

Fisica fondamentale, ricerca e realizzazione di nuove armi nucleari

1. Scienza e guerra: cosa sta cambiando?

Il ruolo e il coinvolgimento degli scienziati nella guerra è molto antico, ma sta assumendo forme nuove, molto più pervasive (sia dirette che indirette), subdole ed inquietanti. Da un lato lo scienziato è un uomo del suo tempo, coinvolto nelle vicende sociali e politiche e condizionato da esse. Dall'altro, però, egli gioca un ruolo molto particolare nella società, in quanto è portatore di un sapere specialistico di tipo molto peculiare e diverso da quello comune (non vorrei dire "superiore", come sostengono gli scienziati, ma dotato indubbiamente di uno speciale potere): egli porta quindi responsabilità molto maggiori, delle quali dovrebbe farsi carico. In troppe occasioni la cosiddetta comunità scientifica (che io chiamo piuttosto "corporazione scientifica") sembra invece approfittarne, giocando un ruolo di potere proprio grazie a questo sapere esclusivo, di cui si considera e si autoproclama depositaria.

Le compromissioni degli scienziati con il potere politico e militare vengono da lontano. Senza scomodare Archimede e la difesa di Siracusa, la Rivoluzione Francese del 1789 stabilì un coinvolgimento diretto degli scienziati, che da un lato si rifletté nell'esecuzione di Lavoisier in quanto formalmente compromesso con la vecchia aristocrazia, e dall'altro nella creazione di moderne istituzioni scientifiche funzionali al nuovo regime, per culminare nella mobilitazione degli scienziati francesi nella guerra contro la Grande Coalizione, in cui in particolare Lazare Carnot, padre di Sadi, giocò il ruolo di coordinatore e venne chiamato "artefice della vittoria". Un notevole salto qualitativo si registrò nella Germania Guglielmina, quando in particolare i chimici, premi Nobel Fritz Haber e Walther Nernst realizzarono gli aggressivi chimici, usati nella Prima Guerra Mondiale (il nostro regime fece poi anche di peggio in Africa).

Non intendo ovviamente scrivere una storia dei rapporti tra scienza e guerra. Voglio invece concentrarmi su un *case study*, quello degli armamenti nucleari, per seguirne l'evoluzione nel dopoguerra e cercare di enucleare le novità nel coinvolgimento degli scienziati¹. Fin dagli inizi la realizzazione di questi ordigni derivò da scoperte di fisica fondamentale, e il Progetto Manhattan segnò un profondo punto di svolta, non solo perché concentrò migliaia di scienziati e tecnici di molteplici campi a lavorare su un unico progetto *diretto e controllato dai militari*, ma perché segnò un enorme salto anche per la ricerca fondamentale, inaugurando quella che è poi stata chiamata la *Big Science*. Su questi aspetti è stato scritto molto: il mio scopo è piuttosto quello di impostare un'analisi, sia pure per grandi linee, di quello che è successo dopo. Ma parlando del coinvolgimento militare degli scienziati non si può tralasciare di ricordare, sia pure sinteticamente, quei pochi esempi tra loro che lo rifiutarono consapevolmente e apertamente. Franco Rasetti, uno dei più brillanti "Ragazzi di Via Panisperna", fece la scelta di rifiutare fin dall'inizio le ricerche sulla bomba e l'uso militare delle conoscenze scientifiche²: più tardi egli espresse esplicitamente le proprie critiche allo sviluppo di queste armi, e abbandonò la fisica per settori di ricerca naturalistici. Il secondo esempio è quello di Joseph Rotblatt, che abbandonò il Progetto Manhattan quando si rese conto che si intendeva usare la bomba, è poi stato insignito del premio Nobel per la Pace nel cinquantenario di Hiroshima e, malgrado la tarda età, continua a battersi per il disarmo nucleare.

1 Ho elaborato le basi di questa analisi durante la redazione del mio recente saggio: *A Volte Ritornano: Il Nucleare. La Proliferazione Nucleare Ieri, Oggi e Soprattutto Domani*, Jaca Book, 2005.

2 D. Oullet, *Franco Rasetti, Physicien et Naturaliste (Il a Dit Non à la Bombe)*, Quebec, Guerin, 2000. G. Battimelli, "Rasetti tra neutroni e trilobiti", *Sapere*, agosto 2001, pp. 22-25; "Era un ragazzo di Via Panisperna", *Lettera Matematica*, 42, pp. 15-21 (2002). V. Cioci, "Storia e confronto tra diverse posizioni di fisici contro la bomba atomica", XXIV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, 3-6 giugno 2004.

2. L'operazione attuata dopo la fine della guerra.³

Voglio anticipare, per chiarezza, i punti della mia analisi: il punto centrale di quanto è avvenuto nel dopoguerra si può riassumere a mio avviso nei seguenti termini. L'arruolamento della comunità scientifica per lavorare su un unico progetto finalizzato sotto il controllo diretto dei militari fu una misura di emergenza, ma non poteva durare a lungo, per molte ragioni (non ultima la conclamata "libertà della ricerca" da parte degli scienziati). D'altra parte, però, il Pentagono non poteva permettersi di perdere la preziosa e insostituibile cooperazione della corporazione scientifica, e qualche forma di controllo sulla sua attività: era necessario, per forza di cose, mettere a punto una strategia diversa e cambiare i termini del problema. L'operazione che è stata compiuta è stata a mio parere molto abile, astuta e lungimirante, come cercherò di spiegare. Tuttavia, sempre a mio parere, il Pentagono trovava nella corporazione scientifica una strada in larga misura aperta, anche se avesse scelto una strategia diversa per controllarla ed utilizzare il suo prezioso contributo.

Questo perché, in termini generali, quella che io chiamo la "corporazione" scientifica ha sviluppato storicamente un rapporto complesso con il potere: non di pura subalternità, o di servilismo, piuttosto un rapporto che io chiamo di *complicità*, nel quale, in sostanza, gli scienziati hanno fornito alla classe e agli interessi dominanti il loro sapere e la loro professionalità, ricevendo in cambio uno *status* sociale privilegiato. L'analisi dettagliata di questi aspetti sarebbe lunga e complessa⁴. L'affermazione che le idee dominanti sono quelle della classe dominante è a mio avviso vera, ma richiederebbe specificazioni importanti nel caso delle scienze della natura. In estrema sintesi, l'elaborazione scientifica è un processo di produzione che deve essere esaminato come tale, nel contesto economico e sociale storicamente determinato. Lo scienziato è un uomo del suo tempo, che opera in condizioni storicamente determinate, in senso complessivo, cioè materialmente, economicamente, socialmente, culturalmente. La scienza moderna occidentale, rigorosa e formalizzata, si è sviluppata con la rivoluzione industriale ed ha sussunto, a parte rare eccezioni, lo spirito e le finalità del capitalismo⁵. Così la corporazione scientifica ha contribuito in modo determinante al processo di accumulazione, alle innovazioni capaci di valorizzare le risorse e di massimizzare il profitto, la produttività e lo sfruttamento della forza lavoro. Il suo ruolo è risultato particolarmente importante ed efficace nei momenti di crisi e di cambiamenti economici e sociali, quando l'innovazione ha contribuito in modo determinante a trasformare la struttura, ad uscire dai colli di bottiglia e a superare le difficoltà: la corporazione scientifica ha sempre saputo, e voluto, elaborare proposte, conoscenze e tecniche funzionali a questi scopi; un esempio molto significativo, su cui ritornerò nella Sez. 12, è stato il ruolo della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica per consentire al capitalismo negli anni '30 e nel dopoguerra di rinnovarsi, superando con l'innovazione continua le difficoltà esplose con particolare gravità con la crisi del 1929, ed aprendo la strada alle trasformazioni che ci hanno portato al neoliberismo.

³ Voglio fare fin dall'inizio un'osservazione. Cercherò di evitare il più possibile (a meno di citazioni da altre fonti) l'aggettivo "americano" riferito agli Stati Uniti: in tutti gli altri paesi del Continente Americano nessuno sarebbe d'accordo con tale terminologia, che forse si può far risalire alla "Dottrina Monroe" ("L'America agli americani" era un gioco di parole perverso, in cui "America" si riferiva all'intero Continente, mentre "americani" significava appunto gli statunitensi!). Le parole non sono neutre, e riflettono anche la nostra sudditanza introiettata ideologicamente: anche nell'uso degli acronimi, quali NATO o Aids, che in italiano non significano nulla, e negli altri paesi latino sono correttamente OTAN e Sida.

⁴ A. Baracca, "Rivoluzione scientifica e controllo sociale, *Giano*, 37, pp. 151-159 (gennaio-aprile 2001). Uno sviluppo sistematico di queste idee si trova in A. Baracca e A. Rossi, *Marxismo e Scienze Naturali*, Bari, Dedalo, 1976.

⁵ Altre società, con una diversa struttura economica e in diverso ordinamento, non ebbero la necessità di sviluppare una scienza di questo tipo (si veda ad esempio la monumentale opera di Needham su *Scienza e Società in Cina*; ma il discorso vale anche in altri casi). Questa constatazione non implica un giudizio di valore, o di superiorità di una cultura rispetto a un'altra: oggi da più parti si appezzano i vantaggi di concezioni e pratiche scientifiche che si basavano su criteri di equilibrio ed armonia con la natura, anziché di modificazione e di sfruttamento.

Ritornando agli armamenti nucleari, terminata l'emergenza della guerra, non era concepibile che si potesse mantenere quel livello di mobilitazione della corporazione scientifica, e tanto meno sotto il controllo diretto dei militari. La manovra che si è sviluppata ha avuto molti aspetti.

Da un lato è stato creato un settore di ricerca specifico in campo militare: una fetta considerevole della corporazione scientifica è stata quindi portata a lavorare professionalmente su problemi e progetti di diretto interesse militare, coperti dal più stretto segreto (meraviglia che coloro che, sinceramente o strumentalmente, sbraitano per la "libertà" di ricerca non facciano una piega davanti a questa scelta, che realmente contraddice lo spirito scientifico, e non solo la sua retorica), in grandi laboratori (Los Alamos, 1942; Sandia, 1945; Lawrence Livermore, 1952; più molti altri minori⁶): a questo settore e a queste istituzioni si connettono direttamente, in un rapporto sinergico (nonché di colossali interessi economici), le grandi industrie che ricercano e producono in campo militare ed i loro laboratori. Questo insieme è ormai noto come il "*Complesso Militare-Industriale*".

Ma questa era forse, vista a posteriori, la scelta più naturale e prevedibile, anche se ha costituito un grande salto qualitativo e quantitativo rispetto al passato. Meno prevedibile, e molto più astuto, era quello che è stato fatto con il resto della corporazione scientifica, e, ciliegina sulla torta, perfino con la comunità scientifica al di fuori degli Stati Uniti. In sintesi, mentre gran parte degli scienziati ritornavano a lavorare nei laboratori delle università e delle Foundations (come la Carnegie, la Research Corporation, la Rockefeller Foundation, ed altre⁷), l'intero comparto della fisica nucleare e delle discipline che le erano collegate o che ne derivavano acquisiva (con la complicità diretta della corporazione scientifica, alla quale tale scelta andava benissimo e che *complicemente* contribuiva a promuoverla) uno *statuto internazionale nuovo e peculiare*, nel quale si sviluppava un ampio spazio di ricerca fondamentale, formalmente libera, il cui scopo ufficiale era quello di studiare e svelare le leggi ultime della natura, ma che era fertile di ricadute potenziali future, anche militari, che una volta mature sarebbero state inglobate nuovamente nella zona del segreto. Vedremo che questi erano esattamente i termini con cui si esprimeva il Dipartimento di Stato degli Stati Uniti. Del resto, come è possibile che i fisici della alte energie, per fare un esempio, non si siano mai chiesti perché mai le loro ricerche, le loro gigantesche macchine, i loro laboratori siano stati finanziati così generosamente dai governi? La loro pretesa genialità, le scoperte appassionanti, il progresso della conoscenza non basterebbero, se non rendessero in termini concreti. In gergo si direbbe: "O ci sono, o ci fanno"! Del resto fu una doccia fredda quando il Governo Federale negli anni '80 decise di stringere i cordoni della borsa, bocciando il progetto dell'ennesimo mega-acceleratore.

Che la ricerca per *produrre* risultati nuovi e validi, anche in termini applicativi ed economici, dovesse essere *libera* non era del resto una scoperta nuova: già agli inizi del secolo la General Electric aveva istituito un'ampia libertà di ricerca fondamentale nei suoi laboratori, ed aveva ottenuto risultati di enorme portata per la sua innovazione industriale⁸ (Irvin Langmuir vi eseguì le ricerche che gli valsero il premio Nobel, 1932). Molti dei progressi fondamentali della fisica dello stato solido avvennero nei laboratori della Bell Telephone⁹.

Questa "libera" ricerca aveva inoltre un ulteriore grande vantaggio, al quale ho già accennato: poteva cioè essere sviluppata anche in paesi stranieri, i quali potevano così fornire importanti

6 V. ad esempio la Scheda 2.1 del mio saggio citato in nota 1, pp. 102-104 (www.brook.edu/fp/projects/nucwcost/sites.htm).

7 R. W. Seidel, "L'evoluzione della politica scientifica delle Fondazioni filantropiche negli USA fra le due guerre mondiali: il caso delle scienze fisiche", in AA. VV., *La Ristrutturazione delle scienze tra le Due Guerre Mondiali*, Vol. 2, pp. 55-78, Roma, La Goliardica, 1985.

8 G. Wise, "The science-technology spiral: innovation of science and technology in General Electric Research, 1909-1955", 1977 Annual Meeting of History of Science Society, Dallas, Texas, 28 dicembre 1977. Kendall Birr, *Pioneering in Industrial Research*, Washington, DC, 1957. R. W. Seidel,

9 V. ad esempio L. H. Hoddeson, "The emergence of basic research in the Bell Telephone System 1875-1915", *Technology and Culture*, 3, 22, 512; "The roots of solid-state research at Bell Labs", *Physics Today*, marzo 1977, pp. 23-30.

apporti, senza avere però la possibilità di inglobare in tempo i risultati nella zona delle applicazioni militari. Per ottenere questo risultato era realmente necessario che questa ricerca fosse aperta e libera (in apparenza, naturalmente, dal momento che per molto tempo le “mode” e le “tendenze” hanno imitato quelle lanciate dagli Usa) e che l’intero comparto assumesse questo statuto internazionale.

Ho cercato di anticipare i termini della mia analisi per evitare che il lettore rischi di perdere il filo del mio ragionamento. Vediamo ora come si è sviluppata concretamente questa storia, almeno al livello a cui sono riuscito a ricostruirla. E alla fine commenterò brevemente come, sempre secondo me, la situazione stia ulteriormente cambiando negli ultimi anni.

3. Un nuovo rapporto del Governo Federale con la corporazione scientifica statunitense.

A guerra finita gli scienziati che avevano realizzato la bomba nel più ferreo segreto ritornarono alle rispettive università, per riprendere un’attività di ricerca scientifica almeno formalmente libera. Per quanto riguardava le bombe nucleari, si sviluppò negli Usa un dibattito sul regime da adottare: sotto controllo militare oppure libero, coperto da segreto oppure sotto un controllo internazionale; mentre Truman inaugurava la diplomazia nucleare ed innescava i meccanismi della Guerra Fredda¹⁰.

Per quanto riguarda la ricerca, mentre si andava formando la struttura dei grandi laboratori di ricerca militare a cui abbiamo accennato, cambiava il rapporto diretto dell’*establishment* statunitense almeno con una parte degli scienziati che non lavoravano in quei laboratori.

Da un lato i più autorevoli tra di loro vennero coinvolti come *consiglieri scientifici*, o chiamati a far parte di *Commissioni* (vi era stato un primo precedente, non brillante, quando Oppenheimer, Fermi, Lawrence e Compton, come membri di una sotto-commissione scientifica chiamata nella primavera del 1945 ad esprimersi sull’uso della bomba, conclusero, con il solito pretesto di “salvare vite americane”: “Non vediamo nessuna alternativa accettabile all’impiego militare diretto”).

D’altro lato, però, si sviluppò un secondo livello di coinvolgimento, meno diretto e appariscente ma estremamente significativo. Gli scienziati vengono considerati infatti, aldilà delle loro competenze specifiche, dotati di un’impostazione mentale generale e sistematica che si rivela particolarmente idonea anche per affrontare, al di fuori del loro campo, problemi strategici e decisioni relative alla sicurezza nazionale. Per assicurare che il governo federale non perdesse l’apporto del talento degli scienziati, venne stabilito un rapporto ufficiale di consulenza con gli scienziati di primo piano. Nel 1959 venne creata, per iniziativa di un insieme di autorevoli scienziati e consulenti del governo degli Stati Uniti, un gruppo semi-permanente di esperti, che teneva riunioni periodiche di studio¹¹: esso fu chiamato “*Divisione Jason*”, dal nome del mitico eroe greco Giasone all’avventurosa caccia del vello d’oro con gli Argonauti. Si tratta di un gruppo elitario di una cinquantina di scienziati eminenti, tra i quali vari Premi Nobel, che si incontra ad ogni estate per alcune settimane per esaminare liberamente problemi legati alla sicurezza, alla difesa e al controllo degli armamenti posti dal Pentagono, dal Dipartimento dell’Energia o da altre agenzie federali, e forniscono rapporti dettagliati che rimangono in gran parte *classified* e spesso influenzano direttamente la politica nazionale. La Divisione Jason assunse un ruolo di primo piano con il Segretario alla Difesa Robert McNamara durante la guerra del Vietnam, quando completò tre studi particolarmente importanti, che influenzarono le concezioni e la strategia statunitensi: sull’efficacia dei bombardamenti strategici per tagliare le vie di rifornimento dei Vietcong, sulla costruzione di una barriera elettronica attraverso il Vietnam, e sulle armi nucleari tattiche.

La partecipazione alla Divisione Jason mantiene un basso profilo, anche per la segretezza dei lavori; non esiste un elenco ufficiale completo dei membri, e questi raramente citano questo loro impegno nei loro rapporti e curricula. Inizialmente vi era una preponderanza di fisici, tutti maschi:

10 Questi aspetti e gli sviluppi successivi degli armamenti nucleari sono discussi in dettaglio nel mio saggio citato in nota 1, soprattutto i Capp. 1, 3.

11 D. Shapley, “Jason division: defense consultants who are also professors attached”, *Science*, 2 febbraio 1973, pp. 459-462, 505; B. Vitale, *The War Physicists*, Napoli, Liguori, 1976, p. 379.

successivamente è aumentato il numero di biologi, chimici, ingegneri, esperti di computer e di altre branche, e circa il 10 % è ora composto da donne. Dopo la guerra del Vietnam il ruolo della Divisione Jason sembrava essere passato in secondo piano, ma proprio negli ultimi anni sta nuovamente giocando un ruolo rilevante nei programmi nucleari, come vedremo nella Sez. 10.

4. Lo statuto internazionale delle ricerche nella fisica del nucleo e delle alte energie.

Ma, come ho anticipato, vi è stato un ulteriore aspetto degli sviluppi post-bellici della ricerca che ha giocato un ruolo fondamentale e, con la sua evoluzione successiva, probabilmente costituisce oggi uno dei fattori principali che alimenta la nuova corsa alle armi nucleari: *l'istituzionalizzazione e lo statuto internazionale assunti dal comparto di ricerca che comprende la fisica delle alte energie, la fusione nucleare controllata, ed altri settori a questo collegati*. (Voglio precisare che parlo di questo settore perché è quello di cui mi sono specificamente occupato: non intendo in questa sede stabilire confronti con altri settori che conosco molto meno).

Con l'imponente mole di lavoro svolto durante la guerra nello studio del nucleo e nelle sue applicazioni, sebbene esso fosse stato finalizzato ad aspetti molto specifici (a mio avviso manca ancora uno studio sistematico che chiarisca come la polarizzazione sugli aspetti energetici e le applicazioni militari abbia profondamente condizionato non solo gli indirizzi di ricerca, ma anche il quadro interpretativo della fisica del nucleo¹²), questo settore risultava meno attraente e stimolante rispetto ad altri che si andavano aprendo (scoperta di nuove particelle, sviluppo degli acceleratori di particelle), e sui quali non gravavano particolari condizionamenti.

Questo era tanto più vero fuori dagli Stati Uniti. Mentre infatti la fisica del nucleo era praticamente monopolizzata dalle potenze nucleari militari (e in gran parte coperta da segreto), le nuove ricerche erano ancora largamente accessibili a paesi minori, dotati di risorse economiche, materiali e umane più limitate. Subito dopo la guerra venne eseguito nell'Italia semi distrutta, con mezzi modestissimi, un esperimento sui raggi cosmici che costituì una pietra miliare in tutto lo sviluppo successivo di questa branca¹³; altre ricerche fondamentali vennero eseguite, anche se con impostazione diversa, nel Giappone sconfitto.

La *Big Science*, insomma, non si era ancora definitivamente imposta nella fisica, e la maggior parte dei settori si basava ancora, soprattutto fuori dagli Usa, su piccoli gruppi di ricerca dotati di mezzi modesti: le scoperte più interessanti venivano fatte ancora (anche se non per molto) studiando i raggi cosmici, e solo gradualmente vennero soppiantate da esperimenti eseguiti con grandi acceleratori di particelle in grandi centri di ricerca.

Vi erano quindi nuovi problemi fisici molto attraenti, sui quali per di più non vi era un monopolio assoluto delle grandi potenze vincitrici della guerra, né l'ipoteca diretta dei militari, ma erano possibili contributi e sviluppi fondamentali da parte di paesi sconfitti, relativamente piccoli e marginali. Non si trattava solo della fisica delle particelle elementari e dei raggi cosmici, ma dell'elettronica, dell'ottica, ecc.: branche in parte collegate tra loro e non prive di implicazioni importanti sia industriali che militari, anche se meno dirette e immediate. Questa situazione poneva per l'*establishment* degli Stati Uniti un problema duplice: la prospettiva allettante della possibile utilizzazione di un potenziale scientifico quantitativamente marginale (ma non sempre: si pensi

¹² L'analisi era stata impostata in A. Baracca e S. Bergia, *La Spirale delle Alte Energie*, Milano, Bompiani, 1976: quell'analisi riguardava però la fisica delle alte energie più che la fisica del nucleo; inoltre ritengo che essa, pur rimanendo valida, sia datata e non risponda più alla situazione di questo settore come si è evoluta negli ultimi 30 anni.

¹³ Nel 1947 tre giovani fisici italiani Conversi, Pancini e Piccioni, a Roma, eseguirono un esperimento fondamentale, nel quale mostrarono che il mesone scoperto da Anderson presentava un'interazione troppo debole per potere essere identificato con il mesone responsabile dell'interazione nucleare ipotizzato da Yukawa. Nello stesso anno l'enigma cominciò a chiarirsi quando Powell e Occhialini (altro fisico italiano, fuoriuscito nel ventennio fascista) scoprirono sempre nei raggi cosmici una nuova particella, di massa simile a quella del muone, ma dotata di interazione forte, chiamata poi mesone- π (o pione).

all'insieme dei paesi europei), ma qualitativamente non indifferente, garantendosi però un controllo su questi sviluppi, e soprattutto sulle possibili implicazioni militari future.

Una delle branche più fiorenti che si svilupparono fu la *fisica delle alte energie*. Negli anni '50 lo sviluppo degli acceleratori di particelle acquistò ulteriore impeto: si costruirono acceleratori nuovi (sincrociclotroni, sincrotroni) di energia, dimensioni e costi crescenti (nell'immediato dopoguerra Lawrence ricevette dal generale Groves, direttore del Progetto Manhattan e di Los Alamos, uno stanziamento di 170.000 dollari per la costruzione del sincrociclotrone). Poco a poco la fisica dei raggi cosmici divenne la "parente povera" della fisica dei grandi acceleratori e dei grandi centri. Dietro questa scelta vi erano anche interessi precisi, poiché lo sviluppo di qualsiasi ricerca scientifica implicava, allora ancora più di oggi, una totale dipendenza tecnologica dagli Stati Uniti (basti pensare all'acquisto delle apparecchiature, mentre i miglioramenti e i progressi tecnici che si facevano potevano essere utilizzati solo dall'industria statunitense). Ma a ben vedere questa non era la motivazione più importante: vi erano, come vedremo, ragioni ed interessi più sottili.

Ben presto si avviarono anche le ricerche volte a realizzare la *fusione nucleare controllata* (dopo la sua applicazione incontrollata nella bomba H) che, come vedremo, assunse anch'essa lo statuto di ricerca di tipo fondamentale e libera a livello internazionale, pur avendo pesanti, e probabilmente prioritarie, implicazioni militari.

L'insieme di questi fattori – la polarizzazione delle ricerche in fisica nucleare, i promettenti progressi in altre branche più o meno collegate e apparentemente più fondamentali, o prive di implicazioni militari immediate o dirette, la possibilità di contributi importanti con mezzi modesti e in paesi marginali – andò delineando in queste branche nuove un quadro che, precisandosi ulteriormente negli anni seguenti, configurò un nuovo e particolare statuto internazionale di questi settori di ricerca. Questo, come vedremo, aprì nuovi margini di manovra rispetto alla corporazione scientifica. Da un lato quest'ultima (o meglio, insistiamo nuovamente, quella parte che non lavorava direttamente su progetti militari) recuperò l'ideologia della libertà di ricerca, disinteressata, dedicata a scoprire le leggi fondamentali della natura: la maggior parte degli scienziati ne è profondamente convinta (che tutti siano in buona fede è dubbio, per lo meno nei gradi gerarchici più alti: del resto ... non c'è miglior sordo di chi non vuole sentire) e reagisce in malo modo se vengono sollevati dubbi sulle finalità e le ricadute del suo lavoro. Di fatto, questi scienziati hanno tratto enormi benefici da queste scelte e da questo statuto, che per decenni hanno garantito loro uno *status* sociale privilegiato, un grande prestigio ed una pioggia di finanziamenti. Ho un vivo ricordo dei congressi della SIF e di altre occasioni negli anni '60 e '70, in cui i fisici italiani dello stato solido protestavano energicamente contro le sperequazioni nei confronti della fisica delle alte energie: la scelta di privilegiare questo settore di ricerca in termini di finanziamenti, strutture, personale era, a ben vedere, molto miope per un paese in via di sviluppo rispetto a settori con ricadute tecnologiche e produttive molto più dirette, ed è difficilmente spiegabile se non in termini di una fortissima influenza, ideologica e materiale, da parte degli Stati Uniti. Questi ultimi riuscirono a condizionare anche le scelte di sviluppo della ricerca scientifica nell'Unione Sovietica e nei paesi socialisti, i quali pure incentivarono la fisica delle alte energie¹⁴.

D'altro lato, questa scelta (appoggiata e promossa appunto dal governo degli Stati Uniti in primo luogo, e poi da tutti gli altri, con la generosità dei finanziamenti) ha consentito alle autorità politiche, economiche e militari di stabilire forme di controllo meno vistose, più *soft*, meno immediate ma più lungimiranti, sugli sviluppi scientifici più promettenti e fecondi; e di estendere anche alla corporazione scientifica internazionale, come vedremo subito, tale controllo, che non avrebbe ovviamente potuto venire esercitato in modo diretto.

Queste scelte costituiscono oggi un elemento tutt'altro che indifferente per i problemi della proliferazione nucleare, e più in generale delle ricerche e degli sviluppi militari.

14 Anche se non ha avuto un grande valore e un grande impatto sul piano generale, voglio richiamare la scelta ponderata e consapevole dei cubani di non sviluppare la fisica delle alte energie, ma la fisica dello stato solido: v. la mia relazione a questo convegno, *Cuba, caso unico di sviluppo di un sistema scientifico avanzato in un paese sottosviluppato*.

5. La politica scientifica internazionale degli Stati Uniti: la nascita del CERN di Ginevra.

Vediamo subito come queste scelte si siano estese, secondo un progetto preciso, ad altri paesi, in primo luogo all'Europa, che era la propaggine più diretta degli Usa, sia come mercato da incentivare e colonizzare, sia come barriera anti-sovietica ed area geostrategica¹⁵. Il Piano Marshall non fu certo un atto di generosità (che è quanto di più lontano dalla logica di Washington), ma un calcolo preciso e lungimirante ispirato da queste esigenze. Oggi, mentre ci troviamo in una gravissima impasse della cosiddetta Unione Europea, che sconta il prezzo di non avere mai perseguito una vera unione politica e sociale, dobbiamo riflettere su quegli anni del dopoguerra. Non è stato solo in occasione del recente allargamento della UE a Est che gli Stati Uniti hanno esercitato un pesante condizionamento: fin dai primi passi essi hanno contribuito in modo determinante ad impedire passi politici sostanziali nell'unione europea, facendo leva sulle contraddizioni della nostra classe politica. Il primo grande scacco della nascente integrazione europea riguardò proprio le politiche di difesa. Dopo l'istituzione della Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio nel 1951 venne avanzata la prima proposta apertamente politica, la creazione nel 1952 della Comunità Europea di Difesa (CED), che offriva l'occasione per avviare un'integrazione europea che avrebbe avuto conseguenze politiche di enorme portata (aldilà, naturalmente, di valutazioni nel merito). La sua definitiva bocciatura da parte del Parlamento francese nel 1954 derivò proprio dai timori per il riarmo della Repubblica Federale Tedesca, alla quale Washington voleva dare la bomba atomica¹⁶: con il risultato che, per gli interessi nordamericani, quest'ultima ottenne il diritto autonomo a riarmarsi e fu ammessa nella NATO (meglio OTAN, v. nota 3).

Un capitolo di importanza non marginale di questa politica riguardò gli aspetti legati alla ricerca scientifica. Come abbiamo anticipato, per gli Stati Uniti, mentre lanciavano il programma dell'Atomo per la Pace (Sez. 6), diveniva molto importante anche potere utilizzare per i loro fini il potenziale scientifico esistente nei paesi alleati. Per questo era necessario che le ricerche si svolgessero in campi liberi da qualsiasi vincolo di segreto, e che non dessero accesso a conoscenze di interesse militare diretto. Si trattava cioè di favorire o sostenere lo sviluppo di campi di ricerca che fossero in qualche modo "vicini" alle ricerche militari, ma che fornissero conoscenze e capacità che solo gli Stati Uniti fossero poi in grado di trasferire nel campo militare. Tutto ciò emerge molto esplicitamente da documenti ufficiali statunitensi che sono trapelati più tardi.

Nel 1949 il sottosegretario di stato J. E. Webb nominò una commissione di consiglieri politici e scientifici per studiare la politica estera degli USA in materia scientifica. Nel documento finale della commissione si legge tra l'altro:

La sicurezza degli USA, e quella dei popoli liberi con la quale si identifica la nostra propria sicurezza, dipende da una politica nazionale che tenga correttamente conto del potere della scienza. Un forte potenziale intellettuale, non importa in quale paese si trovi, può produrre delle idee creatrici fondamentali importanti per il nostro benessere e la nostra sicurezza nazionale. È chiaro che tali idee dovranno essere integrate rapidamente e continuamente nel nostro pensiero scientifico. In nessuna circostanza dobbiamo venire sorpresi per avere mancato di riconoscere o per avere sottovalutato un'idea o un qualche progresso scientifico vitale per il nostro avvenire. Gli avvenimenti degli anni passati mostrano purtroppo che noi potremmo subire un'altra Pearl Harbour, che ci potrebbe derivare dal progresso della scienza se noi lasciamo semplicemente le cose al caso¹⁷. [...] La scienza fondamentale è

15 L'esempio del CERN è eclatante, ma si può ricordare che anche nei paesi dell'America Latina le scelte di ricerca e di sviluppo seguirono quelle della fisica nucleare e delle alte energie, che non ebbero quindi sensibili ricadute sullo sviluppo sociale e produttivo.

16 Per le complesse complicità classe politica ed economica degli Stati Uniti con la Germania, fin dai tempi del nazismo e durante e dopo la guerra, consiglio vivamente la lettura dell'efficacissimo, agile ed avvincente saggio di Jacques R. Pauwels, *Il Mito della Guerra Buona*, Datanews, 2003.

17 Non voglio perdere l'occasione per ricordare che mezzo secolo dopo Pearl Harbour (malgrado alcune commissioni d'inchiesta inconcludenti precedenti) l'esame dei documenti declassificati ha dimostrato in

la base di tutte le tecnologie; le idee che escono dai laboratori oggi prenderanno forma domani nelle mani dei tecnici. Qualsiasi programma serio di assistenza tecnica deve ammettere questo fatto. L'aiuto alla scienza fondamentale è giustificato dalla garanzia che la tecnologia del futuro avrà uno stock di idee nuove a cui appoggiarsi.¹⁸

Ma le ricerche che investono la sfera della sicurezza nazionale sono coperte da segreto. La via per superare questa difficoltà veniva indicata nel 1952 da M. H. D. Smith, membro dell'Atomic Energy Commission (AEC), il quale si riferiva significativamente proprio alla fisica delle alte energie:

Per fortuna ci sono certi campi di lavoro della AEC dove il segreto può e deve essere dimenticato. Ci sono dei domini della ricerca scientifica fondamentale dove la possibilità di un'utilizzazione militare immediata è troppo piccola al confronto della necessità di una ricerca molto spinta e aperta. La fisica delle alte energie è un tale dominio. La conoscenza che acquisiremo a partire dagli studi in questo campo di attività ci può aiutare alla fine a fabbricare armi migliori, ma possiamo stare certi che ciò avverrà in tempi molto lunghi. L'aiuto che riceveremo sarà talmente indiretto da poter essere trasferito nella zona del segreto senza estendere tale zona.

Insomma, il fatto che questa fisica non abbia implicazioni militari dirette, si traduce in un interesse militare differito. Si delineò così un obiettivo ambizioso della politica scientifica statunitense: quello di promuovere, o incoraggiare, la formazione di grandi organismi scientifici multinazionali europei, senza alcun carico diretto per il bilancio nazionale.

Nel giugno del 1950 il fisico americano Rabi iniziò il primo passo concreto verso la creazione di tale laboratorio intereuropeo. Quale membro della delegazione degli Stati Uniti, egli era presente alla conferenza dell'UNESCO che si teneva quell'anno a Firenze. Parlando ufficialmente a nome degli Stati Uniti¹⁹ sollecitò l'UNESCO a usare i suoi buoni uffici per impiantare un laboratorio di fisica (egli aveva in mente la fisica delle alte energie) con mezzi che potessero essere superiori a quelli a disposizione di ogni singola nazione europea e che potessero essere confrontati con quelli degli USA a Brookhaven e Berkeley. Questo fu un passo importante perché in tal modo il progetto ebbe il sostegno del prestigio e dell'influenza della scienza americana. Nel corso della discussione avutasi a quell'epoca Rabi mise l'accento sull'opportunità di non avere al CERN nessun reattore nucleare²⁰, dal momento che essi hanno applicazioni sia militari che commerciali; e infatti non ce n'è nessuno. [...] Il primo direttore, scelto nel 1954, fu il prof. Felix Bloch, dell'Università di Stanford (USA).²¹

modo inequivocabile che Roosevelt fece di tutto per provocare quell'attacco giapponese, fino al punto di destituire un ammiraglio e di indebolire la flotta, per avere il pretesto per rovesciare il sentimento dominante nell'opinione pubblica contrario all'entrata in guerra: si veda il ponderoso studio di Robert B. Stinness, *Il Giorno dell'Inganno*, Milano, Il Saggiatore, 2001.

18 Il rapporto fu pubblicato nel 1950 con il titolo "Science and foreign affairs" (pubblicazione 3860 del Dipartimento di Stato): le notizie che qui riportiamo furono in parte rese note nel maggio 1953 da un articolo apparso su *La Nouvelle Critique*, "Un plan USA de mainmise sur la science", e sono riprese nel saggio citato di Angelo Baracca e Silvio Bergia, *La Spirale delle Alte Energie*, pp. 35 e segg.

19 La risoluzione che propose e fu approvata era stata autorizzata dal Dipartimento di Stato degli Stati Uniti.

20 In effetti molti europei si erano illusi, avendo interpretato la sua proposta come un laboratorio che avesse sia un acceleratore per la fisica delle alte energie, sia un reattore per la fisica nucleare delle basse energie: ma Rabi chiarì esplicitamente i limiti della proposta statunitense (mascherandola con l'argomento che la presenza di un reattore di potenza implicava degli interessi che avrebbero minato la collaborazione europea). È un aspetto da sottolineare, perché gli Stati Uniti intendevano salvaguardare il proprio monopolio nucleare, che di lì a qualche anno avrebbero incominciato a sfruttare commercialmente, mentre gli europei erano del tutto subalterni alla volontà americana.

21 J. Bernstein, *Project Physics Reader*, Vol. 6, p. 71. Una ricostruzione recente basata su documenti declassificati è in John Krige, "I. Rabi and the birth of CERN", *Physics Today*, Vol. 57, settembre 2004, p. 44 (<http://www.physicstoday.org/vol-57/iss-9/p44.html>).

In questo contesto nasceva così, con la benedizione degli Stati Uniti, la prima grande impresa scientifica intereuropea a cui partecipavano numerosi paesi²². Gli obiettivi politici di Washington si riflettevano nelle strutture e nella vita del CERN: per essere assunti si doveva firmare una dichiarazione di non appartenere a partiti politici e un impegno a non svolgere attività politica né all'interno, né all'esterno del centro.

È noto che il CERN rivaleggia e spesso ha sopravanzato i centri di ricerca statunitensi, e si fregia del vanto di fare solo ricerca pura e di non occuparsi di ricerche militari. Ma questa affermazione può essere contestata. Come vedremo, la linea di demarcazione tra applicazioni "civili" e "militari" è sempre più indefinita e le tecnologie *dual use* proliferano, anche se si cerca di mantenerle strettamente nascoste. Ma sembra certo che si possa parlare anche di applicazioni, o ricadute militari dirette. Una ventina di anni fa venne pubblicato uno studio molto circostanziato delle implicazioni applicative, ed anche militari, anche dirette, delle ricerche svolte al CERN²³: acceleratori capaci di produrre plutonio, armi a fasci di particelle, sistemi tele-informatici per la trasmissione di un grande numero di dati via satellite, ricerche sulla fusione nucleare; per alcune attività vi sono stati contatti diretti con Los Alamos.

Si può osservare, inoltre, che questo statuto internazionale, libero e aperto, della ricerca scientifica forniva agli Stati Uniti anche uno strumento per condizionare e conoscere le capacità tecnico scientifiche della comunità scientifica sovietica.

6. La campagna dell'*Atomo per la Pace* e il supermercato del nucleare "civile" e della proliferazione

Nel frattempo si ebbe un ulteriore atto di enorme impatto della politica scientifica ed industriale internazionale statunitense: la campagna dell'*Atomo per la Pace*, lanciata nel 1953 da Eisenhower, e promossa dall'enorme conferenza di Ginevra del 1955 (25.000 partecipanti). Non discuteremo qui le caratteristiche di questa campagna²⁴. Ci interessa sottolineare che non si trattò affatto di un magnanimo programma per fornire energia pulita ed economica al resto del mondo (occidentale): questa era l'ideologia, come non potrebbe riflettere meglio la retorica usata del 1954 da Lewis Strauss, direttore dell'AEC:

Non è troppo aspettarsi che i nostri figli usufruiranno di energia elettrica troppo economica per venire misurata, avranno notizia di carestie regionali periodiche solo come fatti storici, viaggeranno senza sforzi sui mari e nell'aria con pericoli minimi e a grandi velocità, ed avranno una durata della vita molto più lunga della nostra. Questa è la predizione di un'era di pace.²⁵

L'*Atomo per la Pace* aveva ben altri obiettivi, molto concreti: si tenga presente che, dopo un'acutizzazione della Guerra Fredda (1948-49, blocco di Berlino; 1949, istituzione dell'OTAN; 1950, guerra di Corea, in cui il generale McArthur chiese ripetutamente un ricorso massiccio alle bombe nucleari, e non ottenendolo, ricorse al *napalm*, un nuovo terribile ed inumano esplosivo che al momento dell'armistizio del 1953 aveva mietuto più di un milione di vittime e raso praticamente al suolo tutte le città della Corea del Nord), alla metà degli anni '50 si era aperta una fase di distensione tra i due blocchi. In questo contesto i principali obiettivi della campagna si possono così riassumere:

22 Per la storia del CERN si vedano: A. Hermann, J. Krige, D. Pestre, U. Mersits (eds.), *History of CERN*, North Holland, Amsterdam, 1987; J. Krige e D. Pestre, in P. Galison, B. Hevly (eds.), *Big Science: the Growth of Large-Scale Research*, Stanford University Press, Stanford, CA, 1992.

23 Jacques Grinevald, André Gsponer, Lucile Hanouz, Pierre Lehmann, *La Quadrature du CERN*, Losanna, Editions d'en bas, 1984. Ritourneremo su queste applicazioni militari nel Cap. 9. Oltre al libro citato bisogna ricordare anche quello di Robert Jungk, *Die Grosse Maschine: Auf dem Weg in eine andere Welt*, Goldmann Verlag, 1966: il libro ha avuto una riedizione nel 1986, in cui l'autore in una Postfazione sottolinea che era stato inizialmente convinto che il CERN fosse un laboratorio di ricerca pura, ma di essersi poi convinto delle sue implicazioni militari; la Postfazione è disponibile in francese in : <http://cui.unige.ch/isi/phys/Jungk-postface.html>.

24 Si vedano ad esempio il Cap. 3 del mio saggio citato in nota 1 e le referenze citate.

25 P. R. Lavoy, "The enduring effects of Atoms for Peace", *Arms Control Today*, dicembre 2003.

- Commercializzare massicciamente i reattori nucleari, ammortizzando e mettendo a frutto gli enormi investimenti nei reattori militari, per la produzione di plutonio, e per la propulsione navale, da cui derivarono direttamente i reattori commerciali: era la manifestazione del complesso militare-industriale. Anche in questo caso, come per il CERN, erano i singoli paesi che dovevano investire finanze proprie, ancorché fornite in parte o incentivate dagli aiuti statunitensi (gli “aiuti” finiscono sempre nel paese che li elargisce, con gli interessi!); proliferarono infatti ovunque, anche in paesi che navigavano su un mare di petrolio, ambiziosi e più o meno velleitari programmi elettronucleari, che erano praticamente fotocopie di quelli diffusi dal governo e dalle sezioni di affari delle ambasciate degli Usa²⁶.

- Dimostrare la superiorità della tecnologia statunitense e del mondo occidentale.

- Promuovere la formazione di settori specifici di ricerca e di istituzioni nei vari paesi: questo obiettivo faceva parte, ancora una volta, dello statuto internazionale che si veniva definendo per tutto questo comparto di ricerca, anche se in questo particolare settore il confine tra usi civili e militari era e rimane molto più ambiguo, come è ampiamente dimostrato dal Sudafrica, dall'India, dal Pakistan, dall'Iran, dalla Corea del Nord (e del Sud, ma anche da molti altri paesi).

- *Last but not least* – anzi, proprio grazie al punto precedente – gli Stati Uniti promossero realmente illusioni di potere accedere agli armamenti nucleari, usandole spudoratamente come strumenti per attirare i paesi nella loro orbita. Come conclude uno studio specifico:

È legittimo chiedersi se l'Atomo per la Pace abbia accelerato la proliferazione aiutando alcune nazioni a realizzare arsenali più avanzati prima di come sarebbe altrimenti avvenuto: la giuria si è posta a lungo questa domanda, e la risposta è sì. [...] Il mondo ha pagato un prezzo per l'immediata accettazione euforica dell'Atomo per la Pace, quando la diffusione della tecnologia nucleare non fu accompagnata da un'adeguata considerazione dei rischi di proliferazione.²⁷

Una ricostruzione sistematica dei torbidi “affari nucleari” di Washington conclude che:

Così, la logica infernale della dissuasione nucleare conduceva gli Americani a dotare l'India della bomba atomica perché non fosse minacciata dalla Cina; a fornire un'arma nucleare al Pakistan perché si proteggesse dall'Afghanistan; a rafforzare il potenziale nucleare della Cina perché non fosse aggredita dai sovietici; a fornire la bomba atomica a Taiwan per bilanciare la potenza della Cina; a fornirla al Giappone per proteggerlo dalla Cina, dalla Corea del Sud e dalla Corea del Nord; a fornirla alla Corea del Sud per metterla al riparo dalla Corea del Nord.²⁸

7. Le ricerche sulla fusione nucleare controllata.

Parallelamente allo sviluppo impetuoso della fisica delle alte energie ed al programma dell'Atomo per la Pace avvenivano sviluppi non meno importanti in altri settori di ricerca di base, come l'elettronica, l'ottica (ad esempio i laser), l'optoelettronica.

Molto importante fu il settore della *fusione nucleare controllata*, sul quale prevalgono purtroppo profonde mistificazioni. Il suo scopo *ufficiale* sarebbe infatti la futura realizzazione di reattori a fusione per produrre energia elettrica in quantità praticamente illimitata, sfruttando il deuterio contenuto nell'acqua degli oceani. Le ricerche in questa direzione iniziarono molto presto, alla fine degli anni '40. Sir George Thomson sviluppò addirittura un brevetto per un reattore a fusione. Ma

26 Per fare un esempio poco noto, anche a Cuba venne presentata nel 1956 con grande pompa un programma-“fotocopia” di introduzione dell'energia elettronucleare, che naturalmente finì in nulla.

27 L. Weiss, "Atoms for Peace", *Bulletin of the Atomic Scientists*, n. 59-6 (novembre-dicembre 2003).

28 D. Lorentz, *Affaires Nucleaires*, Paris, Les Arènes, 2002, pp. 169-70.

da oltre 50 anni ci viene ripetuto, ogni volta, che la realizzazione della fusione è questione di... 10 anni, che vengono invariabilmente disattesi ma puntualmente riconfermati. Per fare solo un esempio, quasi 20 anni fa uno dei maggiori specialisti dichiarava:

La fusione non è un sogno. E per arrivarci non occorrono né tanto tempo né tanti soldi. [...] È vero che al reattore [...] non ci siamo ancora, ma la teoria necessaria è già scritta e pubblicata, ormai da sette-otto anni. Dobbiamo costruire la macchina che la sperimenti. E non dobbiamo aspettare il Duemila: mi bastano cinque anni e 100 miliardi di lire.²⁹

Intanto anche questo campo di ricerca, così “promettente”, assunse uno statuto internazionale simile a quello della fisica delle alte energie, con l'impegno di molti paesi (USA, URSS, Gran Bretagna, Giappone, Francia, Germania, Italia, ecc.) e, dopo il lancio dell'Atomo per la Pace, con collaborazioni internazionali volte a realizzare macchine per la fusione sempre più grandi, complesse e costose. Oggi nessuno si fa onestamente illusioni che la produzione controllata di energia da fusione possa realizzarsi prima della metà del secolo! Ma allora, perché si sono investiti, e si investono tanti soldi? A ben vedere, anche se la stragrande maggioranza dei fisici e dei tecnici impegnati nel settore insorgerebbero contro questa “illazione” (e probabilmente in buona fede), è assai probabile che esso abbia dato e stia dando risultati e prospettive interessanti per le applicazioni militari. Basta ricordare come veniva commentata, ai suoi inizi, la nuova via per la fusione tramite laser da una delle più autorevoli riviste scientifiche, *Science*: si noti, soprattutto, come già 30 anni fa si citava tra i suoi obiettivi quello di aggirare preventivamente un futuro trattato di messa al bando totale dei test nucleari, che avrebbe tardato ancora ben due decenni! Profetica e illuminante, comunque, la dichiarazione esplicita che la fusione non avrebbe dato risultati per la produzione di energia entro la fine del secolo scorso!

Per quasi 20 anni gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica hanno professato interesse a sottoscrivere un trattato per la messa al bando totale dei test nucleari. Ma se le due superpotenze arriveranno eventualmente ad un accordo su una messa al bando totale globale, una tecnologia importante e in rapida evoluzione può, in modi rilevanti, aiutare entrambe le parti ad aggirarlo.

La nuova tecnologia è la fusione mediante laser, una tecnica per generare esplosioni nucleari in miniatura colpendo *pellets* [sferette] di idrogeno con impulsi laser convergenti di enorme potenza. Negli anni recenti la fusione laser è stata ampiamente acclamata, sia dalla stampa che da coloro che la sviluppano nei laboratori nazionali, come una potenziale scorciatoia verso uno degli obiettivi fondamentali della ricerca nucleare, energia elettrica a basso costo dalla fusione termonucleare. Anche se non vi sono dubbi sulla sincerità di queste speranze, non viene capito in generale che l'obiettivo pratico immediato del programma del governo di 68 milioni di dollari per la ricerca e sviluppo della fusione laser è di trovare una tecnica di laboratorio per simulare esplosioni di testate nucleari. Vi è anzi un corpo di opinioni – per quanto in generale non condivise dai laboratori nazionali – che sostiene che la simulazione delle armi può essere l'unica applicazione pratica della fusione laser in questo secolo.

Secondo le autorità nel campo degli armamenti, la fusione laser promette miglioramenti di ‘ordini di grandezza’ rispetto ai metodi attuali di simulazione per due scopi distinti ma correlati. In primo luogo, impulsi di radiazione da ‘microesplosioni’ grandi ma controllate innescate da laser potrebbero essere estremamente utili per testare gli effetti delle radiazioni delle testate su satelliti, testate ed altri apparati pieni di elettronica delicata.

Forse più importante dal punto di vista del controllo degli armamenti, gli esperti di armamenti si aspettano che la fusione laser diventi uno strumento sperimentale straordinariamente utile per studiare la ‘fisica delle testate’ fondamentale e, unitamente a codici di simulazione elettronica sempre più raffinati, per sviluppare nuovi progetti di armi.

[...] Pertanto, abbastanza letteralmente, la fusione laser sta emergendo come un nuovo metodo per portare i test nucleari al coperto [*indoors*], una prospettiva che sembra assolutamente attraente nel contesto di un trattato di messa al bando.

29 Intervista a Bruno Coppi (specialista nel campo della fusione nucleare) di Maurizio Ricci, “Sto creando una specie di sole”, in *Duemila Fisica*, supplemento al n. 285 de *La Repubblica*, 3 dicembre 1986, p. 76.

Il maggior generale Edward B. Giller, capo della sicurezza nazionale nell'Amministrazione per la Ricerca e lo Sviluppo dell'Energia, ha detto in una recente conversazione: 'La gente va dicendo che questo è un programma energetico, ma [...] in realtà questo è ed è sempre stato un programma militare'.

[...] Nessuno sembra essere in disaccordo sul fatto che la simulazione delle armi sarà la prima applicazione della fusione laser; le opinioni si dividono se questa sarà l'ultima.³⁰

L'articolo si dilungava nella parte finale nell'analisi dei possibili aspetti della fusione laser di interesse per la simulazione delle armi nucleari, che non riportiamo perché a distanza di 30 anni le prospettive sono in parte cambiate, diventando però le implicazioni ancora più dirette.

Più recentemente è stato osservato per quanto riguarda direttamente l'attuale programma statunitense della *National Ignition Facility* (NIF), per ottenere la fusione per confinamento inerziale con 142 laser:

La rilevanza della NIF per la scienza delle armi nucleari è che gli stati della materia prodotti, ed i processi fisici coinvolti, sono simili a quelli che governano il comportamento delle testate nucleari. Ne risulta che i programmi per i computer usati nella ricerca sulla fusione per sconfinamento inerziale hanno molto in comune con quelli usati nella progettazione delle armi nucleari. I più potenti tra questi sono quindi segreti [*classified*], almeno per quanto riguarda i tre laboratori statunitensi per le armi nucleari.³¹

Per quanto riguarda specificamente il programma di ricerca sulla fusione nucleare al *Livermore Laboratory*, "aspetti significativi degli esperimenti e dei modelli rimasero *classified* perché l'informazione aveva potenziale rilevanza per le armi nucleari, oltre che per lo sviluppo di una fonte commerciale di energia"³², e il *Department of Energy* (DoE) decise una decina di anni fa di declassificare alcuni aspetti per il motivo che ricercatori di altri paesi stavano pubblicando risultati che duplicavano quelli del Livermore (ecco l'effetto dello statuto internazionale di queste ricerche). L'articolo si concludeva osservando che molte di queste ricerche erano destinate ad anticipare appunto la costruzione del grande impianto di fusione inerziale di nuova generazione, cioè proprio la NIF, che fin dal progetto iniziale "avrebbe sostenuto non solo studi per la generazione di energia, ma anche lavoro legato con l'affidabilità delle armi nucleari. Un gruppo di protestatari dell'area del Livermore sono intervenuti contro l'impianto perché potrebbe consentire anche la progettazione di armi nucleari nuove"³³.

8. Alcune ricadute

Dopo avere discusso queste premesse, non seguiremo in dettaglio gli sviluppi di questi campi, e faremo un salto di qualche decennio per verificare le effettive ricadute di queste scelte e la situazione attuale. Ma vale la pena, per dare concretezza a questa ricostruzione, citare qualche esempio. Il ruolo della corporazione scientifica si vide in modo eclatante, ad esempio, nel 1983 nel progetto della *Strategic Defense Initiative* (SDI, le famose "Guerre Stellari"): Reagan non avrebbe certo potuto inventarselo se non ci fosse stata la lobby scientifica del complesso militare-industriale ad elaborare questo progetto, che fosse concretamente realizzabile o meno. Che cosa potrebbe illustrare meglio quel rapporto di *complicità* della corporazione scientifica di cui parlavo all'inizio?

Le implicazioni dello statuto assunto da questi settori di ricerca emergono chiaramente per i progetti legati alla fusione nucleare. Abbiamo accennato alla NIF. La Francia sviluppa un progetto analogo, *Mégajoule*, in cui i laser che dovrebbero provocare il sconfinamento inerziale sono addirittura 240: mi sembra molto significativo il fatto che il *Commissariat à l'Énergie Atomique*

30 Robert Gillette, "Laser fusion: an energy option, but weapons simulation is first", *Science*, vol. 188 (4 aprile 1975), pp. 30-34.

31 Ray E. Kidder, "Problems with the stockpile stewardship", *Nature*, Vol. 386, 17 aprile 1997, p. 646.

32 Barbara Goss Levi, "Veil of secrecy is lifted from parts of Livermore's laser fusion program", *Physics Today*, september 1994, pp. 17-19.

33 Ibidem.

svolge un'opera di "seduzione" tra la corporazione scientifica vantando che questa struttura sarà dedicata *in parte* a ricerche civili³⁴. L'evento più recente è stato il successo della Francia, dopo un lunghissimo braccio di ferro con il Giappone, nell'aggiudicarsi il progetto del nuovo reattore a fusione ITER: pochi hanno commentato le implicazioni e gli interessi militari del costoso progetto, difficilmente spiegabile altrimenti, visto che la sua realizzazione richiederà 8 anni e in ogni caso l'eventuale sfruttamento dell'energia da fusione non tarderà meno di vari decenni, mentre il picco della produzione di petrolio incombe con tempi ben più brevi.

9. Dopo il 1990: le nuove frontiere della proliferazione

Il crollo dell'Urss e la fine della Guerra Fredda aprirono grandi speranze che le armi nucleari fossero divenute obsolete e che la loro pur graduale eliminazione fosse ormai solo questione di tempo. Ma alla fine del decennio queste speranze si erano dileguate e la situazione si presentava in modo molto diverso, come è stato drammaticamente confermato dal fallimento della VII Conferenza di Revisione del Trattato di Non Proliferazione del maggio 2005, e in particolare dall'atteggiamento cinico e sprezzante tenuto dagli Usa, i quali hanno preteso di cancellare gli impegni di disarmo assunti negli anni precedenti. Washington è passata dichiaratamente da una linea di "non-proliferazione" ad una di *controproliferazione*, sostenendo di non potere ottemperare agli obblighi di disarmo (riconosciuti come tali anche da un parere della Corte Internazionale di Giustizia del 1996) finché non verrà impedito in modo assoluto ad altri paesi di dotarsi di armi nucleari. Ma l'Iran e la Corea del Nord non sono altro che pretesti evidenti per non eliminare le armi nucleari (9.000 testate non servono certo contro questi paesi!): le funzioni di controllo della proliferazione non spettano certo al gendarme mondiale, ma all'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (IAEA), che sta facendo il suo lavoro e deve essere messa nelle condizioni di farlo.

Ma il punto più grave, e purtroppo meno noto, è che gli Stati Uniti (e con essi gli altri Stati nucleari (che sia per emulazione e collaborazione, o per reazione) stanno compiendo uno sforzo enorme per riuscire a realizzare armi nucleari di concezione completamente nuova (di "Quarta Generazione"), di potenza molto piccola, che superino i limiti delle testate tradizionali (massa critica, alta radioattività residua) e possano quindi divenire armi da campo di battaglia, cancellando la fondamentale distinzione tra guerra nucleare e guerra convenzionale, senza violare i trattati esistenti. A questo proposito occorre ricordare che tutti i trattati contemplano solo armi basate sulla reazione a catena nell'uranio e nel plutonio, e diverrebbero quindi inoperanti di fronte ad armi basate su meccanismi diversi. Non è questa la sede per entrare nel merito di queste linee di ricerca, per le quali rimando all'ultimo capitolo del mio studio citato nella nota 1, e per maggiori dettagli ad uno studio di Gsponer e Hurni³⁵.

Quello che mi interessa discutere è piuttosto il fatto che in queste ricerche si riflettono le scelte che ho discusso, attuate nei decenni precedenti, in particolare lo statuto internazionale assegnato a questi campi di ricerca fondamentale. Infatti attualmente queste prospettive non si limitano, almeno potenzialmente, ai soli grandi laboratori di ricerca militare, né ai soli Stati Uniti. Esse si basano infatti su profonde compromissioni e implicazioni militari di campi di ricerca fondamentale e di tecnologie civili, ben aldilà delle potenzialità *dual use* delle tecnologie dei reattori nucleari a fissione.

Un esempio: l'antimateria

Per motivi di spazio limitiamoci a un solo esempio. Fin dagli inizi i militari vagheggiano la possibilità di utilizzare l'antimateria sia per innescare finalmente la fusione nucleare, sia per realizzare armi nucleari di tipo completamente nuovo, che non richiedano una massa critica: se si riesce a disporre di un quantitativo qualsiasi di antimateria, basta portarlo in contatto con un'uguale quantità di materia per liberare l'energia di annichilazione. Il problema di fondo consiste

34 Luc Allemand, "Mégajoule: le plus gros laser du monde", *La Recherche*, n. 360, gennaio 2003, pp. 60-67.

35 André Gsponer a Jean-Pierre Hurni, *Fourth Generation Nuclear Weapons*, Tecnical Report n. 1, INESAP (Darmstadt), settima edizione, settembre 2000, 194 pagine.

naturalmente nella possibilità di produrre quantitativo apprezzabili di antimateria e di conservarla isolata dalla materia ordinaria. Può anche darsi che questa prospettiva sia ancora avveniristica: in ogni caso i militari statunitensi sperano nella prospettiva di disporre di antiprotoni prodotti al CERN e spediti “imbottigliati” in trappole elettromagnetiche. Vi sono anche altre strade, come quella di realizzare strani “atomi” con un protone nel nucleo e un anti-protone al posto dell’elettrone esterno. Vi sono anche molte altre prospettive più complesse, forse avveniristiche, che fanno capire ulteriormente le ricadute militari della ricerca fondamentale: una di esse consisterebbe nel formare “coppie di Cooper” di antiprotoni, simili alle coppie di elettroni che nello stato superconduttivo non interagiscono con gli atomi circostanti; o nel generare con antiprotoni stati simili a quelli che gli elettroni formano nell’elio liquido. Un’ulteriore possibilità potrebbe essere offerta dal fatto, scoperto al CERN di Ginevra, che un antiprotone fermato da un nucleo di uranio genera tra 16 e 22 neutroni: questo abbasserebbe enormemente la massa critica per una reazione a catena.

Attualmente gli antiprotoni sono prodotti in tre grandi laboratori utilizzando grandi acceleratori di particelle: il CERN di Ginevra, il *Fermi National Accelerator Center* negli USA, e il laboratorio di Serpukhov in Russia. Fasci molto intensi di positroni sono prodotti al *Livermore*. Esperimenti per produrre antimateria sono programmati alla NIF. Una nuova macchina è entrata in funzione al CERN, ottimizzata per trasferire antiprotoni in una trappola: con essi numerosi esperimenti sono condotti in laboratori europei e statunitensi. Il Giappone ha avviato un ambizioso programma di ricerca sull’antimateria. I superlaser potranno probabilmente migliorare notevolmente i metodi di produzione di antimateria.

Accenno brevemente, con il beneficio di inventario, ad altre possibile, per quanto futuristiche, implicazioni della ricerca fondamentale per le applicazioni militari dell’antimateria. Le ricerche sulla alte energie indagano oggi uno stato super-eccitato della materia, un “plasma di *quarks* e gluoni”, motivandone l’interesse con l’obiettivo di riprodurre il plasma primordiale che componeva l’universo al suo nascere dopo il *Big Bang*. Ma questi studi presentano un’implicazione inevitabile (se non voluta): in questo stato della materia l’energia produce grandi quantità di coppie di particelle e antiparticelle, per cui la sua realizzazione e il suo controllo potrebbero condurre a nuovi metodi molto efficienti per produrre antimateria su grande scala.

Vorrei osservare che, per quanto futuristiche e lontane possano apparire queste prospettive per gli specialisti in questi campi, i militari sembrano non trascurare nessuna possibilità: Margherita Hack si scaglia sugli Ufo³⁶, ma sembra che i militari statunitensi nei loro laboratori nel Nevada li prendano molto più seriamente!

E se il “giocattolo” scappasse di mano?

In relazione agli sviluppi accennati in questo paragrafo, lo studio e la realizzazione di armi nucleari di concezione completamente nuova, può essere opportuno osservare che probabilmente le cose non sono andate proprio nel modo in cui erano state programmate (del resto, questo sembra accadere sistematicamente in tutte le scelte della politica estera e di potenza di Washington: basterebbero gli esempi di Saddam Hussein, dei taleban e di Bin Laden). Soprattutto oggi, infatti, i rischi di proliferazione nucleare sono legati a questo statuto internazionale che essi hanno voluto dare a questi settori di ricerca, facendo leva sulle aspirazioni e la complicità della comunità scientifica internazionale. Chi può impedire infatti a un qualsiasi paese di impegnarsi, in nome del progresso e dello sviluppo, in ricerche sulla fusione nucleare, sui super-laser, sulle nanotecnologie o sui super-computer? Chi è in grado di controllare che queste ricerche non abbiano ricadute militari? La IAEA è abilitata solo ai controlli sulle tecnologie di arricchimento dell’uranio e di separazione del plutonio. Del resto, mentre l’attenzione è puntata sulla Corea del Nord e sull’Iran (che al più sta facendo quello che il Brasile ha già fatto, senza tanto scandalo!), molto meno scalpore è stato fatto sulla rivelazione che la Corea del Sud aveva eseguito in segreto esperimenti di arricchimento

³⁶ Altro acronimo senza significato in italiano! Nei paesi di lingua spagnola si chiamano “ovni”, oggetti volanti non identificati.

dell'uranio, gli arsenali dell'India e del Pakistan dopo lo *shock* del 1998 sembrano ormai dimenticati, e nessuno si preoccupa di paesi come la Germania e il Giappone che dispongono già – proprio grazie ai meccanismi che abbiamo discusso nei paragrafi precedenti – dei materiali e del *know how* per realizzare armi nucleari in tempi brevissimi (la Germania in realtà le ha già costruite quando ha collaborato alla realizzazione dell'arsenale del Sudafrica, poi smantellato da Mandela).

10. Chi si rivede: la “Commissione Jason”! Lo *stockpile “stewardship” program*.

Proprio dopo il crollo dell'Urss, Washington ha avviato giganteschi programmi nucleari militari (realizzazione di super-computer per simulare le esplosioni delle testate, la citata NIF per la fusione nucleare, e molti altri³⁷). Non entreremo nei dettagli, ma ci soffermeremo solo su alcuni aspetti che illustrano il filo del nostro ragionamento.

In questo nuovo quadro le attività della Commissione *Jason Division* sono divenute nuovamente più visibili, quando essa ha sviluppato una serie di proposte volte nominalmente a conservare in stato efficiente l'arsenale nucleare strategico degli Stati Uniti in presenza del trattato di messa al bando dei test nucleari del 1996 (ancorché la sua ratifica sia stata bocciata dal Senato USA nel 1999, e siano quindi in regime di pura *moratoria*). I test venivano infatti utilizzati anche per verificare lo stato operativo delle testate con il passare del tempo e studiare il deterioramento dei loro componenti. La Divisione Jason ha preparato una serie di rapporti tecnici sui molteplici aspetti del problema³⁸, che hanno contribuito a configurare un programma di mantenimento dell'arsenale nucleare, lo *stockpile “stewardship” program*. Vi è però chi contesta autorevolmente la reale natura del programma e i suoi scopi. Alcuni componenti della Divisione Jason ammettono che

questo programma genererà una comprensione più profonda basata scientificamente dei processi che avvengono durante un'esplosione nucleare; questo servirà come un'appropriata sostituzione dei test nucleari sotterranei [...] Gli esperimenti continueranno sui molti componenti non nucleari dei sistemi delle testate nucleari.³⁹

Ma un altro esperto, su una non meno autorevole rivista, ammette che i costi complessivi ed alcune parti del programma sono criticabili e possono generare preoccupazioni per quanto riguarda il controllo degli armamenti:

... le nuove strutture sperimentali che non sono chiaramente necessarie per quello scopo limitato, e non possono essere giustificate come componenti necessarie di un programma a lunga scadenza che non sia legato agli armamenti [*non-weapons programme*], potrebbero avere un effetto negativo sui negoziati per il controllo degli armamenti. La Russia o la Cina, per esempio, potrebbero concludere che lo scopo di queste strutture è di fornire una maggiore capacità che essi non potrebbero riprodurre per progettare armi nucleari nuove più sofisticate, ed opporsi a queste strutture su queste basi. Questo problema è aggravato dal fatto che il Dipartimento dell'Energia non esclude la possibilità di usare queste maggiori capacità per progettare armi nucleari 'di nuova concezione' [*new-design*].⁴⁰

11. Chi ispira la necessità di nuove armi nucleari?

Il ruolo della lobby scientifica può venire ulteriormente illustrato se ci si chiede come nascono gli stimoli per i progetti di nuove armi. Infatti, se i militari possono esprimere degli orientamenti rispetto al rinnovamento degli armamenti, sono gli scienziati coloro che propongono davvero le innovazioni fondamentali, o che propongono addirittura nuove missioni che necessitino di armi

37 Si vedano i Capp. 7 e 8 del mio saggio citato nella nota 1.

38 V. ad esempio Sidney Drell, Raymond Jeanloz, Bob Peurifoy, “Maintaining a nuclear deterrent under the test ban treaty”, *Science*, Vol. 283, 19 febbraio 1999, pp. 1119-1120, nota 5.

39 Ivi, p. 1119 e nota 4.

40 Ray E. Kidder, “Problems with the stockpile stewardship”, cit. Si può vedere anche: Faustian Bargain 2000: Why the Stockpile Stewardship is Fundamentally Incompatible with the Process of Nuclear Disarmament, Western States Legal Foundation 2000, <http://www.wslweb.org/doclib.htm>.

nuove: la loro capacità di interpretare i desideri dei militari (ma anche del potere economico) garantisce il loro ruolo ed illustra i rapporti di *complicità* con il potere. Joseph Rotblat si esprime così:

Spesso la modernizzazione [delle armi nucleari] è stata dovuta non ad una reale necessità ma allo zelo di scienziati per inventare nuovi aggeggi (*gadgets*); e i militari sono di solito clienti pronti per le invenzioni dei laboratori. Lord Zuckerman, che è stato per molti anni consigliere scientifico in capo del Governo Britannico, ha espresso questo nel modo seguente: 'Nel mondo nucleare di oggi i capi militari ... di regola servono solo come canali attraverso i quali gli uomini nei laboratori trasmettono i loro punti di vista.. Perché è l'uomo nel laboratorio ... che inizialmente propone che per questa o quella ragione sarebbe utile migliorare una vecchia testata o progettarne una nuova ... È lui, il tecnico, non il comandante nel campo, colui che avvia i processi di formulazione le cosiddette necessità militari'.⁴¹

E un documento della *Federation of American Scientists* (FAS) recita:

Coloro che hanno proposto con più forza le nuove testate di piccola potenza provengono dai laboratori nazionali per le armi nucleari,⁴² a Los Alamos e Livermore. [...] in un discorso al *Nuclear Security Decisionmakers Forum*, il direttore del *Sandia Laboratori* Paul Robinson affermò: 'Gli USA senza dubbio avranno bisogno di una nuova arma nucleare [...] perché ci si rende conto che le potenze delle testate rimaste dalla Guerra Fredda sono troppo alte per soddisfare le necessità di deterrenza di un mondo multi-polare, ampiamente proliferato [...]'.⁴³ Un'interpretazione più cinica di queste affermazioni è che il personale e la direzione del laboratorio semplicemente si sentono minacciati dalle attuali restrizioni sulle loro attività, e vogliono creare una nuova missione (ed il relativo finanziamento) per rimanere operativi indefinitamente. In effetti, a partire dal 1990 con il collasso dell'Unione Sovietica e la fine della Guerra Fredda, vi furono serie discussioni sul chiudere uno dei laboratori delle bombe. [...] I laboratori per le armi nucleari sono particolarmente spaventati dal CTBT, poiché esso probabilmente li limiterà alla manutenzione delle testate già presenti nel nostro arsenale. È particolarmente difficile mantenere i giovani scienziati interessati nei programmi per gli armamenti quando il loro lavoro principale è il compito relativamente ordinario di assicurarne l'affidabilità. I laboratori desiderano la sfida di progettare nuove armi nucleari, semplicemente per l'esperienza di addestramento scientifico e tecnico che questo sforzo porterebbe. Vi è quindi una pressione tremenda per creare una nuova missione che giustifichi un nuovo programma di sviluppo.⁴⁴

Un'analisi specifica meriterebbe la corporazione scientifica russa dopo il crollo dell'URSS e con la profonda crisi economica della Russia, di cui si sa ben poco.

12. Perché oggi la crisi della ricerca?

Vorrei concludere con un breve considerazione sull'oggi. Se quanto ho detto è vero, se la corporazione scientifica risulta così utile per il potere, come si spiega la crisi che sta attraversando la ricerca non solo in casa nostra, ma a quanto pare un po' in tutto il mondo? La scienza moderna ha costituito uno dei fattori più potenti per promuovere l'accumulazione e l'economia capitaliste, tanto che ad esse è attribuibile precisamente lo sviluppo di una scienza rigorosa e quantitativa nel mondo occidentale. Che cosa cambia oggi? L'idea, molto preliminare, che mi sono fatta è la seguente.

41 Joseph Rotblat, "A nuclear-weapon-free world: a fancy or a reality" (in tedesco), in U. Albrecht, U. Beisiegel, R. Braun e W. Buckel (Eds.), *Der Griff nach dem Feuer – Die Wissenschaft 50 Jahre nach Hiroshima und Nagasaki*, Frankfurt, Peter Lang Verlag, 1995: una parte dell'articolo è stata pubblicata in inglese sul Bulletin 06 dell'INESAP ed è reperibile nel sito: <http://www.inesap.org/bulletin06/rotblat.htm>. Per inciso, penso che molti osserveranno che Lord Zuckerman si riferisce sempre agli "uomini" nei laboratori.

⁴² Vedi Scheda 2.1 cit. alla nota 6.

⁴³ Si vedano gli articoli di Paul Robinson e di Stephen Younger citati.

⁴⁴ Robert W. Nelson, "Low-yield Earth-penetrating nuclear weapons", FAS (*Federation of American Scientists*) Public Interest Report, www.fas.org/faspir/2001/v54n1/weapons.htm.

In tempi in cui la crisi morde, i meccanismi economici si inceppano, le risorse scarseggiano, la competizione di paesi emergenti (in primo luogo la Cina) incalza, e i margini di profitto si riducono, i tradizionali *servigi* della scienza *libera* non hanno più, o non hanno in molti casi, un ritorno economico immediato come un tempo. La scienza aveva costituito lo strumento privilegiato che, dopo il Grande Crollo del 1929 e la profonda crisi che ne era seguita, aveva consentito di operare la grande manovra – inaugurata dal *New Deal* rooseveltiano, ma attuata realmente nel dopoguerra, proprio grazie al grande incentivo che, come oggi, la guerra aveva fornito all'economia – di superare la vocazione autodistruttiva del capitalismo, evitando le crisi di sovrapproduzione attraverso una continua innovazione e l'allargamento delle possibilità di consumo delle classi lavoratrici; vi fu una fase di pieno impiego ed alti salari. Oggi, malgrado il ritmo dell'innovazione sia divenuto in molti campi frenetico, esso sembra solo allontanare la minaccia, ma non superarla. Anche la scienza sembra avere perduto la sua spinta propulsiva, a fronte di meccanismi più spiccioli e di ben più corto respiro, come la precarizzazione del lavoro e l'abbattimento del suo costo, con manovre come lo spostamento della produzione in paesi in cui lo sfruttamento della forza lavoro è ancora a livelli selvaggi.

Nel contesto di questi cambiamenti, che non ho certo l'ambizione di descrivere in termini esaustivi, anche il ruolo della scienza e della ricerca scientifica e tecnologica sembrano cambiare profondamente. Sembra che sia passato il tempo della ricerca *libera*: chi cerca finanziamenti per i propri programmi di ricerca sa bene che vengono richieste perentoriamente garanzie di ricadute applicative ed il concorso di finanziamenti privati, sulle cui finalità non si possono nutrire illusioni. Allo stesso modo vengono posti limiti strettissimi all'allargamento dell'organico del personale (che, almeno nel nostro paese, è destinato a contrarsi spaventosamente per l'avvicinarsi dei limiti di età del personale esistente). In altre parole, abbassare i costi e ridurre gli impegni a lungo termine sembrano oggi obiettivi ben superiori a quello dell'innovazione tecnico-scientifica.

In questo contesto rimangono ovviamente settori di ricerca per loro natura privilegiati, in primo luogo la ricerca militare, legata a quella "economia di guerra" su cui sembrano puntare le economie dei paesi "avanzati". Ma in tutti gli altri settori imperversano flessibilità e precarizzazione, che consentono un controllo più diretto ed efficace ed una riduzione dei costi.