

Struttura a shell nei nuclei: nuove frontiere

Nunzio Itaco

Università di Napoli Federico II
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Napoli

Catania LNS - Incontro Nazionale di Fisica Nucleare



Calcoli completamente microscopici (*ab initio*)

Uno degli obiettivi principali della fisica nucleare è quello di comprendere la struttura dei nuclei a partire dall'interazione esistente tra i singoli nucleoni.

Calcoli completamente microscopici

- potenziale realistico NN + eventuale NNN
- teoria a molti corpi per risolvere il problema a A nucleoni
- risultati poco affetti dalle approssimazioni introdotte (check di convergenza)



Calcoli completamente microscopici (*ab initio*)

Uno degli obiettivi principali della fisica nucleare è quello di comprendere la struttura dei nuclei a partire dall'interazione esistente tra i singoli nucleoni.

Calcoli completamente microscopici

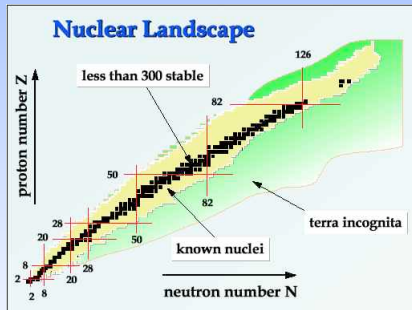
- potenziale realistico NN + eventuale NNN
- teoria a molti corpi per risolvere il problema a A nucleoni
- risultati poco affetti dalle approssimazioni introdotte (check di convergenza)



Calcoli completamente microscopici (*ab initio*)

Calcoli completamente microscopici

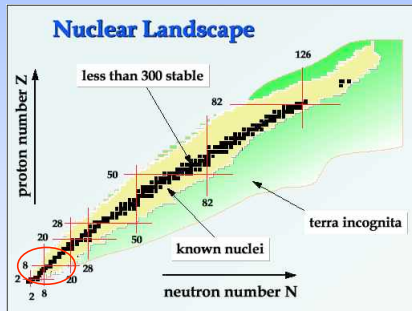
- No-Core Shell Model (NCSM)
- Green's Function Monte Carlo
- Coupled Cluster Method



Calcoli completamente microscopici (*ab initio*)

Calcoli completamente microscopici

- No-Core Shell Model (NCSM)
- Green's Function Monte Carlo
- Coupled Cluster Method



Il modello a shell



1963: Maria Goeppert Mayer e J. Hans D. Jensen vincono il premio Nobel

“for their discoveries concerning nuclear shell structure”

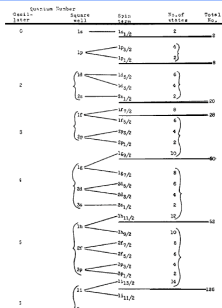


Fig. 6. Schematic level diagram.





1963: Maria Goeppert Mayer e J. Hans D. Jensen vincono il premio Nobel

“for their discoveries concerning nuclear shell structure”

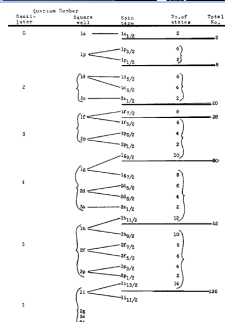


Fig. 6. Schematic level diagram.

The shell model has initiated a large field of research. It has served as the starting point for more refined calculations. There are enough nuclei to investigate so that the shell modellers will not soon be unemployed.



Il modello a shell



1963: Maria Goeppert Mayer e J. Hans D. Jensen vincono il premio Nobel

“for their discoveries concerning nuclear shell structure”

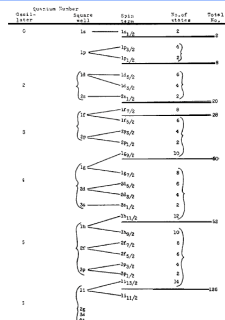


Fig. 6. Schematic level diagram.

The shell model has initiated a large field of research. It has served as the starting point for more refined calculations. There are enough nuclei to investigate so that the shell modellers will not soon be unemployed.

Oggi: Un approccio microscopico del modello a shell consente di descrivere l'evoluzione delle proprietà spettroscopiche dei nuclei all'approssimarsi delle drip lines.



Un esempio: ^{19}F

^{19}F



protons



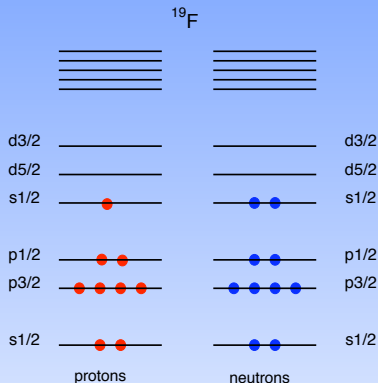
neutrons

- 9 protoni & 10 neutroni interagenti
- campo medio a simmetria sferica (p.e. oscillatore armonico)
- 1 protone di valenza & 2 neutroni di valenza interagenti in uno spazio modello ridotto

I gradi di libertà dei nucleoni del core e le eccitazioni dei nucleoni di valenza al di sopra dello spazio modello non sono presi in considerazione esplicitamente.



Un esempio: ^{19}F

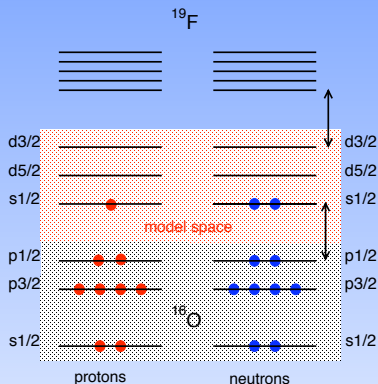


- 9 protoni & 10 neutroni interagenti
- campo medio a simmetria sferica (p.e. oscillatore armonico)
- 1 protone di valenza & 2 neutroni di valenza interagenti in uno spazio modello ridotto

I gradi di libertà dei nucleoni del core e le eccitazioni dei nucleoni di valenza al di sopra dello spazio modello non sono presi in considerazione esplicitamente.



Un esempio: ^{19}F



- 9 protoni & 10 neutroni interagenti
- campo medio a simmetria sferica (p.e. oscillatore armonico)
- 1 protone di valenza & 2 neutroni di valenza interagenti in uno spazio modello ridotto

I gradi di libertà dei nucleoni del core e le eccitazioni dei nucleoni di valenza al di sopra dello spazio modello non sono presi in considerazione esplicitamente.



Hamiltoniana efficace di modello a shell

L'hamiltoniana di modello a shell deve tenere conto, in maniera efficace, di tutti i gradi di libertà che non sono esplicitamente presi in considerazione

$$V_{NN} (+ V_{NNN}) \Rightarrow \text{teoria a molti corpi} \Rightarrow H_{\text{eff}}$$

Definizione

Gli autovalori di H_{eff} devono appartenere all'insieme degli autovalori dell'hamiltoniana nucleare completa



Hamiltoniana efficace di modello a shell

L'hamiltoniana di modello a shell deve tenere conto, in maniera efficace, di tutti i gradi di libertà che non sono esplicitamente presi in considerazione

$$V_{NN} (+ V_{NNN}) \Rightarrow \text{teoria a molti corpi} \Rightarrow H_{\text{eff}}$$

Definizione

Gli autovalori di H_{eff} devono appartenere all'insieme degli autovalori dell'hamiltoniana nucleare completa



Hamiltoniana efficace di modello a shell

L'hamiltoniana di modello a shell deve tenere conto, in maniera efficace, di tutti i gradi di libertà che non sono esplicitamente presi in considerazione

$$V_{NN} (+ V_{NNN}) \Rightarrow \text{teoria a molti corpi} \Rightarrow H_{\text{eff}}$$

Definizione

Gli autovalori di H_{eff} devono appartenere all'insieme degli autovalori dell'hamiltoniana nucleare completa



Diagramma di flusso per un calcolo realistico di modello a shell

Scegli un potenziale NN realistico (NNN)



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)



Diagramma di flusso per un calcolo realistico di modello a shell

Scegli un potenziale NN realistico (NNN)



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)



Diagramma di flusso per un calcolo realistico di modello a shell

Scegli un potenziale NN realistico (NNN)



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)



Diagramma di flusso per un calcolo realistico di modello a shell

Scegli un potenziale NN realistico (NNN)



Determina lo spazio modello più adatto per studiare il sistema in esame



Deriva l'hamiltoniana efficace di modello a shell utilizzando una teoria a molti corpi



Calcola gli osservabili fisici (energie, probabilità di transizione e.m., ...)



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 ?

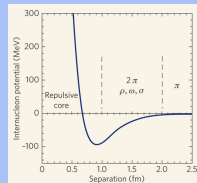
- matrice G di Brueckner



Potenziali 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 ?

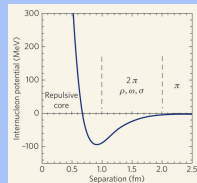
- matrice G di Brueckner
- potenziali NN di basso momento



Potenziali realistici nucleone-nucleone: V_{NN}

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

Forte repulsione
nel corto range



Come trattare la repulsione di corto range ?

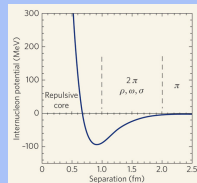
- matrice G di Brueckner
- potenziali NN di basso momento
 - V_{low-k} di Tom Kuo
 - potenziali chirali: p.e. $N^3\text{LO}$ di Entem & Machleidt (talk di L. Girlanda)



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)

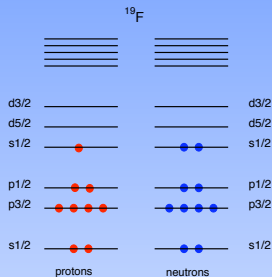


Hamiltoniana efficace di modello a shell

Eq. di Schrödinger per A nucleoni

$$H|\Psi_\nu\rangle = E_\nu|\Psi_\nu\rangle$$

$$H = H_0 + H_1 = \sum_{i=1}^A (T_i + U_i) + \sum_{i < j} (V_{ij}^{NN} - U_i)$$



Hamiltoniana efficace di modello a shell

Eq. di Schrödinger per A nucleoni

$$H|\Psi_\nu\rangle = E_\nu|\Psi_\nu\rangle$$

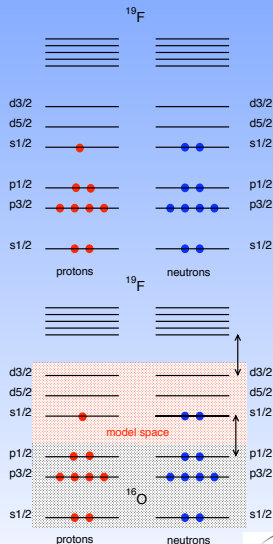
$$H = H_0 + H_1 = \sum_{i=1}^A (T_i + U_i) + \sum_{i < j} (V_{ij}^{NN} - U_i)$$

Spazio modello

$$|\Phi_i\rangle = [a_1^\dagger a_2^\dagger \dots a_n^\dagger] |c\rangle \Rightarrow P = \sum_{i=1}^d |\Phi_i\rangle \langle \Phi_i|$$

Eq. agli autovalori nello spazio modello

$$H_{\text{eff}} P |\Psi_\alpha\rangle = E_\alpha P |\Psi_\alpha\rangle$$



Hamiltoniana efficace di modello a shell

$$\left(\begin{array}{c|c} PHP & PHQ \\ \hline QHP & QHQ \end{array} \right) \begin{array}{l} \mathcal{H} = X^{-1}HX \\ \Rightarrow \\ H_{\text{eff}} = P\mathcal{H}P \end{array} \left(\begin{array}{c|c} P\mathcal{H}P & P\mathcal{H}Q \\ \hline 0 & Q\mathcal{H}Q \end{array} \right)$$



Hamiltoniana efficace di modello a shell

$$\left(\begin{array}{c|c} PHP & PHQ \\ \hline QHP & QHQ \end{array} \right) \begin{array}{l} \mathcal{H} = X^{-1}HX \\ \Rightarrow \\ H_{\text{eff}} = PHP \end{array} \left(\begin{array}{c|c} PHP & PHQ \\ \hline 0 & QHQ \end{array} \right)$$



Hamiltoniana efficace di modello a shell

$$\left(\begin{array}{c|c} PHP & PHQ \\ \hline QHP & QHQ \end{array} \right) \begin{array}{l} \mathcal{H} = X^{-1}HX \\ \Rightarrow \\ H_{\text{eff}} = P\mathcal{H}P \end{array} \left(\begin{array}{c|c} P\mathcal{H}P & PHQ \\ \hline 0 & QHQ \end{array} \right)$$



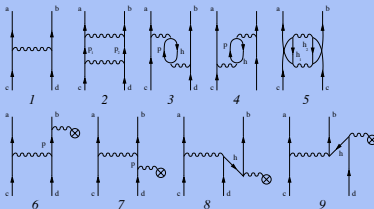
Hamiltoniana efficace di modello a shell

$$\left(\begin{array}{c|c} PHP & PHQ \\ \hline QHP & QHQ \end{array} \right) \begin{array}{l} \mathcal{H} = X^{-1}HX \\ \Rightarrow \\ H_{\text{eff}} = P\mathcal{H}P \end{array} \left(\begin{array}{c|c} P\mathcal{H}P & PHQ \\ \hline 0 & QHQ \end{array} \right)$$

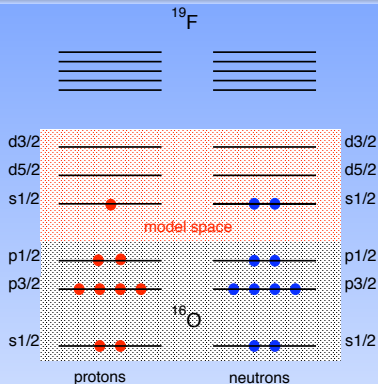
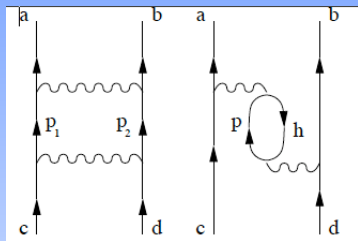
Approccio perturbativo

$$H_{\text{eff}} = \hat{Q} - \hat{Q}' \int \hat{Q} + \hat{Q}' \int \hat{Q} \int \hat{Q} - \hat{Q}' \int \hat{Q} \int \hat{Q} \int \hat{Q} \dots,$$

$$\hat{Q} \text{ box} \Rightarrow \hat{Q}(\epsilon) = PH_1P + PH_1Q \frac{1}{\epsilon - QHQ} QH_1P$$



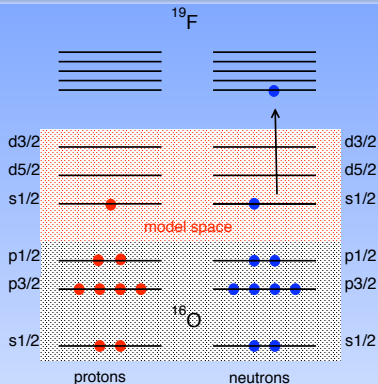
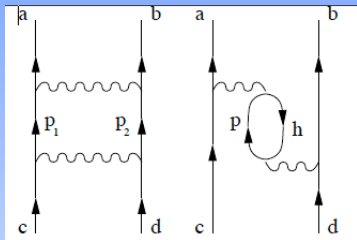
Hamiltoniana efficace di modello a shell



- terzo ordine in V_{NN}
- 192 diagrammi
- stati intermedi \Rightarrow 20 shell di oscillatore armonico



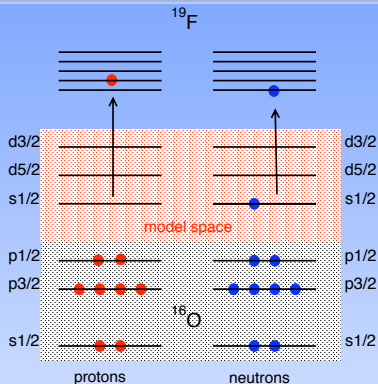
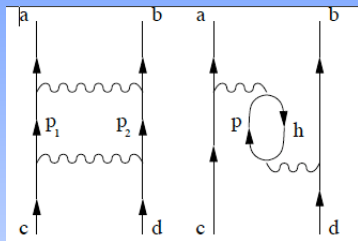
Hamiltoniana efficace di modello a shell



- terzo ordine in V_{NN}
- 192 diagrammi
- stati intermedi \Rightarrow 20 shell di oscillatore armonico



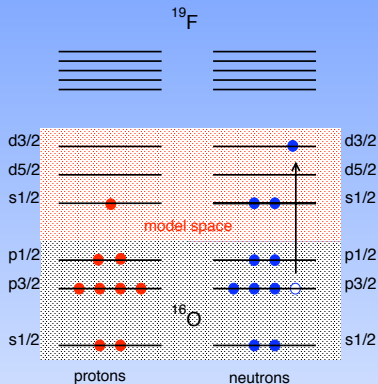
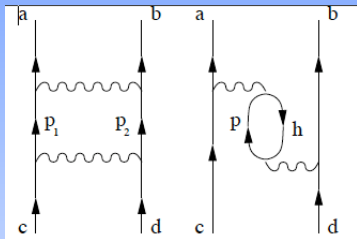
Hamiltoniana efficace di modello a shell



- terzo ordine in V_{NN}
- 192 diagrammi
- stati intermedi \Rightarrow 20 shell di oscillatore armonico



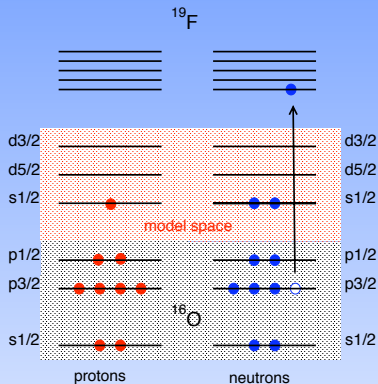
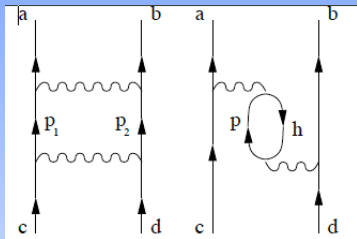
Hamiltoniana efficace di modello a shell



- terzo ordine in V_{NN}
- 192 diagrammi
- stati intermedi \Rightarrow 20 shell di oscillatore armonico



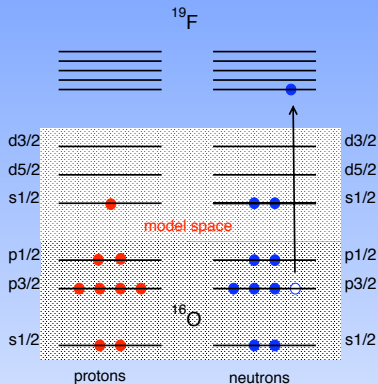
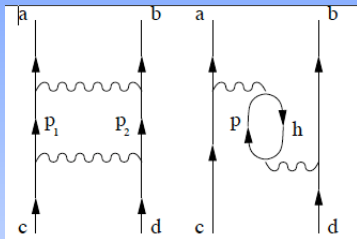
Hamiltoniana efficace di modello a shell



- terzo ordine in V_{NN}
- 192 diagrammi
- stati intermedi \Rightarrow 20 shell di oscillatore armonico



Hamiltoniana efficace di modello a shell



- terzo ordine in V_{NN}
- 192 diagrammi
- stati intermedi \Rightarrow 20 shell di oscillatore armonico



Confronto con un calcolo “esatto”: la p -shell

- $V_{NN} \Rightarrow N^3\text{LO}$ di Entem & Machleidt
- $H_{\text{eff}} \Rightarrow 2$ nucleoni di valenza + core di ^4He
- **Nessun parametro libero**

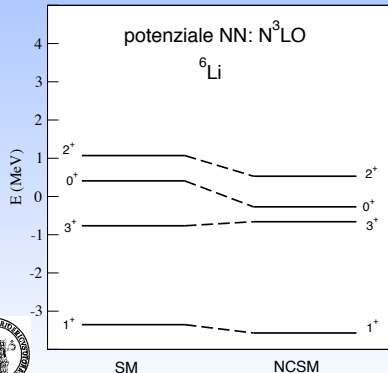
L. Coraggio, A. Covello, A. Gargano, N. Itaco, T.T.S. Kuo,
Ann. Phys., vol. 327 (2012) 2125



Confronto con un calcolo “esatto”: la p -shell

- $V_{NN} \Rightarrow N^3LO$ di Entem & Machleidt
- $H_{\text{eff}} \Rightarrow 2$ nucleoni di valenza + core di ^4He
- **Nessun parametro libero**

L. Coraggio, A. Covello, A. Gargano, N. Itaco, T.T.S. Kuo,
Ann. Phys., vol. 327 (2012) 2125

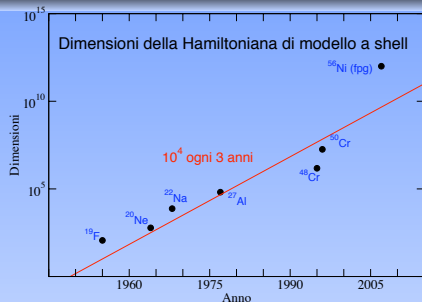


P. Navrátil and E. Caurier,
Phys. Rev. C 69 (2004) 014311

8×10^8 stati di base
(171 stati di particella singola)

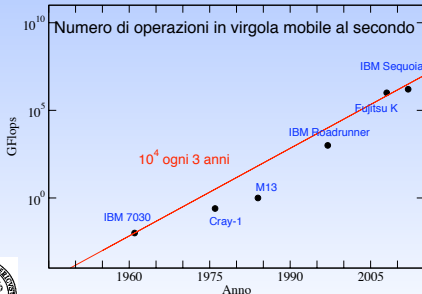


Progressi computazionali in calcoli di modello a shell



$$\text{Dimensioni} \simeq \binom{\Omega_n}{N_n} \binom{\Omega_p}{N_p}$$

limiti attuali $10^{11} - 10^{12}$ con
Monte Carlo Shell Model



- correlazioni a multi-corpi
- inclusione di una forza a 3 corpi
- accoppiamento al continuo
- estensione allo studio delle reazioni
- ...



V_{NNN} : una sfida computazionale formidabile

$$\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$$

ruolo di V_{NNN} evidente in particolare nei nuclei leggeri $A \leq 12$

Forza a 3 corpi e modello a shell

- $H_{\text{eff}}^{\text{SM}} = H_{\text{eff}}^{1\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{2\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{3\text{-body}} \Rightarrow$ compito improbo
- diagonalizzazione \Rightarrow # stati di base uguale, ma H_{eff} meno "sparse"



V_{NNN} : una sfida computazionale formidabile

$$\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$$

ruolo di V_{NNN} evidente in particolare nei nuclei leggeri $A \leq 12$

Forza a 3 corpi e modello a shell

- $H_{\text{eff}}^{\text{SM}} = H_{\text{eff}}^{1\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{2\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{3\text{-body}} \Rightarrow$ compito improbo
- diagonalizzazione \Rightarrow # stati di base uguale, ma H_{eff} meno “sparsa”



V_{NNN} : una sfida computazionale formidabile

$$\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$$

ruolo di V_{NNN} evidente in particolare nei nuclei leggeri $A \leq 12$

Forza a 3 corpi e modello a shell

- $H_{\text{eff}}^{\text{SM}} = H_{\text{eff}}^{1\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{2\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{3\text{-body}} \Rightarrow$ compito improbo
- diagonalizzazione \Rightarrow # stati di base uguale, ma H_{eff} meno “sparsa”



V_{NNN} : una sfida computazionale formidabile

$$\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$$

ruolo di V_{NNN} evidente in particolare nei nuclei leggeri $A \leq 12$

Forza a 3 corpi e modello a shell

- $H_{\text{eff}}^{\text{SM}} = H_{\text{eff}}^{1\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{2\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{3\text{-body}} \Rightarrow$ compito improbo
- diagonalizzazione \Rightarrow # stati di base uguale, ma H_{eff} meno “sparsa”



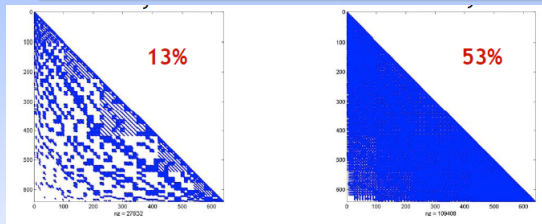
V_{NNN} : una sfida computazionale formidabile

$$\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$$

ruolo di V_{NNN} evidente in particolare nei nuclei leggeri $A \leq 12$

Forza a 3 corpi e modello a shell

- $H_{\text{eff}}^{\text{SM}} = H_{\text{eff}}^{1\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{2\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{3\text{-body}} \Rightarrow$ compito improbo
- diagonalizzazione \Rightarrow # stati di base uguale, ma H_{eff} meno “sparsa”



^{20}Ne
sd-shell
640 stati di
base



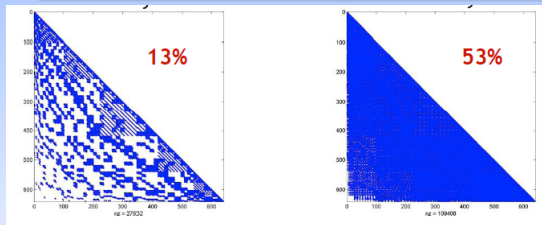
V_{NNN} : una sfida computazionale formidabile

$$\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$$

ruolo di V_{NNN} evidente in particolare nei nuclei leggeri $A \leq 12$

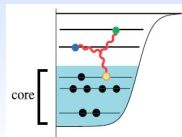
Forza a 3 corpi e modello a shell

- $H_{\text{eff}}^{\text{SM}} = H_{\text{eff}}^{1\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{2\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{3\text{-body}} \Rightarrow$ compito improbo
- diagonalizzazione \Rightarrow # stati di base uguale, ma H_{eff} meno "sparsa"



^{20}Ne
sd-shell
640 stati di
base

$$\langle ab | V_{3N}^{\text{eff}} | cd \rangle = \sum_{\alpha} \langle ab\alpha | V_{3N} | cd\alpha \rangle$$



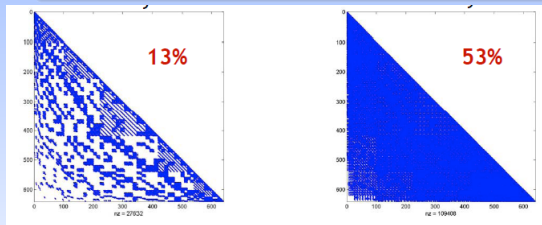
V_{NNN} : una sfida computazionale formidabile

$$\chi^{\text{PT}} \Rightarrow V_{NN} + V_{NNN}$$

ruolo di V_{NNN} evidente in particolare nei nuclei leggeri $A \leq 12$

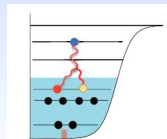
Forza a 3 corpi e modello a shell

- $H_{\text{eff}}^{\text{SM}} = H_{\text{eff}}^{1\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{2\text{-body}} + H_{\text{eff}}^{3\text{-body}} \Rightarrow$ compito improbo
- diagonalizzazione \Rightarrow # stati di base uguale, ma H_{eff} meno “sparsa”

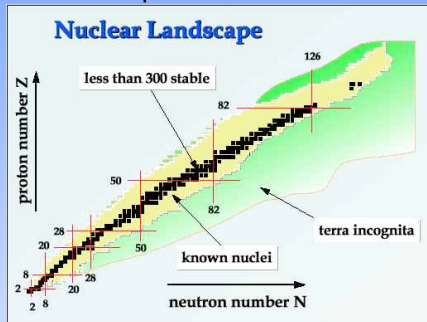


^{20}Ne
sd-shell
640 stati di
base

$$\langle a | V_{3N}^{\text{eff}} | a \rangle = \sum_{\alpha\beta} \langle a\alpha\beta | V_{3N} | a\alpha\beta \rangle$$



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



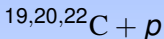
- posizione delle drip-lines
- proprietà di nuclei debolmente legati
- evoluzione delle proprietà al variare di N/Z
- shell-quenching
- nuovi numeri magici





Observation of a Large Reaction Cross Section in the Drip-Line Nucleus ^{22}C

K. Tanaka,¹ T. Yamaguchi,² T. Suzuki,² T. Ohtsubo,³ M. Fukuda,⁴ D. Nishimura,⁴ M. Takechi,^{4,1} K. Ogata,⁵ A. Ozawa,⁶
 T. Izumikawa,⁷ T. Aiba,³ N. Aoi,¹ H. Baba,¹ Y. Hashizume,⁶ K. Inafuku,⁸ N. Iwasa,⁸ K. Kobayashi,² M. Komuro,²
 Y. Kondo,⁹ T. Kubo,¹ M. Kurokawa,¹ T. Matsuyama,³ S. Michimasa,^{1,*} T. Motobayashi,¹ T. Nakabayashi,⁹ S. Nakajima,²
 T. Nakamura,⁹ H. Sakurai,¹ R. Shinoda,² M. Shinohara,⁹ H. Suzuki,^{10,6} E. Takeshita,^{1,†} S. Takeuchi,¹ Y. Togano,¹¹
 K. Yamada,¹ T. Yasuno,⁶ and M. Yoshitake²



10 conteggi di ^{22}C all'ora

TABLE I. Reaction cross sections (σ_R) in millibarns.

A	σ_R
19	754(22)
20	791(34)
22	1338(274)

RIKEN Radioactive Isotope Beam Factory (RIBF)



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

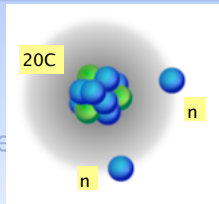


Si definisce Borromeo un nucleo debolmente legato che se considerato come un sistema a tre corpi non ammette l'esistenza di stati legati per i suoi sottosistemi binari

^{22}C è debolmente legato

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

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



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

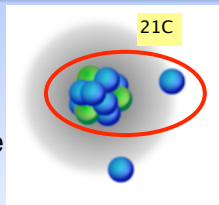


Si definisce Borromeo un nucleo debolmente legato che se considerato come un sistema a tre corpi non ammette l'esistenza di stati legati per i suoi sottosistemi binari

^{22}C è debolmente legato

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

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



PHYSICAL REVIEW C **81**, 064303 (2010)

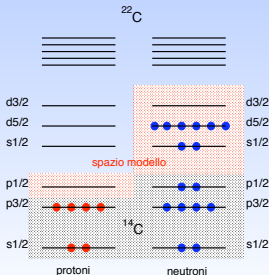
Shell-model calculations for neutron-rich carbon isotopes with a chiral nucleon-nucleon potential

L. Coraggio,¹ A. Covello,^{1,2} A. Gargano,¹ and N. Itaco^{1,2}

¹Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

²Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

- Potenziale realistico $V_{NN} \Rightarrow N^3\text{LOW}$
- $\Rightarrow H_{\text{eff}}$
- Energie di particella singola e interazione efficace direttamente dalla teoria. **No input empirico**



- ^{22}C e drip line
- N=14 shell closure



PHYSICAL REVIEW C **81**, 064303 (2010)

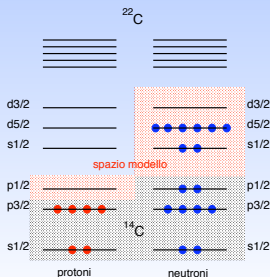
Shell-model calculations for neutron-rich carbon isotopes with a chiral nucleon-nucleon potential

L. Coraggio,¹ A. Covello,^{1,2} A. Gargano,¹ and N. Itaco^{1,2}

¹Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

²Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

- Potenziale realistico $V_{NN} \Rightarrow N^3\text{LOW}$
- $\Rightarrow H_{\text{eff}}$
- Energie di particella singola e interazione efficace direttamente dalla teoria. **No input empirico**



- ^{22}C e drip line
- $N=14$ shell closure



PHYSICAL REVIEW C **81**, 064303 (2010)

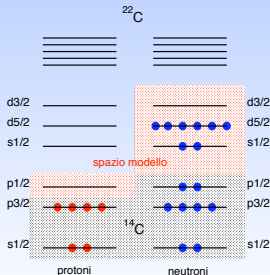
Shell-model calculations for neutron-rich carbon isotopes with a chiral nucleon-nucleon potential

L. Coraggio,¹ A. Covello,^{1,2} A. Gargano,¹ and N. Itaco^{1,2}

¹Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

²Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

- Potenziale realistico $V_{NN} \Rightarrow N^3\text{LOW}$
- $\Rightarrow H_{\text{eff}}$
- Energie di particella singola e interazione efficace direttamente dalla teoria. **No input empirico**



- ^{22}C e drip line
- N=14 shell closure



PHYSICAL REVIEW C **81**, 064303 (2010)

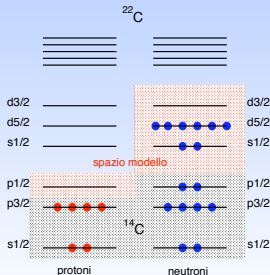
Shell-model calculations for neutron-rich carbon isotopes with a chiral nucleon-nucleon potential

L. Coraggio,¹ A. Covello,^{1,2} A. Gargano,¹ and N. Itaco^{1,2}

¹Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

²Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte S. Angelo,
Via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

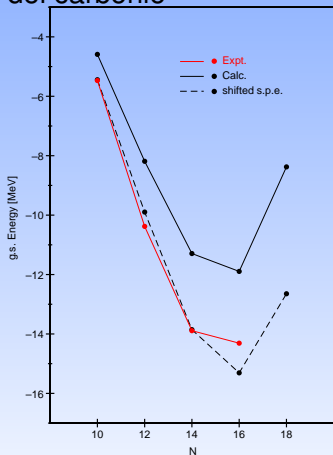
- Potenziale realistico $V_{NN} \Rightarrow N^3\text{LOW}$
- $\Rightarrow H_{\text{eff}}$
- Energie di particella singola e interazione efficace direttamente dalla teoria. **No input empirico**



- ^{22}C e drip line
- $N=14$ shell closure



Energie g.s. degli isotopi pari del carbonio

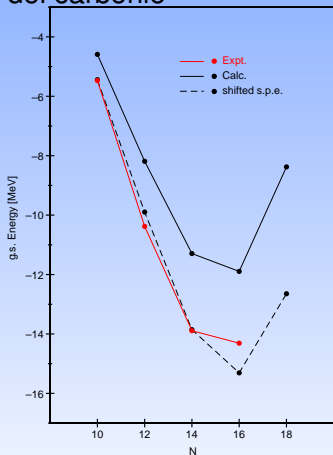


$$S_n(^{21}\text{C}) = -1.6 \text{ MeV}$$

$$S_{2n}(^{22}\text{C}) = 456 \text{ keV}$$



Energie g.s. degli isotopi pari del carbonio



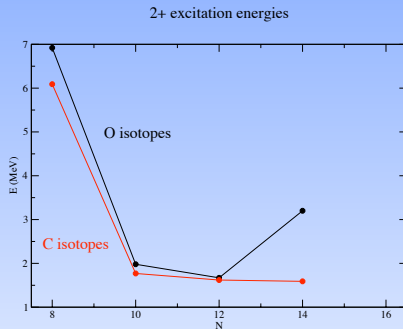
$$S_n(^{21}\text{C}) = -1.6 \text{ MeV}$$

$$S_{2n}(^{22}\text{C}) = 456 \text{ keV}$$



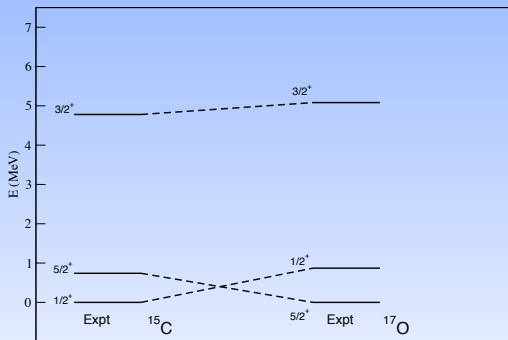
Risultati: N=14 shell closure

Sperimentalmente si osserva la scomparsa della chiusura di shell a N=14 avvicinandosi alla drip line neutronica



Risultati: N=14 shell closure

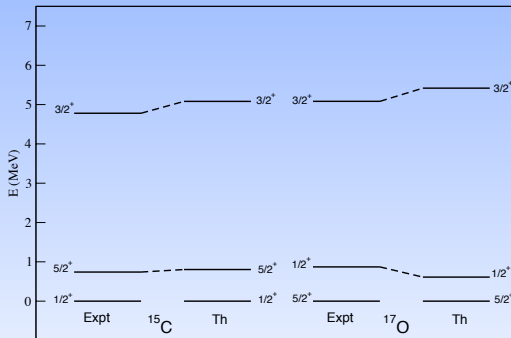
Sperimentalmente si osserva la scomparsa della chiusura di shell a N=14 avvicinandosi alla drip line neutronica



Risultati: N=14 shell closure

La componente di monopolo del canale pn di V_{eff} riproduce l'inversione dello stato fondamentale tra ^{15}C e ^{17}O

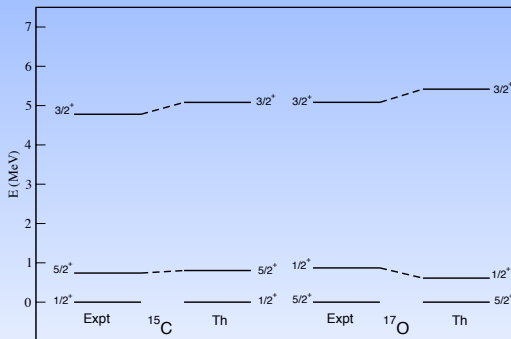
$$\epsilon_j(^{17}\text{O}) = \epsilon_j(^{15}\text{C}) + V_{p_{\frac{1}{2}j}}^{\text{mon}} \times 2$$



Risultati: N=14 shell closure

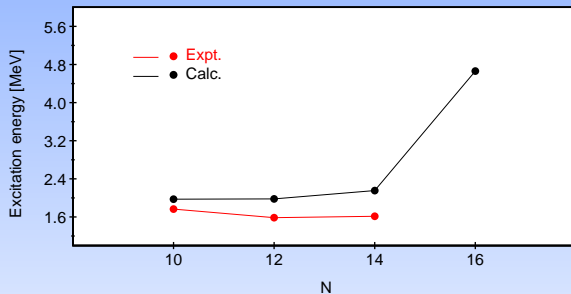
La componente di monopolo del canale pn di V_{eff} riproduce l'inversione dello stato fondamentale tra ^{15}C e ^{17}O

$$\epsilon_j(^{17}\text{O}) = \epsilon_j(^{15}\text{C}) + V_{p\frac{1}{2};j}^{\text{mon}} \times 2$$



Risultati: N=14 shell closure

Energia di eccitazione degli stati 2_1^+ negli isotopi del Carbonio



Un approccio microscopico del modello a shell è fondato su solide basi teoriche ed è uno strumento che può descrivere con successo l'evoluzione delle proprietà spettroscopiche dei nuclei all'approssimarsi delle drip lines.



Struttura a shell nei nuclei: nuove frontiere

Nunzio Itaco

Università di Napoli Federico II
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Napoli

Catania LNS - Incontro Nazionale di Fisica Nucleare

