

Fisica delle interazioni nucleari forti a Perugia: un racconto di due macchine



A.D. 1308
unipg
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

Matteo Rinaldi, Sergio Scopetta



Perugia, Convegno del dipartimento, 11/01/2022

A.D. 1308
unipg

DIPARTIMENTO
DI FISICA E GEOLOGIA 11/01/22

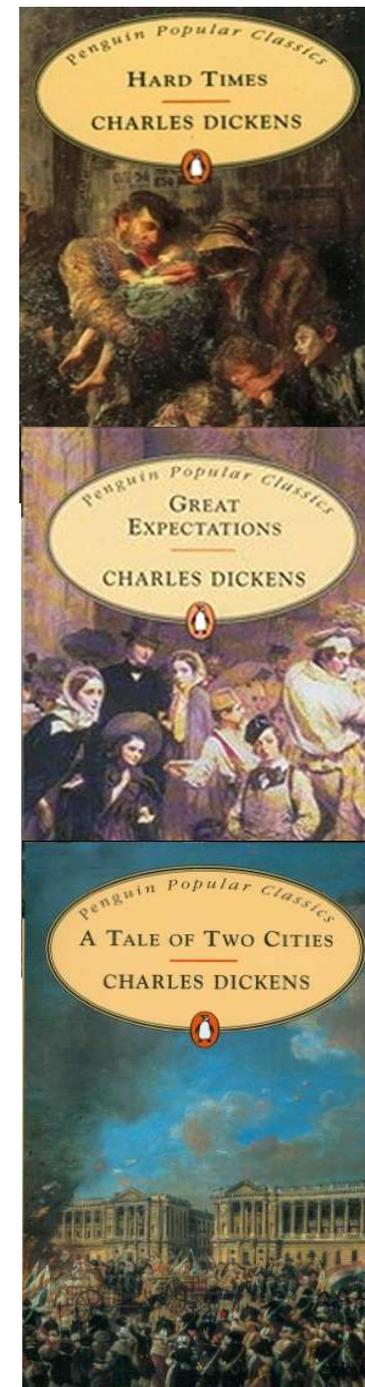
Indice

La fisica nucleare teorica oggi: il mio punto di vista

- *Hard times* : difficoltà nel progresso della conoscenza nel campo. Problemi:
 1. sperimentale: raccogliere i dati "giusti"
 2. computazionale: hardware e algoritmi

- *Great Expectations: A tale of two machines*:
 1. Electron Ion Collider:
un nuovo acceleratore a BNL, USA
(lavoro per questo da 30 anni)
 2. il D-wave quantum annealer: un Q-computer
(lavoro su questo, poco, da 4 mesi)

- impatto atteso per la ricerca del Dipartimento in relazione a "ambiti esistenti" e "ambiti nuovi" previsti nel piano triennale

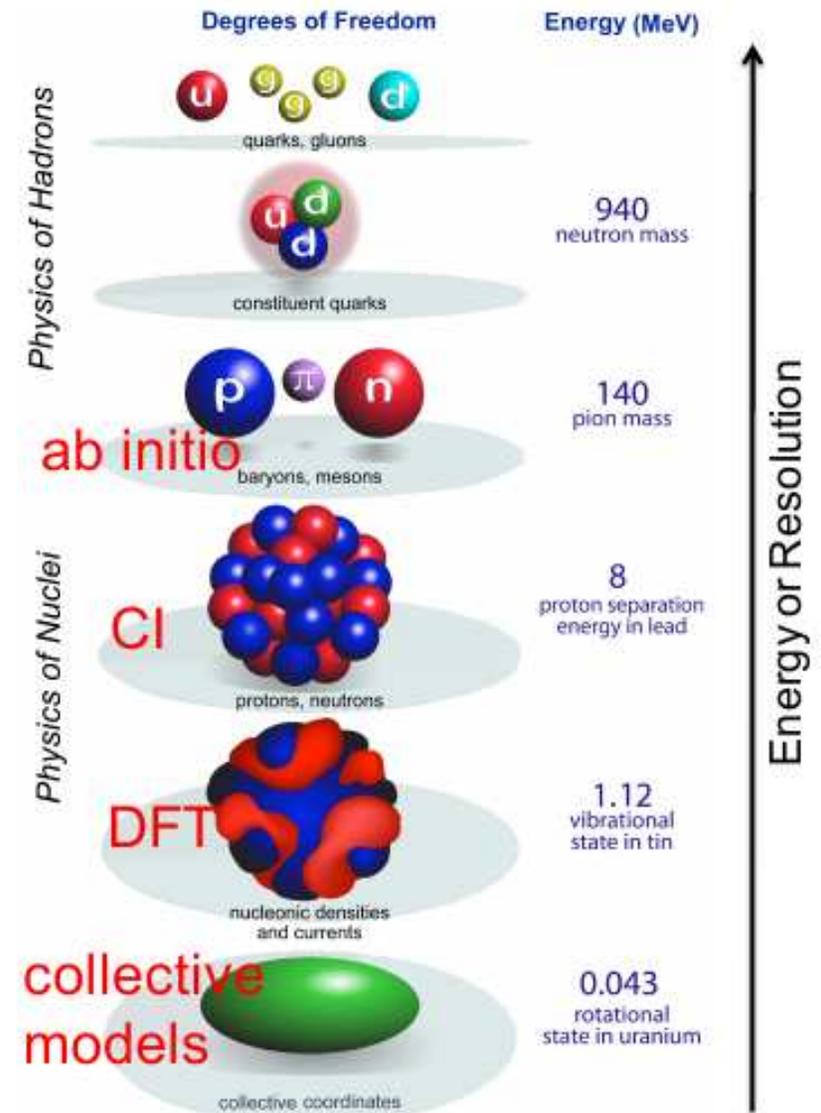


Le interazioni nucleari forti

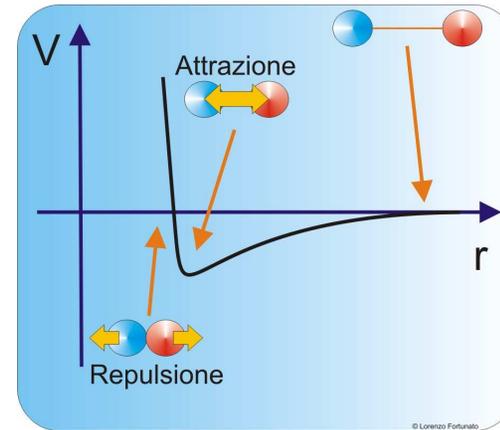
Le più intense, le più nascoste

Pietre miliari:

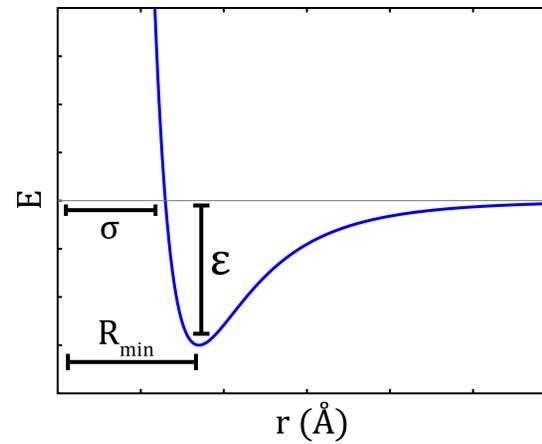
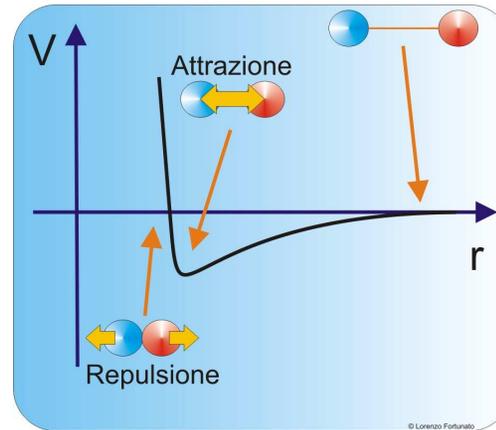
- * 1911 - scoperta del nucleo → interazioni forti
- * 1934 - scoperta del neutrone → Fisica Nucleare
- * 1941 - 1945 prime applicazioni
- * anni '50 - il potenziale nucleare;
molte “nuove” particelle (adroni)
- * 1964 - modello a quark
- * 1974 - La teoria (QCD): Dai quark all'Uranio ???



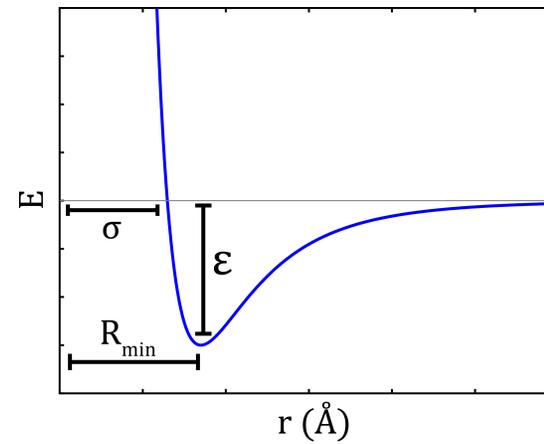
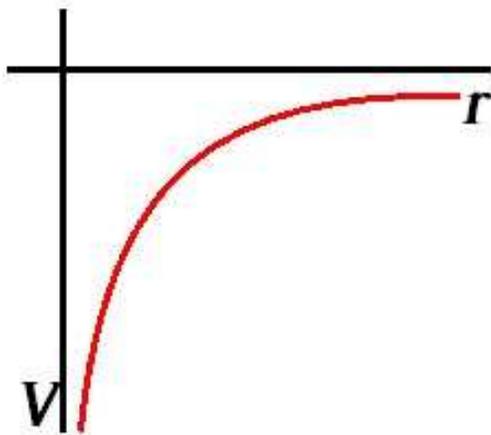
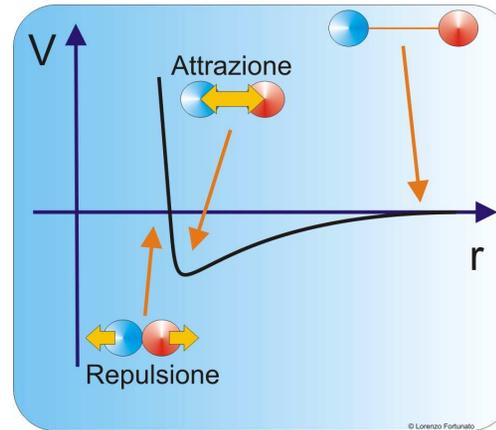
Interazioni forti vs elettromagnetiche



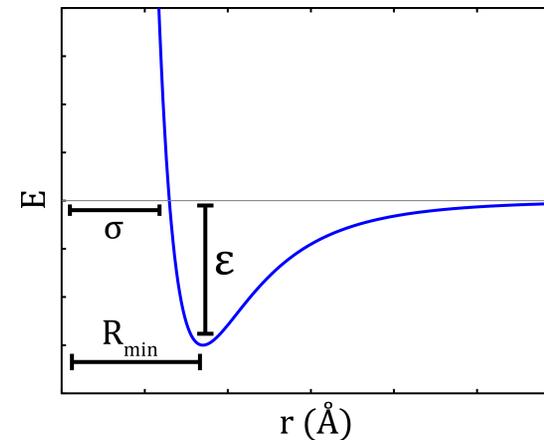
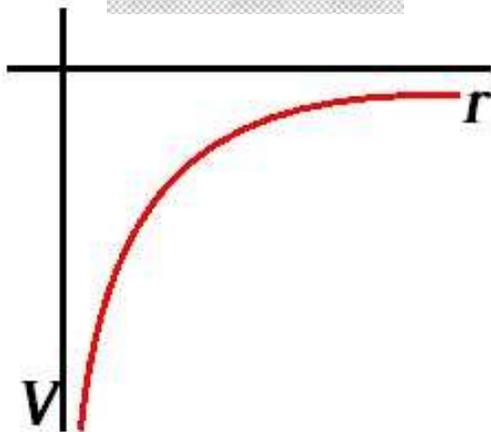
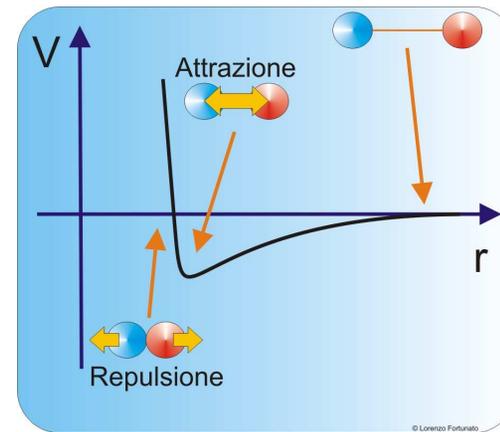
Interazioni forti vs elettromagnetiche



Interazioni forti vs elettromagnetiche



Interazioni forti vs elettromagnetiche

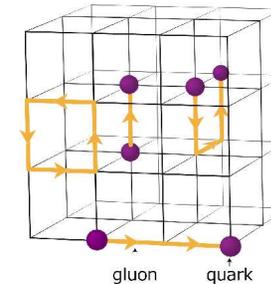
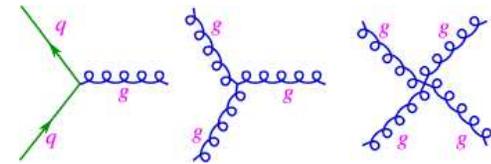


Potenziale = Conoscenza? Un altro punto di vista è possibile?

I potenziali Nucleari "realistici" (anni '90) descrivono quaranta configurazioni di L, S e Isospin e riproducono circa 5000 dati sperimentali con $\chi^2 / \text{dato} \simeq 1$, usando circa 40 parametri

Il punto di vista della QCD

- Una teoria: dettata dalle simmetrie delle interazioni descritte, usa i gradi di libertà fondamentali (quark e gluoni) → regole per ampiezze di probabilità di reazioni
- Problema pratico: la QCD non consente un approccio *perturbativo* a basse energie → *modelli* (almeno una simmetria non soddisfatta)
- Un approccio rigoroso? *QCD su reticolo*: discretizzazione dello spazio-tempo su un reticolo di passo "a". Esatta se "a" tende a zero: tempo computazionale infinito (sarà vero? Problema *complicato* o *complesso*?)
- Stato dell'arte di QCD su reticolo: non si ottiene, da p e n , il deuterio, ${}^2\text{H}$.

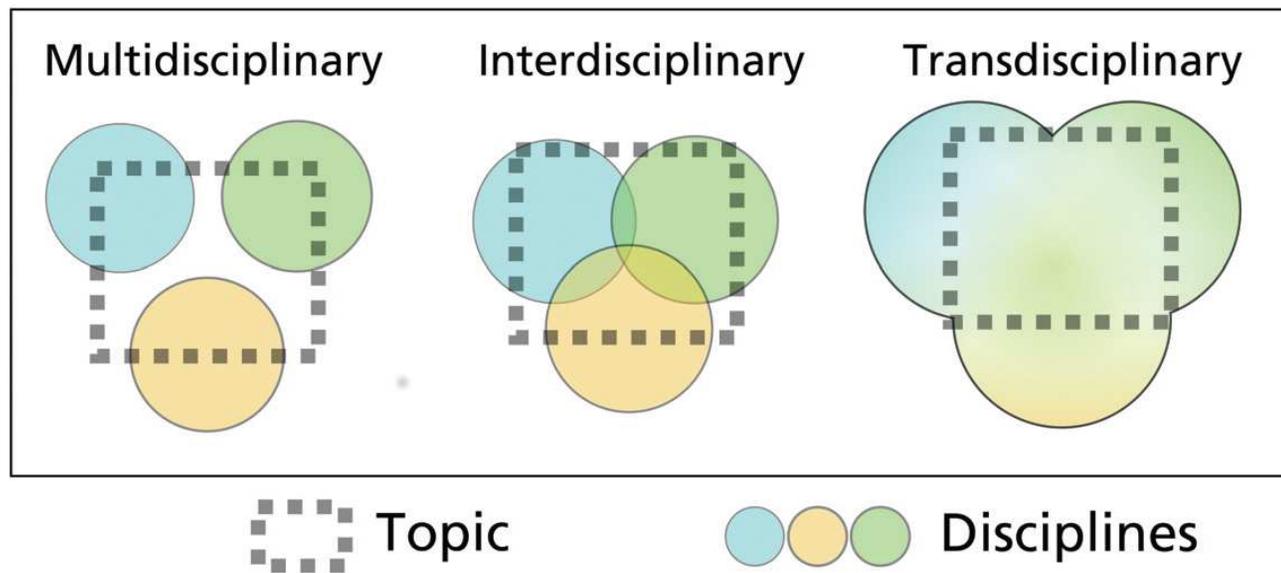


Non bruciano le stelle. Non c'è nucleosintesi primordiale. *Non ci siamo noi.*

Potremmo forse dedicarci ad altro aspettando idee e macchine ma...

La Conoscenza (?)

Multiple disciplinary



...Io non so se e' vero ma... So che è divertente: incontri del "Team Complessità", coordinato da Pier Luigi Gentili, in seguito ad uno dei "brainstorming" di Ateneo

La Fisica senza Fisica Nucleare???

Esempi in ordine sparso pensando a Perugia:

- Astrofisica: evoluzione stellare senza sezioni d'urto elementari?
→ Sara, Maurizio...
- GW : merging di stelle compatte senza e.o.s?
→ Virgo, ET, esp e teoria...
- LHC: nuova fisica da pp , pA senza conoscere la struttura del protone?
→ CMS, LHCb...
- Adroterapia? → Leonello & C
- Raggi cosmici? → Bruna, Nicola & C
- ...

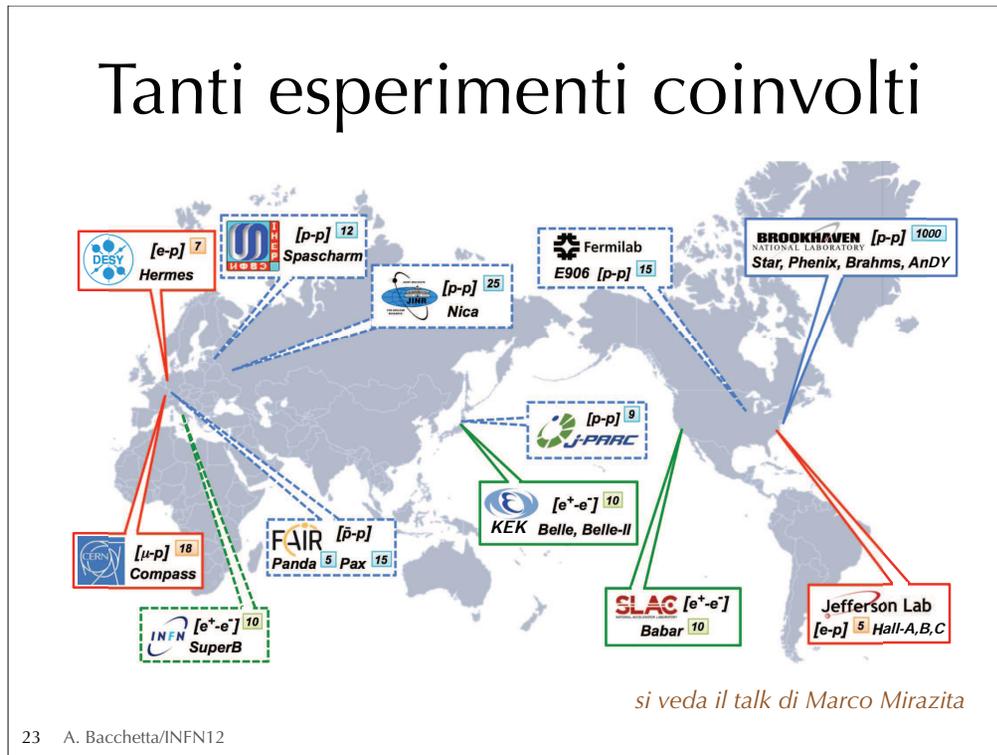
In attesa di idee grandiose...

Servono almeno modelli, e calcoli, i migliori possibili → problema computazionale

... E misure, il piu' possibile dedicate → problema sperimentale

Gli esperimenti: non è che non ci siano...

Tanti esperimenti coinvolti

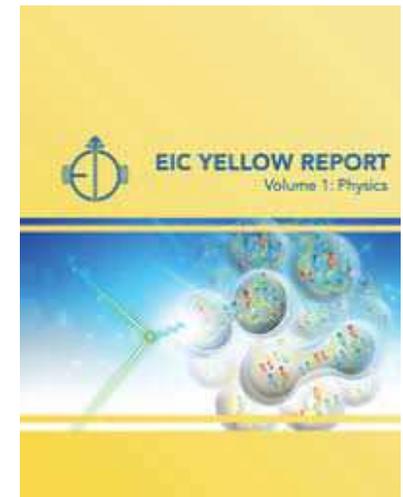
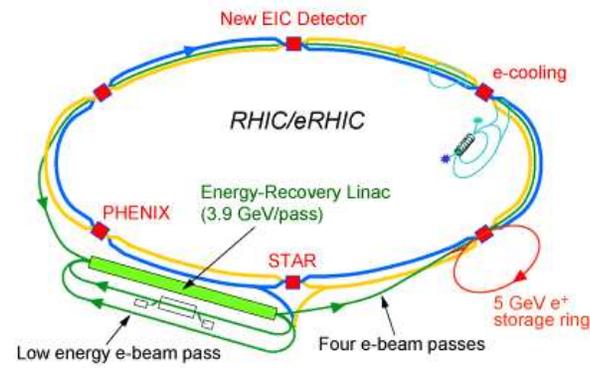


- Esempio LHC: tanta fisica adronica, ma non pensato per quello
- JLab (ep, eA): (1990 - 2030 ?) tanta luminosità, poca energia
- RHIC, BNL (pA, AA): (2000 - 2030 ?) tanta energia, poca luminosità

Luminosità: proporzionale a densità di particelle in fasci e bersagli, necessaria per individuare eventi poco probabili in un processo con molti eventi probabili

Great expectations I: l' Electron Ion Collider ($e\vec{A}$)

- A BNL (NY); sito scelto a gennaio 2020
Oltre 2 G\$ di investimento
- Progetto globale: 1000+ users,
180+ istituzioni, 30+ paesi
- INFN: 13 sezioni, 3 commissioni coinvolte
(I,III (EICNET),IV (NINPHA));
- Lo sviluppo naturale della nostra ricerca.
“Yellow Report” (arXiv:2103.05419): \simeq 300 autori, 1000+ pagg
Perugia: SS, M. Rinaldi, Sara Fucini (ora a Paris-Saclay)
Contributo essenziale a vari WGs
- EIC citato nella “European Strategy for Particle Physics Update”,
per l’impatto sulla fisica del CERN
(Halina Abramowicz, Cern Council, 19/06/2020)



$$L = 10^{34} p s^{-1} cm^{-2}; eA \text{ con } A = H, He...Au, Pb, U; \sqrt{s_{ep}} \simeq 20 - 140 \text{ GeV}$$

EIC: la mia macchina preferita?

In realtà me ne piacciono varie... Eccone alcune del 1967:



EIC: la mia macchina preferita?

In realtà me ne piacciono varie... Eccone alcune del 1967:



EIC: la mia macchina preferita?

In realtà me ne piacciono varie... Eccone alcune del 1967:



EIC: la mia macchina preferita?

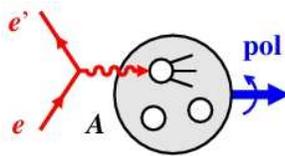
In realtà me ne piacciono varie... Eccone alcune del 1967:



Tecnicamente: la Miura è più pericolosa ma il 451c ne ammazza di più

EIC: la mia macchina preferita?

- 1996: nostro preprint: per la prima volta parliamo di un EIC:
tagging: misurare qualcosa per etichettare altro



rifiutato da PLB.

- 2020-2021: EIC si fa! Nemesis: per la stesura dello YR, WPS:
inclusive, semi-inclusive
exclusive, tagging and diffraction,
heavy quark and flavor

- Abbiamo esperienza, modelli, strumenti (codici).
Capiamo (un po') di nuclei e (un po') di adroni.
La gente lo sa e ci cerca.

- *Si alza il vento (?)*

Tagging nucleon structure functions by heavy particle detection in deep inelastic electron-ion scattering

C. Ciofi degli Atti, L.P. Kaptari¹, and S. Scopetta²,

¹Department of Physics, University of Perugia and
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Perugia,
Via A. Pascoli, I-06100 Perugia, Italy

Abstract

It is shown that in deep inelastic electron - ion collisions the detection, in coincidence with the scattered electron, of a nucleus $A - 1$ in the ground state, as well as a nucleon and a nucleus $A - 2$ also in the ground state, may provide unique information on several long standing problems, such as the origin of the EMC effect, the possible medium modifications of the nucleon structure functions, and the nature of Nucleon-Nucleon correlations.

PACS: 13.40.-f, 21.60.-n, 24.85.+p, 25.60.Gc

KEYWORDS: semi-inclusive reactions; nucleon structure functions; medium effects

arXiv:nucl-th/9609062v1 27 Sep 1996



EIC: per vedere come va a finire

Attese risposte definitive su:

● *spin crisis*: come emerge lo *spin* del protone?

(0)

$$\frac{1}{2}\Sigma + L_q + J_g = \frac{1}{2}$$

● *EMC effect*:
come si deforma un protone nel nucleo?



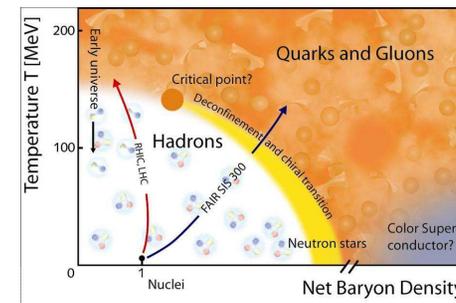
● *struttura del neutrone*: decisiva per studi fondamentali di QCD

● *mass of the proton*: come emerge la massa del protone da quella dei costituenti?

● *Color Glass Condensate*: esiste?

Ottavo stato della materia condensata.

Possibile presenza nel *core* delle stelle compatte



EIC e PG

La cresciuta visibilità ha portato riconoscimenti concreti:

- UE: da “infraia” STRONG2020, 1 year postdoc 
- INFN: 1) (co)finanziamento per RTDA; 2) borsa postdoc per teorici stranieri, biennale: Rajesh Sangem, a Perugia da Giugno. 3) organizzazione scuola di Ph.D. al GGI, Firenze, “Frontiers in Nuclear and Hadronic Physics”
- UNIPG?

Inquadramento nel **PTSR** e (possibili) Sinergie:

- negli ambiti “esistenti” * 4 - *Fisica teorica delle interazioni fondamentali*; * 1 - Astrofisica nucleare (Matteo già “partecipa” all’esperimento “Pandora”) * 3 - Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali (LHC e non solo...) * 5 - raggi cosmici?
- negli ambiti “nuovi”, potenzialmente: * 6 - Astronomia multimessenger: progetto di dottorato latente in collaborazione con F. Pederiva (TN) su stelle compatte; * 3 - *Data Science...* Con questo, siamo già alla seconda *grande speranza...*

Fisica delle interazioni nucleari forti a Perugia: un racconto di due macchine – p.13/22

Great Expectations II - seconda macchina

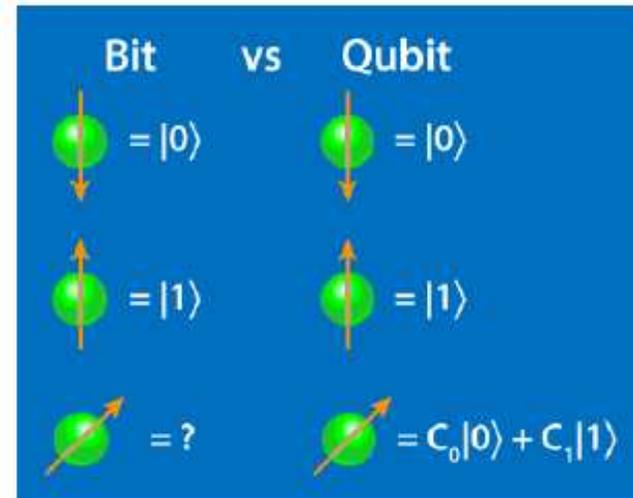


Quantum computing

Nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical

Novità essenziali:

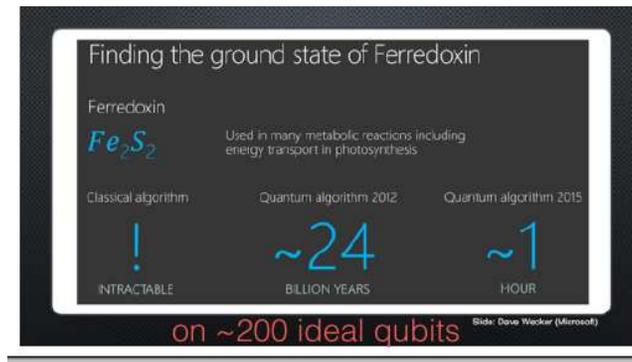
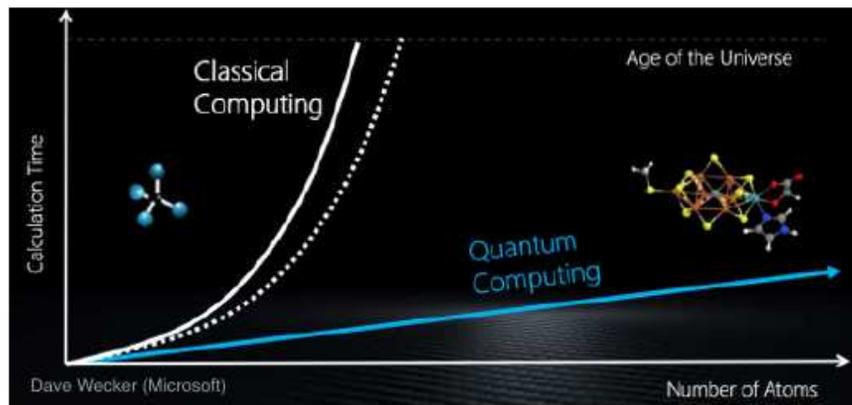
- **sovrapposizione:** CC: n bit, 2^n stati;
QC: n qbit, uno *spazio vettoriale complesso* di dimensione 2^n .
- **entanglement:** in QC, la maggior parte dei qbit correlati in modo irriducibile (non fattorizzabili in qbit indipendenti)



QC: perché? Un solo aspetto

La “difficoltà” esponenziale diventa polinomiale

Da Chimica (o Fisica) computazionale:



- L'ultimo nato IBM ha 127 Qbit (e voi lo potete usare) ! Ma non sono *ideali*
- Attenzione: c'è un problema di “rumore” (*hardware*) e un problema di algoritmi (*software*)
- Chi li implementa? D-wave, Fujitsu (*Q-Annealer*), IBM, Google, Amazon, Rigetti, Honeywell (*Gate-oriented, multipurpose...*) L'Europa???
- Il QC sa fare quello che gli consente il meccanismo microscopico su cui si basa (SC, trappole ioniche, fotonica...)

Impatto sociale: un primo esempio

- Un calcolo che richiede 10^6 $d \simeq 2700$ *y* *idealmente* potrebbe richiedere $6^n = 6, 36, 216...$ d “Shor Q-algorithm” per fattorizzazione in primi: da esponenziale a polinomiale. Tecniche di crittografia *idealmente* in pericolo
- IDEALMENTE. Ma... Finanza: cambiare la tecnica di crittografia richiede anni... Molte compagnie sono già nell’epoca *post-quantum*

NETWORKWORLD
FROM IDG

Home » Security

INSIDER

Quantum computing will break your encryption in a few years

Forbes

Billionaires Innovation Leadership Money Consumer Industry Lifesty

38,753 views | Feb 24, 2019, 09:11pm

Why Quantum Computing's Time Is Now

WSJ OPINION

Subscribe | Sign In

Join for £1

Europe Edition | July 30, 2019 | Print Edition | Video

Home World U.S. Politics Economy Business Tech Markets Opinion Life & Arts Real Estate WSJ Magazine

SHARE

OPINION | COMMENTARY

The Computer That Could Rule the World

To understand the power of quantum computing, imagine 1,000 Equifax hacks happening at once.

TEXT



QC e noi

- **L'INFN** è molto sensibile al tema.
Call in primavera 2021. Obiettivo: **Generazione Quantum-ready**:
formare il personale dipendente e associato attraverso l'utilizzo di un D-wave *Quantum annealer* della collaborazione D-wave/CINECA, stabilita dal consorzio **Q@TN** che coinvolge INFN, FBK, UNITN e CNR a Trento.
- Siamo partiti da un problema emergente in fisica subnucleare: la soluzione di equazioni che descrivono stati legati relativistici (equazione di Bethe-Salpeter).
Formulato il progetto “**Generalized eigenvalue problem via a quantum annealer**”.
Approvato!
- Grazie al progetto approvato, abbiamo ottenuto **un'ora** di tempo macchina (che si trova fisicamente in Canada). L'accordo prevede 55 ore mensili su base nazionale per 6 mesi, a partire da Luglio 2021
- **CHI SIAMO**: S. Scopetta (PI) e M. Rinaldi, F. Pederiva (TN), G. Salmè (Roma 1), M. Viviani (INFN Pisa), A. Gnech (JLab, USA), T. Frederico (ITA, S. Paolo, Brasile).
Alcuni sono noti esperti

annealer → QUBO

L'Annealer: risolve solo i QUBO
(Quantum Unconstrained Binary Optimization):

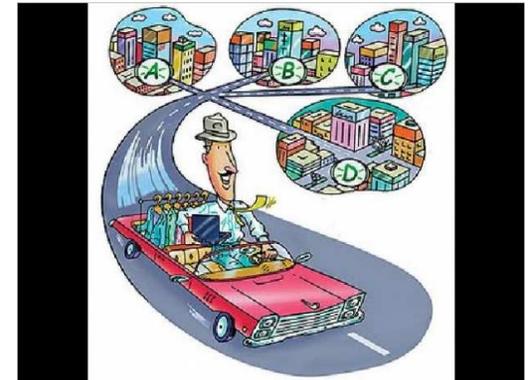
$$\operatorname{argmin}_{x_b \in \{0,1\}} x_b^t \hat{Q} x_b$$

con x_b = vettore binario di lunghezza m , \hat{Q} matrice $m \cdot m$.

Sfida: ricondurre il problema in questione a un QUBO (algoritmo)

attenzione:

- * tutta la dinamica si può ricavare da stabilità di funzionali
- * problema di ottimizzazione tipico...
Vasto interesse applicativo (*exponentially hard*).
Esempio: il problema del commesso viaggiatore



Con la soluzione cercata dovremmo ottenere il valore della costante di accoppiamento necessaria per legare due fermioni con lo scambio di uno scalare, secondo l'equazione di Bethe-Salpeter. Algebricamente: cerchiamo autovalori ed autovettori di matrici complesse non simmetriche

Panorama

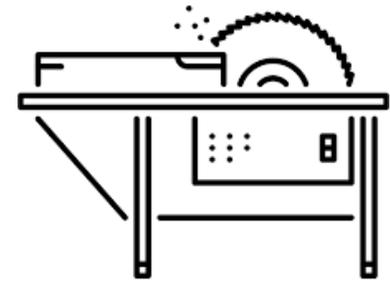


- USA: Si parla di *ECOSYSTEM* for QC
 - * Rete di Università (UW, Caltech, Harvard, MIT...) e Lab nazionali (LANL, ANL, JLAB, LLNL, OAK Ridge...), oltre a *Government Agencies, Technology sector, Investors, Manufacturing sector*
 - * Privato: tra qualche anno 2/3 delle grandi imprese avrà sperimentato QC

- Cina... Non sta a guardare
- INFN - CERN:
Recente meeting
Accesso, per tutti gli associati che ne faranno richiesta, a un IBM Q5 (127 qbit!).
Ho visto forte interesse sperimentale (AI, QGPU, Big data...) e teorico (many-body, LQCD..)
- Italia (a parole?):
“Sviluppare nuovi algoritmi quantistici” è citato letteralmente tra gli obiettivi del PNR 2021-2027 alla voce “Tecnologie Quantistiche”

E a PG?

- Non ho avuto su questo una borsa PON...
Continuiamo così...
- Andiamo avanti...
“Linea di azione 4.4 - HPC” di Ateneo, e le altre...
→ Centro nazionale HPC, partenariato 4.2 del PNRR:
massa critica su QC in Ateneo?
Probabilmente, siamo gli UNICI in ATENEO ad aver messo mano a una macchina fisica
Riunioni: forte interesse suscitato; reazioni da:
Baiocchetti (MAT e INF), De Angelis, Gentili, Lombardi (CHIM)...
Bando DIGITAL-2021-EDIH-01... CLAB... Vedremo
- massima attenzione a quello che succede fuori PG (nei limiti del possibile): INFN, Università del NE... (Centro di HPC nazionale, partenariato).



In generale, pon o no, PG o no, risorse verranno.

Stato di avanzamento...



- Abbiamo riprodotto risultati pubblicati! “A QUBO ALGORITHM TO COMPUTE EIGENVECTORS OF SYMMETRIC MATRICES”
Krakoff et al. (LANL), arXiv:2104.11311 csET (computer science, Emerging technologies)
- Estensione a matrici complesse non simmetriche... Parte originale.
Stato di avanzamento descritto dalla vignetta.
- Il calcolo: un mezzo o un fine?



Lieto (?) fine

Le due macchine corrono...

Meglio starci sopra che correrli dietro...

Lieto (?) fine

Le due macchine corrono...

Meglio starci sopra che correrli dietro...



Tratta dall'albo n. 1352 del 28 Aprile 2016

Nel nostro dipartimento, tanta fantasia...

C'è anche uno sceneggiatore di storie di Topolino!