



Istituto Nazionale di Fisica
Nucleare
IL PRESIDENTE

Roma, 10 febbraio 2026

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) è l'ente pubblico nazionale di ricerca, vigilato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR), dedicato allo studio dei costituenti fondamentali della materia e delle leggi che li governano. Svolge attività di ricerca, teorica e sperimentale, nei campi della fisica subnucleare, nucleare e astroparticellare. Le attività di ricerca dell'INFN si svolgono tutte in un ambito di competizione internazionale e in stretta collaborazione con il mondo universitario italiano, sulla base di consolidati e pluridecennali rapporti. La ricerca fondamentale in questi settori richiede l'uso di tecnologie e strumenti di ricerca d'avanguardia che l'INFN sviluppa sia nei propri laboratori sia in collaborazione con il mondo dell'industria.

L'INFN è direttamente coinvolta in attività di R&D nell'ambito delle tecnologie nucleari dedicate alla sostenibilità energetica. L'ente partecipa a vari programmi internazionali in ambito nucleare con una riconosciuta capacità tecnico/scientifica. La maggior parte di queste attività sono indirizzate allo studio della fisica nucleare e subnucleare ma consentono in ogni caso l'accesso e lo sviluppo di tecnologie e strumenti che possono diventare estremamente utili anche nello sviluppo della filiera dell'energia nucleare. Progetti legati ad esempio allo studio dei superconduttori potranno essere proficuamente utilizzati nello studio dell'energia prodotta da fusione nucleare. Lo sviluppo di rivelatori di radiazione estremamente sensibili saranno di sicuro supporto al monitoraggio ambientale delle radiazioni ionizzanti, per le quali l'INFN ha già una rete di monitoraggio attiva su tutto il territorio nazionale. Per garantire inoltre affidabilità negli impianti e nelle attrezzature nucleari l'ente sviluppa materiali avanzati che possono sicuramente essere trasferiti dalla filiera della ricerca scientifica a quella del nucleare applicato. Inoltre l'INFN si posiziona come un ente in possesso di straordinarie competenze nel calcolo scientifico, che sarà necessario nello sviluppo di nuovi reattori nucleari.

Pur non essendo direttamente parte delle linee principali della ricerca INFN, lo studio dei reattori nucleari per produzione di energia è parte di un'attività per la quale l'ente ha uno specifico comitato, INFN-E, che cura e segue studi su reattori nucleari sia da fissione che da fusione. Per i



Istituto Nazionale di
Fisica Nucleare
codice fiscale
84001850589

Presidenza INFN - Piazza dei Caprettari 70 - 00186 Roma (Italia)
<https://www.presid.infn.it> tel. +39 06 6840031 - fax +39 06
68307924
email: prot@presid.infn.it - PEC: presidenza@pec.infn.it

primi INFN è principalmente coinvolta nello studio del ciclo del combustibile nucleare e nell'analisi di reattori di ricerca al fine di affinare strumenti di calcolo per la corretta modellizzazione dei reattori stessi. Ben più importante è il coinvolgimento dell'ente nello studio e nello sviluppo delle tecniche del nucleare da fusione dove l'ente partecipa a programmi internazionali quali IFMIF-DONES e ITER contribuendo allo sviluppo con ruoli di particolare rilievo. Inoltre l'INFN studia all'interno dei propri laboratori nazionali i meccanismi di base delle reazioni nucleari che permettono una più completa e chiara identificazione di tutti quei processi che poi consentiranno di sviluppare le future macchine per la produzione di energia e per l'eventuale trattamento delle scorie radioattive.

Nell'ambito delle tecniche per reattori nucleari a fissione, l'INFN può giocare un importante ruolo nello sviluppo di una serie di tecnologie abilitanti quali: sviluppo di materiali specifici per applicazioni nucleari, trattamenti superficiali per materiali che operano in presenza di condizioni ostili (quali quelle dei reattori nucleari), implementazione di tecniche specifiche di lavorazione nell'ambito nucleare con l'applicazione dell'*additive manufacturing*, studio del ciclo del combustibile, tecniche di misura ad alta sensibilità della radioattività per la caratterizzazione delle scorie prodotte all'interno di un reattore. Tutte queste tecniche sono facilmente inquadrabili nell'ambito dello sviluppo dei moderni reattori nucleari e si stanno già discutendo progetti da sviluppare con il coinvolgimento di aziende del settore che potrebbero trovare importante supporto dalle conoscenze specifiche che l'INFN possiede in questi ambiti.

Nello sviluppo dei futuri reattori a fusione l'attività di ricerca e sviluppo riveste un ruolo importante per raggiungere l'obiettivo del primo impianto a fusione in grado di produrre energia. L'INFN mette a disposizione di questa linea strategica tutta una serie di competenze che sono particolarmente rilevanti per questi sviluppi. Tra questi possiamo annoverare: sviluppo di magneti ad alto campo, realizzazione di intensi fasci di neutroni per test di materiali o quali sistemi di iniezione (per il riscaldamento del plasma), sorgenti di plasma.

Programmi di supporto alle attività di R&D sopra riportate permetterebbero un più rapido ed efficace dimensionamento di futuri reattori, sia a fissione che a fusione, che garantirebbero la riduzione dell'impronta carbonica nella produzione di energia.

In relazione all'indagine promossa dalle Commissioni VIII e X relativamente agli aspetti connessi all'opportunità di inserire nel mix energetico nazionale il nucleare quale fonte alternativa a basse emissioni alla produzione di energia, l'INFN intende riportare, per quello che concerne le proprie competenze alcuni commenti relativamente alla tematica sul nucleare.

Una differenziazione delle fonti energetiche garantisce in prima istanza una migliore e più efficace potenzialità nel ridurre i costi e i rischi di approvvigionamento energetico. Allo stato attuale il costo di produzione energetico da fonte nucleare risulta sicuramente competitivo con le altre fonti di energia e permette di introdurre una ulteriore flessibilità negli approvvigionamenti energetici. La fonte nucleare ha inoltre la peculiare caratteristica di generare potenza elettrica con bassissima emissione di CO₂ e in continua, senza tutte le fluttuazioni a cui sono soggette altre fonti, solare e eolico ad esempio, a basso impatto di CO₂. Va inoltre rilevato che l'investimento su un nucleare di piccola/media scala di potenza si adatterebbe bene al sistema industriale italiano riducendo in maniera importante il costo del trasporto dell'energia elettrica che attualmente può incidere fino al 20% sul costo totale delle bollette elettriche.

Il sistema industriale italiano è rimasto comunque connesso allo sviluppo di tecnologie nucleari grazie sia alle *partnership* con aziende straniere coinvolte nello sviluppo di impianti nucleari per la produzione di energia ma anche per via di tutte le tecnologie nucleari non energetiche che sono state sviluppate per applicazioni diverse. Questo bagaglio di conoscenze può sicuramente essere reindirizzato e ampliato nel caso in cui la produzione di energia nucleare dovesse ripartire sul suolo italiano.

E' in ogni caso importante sottolineare che il ruolo delle aziende italiane dovrà considerarsi in sinergia con gli importanti players che attualmente operano a livello mondiale nello sviluppo e realizzazione di impianti nucleari. Non è immaginabile, in tempi brevi, che l'Italia possa procedere nella realizzazione di nuovi reattori basandosi puramente sulle aziende presenti sul proprio territorio. La necessità di rafforzare meccanismi di *partnership* e la creazione di reti di collaborazione internazionale sono requisiti fondamentali non solo per supportare lo sviluppo tecnico e industriale della filiera nucleare in Italia ma deve essere considerato anche il meccanismo più importante per fare crescere e consolidare la filiera industriale italiana del settore.

Il sistema degli enti di ricerca e dell'università italiana continua a svolgere importanti attività di ricerca su progetti internazionali contribuendo direttamente non solo allo sviluppo di tecnologie nucleari di frontiera ma anche garantendo la formazione di giovani laureati (fisici e ingegneri in primis) con competenze di prim'ordine in campo nucleare. Queste conoscenze presenti all'interno del sistema accademico italiano vanno considerate di prim'ordine e sono riconosciute a livello internazionale, molti ricercatori italiani occupano oggi posizioni di prestigio in organizzazioni e aziende che operano nel settore nucleare.

All'interno del panorama internazionale i progressi in ambito scientifico e tecnologico raggiunti nell'ultimo decennio sono stati abbastanza importanti. Da un lato la comparsa di una relativamente nuova classe di reattori di taglia medio piccola (SMR-MMR) permette di immaginare una differente filosofia di applicazione e sfruttamento dell'energia nucleare da fissione. Queste tecnologie permetteranno una più capillare distribuzione sul territorio dei reattori migliorando la distribuzione dell'energia e riducendo l'impatto che invece macchine di grande potenza possono avere, sia sul territorio che sulla gestione degli impianti stessi. L'aspetto che rimane da definire è legato ai tempi necessari affinché questo approccio basato su SMR e MMR possa avere un impatto sostanziale sulla capacità di produzione dell'energia. Al momento nessuno di questi reattori ha avuto una sua applicazione diretta all'interno di una linea di produzione e tanto meno nessuno di questi è stato connesso ad una rete elettrica. L'altro aspetto rilevante delle attuali tecnologie per la produzione energetica da nucleare è legato alla sicurezza degli impianti. I moderni approcci prevedono infatti una sicurezza intrinseca dei nuovi impianti nucleari estremamente più elevata di quanto non avvenisse nella classe di reattori precedente, ciò è già evidente e dimostrato per gli attuali reattori di III generazione che presentano caratteristiche di sicurezza estremamente più elevate rispetto alle generazioni precedenti. Questi nuovi impianti mostrano inoltre una maggiore affidabilità e quindi permettono una programmazione di lungo termine della produzione di energia e, fermo restando la valutazione del costo del combustibile, un minore costo medio di produzione dell'energia stessa.

Nell'ambito dei reattori a fusione gli sviluppi degli ultimi anni hanno mostrato un notevole incremento degli investimenti e progressi nelle tecnologie che possano portare alla realizzazione di questa tipologia di reattori. Lo sviluppo di tecnologie avanzate che provengono da vari campi, quali quelle legate ai magneti ad alto campo, stanno dando nuovo impulso a diversi progetti e aprono prospettive che aiuteranno a affrontare e risolvere aspetti particolarmente critici. E' ancora

premature definire quale potrebbe essere la migliore configurazione per i futuri reattori a fusione, ma sicuramente i passi avanti compiuti forniscono una prospettiva di sviluppo che potrebbe concretizzarsi nell'arco di qualche decina d'anni.

Per la gestione dei rifiuti radioattivi di varia intensità è necessario che vengano individuate modalità di trattamento, processazione e immagazzinamento che ne garantiscano il totale controllo. Allo stato delle cose in Italia non è mai stata chiaramente definita e organizzata una filiera che garantisca la gestione dei rifiuti radioattivi dal loro punto di produzione all'area dove questi possano essere immagazzinati per lungo termine. In tal senso per definire una valutazione sia dei costi di gestione che delle strutture adeguate allo stoccaggio è necessario che venga individuata una strategia d'azione che può avere diverse declinazioni. Esiste la possibilità di "bruciare" una parte delle scorie radioattive prodotte dalle centrali nucleari sia utilizzando le centrali stesse, nel caso di reattori AMR, che attraverso impianti che utilizzino acceleratori. La minimizzazione delle scorie potrebbe avere non solo benefiche ricadute sulla diminuzione del volume dei rifiuti nucleari da immagazzinare, ma potrebbe anche aiutare nella ottimizzazione del ciclo del combustibile. La situazione italiana attuale è particolarmente critica in quanto la mancata individuazione di un sito per il deposito nazionale, che dovrebbe raccogliere non solo le scorie dei reattori commerciali ma anche quelli del materiale radioattivo per applicazioni industriali e mediche, obbliga ad avere strutture di immagazzinamento distribuite sul territorio. Questo aspetto, soprattutto se protratto nel tempo, potrebbe incidere negativamente sia sulla gestione dei rifiuti stessi che sui costi che la gestione di questi rifiuti comporta.

Il decommissioning delle centrali nucleari nel nostro paese è progredito in maniera molto lenta e questo per varie ragioni sia di ordine normativo che di ordine tecnico. Per garantire una filiera nucleare che inizi con la progettazione e la costruzione di un impianto e si concluda con il suo decommissioning è necessario che il paese si doti di una legislazione adeguata e che contempli le peculiarità di questa fonte di energia. Questa premessa è necessaria e propedeutica anche all'individuazione delle più efficaci tecniche di decommissioning che, per molti aspetti, non possono prescindere dall'insieme di regole che devono essere applicate. Il paese sicuramente possiede tutte le competenze per portare a compimento il completo decommissioning delle vecchie centrali nucleari ma il percorso deve in qualche modo contemplare la destinazione finale dei rifiuti radioattivi prodotti all'interno delle centrali stesse.

Le attività in ambito nucleare che attualmente si svolgono in Italia già consentono un contatto diretto con tecnologie e competenze che provengono da altri paesi. Le collaborazioni scientifiche in ambito nucleare portano in Italia scienziati provenienti da vari paesi che collaborano con le nostre istituzioni accademiche in un proficuo scambio di conoscenze. Anche diverse aziende che operano nell'ambito nucleare sono presenti in Italia per attività legate ad applicazioni non energetiche.

E' abbastanza chiaro che l'istaurarsi di una nuova linea di sviluppo sul nucleare commerciale per la produzione di energia diventerebbe un attrattore importante di competenze per tutte quelle realtà scientifiche e industriali che già conoscono la realtà Italiana, che va ribadito non manca di eccellenze che già operano in campo internazionale su queste linee di sviluppo.

Per poter favorire lo sviluppo di tematiche di frontiera come quelle connesse alle nuove tecnologie nucleari è importante essere attrattivi per ricercatori e tecnici che operano in questo campo. Introdurre una qualche forma di detassazione e di incentivo economico per le figure coinvolte in queste attività di sviluppo potrebbe aiutare in maniera sostanziale al reclutamento di competenze nel panorama internazionale.

Di primaria importanza per quello che riguarda lo sviluppo dei reattori a fusione riguarda l'adeguamento delle normative che regolano gli studi connessi a questa tematica. In questo contesto l'Italia risulta essere penalizzata dal fatto che, mentre USA e UK classificano le tematiche dei reattori a fusione nell'ambito delle macchine acceleratrici, per l'Italia la classificazione come reattori nucleari appesantisce pesantemente tutta la parte documentale e burocratica.

Attualmente sono in fase di realizzazione reattori di potenza di terza generazione. Tali reattori risultano un netto miglioramento da un punto di vista della sicurezza intrinseca e della capacità di produzione dei reattori. Questa generazione di reattori, pur rappresentando un'evoluzione delle macchine precedenti, sono reattori di grande potenza.

Lo sviluppo in corso sui reattori di taglia medio piccola implica invece un differente approccio alla produzione dell'energia da fonte nucleare. In prima istanza i reattori indicati come *Small Modular Reactors* (SMR) presentano potenze contenute (al massimo 300 MW), sono realizzati in forma modulare, possono cioè essere realizzati industrialmente e posizionati direttamente sul sito di produzione minimizzando i tempi di installazione. Sono attualmente in fase di sviluppo circa 80 progetti di reattori SMR, nessuno di questi è ancora sufficientemente maturo da poter consentire

la realizzazione di uno di questi reattori in tempi brevi. Indicativamente è immaginabile che per giungere ad fase di piena realizzazione dei progetti SMR saranno necessari dai 5 ai 10 anni.

Un secondo approccio tecnologico in fase di sviluppo è quello connesso agli *Advanced Modular Reactors* (AMR). Questa nuova classe di reattori presuppone un cambio radicale di tecnologia con il passaggio a quelli che vengono denominati reattori veloci. In questa tipologia di reattori i neutroni di reazione non vengono più moderati (cioè portati a basse energie) e quindi sono in grado di produrre fissioni anche di elementi non classificati come fissili. Ciò li rende particolarmente interessanti perché garantirebbero l'accesso a una maggiore varietà di combustibili nucleari che si possono produrre in grandi quantità. Inoltre i reattori veloci hanno la potenzialità di "bruciare" direttamente le scorie che producono ottimizzando, in linea di principio, il ciclo del combustibile. Anche nel caso di reattori AMR esistono vari progetti in fase di sviluppo, alcuni basati su prototipi realizzati in passato, ma il completo sviluppo di questa tipologia di reattori può immaginarsi nell'arco temporale compreso tra 10 e 15 anni.

Lo sviluppo di reattori nucleari basati sulla fusione nucleare invece ha avuto negli ultimi anni un notevole impulso per via di nuovi progetti proposti non solo da istituzioni pubbliche ma anche da nuove aziende interessate alla realizzazione di reattori commerciali. Le incognite su questo tipo di tecnologia rimangono in ogni caso abbastanza difficili da inquadrare e seppur i risultati presentati indichino importanti progressi nel raggiungere condizioni adatte all'innescarsi del processo di fusione nucleare altri aspetti legati ad esempio ai materiali costruttivi, al ciclo del combustibile e all'efficienza energetica rendono difficile la realizzazione di un reattore commerciale in tempi brevi. E' difficile al momento individuare l'arco temporale entro il quale i reattori a fusione potranno essere effettivamente disponibili per il mercato, ma indicativamente si può immaginare che tale situazione difficilmente potrà avverarsi prima della metà di questo secolo.

L'approvvigionamento di materiale fissile per i reattori commerciali della presente generazione, e equivalentemente per i nuovi SMR, comporta una serie di passaggi che partono dalle miniere uranifere e si concludono con l'arricchimento isotopico e la preparazione del combustibile nucleare. Questa deve essere considerata parte integrante della filiera del ciclo del combustibile. Le miniere di uranio oggi operative sono distribuite in varie regioni del mondo con alcuni paesi che hanno una maggiore capacità produttiva, ad esempio Australia e Russia. Anche in Italia esistono siti che

presentano caratteristiche idonee all'estrazione di uranio, utilizzati in passato sono oggi dismessi e inutilizzati. Va considerato però che le miniere di Uranio presentano problematiche non trascurabili dal punto di vista del loro impatto ambientale. La capacità di arricchimento del materiale uranifero è al momento, almeno tecnologicamente, basata sulle tecniche di ultracentrifugazione e queste macchine sono attualmente prodotte da URENCO, azienda a capitale inglese, olandese e tedesco, e dalla Federazione Russa.

Per l'approvvigionamento non si può prescindere dall'insieme della filiera di produzione del combustibile fissile e l'attuale crisi Ucraina ha mostrato come anche su questo fronte le sanzioni alla Federazione Russa abbiano comportato un netto cambiamento nelle strategie in ambito nucleare commerciale: ad esempio anche gli Stati Uniti importavano molto combustibile nucleare dalla Federazione Russa. Questo può comportare fluttuazioni sui costi di approvvigionamento anche se allo stato attuale il costo del combustibile rimane sicuramente altamente competitivo rispetto ad altre fonti energetiche. La proiezione futura non è facile in quanto i reattori nucleari nel mondo sono in crescita e nuove installazioni sono previste nel prossimo futuro. L'attuale mercato è in grado di sopperire alle nuove richieste di combustibile ma è complesso fare una proiezione tra 10-15 anni senza prima aver chiarito quali saranno i paesi che effettueranno realmente la scelta nucleare. Lo scenario cambierebbe radicalmente nel momento in cui dovessero entrare in funzione i reattori AMR che, essendo reattori veloci, potrebbero bruciare U-238 o Th-232, isotopi molto più abbondanti del U-235 attualmente utilizzato all'interno dei reattori commerciali (l'U-238 è 140 volte più abbondante in natura del U-235).

Sull'aspetto della sicurezza abbiamo già spiegato che i reattori di nuova generazione e a maggior ragione quelli delle generazioni future presentano una elevata sicurezza intrinseca e quindi sono sostanzialmente meno soggetti a incidenti gravi con dispersione di materiale radioattivo. Per intenderci un incidente alla Chernobyl non sarebbe oggi possibile utilizzando le tecnologie disponibili.

Anche per le scorie radioattive prodotte dalle centrali nucleari è necessario immaginare una filiera che le porti, una volta estratte dal reattore, a confluire in un deposito di stoccaggio. Gli aspetti critici in questa filiera riguardano: il trattamento iniziale delle scorie che consenta di separare ed eventualmente trattare i vari tipi di isotopi prodotti all'interno di una centrale nucleare e

l'identificazione dei siti di stoccaggio. Le due cose sono in qualche modo correlate in quanto una buona capacità di trattamento delle scorie può ridurre sostanzialmente la quantità di materiale radioattivo da immagazzinare per lungo tempo. Da un punto di vista prettamente pratico, fermo restando che un sito di stoccaggio va identificato, è auspicabile che si definisca una filiera per il trattamento delle scorie sviluppando nuovi e differenti metodi di trattamento. In questo senso l'evoluzione delle tecniche è stata meno rilevante rispetto a quella effettuata sui reattori ma esistono oggi varie possibilità per implementare metodiche di riduzione dei rifiuti radioattivi che potrebbero risultare particolarmente efficaci.

Per gli aspetti connessi al trasporto di materiale radioattivo la regolamentazione vigente già prevede norme stringenti e tecnicamente esistono tutti i presupposti perché questo possa essere effettuato in modo sicuro ed efficiente.

Come INFN riteniamo esistano una moltitudine di ragioni per sostenere ed investire affinché anche la produzione di energia da fonte nucleare venga reintrodotta in Italia. La linea dei reattori nucleari commerciali può sicuramente vedere imprese e enti italiani coinvolti in prima persona nella fase di sviluppo e di realizzazione. E' di fondamentale importanza costruire una filiera italiana delle competenze che coinvolga l'università e gli enti di ricerca in collaborazione con le aziende attive nello sviluppo del nucleare commerciale. L'ecosistema italiano è sicuramente ben attrezzato per contribuire in maniera fattiva allo sviluppo dei reattori SMR e AMR che sono attualmente in fase di progettazione. La comunità scientifica e industriale che partecipa allo sviluppo dei reattori nucleari a fusione è già coinvolta in diversi progetti di frontiera e deve essere adeguatamente sostenuta per raggiungere l'obiettivo di portare anche i reattori a fusione a contribuire alle risorse energetiche disponibili per il sistema paese.