



Neutroni e Ricerca Industriale

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.

3) 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 ecc.... 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. Isotopi come technicium-99 per diagnosi cardiologica e indagine ossea; il lutezio-177 e lo stronzio-90 entrambi usati nell'immunoterapia; e l'itterbio-169 impiegato nella diagnostica delle piccole lesioni articolari. Il cobalto-60 è 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, i neutroni continuano a passare attraverso il silicio, sempre più atomi di fosforo sono prodotti da 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 se consideriamo che gli smartphone, tablet e laptop utilizzano piccole antenne in ceramica per dare a ciascuna una frequenza operativa dedicata e che quindi 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, infatti è necessario ridurre la perdita di potenza, il che 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 e 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. La caratterizzazione simultanea della struttura e della dinamica di questi materiali durante l'assorbimento dell'idrogeno potrà essere effettuata usando le tecniche di scattering dei neutroni. 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, e 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 possono coprire l'analisi degli effetti superficiali per lo studio dei lubrificanti e dell'usura (neutron reflectivity), 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 su di essi sia delle procedure di produzione che delle 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 con in più 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, con anche la possibilità di applicare campi esterni durante la misura, costituisce un mezzo pressoché unico per l'investigazione 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 elementare 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 frequentemente non sono analoghe a 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 a NPI - Praga (<http://neutron.ujf.cas.cz/en/hk4/item/144-hk4-description>) e BNC - Budapest (<https://www.bnc.hu/mtest>)

Per quanto riguarda l'imaging i principali strumenti 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://europenspallationsource.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.

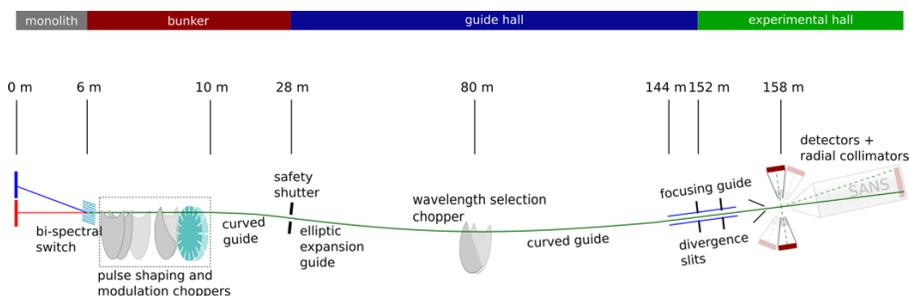


Fig.1 – Lo strumento BEER in realizzazione a ESS
(<https://europeanspallationsource.se/instruments/beer>).

c) Accesso dell'industria alle sorgenti neutroniche

Per quanto riguarda l'accesso alle sorgenti neutroniche e l'ottenimento del tempo-macchina da parte delle 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 considerato 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, era prevista l'offerta di tempo-macchina gratis 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>). 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 agevolare 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. E' 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

Se, da un punto di vista della ricerca accademica, la mancanza di LSF 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 beam time allocato su canali diversi rispetto agli users 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 *motu proprio*, 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 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 dunque un vasto margine di intervento per colmare questo divario, che può avvenire a vari livelli.

-Livello istituzionale: Presidenza e di Giunta potrebbero stabilire contatto con AIRI (Associazione Italiana Ricerca Industriale) o con altre associazioni.

-Livello di coinvolgimento dei soci

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

Nella recente survey SIF-SoNS, il VicePresidente 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)

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”.

SISN ha risorse economiche ed umane limitate, e si basa su attività volontaria. Di seguito una serie di proposte

- a) Riteniamo che la SISN potrebbe estendere la sua attività formativa anche ad attori industriali, ad esempio pubblicizzando le giornate didattiche tramite i canali di Airi, oppure attingendo a database in possesso di Airi per veicolare l'informazione
- b) Una ricerca google di neutroni & industria (in italiano) non dà praticamente risultati utili. Dunque potrebbe essere opportuno dedicare una pagina del sito a questo. 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 loro facility per la ricerca industriale (accesso dedicato, tempistiche etc.)
- d) si potrebbe individuare nella giunta o in un suo delegato un responsabile che, in caso di bisogno, aiuti l'industria in questione per la presentazione dei proposal. Anche queste informazioni dovrebbero essere contenute sul sito.
- e) Come per le giornate didattiche, anche per il congresso SISN si potrebbero individuare potenziali stakeholder da invitare (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 da un lato la messa a punto di una strategia comune (SILS principalmente) e dall'altro di individuare occasioni di scambio con realtà magari più connesse con il mondo della ricerca industriale.

Vorremmo sottolineare che questi sono alcuni spunti che questa riflessione ha prodotto. Le iniziative potrebbero essere molte altre, ma che tenendo conto di una situazione di partenza non facile, sicuramente influenzata sia dalla mancanza di sorgenti nel paese, che da una sostanziale erosione dei reparti R&D delle industrie italiane, forse 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.

Chiediamo dunque il parere e/o suggerimenti della comunità su questi punti.

Domande per la comunità

- 1) Quali sono le linee di ricerca, tra quelle indicate in sezione 1, più promettenti o a maggiore necessità di intervento per quanto riguarda la ricerca industriale?
- 2) Indica, 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) Sei d'accordo che la SISN si federi con società/associazioni per una alleanza strategica verso una piena realizzazione delle potenzialità della neutronica per la ricerca industriale? Se sì, quali associazioni riterresti utili?