

Curriculum di Fisica Teorica

Referente: giampiero.esposito@unina.it

[http://www.fisica.unina.it/documents/12375590/13051689/cvTeorico.p
df](http://www.fisica.unina.it/documents/12375590/13051689/cvTeorico.pdf)

Cosa studia la Fisica Teorica?

- Lo scopo della fisica teorica è di fornire un chiaro quadro concettuale per l'ampia varietà di fenomeni naturali, così che non solo siamo in grado di fare predizioni accurate da verificare su base osservativa (Galileo), ma anche le strutture matematiche del mondo in cui viviamo (ancora Galileo, e Newton) vengano ben comprese dalla comunità scientifica. Quali sono dunque gli elementi basilari di una descrizione teorica del mondo della fisica? Possiamo derivare tutte le equazioni di base della fisica teorica da principi di simmetria? Cosa ci dicono circa l'origine e l'evoluzione dell'universo fisico a tutte le scale?

Esempi

- La fisica teorica studia in maniera più astratta dei problemi di interesse corrente in altri rami della fisica. Ad esempio, come comprendere le interazioni radiazione-materia; come descrivere una particella carica che irraggia, dato che l'elettrodinamica classica condurrebbe a delle equazioni del moto le cui soluzioni violano la causalità.
- La fisica teorica permette di rispondere, tra l'altro, alle domande: come collegare le descrizioni della fisica a scale diverse? Cosa è una particella elementare? Cosa intendiamo per «campo classico»? E cosa è invece un «campo quantistico»?

Come scoprire nuova fisica?

- Da un lato, le macchine acceleratrici nei laboratori terrestri, in primis LHC al CERN di Ginevra.
- Ma il più grande laboratorio della fisica è ormai l'intero universo: il fondo cosmico a microonde che pervade l'intero universo, i neutrini, i raggi cosmici, le onde gravitazionali, i buchi neri, le lenti gravitazionali.
- Il modello standard della fisica delle particelle è ben verificato al CERN, ma dobbiamo ancora capire se esistono o siano esistite particelle supersimmetriche, o se stiamo cominciando a scorgere effetti non previsti dal Modello Standard.

Fisica teorica delle particelle, pagina 1

- Mattia Cielo, Fabio Iocco, Gianpiero Mangano, Ofelia Pisanti: Fisica Astroparticellare Teorica. Perturbazioni primordiali e inflazione; onde gravitazionali primordiali; cosmologia del neutrino; nucleosintesi del Big Bang; radiazione oscura.
- Marco Chianese, Fabio Iocco, Gennaro Miele, Stefano Morisi, Ofelia Pisanti, Ninetta Saviano: Fisica Astroparticellare Teorica. Raggi Cosmici. Studi multimessenger di una componente della materia interagente gravitazionalmente, ma non rivelata in interazioni di tipo elettromagnetico o debole. Generalmente conosciuta come Materia Oscura, la sua presenza è riscontrata in sistemi astrofisici di differente natura, e apre prospettive eccitanti per la Fisica Oltre il Modello Standard.

Fisica teorica delle particelle, pagina 2

- Pietro Santorelli: Studio dei processi di decadimento di mesoni (B e D) e barioni (Λ , Λ_b , Λ_c) pesanti come sonde per testare il Modello Standard e le sue estensioni, atte a descrivere Fisica al di fuori di esso. Speciale attenzione viene rivolta allo studio degli effetti non perturbativi della QCD nei suddetti processi per una maggiore accuratezza nella descrizione degli stessi. La violazione di CP nel settore del quark charm è stata ed è un argomento di ricerca di successo per le previsioni poi confermate dai dati sperimentali che, diventando sempre più precisi, alimentano approfondimenti teorici continui: <https://people.na.infn.it/~santorel/>

Fisica teorica delle particelle, pagina 3

- Francesco Sannino e Pietro Santorelli analizzano, in collaborazione anche con fisici sperimentali di Napoli, la messe di dati disponibili alla ricerca di Fisica oltre il Modello Standard. La possibile violazione della Universalità Leptonica nei decadimenti rari e semileptonici dei mesoni B e B_s, la discrepanza fra teoria e esperimento sul (g-2) del muone e quella legata alla massa del W vengono studiate alla luce di teorie che estendono il Modello Standard.

Fisica teorica delle particelle, pagina 4

- Luigi Rosa: Energia delle fluttuazioni di vuoto del campo elettromagnetico e interazione col campo gravitazionale (esperimento Archimede in collaborazione col gruppo VIRGO). Confinamento dei quark.
- Luigi Cappiello, Giancarlo D'Ambrosio, Francesco Tramontano: Motivata anche dalla monumentale campagna di raccolta dati avviata al CERN con il Large Hadron Collider (LHC), la linea di ricerca di fisica teorica delle particelle elementari coniuga lo studio della fenomenologia dei collider con il calcolo avanzato delle ampiezze di diffusione nella teoria quantistica dei campi in regime perturbativo.

Fisica teorica delle particelle, pagina 5

- Giulia Ricciardi: il Modello Standard delle interazioni fondamentali descrive con successo le interazioni osservate dei costituenti della materia, ma lascia ancora importanti domande senza risposta. Si studiano alcune di queste questioni esplorando possibili estensioni del Modello Standard. Si esplora anche la possibilità di rivelare particelle al di là del Modello Standard nei collider attuali e in quelli del futuro. Altri argomenti di ricerca sono le proprietà ancora non svelate dei neutrini, e il loro ruolo quali messaggeri cosmici unici.

Campi, Stringhe, Gravitazione Quantistica, Informazione Quantistica

- All'inizio del ventesimo secolo, Albert Einstein comprende dapprima i limiti della teoria di Maxwell dell'elettromagnetismo, e poi i limiti della teoria di Newton della gravitazione. Einstein unifica spazio e tempo attraverso una varietà differenziabile a quattro dimensioni, lo spaziotempo. La sua teoria è, per costruzione, invariante per diffeomorfismi. Questi costituiscono un gruppo molto più ricco di struttura e potenzialità dei gruppi alla base della meccanica quantistica ordinaria (gruppo di Galilei) e della teoria quantistica relativistica (gruppi di Lorentz e Poincaré).
- Dunque la gravitazione di Einstein è una teoria classica, e i tentativi di quantizzarla possono richiedere un profondo ripensamento dei fondamenti di tutta la fisica.

Un'altra premessa

- Si possono annoverare in letteratura non meno di 16 (invero ben di più) tentativi di costruire una teoria della gravitazione quantistica, ognuno con pregi e limiti.
- La teoria che cerchiamo potrebbe richiedere l'uso di strutture astratte, come la sostituzione delle particelle con strutture estese, le corde (o stringhe), o la considerazione di uno spaziotempo quantistico come avviene per la meccanica quantistica nello spazio delle fasi.
- Adesso andiamo a presentare le ricerche in corso:



Raffaele Marotta



Wolfgang Mück



Franco Pezzella

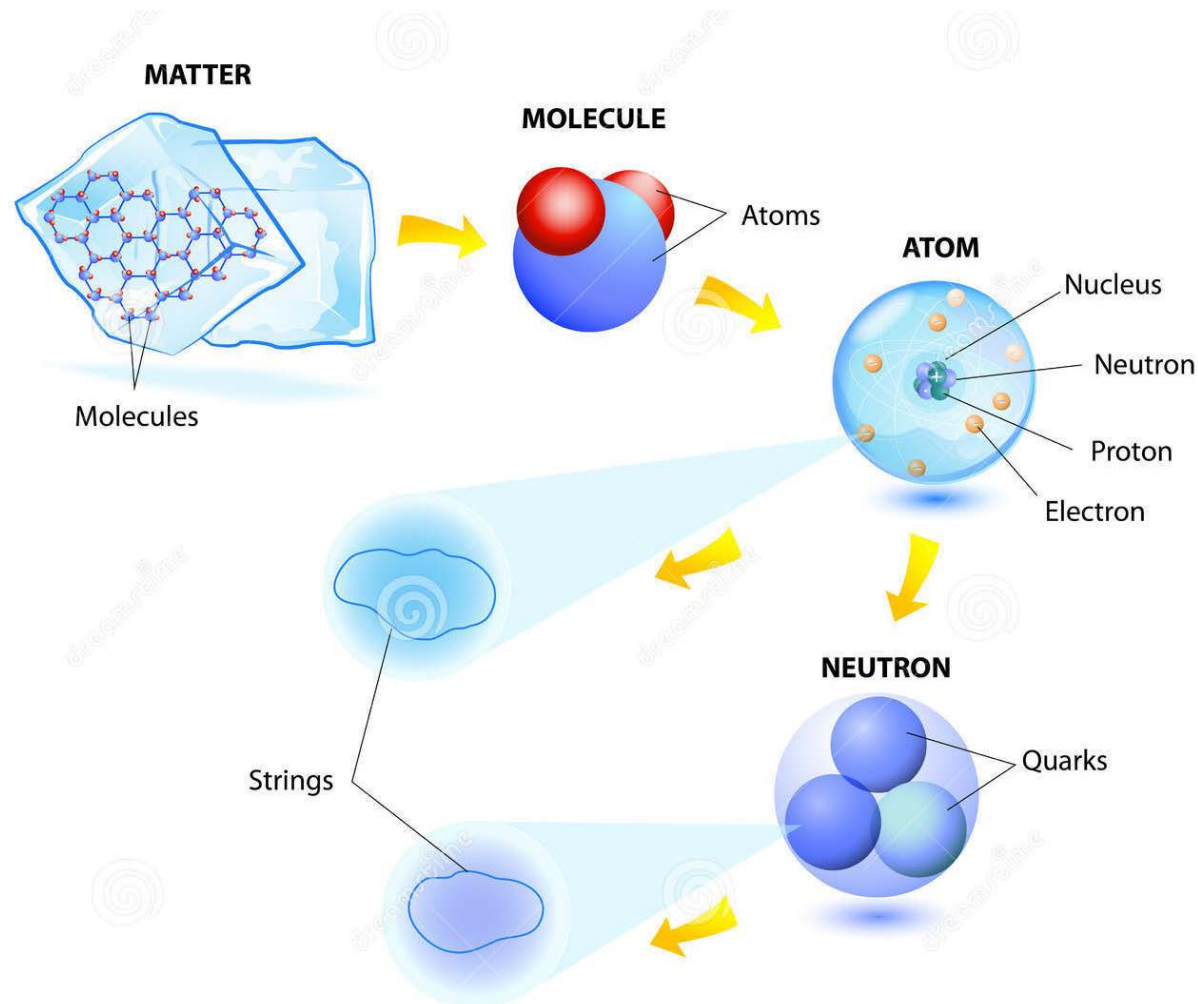
Teoria delle Stringhe



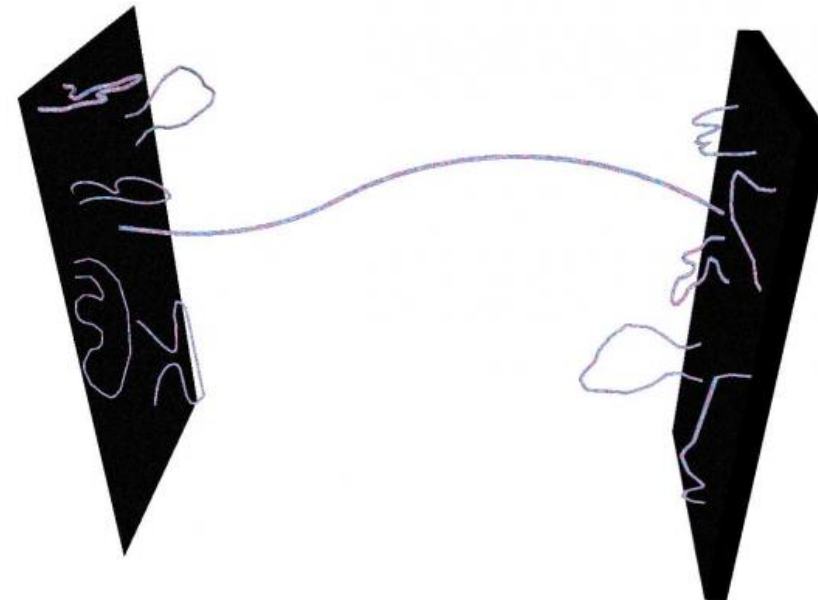
Charlotte Sleight



Massimo Taronna



La teoria delle stringhe descrive come quantizzare corde vibranti relativistiche invece di particelle. Il salto logico da particelle puntiformi a stringhe è incredibilmente restrittivo e una teoria delle stringhe è necessariamente una teoria della gravità quantistica



Nel contesto della teoria delle stringhe si studiano le varie dualità che esistono tra le differenti descrizioni matematiche della teoria



Raffaele Marotta



Wolfgang Mück



Franco Pezzella

Olografia

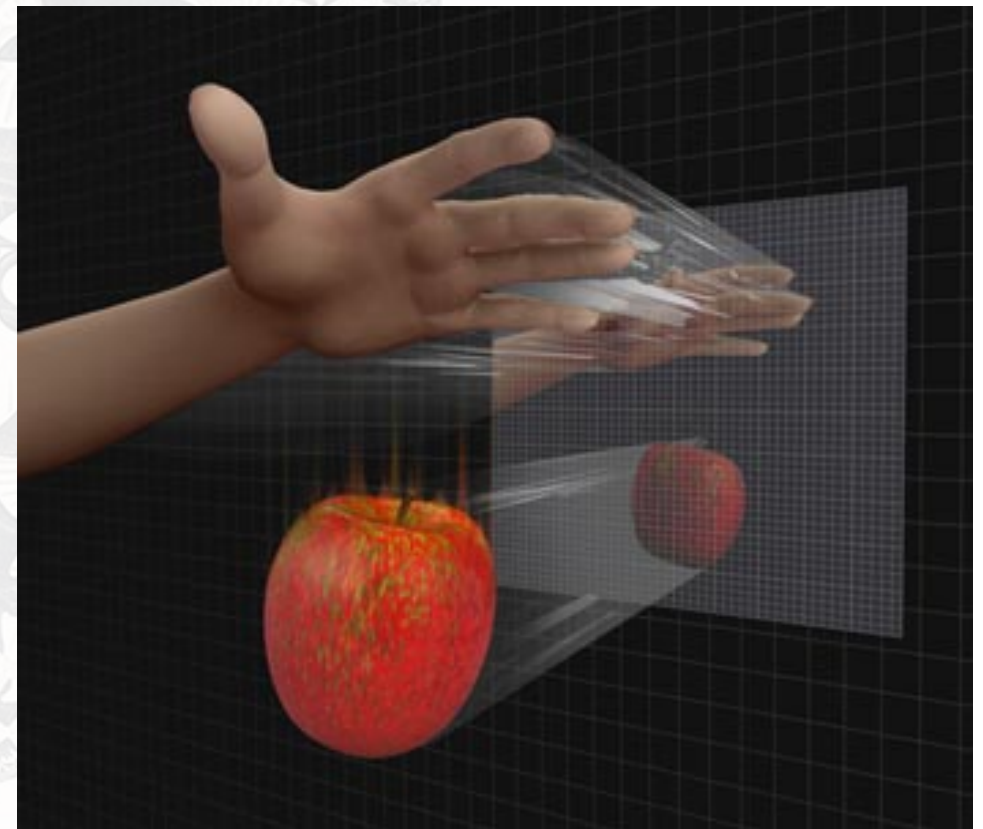
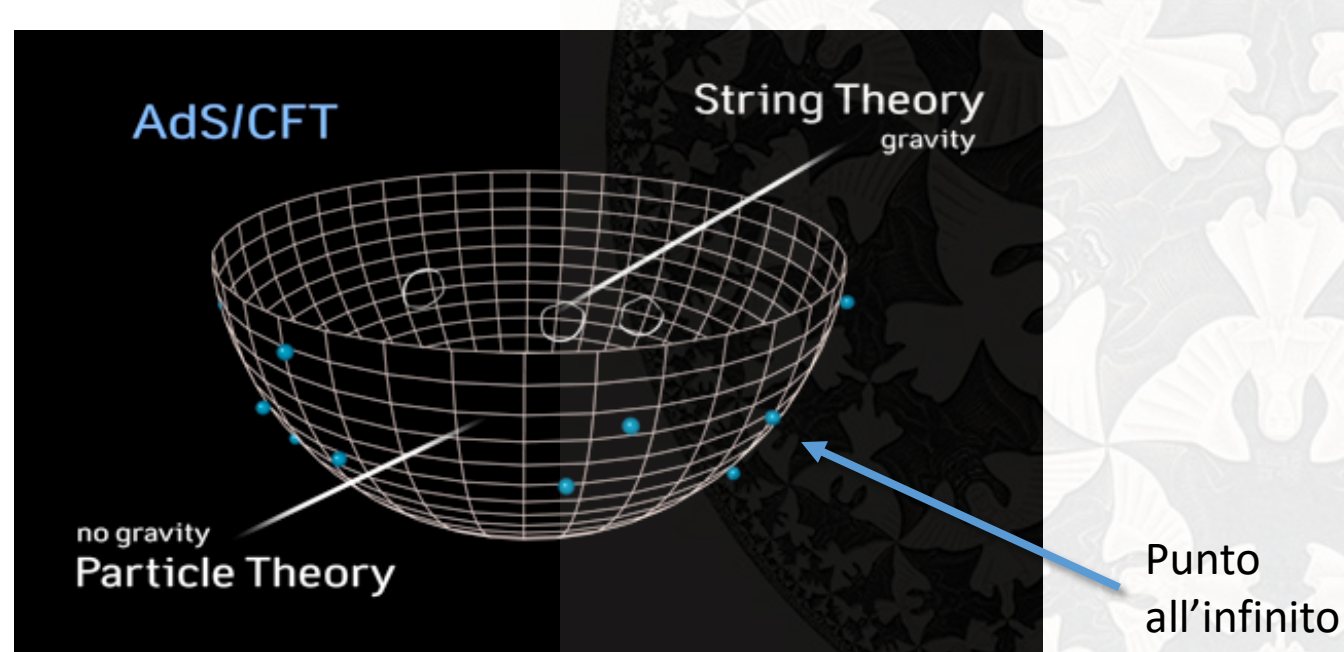


Charlotte Sleight



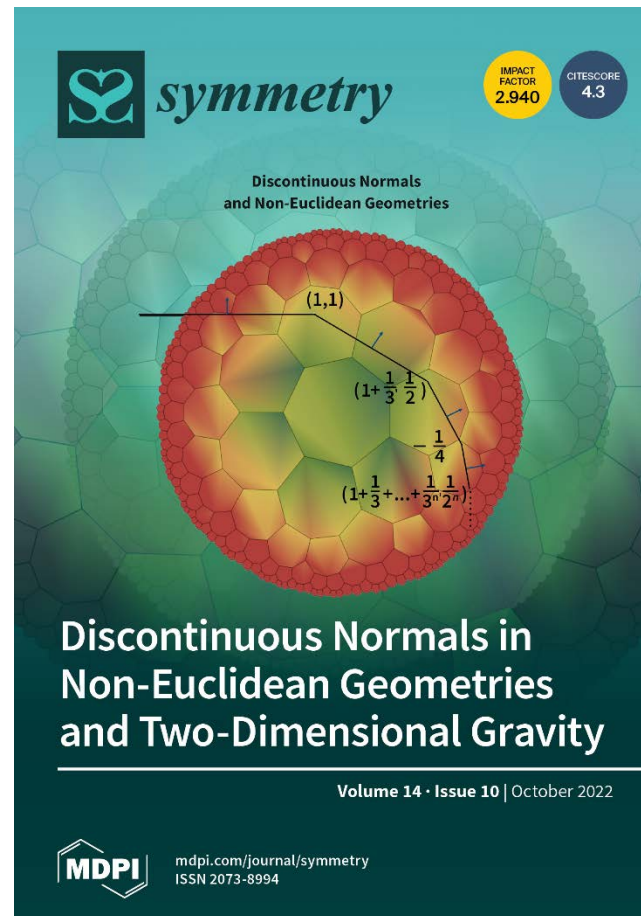
Massimo Taronna

Il principio olografico è una delle dualità fondamentali in teoria delle stringhe e consiste nell'equivalenza tra una teoria gravitazionale (di stringa) su spazio curvo (ologramma) e una teoria quantistica di campo definita sul punto all'infinito dello spazio-tempo



Le trasformazioni conformi permettono di studiare il punto all'infinito di uno spazio-tempo e di definire una teoria quantistica di campo il cui ologramma è la teoria gravitazionale

Teorie classiche e teorie quantistiche della gravitazione: Giampiero Esposito presso <http://people.na.infn.it/~gesposit/>



Cosmologia Teorica

- Ester Piedipalumbo: Problema dell'energia oscura, e messa a punto di modelli cosmologici che ne identifichino la natura in diversi scenari cosmologici, che vanno dai modelli di quintessenza (ove l'energia oscura è interpretabile come un campo scalare accoppiato alla gravità, in modo minimale o non), a modelli cosmologici nelle teorie estese della gravitazione (ove il funzionale d'azione è più generale di quello di Einstein-Hilbert). In questo percorso interpretativo è fondamentale individuare delle sonde adeguate che permettano di confrontare le predizioni teoriche nei vari scenari con i dati osservativi. In particolare, vengono all'uopo calibrati i Lampi Gamma come indicatori di distanza.

Quantum Spacetime & Quantum Information, pagina 1

- Goffredo Chirco, Maxim Kurkov, Fedele Lizzi, Alioscia Hamma, Patrizia Vitale, Giuseppe Marmo [Francesco D'Andrea, Gaetano Fiore, Alessandro Zampini]. Questo gruppo si occupa dei seguenti temi:
- «Gravità Quantistica e Geometria Noncommutativa»: Modelli di spaziotempo noncommutativo. Formulazione di teorie di campo e di gauge su spazi noncommutativi e loro limite semiclassico; gravità quantistica e buchi neri, effetti quantistici in spaziotempo curvo.
- «Meccanica Quantistica»: Fondamenti della Meccanica Quantistica, Termodinamica Quantistica, Sistemi Integrabili, Caos Quantistico, ordini esotici in sistemi a molti corpi, geometria quantistica.

Quantum Spacetime & Quantum Information, pagina 2

- «Teoria dell'Informazione Quantistica»: Teoria dell'entanglement, algoritmi quantistici, certificazione di sistemi quantistici, teoria della complessità quantistica, teoria della decoerenza, correzione di errori quantistici, sistemi aperti; buchi neri.
- «Metodi Matematici in Meccanica Quantistica»: Geometria dell'informazione, teoremi adiabatici, teoremi di località, geometria nello spazio di Hilbert, algebre di operatori, teoria della misura quantistica, algebre quasi locali, teoria della rappresentazione dei gruppi.

Quantum Spacetime & Quantum Information, pagina 3

- «Entanglement Quantistico e Spaziotempo Emergente»: Entanglement di stati di spin networks per descrivere il campo gravitazionale e lo spaziotempo emergente in regime quantistico. Proprietà olografiche di spin networks e loro caratterizzazione geometrica.
- «Approcci geometrici alle teorie di campo e di gauge». Integrabilità, dualità e simmetrie delle teorie di campo. Geometria generalizzata e di Poisson in teorie di gauge e gravità.
- Pagina web del gruppo: https://web.infn.it/QSQI_Napoli

Gravitazione quantistica e fenomenologia

- Giovanni Amelino Camelia, Michele Arzano, Giulia Gubitosi: dalla doubly-special relativity alla fenomenologia della gravitazione quantistica; dimensione spettrale e dimensione termica dello spaziotempo.
- Michele Arzano: Aspetti teorici e fenomenologici di deformazioni delle simmetrie relativistiche alla scala di Planck con particolare attenzione alle criticità incontrate nella costruzione di teorie di campo noncommutative associate a tali modelli. Studio di una nuova corrispondenza fra le simmetrie radiali conformi dello spaziotempo di Minkowski e l'evoluzione temporale in meccanica quantistica conforme che permette una descrizione mediante la teoria dei gruppi degli effetti termici in presenza di orizzonti degli eventi.

Fisica Statistica, pagina 1

- I sistemi a molti corpi ed i sistemi viventi, anche se scomposti nei loro costituenti elementari, restano «sistemi complessi». Gli strumenti per studiarli sono la fisica statistica, le teorie di campo e tecniche di calcolo avanzato.
- A Napoli abbiamo una grande tradizione di studi statistici, che si è rivolta ai sistemi biologici.

Fisica Statistica, pagina 2

- Simona Bianco, Andrea M. Chiariello, Mario Nicodemi: il Professor Nicodemi lavora, col suo gruppo, sulla Meccanica Statistica dei Sistemi Complessi in fisica e sulle sue applicazioni, pubblicando in riviste prestigiose come Nature. Ha ricevuto nel 2016 la Einstein BIH Fellowship della fondazione Einstein, e nel 2022 la Medaglia Occhialini dallo UK Institute of Physics e dalla Società Italiana di Fisica (<http://people.na.infn.it/~nicodem>).
- Simona Bianco: Sviluppo di modelli di Meccanica Statistica e metodi di Machine Learning per investigare i meccanismi alla base del complesso ripiegamento tridimensionale dei cromosomi nel nucleo cellulare, comprendere i fattori molecolari che ne mediano le interazioni, e capire gli effetti prodotti da mutazioni genetiche patologiche sul ripiegamento e quindi sul funzionamento dei geni.

Fisica Statistica, pagina 3

- Andrea M. Chiariello: sviluppo di modelli per descrivere la struttura tridimensionale del DNA e i meccanismi molecolari che controllano il funzionamento del genoma, con metodi di Meccanica Statistica, Teoria dei Polimeri e analisi di banche dati genomici. Le principali linee di ricerca includono: ricostruzione di modelli tridimensionali del genoma infettato dal Covid-19; studio del meccanismo della separazione di fase come processo regolatore della struttura dei cromosomi e della attività genetica; applicazione della rottura spontanea di simmetria come meccanismo regolatore della differenziazione cellulare.

Fisica Statistica, pagina 4

- Antonio De Candia: Meccanismi alla base dei fenomeni collettivi e critici nel cervello. Mobilità dei portatori di carica in semiconduttori, sistemi quantistici aperti e dissipativi. Arresto strutturale in vetri, colloidali e gel.
- Annalisa Fierro, Antonella Liccardo: Modelli della diffusione di malattie infettive attraverso tecniche di meccanica statistica. Analisi dell'effetto della circolazione oceanica sulla dispersione delle specie negli ecosistemi marini, al fine di interpretare la biodiversità.
- Francesco Sannino: Modelli matematici e fisici per sistemi complessi, dall'epidemiologia alla virologia.

Metodi Matematici della Teoria Quantistica della Probabilità e dell'Informazione

- Paolo Aniello: Metodi di analisi funzionale, analisi armonica e geometria differenziale per la teoria quantistica dell'informazione. Sistemi quantistici aperti e decoerenza quantistica; entropie quantistiche. Teoria quantistica della probabilità e della misurazione. Simmetrie in meccanica quantistica. Meccanica quantistica su campi non archimedei.

Effetto Casimir

- Giuseppe Bimonte: Interazioni mediate da fluttuazioni quantistiche e classiche del campo elettromagnetico; effetto Casimir, trasporto radiativo di calore, emissione termica di nanostrutture.

Ricerche di matematica

- Vincenzo Ferone: Problemi di ottimizzazione su classi di funzioni con assegnato riordinamento; risultati di confronto per soluzioni di equazioni alle derivate parziali; minimizzazione di funzionali; esistenza e regolarità per soluzioni di equazioni ellittiche non lineari; disuguaglianze isoperimetriche.

Didattica della fisica

- L'insegnamento nelle scuole di ogni ordine e grado resta una delle missioni più importanti. Qui a Napoli non solo prepariamo insegnanti, ma facciamo anche ricerca sull'insegnamento.
- Italo Testa: Progettazione e validazione di sequenze didattiche per la scuola secondaria superiore e per la formazione degli insegnanti.

Obiettivi del Curriculum Teorico

- Formare studenti che abbiano una conoscenza approfondita delle principali tematiche della Fisica Teorica moderna e padronanza di moderne tecniche per la soluzione dei problemi ad esse relativi.
- Far acquisire particolari capacità di utilizzare le conoscenze per l'interpretazione e la previsione del comportamento di sistemi complessi.
- I nostri studenti vengono ammessi regolarmente a corsi di dottorato in Italia o all'estero.

Percorsi post laurea

- Dottorato di Ricerca in Italia o all'Estero
- Ricerca in enti pubblici e privati
- Insegnamento nella scuola
- Inserimento in realtà lavorative che abbiano necessità di personale capace di creare modelli e risolvere problemi complessi (economia, finanza, banche, compagnie assicurative)

Corsi della laurea magistrale

- La laurea magistrale si articola su 2 anni, come segue:
- PRIMO ANNO:
- Elettrodinamica classica (9 CFU)
- Laboratorio di Fisica (10 CFU)
- Meccanica Quantistica (9 CFU)
- Meccanica Statistica (9 CFU)
- Teoria Quantistica dei Campi (8 CFU)
- Insegnamento a scelta nell'elenco A (8 CFU)
- Totale: 53 CFU e 6 esami

Corsi della laurea magistrale

- SECONDO ANNO:
- Insegnamento a scelta nell'elenco A (8 CFU)
- Insegnamento a scelta autonomo (8 CFU)
- Insegnamento a scelta autonomo (8 CFU)
- Altre attività (2 CFU)
- Esame finale (41 CFU)
- Totale: 67 CFU, 3 esami

Esami teorici nell'elenco A (qui solo quelli tra i quali si possono indicare i 2+2 esami a scelta)

- 1. Fisica teorica delle interazioni fondamentali (8 CFU)
- 2. Cromodinamica perturbativa applicata (8 CFU)
- 3. Fisica astroparticellare teorica (8 CFU)
- 4. Relatività generale e gravitazione (8 CFU)
- 5. Introduzione alla gravità quantistica (8 CFU)
- 6. Teoria delle stringhe (8 CFU)
- 7. Teoria classica dei campi (8 CFU)

Corsi della laurea magistrale

- 8. Teoria dei gruppi e applicazioni (8 CFU)
- 9. Complementi di metodi matematici per la fisica (8 CFU)
- 10. Teoria statistica dei campi (8 CFU)
- 11. Sistemi complessi (8 CFU)
- 12. Modellizzazione dei sistemi biologici (8 CFU)
- 13. Metodi numerici per la fisica (8 CFU)
- N.B.: i 2 insegnamenti a scelta autonoma possono attingere all'elenco
A ora sintetizzato, oppure ai corsi di Matematica, oppure ad un
qualunque corso di laurea della Federico II.

Possibili criteri per selezionare gli esami a scelta

- Affinità agli interessi di ricerca primari, che sfociano nella tesi (questo vi rende molto competenti in tutte le tematiche inerenti alla tesi).
- Complementarità: scegliere di apprendere anche argomenti molto diversi, onde acquisire una visione a 360 gradi della fisica teorica. Questa scelta può ripagare nel lungo termine.

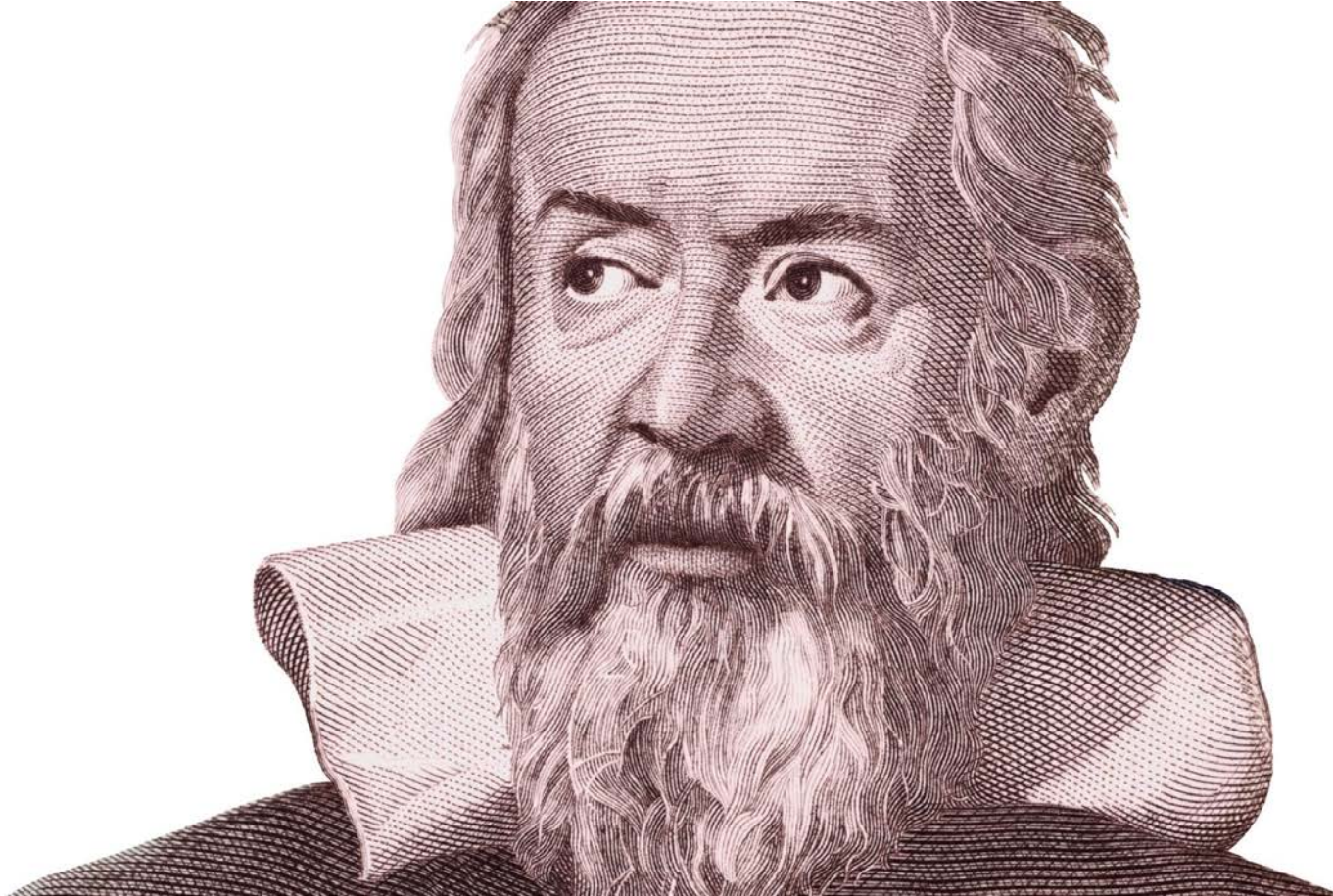
Esempi di percorsi (le associazioni possibili sono molte di più)

- Esami 1. & 2. & 13. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 3. & 1. & 13. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 4. & 5. & 6. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 7. & 8. & 9. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 7. & 4. & 5. & a Matematica/opp. altro CL
- Esami 10. & 11. & 12. & a Matematica/opp. altro CL
- Esempi di corsi di Matematica: Analisi funzionale, Calcolo delle variazioni, Equazioni differenziali alle derivate parziali, Geometria algebrica.

Una appendice grafica

- Qui di seguito riportiamo un elenco (pur se incompleto) di scienziati e scienziate del passato e del presente, il cui esempio potrebbe ben motivare le nuove generazioni di studenti.

Galileo Galilei (metodo sperimentale e linguaggio matematico)



Isaac Newton (principi matematici)



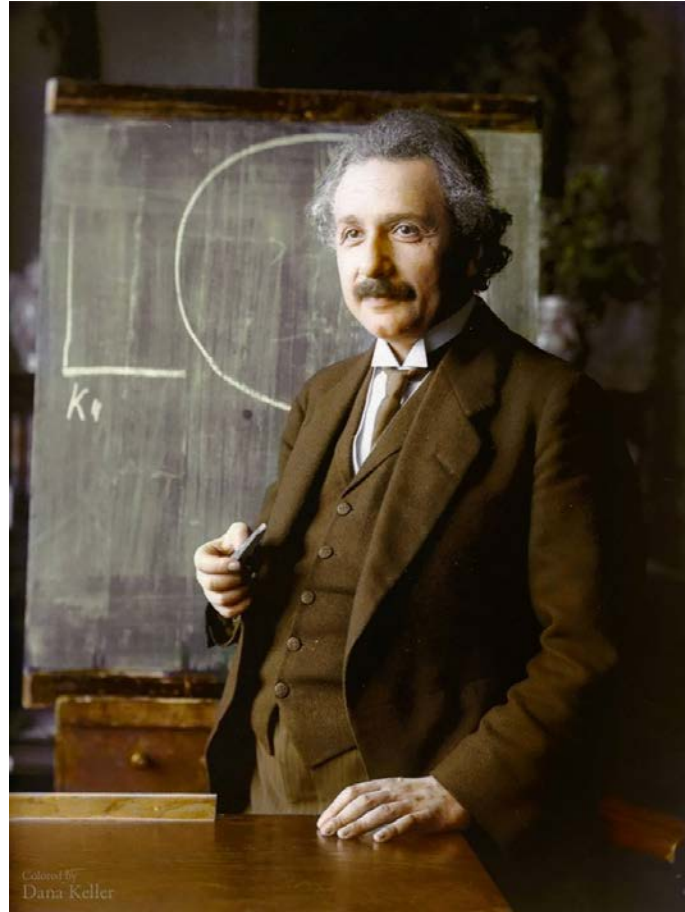
James Clerk Maxwell (la teoria dell'elettromagnetismo)



Max Planck (l'ipotesi dei quanti)



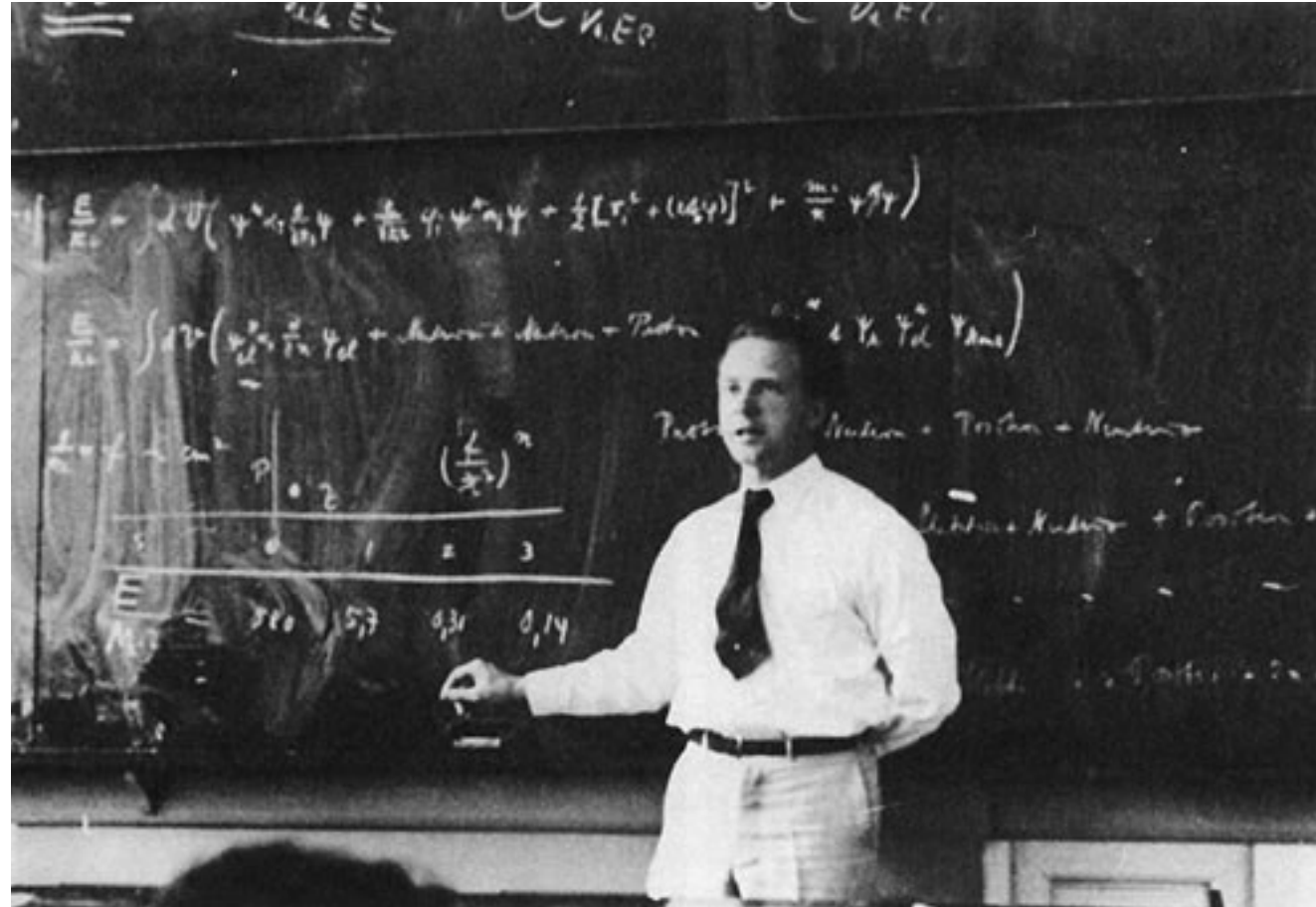
Albert Einstein (relatività speciale e generale)



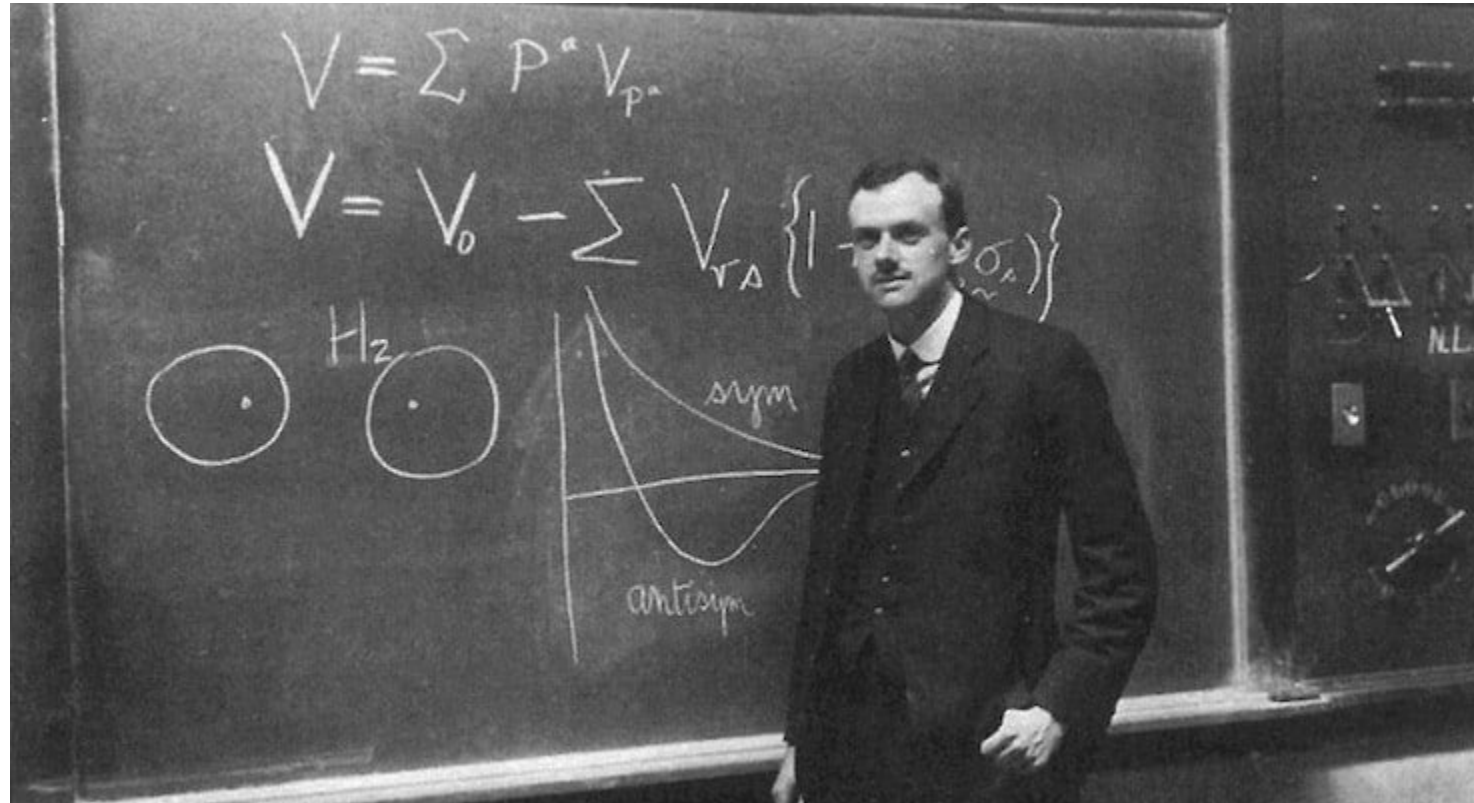
Erwin Schrodinger (meccanica ondulatoria)



Werner Heisenberg (meccanica quantistica)



Paul Adrien Maurice Dirac (quantizzazione hamiltoniana)



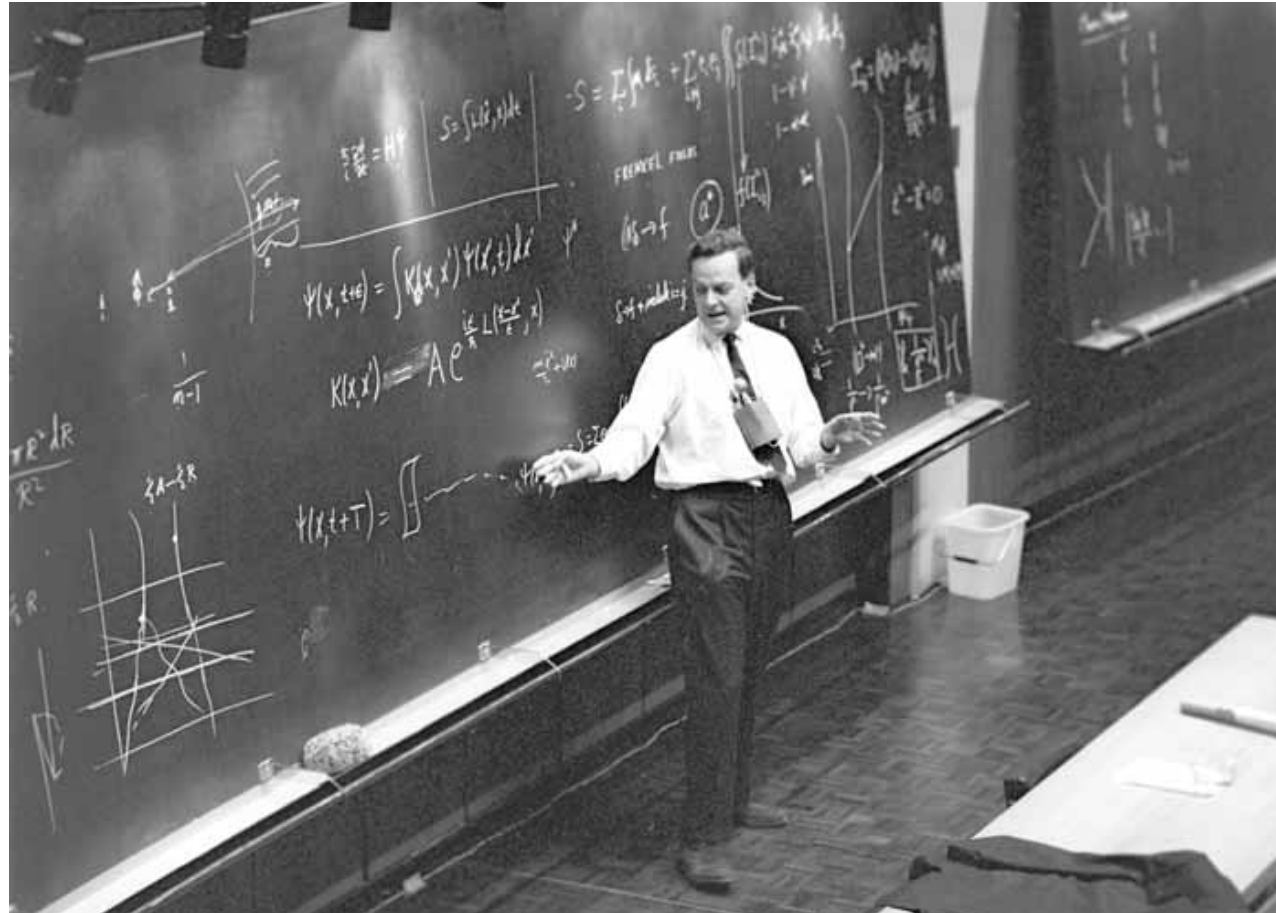
Hermann Weyl (linguaggio gruppale in fisica)



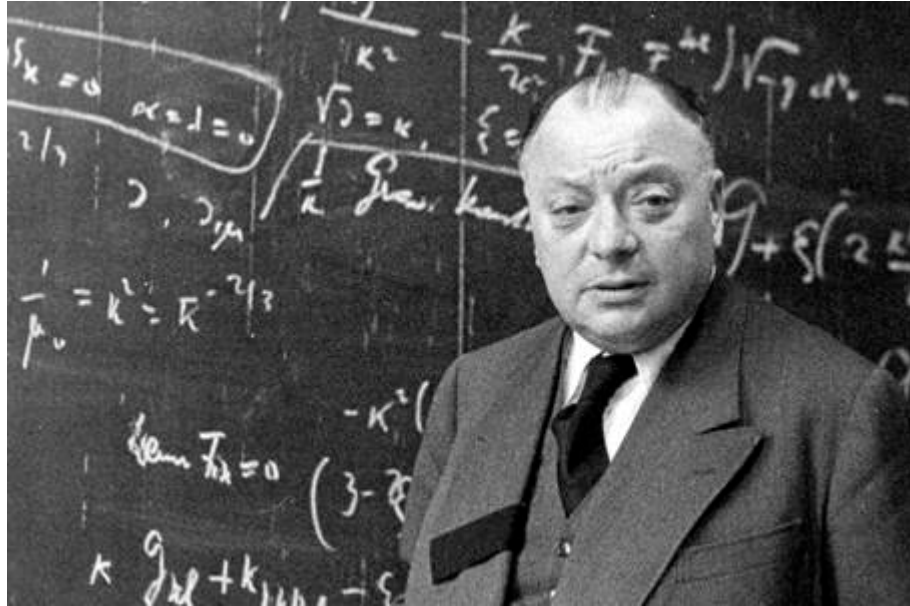
Eugene Paul Wigner (teoria dei gruppi e fisica atomica)



Richard Feynman (approccio spaziotemporale alla meccanica quantistica)



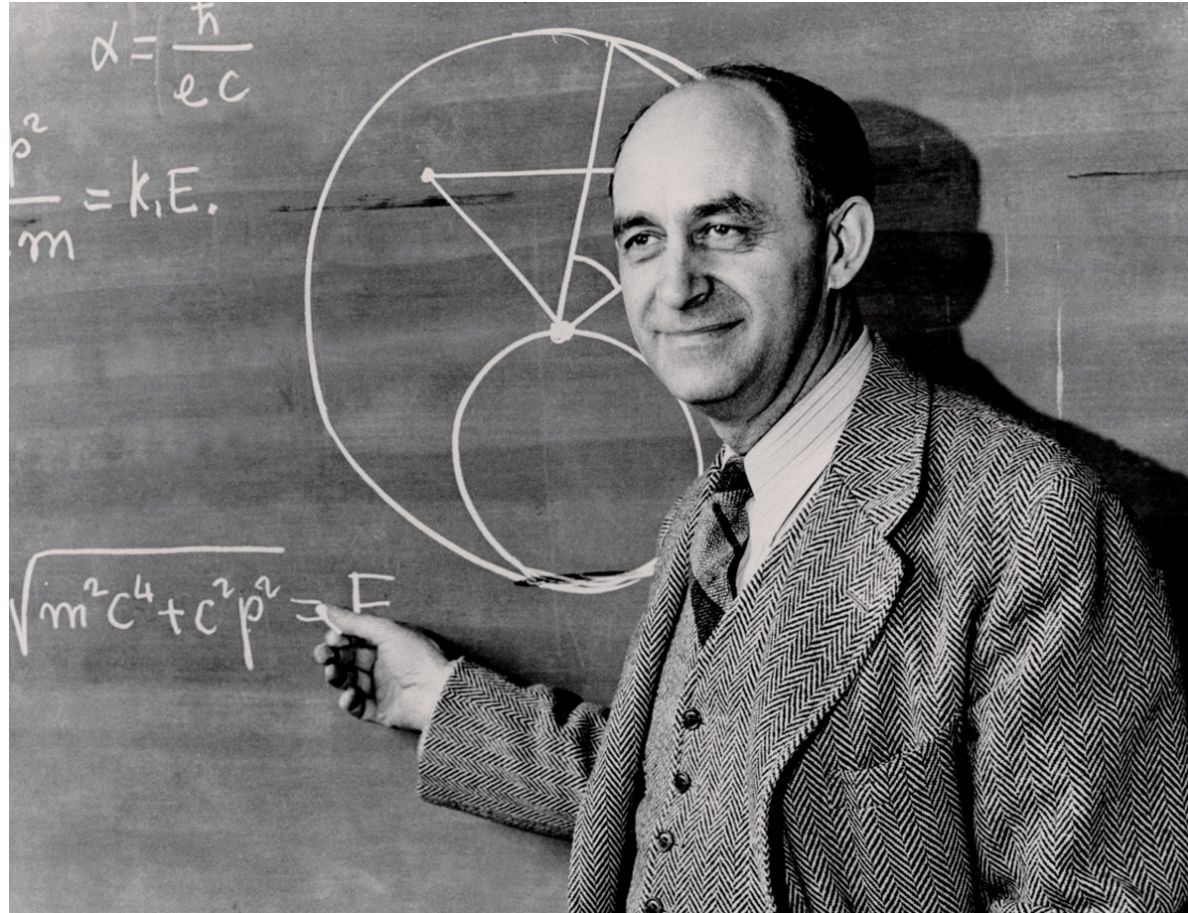
Wolfgang Pauli (meccanica quantistica e particelle)



Ludwig Boltzmann (meccanica statistica)



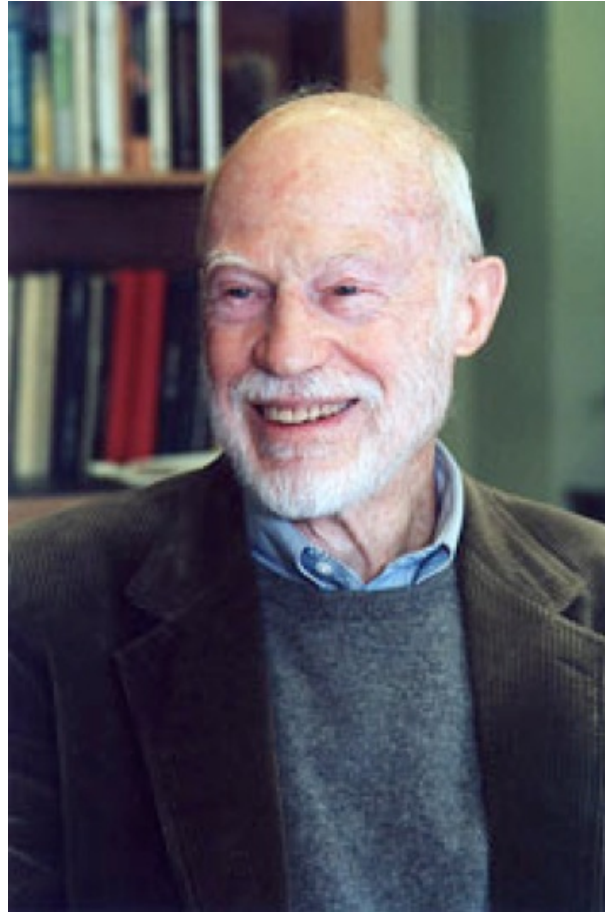
Enrico Fermi (padre della fisica moderna in Italia, teorico e sperimentale completo)



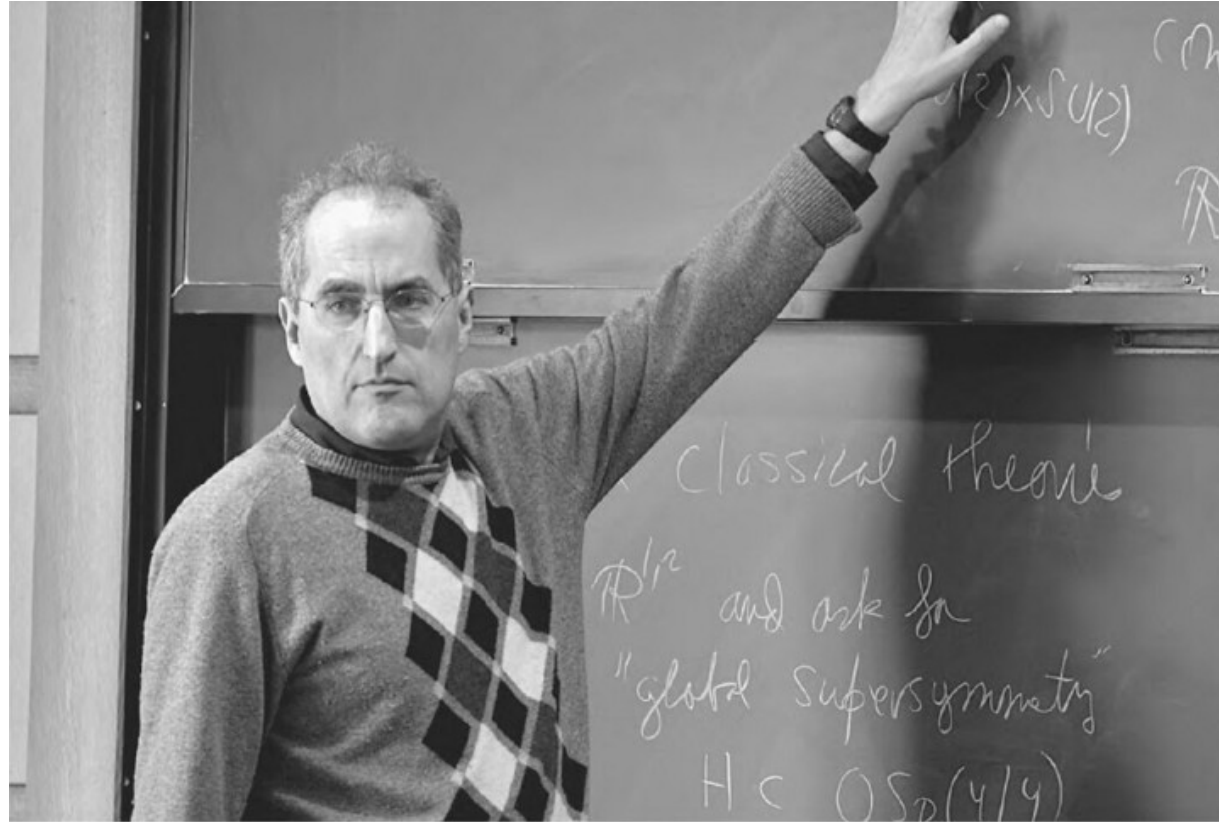
Ettore Majorana (rappresentazioni unitarie del gruppo di Lorentz)



Bryce Seligman DeWitt (approccio globale alla gravitazione quantistica)



Edward Witten (tra i fondatori della teoria delle stringhe)



Edward Witten at the Institute for Advanced Study (Photo by Cliff Moore)

Stephen Hawking (singolarità cosmologiche e singolarità nei buchi neri)



Roger Penrose (collasso gravitazionale, spinori e twistori)



Sofia Kovalevskaya (anelli di Saturno e equazioni iperboliche)



Marie Curie



Emmy Noether (simmetrie e leggi di conservazione)



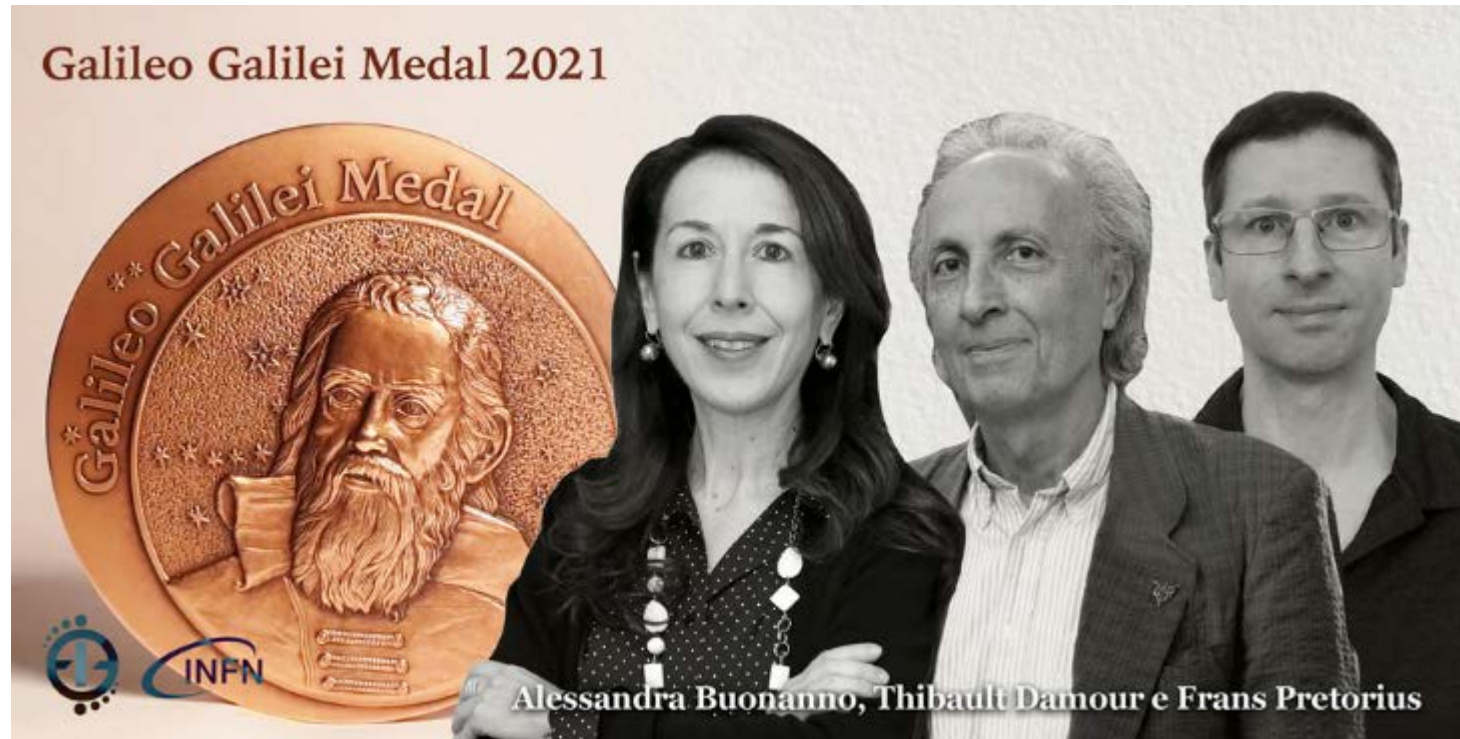
Lise Meitner (premio Enrico Fermi nel 1966)



Yvonne Choquet-Bruhat (equazioni di Einstein con dati iniziali non analitici)



Alessandra Buonanno (medaglia Galileo nel 2021)



Sabrina Pasterski (simmetrie asintotiche e olografia celeste)



E al tirar delle somme ... Benvenuti!

