



**STATI GENERALI  
NEUTRONICA  
ITALIANA  
2020**

# Sommario

<b>Prologo</b> .....	<b>1</b>
<b>SISN e formazione</b> .....	<b>3</b>
Cosa fare per il futuro.....	8
Osservazioni specifiche per le Giornate Didattiche.....	9
Osservazioni specifiche per le Scuole di Approfondimento .....	12
Conclusioni .....	14
Appendice 1.....	15
Appendice 2.....	16
<b>Il Futuro della Scienza con i Neutroni</b> .....	<b>18</b>
Quali sono i temi in cui la scienza con i neutroni potrà dare il suo contributo nei prossimi 5 e 10 anni? .....	18
Quali sono le grandi sfide che potrebbero avere risposte usando i neutroni? .....	19
Quale deve essere il ruolo della comunità e della SISN per favorire questa ricerca scientifica? ..	20
Quali possibili schemi di finanziamento nazionali ed europei possono interessare la neutronica? .....	21
Esistono azioni possibili da parte della comunità neutronica per ottenere più fondi per la ricerca? .....	22
Appendice .....	23
<b>Neutroni e Ricerca Industriale</b> .....	<b>24</b>
Introduzione .....	24
Prospettive per la ricerca industriale con i neutroni nei prossimi 5-10 anni .....	24
Necessità in termini di accesso e strumentazione per la ricerca industriale.....	28
Una roadmap per lo sviluppo dell'uso dei neutroni da parte dell'industria: possibile ruolo di SISN .....	32
Appendice.....	34
<b>Large Scale Facilities e Accesso: il ruolo del CNR nella neutronica e la situazione presso ILL e ISIS</b> .....	<b>35</b>
<b>Progetti e Sviluppo</b> .....	<b>40</b>
<b>Ringraziamenti</b> .....	<b>51</b>



Coordinamento editoriale a cura di Laura Cantù e Luigi Paduano

Impaginazione e grafica a cura di Domenico Cavasso

## Prologo

Nella primavera del 2019, in occasione di diverse riunioni della Giunta della SISN, è emersa l'esigenza di raccogliere in un documento le considerazioni e le proposte della nostra comunità, alla luce dei notevoli cambiamenti e novità, alcune positive altre meno, che questi ultimi anni ci stanno presentando.

Questa idea, denominata "Stati Generali", è stata presentata all'Assemblea dei Soci in occasione del XXX Congresso Annuale della SISN, a Roma nel giugno del 2019 (ultimo congresso in presenza). Da quel momento è iniziato un lungo iter, che ha visto la definizione dei gruppi di lavoro e dei Coordinatori di ciascun gruppo, scambio di documenti, raccolta di *feedback* suggeriti dalla nostra Comunità, un'opera di omogeneizzazione dei vari contributi ed il risultato è il documento, ancora in forma di bozza, che avete ricevuto in quanto Soci e che verrà discusso durante l'Assemblea in occasione del vicinissimo Congresso Annuale, venerdì 18 dicembre 2020, in modalità telematica.

Dopo questa breve premessa, mi sento in dovere, ma anche contento, di ringraziare tutti quelli che hanno partecipato a vario titolo ed in vario modo alla stesura del documento Stati Generali. In particolare, sono molto grato a Luigi Paduano, che ha coordinato tutta l'operazione, a Laura Cantù che ha efficacemente contribuito alla redazione del documento, e ai Coordinatori dei singoli gruppi di lavoro.

Come scritto in precedenza, il presente documento nasce da un'esigenza della Giunta di fare il punto della situazione della neutronica in Italia in un periodo di grandi cambiamenti. La SISN ha in passato redatto documenti simili: nel 2013 ha scritto un documento intitolato "Stato e Prospettive della Neutronica in Italia", seguito nel 2016 da "Verso il 2020 e oltre: Le prospettive della neutronica italiana". Trovate questi documenti in Appendice e anche sul sito della SISN (<http://www.sisn.it/chi-siamo/documenti/>). È importante anche includere in questa lista il documento pubblicato dalla Società Italiana di Fisica nel 2019, intitolato "Neutron Science and Facilities. A strategic review and future vision for neutron science in Italy"

([https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/Neutron\\_strategic\\_review.pdf](https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/Neutron_strategic_review.pdf)).

Perché quindi un nuovo documento? Nel 2016, la situazione ed il futuro delle LSF Europee non erano ancora molto chiare. Si prospettavano diversi scenari sulla base della operatività di ILL, della operatività e del numero di strumenti disponibili ad ESS, e sulla necessaria manutenzione di ISIS. Ad oggi, la situazione è decisamente più chiara. ILL ha esteso la sua operatività almeno fino al 2030 e sono previsti programmi di estensione anche oltre questa data. ESS sarà disponibile per attività di *commissioning* a partire dal 2023 con utenti previsti dal 2026, anche se con una suite di strumenti inizialmente ridotta rispetto ai programmi. La seconda target station (TS2) di ISIS è da tempo operativa e il previsto lungo *shut-down* di ISIS inizierà a marzo 2021 e i lavori di ristrutturazione dovrebbero terminare per l'inizio del 2022. In questo scenario, notiamo con estremo piacere che l'impegno dell'Italia è costante e consistente per quanto riguarda ESS. Con rammarico, notiamo invece che la comunità degli utenti italiani delle LSF sta soffrendo a causa della decisione del CNR di ridimensionare la partecipazione a ILL, e indirizzare ai soli impegni previsti per ESS la partecipazione Italiana a ISIS (<https://www.cnr.it/it/dotazione-organica>). Ciò significa che l'accesso dei ricercatori italiani a ILL ed ISIS è basato solo sul Fondo Ordinario per gli Enti e le istituzioni di ricerca (FOE) del Ministero. A questi fondi, il CNR non ha aggiunto risorse proprie nell'ultimo biennio. La situazione è resa più grave dal fatto che nel 2019 e nel 2020 sono rispettivamente scaduti gli accordi con ILL e con ISIS. Il loro rinnovo, in mancanza di risorse del CNR, è stato notevolmente ridimensionato, limitando drasticamente l'accesso degli utenti italiani a queste importanti LSF. La conseguenza è la riduzione della produttività scientifica, la perdita di un *know-how* unico e prezioso, di un patrimonio di credibilità costruito con la fatica, la pazienza e la competenza dei singoli, nonché la difficoltà di formare giovani ricercatori. Quest'ultimo aspetto è decisivo in vista della prossima apertura di ESS e rischia di rendere vano il forte investimento che l'Italia sta facendo nella costruzione di ESS.

Il documento Stati Generali riflette e considera le questioni esposte e propone strategie e delinea possibili ruoli della nostra Società. Confido in un contributo importante da parte di tutti i Soci, legato ad un senso di appartenenza, che renda il presente documento un utile strumento per la SISN e per il futuro della neutronica in Italia.

**Fabio Bruni**

# Sezione 1. SISN e Formazione

**A cura di:** Marco Maccarini, *Université Grenoble Alpes*; Renato Magli, *Università di Milano*.

## 1. Che cosa ha fatto la SISN negli ultimi 10 anni?

L'attività di Formazione è stata individuata da SISN come uno dei cardini per dar seguito a quanto previsto dall'art. 2 del proprio Statuto che, nello stabilire gli scopi della Società, riporta: "i) promuovere l'attività di ricerca nel campo della spettroscopia neutronica e delle sue applicazioni". Il programma formativo si è sviluppato e modificato negli anni: nel 2009 SISN ha deciso di cambiare il formato della sua Scuola d'ingresso (GD, Giornate Didattiche), mentre a partire dal 2012 ha ideato un programma di Scuole di Approfondimento (Scuole di Secondo Livello).

Per le **Giornate Didattiche** è stato accentuato il carattere di introduzione generale, non specialistica e non monotematica; si è approfondita l'attenzione verso una didattica chiara e comprensibile anche per studenti provenienti da ambiti scientifici che hanno tradizionalmente poca confidenza con le metodologie chimico-fisiche (per maggiori dettagli vedi la Carta d'Identità delle GD, presente sul sito e riportata in Appendice 1). È stata mantenuta la suddivisione in due fasi, senza soluzione di continuità: la prima parte con lezioni frontali ed esercitazioni in sede italiana, la seconda immediatamente a seguire presso una LSF (finora sempre ILL), con gli studenti suddivisi in piccoli gruppi ed organizzati in modo da svolgere esperimenti reali sugli strumenti messi a disposizione.



*Figura 1.1 Giornate Didattiche 2014*

Le **Scuole di Approfondimento** sono nate nel 2012, organizzate in modo da affrontare le varie tecniche in un percorso triennale. Come evidenziato nella corrispondente Carta d'Identità,

anch'essa presente sul sito e riportata in Appendice 2, l'idea alla base è di fornire “una conoscenza a livello specialistico, aggiornata ed approfondita, delle tecniche di neutron scattering e di analisi ed interpretazione dei dati”, con l'obiettivo di formare gli studenti in modo che siano in grado, ciascuno nell'ambito scientifico di preferenza ed in virtù delle conoscenze acquisite, di elaborare in forma autonoma progetti realistici di misure di *neutron scattering*. La struttura su base triennale delle Scuole di Approfondimento è innovativa nel panorama usuale, sia nazionale che internazionale; con tale formato si è potuta quindi affiancare al percorso dottorale o equivalente, permettendo agli studenti di conoscere ed approfondire nel triennio – o in parte di esso - le tecniche proposte in queste Scuole. Ciò ha facilitato un inserimento stabile dei giovani nel mondo della neutronica. Dal 2015 le Scuole di Secondo Livello non hanno più avuto una programmazione pluriennale, ma sono state programmate anno per anno, affrontando singole tematiche specialistiche.



Figura 1.2 Giornate didattiche 2015

È da segnalare come le iniziative formative (GD e Scuole) della SISN abbiano ricevuto nel decennio considerato un ottimo apprezzamento da parte degli studenti che le frequentano (vedi esiti questionari) ed abbiano contribuito alla formazione di ricercatori nella neutronica: limitandoci

alla prima metà del decennio (per la quale abbiamo dati verificati), risulta che circa il 40% degli studenti frequentanti le GD sono rimasti nel mondo del *neutron scattering*.

Anche le istituzioni europee che si occupano dei percorsi formativi proposti ai vari livelli hanno manifestato il loro notevole apprezzamento, inserendo GD e Scuole nel circuito delle iniziative riconosciute e nei vari programmi di finanziamento che si sono succeduti nel tempo (NMI3, SINE2020, FILL2030).

Per avere ulteriori elementi di valutazione su quanto fatto ed indicare possibili ipotesi per il futuro, si ritiene utile riportare di seguito con tabelle e grafici alcuni dati che aiutano ad illustrare anche quantitativamente il decennio 2009-2019 per la Formazione SISN.

**Tab. 1 Giornate Didattiche**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Sede</b>	Sirolo (AN)	S.Giovanni (BZ)	S.Giovanni (BZ)	S.Giovanni (BZ)	S.Giovanni (BZ)	S. Giovanni (BZ)	S. Giovanni (BZ)	S. Giovanni (BZ)	Pra Catinat (TO)	Pra Catinat (TO)	Bosco Chiesanuova (VR)
<b>Direttori</b>	Formisano Magli	Formisano Magli	Maccarini Magli	Maccarini Magazù	Maccarini Magazù	Guarini Mondelli	Guarini Mondelli De Francesco	Guarini Piovano	Piovano Zanatta	Piovano Zanatta	Capogna Spinozzi Zanatta
<b>Partecipanti (F/M)</b>	20 (10/10)	22 (9/13)	24 (12/12)	25 (11/14)	26 (14/12)	24 (11/13)	25 (11/14)	26 (10/16)	26 (15/11)	26 (15/11)	20
<b>Durata (frontale + ILL) [notti d'albergo]</b>	8 (3 + 5)	9 (4 + 5)	10 (5 + 5)	10 (5 + 5)	10 (5 + 5)	11 (6 + 5)	11 (6 + 5)	10 (5 + 5)	10 (5 + 5)	11 (6 + 5)	10 (5 + 5)
<b>Stima costo totale [euro] (*)</b>	12300	6400	7600	7650	8645	12000	12200	12700	10900	11700	8900
<b>Stima costo per giorno e per studente [euro]</b>	77	32	32	31	33	45	44	49	42	41	45

(\*) Le stime dei costi si riferiscono ai costi di albergo e ristorante. A tali costi vanno aggiunti il costo del trasporto in autobus (la cui entità dipende dalla durata del viaggio), i rimborsi per le missioni dei docenti (voce molto variabile da edizione ad edizione) ed eventuali extra (cancelleria, coffee break, ecc.). Il Costo giornaliero e per studente è ottenuto dividendo il Costo totale per la durata totale in notti d'albergo e per il numero di studenti partecipanti.

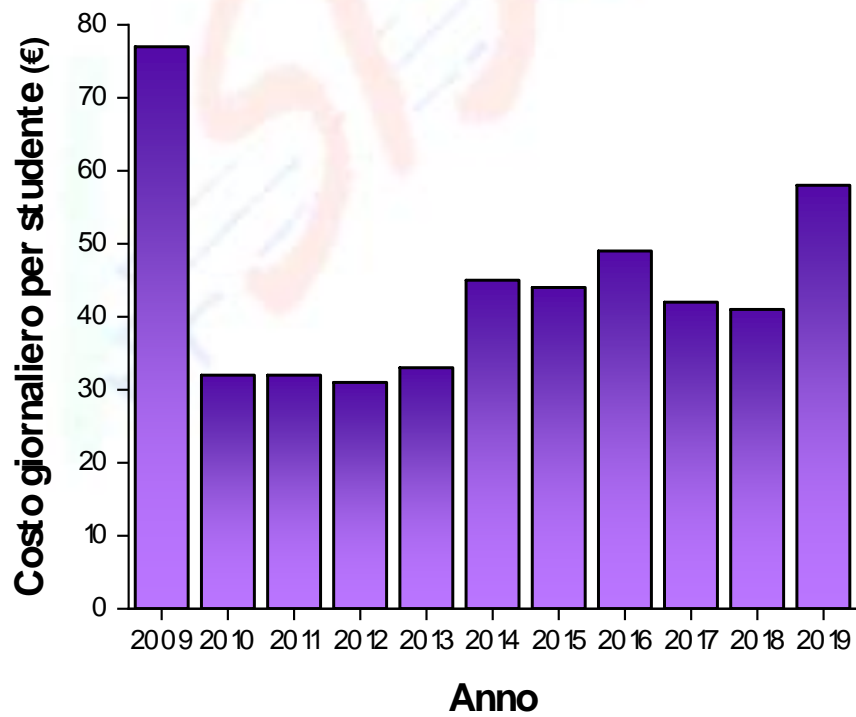
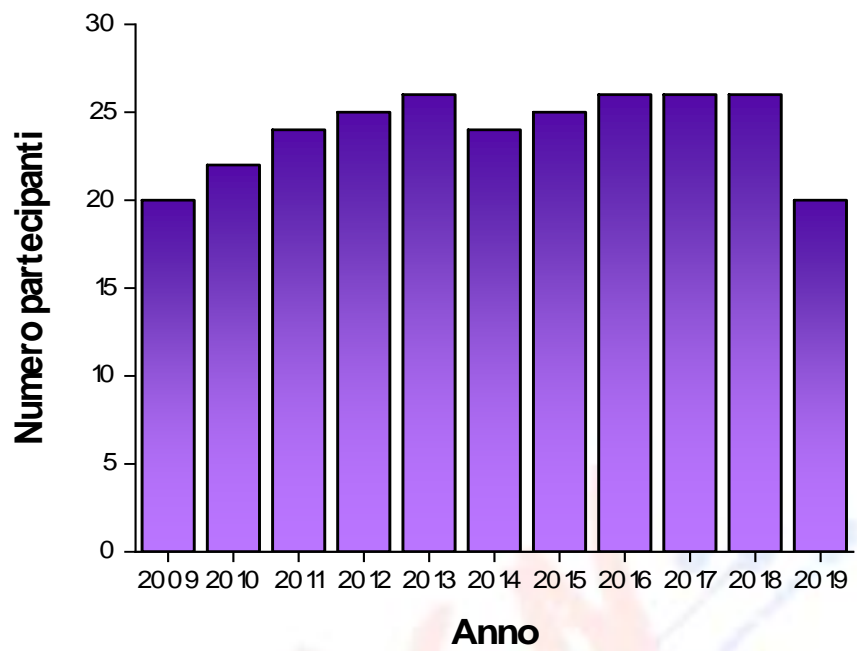


**Tab. 2 Scuole di Approfondimento**

<b>Anno</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Argomento</b>	Neutron Diffraction and Reflectometry	Inelastic Neutron Scattering	SANS and Imaging	Neutron scattering applied to polymer systems	Scattering anelastico di neutroni	Neutron scattering data handling, numerical methods and computational tools: the complex background of neutron experiments	Neutrons and Muons for Magnetism
<b>Sede</b>	S. Giovanni (BZ)	S.Giovanni (BZ)	S. Giovanni (BZ)	Bardonecchia (TO)	Perugia (PG)	S. Giovanni (BZ)	Ispra (VA)
<b>Direttori</b>	Magli Mariani	Bafile De Francesco	Grazzi Spinozzi	Bongiovanni Fratini Maccarini	Colognesi Orecchini	De Francesco Guarini	Caciuffo Guidi
<b>Partecipanti</b>	16	15	15	17	14	15	19
<b>Durata in albergo</b>	7	7	7	6	6	6	6
<b>Stima costo totale vitto e alloggio [euro] (*)</b>	7650	7600	7500	8134	8700	8900	19600
<b>Stima costo per giorno e per studente [euro] (**)</b>	68	72	71	80	104	99	172

(\*) Le stime dei costi si riferiscono ai costi di albergo e ristorante. A tali costi vanno aggiunti i rimborsi per le missioni dei docenti (voce molto variabile da edizione ad edizione) ed eventuali extra (cancelleria, coffee break, ecc.). Il Costo giornaliero e per studente è ottenuto dividendo il Costo totale per la durata totale in notti d'albergo e per il numero di studenti partecipanti. (\*\*) Questa voce per il 2016 non è depurata dei rimborsi per viaggi docenti e di eventuali extra.

Di seguito un paio di grafici con i partecipanti ed i costi delle GD nel decennio.



Il numero di partecipanti è cresciuto dal 2009 e si è stabilmente attestato negli anni intorno alle 25-26 unità, con un numero di domande che ha raggiunto, e a volte superato, quota 40. L'edizione 2019 ha visto una decisa contrazione (20 studenti) nel numero dei partecipanti (dovuta anche a problemi organizzativo-logistici). Viste le dimensioni della nostra comunità nel panorama europeo sarebbe auspicabile tornare ai valori (intorno a 25 studenti) che hanno caratterizzato la gran parte del decennio passato.

Un chiarimento sul maggior costo "unitario" delle Scuole di Approfondimento rispetto alle GD (come emerge dai dati delle tabelle). È dovuto in gran misura a due fattori (il secondo largamente predominante):

- a) numero di docenti ed esercitatori: nelle Scuole è stato spesso sensibilmente superiore rispetto alle GD;
- b) nelle GD i docenti hanno spese di albergo e ristorazione a carico SISN di fatto solo per i giorni delle lezioni frontali, tipicamente la metà del totale.



Fig. 1.4 Giornate Didattiche 2016 e 2019

## **2) Cosa fare per il futuro**

Presidente e Giunta SISN hanno avviato la discussione su questo argomento formulando le due domande seguenti:

- a) Quali iniziative di formazione dovranno essere messe in campo nei prossimi anni?**
- b) Quali sono le necessità di formazione iniziale e in itinere da parte della comunità?**

L'attività di neutron scattering italiana vive da anni una situazione di particolare complessità che rende molto difficile rispondere con una realistica visione propositiva sul futuro.

Ciononostante, si possono delineare alcune idee per contribuire ad identificare la proposta formativa della SISN, anche alla luce dei contributi forniti dai Soci.

Si ritiene fondamentale basare l'attività formativa SISN su **due pilastri**:

a) **realizzare un programma formativo completo**, organico e che possa venire incontro alle esigenze delle varie componenti della comunità, molto diversificate tra loro. Per far ciò è essenziale che si avvii una programmazione pluriennale. Più sotto vengono fornite alcune indicazioni per il programma di iniziative da realizzare.

b) **continuare a dedicare attenzione alla didattica**, qualunque sia la forma di Scuola in esame: il focus deve essere la formazione degli studenti. Ciò può sembrare ovvio, ma è di particolare rilevanza nell'attuale fase così delicata, con cospicue riduzioni del finanziamento nazionale dedicato alla neutronica, con la prospettiva dell'entrata in funzione di nuove suites strumentali presso le facilities internazionali e, nel giro di pochi anni, presso la sorgente europea ESS. Come detto, la Formazione è indirizzata a studenti e ricercatori che spesso hanno provenienze culturali e preparazioni variegata e che intendono approfondire aspetti e livelli che possono essere differenziati.

I Soci che si sono espressi hanno fortemente appoggiato l'idea che le iniziative si articolino su più livelli, cioè nel dettaglio:

- **Primo livello**      —————>    **Giornate Didattiche**
- **Secondo livello**    —————>    **Scuola di Approfondimento**
- **Terzo livello**      —————>    **Scuola di Aggiornamento e/o di Perfezionamento**

### **2.1) Osservazioni specifiche per le Giornate Didattiche.**

- È importante **mantenere il formato unitario**, prevedendo quindi di completare la parte sperimentale in una fase **immediatamente** successiva alla parte teorica. Le motivazioni sono principalmente di carattere didattico e di contrarietà ad addossare agli studenti ulteriori costi per i viaggi.

- È essenziale **mantenere al minimo i costi da addebitare agli studenti** (iscrizione, viaggi, ecc.): la quasi gratuità delle GD è una delle caratteristiche peculiari nel panorama europeo.

- La **permanenza dei docenti** deve essere organizzata in modo che abbiano un contatto il più lungo possibile con gli studenti. Una Scuola in cui i docenti arrivano, fanno la loro lezione e

scappano velocemente per i loro impegni può essere utile per il CV dei docenti, ma è in genere di scarso aiuto per gli studenti, in particolare per quelli che hanno nelle GD il primo contatto col neutron scattering.

- È fondamentale dedicare un **tempo idoneo allo sviluppo delle esercitazioni**. Idealmente dovrebbe esserci un rapporto 1 a 1 tra tempo dedicato a lezioni frontali e tempo dedicato alle esercitazioni.

- Per la sessione presso la facility: **deve essere garantito**, ove e quando possibile, **l'accesso degli studenti agli strumenti**, con la possibilità di realizzare esperimenti veri e/o seguire e realizzare - in tutto o in parte - le varie procedure di calibrazione strumentali. La presenza di **tutori disponibili e competenti** è certamente fondamentale per la buona riuscita di questa parte.

- È altresì fondamentale che la **numerosità dei gruppi non sia superiore a 4-5 studenti**. Altrettanto fondamentale è offrire un **parco strumenti differenziato**. Se non fosse possibile avere a disposizione un numero adeguato di strumenti, oppure nel caso non fosse possibile avere un numero idoneo di tutori, una valida alternativa da valutare è la possibilità di ripetere le stesse esercitazioni per 2-3 giorni, facendo ruotare gli studenti da un gruppo ad un altro in modo da permettere a tutti di seguire le varie specificità ed avere un buon rapporto numerico con un numero ridotto di strumenti/tutori.

- È necessario trovare una soluzione definitiva per quegli studenti che non sono in possesso di **assicurazione universitaria** (perché ad esempio sono nel periodo tra laurea e dottorato, e simili).

- La scelta tradizionale di svolgere la **sessione strumentale durante il fine settimana** (arrivo alla facility il giovedì/venerdì col programma sperimentale che si estende dal venerdì al lunedì mattina) ha degli indubbi vantaggi per gli studenti: minor numero di ricercatori presenti (rispetto ai giorni dal lunedì al venerdì), con la conseguente possibilità più rilassata di "conoscere" sia lo strumento cui si è stati assegnati che anche gli altri, più spazi disponibili per il loro stazionamento, durante il quale devono anche elaborare i dati raccolti. Tutto ciò funziona se i tutori svolgono bene il loro compito, cosa che non è scontata durante il fine settimana. È quindi necessario porre una grande attenzione a questo aspetto. L'alternativa,

ciò collocare la sessione tra il lunedì ed il venerdì sembra però avere delle controindicazioni decisamente negative dal punto di vista dell'efficacia didattica.

- La gran parte delle relazioni dei Direttori delle edizioni del decennio considerato sottolineano **la qualità delle relazioni finali degli studenti**. Spesso queste relazioni, e le corrispondenti esposizioni davanti ai colleghi, ai tutori ed ai docenti, sono la prima o una delle prime esperienze di discussione tra esperti: è una caratteristica da mantenere, cercando di innalzarne ulteriormente il livello qualitativo. È da segnalare come sarebbe opportuno che SISN provvedesse a realizzare un **accordo in ambito universitario** (generale o finalizzato con le singole Università interessate) affinché la **partecipazione alle GD venga riconosciuta** agli studenti **in termini di CFU** (crediti formativi).

- La **disponibilità e fruibilità dei software di analisi dei dati** deve essere garantita agli studenti. Sarebbe anche utile che le lezioni e le esercitazioni fossero registrate e rese disponibili: per far ciò sarebbe opportuno che la Società dedicasse ai vari aspetti connessi con la **multimedialità** un adeguato investimento di risorse (si tratterebbe comunque di un investimento di entità modesta).

- L'andamento nel tempo del numero di partecipanti e la dimensione della comunità italiana fanno ritenere che si possa avere come obiettivo un **numero di partecipanti almeno pari a 24-25**. Il numero deve naturalmente essere conciliato con la necessità di organizzare gruppi sperimentali di numerosità non eccessiva (vedi punti precedenti), in modo da permettere un'interazione efficace tra studenti, tutori e strumentazione.

- La **sede della scuola** deve essere idonea a raccogliere l'attenzione degli studenti; si consiglia quindi di evitare situazioni e sedi in cui l'attenzione possa facilmente disperdersi.

- L'individuazione di **un'unica sede per le varie edizioni**, anno dopo anno, può contribuire a creare una sorta di "marchio" in ambito scientifico-formativo, accentuando la riconoscibilità dell'iniziativa SISN. Nel decennio considerato era stata avviata una politica di questo tipo con la scelta della sede a S. Giovanni (Bz), largamente apprezzata sia dagli studenti che dai docenti di molte edizioni, sia di GD che di Scuole Estive. Questa sede negli ultimi tre anni è stata sfortunatamente abbandonata. È auspicabile che anche la scelta della sede rientri in una programmazione pluriennale, sia per quanto detto sopra (creazione di un "marchio"), sia per

poter contrattare con i gestori delle strutture un programma esteso nel tempo che consenta di ottenere prezzi scontati.

- **Risorse economiche:** dai dati riportati risulta che, con i costi attuali, siano necessari circa **15 keuro per una edizione di GD di 10 gg con 25 studenti.**

## **2.2) Osservazioni specifiche per le Scuole di Approfondimento.**

- Nella comunità italiana si è sviluppato da tempo un dibattito (vedi ad es. alcune discussioni avvenute in Assemblee SISN degli ultimi anni) avente per oggetto la forma ottimale della Scuola. In estrema sintesi: c'è un modello che prevede che la Scuola si occupi di illustrare le tecniche neutroniche ed un modello per il quale la Scuola deve privilegiare la scelta dell'argomento scientifico da affrontare.

Esperienze di Scuole Tematiche del recente passato non sembrano aver avuto un impatto significativo sulla comunità neutronica nazionale. Sulla base di ciò, tenendo conto che nella nostra comunità sono attivi settori scientifici molto diversi tra loro (Biologia, Chimica, Fisica, Beni Culturali, Materiali, ecc.) ed osservando che Scuole Tematiche attirano inevitabilmente solo l'interesse di uno o dei pochi settori coinvolti, si ritiene che l'organizzazione ottimale potrebbe quindi prevedere:

i) **Scuole di Approfondimento Generali:** nelle quali si approfondiscano le caratteristiche delle **tecniche neutroniche**, con il necessario trattamento dei dati, e con le simulazioni associabili.

ii) Eventuali **Scuole di Approfondimento Tematiche:** nelle quali si affrontino **specifiche tematiche scientifiche.**

Si ponga però attenzione a che tali iniziative Tematiche **si aggiungano e non si sostituiscano** alle Generali, magari con una programmazione ad anni alterni, compatibilmente con le risorse disponibili.

- Le esperienze riportate indicano che, tenendo conto della dimensione delle comunità italiana ed europea e delle altre Scuole presenti in Europa, l'obiettivo di circa **15-20 partecipanti possa essere ben raggiungibile.**

- **Risorse economiche:** i dati presentati mostrano che per una **Scuola di 5 gg con 20 studenti** sono richiesti, con i costi attuali, **circa 10.000 euro**. Anche per questa tipologia di Scuola sono applicabili le osservazioni riportate più sopra su sede, permanenza docenti, spazio per esercitazioni.
- La **sede** deve essere idonea a raccogliere l'attenzione degli studenti; si consiglia quindi di evitare situazioni e sedi in cui l'attenzione possa facilmente disperdersi.
- La **permanenza dei docenti** deve essere organizzata in modo che abbiano un contatto il più lungo possibile con gli studenti.
- È essenziale dedicare un **tempo idoneo allo sviluppo di esercitazioni**. Idealmente dovrebbe esserci un rapporto 1 a 1 tra tempo dedicato a lezioni frontali e tempo dedicato alle esercitazioni.

### ***2.3) Come reperire le risorse necessarie allo svolgimento delle iniziative formative***

I dati riportati segnalano che, per dare operatività al programma proposto, è necessario reperire, ai costi attuali, **almeno 30.000 euro/anno** (approssimativamente 25.000 euro per le GD, 10.000 euro per la Scuola di Approfondimento, qualche migliaio di euro per la multimedialità, le missioni dei docenti, i finanziamenti a stages per tesi, ecc.). Ci sono almeno tre livelli a cui si possono attingere risorse:

- Enti ed istituzioni europei: programmi europei e facilities neutroniche.
- Enti ed istituzioni nazionali: Elettra, CNR a vari livelli, Enea, ecc.)
- Istituzioni locali (Università, Regioni, Fondazioni bancarie, ecc.)

Nel decennio considerato, la Società ha più volte proposto a livello europeo programmi per iniziative di vario genere (ad es. GD e Scuole di Approfondimento).

Altre risorse sono state reperite da Elettra, dal CNR, da alcuni Dipartimenti Universitari, dall'Università Italo-Francese UFI.

È necessario continuare con la progettazione e le richieste ai vari livelli, puntando sulla qualità delle iniziative proposte e realizzate.



Alcune delle iniziative proposte (si ritiene però non le GD) possono essere inserite anche in programmi comuni presentati insieme ad altre Società scientifiche.

### **3) Conclusioni**

Le proposte avanzate e largamente condivise dai Soci che sono intervenuti nel dibattito sono quindi le seguenti:

- Garantire la **realizzazione annuale delle GD**, seguendo possibilmente le indicazioni riportate nelle pagine precedenti e salvaguardando il formato dell'iniziativa (alcuni giorni di lezioni frontali accessibili a "tutti", seguiti **immediatamente** da alcuni giorni di "mani sugli strumenti"), dimostratosi ampiamente di successo. Se le risorse economiche non sono pienamente disponibili, si suggerisce di limitare al massimo aumenti delle spese a carico degli studenti, mantenendo in tal modo una delle caratteristiche fondanti delle nuove GD. In caso di necessità, si potrà prendere in considerazione l'idea di diradare la cadenza annuale, magari anche solo per una edizione.

- Avviare una **programmazione su base pluriennale delle Scuole di Approfondimento Generali**, in modo da coprire, per es. nell'arco di 3-5 anni, il ventaglio di tecniche neutroniche che si valuta (anche sulla base di sondaggi tra i Soci) siano di maggiore interesse. Una tale programmazione aiuta ad identificare e riconoscere uno dei ruoli centrali della Società. E consente agli studenti interessati, e che magari stanno seguendo un percorso di dottorato, di agganciare – in tutto o in parte - il loro percorso di studi alle Scuole SISN.

- Prevedere eventuali **Scuole Tematiche e/o workshop**, dedicati non solo a studenti di dottorato e post-dottorali, ma anche a ricercatori che vogliono approfondire ed estendere le proprie conoscenze e competenze. La **cadenza temporale può essere alternata** con le Scuole Generali.

- Prevedere iniziative di aggiornamento e di discussione periodiche, sia riguardo le tecniche che riguardo il trattamento dei dati e le simulazioni, con l'idea di assicurare **una formazione continua**; tali iniziative devono essere primariamente rivolte ai ricercatori che abbiano interesse ad approfondire ed estendere le proprie conoscenze, anche in vista dell'entrata in funzione delle nuove suites sperimentali proposte ed offerte dalle varie facilities neutroniche.

- La **dimensione** della comunità italiana, seppur in contrazione, sembra adeguata a sostenere un programma del tipo delineato, sia per quanto riguarda i docenti/esercitatori sia per quanto riguarda la platea dei potenziali discenti (siano essi studenti, post-doc, ricercatori).

Per il reperimento delle **necessarie risorse economiche** è auspicabile che si individui un canale di finanziamento, preferibilmente europeo e possibilmente in collaborazione con le altre Società neutroniche e le facilities europee, tramite il quale ottenere **almeno 25-30 keuro da dedicare annualmente alla Formazione.**

Qualche parola infine sull'eventuale uso della **lingua** da adottare nelle varie iniziative.

Si ritiene che, date le loro caratteristiche di Scuola di primo livello, per le GD si debba mantenere l'uso della lingua italiana. Per le Scuole degli altri livelli potrebbe essere opportuno considerarne l'internazionalizzazione e quindi l'uso della lingua inglese, in questo modo facilitando anche la possibilità di ricevere finanziamenti a livello europeo.

Quanto riportato rappresenta l'esito di una riflessione comune. In tal senso, un sincero ringraziamento va ai tanti studenti e colleghi che hanno contribuito negli anni alla discussione sull'argomento, anche durante le GD e le Scuole. Ciò che viene proposto è in larga parte maturato in tali discussioni ed è frutto di queste esperienze vissute. Un ringraziamento va naturalmente a tutti coloro che hanno partecipato, nelle recenti settimane, al dibattito sull'argomento e dei quali sono sintetizzati i suggerimenti proposti. Il lungo percorso, avviato ormai da più di un anno, dovrà portare a definire in modo aperto e largamente condiviso quanto la SISN vorrà fare in ambito formativo nei prossimi 10-15 anni.

## **Appendice 1**

### ***Caratteristiche e finalità formative delle Giornate Didattiche della SISN***

*Le Giornate Didattiche (GD) della SISN sono una Scuola rivolta primariamente a studenti delle lauree triennali e magistrali dei Corsi di laurea in Fisica, Chimica, Biologia, Geologia, Scienze per la Conservazione dei Beni Culturali, e affini. Fin dalla loro istituzione nel 2004 l'obiettivo delle GD è far conoscere le basi delle tecniche sperimentali che usano la diffusione di neutroni, illustrandone le caratteristiche e le potenzialità nei vari ambiti disciplinari in cui trovano applicazione.*

*Le GD si articolano di norma in due sessioni:*

- nella prima vengono introdotti e discussi i fondamenti dello scattering di neutroni e dei principi di analisi dei dati; tale sessione si articola in lezioni frontali, seminari applicativi ed esercitazioni;

- la seconda sessione si svolge presso l'ILL a Grenoble, struttura guida nel mondo per le tecniche di neutron scattering. In tale sessione sperimentale gli studenti vengono in contatto con alcuni degli strumenti disponibili e conducono in prima persona brevi esperimenti di diffusione di neutroni. Nel corso degli anni le GD sono state sempre più indirizzate ad accogliere studenti provenienti da ambiti disciplinari molto diversificati. La presenza di studenti con competenze eterogenee che vanno dalla Fisica alla Scienza dei Materiali, alla Biofisica, alla Chimica, alla Conservazione dei Beni Culturali ecc., e che nella grande maggioranza dei casi non hanno conoscenze specifiche riguardanti il neutron scattering, richiede che le lezioni frontali, i seminari e le esercitazioni abbiano contenuti semplificati in modo da essere comprensibili anche da chi non ha conoscenze approfondite di Meccanica Quantistica e/o di tecniche sperimentali di scattering.

Di norma nelle esercitazioni e nella sessione sperimentale gli studenti sono suddivisi in gruppi con composizione eterogenea e sono seguiti da vari tutori. Ciò facilita l'apprendimento e lo scambio interdisciplinare e favorisce la partecipazione degli studenti alla discussione degli argomenti trattati. Ulteriore punto qualificante dell'esperienza formativa delle GD è la redazione da parte degli studenti di una breve relazione sull'attività sperimentale svolta presso l'ILL, con particolare riferimento alle caratteristiche strumentali utilizzate nell'esperimento seguito ed alla preliminare analisi dei dati grezzi. Tale relazione è discussa in forma di seminario al termine della sessione sperimentale, in un momento di confronto scientifico con i docenti e gli altri gruppi, e serve a certificare l'attività svolta.

(a cura della Giunta SISN, febbraio 2012)

## **Appendice 2**

### **Caratteristiche e finalità formative della Scuola di Approfondimento della SISN (SISN Summer School)**

La Scuola di Approfondimento organizzata dalla SISN è principalmente rivolta a studenti di dottorato e post--doc europei la cui attività si svolge nell'ambito di discipline scientifiche quali Biologia, Chimica, Fisica, Scienze della Terra, Scienze per la Conservazione dei Beni Culturali, e affini. L'obiettivo formativo della Scuola è fornire un'adeguata preparazione specialistica sulle tecniche di neutron scattering, con riferimenti ed applicazioni alle varie discipline in cui tali tecniche trovano possibilità di impiego. Di norma la Scuola affronta, in ciascuna sua edizione, una (o più) tematica generale (ad es.:

*diffrazione, diffusione a piccolo angolo, diffusione anelastica, ecc.) ed è strutturata in sessioni con lezioni frontali e seminari specialistici ed in sessioni con esercitazioni: in queste ultime gli studenti sono in genere suddivisi in gruppi e seguiti da vari tutori. Dal momento che gli studenti ammessi a partecipare sono di norma dottorandi e/o post-doc e comunque è presumibile che abbiano una buona preparazione di base, il taglio delle lezioni è tale da fornire ai partecipanti una conoscenza a livello specialistico, aggiornata ed approfondita, delle tecniche di neutron scattering e di analisi ed interpretazione dei dati. Particolare attenzione è naturalmente rivolta alle caratteristiche strumentali ed alle tecniche sperimentali, sia consolidate sia innovative, con specifico riferimento a quanto disponibile e/o in fase di progettazione e realizzazione nelle facilities internazionali dedicate al neutron scattering. A conclusione della Scuola gli studenti dovranno essere in grado, ciascuno nell'ambito scientifico di preferenza ed in virtù delle conoscenze acquisite, di elaborare autonomamente progetti realistici di misure di neutron scattering, seguendo le modalità usualmente utilizzate per la presentazione di proposte di esperimenti presso le facilities internazionali. Come atto conclusivo della Scuola gli studenti, eventualmente riuniti in piccoli gruppi, presentano e discutono una relazione seminariale su un argomento di loro interesse correlato con le tematiche affrontate dalla Scuola. Tale discussione serve a certificare l'attività svolta nell'ambito della Scuola.*

*(a cura della Giunta SISN, maggio 2012)*

## Sezione 2. Il Futuro della Scienza con i Neutroni

**A cura di:** Caterina Petrillo, *Università di Perugia*; Valeria Rondelli, *Università di Milano*.

### **1) Quali sono i temi in cui la scienza con i neutroni potrà dare il suo contributo nei prossimi 5 e 10 anni?**

La ricerca scientifica condotta utilizzando fasci di neutroni ha dato significativi contributi in numerosi settori, in ciascuno dei quali esistono opportunità per ulteriori sviluppi e scoperte. Ad oggi l'utilizzo dei neutroni ha contribuito all'avanzamento della **conoscenza della struttura e della dinamica dei materiali di diversa origine**, dalla materia condensata alla materia cosiddetta soffice e di origine biologica, anche grazie alla ridotta invasività di questa sonda rispetto ad altre, quali ad esempio i raggi X. Inoltre, grazie alle intrinseche caratteristiche magnetiche, i neutroni sono un'eccellente sonda per lo **studio delle proprietà magnetiche**, statiche e dinamiche, dei materiali e, grazie alla loro sensibilità agli isotopi, possono essere proficuamente sfruttati per lo **studio delle proprietà chimiche** dei materiali. La scienza con i neutroni ha dato e potrà continuare a dare un contributo significativo in svariate aree di ricerca, dalle scienze di base fino ad ambiti applicativi: la fisica, la chimica e la biochimica, fino alla scienza dei liquidi e dei materiali solidi, la geochimica e la geofisica, la mineralogia, la scienza dei polimeri, la biologia animale e vegetale, la farmacologia, la geologia, l'ecologia, l'elettrochimica, l'archeologia, l'energia, oltre ovviamente allo sviluppo della strumentazione e dei sistemi di rilevazione nonché di metodologie di analisi dei dati.

Le conoscenze acquisite non si limitano a quelle della **scienza fondamentale**, ma hanno portato contributi significativi allo **sviluppo tecnologico**, anche su scala industriale, di nuovi materiali e prodotti, tra cui beni di consumo, componenti per l'automotive e l'aerospazio, e per i settori energetico e farmaceutico.

I settori in cui l'impiego dei fasci di neutroni è maggiormente sviluppato sono:

- Information Technology, per lo sviluppo di sistemi digitali sempre più complessi fino all'intelligenza artificiale;
- Proprietà chimiche ed elettromagnetiche di base dei materiali solidi e liquidi;
- Struttura della materia (cristallografia e spettroscopia);

- Struttura di manufatti archeologici e di valore artistico;
- Proprietà di molecole ed aggregati di interesse biologico, agroalimentare, biomedicale e farmaceutico, tra cui la ricerca nel campo del drug delivery;
- Materia soffice e polimeri;
- Tecnologie legate alla produzione e stoccaggio di energia, tra cui le batterie;
- Produzione di isotopi per la radiomedicina.

Non si può però non includere in questa discussione anche **la progettazione e lo sviluppo di sorgenti** (ad esempio le sorgenti basate sulla fusione a confinamento inerziale) che potrebbero, anche su tempi più lunghi, rilanciare la tecnica portandola a potersi comparare con la luce di sincrotrone in termini di brillantezza al campione.

## **2) Quali sono le grandi sfide che potrebbero avere risposte usando i neutroni?**

I più importanti risultati scientifici ottenuti tramite studi implicanti l'utilizzo dei neutroni sono riportati e costantemente aggiornati sui siti delle LSFI.

Un esempio di grande impatto riguarda gli esperimenti legati ai materiali per la diagnostica, i dispositivi di protezione e la struttura ed i meccanismi di azione del **virus SARS-CoV-2** nella attuale emergenza per il Covid-19. A tal proposito rimandiamo alla pagina LENS: <https://www.lens-initiative.org/2020/03/27/lens-fighting-covid-19-how-neutrons-will-contribute/>

Al di là delle scoperte nel campo della fisica delle particelle della fisica atomica, ciascuna delle aree di ricerca menzionate è in sviluppo e trae profitto dalla scienza con i neutroni, in quanto tecnica di caratterizzazione, indispensabile per lo sviluppo di materiali e tecnologie.

Ad esempio, nel campo delle **scienze della vita** lo studio delle proprietà di componenti di organismi reali (membrane cellulari) è stato reso possibile e sta rispondendo a domande sempre più complesse (interazione cellula-proteina, struttura fine ed idratazione di proteine, ...) anche grazie allo sviluppo delle tecnologie di produzione e purificazione di **molecole biologiche deuterate**. Sempre nell'ambito delle scienze della vita il campo del **drug and gene delivery** trae grande vantaggio dall'utilizzo di metodologie basate sullo scattering di neutroni per il design e l'ottimizzazione di vettori sempre più ingegnerizzati per corrispondere ad esigenze specifiche sia di caricamento che di rilascio mirato del farmaco o materiale genico di interesse.

Una disciplina in forte sviluppo attualmente è quella dell'**intelligenza artificiale**, per lo sviluppo della quale i neutroni si sono già messi al servizio.

La Prompt Gamma Activation Analysis (PGAA) ha consentito la costruzione di **un database spettroscopico** per l'analisi degli elementi (ed isotopi) dei materiali. Grazie a questo la ricerca nell'ambito dei **beni culturali** ha avuto una nuova spinta. I neutroni sono impiegati per lo studio delle **proprietà di alimenti** e per lo sviluppo tecnologico di **componenti di macchine, aerei, navi, componenti per l'aerospazio nonché di componenti per l'elettronica**.

Anche nel **settore energetico** (produzione e storage) i neutroni hanno un impatto. Un esempio è l'esplorazione del ruolo esatto delle reti di pori dei polimeri microporosi coniugati (CMP) nel processo fotocatalitico per la **produzione di energia 'pulita'**. Di grande interesse è il campo dello **stoccaggio di energia**, nel quale lo scattering di neutroni ha un ruolo fondamentale per lo studio delle proprietà di batterie di nuova generazione, come quella a base Litio.

Ci sono anche applicazioni particolari dell'irradiazione con neutroni, come la **trasformazione di pietre preziose** (irradiando il topazio con neutroni si creano dei difetti che fungono da centri del colore; in questo modo la pietra incolore diventa blu ed il suo valore economico aumenta di 100 volte).

### **3) Quale deve essere il ruolo della comunità e della SISN per favorire questa ricerca scientifica?**

Al di là dell'intervento ed il sostegno per la gestione delle convenzioni con le facilities di ILL ed ISIS, la SISN promuove la scienza con i neutroni tramite il congresso e le scuole, che rappresentano **occasioni di aggregazione**. In questo momento, per l'emergenza Covid-19, la SISN deve ripensare le occasioni di incontro e di istruzione sfruttando le **modalità di comunicazione** a distanza e reinventando schemi che possano **rafforzare la comunità e ridurre la disgregazione**.

La società dovrebbe individuare meccanismi per il rafforzamento della comunità anche in termini numerici, ad esempio **favorendo gli scambi interdisciplinari**. In questo momento, stimolare le collaborazioni aggregando competenze diverse (chimiche, biologiche, fisiche, digitali) attorno ad un obiettivo scientifico definito è cruciale e la SISN può dimostrare un ruolo nuovo agendo da facilitatore in tal senso.

In tempi ordinari, questa azione può essere sostenuta aggiungendo all'interno del congresso delle sessioni, anche brevi, dedicate alle **industrie** o a scienziati che collaborano con le industrie oppure promuovendo **meeting e scuole didattiche congiunti** con altre società, anche piccole.

La SISN potrebbe poi sviluppare un rapporto più forte con le **Università** e i **centri di istruzione superiore** impiegando i propri associati come "portavoce" della tecnica e della scienza con neutroni all'interno di un **portafoglio di offerta formativa e di seminari divulgativi**. In questo periodo, si potrebbe pensare ad organizzare rapidamente un'offerta di seminari on-line/webinar per le scuole con contenuti anche aggiornati agli studi di tipo biologico.

La comunità e la società potrebbero farsi promotori dei risultati ottenuti grazie alla scienza con i neutroni tramite newsletter e social media, per accrescere la consapevolezza nelle potenzialità da parte di una più vasta platea su diversi livelli, come pure attrarre un numero maggiore di giovani.

Gli sforzi potrebbero essere volti a rendere **la SISN soggetto esistente e ben definito nell'immaginario collettivo**, che possa fungere da coordinamento ed interfaccia tra la comunità e gli enti.

#### **4) Quali possibili schemi di finanziamento nazionali ed europei possono interessare la neutronica?**

In generale, sia a livello nazionale che internazionale, tutti i programmi di finanziamento che riguardano le grandi infrastrutture di ricerca sono di interesse per la neutronica.

A livello nazionale l'inserimento avviene attraverso il documento di programmazione strategica predisposto dal MIUR, sia come PNR che come PNIR (ex-Roadmap). La presenza del progetto infrastrutturale all'interno del documento di programmazione è un passo indispensabile per accedere ai potenziali successivi finanziamenti dedicati che avvengono principalmente attraverso i canali del FOE e dei PON-Infrastrutture.

In questo caso si tratta quindi di finanziamento dell'accesso e/o della costruzione attraverso gli Enti vigilati MUR (CNR, INFN etc...) o di finanziamento della fase di costruzione nelle Regioni Obiettivo con percentuali variabili fuori regione.

Questo schema, introdotto per le infrastrutture al MIUR nel 2010 e variamente adattato negli anni successivi, nella sostanza non dovrebbe subire grossi cambiamenti con il variare dei governi, anche perché di fatto rispecchia lo schema Europeo che prevede la predisposizione di un documento programmatico (Roadmap ESFRI) e il successivo finanziamento dei progetti individuati, attraverso i bandi per le infrastrutture di H2020 (INFRAxxx vari) e del prossimo programma Horizon Europe.



È chiaro che, se lo schema adottato a livello ministeriale non subisce modifiche sostanziali nel tempo, ciò che invece può essere modificato è l'entità del contributo, sia per decisione politica legata alla complessiva disponibilità a livello ministeriale, sia per indicazione dell'Ente preposto alla gestione dell'accordo.

Quanto detto riguarda prevalentemente la "grande" progettualità, grande in termini di intervento sia finanziario che costruttivo che di mobilitazione di risorse umane.

Invece, la partecipazione ai progetti di ricerca sotto *call* aspecifiche ma focalizzate a tematiche scientifiche (nazionali, tipo PRIN, o Europei relativi a *call* non RI) ricade nelle capacità di lavoro dei singoli gruppi e nella loro qualificazione internazionale.

Il ruolo della SISN potrebbe essere quello di **facilitatore**, ad esempio se potesse assicurare ai gruppi partecipanti canali di accesso al tempo macchina preferenziali per modalità e tempistiche di accesso, pur senza saltare la valutazione di qualità. Ad esempio, se la SISN fosse un **partner di un progetto di infrastrutture distribuite e differenziate** che offrono accesso (ad esempio CERIC oppure NFFA), al di là dei progetti INFRAxxx che aggregano tematicamente solo le infrastrutture di neutroni, essa potrebbe giocare un ruolo rilevante per le infrastrutture coinvolte, offrendo una base di utenza qualificata e, allo stesso tempo, potrebbe costituire un canale di accesso "privilegiato" per la propria comunità, da sfruttare per altri progetti di tema scientifico.

## **5) Esistono azioni possibili da parte della comunità neutronica per ottenere più fondi per la ricerca?**

La partecipazione ai programmi e progetti nazionali ed europei per le infrastrutture di ricerca richiede una **capacità di coordinamento a livello nazionale elevata** e tipicamente una istituzione capofila in grado di distribuire il finanziamento ai partecipanti che possono appartenere a diverse sedi. Questo ruolo può anche essere svolto da una Università (o da un consorzio universitario) e non necessariamente da un Ente, ma il punto critico rimane il coordinamento e un buon canale di comunicazione con le istituzioni, nazionali ed europee.

Se la SISN intende proporsi per questo ruolo di coordinamento, occorre che essa si presenti come un **riferimento nazionale per i progetti di neutronica**, in quanto dotato di competenze specifiche al proprio interno, in grado di coordinare le relazioni e dotato di capacità di spesa e rendicontazione. In un certo senso, l'esempio precedente è il CNISM nella fase in cui ha ottenuto e gestito il finanziamento di 15 M Euro per il PON-STAR della Calabria.

Alternativamente, la SISN può offrirsi come **incubatore e coordinatore di idee e progetti** la cui gestione viene delegata ad un ente/istituzione in grado di amministrare e rendicontare. È evidente che presentarsi come riferimento unico e aggregatore di competenze è ben altra cosa rispetto alle partecipazioni distribuite di singoli o di gruppi. In questo senso va sviluppato il sentimento di **appartenenza della comunità alla società**. La SISN può (intende?) sviluppare **azioni di lobbying a livello nazionale** (presso gli Enti, i Ministeri, le Università) che vadano oltre la comunicazione dell'esistenza e delle necessità della comunità scientifica che rappresenta e che servano a presentarsi come **interlocutore e portatore di competenze** da mettere al servizio dell'Istituzione. Si tratterebbe di sviluppare un rapporto fiduciario in cui il primo passo per la SISN è quello di dare, in attesa di ricevere.

A livello Europeo è forse più facile incentivare la partecipazione della SISN come soggetto di diritto privato ai progetti dedicati alle infrastrutture. Il primo passo dovrebbe essere quello di **partecipare alle Coordination&SupportActions**, piuttosto che ai progetti di finanziamento della ricerca, azioni che sono finalizzate al community building, al networking, allo scambio di best practices etc. e al cui interno la SISN potrebbe acquistare visibilità come soggetto unico e referente. Queste partecipazioni, o meglio lo sforzo progettuale, potrebbe essere sostenuto anche direttamente e non solo attraverso l'ENSA.

## **Appendice**

- Cosa può fare la SISN ora per facilitare l'aggregazione di competenze attorno a tematiche specifiche, vedi covid?
- Che insegnamento può trarre la SISN dall'esperienza in tempo covid per il futuro? (tecnologie, istruzione a distanza, etc..)
- Che impatto può avere l'esistenza della società in questo momento?
- Come può la SISN dimostrare la sua rilevanza ORA per avere poi titolo a chiedere finanziamenti?
- Quali strategie perseguire per aumentare visibilità e impatto sia a livello nazionale che internazionale?
- Su quale piano lavorare: regionale? nazionale? europeo?
- Quali strumenti innovativi proporre per facilitare il training e la comunicazione?
- È fattibile costituire un consorzio universitario o una ATS di università ed enti per la richiesta di finanziamenti? È opportuno costituire una task force SISN che se ne occupi?

## Sezione 3. Neutroni e Ricerca Industriale

**A cura di:** Debora Berti, *Università degli Studi di Firenze*; Fabrizio Fiori, *Università Politecnica delle Marche*; Luigi Gentile, *Università degli Studi di Bari*

### Introduzione

Obiettivo di questo documento di lavoro non è la descrizione dello stato dell'arte del rapporto tra Neutroni e Ricerca Industriale in Italia, quanto piuttosto quello di suggerire precise e attuabili linee di azione per stimolare la discussione tra i soci ed avviare e sviluppare una politica della società anche in questo ambito. Ci sentiamo di affermare che questo piano di azione è stato sicuramente meno centrale rispetto ad altre attività (ad esempio formazione...) per quanto riguarda gli sforzi della SISN.

Alla luce di questa considerazione, è nostra opinione che dovremmo nei prossimi anni darci degli obiettivi di minima che innestino una



linea di attività sostenibile. Il documento si compone di tre brevi sezioni, la prima prettamente scientifica, che individua le principali linee di ricerca di interesse industriale nel medio termine.

Nella seconda sezione si affrontano invece aspetti più legati allo sviluppo strumentale per le necessità industriali, mentre nella terza parte si propongono alla comunità SISN alcune possibili linee di intervento, a basso costo di risorse umane, per stimolare un coinvolgimento di realtà industriali nella ricerca neutronica tramite l'azione della SISN.

### **1) Prospettive per la ricerca industriale con i neutroni nei prossimi 5-10 anni**

#### ***a) Prodotti chimici, petroliferi, farmaceutici e cosmetici, biomateriali***

I neutroni sono ad oggi utilizzati per la caratterizzazione strutturale della "soft matter", che è la base dei sistemi cosmetici e dei sistemi a rilascio controllato di farmaci. Mediante l'utilizzo combinato di diverse tecniche neutroniche è inoltre possibile mettere in relazione le proprietà su scala molecolare con quelle a livello delle macromolecole, alla quale si manifestano le principali funzioni biologiche.

I neutroni sono infatti **uno strumento unico** per investigare gli aspetti critici di macromolecole ed enzimi e delle loro funzioni biologiche, come i **legami idrogeno e l'idratazione**. Queste informazioni, insieme alla determinazione dei modi di assemblaggio o meno (folding/unfolding) delle proteine, sono fondamentali per lo studio delle basi cellulari di molte malattie e quindi anche dello **sviluppo di potenziali farmaci** per combatterle. Inoltre, sempre in ambito farmaceutico e in generale delle biotecnologie, altre importanti applicazioni delle tecniche neutroniche riguardano lo studio e lo sviluppo dei “drug delivery systems” e dei biosensori.

L'utilizzo dei neutroni è inoltre essenziale non solo per la caratterizzazione strutturale ad esempio delle fasi liotropiche cristalline, ma anche per l'individuazione di **parametri essenziali alle formulazioni** quale ad esempio la “correlation length” nei sistemi emulsivi. Nei prossimi anni grazie all'utilizzo del “contrast matching” le tecniche neutroniche potranno essere adottate per individuare la presenza e localizzazione dei componenti bioattivi all'interno di strutture complesse. Questo permetterà di implementare le formulazioni sulla base delle indicazioni strutturali. Inoltre, lo sviluppo delle tecniche di imaging potrebbe consentire di **studiare in-situ i meccanismi di azione di creme o farmaci su sistemi modello**. Questi studi potranno inoltre essere condotti in combinazione con altre tecniche quali UV/Vis, infrarossi, raggi X, eccetera. Complessivamente si potranno ottenere informazioni sulla struttura e la dinamica dei materiali.

In modo indiretto le sorgenti neutroniche permetteranno la **produzione di isotopi radioattivi per la medicina nucleare**:

- il technicium-99 per diagnosi cardiologica e indagine ossea;
- il lutezio-177 e lo stronzio-90 entrambi usati nell'immunoterapia;
- l'itterbio-169 impiegato nella diagnostica delle piccole lesioni articolari.
- il cobalto-60 ampiamente usato come un cosiddetto gamma-knife per il trattamento dei tumori cerebrali.

#### ***b) Prodotti naturali (Cellulosa, polimeri naturali, food products)***

L'utilizzo di tecniche di neutroni in combinazione con tecniche tradizionali di caratterizzazione utilizzate nella scienza dell'alimentazione possono fornire una visione unica dei **food materials**, fornendo le conoscenze per sviluppare nuove formulazioni. È rilevante sottolineare come i food materials sono strutture di notevole complessità, uno degli alimenti più “semplici” il latte è di fatto un sistema emulsivo. Le tecniche basate sui neutroni sono state tradizionalmente poco utilizzate

nella ricerca nelle scienze alimentari. Le tendenze globali e le richieste dei consumatori nei confronti del cibo con una maggiore funzionalità hanno spinto le industrie alimentari a sviluppare sistemi alimentari sempre più complessi. Lo studio di questi sistemi food complessi necessita approcci scientifici interdisciplinari. In particolare, una migliore conoscenza di come i componenti alimentari sono strutturati e interagiscono tra loro consentirà la precisa manipolazione delle molecole alimentari e dei processi di produzione per la progettazione razionale. Alcune interessanti novità come ad esempio la formulazione di nuove nanostrutture a partire dalle proteine del latte, oppure la correlazione dei principi attivi negli alimenti alla matrice alimentare stessa e alle condizioni di trattamento danno l'idea dei progressi in questa direzione.

La produzione di **materiali polimerici a basso consumo energetico e a basso impatto ambientale** è uno dei temi di maggiore interesse scientifico e industriale dell'ultimo decennio. L'utilizzo di materiali quali la cellulosa per la produzione di fibre ha reso necessario l'utilizzo di tecniche di scattering neutronico per:

- (i) comprendere il processo di dissoluzione della cellulosa nei vari solventi;
- (ii) investigare le proprietà strutturali delle fibre per determinare la correlazione con il meccanismo di dissoluzione e generazione delle nuove fibre.

### **c) Elettronica e Tecnologia Informatica** (*spintronics, smart materials, organic diodes, ...*)

Le applicazioni in elettronica sono notevoli. Questi usi includono applicazioni come il **drogaggio di silicio** con neutroni: all'aumentare dell'esposizione del silicio ai neutroni, sempre più atomi di fosforo sono prodotti per trasmutazione, e quindi il drogaggio diventa sempre più forte di tipo n. Questo è essenziale per l'industria dei semiconduttori e la produzione di isotopi radioattivi per la medicina nucleare. Inoltre, gli smartphone, tablet e laptop utilizzano piccole antenne in ceramica per selezionare frequenze operative dedicate: le prestazioni dei componenti all'interno di queste apparecchiature sono strettamente correlate alle proprietà dei materiali. Lo scattering di neutroni può aiutare i produttori a **ottenere le giuste specifiche**: la necessità di ridurre la perdita di potenza rende essenziale una elevata qualità strutturale durante la produzione. La ricerca neutronica può identificare le differenze su scala atomica tra i materiali trattati in condizioni identiche, ma con proprietà elettriche diverse.

**d) Produzione di energia, energie rinnovabili, energy storage** (materiali e componenti per le tecnologie nucleari, superleghe a base di Ni per turbine, pipelines, celle fotovoltaiche, hydrogen storage, batterie al Li, celle a combustibile, ...)

L'utilizzo di tecniche tomografiche con sorgente neutronica porterà allo studio del moto dell'idrogeno all'interno delle batterie. L'idrogeno è stato identificato come uno dei combustibili principali per fornire energia pulita per i trasporti e altre applicazioni in tutto il mondo. Lo sviluppo di **materiali per immagazzinare idrogeno in modo efficiente e sicuro** è cruciale per questo sforzo. Lo scattering di neutroni è ideale per studiare i materiali di stoccaggio dell'idrogeno, consentendo la caratterizzazione simultanea della struttura e della dinamica di questi materiali durante l'assorbimento dell'idrogeno. Questi studi ci aiuteranno a comprendere le proprietà fondamentali dello stoccaggio dell'idrogeno in condizioni realistiche.

**e) Industria e tecnologia dei trasporti: automotive, aerospaziale e navale** (materiali e componenti strutturali e del motore, saldature e giunzioni, ...)

I ricercatori industriali in generale hanno obiettivi ben definiti e spesso la loro necessità non è quella di pubblicare su riviste accademiche e di presentare risultati alle conferenze, ma di ottenere informazioni utili per l'**efficacia industriale** della loro specifica azienda, e questo è particolarmente vero nel caso delle **industrie "pesanti" metalmeccaniche**. Ad esempio, per queste industrie è spesso importante conoscere le caratteristiche microstrutturali dei materiali, quali ad esempio la forma, la concentrazione e la distribuzione dei precipitati/inclusioni, poiché questi possono influire sulle prestazioni meccaniche macroscopiche in condizioni d'uso, sia in senso positivo (e.g. blocco delle dislocazioni) che negativo (iniziazione di crepe), e l'influenza su di essi da parte dei processi di produzione e delle condizioni d'uso. I processi produttivi quali trattamenti termomeccanici, saldature ecc., inducono generalmente sia **tensioni residue (TR)** che, nei materiali policristallini, **tessitura** (orientazione preferenziale dei grani). In particolare, è importante poter misurare le TR poiché queste, sommandosi ai carichi sia statici che periodici (fatica) applicati in condizioni di esercizio, possono influire, anch'esse sia positivamente che negativamente, sulla durata del componente. La stessa validazione sperimentale dei modelli matematici standard e commerciali (solitamente agli elementi finiti – FEM), che le industrie utilizzano per simulare le prestazioni di materiali e componenti, può avvenire tramite l'utilizzo delle tecniche neutroniche. Del resto, queste simulazioni necessitano della conoscenza di parametri da determinare sperimentalmente, quali ad esempio le TR, per poter fornire una previsione affidabile. Al contempo, i più sofisticati modelli

micromeccanici hanno bisogno di informazioni sperimentali le più dettagliate possibile sulla microstruttura. Altre applicazioni delle metodologie neutroniche (neutron reflectivity) possono coprire **l'analisi degli effetti superficiali per lo studio dei lubrificanti e dell'usura**, nonché delle strutture di polimeri e compositi polimerici, specie nelle **applicazioni aerospaziali**, ove questi materiali svolgono un ruolo sempre più importante e in molti casi sostituiscono i metalli grazie alle loro ottime proprietà termomeccaniche, unite alla bassa densità.

## **2) Necessità in termini di accesso e strumentazione per la ricerca industriale**

### ***a) Principali tecniche neutroniche utilizzate nella ricerca industriale***

L'interesse della ricerca industriale nell'utilizzo delle tecniche neutroniche riguarda soprattutto lo studio delle **proprietà dei materiali e dei componenti con questi realizzati**, nonché degli effetti che su di essi hanno sia le **procedure di produzione** che **le condizioni di servizio**.

Le tecniche neutroniche, quali ad esempio la diffrazione (ND), la diffusione a piccoli angoli (SANS), la diffusione anelastica/quasi-elastica (INS/QENS) e la riflettività (NR), anche abbinate ad altre metodologie standard come microscopia elettronica, test meccanici, strain gauge ecc., consentono di rispondere ad esigenze di questo tipo, in maniera non-distruttiva, e associando la possibilità eventuale di eseguire misure in-situ tramite dispositivi ancillari che **simulino le condizioni di produzione e/o d'uso** durante la campagna di misura, mediante l'applicazione di carichi meccanici esterni, alte/basse temperature e pressioni. Il fatto poi che il neutrone abbia un momento magnetico e possa essere quindi opportunamente polarizzato, e inoltre la possibilità di applicare campi esterni durante la misura, costituisce un mezzo pressoché unico per lo **studio delle proprietà magnetiche dei materiali**, fondamentali ad esempio per l'industria elettronica ed informatica. Oltre alle tecniche sopra citate, anche i metodi di imaging (radiografia e tomografia neutronica) possono trovare largo utilizzo in ambito industriale, soprattutto grazie alla capacità dei neutroni di mettere in evidenza alcuni elementi (in particolare l'idrogeno, si pensi ad esempio alle celle a combustibile), così come anche le tecniche di indagine elementare basate sulla NAA (Neutron Activation Analysis), queste ultime con applicazioni particolarmente **nell'industria chimica e in quella elettronica e dei semiconduttori**, nonché **nell'analisi di opere d'arte e in ambito forense/ investigativo**. Infine, l'irraggiamento mediante fasci neutronici viene utilizzato per osservare il comportamento dei materiali strutturali e dei componenti elettronici in **ambienti esposti alla radiazione**, ad esempio per l'industria e la tecnologia nucleare. Anche nel campo dei materiali "soft" la ricerca applicata e

industriale può avvalersi delle medesime tecniche neutroniche sopra citate, soprattutto (ma non solo) per quanto riguarda la biomedicina, le biotecnologie e l'industria farmaceutica, in cui le informazioni a livello molecolare sono cruciali.

Le principali tecniche neutroniche utilizzate nella ricerca industriale sono:

- Diffrazione (tensioni residue e tessitura in materiali e componenti, ...)
- Small-Angle Scattering – SANS (precipitazione e cavitazione in acciai e leghe, struttura di macromolecole, drug delivery systems, ...)
- Riflettometria (superfici, rivestimenti, interfacce, membrane...)
- Scattering anelastico e quasi-elastico – INS/QENS (moto atomico e molecolare in solidi e liquidi)
- Imaging: radiografia e tomografia (analisi di saldature, liquidi in vari tipi di componenti, struttura interna di reperti archeologici...)
- Neutron Activation Analysis – NAA, PGAA (caratterizzazione elementale di materiali, rivelazione di sostanze tossiche in tessuti biologici ed alimenti, «autoradiografia» di opere d'arte, rivelazione di sostanze stupefacenti ed esplosive, ...)
- Irraggiamento neutronico (studio di materiali e componenti elettronici sottoposti a radiazioni, trattamento di tumori, ...)
- Uso di apparecchiature ancillari per misure in situ (alte/basse temperature e pressioni, carico meccanico statico e periodico, campo magnetico, ...)

### ***b) Esigenze della ricerca applicata ed industriale e strumentazione***

Per quanto riguarda la strumentazione, le esigenze della ricerca applicata ed industriale spesso sono differenti da quelle della ricerca di base. In particolare, si possono individuare due tipi di criticità principali:

- la frequente necessità, soprattutto da parte di industrie “pesanti”, di studiare strutture e componenti con volumi e masse piuttosto grandi (ad esempio parti di motori, parti strutturali di automobili ed aerei, ecc.)
- l'esigenza di avere accesso al tempo-macchina in tempi molto più brevi di quelli “ordinari”, nonché di ottenere poi i risultati finali altrettanto velocemente.



A proposito del primo punto, una tale richiesta riguarda soprattutto i diffrattometri, principalmente per misure di deformazioni/tensioni residue, e gli strumenti per l'imaging (radiografia e tomografia).

**I principali diffrattometri** attualmente disponibili alle Large Scale Facilities europee e che rispondono a queste caratteristiche, permettendo la misura su campioni con massa dell'ordine delle centinaia di Kg e oltre, sono:

- SALSA @ ILL – Grenoble:

<https://www.ill.eu/users/instruments/instruments-list/salsa/characteristics/>

- ENGIN-X @ ISIS – Oxfordshire:

<https://www.isis.stfc.ac.uk/Pages/Engin-X.aspx>

- POLDI @ PSI-SINQ – Zurigo:

<https://www.psi.ch/en/sinq/poldi/description>

- STRESS-SPEC @ MLZ – Monaco di Baviera:

<https://www.mlz-garching.de/stress-spec>

Altri diffrattometri dedicati alla scienza dei materiali e alle relative applicazioni industriali sono disponibili anche presso le seguenti facilities:

- NPI - Praga (<http://neutron.ujf.cas.cz/en/hk4/item/144-hk4-description>)

- BNC - Budapest (<https://www.bnc.hu/mtest>)

**I principali strumenti per l'imaging** attualmente disponibili alle Large Scale Facilities sono:

ANTARES @ MLZ – Monaco di Baviera:

<https://www.mlz-garching.de/antares>

NEUTRA @ PSI-SINQ – Zurigo:

<https://www.psi.ch/en/sinq/neutra/description>

IMAT @ ISIS – Oxfordshire:

<https://www.isis.stfc.ac.uk/Pages/IMAT-sample-environment.aspx>

La **prossima realizzazione di ESS** fornirà un notevole upgrade delle possibilità sperimentali anche dal punto di vista della ricerca applicata e industriale, non solo in termini di flusso e quindi di tempi di misura, ma anche in termini di strumentazione.

In particolare, lo strumento BEER (Fig.1 - <https://europeanspallationsource.se/instruments/beer>) è progettato proprio per venire incontro alle esigenze delle industrie per quanto riguarda la scienza dei materiali, **riunendo in un unico strumento le tecniche di diffrazione, SANS e imaging**. Questa soluzione sarà in grado di fornire, su scala nanometrica, sia la descrizione della cinetica di processo che l'osservazione delle disomogeneità microstrutturali durante le trasformazioni strutturali. Allo strumento sarà abbinata la possibilità di utilizzare un dispositivo di trazione con un carico massimo di 60 kN, accoppiato ad un forno per temperature fino a 1200°C, per permettere in situ i trattamenti termomeccanici sui campioni. Inoltre, un dilatometro offrirà la possibilità di un rapido riscaldamento (4000K/s) / raffreddamento (2500 K/s) del campione durante trattamenti di compressione/trazione con un carico massimo di 25 kN.

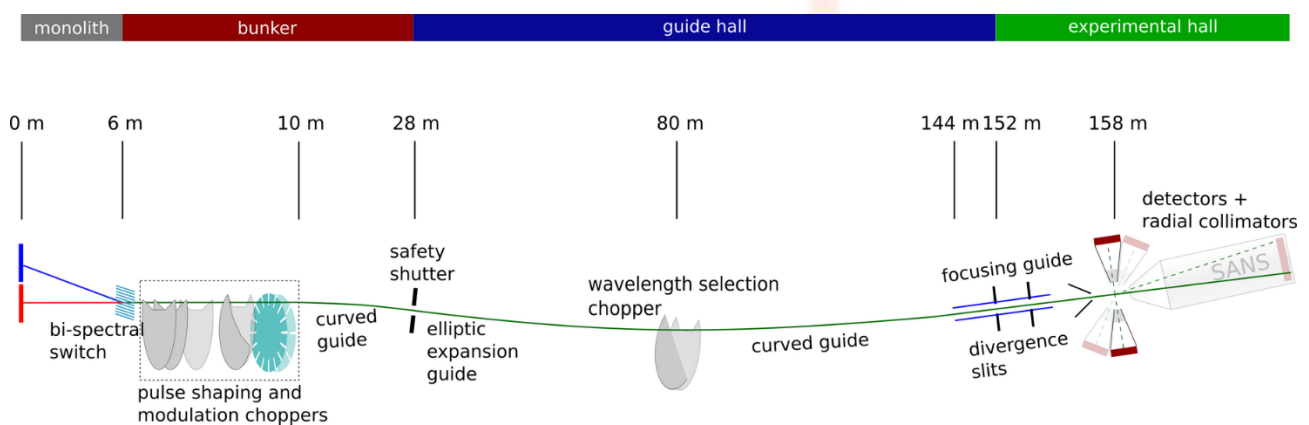


Fig.3.1 – Lo strumento BEER in realizzazione a ESS (<https://europeanspallationsource.se/instruments/beer>).

### c) Accesso dell'industria alle sorgenti neutroniche

Per quanto riguarda l'accesso alle sorgenti neutroniche e l'assegnazione del tempo-macchina alle industrie, è evidente che in gran parte dei casi queste ultime difficilmente possono attendere i lunghi tempi e l'incertezza delle procedure standard. Per questo motivo, le sorgenti neutroniche si sono dotate di **procedure dedicate alla ricerca industriale**, con tempo-macchina dedicato previo pagamento di una **tariffa** più o meno standard, che solitamente include sia l'esecuzione della misura da parte degli "instrument scientists" sia l'analisi dei dati e la consegna dei risultati entro tempi ragionevoli. L'importo di tale tariffa dipende da vari fattori, ma nella maggior parte dei casi può essere considerata in un intervallo fra 5 e 10 KEuro/giorno. Una tale cifra può essere considerata un buon investimento in R&D da parte di industrie medio-grandi, ma in alcuni casi può risultare oneroso per qualche SME, specie in periodi di congiunture economiche sfavorevoli. Anche per ovviare a simili inconvenienti, ma soprattutto per stimolare le industrie, incluse le SME, all'utilizzo dei neutroni,

nell'ambito del progetto europeo SINE2020, terminato a settembre 2019 e nel quale erano partner tutte le principali sorgenti neutroniche europee (<https://www.sine2020.eu/industry/the-offer.html>), era prevista l'offerta gratuita di tempo-macchina agli utilizzatori industriali. Ovviamente si trattava di un'iniziativa realizzata grazie ai fondi europei, ma è comunque un esempio di come, grazie a finanziamenti esterni, sarebbe possibile "pubblicizzare" le sorgenti neutroniche presso le industrie ed agevolarne l'accesso.

I recentissimi eventi connessi alla pandemia di Covid-19 a livello planetario, e le relative conseguenze economiche che ne deriveranno, pongono anche la ricerca, inclusa quella applicata e industriale, di fronte a scenari generalmente difficilmente prevedibili. È però possibile ed auspicabile che emerga una nuova **consapevolezza dell'importanza della ricerca**, non solo in campo biomedico e farmaceutico ma anche in tutte le attività in altri settori (chimica, fisica, scienza ed ingegneria dei materiali) che della biomedicina sono partner ormai inseparabili ed indispensabili.

In tal caso, se questo porterà a nuovi e più consistenti investimenti e finanziamenti alla ricerca, probabilmente con particolare riguardo a quella applicata, le comunità neutroniche europee ed italiane dovranno attivarsi per intercettare risorse che consentano anche alle industrie di utilizzare uno strumento unico come le metodologie neutroniche.

### **3) Una roadmap per lo sviluppo dell'uso dei neutroni da parte dell'industria: possibile ruolo di SISN.**

Se, da un punto di vista della ricerca accademica, la **mancaza di LSF neutroniche sul territorio nazionale** non ha impedito il fiorire di una vivace ed attiva comunità scientifica, è innegabile che l'utilizzo dei neutroni per la ricerca industriale abbia risentito di questa condizione.

ILL ed ISIS si rivolgono all'utenza industriale in maniera "diretta", con *call* dedicate e tempo macchina allocato su canali diversi rispetto agli utilizzatori accademici, senza bisogno di intermediari, quale ad esempio potrebbe essere una società scientifica.

<https://www.isis.stfc.ac.uk/Pages/Industry.aspx>;

<https://www.ill.eu/neutrons-for-society/industry/>

Da un punto di vista pratico, vorremmo distinguere tre scenari:

i. La ricerca industriale potrebbe beneficiare di misure neutroniche, ma lo ignora, oppure non ha al suo interno le competenze/risorse necessarie;

ii. L'industria ha un potenziale interesse e/o vorrebbe utilizzare i neutroni, ma ha difficoltà nell'accesso (ed eventualmente nell'interpretazione dei dati);

iii. L'industria ha un contratto di ricerca con un attore accademico, neutron user.

Chiaramente nell'ultimo caso, il ruolo che la SISN può giocare risulta abbastanza limitato e comunque probabilmente al limite del suo mandato, anche se sarebbe interessante che questi contatti fossero censiti, ad esempio chiedendo ai soci di rendere noti i lavori pubblicati con coautori afferenti all'industria.

I primi due scenari sono invece pienamente all'interno del mandato SISN di promozione della neutronica, ed è su questi casi che possiamo dare il nostro contributo. Come? Appare chiara dalla Prima Sezione di questo documento l'ampiezza e la diversificazione dei campi di applicazione della spettroscopia neutronica in ambito di ricerca industriale.

Sussiste un vasto margine di intervento per colmare questo divario, che può avvenire a vari livelli:

- **A livello istituzionale:** Presidenza e di Giunta SISN potrebbero stabilire contatti con AIRI (Associazione Italiana Ricerca Industriale) o con altre associazioni.

- **A livello di coinvolgimento dei soci.**

I due piani di lavoro presentano una forte sovrapposizione ed una necessaria concordanza di scopi.

Nella recente survey SIF-SoNS, il Vicepresidente di AIRI, Sesto Viticoli, lamenta che i maggiori ostacoli sono rappresentati dalla mancanza di adeguate competenze nella comunità industriale.

([https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/Neutron\\_strategic\\_review.pdf](https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/Neutron_strategic_review.pdf)).

Dunque, **l'apporto di competenze dal sistema di ricerca pubblico è benvenuto e strategico per avvicinare la ricerca industriale alla neutronica.**

SISN si caratterizza per la univoca provenienza accademica della sua comunità: una sua proposta strategica ad AIRI, potrebbe dunque sortire questo effetto, solo se si sostanzia in una serie minimale di azioni concrete, il cui impatto sia di facile e veloce rilevazione. Riteniamo infatti sterile che questa azione si risolva nel solito "cahier de doléances" o una lista di "vorrei ma non posso".

Tuttavia, SISN ha risorse economiche ed umane limitate, e si basa su attività volontaria. Di seguito elenchiamo una serie di **proposte compatibili con queste caratteristiche.**

a) Riteniamo che la SISN potrebbe estendere la sua **attività formativa** anche ad attori industriali, ad esempio pubblicizzando le Giornate Didattiche (GD) tramite i canali di AIRI, oppure attingendo a database in possesso di AIRI per veicolare l'informazione.

b) Una ricerca Google su neutroni & industria (in italiano) non dà praticamente risultati utili. Dunque, potrebbe essere opportuno **dedicare una pagina del sito SISN** a questo argomento. Si potrebbero riportare alcune delle informazioni contenute nella prima parte di questo documento, oppure inserire esempi di lavori a partecipazione mista industria/accademia.

c) I soci SISN in servizio presso ISIS, ILL (ed in futuro ESS) potrebbero fornire indicazioni **circa la politica delle facilities per la ricerca industriale** (accesso dedicato, tempistiche etc.).

d) si potrebbe individuare nella giunta SISN, o in un suo delegato, un responsabile che, in caso di bisogno, **aiuti l'attore industriale nella presentazione dei proposal**. Anche queste informazioni dovrebbero essere contenute sul sito SISN.

e) Come per le Giornate Didattiche, si potrebbero individuare potenziali stakeholder da invitare anche al **congresso SISN** (sempre tramite il canale AIRI o altro).

f) A parte lo sviluppo di un rapporto con AIRI, riteniamo utile **un "gemellaggio" con altre società scientifiche** italiane, in primis la SILS, oltre che la SCI (Società Chimica Italiana, che ha peraltro una Divisione di Chimica Industriale, <https://www.chimind.it>) e la SIF. Questo gemellaggio consentirebbe sia la messa a punto di **una strategia comune** (con SILS principalmente) che l'individuazione di occasioni di scambio con realtà più connesse col mondo della ricerca industriale.

Vorremmo sottolineare che questi sono alcuni spunti che questa riflessione ha prodotto. Le iniziative potrebbero essere molte altre, ma tenendo conto di una situazione di partenza non facile, sicuramente influenzata dalla mancanza di sorgenti nel paese e da una sostanziale erosione dei reparti R&D delle industrie italiane, vale la pena di concentrare gli sforzi su una serie di piccoli passi e di aggiornare iniziative di più ampio respiro dopo un bilancio di eventuali progressi da qui a 5 anni.

## **Appendice**

1) Quali sono le linee di ricerca, tra quelle indicate nella sezione 1, più promettenti o a maggiore necessità di intervento per quanto riguarda la ricerca industriale?

2) Quali sono, in ordine di priorità, tre iniziative che la SISN potrebbe intraprendere per colmare il gap tra R&D industriale e Neutronica nel nostro paese?

3) È opportuno che la SISN si federi con società/associazioni per una alleanza strategica verso una piena realizzazione delle potenzialità della neutronica per la ricerca industriale? Quali associazioni sarebbero utili?

## Sezione 4. *Large Scale Facilities* e Accesso: il ruolo del CNR nella neutronica e la situazione presso ILL e ISIS

**A cura di:** Flavio Carsughi, *Jülich Centre for Neutron Science JCNS at Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ)*; Paolo Mariani, *Università Politecnica delle Marche*; Antonella Scherrillo, *Science & Technology Facilities Council*.

La comunità neutronica italiana negli ultimi anni è rimasta pressoché stabile, e nel 2016 era stata stimata in circa 500 unità mediante ricerca opportuna presso il database Web of Science. Il numero totale include tutte le tipologie di utilizzatori dei neutroni, dai cosiddetti super-user, cioè ricercatori che usano i neutroni molto assiduamente e che pubblicano almeno un lavoro all'anno utilizzando i neutroni (circa 110 in Italia), a chi usa i neutroni raramente. Il maggior numero utilizza le tecniche neutroniche regolarmente, pubblicando un lavoro circa ogni 2-3 anni. Le tecniche neutroniche sono utilizzate in tanti campi della scienza (fisica, chimica, biologia, scienza dei materiali, geologia), dell'innovazione tecnologica e industriale, senza dimenticare anche campi di applicazioni più recenti come, per esempio, i beni culturali. La comunità italiana è equamente distribuita tra Enti di Ricerca (50%), (CNR, 28%; INFN, 15%; ENEA, 3%) e Università (50%).

Nonostante **l'assenza di una sorgente nazionale**, la comunità neutronica italiana è cresciuta e ha potuto mantenere la sua eccellenza grazie ad una serie **di accordi pluriennali con Large Scale Facilities (LSF) estere**. Questi accordi vedono oggi come attore principale dal lato italiano il CNR. In particolare, dal 1985 l'Italia ha un accordo con ISIS, sorgente nazionale britannica dello Science & Technology Facility Council (STFC) e dal 1997 con l'Institut Laue-Langevin (ILL), centro di ricerca internazionale situato a Grenoble (Francia). I contratti furono inizialmente gestiti tramite l'Istituto

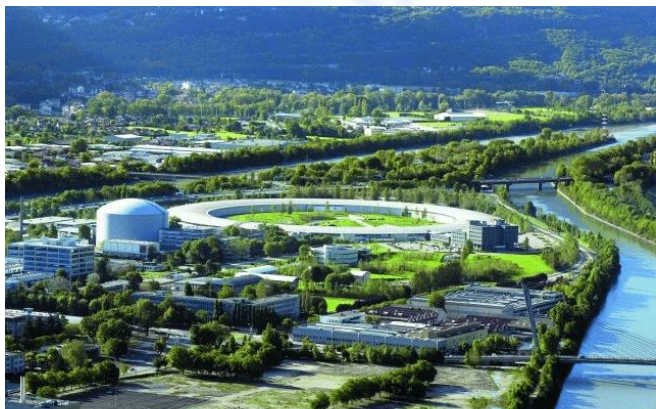


Fig. 4.1 Institut Laue-Langevin (ILL)

Nazionale per la Fisica della Materia (INFN) per quanto riguarda ILL e tramite il CNR per ISIS. Solo dopo la fusione dell'INFN nel Dipartimento di Fisica del CNR la gestione del contratto ILL è stata trasferita al CNR.

L'accordo con ISIS per il periodo 2014-2020 (scadenza 1 Aprile 2020) è stato firmato da Prof. Luigi Nicolais, all'epoca presidente

CNR.

L'accordo prevede un contributo oneroso (operational cost) di 1.7 M€/anno (ca. 5% del budget annuale di ISIS: questo corrisponde ad una quota di utilizzo contrattuale del 5% del tempo di fascio a condizione che i proposal italiani abbiano ottenuto una valutazione positiva; l'Italia ottiene su base competitiva circa il 6% di tempo di fascio), più 0.8 M€/anno - anche in-kind - per lo sviluppo, la costruzione e la gestione di nuova strumentazione. Nell'ambito di questo accordo, la Prof. Carla Andreani (Università di Tor Vergata) è stata nominata portavoce del CNR per il programma italiano relativo all'utilizzo di ISIS, mentre al Prof. Giuseppe Gorini (Università di Milano Bicocca) è stata affidata la responsabilità del contributo in-kind.

L'accordo con ILL è stato rinnovato il 27 Marzo 2019. Il precedente, firmato dal Prof. Luigi Nicolais, aveva validità dal 2014 al 2018 e prevedeva una partecipazione italiana del 3.1% del budget annuale di ILL (questo corrisponde ad una quota di utilizzo contrattuale del 3.1% del tempo di fascio a condizione che i proposal italiani abbiano ottenuto una valutazione positiva; da sempre l'Italia ottiene su base



*Fig. 4.2 ISIS Neutron and Muon Source*

competitiva quasi il 5% del tempo di fascio), per una spesa di ca. 4.0 M€/anno e un totale di 20.6 M€ su tutto il periodo. L'accordo includeva anche la possibilità di gestire i due strumenti BRISP e IN13 con la formula del Collaborative Research Group (CRG) e che in questo ambito il CNR potesse corrispondere le cosiddette non-quantifiable charges mediante un corrispondente contributo in-kind. Inoltre, era previsto che ILL contribuisse con il finanziamento dello stipendio annuale per due borse di dottorato dedicate a progetti italiani, all'interno dell'ILL PhD Programme. È importante osservare che il pagamento del contributo previsto per l'ultimo anno dell'accordo 2014-2018 non è mai stato completato, e verrà recuperato "a rate" di ca. 500 k€/anno sui 5 anni dell'accordo appena firmato.

Il nuovo accordo (2019-2023) prevede una partecipazione italiana al budget di ILL di 1.957 M€/anno, che corrisponde ad una quota di utilizzo contrattuale del 1.9% del tempo di fascio. Data la drastica riduzione di budget, ILL ha deciso di applicare in maniera stretta **la regola del National Balance**, in base alla quale il tempo macchina viene assegnato proporzionalmente alle quote di partecipazione dei vari paesi.

Per quanto riguarda la **rappresentanza**, anche l'accordo appena siglato prevede che il CNR nomini un osservatore presso lo Steering Committee e un membro del Scientific Council dell'ILL. Attualmente questi incarichi sono ricoperti rispettivamente dal Prof. Paolo Mariani (Università Politecnica Marche, Ancona) e dal Prof. Alberto Morgante (Università di Trieste).



Fig. 4.3 European Spallation Source (ESS)

L'Italia è anche tra i paesi fondatori di ESS che dal 1 ottobre 2015 ha assunto lo status di European Research Infrastructure Consortium (ERIC). La partecipazione italiana a questa sorgente è al 5.6%, cioè 104 M€ di cui ca. 83 M€ (pari all'80%) attraverso il meccanismo di contributo in-kind. In questo caso, la partecipazione

italiana vede coinvolti tre enti di ricerca: INFN, come capofila, ELETTRA Sincrotrone Trieste e il CNR. Quest'ultimo è responsabile della parte di neutron science, cui è destinata una cifra pari a 20 M€. In questo ambito, il contributo italiano prevede la costruzione e/o la partecipazione alla costruzione di diversi strumenti e strumentazione.

Da un punto di vista di impegno sia scientifico che finanziario, i progetti più importanti sono VESPA, spettrometro vibrazionale sviluppato presso il CNR-ISC di Firenze, e T-REX, spettrometro a geometria diretta sviluppato da una collaborazione tra lo Jülich Centre for Neutron Science (JCNS, Jülich, Germania) e il Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università di Perugia. Si fa notare che tali progetti sono stati approvati dopo una lunga e accurata selezione organizzata da ESS con il coinvolgimento di diversi comitati di valutazione composti da esperti internazionali.

Per quanto riguarda **il ruolo del CNR nei pagamenti**, si deve notare che nel FOE (Fondo Ordinario Enti) il CNR ha sempre ricevuto dal MIUR fondi per ILL e ISIS (e adesso ESS, ma la



Fig. 4.4 Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ)

cosa è complicata dal fatto che i fondi sono gestiti da INFN), ma in quota ridotta rispetto alla cifra indicata negli accordi. Fino a qualche anno fa (presidenza Nicolais), il CNR ha sempre aggiunto la quota mancante e trasmesso a ISIS e ILL le cifre definite dagli accordi.

Dal 2018, il CdA del CNR in sede di discussione di bilancio provvisorio ha deciso di NON mettere nessuna quota aggiuntiva. Nel nuovo accordo con ILL è scritto in maniera esplicita che "The CNR will



transfer the annual contribution necessary for the implementation of the Agreement to the ILL within the limits and subject to the allocation of public funding provided by the Ministry of Education, Universities and Research (MIUR).": dunque il problema del miglioramento degli accordi con ILL è legato ai fondi messi a disposizione del MIUR. In particolare, le quote MIUR ottenute dal CNR negli ultimi 5 anni (le quote arrivano nel FOE del CNR con l'etichetta ISIS o ILL) per i pagamenti dei contributi previsti dai contratti sono riportate nella tabella seguente:

<b>ANNO</b>	<b>ISIS</b>	<b>ILL</b>
<b>2019</b>	1.300.000	1.300.000
<b>2018</b>	750.000	1.900.000
<b>2017</b>	250.000	1.750.000
<b>2016</b>	750.000	2.046.000
<b>2015</b>	1.000.000	2.056.000

La quota stanziata per il 2019 è largamente inferiore a quella prevista dai contratti, 1.957.000 € per ILL e 1.900.000 € per ISIS.

Per quanto riguarda l'utilizzo della strumentazione presso le due sorgenti, i dati che riguardano la partecipazione italiana sono riportati nella tabella seguente:

	<b>Giorni Richiesti</b>		<b>Giorni Assegnati</b>		
	ISIS	ILL	ISIS	ILL Prima NB	ILL Dopo NB
<b>2014</b>	6.31%	5.44%	5.93%	4.39%	4.45%
<b>2015</b>	5.03%	4.88%	5.30%	5.11%	5.15%
<b>2016</b>	4.23%	6.77%	4.85%	5.61%	5.61%
<b>2017</b>	4.96%	5.72%	5.99%	6.54%	6.03%
<b>2018</b>	5.00%	7.59%	5.71%	6.80%	6.38%
<b>2019</b>	4.41%	5.88%	5.97%	4.65%	2.56%
<b>2020</b>	-	nd	-	3.73%	2.28%

Per confrontare questi dati si deve sottolineare che le percentuali relative ad ISIS sono state ottenute considerando la nazionalità del PI, mentre per ILL quella di tutti i proponenti.

Purtroppo, le vicende legate al nuovo contratto **ha ridotto drasticamente l'accesso alla sorgente francese** a tutti i ricercatori italiani, a fronte di una richiesta paragonabile alla richiesta degli ultimi anni. Gli effetti della riduzione della quota ILL (attualmente al 1.9%) ha avuto **effetti disastrosi per la comunità neutronica italiana**, come visibile dai valori in tabella. Anche presso ISIS ci saranno effetti simili se si rinnoverà il contratto tagliando ulteriormente la quota contrattuale.

Infine, vale la pena ricordare che il CNR gestisce i contratti con le LSF in nome e per conto del MIUR, e come tale sono rivolti a tutta la comunità italiana di utilizzatori di tecniche neutroniche senza distinzione tra applicazioni. Tutti i proposals legati all'INFN rientrano nei fondi stanziati dal MIUR e gestiti dal CNR, pertanto qualsiasi tentativo di richiesta di fondi ad istituzioni esterne al CNR relativamente all'uso del tempo macchina presso le LSF per proposals legati all'INFN è da ritenersi illegittima.



*Fig. 4.5 Paul Scherrer Institut (PSI)*

La comunità neutronica italiana è alla ricerca di **un'istituzione che la rappresenti e che si adoperi per risolvere tutte le difficoltà che sta incontrando.**

La recente **riduzione del contributo per la neutronica**, avvenuta senza una seria consultazione della comunità attraverso la SISN, ha minato la fiducia della comunità scientifica italiana. Tuttavia, è ancora viva la speranza che la situazione possa migliorare e che il CNR dimostri sensibilità verso la comunità italiana di utilizzatori di tecniche neutroniche e questo chiaramente dipenderà da come gestirà il contratto con ESS, che garantirà il futuro prossimo e remoto della nostra comunità.

## Sezione 5. Progetti e Sviluppo

**A cura di:** Ferdinando Formisano, *CNR c/o ILL*; Antonino Pietropaolo, *ENEA*

Il lavoro di questa sezione è cominciato con la formulazione delle seguenti domande:

1. Quali know-how può e potrà mettere in campo l'Italia nei prossimi 5 e 10 anni?
2. Quali sono le richieste da parte della comunità in termini di infrastrutture e strumentazione?
3. Quali possibili azioni possono essere intraprese per future infrastrutture e/o strumentazione per i neutroni?

Per cercare di rispondere a queste domande, sono stati definiti:

- Un **documento introduttivo** presentato agli Stati Generali SISN (Roma, 25 Giugno 2019) contenente alcune risposte alle domande succitate, corredate da alcune proposte e domande rivolte alla comunità.
- Un **questionario** rivolto ai soci della SISN che ha permesso di avere il polso, seppur parziale, dei soci della SISN sui bisogni della comunità.

Sono state prodotte due versioni del questionario:

- I. una **versione compilabile** scaricando l'allegato seguente: <http://www.sisn.it/stati-general/progetti-e-sviluppo/>
- II. una **versione on-line** leggermente modificata del questionario: [https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=auLPL2K7sEax4yj52gxF\\_Z9xDapQE\\_h9Fkl-xROReLvtUQTZLNzJGVUhVVK5ZN0JLQU9NR1JHMIYW4u](https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=auLPL2K7sEax4yj52gxF_Z9xDapQE_h9Fkl-xROReLvtUQTZLNzJGVUhVVK5ZN0JLQU9NR1JHMIYW4u)

In questa sezione, sono dapprima riportate le proposte presentate nel **documento introduttivo**, seguite dalle risposte contenute nei 29 **questionari** riempiti.

### 1. Quali know-how può e potrà mettere in campo l'Italia nei prossimi 5 e 10 anni?

Esperti provenienti da università, CNR, ENEA, INFN, neutron facilities (ILL, ISIS) garantiscono la presenza nei prossimi anni di un know-how italiano consolidato in svariati campi della neutronica, in particolare nella: progettazione di sorgenti di neutroni e moderatori, progettazione di strumenti, realizzazione di rivelatori, simulazioni di strumenti, scrittura di software, tecniche di alte pressioni.

## **2. Quali sono le richieste da parte della comunità in termini di infrastrutture e strumentazione?**

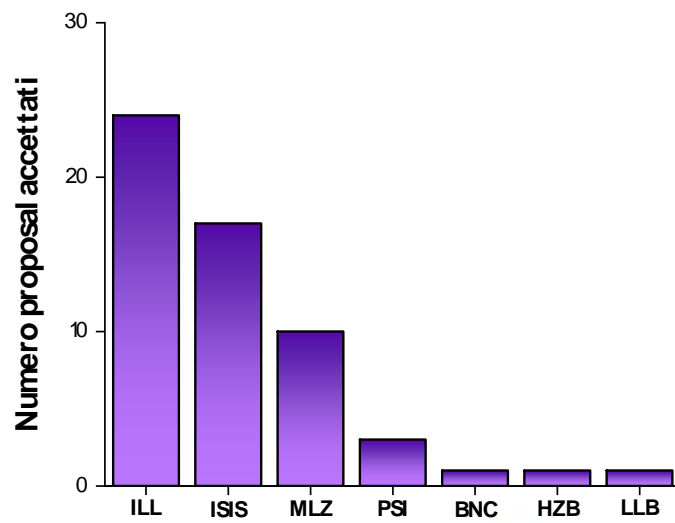
- Ritrovare/mantenere una forte presenza italiana, attività strumentale, collaborazioni tecnico/scientifiche presso ILL/ISIS e quindi R&D, palestra per giovani/PhD. (Il solo ESS a pieno regime sarà insufficiente)
- Potenziamento delle piccole sorgenti disponibili TRIGA (1 MW,) e il LENA (250 kW).
- Costruzione di una sorgente compatta nazionale di rilevante intensità per garantire sperimentazione, attività di ricerca, training e sviluppo di strumentazione.
- Quota del > 5% di beam time a ILL riflette richieste/bisogni della comunità scientifica e indica il bisogno di invertire l'evoluzione negativa dell'accesso a ILL: da 3-3.5% all'1.9%, fino a 0.9 % nella call di Settembre 2020. Quote analoghe sono da ottenere presso ISIS.

In questo modo si potranno evitare lo spopolamento e l'estinzione della comunità e lo spreco degli investimenti fatti.

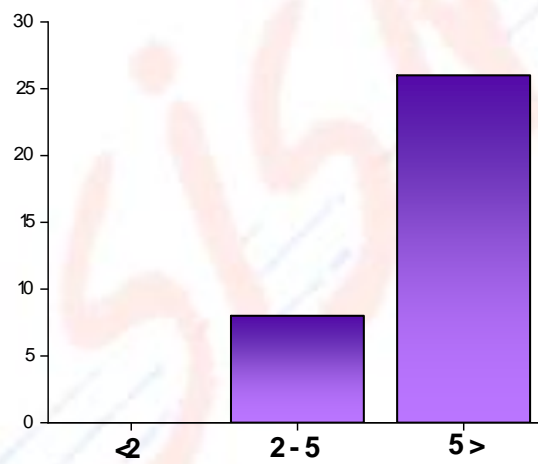
## **3. Quali possibili azioni possono essere intraprese per le future infrastrutture/strumentazione per i neutroni?**

- Indagine tra tutti gli utenti per individuare su quale tipo di strumentazione/progetti l'Italia debba investire a ILL/ISIS/ESS.
- Mappatura scientifica. Monitoraggio costante della tipologia di proposte italiane presso le sorgenti neutroniche ("centro" che raccolga tutte le proposte italiane fatte presso le varie sorgenti?)
- Mappatura costante delle competenze tecniche disponibili.
- Tavolo con i responsabili di TRIGA e LENA: quali sono le loro esigenze? Come reperire fondi per poter costruire, per esempio, linee di fascio d'interesse o almeno che siano adatte alle caratteristiche (di flusso) disponibili.
- Fondi(centralizzati?): progetti, formazione, borse di studio, scuole, esperimenti.
- L'azione più urgente è di natura politica: individuare il soggetto più adeguato a rappresentare e garantire i bisogni di tutta la comunità italiana. Il CNR non ha svolto queste funzioni recentemente (vedi convenzioni con ILL, ISIS, contratto di BRISP), e al di là di problemi di budget, è talvolta mancata l'informazione e/o il dialogo con la comunità.
- Il Ministero può rappresentare un'alternativa (ruolo già svolto per altre laboratori internazionali, e come è il caso per altri paesi europei a ILL). Necessario un intermediario (SISN?).
- Le strategie della neutronica non possono essere portate avanti senza consultare la comunità.

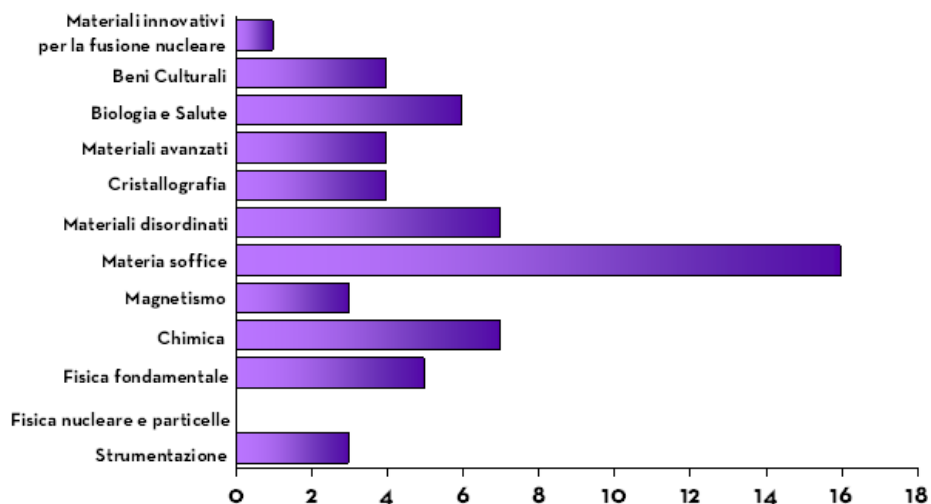
Presso quale Large Scale Facilities /LSF sottomettete regolarmente delle proposals?



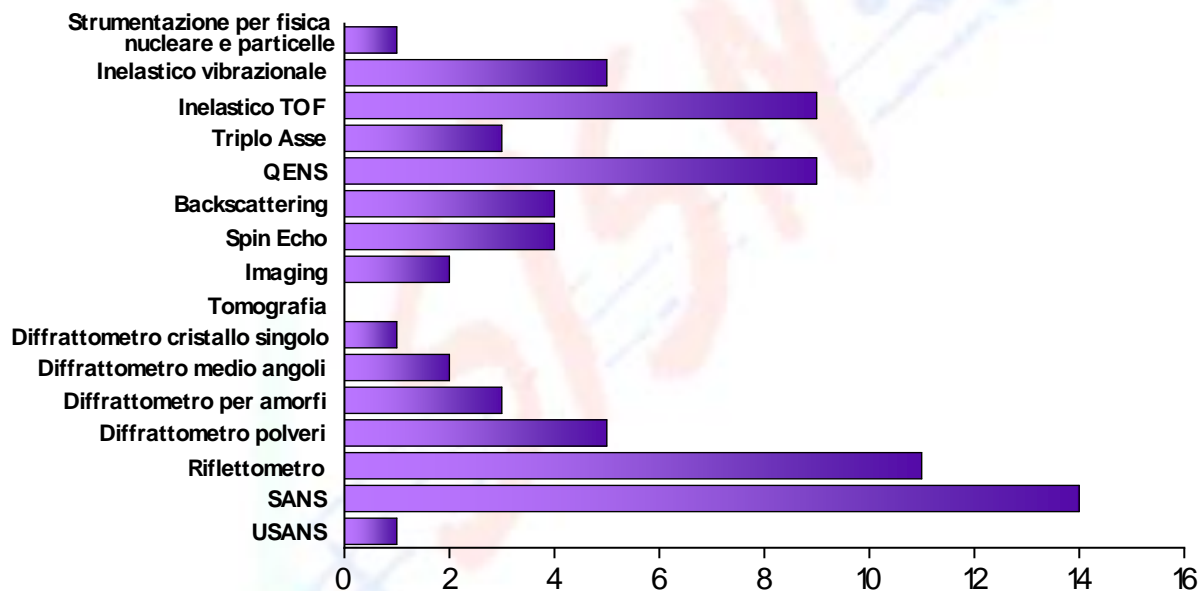
Quanti *proposals* avete sottomesso negli ultimi 5 anni?



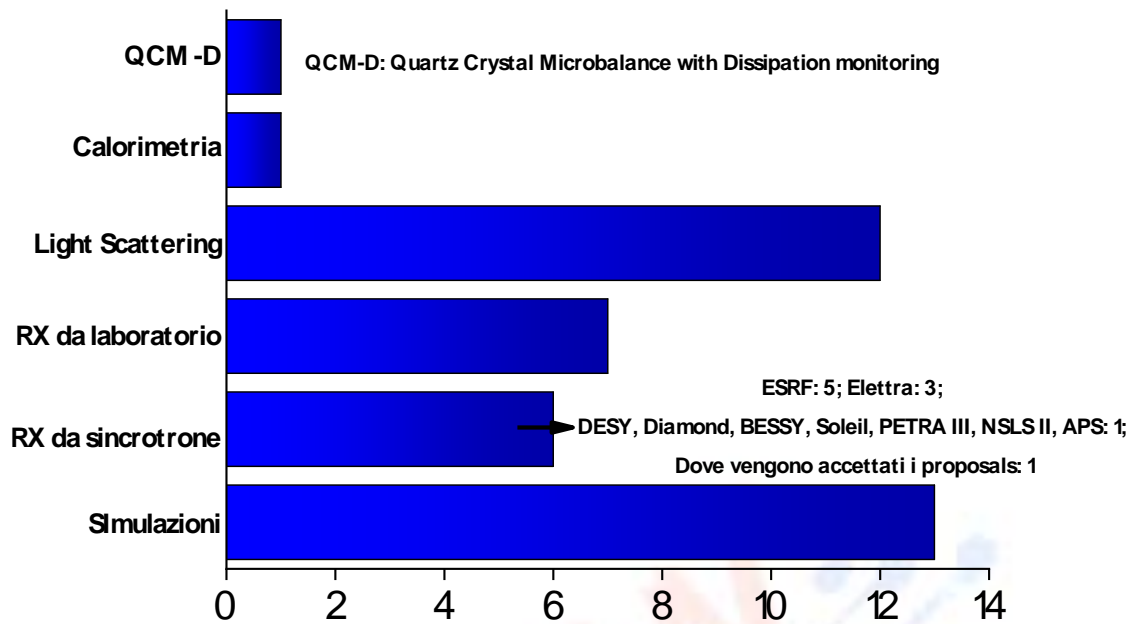
In quali aree di ricerca?



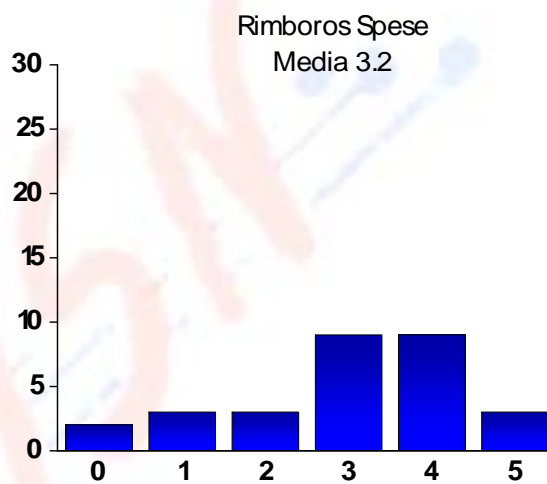
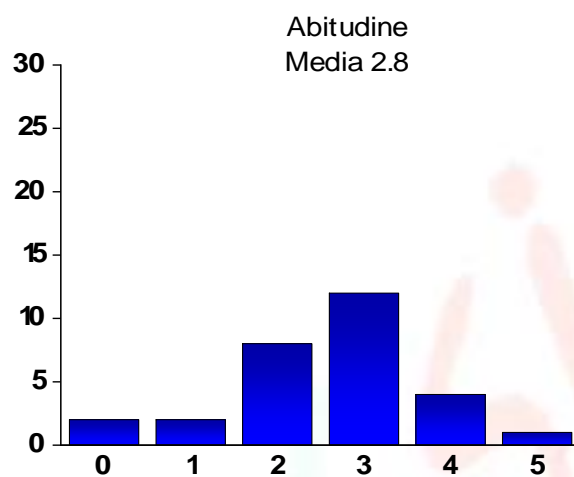
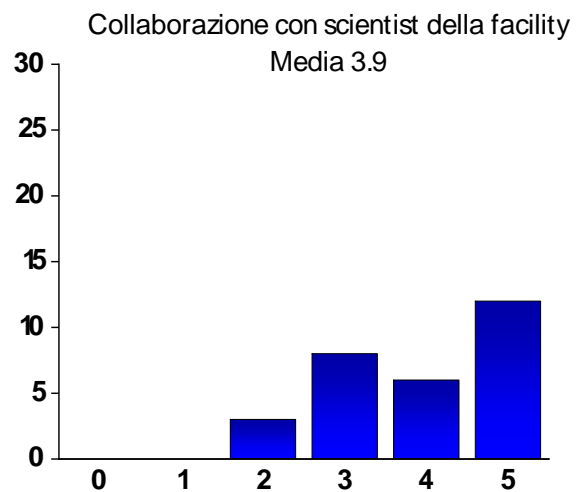
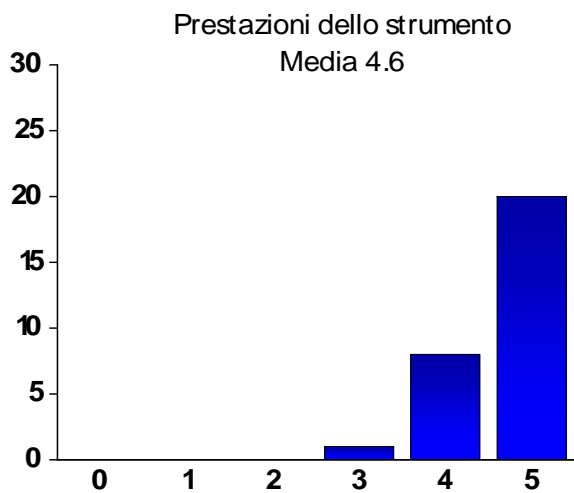
### Quali strumenti utilizza regolarmente ?



## Usate regolarmente altre tecniche a supporto delle misure con neutroni?



Per quale ragione scegliete una facility?

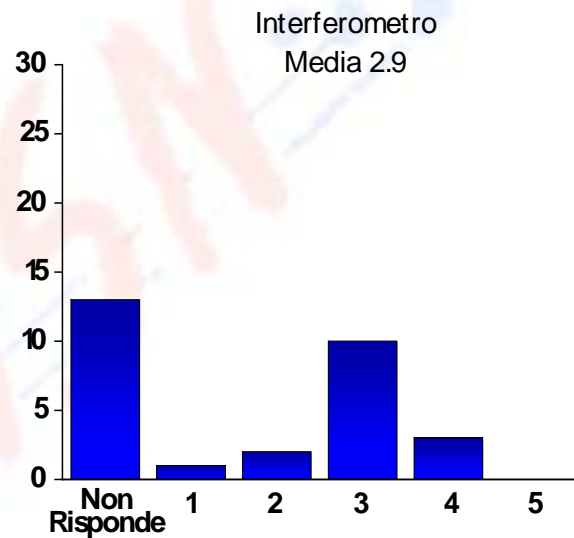
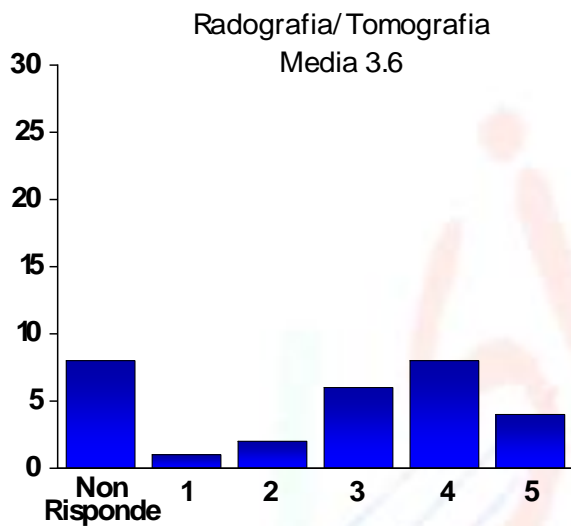
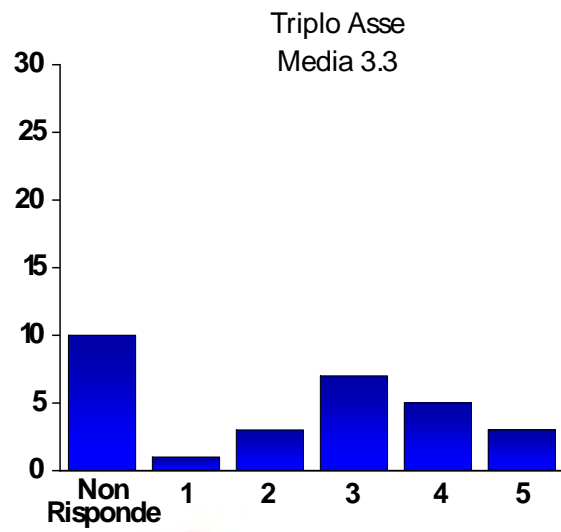
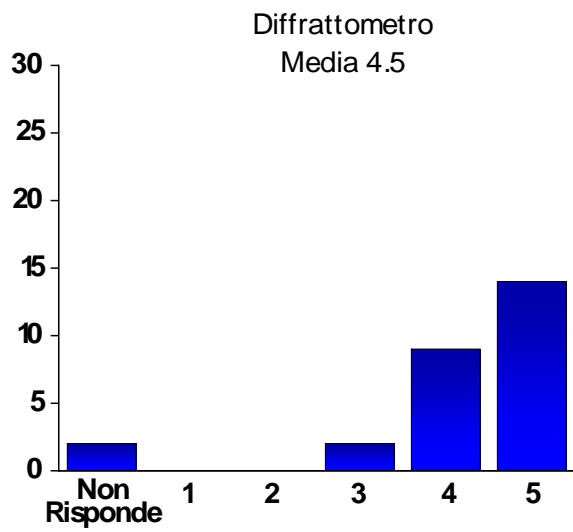


Gli altri motivi per la scelta di una facility sono di ordine pratico:

- *Accommodation*;
- Posizione da *instrument scientist* alla LSF;
- Possibilità di avere *beamtime*;
- Vicinanza geografica;
- Facilità di accesso;
- Brevità del viaggio;
- Vicinanza geografica.

**Se si potessero rendere operative in pochi anni (2-3) delle *beamlines* che utilizzano fasci di neutroni termici su quale tipo di strumento varrebbe la pena investire nei reattori italiani?**





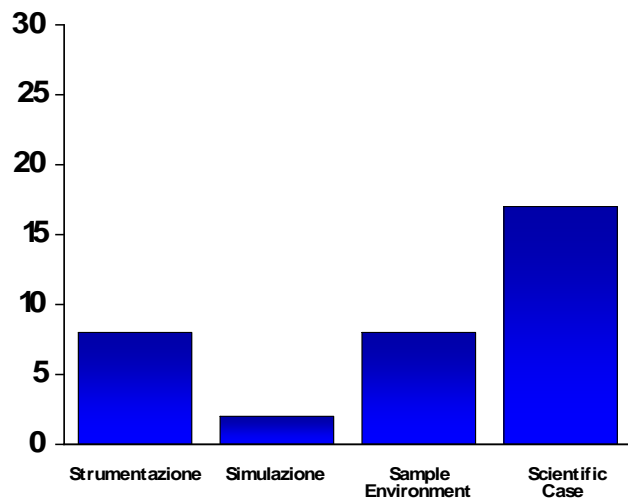
Saresti disponibile a collaborare a tale progetto?

SI: 20

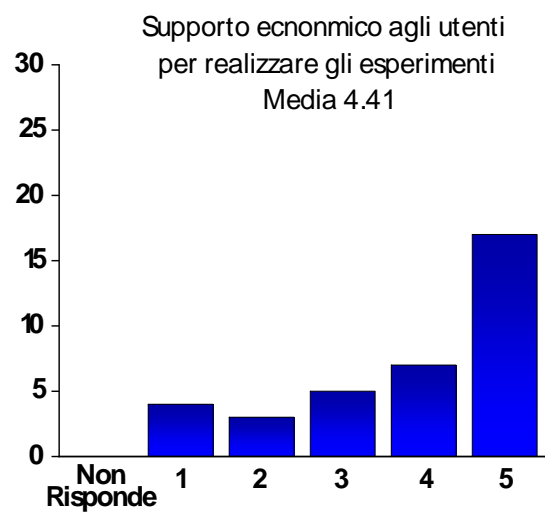
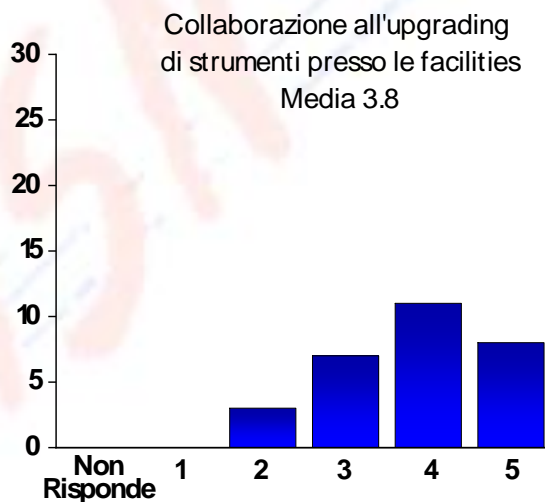
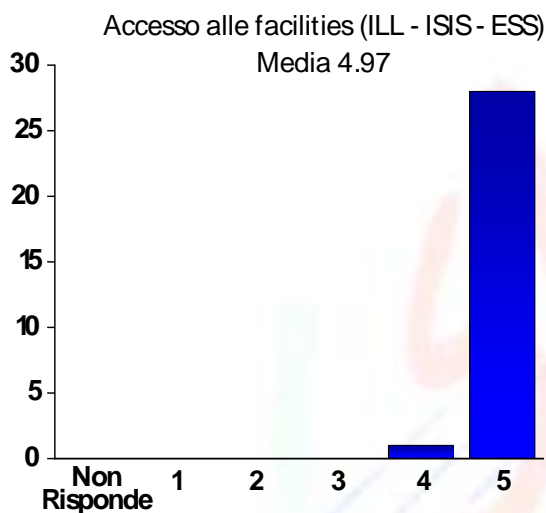
NO: 7

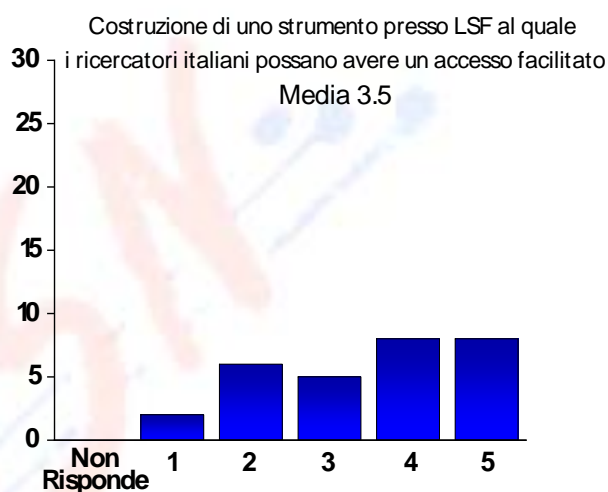
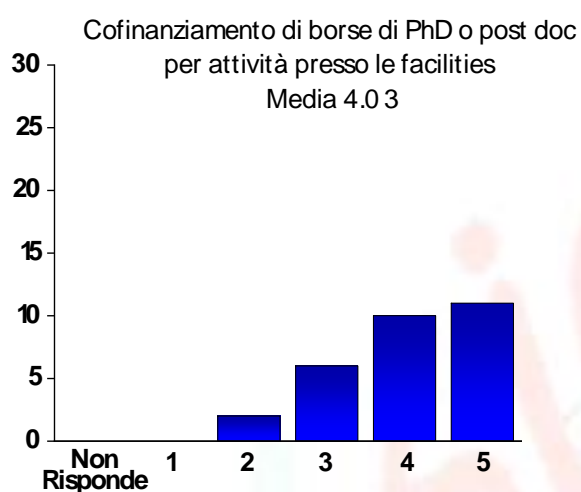
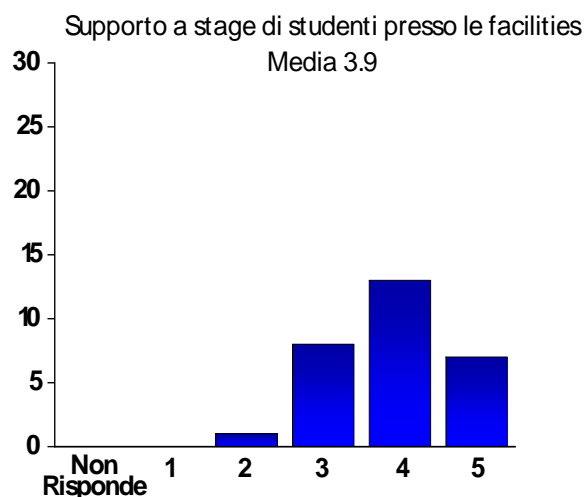
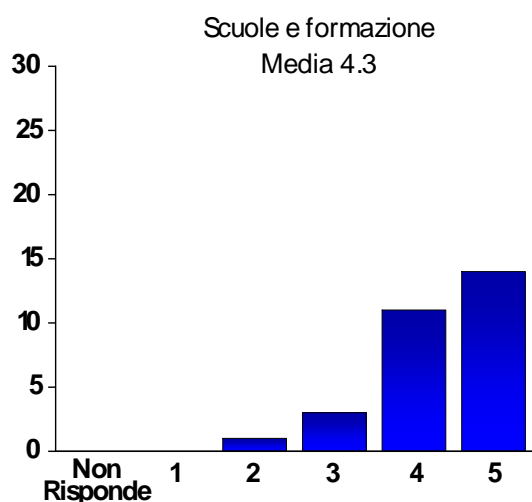
Senza Risposta: 2

Se sì in quale ambito?



**In quale genere di attività o investimenti legati alla neutronica ritenete che l'Italia debba prioritariamente impegnarsi.**





Se hai selezionato "Costruzione di uno strumento presso LSF al quale i ricercatori italiani possano avere un accesso facilitato", indica uno o più strumenti a cui sei interessato:

- Spettrometro inelastico ToF: **6** (tra cui 1 proposta TREX-like e 3 BRISP\_X-like)
- QENS: **1**
- SANS: **3**
- Diffrattometro: **4**
- WANS+SANS: **2**
- Riflettometro: **2**
- Triplo asse: **1**
- *Back-scattering*: **1**

**Ulteriori attività o investimenti legati alla neutronica sulle quali ritenete che l'Italia debba prioritariamente impegnarsi?**

- Formazione interdisciplinare a livello di corsi di laurea Triennale e Magistrale;
- Gestione dei rapporti con le LSF svincolata da quella attualmente in carico al CNR;
- L'Italia deve impegnarsi a dare il contributo dovuto alle facilities in modo da non vedere respinti i propri *proposal* a causa del "*national balance*" che, in realtà, è il mancato pagamento delle quote spettanti (vedi casi come in primo luogo ILL e anche in parte meno rilevante ISIS);
- Pagare i debiti pregressi;
- Politica nazionale della neutronica che sia indipendente dagli enti e che permetta una progettazione pluriennale stabile.

**Considerando le potenze LENA e TRIGA, e flussi al campione  $\sim 10^3$ - $10^5$  n·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> a seconda dello specifico strumento, sareste disposti a fare alcuni esperimenti su tempi tipicamente 20 volte più lunghi rispetto a quanto avviene nelle principali LSF?**

SI: 13

NO: 7

Possibile/Non so: 3

Tra i SI ci sono vari commenti:

- Per preparare esperimenti in LSF ad alto flusso, realizzare test, addestramento di giovani ricercatori
- In caso di fascio stabile e controllo remoto;
- possibilità da esplorare in presenza di beryllium filter;
- In caso di rimborso spese e finanziamenti.

**Il reattore TAPIRO mette a disposizione neutroni con uno spettro tipico di fissione da <sup>235</sup>U non moderato, quindi con un picco intorno a 2 MeV e con una coda che si estende, con intensità decrescenti quasi esponenzialmente fino a una decina di MeV. Il flusso alla massima potenza al nocciolo è circa  $4 \cdot 10^{12}$  n·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, mentre flussi all'uscita dei vari canali**

**disponibili sono dell'ordine di  $10^5$ - $10^6$  n·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>. Che tipo di esperimenti pensate di poter fare con i neutroni messi a disposizione dal TAPIRO?**

Quattro risposte:

- Attivazione neutronica, Radiografia ad alta energia;
- *Imaging*;
- Danneggiamento dovuto a neutroni veloci, misure di attivazione (NA);
- Questo tipo di neutroni possono essere importanti in applicazioni biomedicali, studio dei fenomeni di deterioramento dei materiali per radiazione ecc., tutte attività in cui il sottoscritto non è attivo. Quindi non penso di poter svolgere alcun esperimento su TAPIRO così com'è. Ovviamente l'effetto dell'ipotetico inserimento di un opportuno moderatore andrebbe verificato con simulazioni adeguate.

***Frascati Neutron Generator (FNG)* è una sorgente che si basa su un acceleratore di deutoni fino ad energie di 300 keV e una corrente di circa 1 mA. L'impianto può funzionare in due modalità: modalità Deuterio-Trizio con un'emissione di neutroni a 14 MeV di circa  $10^{11}$  n·s<sup>-1</sup>, mentre in modalità Deuterio-Deuterio si ha un'emissione di neutroni a 2.5 MeV di circa  $10^9$  n·s<sup>-1</sup>. In entrambi i casi la sorgente, a parte una dipendenza angolare dello spettro, ha un buon grado di monocromaticità. Il flusso alla massima potenza, a 5 cm dal *target* (come distanza di riferimento), è  $10^8$  n·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> in DT e  $10^6$  n·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> in DD. Che tipo di esperimenti potreste pensare di fare in un impianto con delle caratteristiche così particolari?**

Cinque risposte:

- Attivazione neutronica; Sviluppo rivelatori; Studio di moderatori; Radiografia ad alta energia su materiali strutturali;
- Diffrazione;
- *SANS-Imaging*.
- Forse semplici esperimenti su liquidi e amorfi a fini didattici;
- Questo tipo di neutroni possono essere importanti in applicazioni biomedicali, studio dei fenomeni di deterioramento dei materiali per radiazione ecc., tutte attività in cui il sottoscritto non è attivo. Quindi non penso di poter svolgere alcun esperimento su TAPIRO così com'è. Ovviamente l'effetto dell'ipotetico inserimento di un opportuno moderatore andrebbe verificato con simulazioni adeguate.

## Ringraziamenti

Un cordiale ringraziamento è rivolto a tutti i Soci che hanno coordinato le sezioni tematiche di questo documento. Un caloroso ringraziamento va a tutti i Soci che hanno contribuito con grande partecipazione, fornendo suggerimenti e preziosi spunti di approfondimento. Lo sforzo comune ha permesso di redigere un documento ampio e unitario che tratteggia l'impegno presente e futuro della nostra Società.

