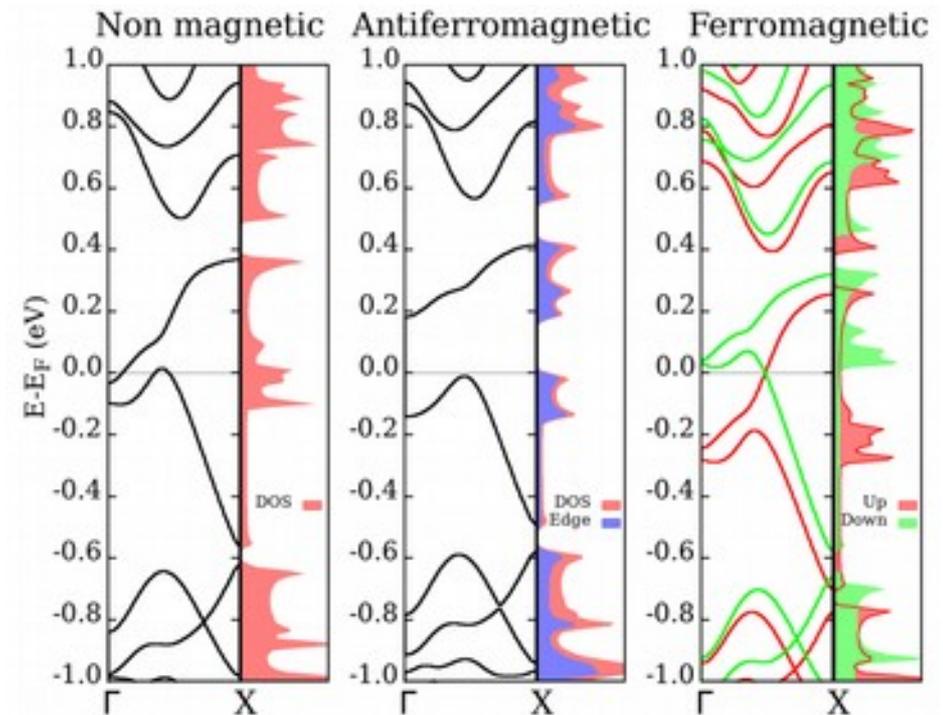


G. Onida G. Fratesi

- Calcolo degli stati elettronici e dello spettro ottico

Tesi LM Matteo Ferri (UNIMI → SISSA)

Physical Review B 99 085414 (2019)



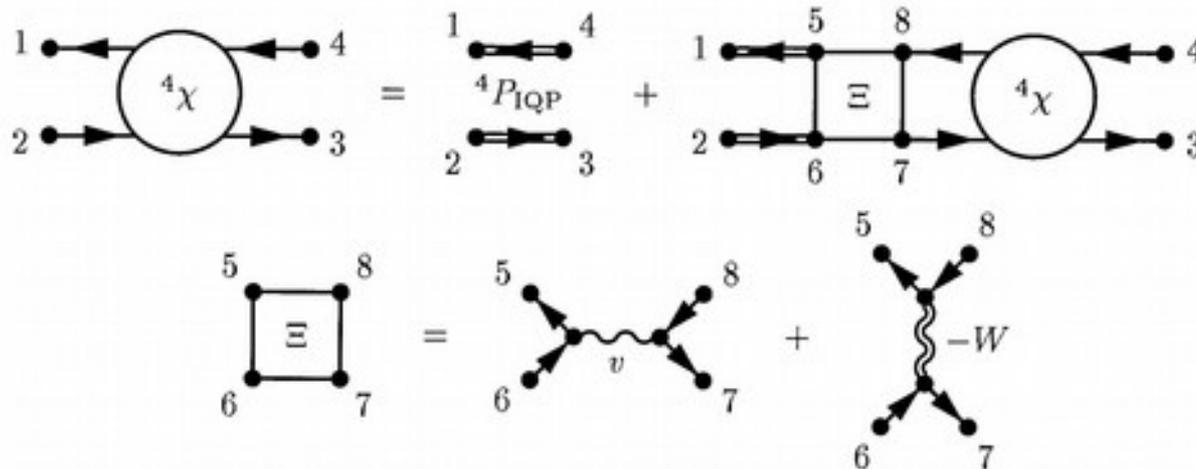
Collaborazioni nazionali e internazionali

- S.I.S.S.A. (Trieste)
- CNR-INFM Democritos (Trieste)
- Università di Trento
- CNR-IOM e Sincrotrone Elettra (Trieste)
- Politecnico di Milano
- ...
- J. W. Goethe-Universität Frankfurt am Main (Germania)
- Universität Konstanz (Germania)
- UPC, Barcelona (Spagna)
- DIPC, Donostia (Spagna)
- ...
- Network *European Theoretical Spectroscopy Facility* www.etsf.eu
- Network *Nanoscience Foundries and Fine Analysis* www.nffa.eu
- ...



Competenze offerte

- Capacità di collaborare in gruppi medio-piccoli
- Modellistica avanzata e sviluppi formali



- Calcolo ad alte prestazioni (in sede e presso sistemi TOP500)



Prospettive professionali

- Ricerca (PhD, postdoc, ...) in Italia e all'estero
- Industrie locali (Pirelli, SAES Getters, STMicroelectronics, ...)
- Software
- *Consulting* (modellistica avanzata)
- ...



Corsi consigliati - I ANNO

PRIMO SEMESTRE	Tipologia	SECONDO SEMESTRE	Tipologia
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Meccanica Statistica 1, Fisica Statistica Avanzata, Meccanica Statistica 2	b
Struttura della Materia 2	b	Laboratorio ambito "Microfisico e della Struttura della Materia" o Affine e integrativo	b oppure c
Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1	b	Metodi Computazionali della Fisica	c
Modellistica Geofisica e Ambientale o Fisica Terrestre o Elementi di Fisica dei Continui	b	Corso a scelta libera	(*)
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Corso a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

(*) = b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo



Corsi consigliati - II ANNO

PRIMO SEMESTRE	Tipologia	SECONDO SEMESTRE	Tipologia
Corso a scelta libera	(*)	Corso a scelta libera	(*)
Corso a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) = b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Corsi Affini e integrativi: Fisica delle Superfici 2 - Biofisica - Biofisica Computazionale - Biofisica Avanzata - Laboratorio di Fisica della Materia 2 - Metodi computazionali della Fisica - Modellistica geofisica e ambientale - Caratterizzazione di Nanostrutture e film sottili - Teoria dei Sistemi Quantistici Aperti - Teoria Quantistica dell'Informazione - Fisica Atomica - Storia della Scienza e della Tecnica - Fisica dei Liquidi e della materia Soffice - Calcolatori Quantistici - Fisica dei Dispositivi Elettronici - Laboratorio di Simulazione Numerica.

Ambito "Sperimentale Applicativo": Fisica dell'Ambiente.

Ambito "Teorico e dei Fondamenti della Fisica": Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1 - Teoria dei Sistemi a molti corpi 2 - Metodi matematici della Fisica: Equazioni Differenziali 1 - Meccanica Statistica 1 - Meccanica Statistica 2.

Ambito "Microfisico e della Struttura della Materia": Fisica Statistica Avanzata - Fisica dei Semiconduttori - Fisica delle Proteine 1 - Laboratorio di Ottica e applicazioni - Laboratorio di Ottica Quantistica - Fisica dei Solidi 1 - Fisica delle Superfici 1 - Ottica 1 - Ottica Quantistica.

Ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale": Elementi di Fisica dei Continui - Fisica dell'Atmosfera - Fisica Terrestre.



classica e statistica

- Attrito alla scala atomica (N. Manini)
- Meccanica statistica dei materiali (S. Zapperi)
- Materia soffice (D. Pini, D. E. Galli)
- Computational Intelligence e Machine Learning per analisi dati (D.E. Galli)

quantistica

- Gas, fluidi e solidi quantistici (D.E. Galli)
- Struttura elettronica e spettroscopia (G. Fratesi, N. Manini, G. Onida)