



Giunte e Commissioni

RESOCONTO STENOGRAFICO

n. 1

N.B. I resoconti stenografici delle sedute di ciascuna indagine conoscitiva seguono una numerazione indipendente.

8^a COMMISSIONE PERMANENTE (Ambiente, transizione ecologica, energia, lavori pubblici, comunicazioni, innovazione tecnologica)

INDAGINE CONOSCITIVA IN MATERIA DI ENERGIA
PRODOTTA MEDIANTE FUSIONE NUCLEARE

99^a seduta: mercoledì 6 marzo 2024

Presidenza del presidente FAZZONE

INDICE**Audizioni di rappresentanti dell'Associazione italiana nucleare e dell'ENEA**

PRESIDENTE	Pag. 3, 13, 14 e <i>passim</i>	* <i>MONTI</i>	Pag. 4, 12, 14 e <i>passim</i>
BASSO (PD-IDP)	17, 23	<i>DIALUCE</i>	18, 24, 25
DE PRIAMO (FdI)	16		
FLORIDIA Aurora (Misto-AVS)	13, 14		
IRTO (PD-IDP)	15		
SPAGNOLLI (Aut (SVP-PATT, Cb))	12, 24		

N.B. L'asterisco accanto al nome riportato nell'indice della seduta indica che gli interventi sono stati rivisti dagli oratori

Sigle dei Gruppi parlamentari: Civici d'Italia-Noi Moderati (UDC-Coraggio Italia-Noi con l'Italia-Italia al Centro)-MAIE; Cd'I-NM (UDC-CI-NcI-IaC)-MAIE; Forza Italia-Berlusconi Presidente-PPE: FI-BP-PPE; Fratelli d'Italia: FdI; Italia Viva-Il Centro-Renew Europe: IV-C-RE; Lega Salvini Premier-Partito Sardo d'Azione: LSP-PSd'Az; Movimento 5 Stelle: M5S; Partito Democratico-Italia Democratica e Progressista: PD-IDP; Per le Autonomie (SVP-PATT, Campobase): Aut (SVP-PATT, Cb); Misto: Misto; Misto-ALLEANZA VERDI E SINISTRA: Misto-AVS; Misto-Azione-Renew Europe: Misto-Az-RE.

Intervengono, ai sensi dell'articolo 48 del Regolamento, per l'Associazione italiana nucleare, il presidente Stefano Monti; per l'ENEA, il presidente Gilberto Dialuce.

I lavori hanno inizio alle ore 12,10.

SULLA PUBBLICITÀ DEI LAVORI

PRESIDENTE. Comunico che, ai sensi dell'articolo 33, comma 4, del Regolamento del Senato, è stata richiesta l'attivazione dell'impianto audiovisivo a circuito chiuso, nonché la trasmissione sul canale satellitare e sulla *web-TV*, e che la Presidenza del Senato ha fatto preventivamente conoscere il proprio assenso. Poiché non vi sono osservazioni, tale forma di pubblicità è adottata per il prosieguo dei lavori.

Avverto inoltre che, previa autorizzazione del Presidente del Senato, la pubblicità della seduta odierna è assicurata anche attraverso il resoconto stenografico.

PROCEDURE INFORMATIVE

Audizioni di rappresentanti dell'Associazione italiana nucleare e dell'ENEA

PRESIDENTE. L'ordine del giorno reca l'indagine conoscitiva in materia di energia prodotta mediante fusione nucleare.

È oggi prevista l'audizione di rappresentanti dell'Associazione italiana nucleare. È presente il presidente Stefano Monti, al quale do il benvenuto.

Ricordo che è stata una decisione *bipartisan* quella di svolgere un ciclo di audizioni che ci consentisse di capire bene a che punto è il sistema della fusione nucleare. L'intenzione è di lavorare anche per comprendere a che punto è il nucleare di terza e di quarta generazione, soprattutto per quanto riguarda la fissione. Si tratta in verità di due sistemi diversi, perché la fusione, che è in fase di sperimentazione, lavora sul confinamento elettromagnetico, che non crea scorie o altro. Questo è un aspetto importante e ci auguriamo che sia possibile completare il prima possibile il percorso su questa strada, anche se sappiamo – almeno in base ad alcune notizie in nostro possesso – che è ancora molto lungo. Siamo a conoscenza dell'esistenza anche di altre fonti energetiche: mi riferisco ai cosiddetti mini reattori di quarta generazione, capaci di produrre energia – il che potrebbe avvenire quasi immediatamente – con il rilascio di scorie nettamente diverse da quelle del passato, che perdono reattività in maniera differente.

L'obiettivo del lavoro che abbiamo deciso di intraprendere è di arrivare eventualmente alla presentazione di un disegno di legge che vada nella direzione di far ripartire il Paese, capendo che occorre sì avere energie alternative, ma anche altri tipi che ci rendano indipendenti da altri Stati. Aggiungo che dovremmo lavorare affinché il nostro Paese possa raggiungere un'indipendenza anche a livello tecnologico, oltre che a livello di fotovoltaico e di altre fonti di energia alternativa; diversamente, infatti, il rischio è di passare da una dipendenza di materiali a una dipendenza tecnologica. Dovremmo dunque adoperarci per avere un *mix* che non può non basarsi anche sull'energia nucleare, secondo quanto è stato deciso – come sapete meglio di me – a livello europeo.

Cedo dunque la parola al presidente Monti per la sua relazione.

MONTI. Signor Presidente, ringrazio lei e la Commissione per la possibilità offerta all'Associazione italiana nucleare di portare il proprio contributo all'importante dibattito che si intende avviare in questa sede.

In breve, l'associazione che presiedo è senza fini di lucro, impegnata nel promuovere un dibattito scientificamente serio e fondato su tutte le tecnologie nucleari, ovviamente per usi pacifici, che cerchiamo di ricondurre sempre all'interno del contesto internazionale ed europeo e che è importante per l'Italia. Ci tengo a sottolineare infatti che, all'interno dell'Associazione, sono presenti competenze non solamente per quanto riguarda la produzione di energia nucleare, ma anche per quanto concerne le tecnologie nucleari.

Permettetemi una digressione, perché c'è un dato che negli ultimi tempi mi ha veramente colpito. Secondo gli esperti, nel nostro Paese in una famiglia su due c'è un componente colpito purtroppo da tumore, il che vuol dire che in Italia una famiglia su due beneficia delle tecnologie nucleari impiegate nella medicina. Se si rapporta questo beneficio all'atteggiamento generale delle persone rispetto al nucleare, c'è un certo *mis-match*.

Tornando al tema dell'audizione odierna, l'Associazione italiana nucleare raggruppa enti di ricerca quali l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN), ma anche università come quelle di Pisa e di Roma e il Politecnico di Milano, le industrie sistemiche (quella per eccellenza in Italia è Ansaldo Nucleare), ma anche manifatturiere. Fra tutti questi soggetti – *ça va sans dire* l'ENEA e l'INFN – c'è interesse anche per l'applicazione della fusione nucleare per fini di produzione energetica e in effetti su questo l'industria è già fortemente impegnata.

Ho consegnato alla Commissione una nota scritta, della quale cercherò di richiamare rapidamente i passaggi che ritengo più utili, non prima di aver aperto però una piccola parentesi sulla questione tecnica. Proverò a semplificare, augurandomi che i più esperti tra i presenti non ridano per il modo in cui esporrò la questione.

Si è scoperto che esistono diverse reazioni che portano alla fusione nucleare; qui però oggi, per semplicità, farò riferimento solamente a quella fra deuterio e trizio, che è la più semplice da realizzare. I due reagenti, il deuterio e il trizio, non sono altro che atomi di idrogeno, vale a dire dell'elemento più leggero in natura, che ha un solo protone nel nucleo e un solo elettrone che gli gira attorno. Il deuterio e il trizio sono degli idrogeni un po' più « cicciotti », nel senso che, oltre al protone tipico dell'idrogeno, si caratterizzano per la presenza anche di un neutrone nel caso del deuterio e di due neutroni nel caso del trizio.

In certe condizioni questi due elementi reagiscono fra di loro e producono un atomo di elio (caratterizzato dalla presenza di due protoni), che viene subito dopo l'idrogeno nella tavola periodica degli elementi, e di un neutrone. La cosa importante, ai nostri fini, è che l'elio e il neutrone si trascinano dietro dell'energia. L'elio (la particella alfa) ha un'energia cinetica di 3,5 MeV, mentre l'energia del neutrone è di circa 14 MeV, e questo è un dato importante perché poi è l'energia del neutrone che si andrà a utilizzare.

Un altro dato significativo è che la singola reazione produce una quantità di energia molto piccola. Però, se prendiamo un grammo di materia reagente, si produce l'equivalente dell'energia generata da 6,5 tonnellate di metano: questa è la ragione per la quale c'è tutto questo interesse. Questa reazione avviene all'interno del quarto stato della materia: dopo il solido, il liquido e l'aeriforme, c'è il quarto stato, ovvero il plasma, che vuol dire materia completamente ionizzata. Arrivare a questo stato permette di diminuire notevolmente le forze di repulsione del coulombiano, cosicché la materia perda tutti gli elettroni e diventi, appunto, completamente ionizzata. Quando nel plasma avviene questa reazione, come dicevo, viene prodotto un nucleo di elio, che rimane confinato in questa « melassa », che di solito viene disposta nel confinamento magnetico – normalmente in una configurazione toroidale – contribuendo a riscaldare il plasma.

I neutroni, invece, sono molto energetici: ho parlato di 14 MeV, il che significa che un neutrone è quattordici volte più energetico della media del neutrone di un reattore a fissione. Il neutrone dunque scappa via, perché non viene trattenuto dal plasma; attraversa la parete che circonda il plasma e va a finire in un mantello esterno, posto dietro il *vacuum vessel*. Questo neutrone ha delle funzioni molto importanti, perché ha una sua energia cinetica, ma, incontrando il materiale del mantello che sta attorno, interagisce con la materia e rallenta, mentre la sua energia cinetica viene trasformata in calore. A questo calore siamo interessati, per cui si inserirà nel mantello un fluido termovettore, capace di portare via il calore; dopodiché ci sarà uno scambiatore di calore, un generatore di vapore, con un normale ciclo termico come negli impianti convenzionali.

L'interesse per la fusione è determinato anche dal tipo di combustibile utilizzato, dal deuterio e dal litio. Aggiungo che il neutrone può essere utilizzato anche per generare il trizio dal litio che viene disposto nel mantello. Perché lo dobbiamo fare? Perché, mentre il deuterio, uno dei

due reagenti, è molto abbondante in natura (30 grammi al metro cubo nell'acqua), il trizio di fatto in natura non esiste, avendo un'emivita di poco più di dodici anni. In realtà ce ne sono tracce per via dei raggi cosmici, ma tralascio i particolari. Il trizio di cui abbiamo bisogno deve dunque essere prodotto e, sempre attraverso i neutroni che ci danno anche l'energia, la produzione avviene nel *blanket* grazie al litio del quale, come ho detto, c'è abbondanza in natura. In realtà avremmo bisogno di un arricchimento in litio-6; senza però scendere troppo nel dettaglio, possiamo dire che i combustibili di cui abbiamo bisogno per la fusione sono il deuterio, molto abbondante in natura, e il litio, altrettanto abbondante.

Il *blanket* ha dunque una funzione molto importante perché assicura l'autosufficienza dell'impianto in termini di combustibile, dal momento che è lì che si va a produrre il trizio che serve per la reazione.

Richiamo un ultimo parametro per concludere la parte tecnica, che è fondamentale perché, come vedremo, ci dice dove siamo. In linea di principio la fusione funzionerebbe in maniera da autosostenersi al pari della fissione, quando abbiamo un reattore che ha un « k » effettivo uguale a uno. È teoricamente possibile ignire un plasma, che andrà avanti a mano a mano che brucia: il sole è un plasma ignito, che non ha bisogno di avere energia dall'esterno, avendo al suo interno il combustibile, e va avanti fintanto che il combustibile c'è; quando non ci sarà più il combustibile, il sole si spegnerà, ma non metterei limiti alla divina provvidenza. Scherzi a parte, siccome l'ignizione è complicata da raggiungere, si è detto che forse non c'è bisogno di arrivarci e che l'importante è avere un buon guadagno di energia, realizzando praticamente un amplificatore di energia. In sintesi, noi diamo una certa energia e siamo interessati ad amplificarla; la macchina è in grado di farlo e quello che importa è il guadagno fra l'energia che si riesce a ricavare dalla macchina e quella che invece si inietta per tenerla accesa. Questo è il cosiddetto fattore Q per cui, quando Q è uguale a uno, vuol dire che l'energia generata dalla reazione è pari a quella che gli è stata fornita per farlo funzionare: Q uguale a uno è chiamata condizione di *breakeven*, che dovrebbe suonare più o meno come « condizioni di parità ».

Si è visto che, a causa delle efficienze intrinseche al processo – vale a dire al passaggio dai neutroni all'energia prodotta e all'elettricità collegata in rete e poi al fatto che occorre spendere energia per mantenere il plasma – per un futuro impianto di taglio industriale e commerciale bisognerebbe che Q fosse uguale a 30, cioè che ci fosse un guadagno 30 fra l'energia immessa e quella ricavata.

L'altra questione importante da tener presente è che il plasma è un po' birichino e fa fatica a stare confinato, per cui spesso ci possono essere instabilità nel plasma che portano a interruzioni continue della reazione. Al momento, a livello internazionale, ci si sta sforzando per creare delle condizioni che permettano la stabilità del plasma anche su lunghi periodi, perché ovviamente per generare energia in maniera continuativa occorre mantenere la reazione e il plasma confinato, evitando le instabilità.

A questo punto dovrei passare a parlarvi dei due grandi diversi tipi di fusione, quello a confinamento magnetico e quello a confinamento inerziale. Accantonerei quest'ultimo, che pure è interessantissimo e importantissimo a livello internazionale, perché, soprattutto a livello nazionale ed europeo, il *focus* è sulla tecnica a confinamento magnetico, per cui per motivi di tempo direi di limitarci a questa.

Occorre partire dalla considerazione che il plasma, che ha una temperatura di dieci volte superiore a quella del centro del sole, non può essere confinato ovviamente da nessun materiale: nessun materiale al mondo, né adesso, né in prospettiva, sarà in grado di confinare il plasma. L'unico modo è quello di creargli attorno un campo magnetico molto intenso, che strizza il plasma e lo tiene confinato: ecco, in maniera molto rude, in cosa consiste il confinamento magnetico. Tenete presente un altro aspetto, che è sotto sviluppo: bisognerebbe utilizzare dei magneti superconduttori, perché ovviamente vogliamo limitare l'energia che spendiamo per mantenere il plasma in posizione e confinato.

Cominciamo a entrare nel cuore di quello che penso vi interessi. Perché c'è un grande interesse in tutto il mondo per la fusione nucleare? Perché viene considerata come il Sacro Graal del futuro per la risoluzione dei problemi energetici dell'umanità. I punti sono abbastanza noti, ma li riassumo. Abbiamo detto che nella reazione si produce solamente elio, che è un gas nobile e innocuo e che, fra l'altro, ci serve all'interno del reattore per mantenere caldo il plasma. Si tratta pertanto di una reazione che non produce gas climalteranti: è *CO₂ free*. I combustibili sono virtualmente illimitati: il deuterio è abbondantissimo in natura e il litio, con il quale per *breeding* otteniamo il trizio, è anch'esso estremamente abbondante in natura.

Per quanto riguarda la sicurezza, avrete forse capito che la reazione può proseguire solamente se continuiamo ad iniettare i due reagenti (deuterio e trizio); se smettiamo di iniettare questi reagenti, la reazione si ferma immediatamente. Per questo motivo è ritenuto un reattore particolarmente sicuro.

Molto spesso si mette in relazione la fusione con la fissione. Rispetto alla fissione, i reattori a fusione non utilizzano uranio e plutonio; quindi una macchina a fusione non è soggetta al Trattato di non proliferazione. Il trizio sappiamo che ha anche delle applicazioni militari e quindi il suo utilizzo deve essere soggetto a un'opportuna sorveglianza. La fusione ha un basso impatto ambientale rispetto a un reattore a fissione. Dicevamo che non c'è uranio, non c'è plutonio e non ci sono i prodotti della fissione; qual è la radioattività che viene dalla macchina a fusione? Alcuni di questi neutroni, oltre a darci la possibilità di produrre energia (perché convertiamo la loro energia cinetica in calore) e darci la possibilità di avere trizio grazie al *breeding*, vanno anche ad attivare le strutture, cioè colpiscono le strutture del reattore, che si attivano. Tutte queste strutture rappresentano potenzialmente dei rifiuti radioattivi della reazione. Una delle cose su cui tutta la comunità internazionale è impegnata è cercare di limitare il più possibile l'attivazione di queste strutture.

Si stanno quindi sviluppando dei materiali a bassa attivazione, per cercare di ridurre al minimo l'attivazione e migliorare la gestione futura dell'impianto, per esempio durante il *decommissioning*.

Potenzialmente – ma ci si deve ancora arrivare – questo è un impianto che potrebbe contribuire ad avere il carico di base, perché può funzionare in maniera continua. Teoricamente questo è possibile; purtroppo però non ci siamo ancora, anzi siamo ancora abbastanza lontani. Dal punto di vista della struttura dei costi è molto simile alla fissione, perché anche qui abbiamo elevati costi di investimento: l'impianto costa tanto, mentre il combustibile costa molto poco. Quindi ha una struttura dei costi simile ad altri sistemi nucleari, a differenza dei combustibili fossili, dove accade esattamente il contrario. Altra questione da investigare sarà quella relativa ai costi di operazione, ma di questo è ancora presto parlare.

A che punto siamo? Veniamo un po' alle questioni e ai problemi. Il grande sforzo sperimentale che è stato fatto da settant'anni a questa parte ha portato, dal punto di vista sperimentale, ad avvicinarci molto alle condizioni di *breakeven*, cioè a quel Q uguale a 1. Se non vado errato, la *performance* migliore per quanto riguarda il confinamento magnetico è stata ottenuta dal reattore JET in Gran Bretagna, che è arrivato a Q uguale a 0,65, e che è riuscito ad avere una potenza di circa 12 megawatt per 5 secondi. Siamo quindi abbastanza vicini a Q uguale a 1, ma – attenzione – poi dovremo arrivare a Q uguale a 30 e a potenze molto superiori, in maniera stabile. In realtà, la fusione inerziale è già arrivata al *breakeven*, con quella cosa che è stata annunciata su tutti i giornali (mi sembra di ricordare nel 2021-2022). È arrivata a Q uguale a 1, però bisogna chiarire: vi è arrivata per quanto riguarda la reazione. Se si considera l'energia che viene fuori dalla reazione rispetto a quella che è stata iniettata nella reazione, allora abbiamo Q uguale a 1; peccato che, per arrivare a questo punto, ho bisogno di laser e che l'energia che devo dare ai laser per arrivare a quella condizione è, al momento, cento volte superiore a quella che siamo riusciti a produrre. Quindi è un *breakeven* limitato alla reazione, non alla macchina complessiva. Questo fa sì che, anche per l'inerziale, evidentemente ci vogliono ancora parecchi sviluppi. Su cosa ci si concentra ora? Bisogna lavorare nella direzione di avere dei regimi di fusione a elevato guadagno (un Q sempre più crescente), per poter operare in futuro un impianto in maniera continua.

Un'altra questione molto importante, che riguarda qualsiasi tipo di impianto a fusione (inclusa quella inerziale), a meno che non si passi alla fusione aneutronica (ma stiamo parlando di un futuro molto lontano), è che questi neutroni danneggiano i materiali. A seguito dell'interazione con i materiali, c'è un danneggiamento e c'è anche generazione di elio; quindi i materiali, sottoposti a questo irraggiamento neutronico, si indeboliscono e tendono a degradare le proprie proprietà fisiche e termomeccaniche. Allora cosa bisogna fare? Un'altra sfida è quella di sviluppare dei materiali che siano adatti all'uso della fusione; bisogna testarli, qualificarli e certificarli, al fine di poterli utilizzare. Questo è fondamentale,

perché riguarda qualsiasi macchina per l'energia; se non si ha un materiale certificato, non si può progettare e realizzare la macchina. Questa è un'altra sfida, perché non è per niente facile fare questa qualificazione. Tenete presente che l'esperienza limitata che ho sulla fusione deriva dalla mia partecipazione al progetto concettuale di una macchina, che si chiama IFMIF, che servirebbe appunto per testare i materiali; me ne sono occupato nel 1994-1995. Allora si è cominciato a pensare al progetto concettuale di questa macchina, che deve ancora essere realizzata.

Sempre andando nella direzione di interesse dell'Italia e dello Stato, il progetto di macchina sperimentale attualmente più avanzato, per cominciare a mettere assieme tutti i pezzi e ad avvicinarsi alle *performance* di cui abbiamo parlato, è il progetto ITER: si tratta di una grande macchina in costruzione presso il centro di Cadarache. Questo, consentitemi di dire, è un bel caso di geopolitica di successo, perché è uno di quei progetti in cui l'Europa ancora lavora insieme agli Stati Uniti, alla Russia, al Giappone, alla Cina, alla Corea del Sud e all'India, con una grande presenza italiana (l'ingegner Dialuce sarà molto più preciso di me su questo punto).

Cosa permetterà di fare ITER? Dovrebbe arrivare a delle condizioni di Q uguale a 10, non in maniera continua, ma in maniera impulsata (con Q uguale a 10 già cominciamo ad avvicinarci a quel famoso 30), e a un Q uguale a 5 in condizioni stazionarie. Naturalmente lo scopo di ITER è di verificare, a livello sperimentale, le tante cose che abbiamo detto. Prima di tutto dovrebbe arrivare a delle potenze di 500 megawatt, che non sono megawatt elettrici, ma sono megawatt termici, perché la macchina non sarà connessa in rete; il motivo è che si tratta di una macchina sperimentale e non di un dimostrativo industriale. Poi si dovranno verificare le condizioni di stabilità del plasma e il fatto che si possa arrivare a delle condizioni di regime continuo, dove si mantiene la produzione di energia per un tempo rilevante. Dovrà ovviamente tener conto di tutta la sperimentazione relativa ai sistemi di riscaldamento.

Abbiamo detto che la macchina è un amplificatore di energia, quindi sono dei sistemi che mantengono caldo il plasma; su questo naturalmente c'è un'enorme ricerca e sviluppo da effettuare. In particolare, l'INFN italiano è fortemente coinvolto in questa parte. Anche questa è una cosa da verificare. C'è poi altra sperimentazione da fare: ITER non avrà un mantello, come vi avevo detto, quindi non è una macchina che si autososterrà dal punto di vista della produzione del trizio (non è questo lo scopo della macchina), però dovrà testare dei moduli e ovviamente verificare l'efficienza di questo prodotto. Anche questa è una sperimentazione estremamente importante nella direzione del reattore industriale e poi commerciale. Verrà poi testata l'asportazione del calore, cioè la parte più ingegneristica della macchina.

A che punto siamo con la costruzione di ITER, visto che questa macchina è così importante? La costruzione di ITER è molto avanzata (siamo arrivati all'80 per cento dell'impianto completato), ma purtroppo, durante la costruzione, si è verificato un problema nell'assemblaggio. C'è

stata una non conformità di una parte che è stata fornita da uno dei *partner* dell'associazione ITER. A questo poi si è aggiunto il fatto che l'autorità di sicurezza nucleare francese, che deve licenziare il reattore (perché si trova in Francia), ha sollevato alcuni problemi e ha voluto dei chiarimenti riguardo ad esempio alla piattaforma di cemento che sostiene tutta la macchina e alla mappatura delle radiazioni. I neutroni da 14 MeV sono molto penetranti, quindi un'altra funzione che deve avere il *blanket*, di cui parlavamo prima, è quella di schermare i neutroni, che devono rimanere il più possibile all'interno della macchina e non fuoriuscire dal sistema; altrimenti, dal punto di vista radiologico, hanno un impatto notevole. Per di più, il nuovo direttore italiano ha delle idee nuove da implementare, per portare la macchina più nella direzione del futuro utilizzo industriale. Tutto questo ha determinato dei ritardi rispetto alla prima condizione di plasma, che era prevista nel 2025 (poi il vero plasma è previsto nel 2035). Tali ritardi ancora non sono stati quantificati, ma a giugno 2024 il *council* di ITER ha promesso che ci dirà quanto sarà il ritardo nella realizzazione della macchina. Questo è molto importante, perché nella *roadmap* verso la produzione energetica noi abbiamo bisogno dei risultati di ITER per alimentare i progetti successivi, che sono quelli del dimostrativo e dopo dell'impianto industriale. Molto rilevante è anche il Broader Approach, che, oltre a ITER, guarda a tutti gli altri pezzi che ci vogliono. Cito ad esempio il Tokamak JT-60, realizzato in Giappone, che è la macchina Tokamak più rilevante al mondo dopo la chiusura di JET; la cito perché anche qui c'è un impegno italiano relevantissimo. C'è un impegno italiano molto rilevante anche nella macchina IFMIF, che servirà per qualificare i materiali da utilizzare poi nel dimostrativo.

Il programma dell'Unione europea ha una grande focalizzazione su ITER e su tutto quello che ci vuole, in aggiunta, per arrivare di fatto al progetto e alla realizzazione del passo successivo, che consiste in un dimostrativo. Il dimostrativo dovrà ovviamente dimostrare l'utilizzo dell'energia derivante dalla fusione nucleare, quindi sarà un reattore da connettere in rete. Tuttavia, non sarà ancora un impianto industriale, perché dovranno essere fatte tutte le validazioni, anche di carattere ingegneristico, e portare la macchina alla industrializzazione, che è un altro passo molto importante.

Della situazione italiana parlerà l'ingegnere Dialuce, che ne sa molto di più. L'Italia è al *top* delle conoscenze e delle capacità a livello internazionale; partecipa a tutte le intraprese, soprattutto al filone principale europeo e internazionale, ovvero ITER e il suo Demo. L'Italia ha competenze di fisica e competenze di ingegneria; ha capacità industriali elevatissime, perché tantissime industrie italiane partecipano per esempio alla realizzazione di ITER. Ansaldo Nucleare è il sistemista della parte italiana, ma poi ci sono tutta una serie di industrie manifatturiere che partecipano a un progetto che è al *top* della tecnologia a livello internazionale. Al *top* è ovviamente anche la ricerca dell'ENEA, dell'INFN e delle università coinvolte. L'Italia in questo è tra i *front runner* e non c'è di-

scussione; ha investito molto sulla fusione, ma ha anche ricevuto qualcosa in cambio, perché, dei 7 miliardi di euro investiti ad oggi nella costruzione del reattore, la filiera italiana si è assicurata in commesse 1.800 milioni di euro (una cosa di cui dobbiamo andare fieri).

Concludo con un riassunto. Il punto al quale siamo dovrebbe essere abbastanza chiaro. ITER dovrà fornire tutta la sperimentazione necessaria per passare al passo successivo, quello del dimostrativo, in parallelo alla questione della qualificazione e certificazione dei materiali. È certamente una sfida. Dobbiamo pensare a dimostrare il confinamento del plasma a temperature dieci volte superiori a quelle al centro del sole, e in maniera stabile. C'è il problema della certificazione dei materiali strutturali. C'è poi una questione cui non ho accennato, che è di carattere ingegneristico: la densità di potenza dell'energia per unità di volume che verrà rilasciata nel *blanket* non ha eguali al mondo. Quindi ci saranno da sviluppare dei sistemi di asportazione del calore molto performanti, magari derivati dal nucleare da fissione. Il trizio inoltre è debolmente radioattivo e non può essere inalato; quindi c'è tutta una problematica legata alla gestione del trizio. I neutroni attivano la macchina e quindi bisognerà pensare a tutta la *remote handling*, cioè al fatto che tutti i componenti della macchina vanno gestiti in remoto. C'è la problematica dello sviluppo dei materiali a bassa attivazione, che ancora non siamo vicini a risolvere. Dopodiché c'è tutta la fase che deve portare verso il *deployment*, che vuol dire avere un quadro legale, regolamentare e di *licensing* che permetta di licenziare questi reattori, anche se adesso ci sono ipotesi di processi di *licensing* molto più snelli rispetto a quelli della fissione. Poi bisognerà sviluppare i *codes and standard* per la progettazione e la realizzazione dei singoli test e pensare anche alle infrastrutture materiali e immateriali per rendere possibile l'utilizzo della fusione stessa.

Da ultimo, manca ancora la macchina che abbia almeno un guadagno netto di energia dalla presa alla rete e che permetta anche di averlo in maniera stabile. Tenete presente che i reattori nucleari della fissione sono sempre accesi, per 8.000 ore all'anno su 8.600; pertanto, se la fusione vuole essere comparabile alla fissione, deve arrivare a una situazione in cui la macchina sta accesa 8.000 ore all'anno. Questo lo farà il dimostrativo, da cui deve essere tracciata la strada ingegneristica e industriale, che dovrà mostrare che per la macchina energetica è possibile arrivare a queste *performance*. Di dimostrativi ne sono stati proposti vari concetti; mentre sul reattore sperimentale più o meno ci si è messi d'accordo in tutto il mondo, invece sul dimostrativo, che già va nella direzione della competizione, ogni regione del mondo sta sviluppando il proprio: la Cina ha il suo, l'Europa ha il suo, la Russia ha il suo e poi anche la Gran Bretagna e gli Stati Uniti. Nelle *roadmap* più accreditate, dopo il dimostrativo ci dovrebbe essere il *first of a kind*, cioè il primo reattore veramente industriale, e poi l'ennesimo della serie, cioè quello che dovrebbe dare avvio alla flotta dei reattori di nucleare a fusione in tutto il mondo.

Con riguardo ai tempi, nella nota che vi ho dato io ho preso in riferimento il caso europeo, in cui molto dipende dal nuovo *planning* del reattore ITER; infatti, si potranno un po' parallelizzare i processi, però andremo alla fase successiva di demo una volta che avremo messo in moto e in funzione in maniera significativa ITER. Secondo questa *roadmap* (poi vedremo con i ritardi di ITER) si parla di dimostrativo solamente dal 2050 al 2070. Pertanto, a meno di accelerazioni a cui anche tante industrie private stanno pensando, si ritiene che il nucleare da fusione possa fornire un contributo significativo alla decarbonizzazione, al mix energetico e naturalmente anche alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico, solamente nella seconda metà del secolo.

Per sintetizzare rimarco alcune questioni in tre *bullet point*. Ovviamente è qualcosa di estremamente importante, perché potrebbe risolvere il problema o per lo meno contribuire fortemente alla risoluzione dei problemi energetici nel mondo, però non bisogna farsi illusioni: ci sono ancora tantissime cose da ricercare, da sperimentare, da validare. Dunque, anche se nessuno ha la sfera di cristallo, a meno di *breakthrough*, si pensa che questi saranno i tempi necessari. Occorre inoltre fare attenzione perché la questione non è solamente quella di consolidare la conoscenza del processo. Poi bisogna arrivare all'industrializzazione e questo è importante, perché non vorremmo che il nucleare avesse lo stesso problema della fissione, su cui ci sono ritardi e dei costi, almeno nel mondo occidentale. Vi è anche il tema della commercializzazione, perché questa macchina dev'essere competitiva anche con le rinnovabili, tanto per essere chiari, e anche con la fissione nucleare.

Da ultimo, certamente l'Italia deve mantenere il suo importante sforzo di ricerca e di sviluppo, che quindi deve continuare con il coinvolgimento dell'industria italiana che ha già avuto parecchi successi.

SPAGNOLLI (*Aut (SVP-PATT, Cb)*). Signor Presidente, vorrei ringraziare il nostro audito per la sua relazione e rivolgergli un paio di domande. In sostanza, l'ingegner Monti ci ha spiegato che tutta questa operazione consiste nel creare qualcosa che produce energia e che va contenuto non con dei muri, ma in un contenitore fatto da campi elettromagnetici. La mia domanda, pertanto, è la seguente: se ad un certo punto questo contenitore si rompe e il plasma fuoriesce, si blocca tutto?

MONTI. Immediatamente. Anzi, bisogna cercare che il plasma neanche tocchi la prima parete, perché le temperature sono elevatissime e la danneggerebbe, però la reazione si spegne immediatamente.

SPAGNOLLI (*Aut (SVP-PATT, Cb)*). Inoltre, in un altro passaggio del suo intervento ha citato la fusione aneutronica, perché è chiaro che il problema sono i neutroni che evadono e quelli che riescono a fuoriuscire dal sistema sono ingestibili.

MONTI. Si tratta di reazioni protoni col boro, ma la domanda è sulla probabilità della reazione. È interessante da un punto di vista della

fisica, ma non è pensabile svilupparla; al momento è tecnologicamente poco interessante.

FLORIDIA Aurora (*Misto-AVS*). Signor Presidente, ringrazio l'ingegner Monti per il suo intervento molto esaustivo e anche per aver segnato più o meno la *roadmap*, indicando gli *step* che la ricerca si trova davanti per realizzare un domani una tecnologia simile, quantificando anche la tempistica con cui potremmo immaginare di averla a regime. Ciò significa – parlo per me stessa come componente di questa Commissione – che al momento, rispetto alle scadenze che noi ci troviamo a dover rispettare per esigenze del cambiamento climatico (quindi la decarbonizzazione al 2030 e anche l'azzeramento delle emissioni per il 2050), non è possibile neanche immaginare di avere una tecnologia del genere, quindi vanno incentivate altre forme di energia.

Il punto positivo che ha toccato è il fatto che non si produrranno scorie.

PRESIDENTE. Diciamo che le scorie possono essere identiche a quelle che produce una tomografia a emissione di positroni (PET), più o meno.

FLORIDIA Aurora (*Misto-AVS*). Sono scorie diverse da quelle che abbiamo e questo è positivo.

Si parla di costi per centinaia di miliardi e ho letto anche di un progetto di una mini centrale nucleare in America che è stato stoppato, perché i costi di costruzione erano troppo alti; addirittura i costi dell'energia saranno tre volte più alti di quelli dell'energia prodotta dal solare o anche dall'eolico. Le chiedo, quindi, come si sta ragionando rispetto a come si finanzieranno o come si abatteranno i costi anche di produzione. Vorrei sapere se c'è un'idea rispetto ai materiali e se si ragionerà anche in questi termini.

PRESIDENTE. C'è un'inesattezza: la centrale a cui fa riferimento è quella che sta realizzando l'ENI in cooperazione con il Massachusetts institute of technology (MIT) vicino Boston e non si trova assolutamente in queste condizioni, da quello che dicono.

FLORIDIA Aurora (*Misto-AVS*). Io sto parlando di quella dell'Idaho, che è stata stoppata.

PRESIDENTE. Quella è a fissione, non a fusione. Manteniamoci sulla fusione.

FLORIDIA Aurora (*Misto-AVS*). Sì, parlavo comunque dei costi.

PRESIDENTE. Noi non invitiamo le persone esperte per parlarci dei costi, ma per dire quello che l'ingegnere ci ha illustrato in maniera molto

corretta, spiegandoci il funzionamento e le difficoltà che ci sono rispetto al raggiungimento di questo obiettivo, che è nobile e che ci auguriamo possa arrivare il prima possibile. Tuttavia, stando ai fatti, per quello che ha detto in maniera molto corretta, ci sono problemi soprattutto per i materiali che devono essere usati per poter contenere il plasma. Quando invitiamo queste persone, dobbiamo attenerci a questi temi. Quella sui costi è un'altra discussione, che non riguarda neanche noi che stiamo facendo un'indagine conoscitiva.

FLORIDIA Aurora (*Misto-AVS*). Signor Presidente, mi sta rispondendo lei; io immagino la ricerca da inesperta, perché sto facendo ricerca in un altro ambito, non in quello nucleare. Il Presidente ha risposto per lei, dicendomi che la ricerca è limitata a questa tecnologia e non viene collegata ai costi, allo smaltimento.

PRESIDENTE. La ricerca ha sempre dei costi, ma quando ci sarà una industrializzazione del mercato (qualora ci fosse), sarà quella a stabilire il prezzo, non i prototipi. Le faccio un esempio: se in campo medico una ricerca su una qualsiasi pillola costa 1 miliardo, una pillola prima di arrivare in farmacia costa mediamente 1 miliardo. Intendo dire che i costi di sperimentazione non possono mai essere i costi della vendita e della produzione successiva, che richiederà altre tempistiche. Questo non spetta a loro.

FLORIDIA Aurora (*Misto-AVS*). Non lo so, stavo chiedendo al professore.

PRESIDENTE. Non spetta a loro; questo discorso lo faremo quando audiremo anche società private e pubbliche che stanno investendo su questo. A loro potremo rivolgere questa domanda.

FLORIDIA Aurora (*Misto-AVS*). Può darsi che ci sia una branca. Sto cercando di capire se ci sono delle branche che calcolano parallelamente il costo di tale messa a terra.

PRESIDENTE. L'investimento lo conosce chi vuole investire e chi deve investire; audiremo persone che partecipano a questi progetti a cui si potrà porre questa domanda.

MONTI. Signor Presidente, vorrei precisare che il tema del quando l'energia da fusione sarà in grado di entrare in un *mix* energetico è anche una questione di probabilità e di rischio. È stato detto che non c'è proprio speranza che avvenga prima del 2050; la probabilità è molto bassa, ma noi sappiamo che ci sono delle società anche private, o delle imprese pubblico-privato (inclusa quella citata in cui è impegnata ENI), che promettono invece di avere l'impianto industriale molto prima. Ben

venga, ma non abbiamo la sfera di cristallo, quindi in ogni caso vorremmo sapere come si intendono risolvere quelle problematiche di carattere generale.

Nella mia relazione ho puntato molto sulle questioni che prescindono dal tipo di macchina: ho parlato della questione dell'attivazione dei materiali, dell'asportazione del calore, di dove metto i *blanket* per fare il trizio (perché comunque parliamo della reazione deuterio-trizio), di magneti superconduttori ad alta temperatura, che adesso non ci sono a livello industriale. Per carità, noi saremo ben contenti di vedere queste macchine prima, ma la probabilità che ciò avvenga è bassa. Pertanto, visto che invece è più probabile averle dopo il 2050, noi di AIN diciamo che non possiamo prendere il rischio e quindi al momento puntiamo sulla fissione nucleare, su cui ci sono 430 grandi impianti funzionanti nel mondo e ci sono le nuove tecnologie. Adesso in tutta Europa si sta avviando un processo in cui sono in ballo 150 gigawatt di energia nucleare, fra estensione di vita dei reattori attuali e nuove realizzazioni. Si tratta di una questione puramente industriale: è una cosa che si può fare e tutti i Paesi d'Europa, a parte la Germania, ormai sono avviati in quella direzione.

Per queste ragioni, oggi noi ragionevolmente puntiamo sul nucleare da fissione dal punto di vista del *deployment*. Quando saranno disponibili, ben venga, perché certamente presentano notevoli migliorie rispetto ai reattori a fissione. D'altra parte, un reattore deve essere comprato da qualcuno: ci vuole una *utility* che lo compra. Quando in Italia ci saranno le condizioni infrastrutturali per passare un ordine e arriverà una *utility* – non la cito, ma insomma sappiamo a chi mi riferisco – a dire che ci sono le condizioni di base che permettono di lanciare un ordine e di andare a negoziare, potrà farlo su una tecnologia esistente, non su una che non esiste. Questo vale anche per il nuovo nucleare da fissione: quella *utility* potrà ordinare solamente un reattore esistente; un reattore sulla carta non lo ordinerà mai. Questo ve lo metto per iscritto.

PRESIDENTE. Un reattore sulla carta è una scommessa che fa il mondo dell'investimento.

IRTO (*PD-IDP*). Signor Presidente, ho una domanda brevissima. L'ingegner Monti ci ha parlato della fusione a confinamento magnetico, quindi del progetto ITER, anche in rapporto al combustibile. Invece la fusione a confinamento inerziale, quella che si sta sviluppando in America, è un'altra tecnologia e pare avere un altro percorso anche in termini di tempi di realizzazione, almeno secondo le notizie che abbiamo recuperato anche dalla stampa. La domanda che faccio all'Associazione italiana nucleare è la seguente: che tempi immaginate su quel tipo di tecnologia (sapendo che non dipende da voi), e soprattutto che giudizio date su quel tipo di tecnologia e sulla sua gestione del combustibile? Lo dico precisando che anch'io sono d'accordo con lei nel ritenere che ITER è il progetto europeo che dovrebbe guidare gli orizzonti per arrivare alla fu-

sione nucleare; c'è molta Italia nel progetto ITER, però c'è anche un pezzo di tecnologia e di intelligenza d'impresa e di intelligenza italiana che stanno lavorando al confinamento inerziale. Cosa ci può dire rispetto a quel tipo di approccio, di lavoro e di ricerca?

MONTI. Signor Presidente, trovate alcuni dettagli nella nota che vi abbiamo distribuito. Comunque il combustibile è lo stesso, cioè il deuterio-trizio, semplicemente non è sotto forma di plasma, ma di pastiglie.

Sulla questione che il processo per arrivare alla fusione inerziale possa essere più veloce di quello a confinamento magnetico, ribadisco che ci sono delle problematiche comuni, perché l'energia viene anche in quel caso dal rallentamento dei neutroni, quindi tutto quello che ho detto sui materiali, sul *blanket*, sulla produzione del trizio è vero anche in quel caso. Si deve guardare allo stato della reazione di base. Come dicevo prima, l'impianto JET è arrivato a Q uguale a 0,65, invece la macchina NIF è arrivata a Q uguale a 1. Ribadisco però, come ho già detto, che in questo modo guardiamo solamente il guadagno energetico della reazione. Se invece andiamo a vedere il guadagno energetico dalla presa alla rete, non è così, perché in realtà ho speso cento volte l'energia per i laser che mi servono per poi provocare la reazione inerziale.

Come AIN ci permettiamo di dire che in Italia e in Europa c'è un filone ben consolidato sulla fusione a confinamento magnetico, che è già molto *challenging* dal punto di vista delle risorse; abbiamo capito di quali stiamo parlando: sono svariate decine di miliardi, se si mette tutto assieme. Ci permettiamo quindi di dire che, dal punto della ricerca e dell'impegno industriale, vale la pena focalizzarci su ITER, poi sul demo europeo e poi su tutto il Broader Approach. Poi ci vorrà un monitoraggio di ciò che succede a livello internazionale, sostanzialmente fuori dall'Europa, perché l'Europa ha qualche attività di confinamento inerziale, ma non paragonabile dal punto di vista dello sforzo con quello a confinamento magnetico.

Ripeto, nessuno ha la sfera di cristallo: se ci sarà un'accelerazione, certamente ne terremo conto, ma quando i tempi e i modi daranno ragione di questa scelta. Al momento però continuiamo nella direzione che abbiamo prefigurato e che ha dato anche già tanti successi parziali per il sistema Italia.

DE PRIAMO (Fdi). Signor Presidente, voglio ringraziare innanzitutto l'ingegner Monti per la chiarezza espositiva su un tema non semplice.

Se possibile, vorrei un chiarimento. Sappiamo bene che la questione energetica – mi sembra sia stato detto anche qui oggi ed è, a mio avviso, molto importante – ha a che fare non solo con l'ambiente, ma anche con la geopolitica. L'Italia, dal punto di vista della ricerca, è saldamente presente sul tema e su quelli che saranno i futuri sviluppi, con i tempi che l'ingegner Monti ha descritto: vorrei avere conferma di questo.

Rispetto poi al problema del costo energetico, che ad oggi è circa cento volte superiore a quello di cui abbiamo bisogno per bilanciamento,

come abbiamo appreso non c'è la soluzione: vorrei capire, però, se ci sono degli studi avanzati che ipotizzano modalità per definire la questione o se è ancora tutta da affrontare.

MONTI. Senatore De Priamo, c'è una ricerca anche in tale direzione. Per quanto riguarda la fusione inerziale, è evidente che, se ci si intende muovere verso la direzione della macchina industriale, dovranno arrivare anche in questo caso dei Q importanti, come per il confinamento magnetico. La questione del « Q », quindi del vero guadagno fra l'energia prodotta e l'energia spesa per riuscire a produrla, vale per tutti.

BASSO (PD-IDP). Ringrazio anch'io per la chiara esposizione.

Vorrei chiedere all'ingegner Monti un parere su quelli che potrebbero essere in questo momento a livello internazionale gli investimenti di altri grandi Paesi su progetti alternativi rispetto ai due che sono stati già citati. In altre parole, vorrei capire se alla comunità scientifica risulta che in alcuni Paesi si stanno facendo investimenti su eventuali tecnologie alternative per raggiungere l'obiettivo di cui si è parlato, ovvero quello della fusione a livello industriale.

MONTI. Le macchine a confinamento magnetico hanno delle configurazioni diverse: non c'è solamente quella toroidale, ma c'è anche quella sferica. Le due linee, però, sono sostanzialmente quella del confinamento magnetico e dell'inerziale. C'è una situazione in divenire, come dicevo prima, in cui si vede fiorire, soprattutto nel mondo anglosassone, un certo numero di *startup*, anche molto aggressive, che promettono accelerazioni notevoli.

Se parliamo di investimenti su tecnologie alternative o su *roadmap* alternative a quelle di ITER, DEMO e così via, le cifre sono importanti. Ho lavorato un po' su questo quando ero all'International Atomic Energy Agency a Vienna e ricordo che eravamo stupiti che ci fossero *startup* in cui si parlava di investimenti di 6-7 miliardi: sono importi significativi, che chiaramente non bastano per arrivare dove vogliamo. È però significativo che ci siano dei privati che investono sulla fusione, anche proponendo delle configurazioni più compatte che, secondo quanto ci viene detto, permetterebbero di accelerare i tempi. Ci sono programmi molto aggressivi anche in questa direzione in Gran Bretagna e negli Stati Uniti; ci sono poi programmi, magari non notissimi, anche in Cina e in Russia che potrebbero portare anche in questo caso a delle accelerazioni.

Va bene l'impegno nell'accelerazione dei processi, però vorremmo vedere un po' di risultati concreti sulle questioni tecniche comuni a tutti. Quando si cominceranno a vedere risultati concreti, ciò darà anche maggiore confidenza su quello che si può veramente fare e su cui si può davvero accelerare.

La fusione si conosce da settant'anni e siamo ancora all'impianto sperimentale: a mio avviso, non si può prendere quindi tutto per oro colato, solo perché un'industria investe, ritenendo che la fusione sia dispo-

nibile domani. Mi dispiace, ma personalmente sono come San Tommaso: non ne faccio una questione di Associazione italiana nucleare, ma, siccome per arrivare al punto in cui siamo oggi abbiamo impiegato settant'anni, ho i miei dubbi sul fatto che in qualche anno si possano risolvere tutti i problemi. Dopodiché, come ho detto, è questione di probabilità e rischio. Possiamo assumerci il rischio di aspettare per tutti i problemi che abbiamo a livello di prezzi, di decarbonizzazione, di sicurezza di approvvigionamento, che è il più grande problema dell'Italia e dell'Europa? Possiamo permetterci di aspettare di contare solamente su una promessa? Io dico di no.

PRESIDENTE. È proprio per capire bene che stiamo facendo questa audizione: non dobbiamo rinunciare alla ricerca, ma dobbiamo anche essere consapevoli dei tempi. Ci auguriamo che i tempi possano essere inferiori a quelli che sono stati indicati e che si possa arrivare a questo: credo che, per quel che ne so in base alle ricerche che ho svolto qualche tempo fa, rimangono ancora problemi rispetto ai materiali per poter consentire il mantenimento dei neutroni.

Penso che potremmo valutare la possibilità di raggiungimento dell'obiettivo in maniera più certa dopo la realizzazione della macchina sperimentale: allora potremo iniziare a fare cose diverse. Ci auguriamo che possa succedere magari fra un anno, però questo è.

Ringrazio per il contributo offerto ai nostri lavori l'ingegner Monti, che è oggi intervenuto per l'Associazione italiana nucleare.

I lavori, sospesi alle ore 13,10, sono ripresi alle ore 13,15.

PRESIDENTE. L'ordine del giorno reca l'audizione di rappresentanti dell'ENEA. Salutiamo e diamo il benvenuto al presidente Gilberto Dialuce, che ringraziamo per la disponibilità.

Cedo immediatamente la parola all'ingegner Dialuce.

DIALUCE. Signor Presidente, onorevoli senatori, vi ringrazio innanzitutto per l'opportunità offerta ad ENEA di poter dare il proprio contributo a questa audizione in tema di fusione. ENEA, come sapete, è l'agenzia italiana per le nuove tecnologie, le energie e lo sviluppo economico sostenibile. Essa ha 2.300 risorse umane e, di queste, circa 1.400 sono ricercatori e tecnologi. ENEA, come ricorderete, è nata nel settore nucleare molte decine di anni fa. Oggi ha quattro dipartimenti che coprono tutto il settore energetico, quindi non soltanto quello tradizionale del nucleare, ma anche la parte sulle nuove tecnologie come le rinnovabili, le *smart grid*, l'idrogeno, gli ultimi modelli di pannelli fotovoltaici e così via; poi tutta la parte dei nuovi materiali, le tecnologie, la sostenibilità, i sistemi produttivi e ambientali; il cambiamento climatico e la mitigazione degli effetti; infine, tutto il settore, a voi sicuramente molto noto in Parlamento, dell'efficienza energetica, tutta l'attività di supporto

all'amministrazione e ai cittadini per le famose incentivazioni per l'efficientamento energetico al settore edilizio e industriale.

Nel settore nucleare, il dipartimento conta 430 risorse umane, di cui 300 ricercatori e tecnologi, e lavora sin dagli anni Ottanta sulla fusione, man mano sviluppando sempre di più conoscenze e tecnologie, facendo anche da supporto per la partecipazione delle industrie italiane ai programmi anche europei e internazionali.

Sarò piuttosto sintetico sulla parte tecnica e sulla fusione, visto che se n'è parlato nell'intervento precedente del presidente Monti. Con la fusione si fa esattamente il contrario di quello che si fa con la fissione, cioè si cerca di produrre nuclei più pesanti a partire da quelli più leggeri; è la fonte che alimenta il Sole e tutte le stelle. Vi sono varie tipologie di combinazioni di elementi leggeri; quella di cui si è parlato e che è allo studio è quella deuterio-trizio, due isotopi dell'idrogeno. Chiaramente replicare sulla Terra è molto complesso: nel Sole avviene perché i nuclei vengono spinti, nonostante le forze di repulsione elettrostatiche di due cariche elettriche uguali; vengono spinti a fondersi dall'enorme forza di gravità che è al centro del Sole. Sulla Terra questo non è possibile, evidentemente, per cui dobbiamo ricorrere al meccanismo di scaldare la materia a livelli altissimi di temperatura producendo il plasma, dove è possibile innescare la fusione nucleare.

Vi sono due tecnologie di cui si è parlato, quella magnetica e quella a confinamento inerziale. Con quella magnetica si riesce a portare i reagenti a temperature di 150 milioni di gradi, ossia dieci volte superiori a quelle che si incontrano al centro del Sole, ma con una densità molto, molto più bassa da questo punto di vista. In questo caso la materia deve essere per forza confinata: non potrebbe entrare a contatto con nessun materiale esistente sulla faccia della Terra, quindi viene mantenuta in contatto in questa ciambella creata da campi magnetici. Per creare questi campi magnetici occorre una tecnologia su cui sono stati fatti moltissimi studi (studi che tra l'altro hanno ricadute in tanti settori industriali), come ad esempio quello sulla superconduzione. Per creare campi magnetici così intensi occorre avere delle correnti nei magneti molto alte e quindi in quel caso l'unica soluzione è raffreddare a temperature prossime allo zero assoluto i cavi dove passa tale corrente. La tecnologia dei superconduttori è stata applicata in tantissimi campi: ad esempio, i treni a levitazione magnetica nascono in questo ambito ed è una ricaduta di queste ricerche tecnologiche. Ciò per dire che è un'attività di ricerca con una prospettiva molto a lungo termine, però produce nel suo corso tantissime applicazioni in tanti settori (più avanti vedremo anche quello medico).

Del confinamento inerziale si è già detto. È completamente diverso: ci sono delle piccole sferette di deuterio-trizio che vengono bombardate con dei fasci laser ad altissima energia; richiedono una grandissima quantità di energia per essere attivate. In quel caso si realizza questa condizione di altissima densità del plasma, anche se per tempi brevissimi. In questo caso è molto difficile immaginare una reazione continua, che invece si sta cercando di fare per il sistema a confinamento magnetico.

L'impianto sostanzialmente è questo: si tratta di avere come combustibile una miscela di deuterio e di isotopi di idrogeno e di litio, che poi servono – come dicevo prima – per creare il trizio, che in natura è presente in scarsissime quantità. La reazione va continuamente innescata, quindi non c'è il problema di avere una reazione a catena. Ciò significa che è un sistema intrinsecamente sicuro: anche un eventuale incidente non avrebbe sostanzialmente impatto. Il trizio, che pure è contenuto in quantità piccolissime, decade dopo dodici anni. Chiaramente non vi sono emissioni di gas serra, perché non si usano combustibili fossili e c'è il vantaggio di una trascurabile quantità di rifiuti radioattivi a lunga vita. Si tratta per lo più di rifiuti che hanno una vita paragonabile a quella di altri tipi di applicazioni attuali in ambito industriale e in ambito medico. Quanto alla decadenza, si va da alcune decine di anni per il trizio a un centinaio di anni non per le scorie nucleari, ma per i neutroni che sfuggono dall'interno della camera dove c'è il plasma, interagiscono con i materiali metallici e con il calcestruzzo che fa il mantello complessivo della struttura. Tutto ciò può però essere tranquillamente stoccato anche nello stesso sito e in qualche caso può essere riutilizzato per costruire una seconda centrale in tempi successivi.

L'aspetto importante è il bilancio energetico. Vi sono molti entusiasmi, come è stato anche detto prima. Mentre nel caso del confinamento magnetico si è quasi vicini ad avere tanta energia prodotta dalla reazione di fusione rispetto a quella che si inietta all'interno della camera, in quella a confinamento inerziale già si è superato questo punto. Siamo a circa il 66 per cento, il *record* fatto dal reattore a fusione JET nel Regno Unito, che è stato chiuso lo scorso anno dopo aver raggiunto questo risultato. Il confinamento inerziale riesce a produrre più energia di quella che si immette. Se però andiamo a calcolare l'energia che devo creare e utilizzare per creare i laser e quella che invece devo utilizzare per creare i campi magnetici, si rovescia la situazione: il rendimento del confinamento magnetico è molto più alto di quello inerziale. Bisogna arrivare, perché il sistema abbia un senso economico, ad avere più energia prodotta complessivamente dalla macchina rispetto a quella immessa.

Del reattore ITER si è parlato. È un grandissimo progetto nell'ambito del programma europeo sulla fusione e vi partecipano non soltanto Paesi europei, ma anche Giappone, Russia, Stati Uniti, Cina, Corea del Sud e India. È un progetto enorme con grandi finanziamenti anche europei e che dovrà dimostrare la fattibilità tecnica e scientifica della fusione. In questo caso si punta ad avere almeno un valore dieci tra rapporto complessivo di potenza utilizzata e potenza generata, per aumentarlo gradualmente ed arrivare a quello che si chiama reattore DEMO, che dovrebbe essere realizzato intorno al 2050. Il primo vero prototipo di reattore di potenza potrebbe poi dare luogo al primo reattore industriale.

Cosa sta facendo l'Italia da questo punto di vista? ENEA sta lavorando in questo ambito da moltissimi anni ed è partita già dal 2019 con il progetto Divertor Tokamak Test (DTT). Tokamak è l'acronimo che indica il sistema a confinamento magnetico con il campo che fa una ciam-

bella. L'impianto è un grosso investimento di circa 700 milioni di euro, quindi è il più grande investimento fatto da un ente di ricerca pubblico in Italia. È coperto con finanziamenti europei e in parte con finanziamenti del Ministero; una piccola parte è coperta con i fondi del PNRR, con fondi della Regione Lazio (l'impianto sarà costruito a Frascati nel centro di ricerche ENEA), e con un prestito della BEI di 250 milioni, che quindi dovremo restituire nel momento in cui questa infrastruttura nel 2029 entrerà in funzione.

Il progetto deve dimostrare la fattibilità tecnologica dei materiali e della conformazione geometrica del divertore. Il divertore è, per dirla con un'espressione colorita, il tubo di scappamento, l'elemento del reattore che subisce l'arrivo del plasma esausto e deve in qualche modo sopportare temperature di decine di milioni di gradi; è come mettere un oggetto sulla superficie del Sole: deve resistere in quelle condizioni di funzionamento. Questa tecnologia è stata brevettata, esiste nei laboratori di ENEA e quindi si cercherà di testarla per poter dare delle informazioni non tanto per ITER ma anche per il reattore DEMO, ed arrivare a un elemento che dovrebbe essere comune a tutti i reattori a fusione. Si cerca di focalizzare la ricerca perché a livello europeo ci si è divisi un po' il compito e ciascuno prova a fare dei passi avanti sulle componenti tecnologiche del reattore.

ENEA come si sta comportando? ENEA, su mandato del Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, agisce come *program manager* nazionale nel consorzio Eurofusion, che gestisce i fondi comunitari per il programma della fusione a livello europeo. Quindi ENEA coordina le attività di tutti i circa venti soggetti impegnati in Italia sulla fusione, ossia le università, gli altri centri di ricerca, gli altri consorzi universitari. Inoltre l'ente agisce come *industrial liaison officer* dell'organizzazione comunitaria che gestisce il contributo dell'Europa a ITER, in costruzione a Cadarache in Francia. ENEA supporta anche le industrie nazionali per partecipare alle gare. Questa attività di coordinamento ha avuto un ottimo risultato: dei circa 4 miliardi investiti in ITER, 2 miliardi sono andati in filiali italiane. ENEA lavora poi con l'Agenzia internazionale per l'energia atomica e alcune collaborazioni tecnologiche sono in ambito NATO. La Gauss è un'impresa tedesca con cui recentemente è stato firmato un accordo di cooperazione sulla fusione. Questo a dimostrare che anche in Germania, nonostante l'uscita dal nucleare, la fusione viene attenzionata, perché presenta delle potenziali ricadute importanti. Recentemente abbiamo firmato un accordo con il CERN a Ginevra, che è il maggiore istituto che sta lavorando sulla ricerca sulle particelle subatomiche ad alta energia.

Qual è il contributo del nucleare in un mix energetico come quello italiano? È chiaro che l'obiettivo della decarbonizzazione è ormai prevalente e irrinunciabile, non solo per obblighi europei, ma anche per una condizione di lotta al cambiamento climatico. Un sistema energetico completamente basato sulle rinnovabili è molto complesso da gestire. È tecnicamente possibile, ma le rinnovabili sono variabili e non vi sono la

notte; occorrerebbe avere un sistema con enormi sovradimensionamenti che produca energia da rinnovabili anche per la notte e per le oscillazioni di domanda stagionali. Oggi facciamo il riscaldamento urbano con il gas che viene stoccato d'estate, quando non viene usato, e viene erogato d'inverno. Immaginare di passare a un riscaldamento puramente basato su pompe di calore richiederebbe di avere in inverno una quantità di energia molto maggiore rispetto a quella che si consuma in estate. Questo richiederebbe un sistema energetico con enormi quantità di accumuli e con molte complicazioni gestionali. Avere una quota di energia, di *base load*, che possa bilanciare questo sistema evita il sovradimensionamento e quindi riduce i costi. Questo si può fare con rinnovabili programmabili, ossia l'idroelettrico sostanzialmente e la geotermia in parte, poiché quest'ultima ha un potenziale purtroppo limitato dal punto di vista della generazione elettrica. Inoltre bisognerebbe investire in accumuli di batterie, grandi impianti di pompaggio che oggi ancora sono complessi da realizzare in un Paese come l'Italia. Altre fonti potrebbero essere fossili, con la cattura e il sequestro di anidride carbonica (anche questa è una tecnologia con applicazioni limitate ai casi in cui vi siano dei serbatoi adeguati al riciclo), oppure il nucleare, che si tratti delle nuove generazioni o comunque in prospettiva della fusione. Questo potrebbe aiutare il sistema energetico anche in prospettiva di una decarbonizzazione e di un aumento dei consumi elettrici, perché, nel momento in cui si va a elettrificare tutto il sistema – quindi anche la parte trasporti, riscaldamento e raffrescamento di edifici va tutta sull'elettrico –, occorrerà potenziare il sistema elettrico.

Una tecnologia come la fusione nucleare in prospettiva – nella seconda metà del secolo, anche se ci auguriamo tutti che si possano anticipare l'organizzazione e la pratica industriale di un impianto a fusione – potrà consentire di non avere emissioni di gas serra.

Le principali problematiche, come abbiamo visto, sono il fatto di risolvere alcune tematiche sui materiali, che quindi vengono fortemente irraggiati dai neutroni creati dalla reazione. Tali materiali devono essere studiati perché resistano a questi stress e sono quelli che poi costituirebbero i rifiuti veri e propri che però, come dicevo prima, non hanno vite lunghissime e potrebbero tranquillamente essere stoccati in un deposito temporaneo superficiale ed eventualmente anche riutilizzati. Non serve il deposito geologico in questo caso; sarebbe una cosa che viene risolta dalla fusione.

Circa lo smaltimento della potenza del plasma esausto, il DTT dovrebbe dare una risposta tecnologica da questo punto di vista. La scala che si utilizza negli enti di ricerca varia fino a nove. Il livello della fusione a confinamento inerziale è più basso (è tre), quindi ancora c'è da fare molta ricerca per andare avanti; quello a confinamento magnetico è quattro-cinque grosso modo, quindi bisogna ancora fare vari passi tecnologici in avanti per poter arrivare ad avere un impianto effettivamente dimostrativo funzionante. Ovviamente dipende anche dagli investimenti, perché tutto si può accelerare se si mantiene un flusso di investimenti. Il

programma europeo è un programma rilevante. Come abbiamo detto, quello italiano per un ente di ricerca è anch'esso molto rilevante. Vi sono molte *startup* nate negli ultimi anni sulla fusione. Ci sono tecnologie diverse e vorrei citare anche quella americana: il nucleare a confinamento magnetico a livello europeo è basato su campi magnetici di alta intensità e quindi con dimensioni abbastanza rilevanti dell'impianto; il progetto Spark americano invece utilizza campi ad altissima intensità, quindi riduce le dimensioni dell'impianto. Bisogna valutare le diverse configurazioni di come può essere pensata la camera dove avviene la reazione.

L'Italia dispone già di tutte queste eccellenze sia nel campo della ricerca sia nel campo industriale, perché vi è una filiera industriale molto sviluppata e che sta già lavorando sulla fusione in altre parti del mondo. Questo può dare delle importanti ricadute. Come accennavo, ci sono ricadute in ambito medicale. C'è un progetto di ENEA che utilizza queste tecnologie per produrre in Italia radioisotopi per uso medicale, che oggi vengono totalmente importati. Volendo, la tecnologia c'è e stiamo cercando dei finanziamenti per realizzare in Italia i radioisotopi per uso medicale, che hanno una vita molto breve. Poter gestire direttamente questo ciclo di produzione avrebbe enormi vantaggi anche dal punto di vista dei costi.

Occorrerà anche immaginare, quando si uscirà dai laboratori di ricerca e dei primi progetti sperimentali, una fase operativa e quindi anche procedure autorizzative. Quanto all'esempio francese, molti dei ritardi e anche dei costi che sono lievitati per il reattore ITER sono dovuti al fatto che la Francia ha scelto un approccio in cui si è equiparato a un impianto a fissione. In realtà i rischi sono estremamente più ridotti, quindi a questo punto bisognerebbe immaginare una procedura autorizzativa totalmente diversa in quanto è più simile ad un impianto di ricerca. Il DTT che si sta realizzando a Frascati non è una centrale nucleare ed anche i primi impianti che verranno realizzati hanno livelli di rischio estremamente più contenuti e di vari ordini di grandezze inferiori. Occorrerà immaginare una procedura anche autorizzativa più semplice da questo punto di vista per poter effettivamente attuare l'impianto in tempi congruenti con l'esigenza.

PRESIDENTE. Non deve richiedere ciò che non fa.

BASSO (*PD-IDP*). Signor Presidente, ringrazio innanzitutto l'ingegner Dialuce per la relazione. Vorrei porgli la stessa domanda fatta anche nella precedente audizione. Il presidente Dialuce ci ha ricordato che stiamo parlando comunque di TRL3, quindi si tratta di una maturità che deve crescere per poter arrivare prima alla sperimentazione e poi soprattutto all'industrializzazione.

La domanda è la seguente: i grandi finanziamenti che stiamo vedendo arrivare anche dal mondo privato normalmente non hanno o non si aspettano tempi lunghi. Le risorse che sono arrivate ad alcune *startup* e che sembrano essersi rafforzate in alcuni Paesi a cosa sono dovute? Qual

è la loro origine? Qual è la sua opinione su questa discrasia tra l'investire forti somme provenienti anche da fondi privati e una tecnologia che pare ancora abbia necessità di una maturazione sia dal punto di vista tecnologico che da quello della catena di fornitura per poterlo industrializzare su scala planetaria?

DIALUCE. Molte di queste *startup* sono focalizzate non tanto sulla fusione quanto sui reattori avanzati della terza e quarta generazione; abbiamo molti esempi e cito il prototipo che verrà costruito nel centro di Brasimone di ENEA per la tecnologia del piombo fuso (è un brevetto di ENEA). Questo perché hanno una prospettiva molto più ravvicinata e pertanto molte di queste *startup* vi si stanno dedicando. La senatrice Aurora Floridia prima ha citato l'impianto NuScale, il progetto americano di *small modular reactor*, un piccolo reattore a fissione modulare. Alcuni di essi hanno già avuto un'autorizzazione a operare dagli enti di certificazione, quindi sono già teoricamente prossimi allo sviluppo commerciale. Leggevo sui giornali in questi giorni che addirittura dei micro reattori modulari, dei reattori quasi portatili, addirittura potrebbero essere costruiti in Italia e ci sarebbe un accordo con un'impresa del Veneto a tal fine.

PRESIDENTE. Infatti. Sono quelli che già utilizziamo sui sommergibili.

DIALUCE. Sì. Sono quelli che si utilizzano sulle portaerei nucleari e sui sommergibili. È l'evoluzione di una tecnologia ormai collaudata e quindi si presterebbe all'applicazione per distretti industriali o a qualcosa del genere.

PRESIDENTE. Sui sommergibili c'è un sistema di smaltimento dei rifiuti che potrebbe essere utilizzato anche nei bacini urbani. Sarebbe straordinario, però nessuno lo prende in considerazione.

DIALUCE. Ci sono *startup* anche sulla fusione, ad esempio il caso della Commonwealth Fusion Systems (CFS), a cui partecipa anche ENI. È un caso in cui si sviluppa questa tecnologia a campi magnetici più alti, di più alta intensità, per ridurre le dimensioni. Anche in questi casi dipende dai finanziamenti. Esistono però problemi tecnologici che sono uguali per tutti: il problema dell'attivazione di neutroni, il problema di generare il trizio che esiste in piccolissime quantità in natura e quindi va creato nello stesso reattore.

Certamente c'è un grande interesse dei privati e non è un caso che siano proprio le *oil companies* ad interessarsene, perché ovviamente stanno pensando al loro futuro e se effettivamente si uscirà dai combustibili fossili, qualcos'altro dovranno fare nella generazione di energia.

SPAGNOLLI (*Aut (SVP-PATT, Cb)*). Signor Presidente, pur non facendo parte di questa Commissione, chiedo se sia possibile organizzare una visita, un sopralluogo, a cui parteciperei volentieri.

PRESIDENTE. Certo, lo faremo. Io ci sono stato già diverse volte. È sicuramente una realtà interessante da vedere, perché è un'eccellenza italiana che va sostenuta e, per chi svolge un'attività come la nostra, va conosciuta al fine di poter aiutare a continuare a fare ricerca ed avere risorse.

DIALUCE. Signor Presidente, volentieri invitiamo tutta la Commissione a venire a visitare il centro ricerche.

PRESIDENTE. Ringraziamo il presidente Dialuce per la disponibilità. Dichiaro conclusa l'audizione odierna. Rinvio il seguito dell'indagine conoscitiva ad altra seduta.

I lavori terminano alle ore 13,40.

