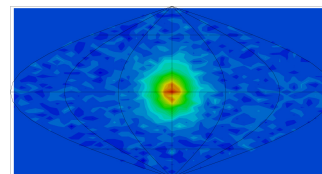


Sommario di questo trimestre

- pag. 1 **Focus** I neutrini e il Sole
pag. 5 **ASFIN** Un intenso periodo sperimentale
pag. 6 **ERNA** Misura diretta in inversa, la ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$
pag. 7 **LUNA** Misura diretta di ${}^{13}\text{C}(\alpha,n){}^{16}\text{O}$ @ LNGS
pag. 8 **n_TOF** 2018 al CERN
pag. 9 **Notizie dal mondo** Nuclear Astrophysics at FRIB
pag. 11 Articoli, conferenze, bandi e altre notizie



IL SOLE VISTO TRAMITE NEUTRINI
DA SUPER-KAMIOKANDE.

IL **FOCUS** DI QUESTO NUMERO:

I NEUTRINI E IL SOLE

L'astrofisica nucleare per le ricerche sui neutrini

La stella a noi più vicina (e la più conosciuta) non è solo un'intensa sorgente di fotoni, ma è anche una instancabile fucina nucleare. Nel suo nucleo, la fusione di 4 protoni in un nucleo di elio produce l'energia necessaria a garantire l'equilibrio energetico della struttura. Per ogni nucleo di elio sintetizzato si producono anche due positroni e due neutrini. Questi ultimi sono estremamente importanti, poiché a causa della piccolissima probabilità di interagire con la materia circostante, attraversano tutta la struttura del Sole e sono emessi nello spazio. Una frazione dei neutrini emessi raggiunge la Terra, esattamente come i fotoni costituenti la radiazione solare, i quali però sono emessi dal-

la superficie. Il Sole può essere considerato un'intensa sorgente di neutrini, poiché produce circa 10^{38} neutrini al secondo. In quanto tale, la nostra stella ha contribuito allo studio delle caratteristiche dei neutrini ed è stata lo "strumento" per lo studio delle oscillazioni di neutrini e quindi della loro massa. Grazie alle conoscenze che siamo riusciti a collezionare negli anni, è ora possibile invertire il processo ed utilizzare i neutrini come strumento per indagare la struttura degli interni solari.

Se si assume che la luminosità del Sole (cioè l'energia emessa al secondo) rifletta il tasso di produzione di energia nucleare nel suo interno, la stima del flusso di neutrini è presto fatta. Sappiamo, infatti,

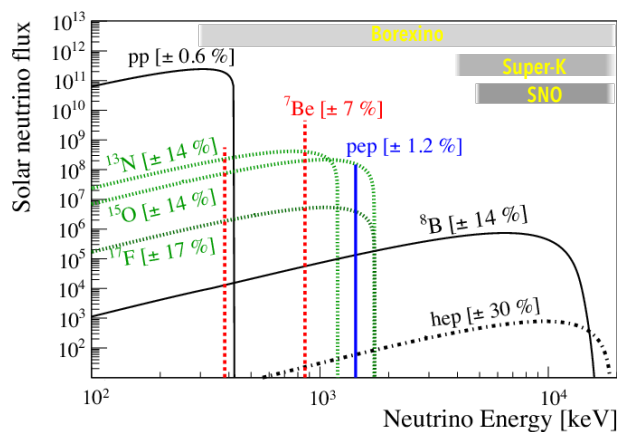
misurare la luminosità del Sole, e possiamo stabilire con precisione quale combinazione di reazioni nucleari avviene nel suo nucleo. Andando più nel dettaglio, si può costruire un modello solare che risolva le condizioni di equilibrio in ogni punto della struttura, in modo da simulare nei particolari dove e quali reazioni avvengano istante per istante. Abbiamo già accennato che la sequenza di reazioni ha come risultato netto che la combinazione di 4 protoni dia luogo a un nucleo di elio ${}^4\text{He}$, due positroni e^+ e due neutrini ν_e . Esistono due gruppi di reazioni nucleari che possono dare luogo a questo risultato. Il primo è noto con catena PP, il secondo è un ciclo di reazioni detto CNO, dove la somma delle abbondanze di carbonio, azoto e ossigeno si conserva. I due insiemi di reazioni nucleari sono illustrati qui a fianco. In base alla temperatura centrale della stella, un meccanismo domina sull'altro per quanto riguarda la produzione di energia (si stima che nel Sole il ciclo CNO sia responsabile di $\approx 1\%$ della luminosità). È interessante notare che il flusso totale di neutrini solari è fissato e indipendente dal contributo relativo dei due cicli, poiché in entrambi i casi, pur cambiando le particelle coinvolte nel processo di fusione, il bilancio energetico non cambia: $4p \rightarrow \alpha + 2e^+ + 2\nu_e + 26.7 \text{ MeV}$. È quindi possibile fare previsioni non solo sul flusso di neutrini che investe la Terra, ma anche sulla loro distribuzione energetica, come si vede nella figura alla pagina seguente (copyright F. Vissani). Si noti come la maggior parte dei neutrini possieda un'energia molto bassa, inferiore a 420 keV. Questa caratteristica è importante per la scelta del principio di funzionamento e lo sviluppo dei rivelatori di neutrini solari. La previsione del flusso e della distribuzione energetica dei neutrini solari è il risultato

della combinazione di ricerche nell'ambito della Fisica Nucleare, la Fisica dei plasmi e l'Astrofisica, la cui sinergia confluisce nel campo dell'Astrofisica Nucleare.

Nome	Reazione	$E_\nu(\text{MeV})$
PP I	$p + p \rightarrow D + e^+ + \nu_e$	≤ 0.42
	$p + D \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	
	${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow \alpha + 2p$	
pep	$p + p + e \rightarrow D + \nu_e$	1.44
PP II	${}^3\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^7\text{Be} + \gamma$	0.86 0.38
	${}^7\text{Be} + e \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$	
	${}^7\text{Li} + p \rightarrow 2\alpha$	
	${}^7\text{Be} + p \rightarrow {}^8\text{B} + \gamma$	
PP III	${}^8\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be}^* + e^+ + \nu_e$	≤ 14.6
	${}^8\text{Be}^* \rightarrow 2\alpha$	
PP IV	${}^3\text{He} + p \rightarrow \alpha + e^+ + \nu_e$	
CNO I	${}^{12}\text{C} + p \rightarrow {}^{13}\text{N} + \gamma$	≤ 1.2
	${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$	
	${}^{13}\text{C} + p \rightarrow {}^{14}\text{N} + \gamma$	
	${}^{14}\text{N} + p \rightarrow {}^{15}\text{O} + \gamma$	≤ 1.73
	${}^{15}\text{O} \rightarrow {}^{15}\text{N} + e^+ + \nu_e$	
	${}^{15}\text{N} + p \rightarrow {}^{12}\text{C} + \alpha$	

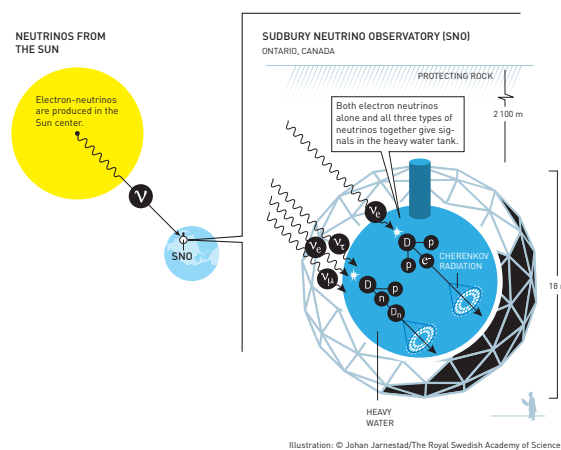
In questo contesto si inseriscono le misure di alcune sezioni d'urto effettuate dalle collaborazioni ERNA, LUNA e ASFIN. Tra i risultati più rilevanti per la misura del flusso di neutrini solari provenienti dalla catena PP abbiamo quelli riguardanti le reazioni: ${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p){}^4\text{He}$, di cui si discuterà nel seguito, ${}^3\text{He}({}^4\text{He}, \gamma){}^7\text{Be}$ (Di Leva 2009; Costantini 2008; Bemmerer 2006), ${}^7\text{Be}(p, \gamma){}^8\text{B}$ (Strieder 2001; Gialanella 2000; Angulo 2003), ${}^7\text{Be} + e^- \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$ (Simonucci 2013). Per quanto riguarda invece il ciclo del CNO, è stata studiata la reazione ${}^{14}\text{N}(p, \gamma){}^{15}\text{O}$ (Formicola 2004; Lemut 2006), che rappresenta il collo di bottiglia del ciclo CNO ed è l'ingrediente chiave per la determinazione dell'età degli Ammassi Globulari, gli oggetti più antichi della Galassia (Imbriani 2008); la reazione ${}^{15}\text{N}(p, \alpha){}^{12}\text{C}$, che chiude il ciclo CNO I (La Cognata 2009), e la reazione che compete con questa, la ${}^{15}\text{N}(p, \gamma){}^{16}\text{O}$,

che invece conduce al secondo ramo del ciclo CNO (LeBlanc 2010; Mukhamedzhanov 2011). Per standardizzare il calcolo del flusso di neutrini attesi dal Sole, nell'ambito della comunità di astrofisica teorica si è sviluppato un particolare modello stellare, noto come Modello Solare Standard (MSS). Esso è stato sviluppato negli anni per descrivere teoricamente il comportamento del Sole e fornire uno strumento unico e fondamentale per confrontare e interpretare le osservazioni di caratteristiche macroscopiche (temperatura, luminosità, raggio, metallicità, ...). Un impulso di notevole importanza in tale direzione fu dato da J. Bahcall.



È utile ricordare che l'interesse sui neutrini solari fu stimolato negli anni '60 dai risultati dell'esperimento Homestake, condotto da R. Davis, che per la prima volta rivelò il passaggio dei neutrini in una miniera in South Dakota. Il flusso misurato era molto inferiore a quello atteso dai calcoli di Bahcall. Per questo esperimento Davis ha ricevuto il Nobel nel 2002 assieme a M. Koshiba, responsabile di un altro esperimento sui neutrini solari (Kamiokande). Iniziò con questo esperimento un'epoca entusiasmante di ricerca, nota come problema del neutrino solare, che si è conclusa con la rivelazione diretta dell'oscillazione del neutrino solare nel viaggio fra il Sole e la Terra da parte dell'esperimento SNO (nella

figura qui sotto) all'inizio di questo secolo.



Se ripercorriamo i fatti dal punto di vista storico, ci accorgiamo che le ricerche sull'oscillazione dei neutrini e quindi la fisica oltre il modello standard, sono iniziate proprio a seguito delle inconsistenze tra la previsione del flusso di neutrini solari attesi secondo il MSS e i dati raccolti dai vari esperimenti quali Homestake prima, Kamiokande, Gallex/GNO e SAGE più tardi. Poiché questi esperimenti registravano sistematicamente un numero di neutrini inferiore a quelli attesi secondo il MSS, Willy Fowler nel 1970, come possibile soluzione al problema, ipotizzò la presenza di una risonanza nel picco di Gamow (16-26 keV) nella reazione $^3\text{He}(^3\text{He}, 2p)^4\text{He}$. La collaborazione LUNA eseguì quindi la misura diretta della reazione di cui sopra per confermare o smentire l'ipotesi. Le particolari condizioni di fondo cosmico presenti ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso e l'alta intensità del fascio e l'efficienza dell'apparato sperimentale consentirono di misurare la sezione d'urto fino a energie di 16.5 keV, con un rate minimo di 2 eventi al mese. Nessuna risonanza fu trovata e quindi si escluse una soluzione nucleare al problema (Bonetti 1999). A questo punto si rafforzò la possibile soluzione al problema del neutrino solare proposta da Pontecorvo negli anni 60 del secolo scorso, legata alle oscillazioni dei neutrini.

La cui conseguenza più importante è che i neutrini hanno massa. Questa soluzione è stata certificata con l'attribuzione del premio Nobel per la fisica 2015, in cui si menziona anche il ruolo giocato da vari esperimenti INFN quali per esempio OPERA, che ha osservato direttamente la comparsa di neutrini ν_τ da un fascio di soli neutrini ν_μ .

Per quello che riguarda le ricerche in corso e future, l'attenzione è rivolta su apparati sperimentali che si basano sulla diffusione elastica tra neutrini ed elettroni atomici, capaci di misurare l'energia dei neutrini. Un esempio è il rivelatore a scintillazione Borexino, installato presso i laboratori INFN del Gran Sasso, che potrà nel prossimo futuro fornire altre preziose informazioni sul funzionamento del Sole. Ad oggi infatti non ci sono evidenze sperimentali dirette di neutrini solari del ciclo CNO, la cui rivelazione rappresenta un test fondamentale per l'affidabilità del modello solare. Vale la pena sottolineare infatti che il flusso stimato dei neutrini legati al ciclo CNO dipende non solo dalla temperatura, ma anche dalla metallicità del Sole, dunque la loro rivelazione rappresenterebbe un altro tassello per testare la robustezza dei modelli solari. In questo caso, i neutrini legati al decadimento del ^8B e del ^7Be giocano un ruolo fondamentale e il loro flusso deve essere stimato con estrema cura. Non a caso, la comunità di astrofisica nucleare sta cercando di determinare con accuratezza i rate delle reazioni nucleari coinvolti, ad esempio quelli di formazione e distruzione del ^7Be e quelli legati al ciclo CNO.

Oltre all'oscillazione dei neutrini e alla verifica sperimentale del modello solare standard, i neutrini solari sono interessanti perché impiegano solo 2 secondi per raggiungere la superficie del Sole. Al con-

trario, la radiazione elettromagnetica necessita un periodo di tempo decisamente maggiore per sfuggire dagli interni solari. Quindi il fiotto di neutrini che ci attraversa mentre leggiamo queste righe è stato prodotto 8 minuti e 22 secondi fa, nelle reazioni nucleari al centro del Sole. Se potessimo rivelare neutrini e conoscerne la direzione di provenienza avremmo un'istantanea del nucleo del Sole. Non è un esercizio di fantasia, ma ciò che accade in un esperimento per la rivelazione di neutrini come per esempio Super-Kamiokande. Un rivelatore che sfrutta la radiazione Čerenkov prodotta dal moto degli elettroni in acqua, a seguito di una diffusione elastica dovuta all'interazione con un neutrino.

Infine, recenti misure legate alla eliosismologia (studio delle oscillazioni che avvengono nel Sole) hanno fornito informazioni sulla distribuzione di massa dello strato esterno del Sole (la zona convettiva) e quindi una sorta di validazione indipendente del SSM. Poiché la struttura del Sole dipende dalla sua metallicità, sembra che queste recenti misure mettano in evidenza una incongruenza tra la metallicità osservata e la stratificazione teorica degli interni solari, in particolare l'estensione del suo involucro convettivo.

Il campo di ricerca legato ai neutrini solari è molto vivace e quest'anno si terrà la 5^a conferenza internazionale sui neutrini solari in cui i gruppi italiani di astrofisica nucleare saranno sicuramente protagonisti, poiché uno degli ingredienti principali del Modello Solare Standard, i reaction rate delle reazioni nucleari coinvolte, vengono determinati accuratamente anche grazie al lavoro delle collaborazioni ERNA, LUNA e ASFIN, che da anni si dedicano allo studio di queste reazioni negli intervalli di energia di interesse.

In evidenza

- ❑ *Misura @LNS di $^{25}\text{Mg}(n,\alpha)^{22}\text{Ne}$ per studiare la $^{22}\text{Ne}(\alpha,n)^{25}\text{Mg}$;*
- ❑ *Misura @LNS di $^{27}\text{Al}(p,\alpha)^{24}\text{Mg}$;*
- ❑ *Accettati gli articoli su $^{10}\text{B}(p,\alpha_0)^7\text{Be}$ -PRC- e $^{19}\text{F}(\alpha,p)^{22}\text{Ne}$ -APJ-;*
- ❑ *Russbach School on Nuclear Astrophysics.*

Un intenso periodo sperimentale

L'attività di AsFiN in questi mesi è stata principalmente volta alle misure realizzate ai LNS: a Febbraio è stato ripreso *Magn-a* (per la misura di $^{22}\text{Ne}(\alpha,n)^{25}\text{Mg}$), con la sorgente LNS rimessa a nuovo. Insieme alla $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$, già studiata da AsFiN (La Cognata 2013), essa è una delle principali sorgenti stellari di neutroni. A Marzo, invece, un'altra ampia collaborazione internazionale ha visto prendere vita *27Alfa*. La reazione misurata è stata la $^2\text{H}(^{27}\text{Al},\alpha^{24}\text{Mg})n$, per ottenere con il THM la sezione d'urto della $^{27}\text{Al}(p,\alpha)^{24}\text{Mg}$. Questa è la prima di una serie di misure con cui si vuole indagare con il THM la problematica della nucleosintesi dell'alluminio nella Via Lattea.

Con un altro metodo indiretto, l'*Asymptotic Normalization Coefficients* (ANC), è stata effettuata la misura della $^{26}\text{Si}(p,\gamma)^{27}\text{P}$ presso il NPI (Rez, Repubblica Ceca), il cui ultimo *run* si è tenuto proprio in questi mesi. Il gruppo ha inoltre partecipato alla misura ad ALTO (IPN-Orsay, Francia) della reazione $^{35}\text{Cl}(^3\text{He},t)^{35}\text{Ar}$ (problematica della distruzione del ^{34}Cl nelle novae).

Come ogni anno, poi, AsFiN ha partecipato alla *Russbach School on Nuclear Astrophysics* (Austria), in cui sono stati esposti agli studenti l'attività scientifica dei LNS (Stefano Romano) ed il THM, sia nelle sue generalità che nel caso specifico della nucleosintesi primordiale (Roberta Spartà). Marco La Cognata, invece, ha mostrato come studiare le reazioni risonanti con i metodi indiretti.

In queste settimane, inoltre, il gruppo ha festeggiato il conseguimento del PhD di Giuseppe D'Agata, che ha difeso la sua tesi dal titolo *The $^{19}\text{F}(\alpha,p)^{22}\text{Ne}$ and $^{23}\text{Na}(p,\alpha)^{20}\text{Ne}$ reactions in astrophysical environment with the Trojan Horse Method*, sulla realizzazione e l'analisi delle misure di queste due reazioni molto importanti per le stelle AGB. La prima è infatti il canale principale di distruzione del fluoro per AGB di piccola massa ($2-4 M_{\odot}$), ed il *reaction rate* estratto dalla misura THM è risultato essere 4 volte maggiore delle precedenti stime nella regione di temperature di interesse astrofisico ($0.2 < T_9 < 0.6$); la seconda reazione è invece particolarmente importante per le AGB di massa intermedia ($4-8 M_{\odot}$), poiché il suo *branching ratio* rispetto alla $^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$ determina il passaggio dal ciclo NeNa al MgAl.

In evidenza

- ❑ *Publicazione su METEORITICS AND PLANETARY SCIENCE riguardante la pallasite di Mineo;*
- ❑ *Accettato l'articolo su ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$ - EPJ A -;*
- ❑ *Sottomissione articolo su EPJ A riguardante i bersagli per la misura della ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$.*
- ❑ *Sottomissione articolo su EPJ A riguardante il rivelatore GASTLY.*
- ❑ *Primo run di misura della ${}^7\text{Be}(p,p){}^7\text{Be}$;*

Finora, negli esperimenti diretti che hanno prodotto dati utili, la misura è stata eseguita in cinematica diretta, utilizzando un intenso fascio di protoni su un bersaglio radioattivo contenente ${}^7\text{Be}$. La complicata stechiometria del bersaglio e il suo deterioramento sotto il bombardamento del fascio potrebbero essere all'origine delle discrepanze osservate tra i diversi esperimenti esistenti. L'impiego di una metodologia di misura diretta così differente dalle precedenti può far luce su eventuali effetti sistematici presenti nei dati sperimentali esistenti e non considerati nelle analisi. L'articolo in fase di pubblicazione presenta in dettaglio la tecnica di misura della sezione d'urto assoluta, in particolare descrive le varie fasi di messa a punto del-

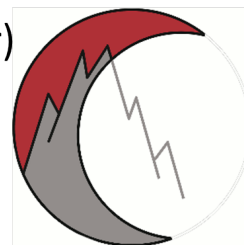
Misura diretta in inversa, la ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$

Un nuovo articolo riguardante la misura della sezione d'urto assoluta della reazione ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$ con il separatore di rinculi ERNA è in fase di pubblicazione. La sezione d'urto di questa reazione rappresenta ancora una delle maggiori fonti di incertezza sulle previsioni della componente di alta energia del flusso di neutrini solari e ha anche un impatto diretto sull'abbondanza di ${}^7\text{Li}$ al termine della nucleosintesi di Big Bang. Contrariamente a quanto più comunemente si è fatto in passato, in questo esperimento si misura la sezione d'urto assoluta della reazione in cinematica inversa. Ossia, nell'esperimento, si fa scontrare un fascio di ioni radioattivi di ${}^7\text{Be}$ con un bersaglio di idrogeno e si rivela, grazie al separatore di rinculi ERNA, il ${}^8\text{B}$ prodotto nella fusione di proiettile e bersaglio.

l'apparato e tutte le misure di caratterizzazione del separatore. Infatti per la stima della sezione d'urto assoluta bisogna determinare con precisione non solo le caratteristiche del fascio incidente e del bersaglio, ma anche la capacità di raccogliere tutti i rinculi prodotti. Per tali motivi è necessario conoscere accuratamente la perdita di energia nel bersaglio, la distribuzione di stato di carica dei rinculi e la capacità del separatore di portare tutti i rinculi prodotti nel bersaglio fino al rivelatore di particelle finale. L'analisi di più punti sperimentali nell'intervallo di energia $E_{\text{cm}} = 350 - 800$ keV è in fase di conclusione, a breve i risultati e il loro impatto sulla determinazione del tasso stellare della ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$ saranno presentati alla comunità scientifica.

LUNA

Laboratory (for)
Underground
Nuclear
Astrophysics



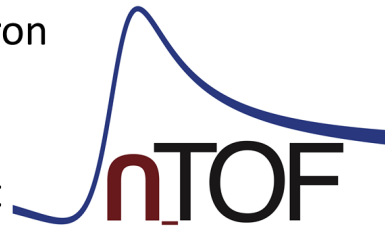
In evidenza

- ❑ *Misura di $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ @ LNGS;*
- ❑ *Upgrade sulla linea di fascio del bersaglio gassoso;*
- ❑ *Visita alla High Voltage per seguire le attività di preparazione del nuovo acceleratore;*
- ❑ *Continuano le attività di preparazione per la NIC*
- ❑ *Pubblicazione degli articoli tecnici relativi alle reazioni: $^{23}\text{Na}(p, \gamma)^{24}\text{Mg}$ e $^{22}\text{Ne}(p, \gamma)^{23}\text{Na}$*

Misura diretta di $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ @ LNGS Si è appena conclusa la prima campagna di misura diretta a bassa energia della reazione $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ nell'ambito dell'esperimento LUNA, presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso. L'obiettivo è la misura della sezione d'urto in un intervallo energetico prossimo alla finestra di Gamow (140-230 keV) relativa ad ambienti stellari con temperature di 10^8 K, con un'incertezza complessiva del 10%. La reazione oggetto di questo studio è molto importante in quanto è la principale sorgente di neutroni nelle stelle di piccola massa (tra 1 e 3 masse solari) appartenenti al Ramo Asintotico delle Giganti. I prodotti di reazione danno luogo a processi di cattura neutronica lenta (processi s), responsabili della nucleosintesi di metà dei nuclei con masse superiori al Ferro.

Il fondo di neutroni dei Laboratori sotterranei del Gran Sasso, ridotto di circa tre ordini di grandezza rispetto a quello in superficie, e l'alta intensità del fascio alfa (corrente media di 150 μA) dell'acceleratore LUNA rappresentano i punti di forza della misura. Infatti la loro combinazione permette di sopprimere ad uno yield di reazione, che in condizioni ottimali di misura, raggiunge al massimo una decina di conteggi al mese per energie prossime al picco di Gamow. Essendo il Q valore della reazione pari a 2.215 MeV, per energie di fascio comprese tra 300 e 400 keV, i neutroni emessi hanno energia tra i 2 e i 3 MeV.

Per la loro rivelazione è stato utilizzato un rivelatore composto da 18 contatori a ^3He (ciascuno con pressione di 10 atm), disposti secondo due circonferenze concentriche di raggio 6 e 11 cm e di lunghezza compresa tra 25 e 40 cm. I due anelli sono inseriti in un blocco di polietilene opportunamente scavato che viene adoperato come moderatore dei neutroni della reazione. Il tutto è schermato da 2.5 cm di Polietilene Borato per ridurre ulteriormente il fondo di neutroni proveniente dall'esterno. I primi risultati saranno presentati a Giugno 2018 alla conferenza internazionale Nuclei in che Cosmos XV, presso i LNGS.



In evidenza

Misure in programma nel periodo aprile-novembre 2018 @CERN-n_TOF:

- ❑ *processo-s in stelle massicce: $^{68}\text{Zn}(n, \gamma)$ e $^{70}\text{Se}(n, \gamma)$;*
- ❑ *modelli di stelle AGB: $^{140}\text{Ce}(n, \gamma)$;*
- ❑ *termine del processo-s: $^{205}\text{Tl}(n, \gamma)$;*
- ❑ *Sorgente di neutroni del processo-s: $^{16}\text{O}(n, \alpha)^{13}\text{C}$.*

2018 al CERN

La collaborazione n_TOF è impegnata quest'anno (da aprile a novembre) in una fitta campagna di misure, molte delle quali di interesse per l'astrofisica nucleare. Si è cominciato con le misure delle sezioni d'urto di cattura neutronica di ^{68}Zn e ^{80}Se . Queste sezioni d'urto sono d'interesse per lo studio del processo-s in stelle massicce (con massa dieci volte o più la massa del sole), che producono gli elementi dal Fe allo Zr, Y e Sr (ossia con massa atomica $A \sim 100$). Le stelle massicce riescono a produrre e a "contaminare" la galassia con i prodotti della nucleosintesi durante la loro evoluzione e nel corso dell'esplosione finale (fenomeno di Supernova). I processi di nucleosintesi che avvengono al loro interno sono quindi determinanti per gli studi dell'evoluzione chimica della Galassia.

Un'ulteriore misura che si inizierà alla fine di maggio è quella della sezione d'urto di cattura neutronica del ^{140}Ce . Questa è particolarmente importante per lo studio delle stelle AGB, responsabili della produzione degli elementi s più pesanti, fino al Pb/Bi. La peculiarità è che il cerio (la cui abbondanza solare è costituita al 90% da ^{140}Ce) è l'unico elemento in quella regione di massa atomica che, nelle osservazioni in ammassi globulari galattici arricchiti nel processo-s, devia rispetto ai modelli evolutivi stellari. È quindi essenziale conoscere la sua sezione d'urto di cattura neutronica (quantità che effettivamente ne determina l'abbondanza) per verificare la robustezza dei modelli stessi.

Un'altra misura che verrà effettuata a breve è la ^{205}Tl , fondamentale per deter-

minare con precisione il contributo delle stelle AGB alla produzione di ^{205}Pb , un isotopo radioattivo che è stato dimostrato essere presente al momento della formazione del Sistema Solare.

Infine, la sezione d'urto della reazione $^{16}\text{O}(n, \alpha)^{13}\text{C}$ sarà studiata a conclusione della campagna di misure del 2018. Questa reazione è la *time-reversal* della reazione che genera i neutroni necessari per la nucleosintesi del processo s. Il tasso di reazione per il processo diretto è estremamente difficile da misurare in laboratorio ad energie equivalenti a quelle stellari (si veda la sezione LUNA di questa newsletter). Uno dei modi di derivarne le caratteristiche essenziali è quello di studiare la reazione inversa, oggetto della misura ad n_TOF.

Inauguriamo in questo numero la rubrica "Notizie da mondo" dedicata alle ricerche nel campo dell'Astrofisica Nucleare condotte al di fuori dei gruppi italiani. I testi provengono direttamente da riconosciuti ricercatori che da anni si occupano di queste tematiche.

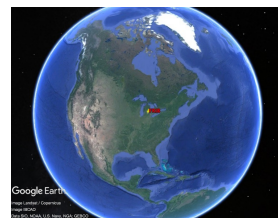


NOTIZIE DAL MONDO

dal nostro corrispondente

Ani Aprahamian - University of Notre Dame (USA)

NUCLEAR ASTROPHYSICS AT FRIB

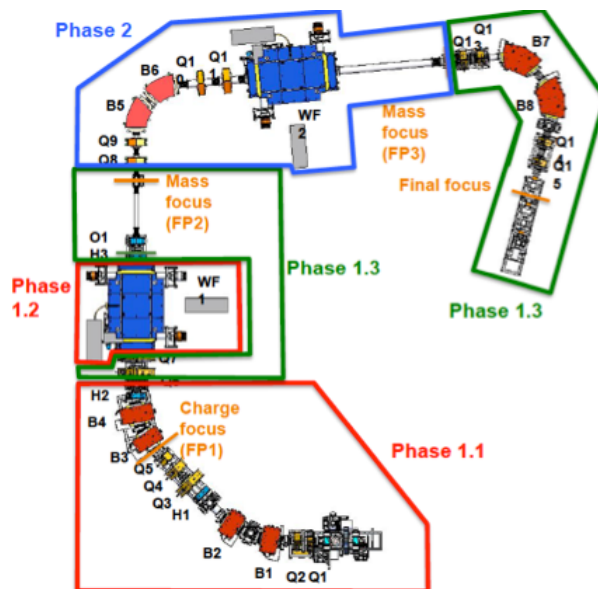


FRIB is the Facility for Rare Isotope Beams (FRIB) at Michigan State University, to be completed by 2022. The SECAR (Separator for Capture Reactions) apparatus will allow direct measurements of nuclear reaction rates of astrophysical interest.



The United States Office of Nuclear Physics is building the Facility for Rare Isotope Beams (FRIB) at Michigan State University with the scientific goals that span from the properties of exotic and rare nuclei, nuclear astrophysics, fundamental interactions, and societal applications including medicine. FRIB is based on the acceleration of stable atomic nuclei to significant fractions of the speed of light impinging on targets to produce rare isotopes with which to study the creation of the elements in the cosmos as well as the dia-

gnosis and cure of diseases, better nuclear energy designs, and a better understanding of materials at the nano- or micro-scale. The FRIB project is to be completed by 2022 with a user community that presently numbers at approximately 1400. Educating the next generation of scientists is a high priority for FRIB/NSCL/SECAR.

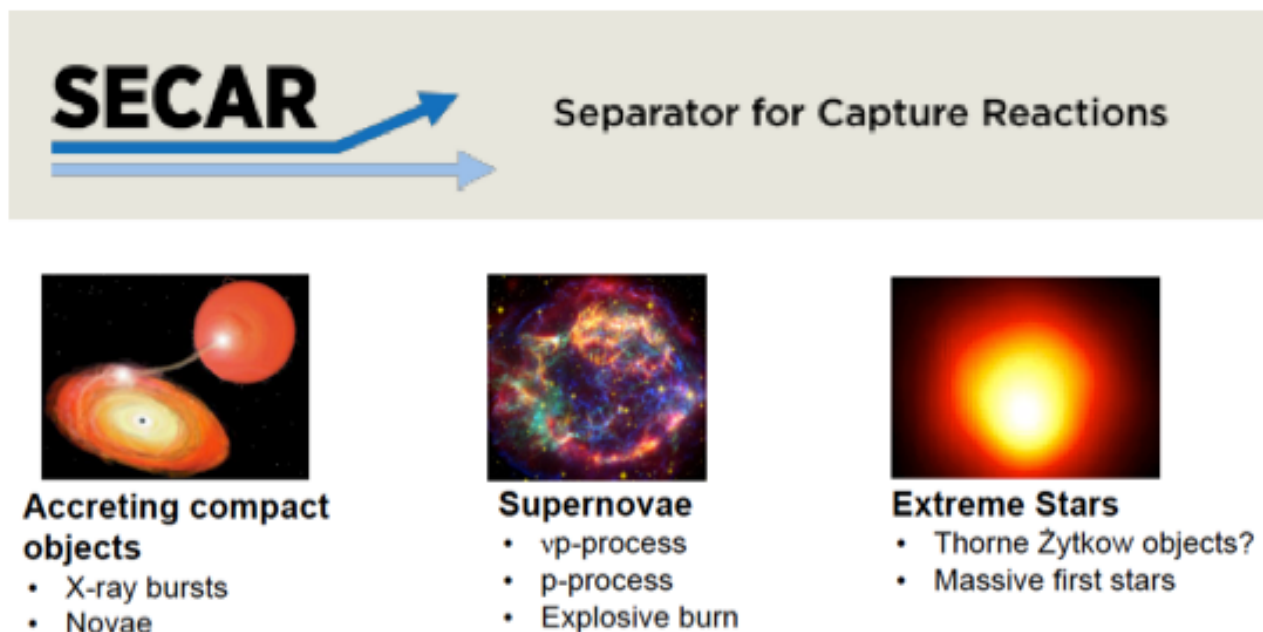


How to join experiments at SECAR or FRIB The experiments at FRIB and SECAR are open and welcoming to participation. All interested junior and senior scientists are encouraged to look up the FRIB Users Organization webpage and to register in order to receive new information. Within the FRIB users, there are working groups on various topics and detectors, the web-

site has information on collaborations and how to engage with FRIB.

There is also a yearly meeting of the low-energy community. In 2018, the meeting will take place at Michigan State University on August 10-11 ([link](#)).

There will also be a workshop in the spring of 2018 to assist users in preparing proposals for first experiments at FRIB. Details of this workshop will be announced in the near future.



The unique capabilities of the NSCL/FRIB in the low energy radioactive ion beam production are now being implemented in the development of SECAR (Separator for Capture Reactions) to allow direct measurements of nuclear reaction rates of astrophysical interest. The idea is to address some of the proton and alpha induced reactions that have not been measured to date due to the rib intensity limitations. The science of SECAR shown in the figure above is to address accreting compact objects such as x-ray bursts or novae or neutron stars, the νp -, p- and explosive burning processes of supernovae, and extre-

me massive stars or Thorne-Zytrow objects. SECAR is funded by both the US DOE and the NSF. The figure below demonstrates the various phases of the project. All the SECAR magnets have been delivered and they are now waiting for the two Wien filters. A first commissioning run will take place in mid May of 2018. This will be the first time that SECAR and all of its control systems will be operated together. Full commissioning will start early 2019.

Further information can be obtained from (sherrill@frib.msu.edu) or from the Manager for User Relations, Jill Berryman (berrymanj@frib.msu.edu).

Articoli e preprint

- Cristallo, S., La Cognata, M., Massimi, C., Best, A., Palmerini, S., Straniero, O., ... Vescovi, D. (2018, April). The importance of the $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ reaction in Asymptotic Giant Branch stars. *ArXiv e-prints*. (1804.10751)
- Damone, L., Barbagallo, M., Mastromarco, M., & The n_TOF Collaboration. (2018, March). The $^7\text{Be}(n, p)^7\text{Li}$ reaction and the Cosmological Lithium Problem: measurement of the cross section in a wide energy range at n_TOF (CERN). *ArXiv e-prints*. (1803.05701)
- Ferraro, F., Takács, M. P., Piatti, D., Mossa, V., Aliotta, M., Bemmerer, D., ... Zavatarelli, S. (2018, Mar 15). A high-efficiency gas target setup for underground experiments, and redetermination of the branching ratio of the 189.5 keV $^{22}\text{Ne}(p, \gamma)^{23}\text{Na}$ resonance. *The European Physical Journal A*, 54(3), 44. (link)
- Zucchini, A., Petrelli, M., Frondini, F., Petrone, C. M., Sassi, P., Michele, A. D., ... Busso, M. (n.d.). Chemical and mineralogical characterization of the mineo (sicily, italy) pallasite: A unique sample. *Meteoritics & Planetary Science*, 53(2), 268-283. (link)

Bandi ed eventi di interesse

- ❑ **Bando** Bando per proposte progettuali Call della CSN5 dell'INFN **scadenza 11 Giugno 2018**.
- ❑ **Scuola** Neutron star mergers for non-experts: GW170817 in the multi-messenger astronomy and FRIB eras. East Lansing (USA), 16-18 Maggio 2018.
- ❑ **Conferenza** The 10th international conference on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2018). Matsue (Giappone), 4-8 Giugno 2018.
- ❑ **Scuola** XXX International Seminar of Nuclear and Subnuclear Physics. Otranto, 5-12 Giugno 2018.
- ❑ **Conferenza** 5th International Solar Neutrino Conference. Dresda (Germania), 11-14 Giugno 2018.
- ❑ **Conferenza** 15th Varenna Conference on Nuclear Reaction Mechanisms. 11-15 Giugno 2018.
- ❑ **Scuola** NIC-2018 Satellite School on experimental and theoretical methods in Nuclear Astrophysics with applications. Caserta, 18-22 Giugno 2018.
- ❑ **Conferenza** Nuclei in the Cosmos XV. LNGS, 24-29 Giugno 2018.
- ❑ **Scuola** GEANT4 + FPGA. Alghero, 24-29 Giugno 2018.
- ❑ **Conferenza** 4^a European Nuclear Physics Conference. Bologna, 2-7 Settembre 2018.
- ❑ **Conferenza** 6th International Workshop on Compound-Nuclear Reactions and Related Topics. Berkeley (USA), 24-28 Settembre 2018.
- ❑ **Conferenza** Quarto Incontro Nazionale di Fisica Nucleare. LNS, 7-9 Novembre 2018.

Testi e argomenti a cura di:

Raffaele Buompane, Francesca Cavanna, Sergio Cristallo, Gianluca Imbriani,
Marco La Cognata, Laura Magrini, Cristian Massimi, Alberto Mengoni e Roberta Spartà.