

Data	27 Aprile, 2022
Topic	Consuntivo Scientifico NUCLEX 2021.
Autori	I. Lombardo, T. Marchi.

Index

1. Esperimenti/Prese Dati
2. Stato apparati sperimentali
3. Stato analisi dati
4. Collaborazioni ed altre attività
5. Pubblicazioni

Esperimenti / Prese dati

	Setup	Laboratorio	Esperimento	Giorni	Stato
EXP1	GARFIELD	LNL	ISOLIGHT	7	EFFETTUATO
EXP2	OSCAR	LNL	HELICA	10	EFFETTUATO
EXP3	ACTAR/ATS	ISOLDE		5	EFFETTUATO
EXP4	OSCAR	LNL	MORALIS	20	EFFETTUATO MA CON PROBLEMI DI FASCIO
EXP 5	FAZIA	GANIL	TEST	10	EFFETTUATO

Stato apparati sperimentali

1. FAZIA

Nel 2021 l'attività con FAZIA si è incentrata sugli esperimenti eseguiti o programmati nella configurazione in cui i 12 blocchi FAZIA sono montati insieme all'array INDRA nella camera sottovuoto INDRA del GANIL. Inoltre è in corso una costante ed efficace collaborazione con i colleghi coreani su diversi settori, di seguito spiegati.

Sviluppo di nuove schede elettroniche FEE

Si tratta di un importante ponte di collaborazione con i colleghi coreani. Sono stati infatti in grado di realizzare nel 2021 la progettazione e la produzione di due nuove schede 6ch-FEE, l'importanza di questo è legata al fatto che queste nuove schede dispongono di un solo FPGA al posto delle due obsolete che sono molto difficili da reperire sul mercato. Inoltre dal 2018, a seguito del ritiro del gruppo francese capofila della progettazione e realizzazione della FAZIA FEE, questo settore era debole e nell'ambito della collaborazione sono state possibili solo alcune difficili operazioni di manutenzione sulla FEE. Pertanto, la possibilità di costruire nuove carte con nuova manodopera permette di pianificare al meglio le future sperimentazioni e di essere al sicuro per quanto riguarda sostituzioni e riparazioni. Le due nuove carte sono state interamente finanziate dalla Corea. La nostra attività è consistita in stretti collegamenti con i colleghi (molti video meeting e scambi di firmware FW e software SW) per velocizzare l'iniziativa. Le ultime modifiche FW, necessarie in conseguenza del diverso layout della parte FPGA della FEE, sono state appena implementate e una delle prime card arriverà a Firenze per i dovuti controlli a metà 2022.

Sviluppo di nuovi rivelatori al silicio

La collaborazione coreana è stata molto efficace anche nel settore dei rivelatori. Infatti la produzione dei pad da 750micron tipo FAZIA a partire dai 25 wafer precedentemente acquistati in Corea è stata completata a fine 2020 e nel 2021 molti pad sono stati montati in quartetto (2x2 pad) secondo le specifiche meccaniche ed elettriche dell'apparato FAZIA. Il montaggio è stato eseguito nella camera bianca della Sezione di Firenze, grazie all'aiuto di esperti locali. I primi 8 quartetti sono stati utilizzati per assemblare 2 nuovi BLOCK con il secondo strato di silicio avente uno spessore di 750 micron invece dei tradizionali 500 micron. Questo lavoro viene fatto in vista della vista delle ridotte perdite di energia specifica alle energie di bombardamento più elevate attese per l'esperimento E818 che utilizzerà fasci di 74 MeV/u (Ar,Ni): il sensore più spesso consente un deposito di energia più grande per le specie atomiche rilevanti. Ogni nuovo pad da 750 micron, organizzato in quartetti, è stato testato con sorgente alfa ed elettronica convenzionale e ha dimostrato buone prestazioni (risoluzione energetica dell'ordine di 23 keV -FWHM- per alfa 5486 keV da ²⁴¹Am).

Esperimento di test ad Aprile 2021

Nel corso del 2021 presso GANIL è stato possibile effettuare solo un breve test. In questa occasione abbiamo caratterizzato in vuoto i primi due blocchi con le nuove pad da 750 micron. Per questo test, importantissimo anche per verificare la nuova elettronica INDRA completamente rinnovata, sono stati montati solo 8 blocchi Fazia come da foto. I risultati ottenuti sotto fascio hanno confermato la buona qualità delle nuove pad. Così sono stati costruiti gli altri due blocchi previsti con un secondo strato di Si da 750 micron.

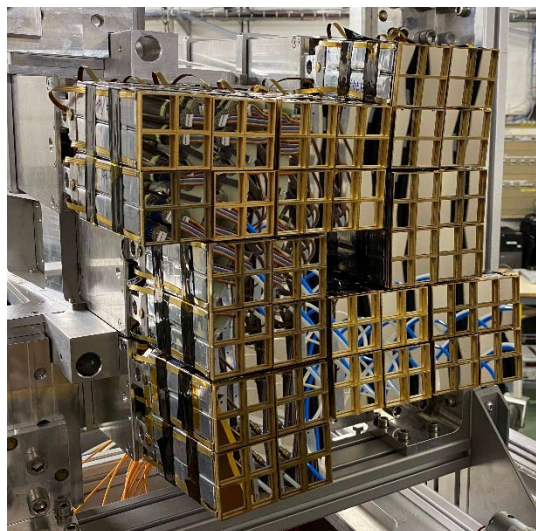


Figura 1. L'apparato FAZIA installato nella camera di reazione di INDRA.

Miglioramenti su connessioni e parti meccaniche

Un punto debole del progetto FAZIA è legato ad alcune parti elettromeccaniche, dovute al montaggio rivelatore-FEE estremamente compatto che è completamente progettato in casa e quindi si basa esclusivamente su soluzioni personalizzate. Qualsiasi modifica da apportare non ha una soluzione commerciale di facile utilizzo; inoltre, la modifica deve rispettare la piena compatibilità con i precedenti accoppiamenti rivelatori-elettronica. Nel 2021 sono stati fatti molti sforzi per migliorare il montaggio del rivelatore e l'accoppiamento elettrico. Sono stati aggiunti alcuni accorgimenti relativi all'installazione finale dei quartetti sul supporto Csl. Questi nuovi dettagli e metodi sono stati adottati durante la costruzione di nuovi blocchi o la ristrutturazione di quelli vecchi. La fase di rimontaggio del rivelatore, con tanto di test e controllo incrociato nelle varie fasi del processo (per Si1, Si2 e Csl separatamente) è proseguita nell'autunno 2021 e si è conclusa con una settimana GANIL, quando abbiamo partecipato alla reinstallazione completa della FAZIA array in vista dell'esperimento E818, ora in corso.

Riprogettazione delle piastre di raffreddamento in rame

Un'altra parte critica del progetto è stata la speciale brasatura per chiudere le piastre di rame di raffreddamento; ciascuna lastra di rame, pur supportando i rivelatori e tutti i circuiti elettronici, consente anche la dispersione del calore sotto vuoto delle schede FEE. Alcuni dei vecchi piatti avevano perdite d'acqua. In collaborazione con i colleghi francesi abbiamo partecipato all'aggiornamento del design che permette una più facile brasatura.

Accoppiamento DAQ INDRA-FAZIA

A causa della nuova elettronica digitale utilizzata per l'apparato INDRA, uno sforzo molto grande è stato dedicato all'accoppiamento di questa nuova elettronica con il FAZIA DAQ. Questo compito è stato svolto utilizzando lo stesso sistema di prima: il chip CENTRUM per produrre un timestamp da distribuire agli eventi FAZIA e INDRA.

Riparazione e test in laboratorio delle carte FEE rotte

Un'importante attività lo scorso anno si è incentrata sulla diagnosi e la riparazione delle schede FEE rotte. Come detto la collaborazione è orfana da anni di leadership nell'elettronica ma, in uso, ci sono circa 140 schede FEE costruite in varie fasi nel corso degli anni che necessitano manutenzione. Le schede FEE sono implementate in varie versioni e non è facile verificare il malfunzionamento delle varie parti che sono anche molto difficili da riparare nei normali laboratori con strumenti standard. Abbiamo quindi investito molto tempo per selezionare una partnership commerciale con aziende in grado di lavorare in stretto collegamento con noi, a partire dalla fase diagnostica. Questa attività ha avuto successo ed è stato stabilito un efficiente collegamento con un partner commerciale. Si è ottenuta la riparazione di molte FEE, partendo da quelle dove si era rotto un solo canale del preamplificatore. Sono stati rilevati altri guasti più difficili da individuare e sono stati riparati altri FEE danneggiati. L'operazione è ancora in corso. All'interno di questa attività FEE ricordiamo anche il potenziamento della stazione di prova della FEE che è stata realizzata nel laboratorio di Firenze.

2. GARFIELD

L'esperimento ISOLIGHT è stato completato con successo utilizzando fasci di $^{16-18}\text{O}$ alla massima energia disponibile presso l'acceleratore TANDEM-ALPI. Il rivelatore ha funzionato correttamente nella configurazione GARFIELD FW + GARFIELD BW + RCo. Questo fatto, combinato con l'ottima qualità dei fasci forniti nel 2021 ha permesso di raccogliere un esteso set di dati, così come riportato nella riunione di commissione di Luglio 2021.

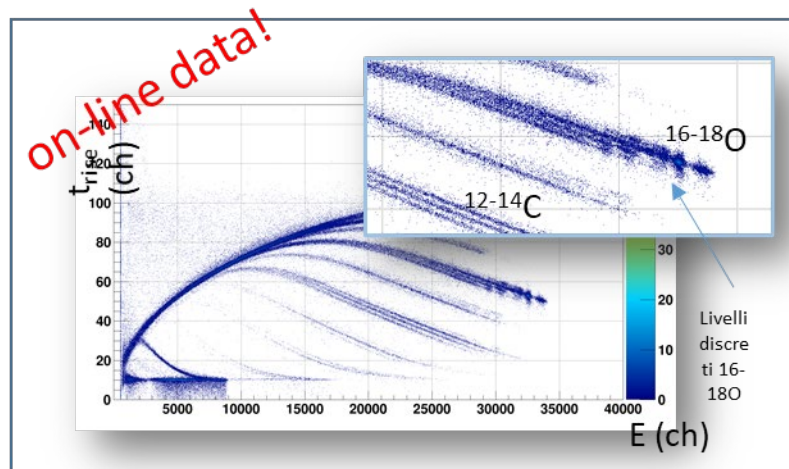


Figura 2. Matrici di identificazione (PSA) in un rivelatore al silicio del rivelatore RCo.

Dopo la conclusione della campagna, in vista dell'upgrade della camera GARFIELD BW da completare entro il 2022, sono iniziati i lavori di smontaggio di quella parte di rivelatore. Gli 84 scintillatori CsI(Tl) sono stati trasportati a Firenze dove sono state completate le operazioni di manutenzione straordinaria (ri-fasciatura, pulizia, controllo fotodiodi), di caratterizzazione e di montaggio sulla nuova meccanica già precedentemente realizzata. Il nuovo setup è stato integrato con i 12 rivelatori nuovi fino a formare il set completo di 96 CsI(Tl) con copertura 2π .

Sono state anche sviluppate e prodotte delle nuove basette per i preamplificatori ed è stato disegnato un nuovo sistema di montaggio basette, cablaggio e raffreddamento (da realizzare nel 2022).

Sono inoltre proseguiti i lavori di caratterizzazione dei due prototipi delle nuove Motherboards GCU con test anche sotto fascio (parassitando la disponibilità di misure presso l'acceleratore AN2000 dei LNL). A seguito della validazione generale del progetto ed avendo applicato solo modifiche minori al disegno elettronico, è stata lanciata la pre-produzione per 10 schede nella versione definitiva.

3. ACTAR e ATS

Nel 2021, col supporto del servizio elettronico della Sezione di Catania è stata completata la progettazione di una nuova flangia attiva per il rivelatore ATS che alloggerà un sistema di 40 rivelatori al silicio, e che prevederà la possibilità di alloggiare anche una piccola Faraday cup per consentire la diagnostica dei trasporti nei passaggi di fasci pilota stabili ad intensità moderatamente alta durante le fasi di set-up sperimentale.

In accordo con la collaborazione internazionale ACTAR, il dimostratore ACTAR è stato trasferito al CERN dove è stato completato un esperimento presso la facility ISOLDE. Fasci esotici di isotopi Fr prodotti e accelerati da HIE-ISOLDE ed il target gassoso riempito di idrogeno sono stati utilizzati per studiare il processo di fissione indotta dalle reazioni di trasferimento. La collaborazione NUCLEX ha contribuito fornendo moduli elettronici GET per l'acquisizione dati, la struttura meccanica per il posizionamento e l'allineamento del rivelatore e condividendo il software di disimballaggio e tracciamento sviluppato per la precedente campagna LNS.

In parallelo sono continuate le attività propedeutiche alla realizzazione dell'esperimento "Li-Alpha" con ACTAR presso GANIL. Stiamo collaborando con il laboratorio ospitante allo sviluppo del fascio di 8Li a bassa energia necessario per la realizzazione dell'esperimento. Il test pianificato per il 2021 è stato rimandato a causa di problemi agli acceleratori. Nel frattempo, presso la sede di Catania, si sta predisponendo il rivelatore ancillare al Silicio da posizionare a zero gradi.

A Padova è proseguito lo sviluppo di un prototipo di rivelatore di neutroni/gamma, basato scintillatori plastici letti tramite un array SiPM, da utilizzare come rivelatore ancillare dell'Active Target per SPES. Abbiamo studiato un preamplificatore innovativo appositamente progettato per gestire la somma dei singoli segnali e l'alimentazione di ogni pixel di array 4x4 SiPM (prodotti da AdvanSiD, Trento, Italia). Abbiamo studiato la risposta di scintillatori plastici di piccole, medie e grandi dimensioni con capacità di discriminazione neutroni/gamma con due letture: un array SiPM 4x4 e un PMT standard da 2" come riferimento.

Gli scintillatori plastici piccoli (EJ-299, 0,8 "x 0,8") e medi (EJ-276 e EJ-276G, 1 "x1") mostrano un'eccellente discriminazione n/gamma (Figura di merito, FOM, valori > 1) raggiungendo quasi l'80% delle prestazioni di un PMT standard. Inoltre, una buona raccolta di luce combinata con l'elevata efficienza di rivelazione dei fotoni (PDE) del SiPM ha prodotto risultati eccellenti in termini di risoluzione energetica.

Aumentando la dimensione dello scintillatore rispetto (EJ299, 2 "x2") all'area coperta da SiPM, abbiamo ottenuto una scarsa capacità di discriminazione n / gamma, probabilmente a causa della limitazione della raccolta di luce.

È chiaro che piccoli scintillatori non sono utili per la maggior parte delle applicazioni e, per questo motivo, i passaggi successivi consisteranno nell'aggiunta di array SiPM in modo da aumentare la raccolta della luce e allo stesso tempo le prestazioni di discriminazione (almeno 3 o 4 array per coprire più del 50% della faccia dello scintillatore) e finalizzare la migliore configurazione.

4. OSCAR

Nel 2021 il rivelatore OSCAR ha raggiunto il suo sviluppo definitivo: in configurazione completa è stato adoperato nella realizzazione dell'esperimento HELICA all'acceleratore AN2000 di Legnaro. Abbiamo inoltre realizzato la meccanica definitiva per l'accoppiamento alle camere di reazione presenti sia all'AN2000 che al CN di Legnaro, e il sistema di raffreddamento a fluido che permette di ottimizzare le performance dell'elettronica. Col supporto del servizio Elettronica della sezione INFN di Catania sono stati realizzati tutti i cavi speciali per il passaggio dei segnali e delle tensioni di alimentazione e di servizio tramite flange, tutte le flange coi passanti di segnali e di raffreddamento, ed un nuovo modulo NIM costruito in casa per la gestione delle basse tensioni di funzionamento dei preamplificatori. Nella figura sono mostrate alcune immagini del setup sperimentale montato per l'esperimento HELICA. Sottolineiamo come, a nostra conoscenza, sia la prima volta che in una camera da vuoto di soli 20 cm di raggio (tipicamente adoperata per esperimenti di fisica applicata e struttura della materia) sia stato possibile montare e gestire un sistema di circa 100 rivelatori ad alta risoluzione, segmentazione e granularità.

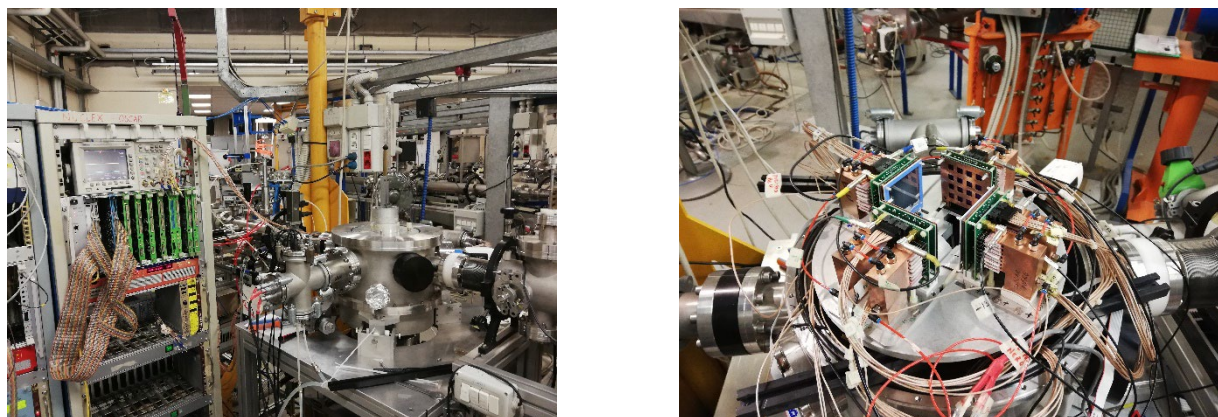


Figura 3. (sx) Una parte dell'elettronica utilizzata nell'esperimento HELICA, e la piccola camera da vuoto con tutte le flange passanti da noi realizzate. (dx) OSCAR nel setup dell'esperimento HELICA. In questo esperimento sono stati adoperati anche dei collimatori passivi sui secondi stadi di rivelazione.

L'esperimento, il cui scopo era la ricostruzione della funzione di eccitazione di vari canali di reazione nelle collisioni $^3\text{He}+^{13}\text{C}$, è stato purtroppo funestato da una serie continua di black-outs della rete elettrica del padiglione dell'AN2000 che ha danneggiato un cospicuo numero di rivelatori al silicio ed ha molto rallentato la fase di presa dati. Malgrado questo, l'eccellente

funzionamento dei rivelatori rimasti integri ha permesso di ottenere buonissime risoluzioni isotopiche di particelle leggere a bassa energia (con soglia di circa 1.2 A MeV) e di osservare per la prima volta il canale di reazione $^{13}\text{C}(^3\text{He},d_0)^{14}\text{N}$ mai visto finora. Particolare cura è stata posta nella realizzazione di calibrazioni energetiche, malgrado l'ambiente proibitivo dovuto ai grandi flussi di particelle deflesse elasticamente in queste collisioni a bassissima energia (1.4-2.2 MeV incidenti). Un esempio di matrice ottenuta è riportato nella figura seguente, insieme ad un esempio di calibrazione a molti punti. L'analisi dati complessiva è attualmente in corso.

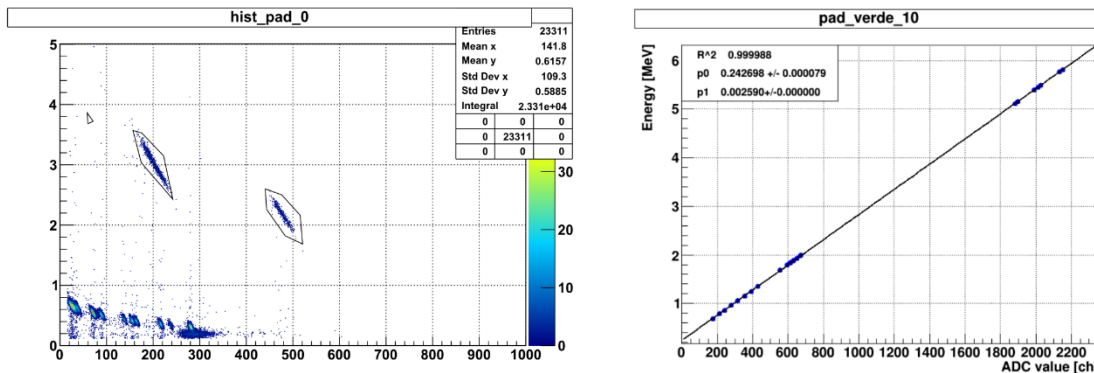


Figura 4. (sx) Un esempio di matrice DE-E ottenuta in una combinazione strip-pad di HELICA. Si osservano chiaramente le emissioni di 4He e protoni dovuti a vari stati dei nuclei residui. (dx) esempio di reta di calibrazione ottenuta con circa 20 punti fisici per un pad del rivelatore OSCAR.

4. X17

Nel 2021 sono proseguite le attività di sviluppo di un rivelatore per misurare coppie elettrone/positrone. Sono stati realizzati diversi componenti meccanici necessari per mettere in operazione la camera di reazione ex-RIPEN che si prevede di utilizzare presso gli acceleratori AN2000 e CN dei LNL (figura 5).

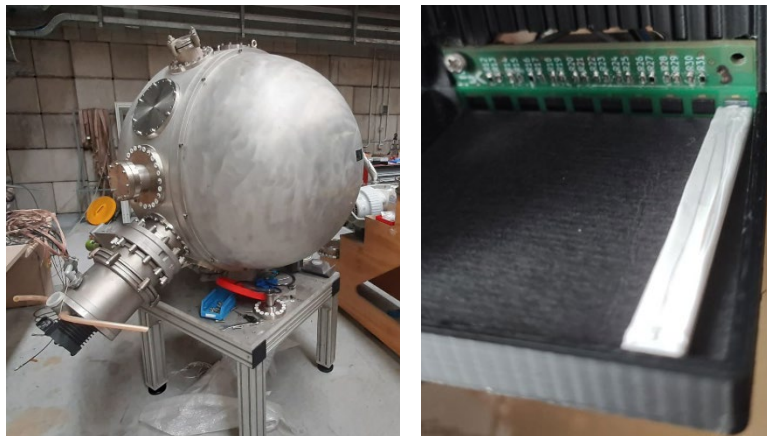


Figura 5. (sx) La camera di reazione per l'esperimento 8Be-X17 in fase di allestimento. (dx) Particolare di accoppiamento scintillatore-SiPM.

Sono proseguite le attività di sviluppo del blocco rivelatore, finalizzando il disegno e realizzando i primi prototipi. Il lavoro di caratterizzazione preliminare dei prototipi è descritto in una tesi di laurea magistrale discussa a luglio 2021 [R. Bolzonella, Unipd, 2021].

Test di trasporto del fascio presso l'acceleratore AN2000 hanno mostrato grosse difficoltà da parte della macchina a fornire le alte correnti richieste al punto misura (circa 1microA).

Le prove fatte in concomitanza con l'allestimento del punto misura avevano dato buoni risultati a bassa corrente, così come già riportato in precedenza. Al momento di incrementare la corrente, tuttavia, abbiamo riscontrato il disallineamento dell'unica lente magnetica presente all'AN2000 in grado di focalizzare il fascio sul punto misura. Questo rende impossibile il trasporto ottico e costringe all'utilizzo di collimatori di macchina molto stretti per contenere "meccanicamente" le dimensioni del fascio. Ovviamente questa procedura può essere utilizzata solo a prezzo dell'efficienza di trasporto ed impedisce di raggiungere i valori richiesti di corrente.

In attesa che l'acceleratore venga riportato alle sue condizioni di lavoro nominali, la collaborazione ha deciso di spostare l'apparato sperimentale presso il CN dove le energie minime non permetteranno di misurare il punto a 400 keV, ma dove non ci si aspettano problemi di focalizzazione e corrente ad 1 MeV (che rimane comunque il punto di misura di maggiore interesse).

Stato analisi dati

	Experiment	Setup	Topic	Status	Involved groups
DA1	ISOFAZIA	FAZIA @ LNS	Isospin transport phenomena and QP* decay	COMPLETED and PUBLISHED	FI
DA1	FAZIASYM	FAZIA @ LNS	Isospin equilibration and simmetry energy	COMPLETED and PUBLISHED	FI
DA3	TAUDEU	OSCAR @ LNL	Spectroscopic factors in tranfer reactions	PUBLISHED	CT,NA,LNL
DA4	HELICA	OSCAR @ LNL	Reaction mechanism and transfer reactions on 13C	ONGOING	LNS,CT,NA
DA5	MORALIS	Silicon @ LNL	Radiative width of the Hoyle state	COMPLETED	LNS,CT
DA6	---	---	Artificial intelligence in nuclear physics	PUBLISHED	LNS,CT
DA7	ACLUST	GARFIELD @ LNL	Cluster emission and pre-equilibrium	COMPLETED AND PUBLISHED	LNL, PD
DA8	ISOLIGHT	GARFIELD@LNL	Cluster emission and pre-equilibrium	ONGOING	FI

DA1 - ISOFAZIA experiment ($^{80}\text{Kr}+^{40,48}\text{Ca}@35\text{ A MeV}$ ai LNS)

Nell'articolo pubblicato nel 2021 su Physical Review C vengono presentati i dati sperimentali sui fenomeni di trasporto dell'isospin per i sistemi $\text{Kr}80+\text{Ca}40,48$ a 35 MeV/nucleone. I dati sono stati raccolti con quattro blocchi FAZIA installati ai LNS. Sono state confrontate le composizioni isotopiche del residuo di quasi-proiettile (fino a Z circa 25) e dei suoi prodotti di decadimento nelle due reazioni, ed abbiamo osservato un arricchimento neutronico quando il bersaglio è di 48Ca. La composizione isotopica delle particelle leggere cariche (LCP) e dei frammenti di massa intermedia (IMF) è stata anche studiata rispetto a diverse finestre di velocità. I risultati ottenuti sono stati confrontati con le previsioni del modello di dinamica molecolare AMD seguito dal codice statistico GEMINI (necessario per descrivere la fase di diseccitazione statistica dei pre-frammenti), con diverse prescrizioni per la dipendenza dalla densità dell'energia di simmetria nell'equazione di stato della materia nucleare. Abbiamo quindi osservato una debole indicazione a favore di un'energia di simmetria di tipo stiff, in special modo qualora vengano esaminati i frammenti emessi a mid-velocity.

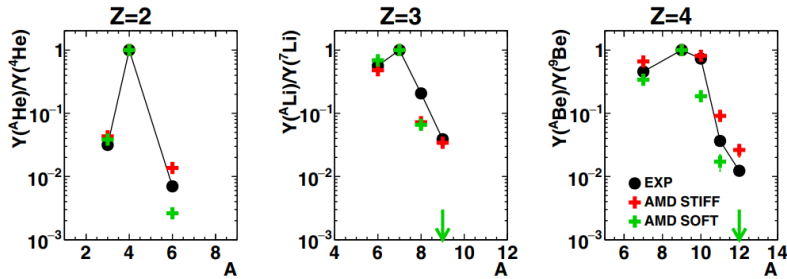


Figura 6. Rapporti isotopici di frammenti emessi dal quasi-proiettile nelle collisioni $80\text{Kr}+48\text{Ca}$ a 35 A MeV , confrontati con le previsioni AMD+GEMINI per diverse scelte della stiffness del termine di simmetria dell'equazione di stato della materia nucleare.

DA2 - FAZIASYM experiment ($^{40,48}\text{Ca} + ^{40,48}\text{Ca}$ @ 35 A MeV)

Nell'articolo pubblicato nel 2021 su *Physical Review C* discutiamo il processo di equilibratura dell'isospin nelle collisioni $48,40\text{Ca}+40,48\text{Ca}$ a 35 MeV/nucleone di energia di bombardamento, relizzate ai LNS mediante l'utilizzo di quattro blocchi di FAZIA. Il grado di equilibratura raggiunto dai partners di collisione viene stimato sperimentalmente mediante rapporti di osservabili fisiche legate all'isospin delle sorgenti di emissione di particelle. Per la prima volta in questo tipo di analisi, il canale evaporativo del quasi-proiettile (QP) viene confrontato con quello di break-up del QP in modo omogeneo e coerente, indicando una equilibratura dell'isospin confrontabile nei due casi, e questo suggerisce un tempo di interazione molto breve tra proiettile e bersaglio indipendentemente dal canale di uscita che viene selezionato. Inoltre, nel canale evaporativo QP l'equilibratura di isospin viene confrontata con la previsione del modello di dinamica molecolare AMD accoppiato con il modello statistico GEMINI. Dal confronto è emersa una maggiore probabilità di trasferimenti di protoni e neutroni previsti nelle simulazioni rispetto ai dati osservati sperimentalmente.

DA3 – TAU-DEU experiment ($^3\text{He}+^{32}\text{S}\rightarrow d+^{33}\text{Cl}$ al CN dei LNL)

Nell'articolo pubblicato nel 2021 su *Journal of Physics G* discutiamo nuovi dati sperimentali sul trasferimento di un protone nella reazione $^{32}\text{S}(^3\text{He}, d)^{33}\text{Cl}$ a 9.68 MeV di energia di bombardamento. I fasci di ^3He sono stati forniti dall'acceleratore CN di LNL. Nella misura abbiamo adoperato un bersaglio di solfuro di zinco arricchito in ^{32}S specificamente sviluppato con una tecnica innovativa presso il laboratorio bersagli dei LNL e caratterizzato mediante svariate tecniche chimiche e fisiche presso lo stesso laboratorio e l'acceleratore AN2000. Per la rivelazione e l'identificazione degli eiettili abbiamo adoperato un modulo dell'hodoscopio OSCAR. In questo modo abbiamo ottenuto spettri di deutoni ad alta risoluzione dai quali è stato possibile ottenere distribuzioni angolari assolute nelle reazioni di trasferimento di un protone verso stati legati e non legati nel nucleo residuo proton-rich ^{33}Cl . Le distribuzioni angolari sono state interpretate per mezzo di calcoli DWBA e di canali accoppiati. I fattori spettroscopici ottenuti sono stati confrontati con i precedenti risultati riportati in letteratura e con calcoli di modelli shell, fornendo alcune indicazioni interessanti sulle interazioni efficaci utilizzate nella descrizione dei nuclei della shell sd.

DA4 – HELICA experiment ($^3\text{He}+^{13}\text{C}\rightarrow ^4\text{He}+^{12}\text{C}$ @ AN2000-LNL)

L'esperimento, svolto a luglio 2021 all'AN2000 dei LNL, aveva come scopo era la ricostruzione della funzione di eccitazione di vari canali di reazione nelle collisioni $^3\text{He}+^{13}\text{C}$, con particolare

riguardo al canale di trasferimento di un neutrone dal bersaglio al proiettile. L'eccellente funzionamento dei rivelatori ha permesso di ottenere buonissime risoluzioni isotopiche di particelle leggere a bassa energia (con soglia di circa 1.2 A MeV) e di osservare per la prima volta il canale di reazione $^{13}\text{C}(^3\text{He},d_0)^{14}\text{N}$ mai visto finora. Particolare cura è stata posta nella realizzazione di calibrazioni energetiche. Un esempio di matrice ottenuta è riportato nella sezione precedente. L'analisi dati complessiva è attualmente in corso.

DA5 – MORALIS experiment ($d+^{14}\text{N}\rightarrow^4\text{He}+^{12}\text{C}^*$ al CN dei LNL)

L'esperimento, svolto a ottobre 2021 all'acceleratore CN dei LNL aveva come scopo la determinazione della larghezza di decadimento radiativa dello stato di Hoyle del ^{12}C a partire da misure di coincidenza stretta tra particelle cariche. L'utilizzo di un raffinato sistema di due telescopi a stato solido posti in anticoincidenza e l'implementazione di una misura di tempo di volo interno avrebbe permesso la riduzione dei fondi nella zona del segnale (molto raro) dovuto ai ^{12}C provenienti dalla diseccitazione dello stato di Hoyle. Purtroppo, gravi problemi legati alla qualità ed alla intensità del fascio di deutoni non hanno permesso di ottenere risultati significativi, se non quelli della conferma dell'eccellente funzionamento dell'apparato utilizzato in termini di risoluzioni energetiche e temporali e performances di coincidenza. Se LNL riuscirà a risolvere i problemi legati al trasporto del fascio, riproporremo la misura nel 2022 o 2023.

DA6 – AI analysis for Nuclear Physics (<<SuperPippo>> Computer @ INFN - CT)

In questo articolo, pubblicato su Computer Physics Communications, viene presentato un innovativo metodo automatico per la classificazione dei dati in esperimenti di fisica nucleare (matrici DE-E basate su telescopi di rivelatori) basato sul calcolo evolutivo e sulla quantizzazione vettoriale. Le principali novità dell'approccio sono il meccanismo completamente automatico e l'uso di modelli analitici per fornire vincoli fisici, riuscendo ad ottenere a una classificazione veloce e fisicamente affidabile con una supervisione umana quasi nulla. Il metodo è stato convalidato con successo utilizzando dati sperimentali prodotti da telescopi per l'analisi di reazioni nucleari. La classificazione risultante è altamente soddisfacente per tutti i casi esplorati ed è particolarmente resistente al rumore. Un esempio dei risultati ottenuti con questo algoritmo di machine learning è mostrato nella figura seguente. Sottolineiamo che il presente approccio è adatto per essere integrato nei software di analisi online e offline di multi-rivelatori ed odoscopi di cui è dotata la collaborazione (FAZIA, GARFIELD, OSCAR).

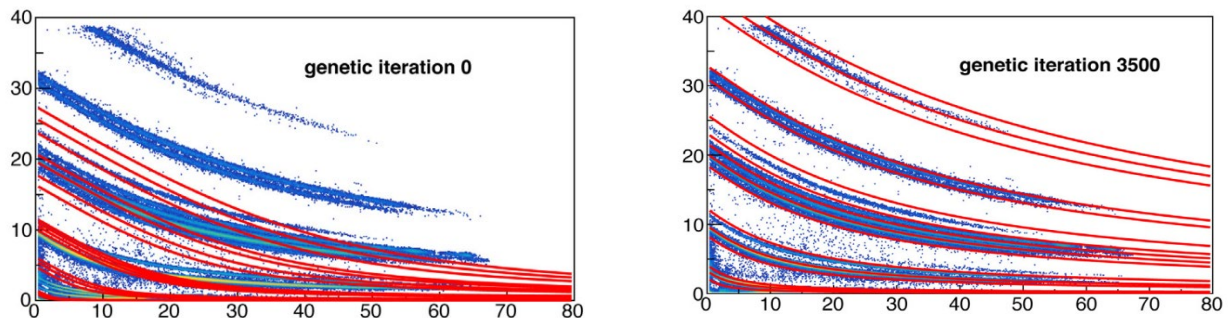


Figura 7. Esempio di analisi automatica mediante algoritmi genetici delle matrici DE-E tipicamente ottenibili in un esperimento di reazioni nucleari ad energie intermedie. (sx) nessuna iterazione genetica; (dx) processo di

identificazione dopo 3500 iterazioni del codice genetico: la qualità identificativa è paragonabile a quanto ottenibile in un processo prettamente human-assisted.

DA7 – ACLUST

I risultati dell'esperimento ACLUST, realizzato utilizzando fasci TAP ai LNL, sono stati pubblicati nel 2021 su Journal of Physics G. In questo lavoro abbiamo riportato uno studio dettagliato sulla diseccitazione del nucleo del composto ^{46}Ti popolato per mezzo di quattro diverse reazioni: $^{16}\text{O} + ^{30}\text{Si}$ a 7 e 8 AMeV, $^{18}\text{O} + ^{28}\text{Si}$ a 7 AMeV e $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$ a 7 AMeV. Sia le particelle leggere cariche che i frammenti più pesanti sono stati rivelati adoperando GARFIELD, consentendo di coprire una grande frazione dell'angolo solido con alta granularità. Gli eventi completi sono stati selezionati tramite tagli sulla carica totale raccolta. Gli eventi di fusione-evaporazione sono stati poi selezionati in base alla condizione che venga rivelato un solo frammento pesante in coincidenza con particelle leggere cariche. L'analisi delle osservabili globali, come la distribuzione di carica e la molteplicità delle particelle cariche leggere, è compatibile con la formazione di un nucleo composto termalizzato per tutte e quattro le reazioni. Tuttavia, una maggiore emissione di particelle α rispetto a un quadro puramente statistico è stata osservata ad angoli molto in avanti, suggerendo una forte emissione di pre-equilibrio dovuta alla presenza di particelle a preformate nei sistemi studiati. Questa componente è ancora più evidente nei canali di uscita del residuo popolati attraverso l'emissione di catene di decadimento che contemplano l'emissione di sole particelle α .

DA8 – ISOLIGHT

L'obiettivo di questo esperimento è studiare le deviazioni dal processo di diseccitazione statistica a seguito di reazioni di fusione-evaporazione. L'alfa-clustering e, più in generale, gli effetti del cluster giocano un ruolo nella definizione dei dettagli fini del decadimento del nucleo composto che vengono studiati dalla ricostruzione dell'evento completo nel setup GARFIELD+RCO.

Due tesi di laurea sono dedicate a questo lavoro: M.V. Managlia (UniBo) ha consegnato e discusso nel 2021, L. Baldesi (UniFi) completerà il lavoro nel 2022.

Collaborazioni ed altre attività di NUCL-EX

1) Continuano le attività sull'intelligenza artificiale condotte dalle sedi di CT e LNS. L'utilizzo del codice genetico evolutivo "Brain Project" sviluppato da M. Russo con le potenze di calcolo ottenute grazie ad un potente PC finanziato dall'INFN nel 2020 hanno permesso di realizzare un articolo (pubblicato su Computer Physics Communications nel 2012) sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella determinazione automatica dei luoghi isotopici nelle matrici DE-E ottenute con rivelatori telescopici (come quelli, per esempio, adoperati in FAZIA, GARFIELD, OSCAR). Utilizzando queste skills sul machine learning, sono state anche condotte altre applicazioni di queste tecniche di intelligenza artificiale in altri ambiti della fisica nucleare (come la possibilità di ottenere una formula fenomenologica per la stima delle sezioni d'urto di fusione tra ioni pesanti, attualmente in corso), ed ambiti più lontani dalla fisica nucleare, come lo studio di fattori predisponenti l'insorgenza del diabete (due articoli pubblicati finora).

2) G. Verde fa parte del comitato INDRA e altri membri di NUCLEX fanno parte della collaborazione INDRA. Il multi-rivelatore INDRA è ora accoppiato con 12 blocchi di FAZIA e le attività scientifiche sono state poste in comune con quelle di FAZIA. Riguardo l'analisi di precedenti campagne sperimentali riguardanti il solo INDRA, la collaborazione sta ora lavorando su nuovi articoli inerenti le tematiche di:

- Studio dell'energia di simmetria da reazioni $40,48\text{Ca}+40,48\text{Ca}$ a $E/A = 35$ MeV (articolo in corso di pubblicazione);
- Fusione-fissione in funzione dell'energia del proiettile (articolo in fase di revisione interna);
- Ricostruzione della dipendenza dei parametri di impatto di osservabili sperimentali da dati di collisione di ioni pesanti di energia intermedia (articolo pubblicato nel 2021);
- meccanismi di produzione di clusters leggeri in collisioni tra ioni pesanti (articolo pubblicato nel 2021).

3) Prosegue la collaborazione con il gruppo MSU per l'analisi dell'esperimento HIRA eseguito nel 2018. Nel 2021 sono stati pubblicati due articoli su tecniche di rivelazione di particelle cariche e neutroni e una Physical Review Letters sullo studio della struttura del 18Mg .

4) Un MoU è in fase avanzata di discussione con il gruppo brasiliano di USP. L'argomento sono studi comuni di reazioni nucleari a bassa energia da svolgere presso LNL e San Paolo (RIBRAS) utilizzando i rivelatori OSCAR.

5) NUCLEX rimane partner fondatore della collaborazione FAZIA, con diversi ruoli di responsabilità sia all'interno del FAZIA PMB che nei vari task operativi.

Publicazioni

DOI	Autore	Titolo	Rivista
10.1016/j.nima.2020.164863	Poleshchuk, O et al.	Performance tests of a LaBr3:Ce detector coupled to a SiPM array and the GET electronics for gamma-ray spectroscopy in a strong magnetic field	NIM A
10.1016/j.cpc.2020.107667	Dell'Aquila, D et al.	Automatic classification of nuclear physics data via a Constrained Evolutionary Clustering approach	COMP PHYS COMM

10.1140/epja/s10050-020-00324-4	Spitaleri, C et al.	The He-3+He-5 -> alpha plus alpha reaction below the Coulomb barrier via the Trojan Horse Method	EPJ A
10.1103/PhysRevC.103.014603	Piantelli, S et al.	Isospin transport phenomena for the systems Kr-80+Ca-40,Ca-48 at 35 MeV/nucleon	PRC
10.1103/PhysRevC.103.014605	Camaiani, A et al.	Isospin diffusion measurement from the direct detection of a quasiprojectile remnant	PRC
10.1088/1361-6471/abe5f6	Cicerchia, M et al.	Enhanced alpha-particle production from fusion evaporation reactions leading to Ti-46	JPG
10.1088/1361-6471/abdee4	Lombardo, I et al.	Study of the Cl-33 spectroscopic factors via the S-32(He-3, d)Cl-33 one-proton transfer reaction	JPG
10.1103/PhysRevC.103.L041302	Gosta, G et al.	Probing isospin mixing with the giant dipole resonance in the Zn-60 compound nucleus	PRC
10.1016/j.diabres.2021.108722	Buccheri, E et al.	Artificial intelligence in health data analysis: The Darwinian evolution theory	DIAB RES CLIN PR
10.1103/PhysRevC.103.055815	DeBoer, RJ et al.	F-19(p, gamma)Ne-20 and F-19(p, alpha gamma)O-16 reaction rates and their effect on calcium production in Population III stars from hot CNO breakout	PRC
10.3390/sym13081406	Bougault, R et al.	Light Cluster Production in Central Symmetric Heavy-Ion Reactions from Fermi to GeV Energies	SYMMETRY
WOS:000694016400007	Scomparin, L et al.	Proton inelastic scattering in Ni-68,Ni-70,Ni-72 isotopes	NUOVO CIM C
10.1103/PhysRevC.104.034609	Frankland, JD et al.	Model independent reconstruction of impact parameter distributions for intermediate energy heavy ion collisions	PRC
10.1016/j.nima.2021.165765	Poleshchuk, O et al	The SpecMAT active target	NIM A
10.1016/j.nima.2021.165745	Ottanelli, P et al.	The Florence Trigger-Box (FTB) project: An FPGA-based configurable and scalable trigger system	NIM A
10.3390/sym13091562	Borderie, B et al.	Temperature and Density Conditions for Alpha Clustering in Excited Self-Conjugate Nuclei	SYMMETRY
10.1016/j.nima.2021.165798	Sweany, S et al.	Reaction losses of charged particles in CsI(Tl) crystals	NIM A
10.1103/PhysRevC.104.064315	Cardella, G et al.	Investigating gamma-ray decay of excited C-12 levels with a multifold coincidence analysis	PRC
10.1088/1748-0221/16/11/P11034	Pino, F et al.	Characterization of a medium-sized CLLB scintillator: single neutron/gamma detector for radiation monitoring	J. INSTRUM
doi.org/10.1051/epjconf/202125301001	Pino, F et al.	Novel neutron detector assembly based on SiPM readout to be coupled with the Active Target for SPES	EPJ Web of Conferences 253, 01001 (2021)
10.1103/PhysRevLett.127.262502	Y. Jin et al	First Observation of the Four-Proton Unbound Nucleus Mg 18	PRL
10.1016/j.nimb.2021.03.005	G. Provatas et al	Systematic study of the 12C(3He,p)14N reaction for NRA applications	NIM B
10.1103/PhysRevC.103.015807	Riley J. et al	Sub-threshold states in Ne 19 relevant to F 18 (p,α) O 15	prc

Conferenze

Presenter	Title	Conference
Iv. Lombardo	Clustering effects in nuclear reactions at low and medium energies	IWM-EC 2021 (invited talk)
Iv. Lombardo	Interface between nuclear reactions, clustering and astrophysics	SWIECA NUCLEAR PHYSICS SCHOOL 2021 (invited lectures)
Iv. Lombardo	^{33}Cl spectroscopic factors via the $^{32}\text{S}(^3\text{He}, d)^{33}\text{Cl}$ one-proton transfer reaction at the CN accelerator	SIF 2021 (oral talk)
T. Marchi	Hunting down Internal Pair Creation anomalies: an overview of the forthcoming nuclear physics experiments to solve the X17 puzzle.	SIF 2021 (invited)
T. Marchi	Experiments on ^8Be IPC at INFN Legnaro Laboratory	Shedding light on X17 Rome 04/09/2021 (invited)
S. Piantelli	Silicon detectors in nuclear physics : challenging resolution and particle identification.	SIF 2021 (invited)
C. Ciampi	Study of quasi-projectile breakup in semiperipheral collisions of $^{64,58}\text{Ni}+^{64,58}\text{Ni}$ at 32 A MeV and 52 A MeV with the INDRA-FAZIA apparatus	XXII colloque ganil
C. Frosin	Energy dissipation and cluster correlations in excited light systems at Fermi energies investigated with HIPSE and AMD	XXII colloque Ganil
C. Ciampi	Studio del breakup del quasi-proiettile in reazioni semiperiferiche di $^{64,58}\text{Ni}+^{64,58}\text{Ni}$ a 32 A MeV e 52 A MeV con l'apparato INDRA-FAZIA.	SIF 2021
C. Frosin	Excited light systems at Fermi energies investigated with HIPSE and AMD	SIF 2021
L. Baldesi	Differenze negli spettri di evaporazione da nucleo composto di Si con energia di eccitazione di 72 MeV formato tramite fusione completa di diversi isotopi di O e C.	SIF 2021
G. Mantovani	Study of fragment distributions populated via fusion-fission and quasi-fission reactions.	SIF 2021
R. Bolzonella	An experimental setup for detection of $e+e^-$ pairs in the decay of $^8\text{Be}^*$.	SIF 2021

F. Pino	Novel neutron detector assembly based on SiPM readout to be coupled with the Active Target for SPES.	ANIMMA 2021
----------------	--	-------------

Tesi

Id	Author	Title	Topic	University and supervisors
1	R. Bolzonella	An experimental setup for detection of e+e- pairs in the decay of 8Be*	X17	UniPd Master Thesis (Collazuol, Marchi)
2	C. Frosin	Reaction mechanisms and particle correlations in light-ion reactions at Fermi energies	FAZIA	UniFI PhD Thesis (G. Casini, A. Stefanini)
3	A. Buccola	Commissioning tests under beam of the new Active Target detector ATS in the perspective of experiments on the isoscalar giant resonances	ATS	UniFI PhD Thesis (S. Barlini, G. Pasquali)
4	M.V. Managlia	Study of 18O+12,13C fusion-evaporation reactions with the GARFIELD array	GARF	UniBo Master Thesis (C. Massimi, M. Coicercchia, A. Mengarelli)
5	G. Mantovani	Study of isotopic fragment distributions of fusion-induced fission and quasi-fission reactions from 238U in inverse kinematics	FISSION	UniPd & USC (Santiago) PhD Thesis (F. Gramegna, G. Montagnoli, M. Fresco)

Outreach

	Tutor	Initiative	Student(s)	Host
1	T. Marchi	Mille e 1 lode (bachelor) Esperimento HELICA (OSCAR)	M. Aytekin UniPd	LNL
2	T. Marchi	CSN3 fellowship (Bachelor) Nuovi sviluppi per la TPC ATS	A. Zingaretti UniCam	LNL
3	T. Marchi	CSN3 fellowship (Master) X17	R. Bolzonella Unipd	LNL