

Fisica Nucleare (teorica)

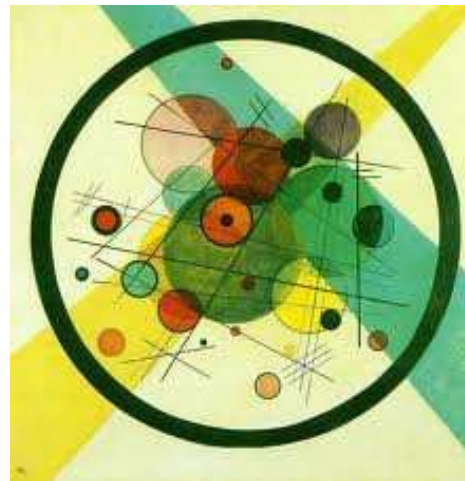
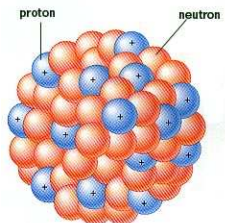


Sergio Scopetta



Perugia, Dipartimento di Fisica, 15/01/13

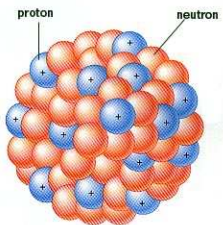
Workshop su “Prospettive future della ricerca INFN”



Indice

La Fisica Nucleare (teorica) in Italia:

- **Alcuni recenti sviluppi
nelle 4 linee di ricerca prevalenti**
- **Produzione scientifica della comunità**
- **Evoluzione temporale**



Incontro di Catania, due mesi fa

Teorici (Gr. IV, linea 3) e sperimentali (Gr. III) insieme: normale

Incontro Nazionale di Fisica Nucleare
12 - 14 novembre 2012
Laboratori Nazionali del Sud, Catania

Artwork by Claudio Federici / Lab. Naz. Frascati INFN Copyright © 2011 INFN - All Rights Reserved

Temperatura T (MeV)
Densità Barionica netta

Universo Iniziale
Punto critico?
Gluoni e Quarks
Adroni
Nuclei
Stelle di neutroni
Superconduttività di calore?

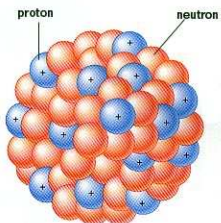
Comitato Organizzatore
Clementina Agodi (LNS)
Maria Colonna (LNS)
Angela Gargano (NA)
Paola Gianotti (LNF)
Alessandra Guglielmetti (MI)
Alejandro Kisevsky (PI)
Silvia Lenzi (PD)
Daniel Napoli (LNL)
Marco Radici (PV)
Patrizia Rossi (LNF)
Eugenio Scapparone (BO)
Enrico Vigezzi (MI)

Comitato Organizzatore Locale
Marco La Cognata (LNS)
Edoardo Lanza (CT)
Agatino Musumarra (LNS)
Sara Pirrone (CT)
Giuseppe Verde (CT)

Segreteria
Gaetano Agnello (LNS)
Annalinda Magri (CT)
Virginia Potenza (LNS)

Sperimentali e teorici di fronte alle nuove sfide della fisica nucleare

www.ins.infn.it/link/fisicanucleare2012

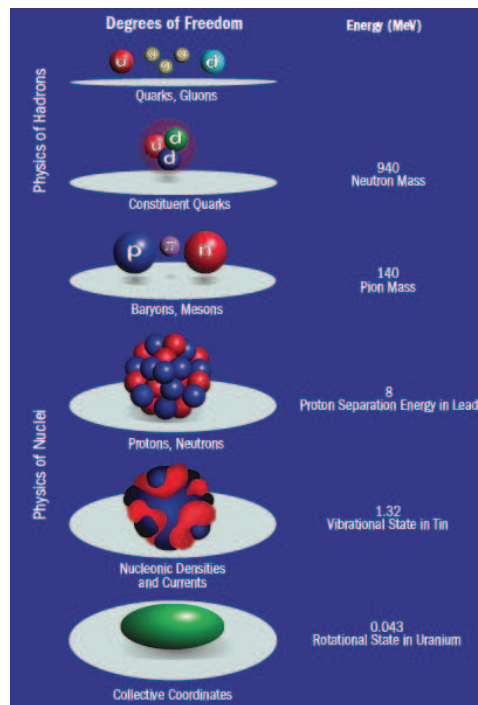


varie diapositive da talk di L. Marcucci (PI), G. Colò (MI), N. Itaco (NA), A. Bacchetta (PV), V. Greco (CT): grazie a loro

1 - Struttura Nucleare

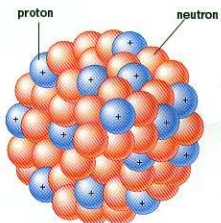
Nel nucleo avviene di tutto: bellissimo sistema per un teorico

The domain of low-energy nuclear physics



- Clear separation between the nucleon scale and the nuclear scale.
- On the nuclear scale, there exist phenomena associated with different degrees of freedom (single-particle or collective).
- Different densities and shapes are involved.
- Challenge: a unified description or (more realistically) an increase of predictive power through cross-comparison of models.

Figure from: G.F. Bertsch, D. Dean, W. Nazarewicz, SciDAC Review (2007).



Scegliere con saggezza i gradi di libertà! (come sempre...)

1 - Struttura nucleare: - metodi “esatti”

Introduction: *ab-initio* ... ?

A-nucleon system

↔

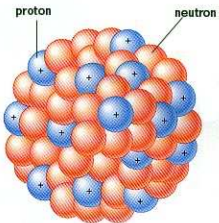
$$H = T + \sum_{i<j} V_{ij} + \sum_{i<j<k} V_{ijk} + \dots$$

Observable X

Ab-initio method and *Ab-initio* results^[1]

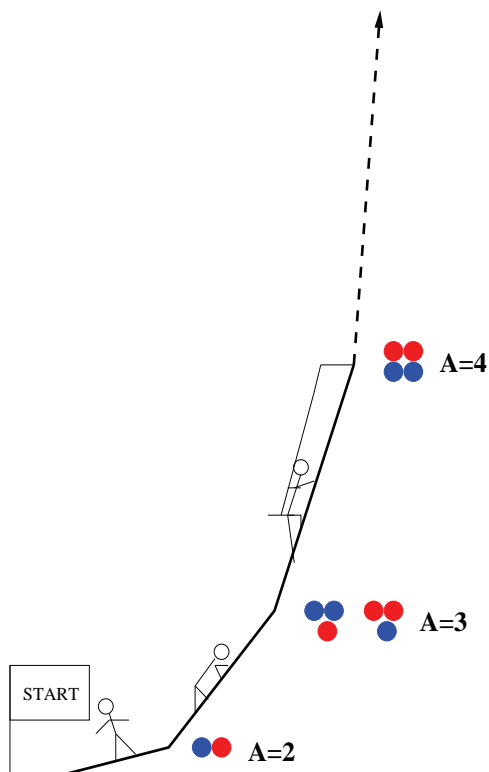
- *Ab-initio* method → obtain X by solving the relevant quantum many-body equations, without any uncontrolled approximation
- controlled approximations are allowed (expansion on a certain basis)
→ converged results = *ab-initio* results
- comparison of *ab-initio* results obtained with different *ab-initio* methods → **benchmark calculations**
- comparison of *ab-initio* results with data → **test of H**

[1] W. Leidemann and G. Orlandini, Progr. Part. Nucl. Phys. in press

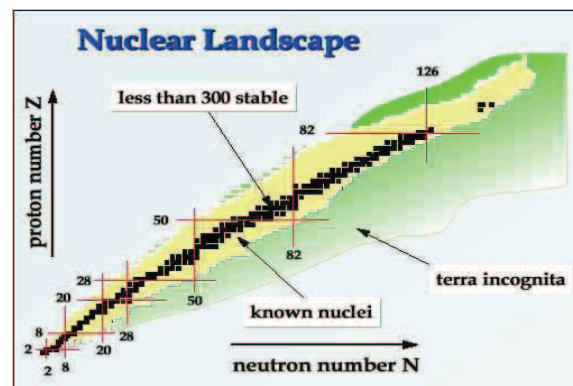


1 - Un problema classico: i pochi corpi

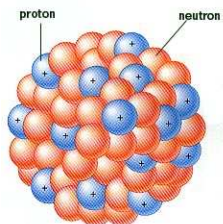
Few-nucleon systems



Few-nucleon systems \leftrightarrow *ab-initio* methods
 $A \leq 12 \rightarrow A \leq 4$



- ideal “laboratory” to test H
- nuclear reactions for astrophysics



Studiato nelle sezioni di PI, TN, PD, LE, Roma, (PG)...

1 - Un problema classico: i pochi corpi

Ab-initio methods

Bound-states

$A \leq 4$ “Faddeev” methods: F/FY - AGS

Variational methods: GEM - SVM - RGM - **Hyperspherical
Harmonics (HH) Method**

“Effective interaction” methods: NCSM - EIHH - CC

Monte Carlo methods: VMC - GFMC

$A > 4$ NCSM, VMC/GFMC, CC, EIHH

.....

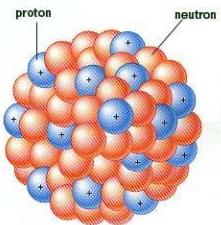
Scattering-states: “direct calculation”

$A \leq 4$ F/FY, AGS, **HH**

$A > 4$ NCSM/RGM, CC

Scattering-states: “bound-state formulation”

$A = 3, 4, 6, 7$ **Lorentz Integral Transform (LIT)**



Applicazioni fondamentali in astrofisica nucleare e fisica adronica

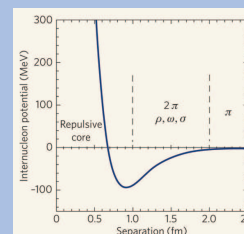
1 - Se i corpi sono *molti*: metodi *approssimati*

Problema specifico nel caso nucleare: il potenziale a 2 corpi è complicato, quello a 3 corpi elusivo

Potenziali realistici nucleone-nucleone: V_{NN}

Differenti potenziali realistici $\chi^2/datum \simeq 1$:
CD-Bonn, Argonne V18, Nijmegen, ...

Forte repulsione
nel corto range



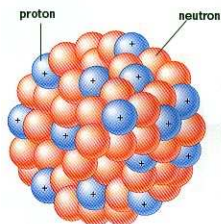
Come trattare la repulsione di corto range ?

- matrice G di Brueckner
- potenziali NN di basso momento
 - V_{low-k} di Tom Kuo
 - potenziali chirali: p.e. N^3LO di Entem & Machleidt (talk di L. Girlanda)



Nunzio Itaco

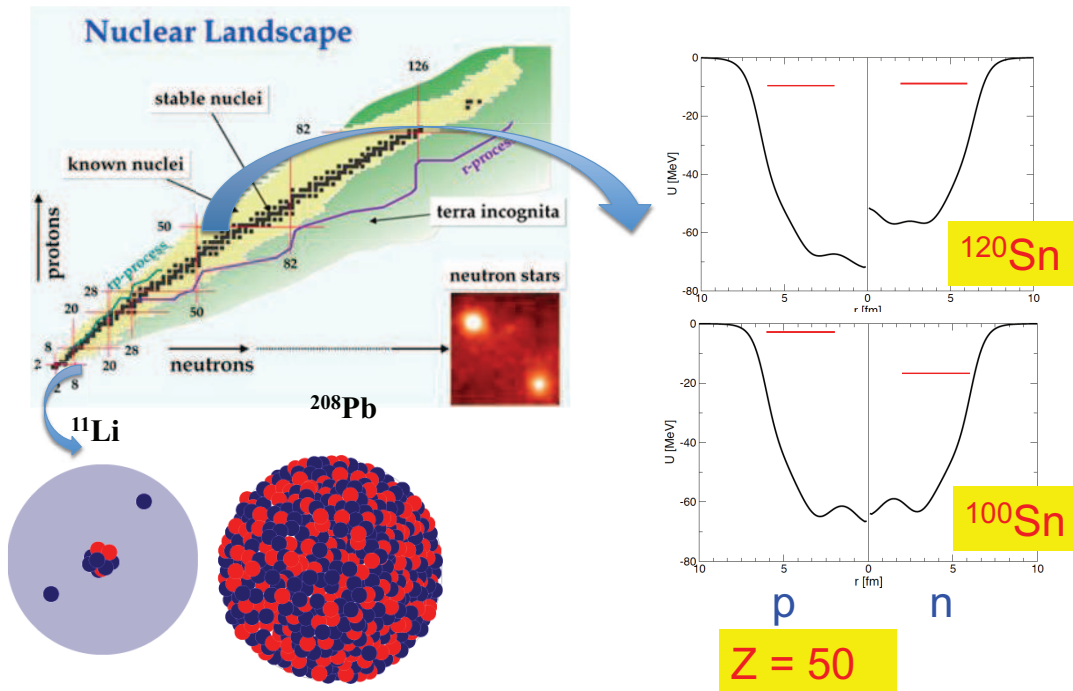
Catania 2012



Un classico, studiato a Roma, PI, CT, MI, LE, FE, NA, TO, (PG)...

1 - Meno classico: stati esotici!

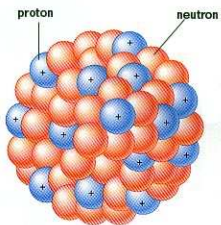
Why exotic nuclei (in pictures...)



Agli studenti si insegna: raggio nucleare = $R_A \simeq 1.2A^{1/3}$ fm.

Ma: $R_{^{11}\text{Li}} \simeq R_{^{208}\text{Pb}}$ (e non 3 volte più piccolo!)

Come sta insieme il ^{11}Li ? *halo nucleus*...



1 - Altri esotici!

Struttura del ^{22}C

^{22}C è il nucleo Borromeo più pesante mai osservato

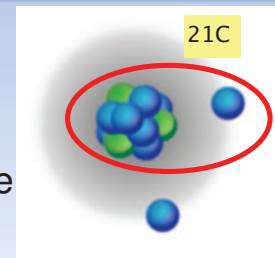


Si definisce Borromeo un nucleo debolmente legato che se considerato come un sistema a tre corpi non ammette l'esistenza di stati legati per i suoi sottosistemi binari

^{22}C è debolmente legato

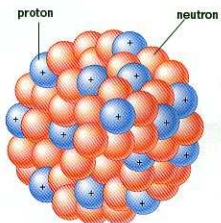
$$S_{2n} = 420 \pm 940 \text{ keV}$$

^{21}C è instabile per emissione di un neutrone



Nunzio Itaco

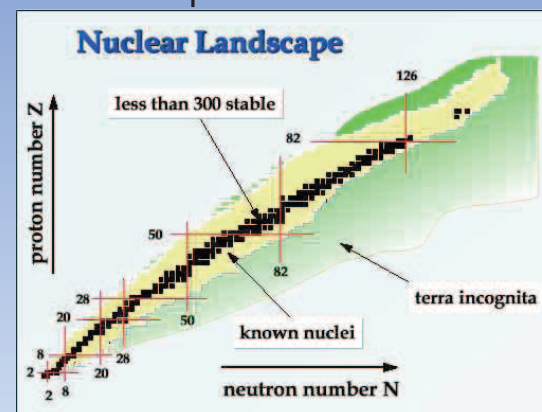
Catania 2012



Applicazioni fondamentali in studi di fusione nucleare: astrofisica e tecnologia

1 - Studiare gli esotici: RIBs (Rare Isotope Beams)

Facilities sperimentali basate sull'utilizzo dei fasci radioattivi \Rightarrow informazioni su isotopi in prossimità delle drip-lines

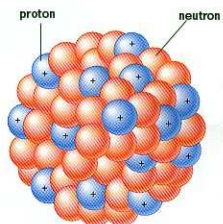


- posizione delle drip-lines
- proprietà di nuclei debolmente legati
- evoluzione delle proprietà al variare di N/Z
- shell-quenching
- nuovi numeri magici



Nunzio Itaco

Catania 2012



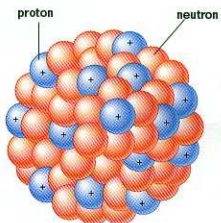
Esempio, Isolde (CERN): 600 nuclei da 70 elementi

1 - RIBs: non solo esotici...

- SPES (premio INFN)@LNL
- KORJA (Corea del Sud), 50 volte SPES (!)
- GANIL (FR)
- FAIR (GSI, Germania)
- Ithemba (Sudafrica)
- ...

Molto importante anche per la fissione di nuova generazione...

Cosa che non ci riguarda.



2 - Astrofisica nucleare (→ vedi M. Busso)

Misure: Luna (premiata INFN), Erna, LNS...

del lavoro a fianco,
7 autori (su 50)
sono INFN
(teorici e sperimentali)

REVIEW OF MODERN PHYSICS, VOLUME 83, JANUARY-MARCH 2011

Solar fusion cross sections. II. The pp chain and CNO cycles

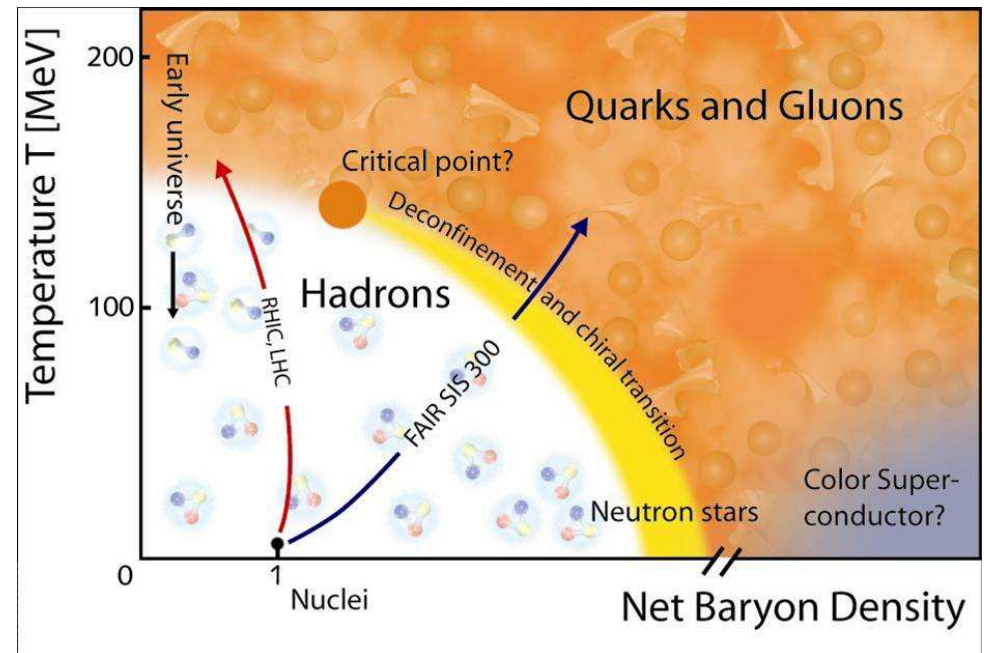
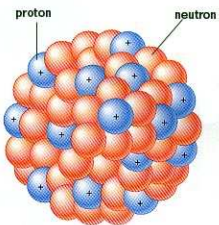
E. G. Adelberger, A. García, R. G. Hamish Robertson, and K. A. Snover
Department of Physics and Center for Experimental Nuclear Physics and Astrophysics,
University of Washington, Seattle, Washington 98195, USA

● **Few-Body** →
→ reazioni nelle stelle

Calcoli:
PI, CT, Na...

● **Many-Body** →
→ stelle compatte

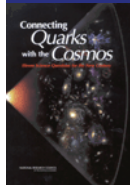
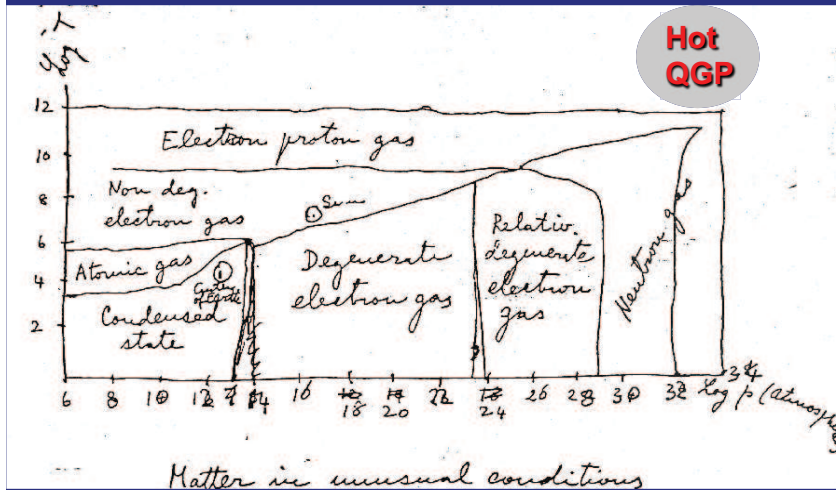
Calcoli:
PI, CT, FE, TO, TS...



3 - Quark Gluon Plasma

Matter under extreme conditions...

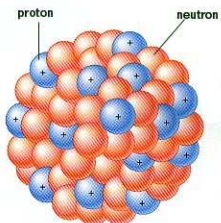
Fermi Notes on Thermodynamics



Eleven Science Questions for the New Century

RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES...

No. 7 - What Are the New States of Matter at Exceedingly High Density and Temperature? QGP is at $T > 10^{12}K$ and $\rho > 10^{40} \text{ cm}^{-3}$



3 - Quark Gluon Plasma

Phase Transition: from the hadronic side

- Hagedorn: density of hadronic states $\rho(m)$ grows exponentially

$$\rho(m) = Cm^\alpha e^{m/T_0}$$

fit to exp. data $T_0=160$ MeV

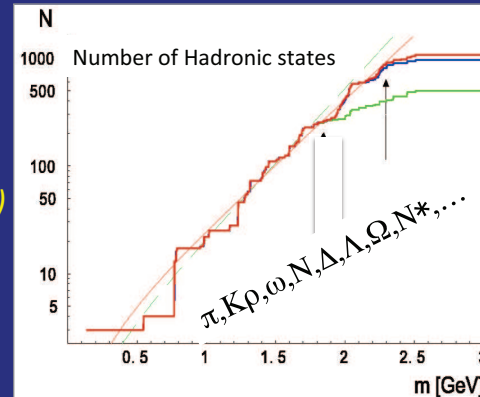
T_0 is called Hagedorn *limiting temperature (1965)* for an hadronic system (no quarks at that time)

Perche'?

Partition function for a gas of hadrons, $m \gg T$

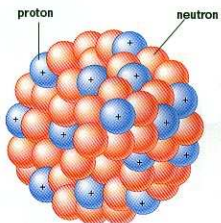
$$\log Z(T, V) \propto \int_{m_0}^{\infty} dm m^{3/2} \rho(m) e^{-\frac{m}{T}} \propto \int_{m_0}^{\infty} dm m^{\alpha+3/2} e^{-m\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

Integral diverges for $T > T_0$:
hadronic matter cannot have a $T > T_0$



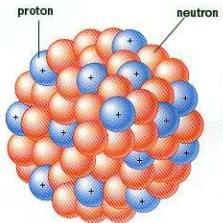
Cabibbo-Parisi, PLB59(1975) - the year after the Gross -Wilczek paper:

Divergency of the partition function has to be associated with a phase transition of hadronic matter to quark-gluon matter + asymptotic freedom at large T -> weakly quark gluon gas



3 - QGP: fatti

- **QGP osservato, indirettamente, a RHIC, segnali a CMS...**
- **Esperimento dedicato ad LHC: ALICE (circa 200 tra fisici e tecnologi di area INFN, di 12 sezioni)**
- **per svelare il comportamento anomalo bisogna conoscere quello “normale”: cruciale contributo da esperti di reazioni di ioni pesanti relativistici, classico argomento studiato, e.g., a CT, TO, PD...**
- **sinergia con colleghi considerati normalmente di altre comunità (meccanica statistica, reticolo: CT, TO, FI, FE... e anche stringhe)**



4 - Fisica Adronica

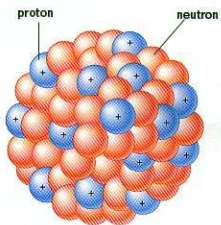
Come è fatto un nucleone?



A. Bacchetta/INFN

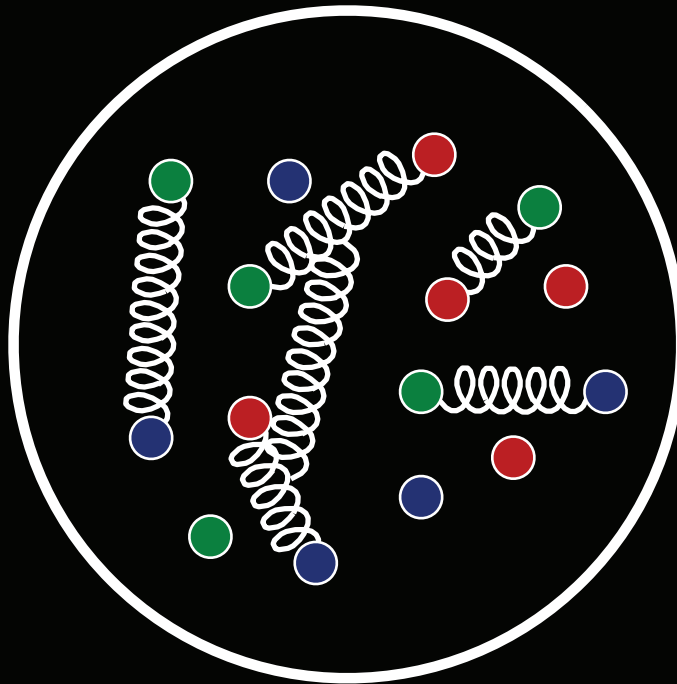
Tuesday, 13 November 12

Nucleoni: liberi e legati



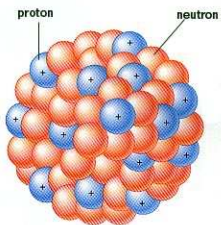
4 - Fisica Adronica

Obiettivo a lungo termine:
Capire la QCD e il confinamento



A. Bacchetta/INFN12

Tuesday, 13 November 12



Per ora: modelli della struttura adronica

4 - Attualità: i nucleoni in 3D

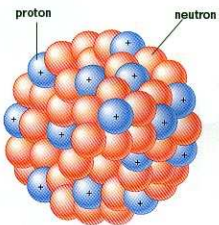
Il nostro approccio:



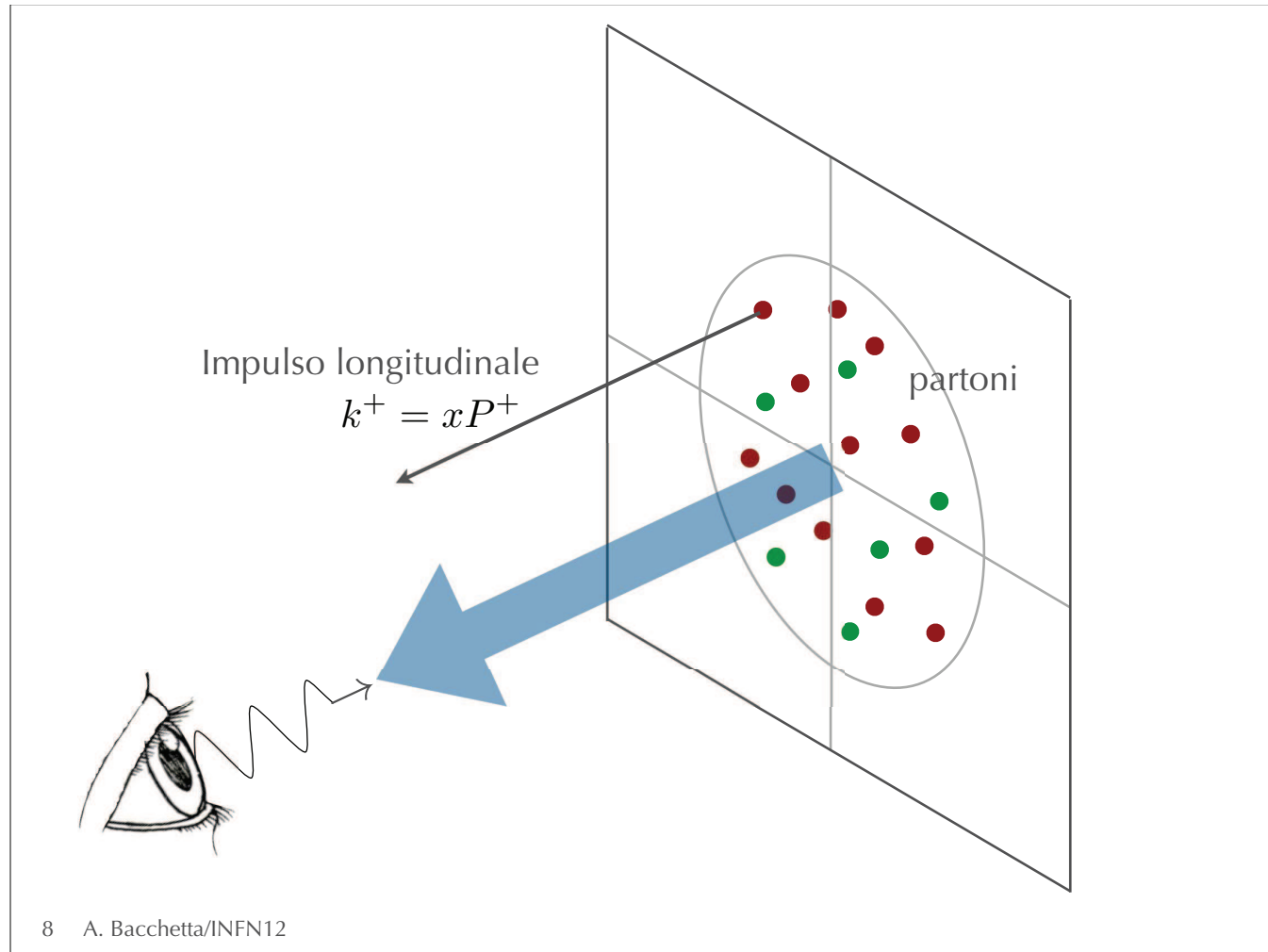
ottenere **immagini**
della struttura del nucleone

5 A. Bacchetta/INFN12

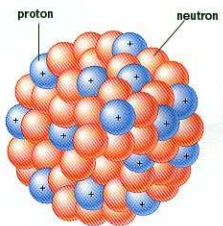
Tuesday, 13 November 12



4 - Cosa conosciamo? I nucleoni in 1D

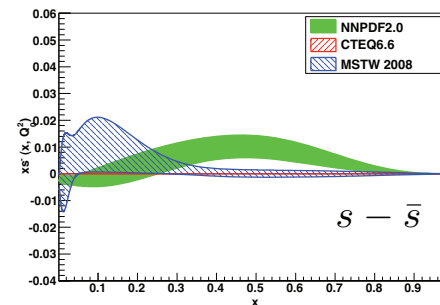
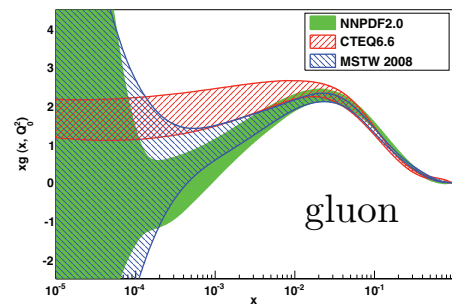
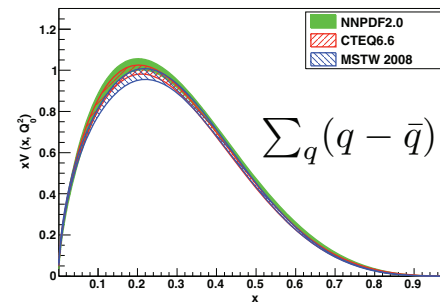
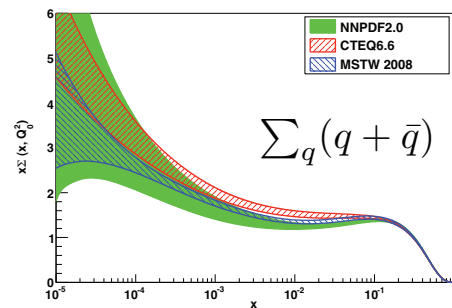


Tuesday, 13 November 12



4 - I nucleoni in 1D

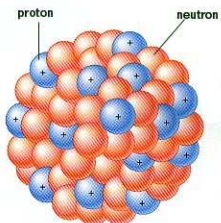
Parton Distribution Functions (PDFs): descrivono la struttura dei nucleoni in una dimensione (impulso longitudinale)



9 A. Bacchetta/INFN12

NNPDF Coll., NPB838 (10)

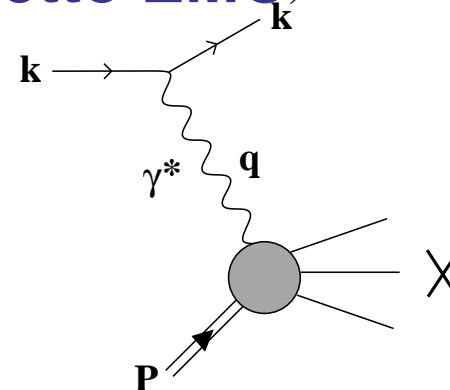
Tuesday, 13 November 12



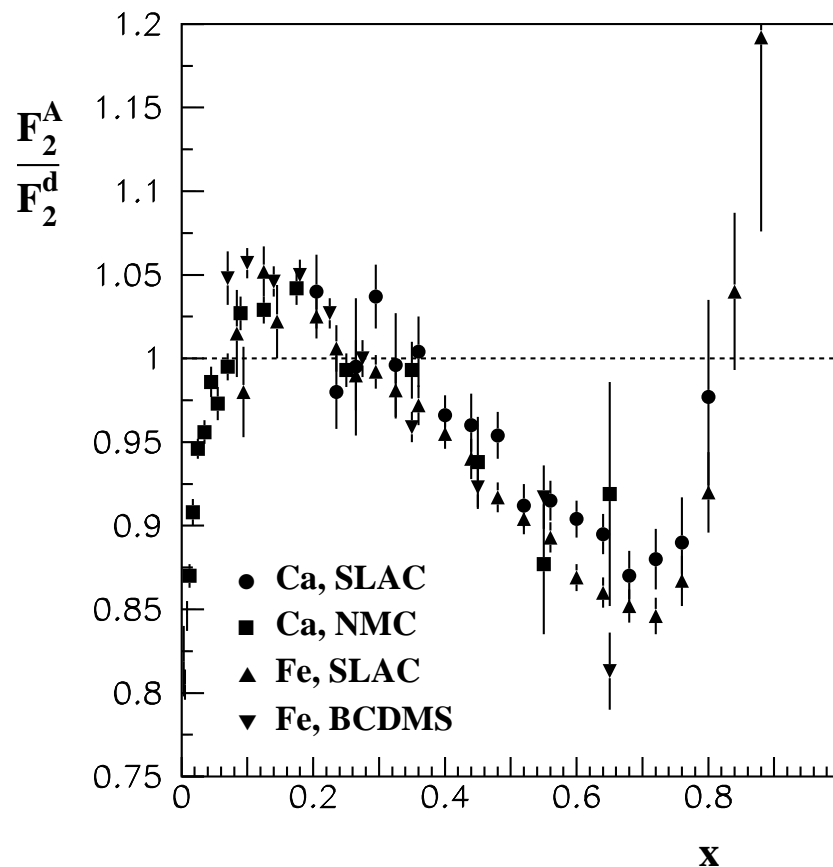
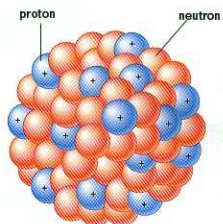
Nella regione di valenza: nucleone \simeq sistema di pochi corpi

4 - Alcuni problemi aperti: 1 - effetto EMC,

Misure inclusive, $A(e, e')X$, (EMC Coll., CERN, 1983)
del rapporto tra sezioni d'urto su
un nucleone legato in un nucleo e su un nucleone libero



- Se il rapporto fosse 1, nucleone libero e legato sarebbero uguali
- Il rapporto non è 1
- Diciamolo: nessuno sa perchè
- Risposta con nuovi esperimenti, **NON inclusivi**
- misure più difficili, descrizioni teoriche più complicate
→ **importante per LHC (Alice)**

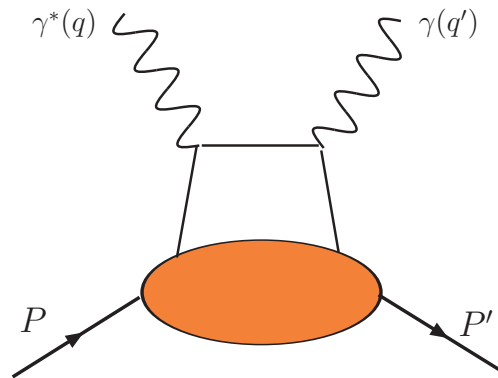


4 - Alcuni problemi aperti: 2 - Spin crisis

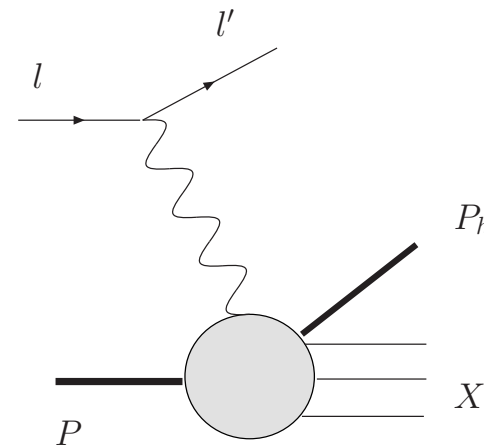
- La cosiddetta “**Spin crisis**”(EMC, CERN, '88): la maggior parte dello **spin del protone NON** risiede nelle **elicità dei quark**: $\Sigma = 0.1 \pm 0.1$

- Spin Sum Rule:
$$\frac{1}{2}\Sigma + L_q + J_g = \frac{1}{2}$$

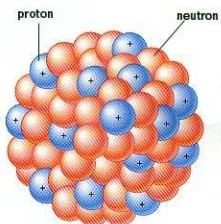
- **OAM (L_q)** misurato in esperimenti **NON inclusivi**:



DVCS \rightarrow GPDs

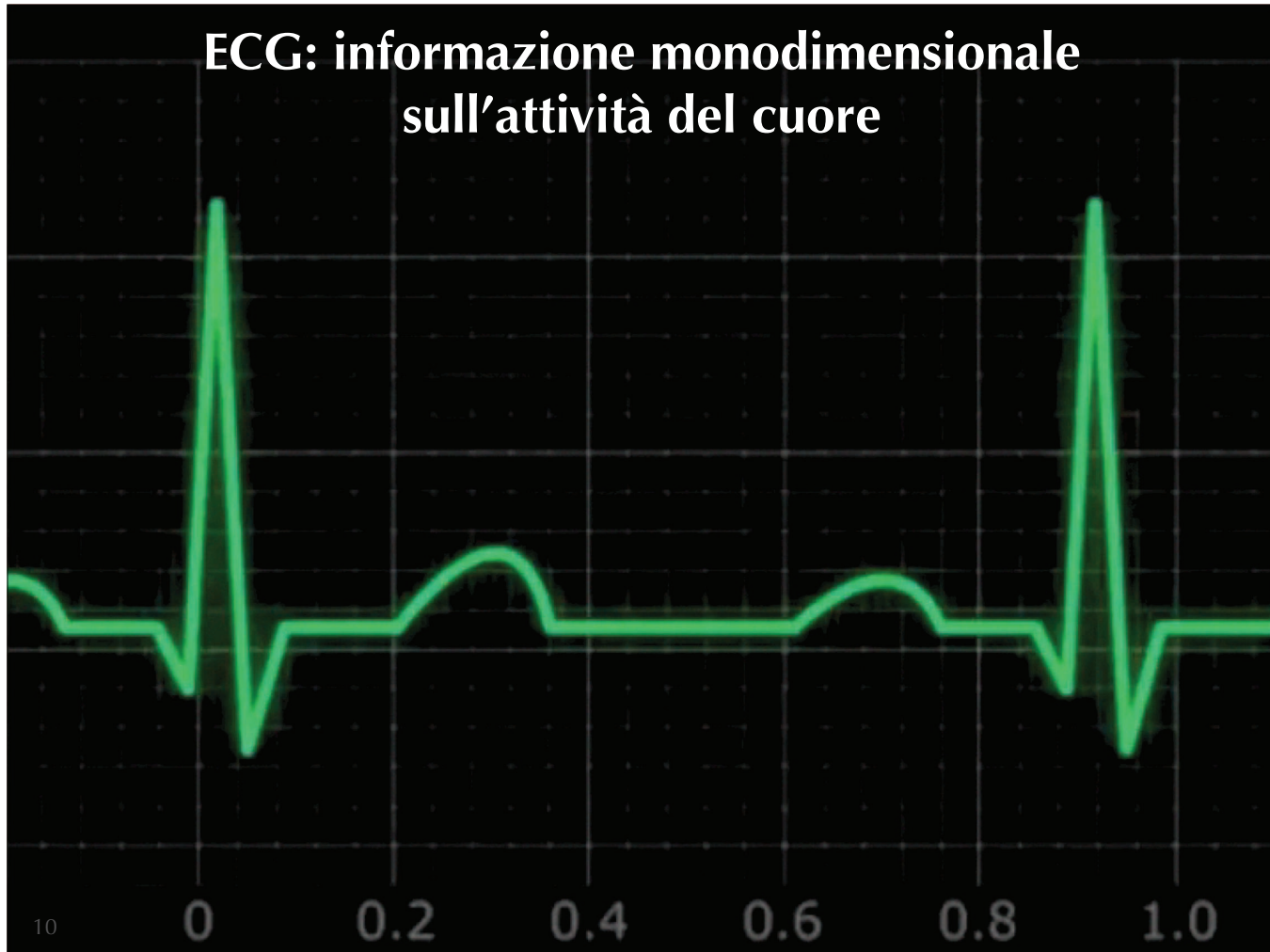


SiDIS \rightarrow TMDs

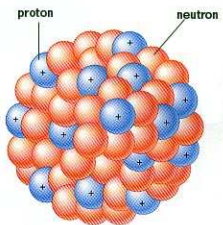


4 - Esempio: il cuore in 1D

ECG: informazione monodimensionale
sull'attività del cuore



Tuesday, 13 November 12



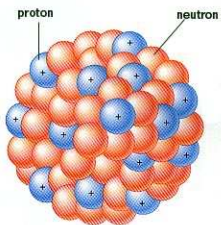
4 - Il cuore in 3D

Risonanza magnetica funzionale: tomografia del cuore e della sua attività



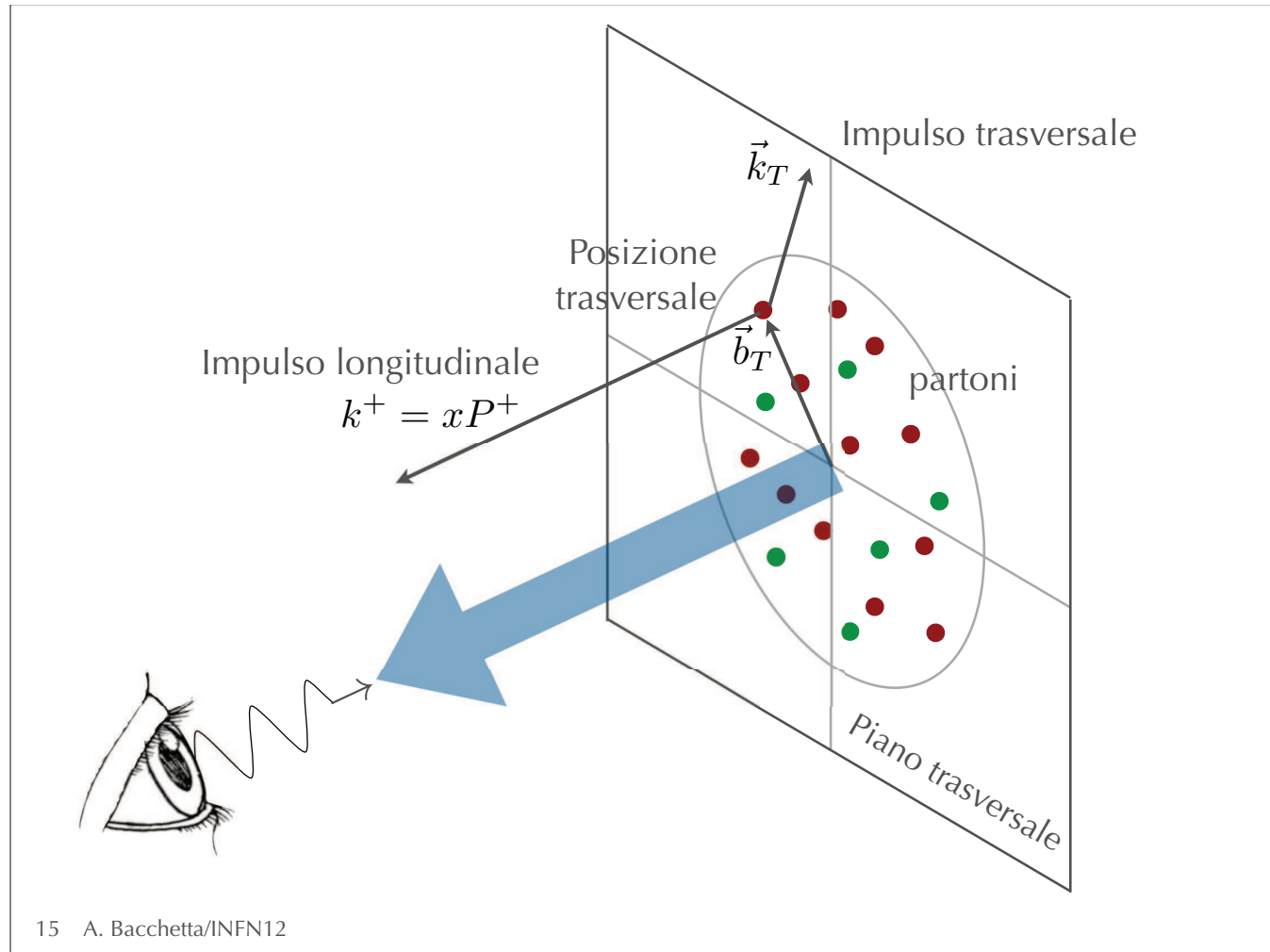
12 A. Bacchetta/INFN

Tuesday, 13 November 12

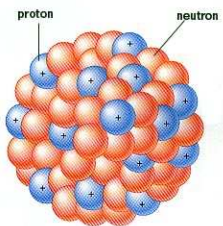


15/01/13

4 - I nucleoni in 3D

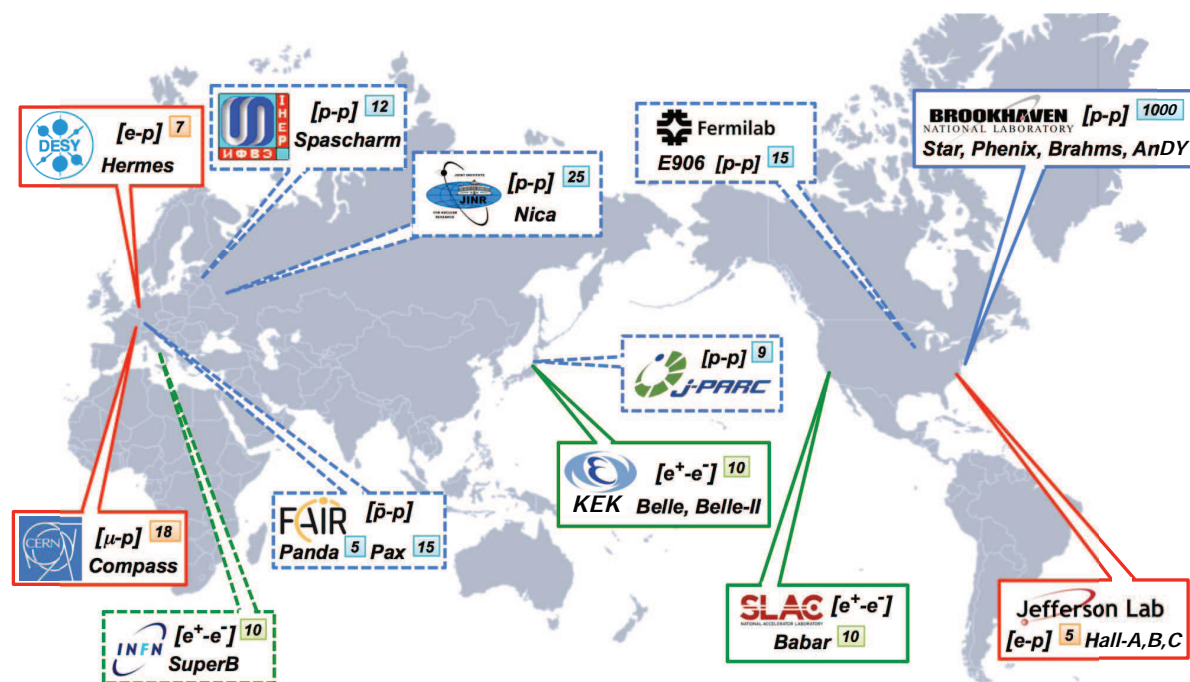


Tuesday, 13 November 12



4 - I nucleoni in 3D: esperimenti

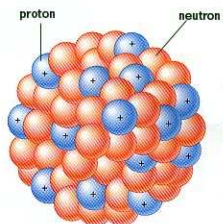
Tanti esperimenti coinvolti



si veda il talk di Marco Mirazita

23 A. Bacchetta/INFN12

Tuesday, 13 November 12



Anche LHC (secondo me per lo meno)

4 - Fisica adronica: noi Italiani

Chi lavora nel campo in Italia

Teoria (AD31 e TO31)

Alessandria
Cagliari
Genova
Milano Bic
Pavia
Perugia
Roma I e II
Torino
Trento

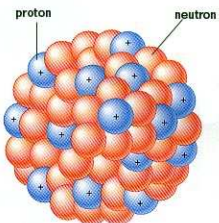


Esperimenti (Compass e JLab12)

Bari
Catania
Ferrara
Frascati
ISS
Roma I e II
Torino
Trieste

24 A. Bacchetta/INFN12

Tuesday, 13 November 12



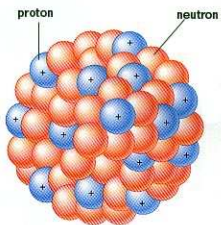
4 - Fisica adronica: noi teorici

Teorici coinvolti

Alessandria	Vincenzo Barone	
Cagliari	Umberto D'Alesio Cristian Pisano	Francesco Murgia
Genova	Mauro Giannini	Elena Santopinto
Milano Bic	Philip Ratcliffe	
Pavia	Alessandro Bacchetta Andrea Bianconi Sigfrido Boffi	Marco Guagnelli Barbara Pasquini Marco Radici
Perugia	Claudio Ciofi degli Atti Leonid Kaptar Chiara Mezzetti	Sergio Scopetta Matteo Rinaldi
Roma I e II	Emanuele Pace	Giovanni Salmè
Torino	Mauro Anselmino Elena Boglione	Osvaldo Gonzalez Stefano Melis
Trento	Pietro Faccioli Marco Cristoforetti	Marco Traini

25 A. Bacchetta/INFN12

Tuesday, 13 November 12



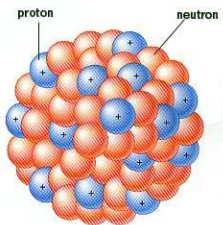
4 - Grandi speranze dagli studi in 3D

“ With 3D projections, we will be entering a new age. Something which was never technically possible before: a stunning visual experience which ‘turbocharges’ the viewing. ”

James Cameron



Tuesday, 13 November 12

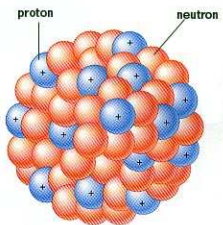


Nucleari teorici in Italia: cosa produciamo

Impact of CSN4 (2011)

	Pubb/FTE	<IF>	<CIT>	<CIT>-world	
Linea 1	1.03	3.94	2.50	1.83	Media fra Particle and Fields, e Mathematical
Linea 2	0.96	4.97	5.04	2.40	Physics, Particle and Fields
Linea 3	1.38	3.17	2.39	0.96	Physics, Nuclear
Linea 4	1.29	2.42	1.79	1.25	Physics, Mathematical
Linea 5	1.33	4.54	4.33	3.77	Astrophysics
Linea 6	1.21	2.66	1.42	2.22	Physics, Condensed Matter

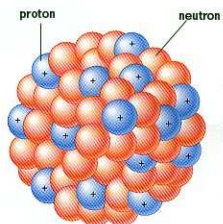
Dati elaborati da Luciano Canton (GLV dell'INFN)



Questa produzione eccellente è sostenibile?

NO:

Dai risultati preliminari dell'elaborazione di dati raccolti da un gruppo di lavoro (L. Marcucci (PI), E. Santopinto (GE), L. Coraggio (NA), F. Pederiva (TN), S.S. (PG)) risulta che siamo passati da circa **90** (di cui circa 20 INFN) unità di personale strutturato **nel 2005**, a circa 60 (di cui circa 20 INFN) e, nell'ipotesi di nessuna nuova immissione in ruolo (ipotesi probabilmente vicina alla realtà), considerando i pensionamenti, rischiamo di essere solo **25 tra dieci anni** (di cui 9 INFN)



Conclusioni

- **Un'attività di successo**
- **Una comunità in difficoltà**
- **Il dovere di resistere**

