

Energia nucleare in Italia.

Luigi Sartorio

Dip. di Fisica Teorica - Università di Torino

Settembre 2008

Riassunto

Il programma nucleare italiano è una scelta che implica l'assunzione di responsabilità sociali estese nel futuro per tempi lunghissimi: cinquant'anni includendo la costruzione degli impianti e il loro uso attivo, più una durata imprecisata, che esce dai limiti di ciò che chiamiamo tempo storico, per il controllo dei materiali radioattivi dismessi. Assumendo che questi passi siano tutti fatti, ora e nel futuro, con la massima competenza, osserviamo che tale percorso si collocherà nell'era del declino dell'economia energivora, in un mondo nel quale le strategie geopolitiche saranno certamente diverse da quelle attuali. Il programma nucleare non è la medicina per ridar vita a un vecchio malato, ma è esso stesso una concezione obsoleta. Sono ben altri i problemi da affrontare.

L'energia nucleare ha molte facce: la bellezza della fisica, la tecnologia civile, il potere militare con le anomalie della dinamica economica che da questo potere sono derivate; il tutto comprensibile solo sulla scala storica. Il progetto nucleare italiano deve essere discusso in tale contesto generale. I parametri del giudizio di tipo etico - se sia lecito imperlo - o di tipo economico - chi ci guadagna e chi paga - sono insufficienti. E' necessario raggiungere una visione un po' più profonda della realtà, se vogliamo evitare di diventare vittime di decisioni stolte prese dall'alto.

In questo saggio si propongono dei ragionamenti che si articolano fra questi tre poli concettuali.

- La scienza che è, o dovrebbe essere, patrimonio dell'umanità.
- La tecnologia che è, o tende a essere, privilegio di pochi.
- La dinamica delle nazioni che interagiscono con le risorse naturali in modi diversi, proprio a causa dell'evoluzione scientifica e tecnologica.

1.PREMESSA: interazione fra scienza e tecnologia

Esiste un profondo legame fra scienza e tecnica. Sono espressioni del linguaggio dell'uomo che devono, essere viste storicamente. Il lettore di preparazione umanistica potrà avere qualche difficoltà a capire le argomentazioni che seguono, ma è bene che sia così, perché qui non vogliamo semplificare problemi difficili illudendo il lettore. L'interazione fra scienza, tecnica e società esiste da sempre ma cambia continuamente, è essenzialmente evolutiva, irreversibile.

Prendiamo arbitrariamente come - punto di partenza il terzo secolo avanti Cristo. Il pensiero di Archimede è ben definito, espresso nel linguaggio rigoroso della matematica, comprensibile allora come oggi. Il linguaggio non ambiguo della matematica è il veicolo della progressività della conoscenza scientifica ed è limitato a poche persone dedite allo studio, invece che alla lotta per la sopravvivenza materiale. La progressività della tecnica è diversa. Al tempo di Archimede si forgiavano spade e si ferravano cavalli e si andava per mare; si usavano dunque invenzioni anch'esse ottenute in modo progressivo. Tuttavia è sensato e utile distinguere concettualmente i due tipi di invenzione. Distinzione utile ma in nessun modo assiomatica. Scienza e tecnologia si intersecano continuamente, e il bello sta proprio nell'unirle e separarle con capacità critica. Certamente i costruttori di navi a vela fenici, greci, romani anticipavano la fluidodinamica, che come scienza formale è nata fra il diciannovesimo e il ventesimo secolo; poi, nel ventunesimo secolo, la teoria formale ha aperto la strada alla fisica del plasma, il gas ionizzato, e abbiamo incominciato a capire le stelle senza dovere entrarci dentro. Il riscaldamento dei corpi solidi esposti ai raggi del Sole era noto da sempre, ma per aumentare la temperatura occorrono gli specchi convergenti di Archimede; questa è un'invenzione tecnica, utile allora come oggi. La relazione profonda tra luce e calore trova espressione formale molto più tardi

nella legge del corpo nero di Planck; e siamo nel 1900, quando si apre la porta alla fisica quantistica. Ciò che ho detto è base della cultura di un fisico. È poco comprensibile per gli altri. Capire l'elettrodinamica quantistica è per pochi, accendere la lampadina è un gesto che sanno fare tutti. È un male questa incomunicabilità all'interno della specie umana, perché essa è portatrice di macroscopici squilibri e sciagure. La conoscenza scientifica è bella e si rinnova perennemente, lo strumento invecchia insieme agli uomini che l'hanno usato per il bene e per il male. L'uomo che si dedicava all'arte, alla filosofia, alla matematica, come viveva nel passato? La sua sostentazione dipendeva da un tiranno, da un principe, da un papa, o era egli stesso un aristocratico, e dunque dipendeva dalla ricchezza della sua famiglia dotata di potere nella società, oppure era un monaco appartenente a un ordine religioso potente. Insomma il pensiero è per pochi, e la collettività sostiene questi pochi come fenomeno marginale. Li sostiene bene o male?

2. Conoscenza e opportunità

La conoscenza scientifica è un canovaccio che avanza sempre con un processo di correzione degli errori, basato sull'esperimento e appunto sul rigore del linguaggio, che a sua volta si articola e si allarga lentamente.

Le collettività umane distinte per lingua, insediamenti geografici, istituzioni consolidate oppure mutanti, si comportano al proprio interno e nelle interazioni con altre collettività non secondo la logica, ma principalmente seguendo spinte o motivazioni create dalla percezione di opportunità; in particolare, più sono pressanti tali percezioni, più rapide e meno pensate sono le decisioni. Le opportunità a loro volta sono originate dall'occasionale accesso a , strumenti tecnologici che in un certo momento offrono il vantaggio di un gruppo rispetto a un altro.

Napoleone pensa di avere un margine di vantaggio tecnologico sulle armate dello Zar di Russia e invade la Russia. I banchieri ritengono che Napoleone abbia ragione come sempre e lo finanziano. L'elaborazione del progetto dura pochi mesi; poi l'impresa va male. Si avvantaggiano a posteriori pochi uomini, non però secondo il progetto iniziale ma cogliendo altre opportunità, che le sciagure sempre portano con sé. In questo caso il riassetto delle monarchie che viene elaborato nel congresso di Vienna, 1814-1815. Hitler pensa di avere una superiorità militare sull'Unione Sovietica e che sia un'eccellente opportunità l'usarla per ottenere l'apertura di un immenso mercato continentale verso l'oriente. I 3 banchieri occidentali lo finanziano. La meditazione dura pochi mesi e l'impresa va male. Si avvantaggiano a posteriori altri uomini, e anche in questo caso con le opportunità che si creano dopo una strage. In questo secondo esempio è un riassetto di sfere d'influenza industriale che arriva fino al presente.

Il singolo essere umano che compisse tali errori non arriverebbe all'età dell'adolescenza; nella dinamica delle Nazioni tali errori si fanno ripetutamente e noi siamo qui a raccontarli. Queste osservazioni dovrebbero insegnare che non esiste un legame fra la conoscenza e le azioni collettive. Tale legame invece esiste per il singolo: è ciò che chiamiamo apprendimento, è ciò che avviene a ogni bambino e bambina, poi continua nell'adolescenza, poi nell'età adulta, fino alla morte. All'interno di ogni individuo opera la macchina del cervello che funziona bene e impara bene, o funziona male e impara male; i modi di imparare collettivi non funzionano così, la componente stocastica è maggiore. L'intelligenza dell'individuo altro non può che stare attaccata allo sviluppo del singolo. All'opposto, cosa sia l'intelligenza collettiva è un concetto fluido, forse inesistente. È impressionante scoprire attraverso lo studio della storia quale fosse il comportamento dell'aristocrazia francese nell'imminenza della rivoluzione, incapace di percepire la vicinanza della ghigliottina fino al momento degli ultimi passi sul palco del patibolo. Identica meditazione si può fare sull'aristocrazia russa, sulle gerarchie fasciste e naziste negli ultimi giorni, o nelle ultime ore, prima della fine. L'opportunità, quando appare, è stocastica e la fine dell'opportunità è anch'essa stocastica.

Connesse a tali strutture collettive della specie umana si attorcigliano le vicende della elite pensante, la quale si trova talora ben alimentata, talora, all'opposto, trascurata o ostacolata.

3. Le opportunità della tecnologia nucleare

Nel passaggio dal tempo delle monarchie assolute al tempo delle famiglie industriali, nasce il concetto di brevetto, o riconoscimento della proprietà intellettuale. Il punto di partenza è nobile: quell'uomo con il suo talento ha inventato una cosa utile, quella cosa viene sfruttata, crea denaro; ebbene l'inventore per il suo 4 talento e per lo sforzo messo nell'invenzione deve essere remunerato. Lo Stato deve essere garante di tale atto di giustizia. Molto bello. Questo non c'era al tempo delle monarchie assolute. Mozart era un genio? Sì. Sarà dunque protetto dalle cure di un monarca o di un alto prelato. E così per ogni manifestazione del genio. Molto prima di Mozart c'è un altro esempio interessantissimo. Colombo è un genio della navigazione, sa come arrivare in Cina andando verso occidente: sembra strano agli ignoranti, ma i colti sono tutti d'accordo che è un'idea ottima. La Regina Isabella è la prima a capirlo, finanzia la piccola flotta di Colombo, il quale chiede ovviamente delle ricompense. La storia delle ricompense a Colombo è contorta. Oggi i discendenti di Cristoforo Colombo sono marchesi e stanno bene. Era la Cina o non era la Cina, in ogni caso la Regina Isabella ha tratto dal viaggio di Colombo un privilegio tale da modificare la storia dell'assetto delle monarchie europee. Meno note sono le spedizioni di audaci esploratori nel Congo finanziate dal re Leopoldo I del Belgio. E così si possono raccontare tanti altri esempi classici sul tema dell'inventività del singolo e delle sue conseguenze sulla società. La fisica nucleare nasce nei primi quaranta anni del Novecento nelle università europee, come estensione del dominio della meccanica quantistica dopo i successi nella fisica atomica e molecolare. Gli attori sono quel piccolo gruppo di fisici europei i cui nomi appaiono oggi nei testi di fisica, essendo legati a esperimenti cruciali e formulazioni teoriche altrettanto cruciali, ulteriori esperimenti, -ulteriori geniali formulazioni teoriche.

Il gruppo di Fermi a Roma ottiene nel 1935 il brevetto per la descrizione teorica e la realizzazione sperimentale dell'interazione neutrone-nucleo. Questo è uno dei passi cruciali, forse il più importante, fra quelli che aprirono la porta a tutta la susseguente tecnologia nucleare, sia dei reattori che delle bombe. Il brevetto è quella cosa che acquista appetibilità opportunistica se va nelle mani di chi sa imperlo sugli altri Paesi. Il brevetto italiano non conta niente e Fermi, coi suoi collaboratori italiani Rasetti, Amaldi, Segré, Pontecorvo, chiede l'estensione del brevetto all'area degli USA nel 1953. Il risultato è esemplare e resta come insegnamento per il futuro. Il legislatore americano stabilisce che gli autori italiani avranno un premio di consolazione (ventimila dollari a testa), ma che la pretesa si ferma lì. L'energia nucleare appartiene allo Stato americano. Cosa vuoi dire che una scoperta scientifica appartiene a uno Stato e non a tutta l'umanità? La risposta a questa domanda precede la richiesta di Fermi e collaboratori di otto anni, è chiarissima e viene data il 6 agosto 1945 con il lancio della bomba atomica sulla città di Hiroshima. La decisione è presa da Truman in ventuno giorni, tanti ne passano fra Alamogordo (il sito nel New Mexico dove fu fatto il primo test nucleare) e Hiroshima, battendo di gran lunga in velocità Napoleone e Hitler.

L'era nucleare della specie umana nasce lì, con quell'atto che definisce il concetto di opportunismo nucleare e segna anche, di conseguenza, l'inizio della nuova era del concetto di proprietà intellettuale.

4. Il brevetto dopo il 1945

Truman crede di essere il signore del mondo, di avere la scienza e la tecnologia ai suoi piedi perché non sa che il pensiero e l'inventività sono tutta un'altra cosa. Infatti, come previsto dai fisici occidentali, in breve tempo i fisici russi arrivano agli stessi risultati. Il possesso del potere tecnologico si divide in due blocchi che si temono e si sorvegliano a vicenda. Dopo pochi decenni si aggiunge un terzo blocco, la Cina. Le radici del pensiero scientifico in oriente sono antiche e basta poco per farle rifiorire nei canali della ricerca avanzata. Altre Nazioni sono tenute sotto controllo o sotto sorveglianza. Un ruolo speciale

di ribelle dotato di una certa autonomia lo gioca la Francia, la quale porta avanti una propria storia di industria nucleare militare e civile. Come fanno i tra imperi a mantenere il controllo del potere e allo stesso tempo mantenere in vita la creatività dei propri scienziati di talento? È difficile, infatti, per un giovane di genio andare a lavorare in una istituzione statale o privata dove gli viene fatta firmare una liberatoria in cui si dice che rinuncia a rivalersi su ogni scoperta che farà, se essa avrà "interesse nazionale". Chi decide su questo interesse? Prima di tutto il pensare si articola nel libero dialogo con altri uomini dovunque essi siano e nel libero dialogo con la Natura, non con gli interessi della Nazione. Non ho mai incontrato un matematico che si arrovellasse su un calcolo o un teorema per nazionalismo. Poi l'ambizione competitiva è una sana e potente motivazione per l'impegno e la disciplina dello studio. La vera creatività rifiuta i finti lacci. La strategia è quella di dare incentivi con stipendi e privilegi, e per far questo si incontra un problema: chi li paga tali privilegi? È necessario creare una dinamica di produzione tecnologica che venga posta in opera sul mercato e faccia entrare denaro. Parte di questo denaro (una piccola parte, invero) verrà usata per i sopradetti incentivi. Per questo si favoriscono strutture industriali opportune, amiche e interagenti con le strategie dello Stato.

La conseguenza di questa dinamica è evidente; gradualmente scompare l'interscambio creativo di intelligenza e di mercato basato sull'operare di individui liberi, sostituiti da individui protetti da una gigantesca produzione centralizzata che si esprime con un'organizzazione della ricerca anch'essa centralizzata, statale o privata cioè nelle mani di grandi corporazioni. La corporazione viene successivamente dotata di stato giuridico di "individuo". Si definisce in tal modo un individuo mastodontico dotato di eccezionali poteri ma svincolato dai doveri.

Questo è l'equilibrio dinamico fra invenzione e potere esistente al presente. Siamo ben lontani dai monarchi che ospitavano Leonardo da Vinci pittore e inventore.

La radice di tutta questa dinamica è sempre l'opportunismo. Consideriamo il mix petrolio-nucleare per vari Paesi. Le risorse petrolifere possono essere situate sul territorio nazionale, o in colonie o ex colonie, o in Paesi nemici ovvero amici nella storia recente. Diversi Paesi possono essere venditori, autosufficienti, o compratori. Le risorse uranifere sono geograficamente distribuite in modo diverso da quelle petrolifere, e quindi la mappa di abbondanza, sufficienza, dipendenza nucleare è diversa dalla mappa del petrolio» Il petrolio viaggia per nave o oleodotto, l'uranio viaggia in un modo molto più complicato. L'arricchimento dell'uranio naturale è un processo costoso che parte nel 1943-45 in Germania, USA, Unione Sovietica dalle mani dei militari. Proprio per il suo elevato costo tale processo abortisce in Germania e funziona in America, col progetto Manhattan, più velocemente che in Unione Sovietica. Nel 7 dopoguerra l'industria di arricchimento resta ovviamente in mani militari, e il canale civile è mantenuto aperto con un complicato sistema di equilibri di rete, dove i fili da una parte sono tesi dai produttori delle bombe, e dall'altra parte dai flussi dei soldi provenienti dal canale elettronucleare civile. Vari Paesi entrano in questa rete in modi diversissimi a causa di diverse vocazioni rispetto al mix militare-civile. Per esempio Belgio e Francia hanno risorse uranifere rispettivamente nel Congo Belga e nel Niger; la Francia ha vocazione militare, il Belgio no, - e quindi si posizionano nella rete di cui sopra in modi diversi. Le competenze e i relativi brevetti, a loro volta legati alle strategie per difenderli, hanno anche storie diversissime. Tutte queste considerazioni alla fine ci permettono di capire il perché delle distribuzioni percentuali petrolio/uranio nei consumi dei vari Paesi, che a prima vista sembrano essere prive di senso.

La conclusione di queste osservazioni è che tali movimenti di interessi oggi operano su scala globale; i tra imperi sono in interazione, si sorvegliano, si interdicono, si alleano seguendo strategie opportunistiche su scale del tempo brevi, tanto più brevi quanto più forti sono le pressioni in gioco.

Che fine ha fatto il discorso su scienza e tecnica? La scienza sovrana ha accettato il ruolo di obbedienza ai dettati delle corporazioni, che sono la reincarnazione del principe, del papa, del monastero?

5. Nucleare italiano: i costi

L'Italia è quasi completamente esclusa dalla dinamica nucleare dell'impero americano. Non ha potere decisionale all'interno dell'impero e non ha, a partire dal 1945, i canali dei soldi investiti nella tecnologia e i relativi canali di ritorno del denaro. Negli affari nucleari per l'Italia esiste solo il canale del pagare.

A questo punto è necessaria una chiarificazione. In tutti gli affari nucleari, che riguardano una tecnologia arcana, non compare mai l'azione del semplice cittadino, che peraltro è il riferimento ultimo quando si parla di Pil procapite o di benessere di una Nazione. I nuclei non si vedono, non si toccano, l'uno per mille dei lettori di queste pagine saprebbe indicare quali libri leggere per capirci qualcosa, nessuno di essi ha mai avuto il permesso di entrare in una centrale nucleare funzionante, ne mai l'avrà. Ogni cittadino sa dove andare per comprare la benzina e rifornire la propria auto; gli sarà per sempre precluso, e per fortuna, il toccare una barra di combustibile nucleare. Insomma il cittadino non sa e non fa nulla direttamente. Gli affari nucleari pertanto entrano nel ciclo del Pil in un modo anomalo rispetto a ciò che sappiamo sul circolare della moneta collegata ad azioni individuali e naturali.

Dopo questa doverosa premessa ci limitiamo a poche osservazioni che dovrebbero indurre nel lettore il desiderio di approfondire il problema. Consideriamo la costruzione di una centrale elettronucleare dal momento della scelta del sito a quello dell'inizio del funzionamento. Una parte della costruzione avviene sul suolo nazionale con materiali e lavoratori (operai e tecnici) nazionali, per cui il denaro coinvolto compie ciclo ed entra nel Pil. Questi lavori implicano denaro pubblico, però il cittadino non entra nella scelta delle imprese o nella formulazione dei contratti: si fida della moralità e lungimiranza dello Stato. Ma la parte più importante della tecnologia nucleare è protetta da brevetti e l'Italia ne detiene pochi, a questo punto il denaro incomincia a fluire verso altri Paesi: si passa dal Pil italiano al Pil mondiale. A centrale costruita, il rifornimento del combustibile fa parte di una complessa gestione internazionale in cui l'Italia non è protagonista; ciò implica altre spese indirizzate all'estero. Ogni operazione connessa alla gestione delle centrali dismesse dovrà infine pagarla come spesa senza nessun beneficio, questo essendo il destino finale. La bolletta dell'energia elettrica prodotta nell'intervallo di tempo (40 anni nelle visioni più rosee) di funzionamento attivo, gli utenti italiani dovranno pagarla a quell'ente che avrà un nome e un indirizzo bancario, che sarà gestito in modi dettati dall'opportunità politica, e per la maggior parte saranno soldi indirizzati all'estero. I cittadini dovranno pagare per i servizi di distribuzione, controllo, sorveglianza tecnica e burocratica, insomma tutti quei servizi che sono connaturati a una prestazione centralizzata del tipo "da uno a molti". Quando l'erogazione di energia sarà in atto gli uomini che hanno guadagnato nella fase della costruzione non ci saranno più, o spariti per vecchiaia o gaudenti altrove. Infatti nel discutere di tali bilanci di dare e avere si devono fare i conti su tempi lunghi. Ed è bene che siano tempi lunghi; non vorremmo certo che un progetto nucleare venisse iniziato oggi sotto l'impulso di opportunità momentanee e abbandonato - per il proseguimento - in mano a incerte condizioni politiche ed economiche per i prossimi cinquant'anni. Chi garantisce la messa in atto di tale catena di assunzioni di responsabilità? Consideriamo la fase gestionale alla quale soggiaceranno i cittadini pagatori per esempio vent'anni dopo l'inizio del programma nucleare; e così via, per altri decenni, fino alla fase terminale, quando la centrale elettronucleare dovrà essere dismessa per vecchiaia. Se furono fatti degli errori di progetto e di esecuzione prima, o di gestione dopo, i futuri cittadini verseranno soldi in altri enti recettori, ma non producendo un movimento benefico di cura e di apprendimento onde non ripetere errori nel futuro. Impara chi ha fatto, non impara chi si è limitato a comprare. Dunque all'interno dell'Italia i cittadini si terranno gli inconvenienti senza neanche capire che morale trame. Infine, nel caso di incidenti gravi, alcuni di loro pagheranno per sempre.

Tutti questi soldi, dal progetto alla dismissione, escono dunque dall'Italia. In conclusione, i cittadini che pagheranno la bolletta della luce elettronucleare dove troveranno i soldi? Esistono economisti in grado

di fare previsioni su tali eventi che si -svolgeranno in un intervallo di tempo futuro di una cinquantina di anni?

Resta da capire perché taluni giornali enfatizzano il tema della convenienza del programma nucleare italiano. Sono evidentemente in atto non dichiarate pressioni del denaro operante su scala internazionale. Non sono certo pressioni dovute ai nostrani produttori di brevetti e macchinari nucleari: essi non esistono. Infatti la nascita dell'industria nucleare italiana è stata annullata al tempo del processo Ippolito (1963-64). Saggiamente Edoardo Amaldi ha pilotato la ricerca italiana nella direzione delle alte energie, nella fisica della materia e nel rivelatore di onde gravitazionali, grandi domini della scienza in cui l'Italia è eccellente. Non è stato nelle nostre università che si è continuato a lavorare sulla progettazione di frontiera dei reattori, per esempio l'idea del reattore subcritico che risale a Fermi ed è stata portata avanti a Los Alamos. Non è stato nelle nostre industrie che ci si è specializzati nella fusione dei mastodontici pentoloni pressurizzati contenenti il nocciolo del reattore (questa tecnologia è stata sviluppata in Giappone), o i tubi per vapore d'acqua ad alta temperatura e pressione che devono portare flussi di centinaia di megawatt al metro quadro. La tradizione italiana di ingegneria delle grandi turbine idrauliche, che veniva dal tempo della produzione idroelettrica, o delle turbine a vapore per le navi, è stata in piccola parte implicata in talune centrali nucleari europee, ma ha subito l'effetto del rallentamento generalizzato nella costruzione di centrali nucleari che è in atto. Infine non è in fabbriche italiane che si sono sviluppate le tecniche di arricchimento dell'uranio naturale, e questo per motivi di grande strategia politica imposta dall'America all'Italia, Paese nemico nella seconda guerra mondiale.

Parliamo di previsioni. I meteorologi sono bravi se sanno fare previsioni che valgano per la prossima settimana. I climatologi sono bravi se sanno fare previsioni che valgano per il prossimo anno, o un po' di più se si riferiscono ai grandi movimenti oceanici. Gli economisti hanno capacità predittive che vanno dall'analisi dell'andamento dei movimenti di denaro nelle Borse al movimento del denaro derivante dalle decisioni dei parlamenti. I movimenti del primo tipo sfuggono al controllo palese e possono essere fulminei, ore, giorni. I movimenti soggetti al dibattito politico implicano input decisionali e relative strategie programmatiche sulla scala del tempo di mesi o di pochi anni. Analisi e previsioni economiche su tempi di decenni sono accademiche e vanificate dal succedersi delle fluttuazioni politiche. Basta pensare al ripetersi degli errori nelle previsioni che gli economisti fanno sul prezzo del barile di petrolio per capirlo.

Ciò premesso, chi può asserire di essere in grado di valutare se sarà o no in pareggio (contributo al PIL non negativo) il programma nucleare italiano, che DEVE essere soppesato per il prossimo cinquantennio? Le osservazioni che precedono sono dunque utilizzabili per elaborare delle probabilità. Ebbene, appare molto improbabile che il programma nucleare italiano mediato sui prossimi cinquant'anni possa produrre ricchezza. Appare molto probabile che tale programma generi povertà. Quasi certamente produrrà interessanti guadagni alle corporazioni industriali che ci venderanno i loro prodotti brevettati.

Conclusione.

Dal punto di vista puramente economico il programma nucleare italiano implica un asservimento crescente alla dinamica di paesi stranieri. Dipendenza economica che ovviamente implica dipendenza politica. Questo tipo di asservimento è notorio. La Russia per il gas naturale, l'America per la ben più complessa rete di rifornimento dell'uranio. Dipendere da padroni conflittuali è un male assoluto perché implica equilibrismi multipli e paralisi della progettualità interna alla nostra Nazione. Esistono veramente benefici strabilianti tali da giustificare il volontario sottoporsi a crescenti asservimenti? Chi parla di nucleare si rende conto di tali implicazioni?

6. Nucleare italiano: i benefici

Dopo quanto detto nel paragrafo precedente il titolo di questo paragrafo è polemico. Ma c'è chi continua a parlare della necessità di energia di qualsivoglia tipo, incluso il nucleare. Alle conferenze sul programma nucleare compare il dotto professore, presentato con l'appellativo di "massimo esperto dei problemi energetici e nucleari", quale esordisce presentando le tabelle con i valori del Pil per varie nazioni associati ai valori del loro consumo energetico. Si vede che alto consumo è associato ad alto Pil e in questa classifica il campione è l'America, che quindi è la Nazione più virtuosa di tutte. La presentazione non regge ad un'analisi seria, ma è importantissima perché esprime l'ansia ancestrale che spinge l'uomo al possesso. Poi, alla virtù del consumo, si associa lo spettro del global warming; in conclusione si richiede il consenso sull'adozione del programma nucleare.

All'Escorial è mostrata la poltrona dove sedeva Filippo II da vecchio e c'è anche uno sgabello: il re era malato di gotta, curato dai suoi medici con terapie a base di eccellente vino e, poiché egli era uomo virtuoso, la sua camera da letto aveva una finestra che dava non sulla valle esterna, ma direttamente sulla navata della chiesa, cuore dell'Escorial stesso. Era uomo ricco? Sì. Mangiava tantissimo? Sì. Era l'incarnazione della virtù? Sì. Virtù ereditata dal padre imperatore Carlo V, e questo è un modo eccellente di essere virtuoso. Ma millecinquecento anni prima, a Roma, un uomo venuto dal nulla, però geniale, diventa ricchissimo: è Trimalcione. Alla sua cena descritta da Petronio, Trimalcione esibisce portate di cibo strabilianti: dai resti del suo piatto vengono alimentati decine di servi e anche i poveri che aspettano fuori; poi Trimalcione, assistito dai suoi medici, vomita e continua la cena, e l'ammirazione degli ospiti è sconfinata. Ecco la fondazione del moderno modo di esprimere il pensiero del povero che guarda e ammira il ricco. I resti del banchetto anche per me. Il banchettare e l'esibire soldi sono simboli classici della virtù.

La versione semi-scientifica di questi simboli è costituita dalle tabelle Pil-consumo. Non importa che all'interno di ciascun Paese ci siano discrepanze e instabilità; importa che qualcuno stia bene. Inoltre la virtù deve essere protetta dai felloni, ladri, terroristi, insomma dall'antivirtù. La villa di Trimalcione è tutta recintata, l'Escorial è una fortezza; la supremazia del Pil di una Nazione si esplicita nelle dimensioni degli armamenti che vengono periodicamente modernizzati ed esibiti. Ma c'è un terrorista subdolo: è il global warming che entra nelle case del privilegio con l'aria esterna e colpisce dappertutto. Ecco i due capisaldi dei filonucleari, le tabelle del Pil e della CO2. Da qui nasce il valore eccezionale dell'energia nucleare, che vanifica tutte le incertezze e le critiche dei dubbiosi. La logica filonucleare è semplice, emotiva, superficiale.

In una giornata estiva di intenso traffico di automobili, TIR, traghetti, aerei, la potenza di picco in atto in Italia può essere di un terawatt¹. Il progetto di cui si parla è di 5 o 10 centrali elettronucleari, ossia una decina di gigawatt. Quindi il picco della goduria consumista è di circa cento volte superiore alla potenza nucleare futuribile.

L'ospite scettico alla cena di Trimalcione si chiede se ciò che vede ha senso. Ebbene, è come se alla grande cena si offrisse come complemento delle portate di interi cinghiali arrosto una flebo di vitamine. Si potrebbe infine osservare che il programma nucleare non è il sostituto del petrolio, ma serve come educazione e preparazione al futuro post-fossile. Ma l'umanità che vivrà nel futuro post-fossile dovrà avere idee molto chiare sul concetto di efficienza di un sistema, complesso, e l'iniezione di energia con il nucleare, che è il sistema più inefficiente che esista, non è un buon punto di partenza. Qui occorre un inserto di nozioni fondamentali di fisica.

¹ Mega sta per 1 milione.
Giga uguale mille Mega.
Tera uguale mille Giga

7. Insetto di fisica

Nel linguaggio divulgativo, da un po' di tempo in qua, sono state introdotte le categorie di risorsa fossile a termine e di risorsa rinnovabile eterna. Sono locuzioni apparentemente chiare, ma tutto ciò che è reso semplice, se viene usato da menti semplici, presto o tardi diventa fallace. I concetti di energia, potenza, trasformazioni chimiche e nucleari, la dinamica dei flussi di potenza che esiste in Natura e quella che è realizzata negli artefatti tecnologici, sono difficili, e giocarci su con lo strumento della semplificazione è un errore micidiale. Il lettore pigro può saltare questo paragrafo, ma il lettore volenteroso sarà contento di essere guidato, nella fatica che deve affrontare, dall'ausilio di una visione organica.

Ci limitiamo a elencare pochi punti di riferimento utili per stabilire almeno un linguaggio critico dotato di un certo respiro.

Incominciamo con l'osservare che non è appropriato parlare di energia e del suo consumo annuale: si cade in tabelle astratte e per di più facendo confusione sulle unità di misura. Il conteggio in energia, come il conteggio in massa, serve per valutare i fenomeni cumulativi a termine. Tanti chilogrammi e tanti joule sono stati impiegati per fare un grattacielo, una nave, ecc. Questi joule e questi chilogrammi non tornano indietro nella dinamica naturale del pianeta. Nei secoli altro non possono fare che decadere fisicamente, ossia produrre entropia.

Talune opere cumulative hanno durata lunghissima: le piramidi, per esempio, stanno lì immobili a stimolare perennemente il nostro stupore, e ci chiediamo come mai ci siano ancora e cosa avesse in mente colui che le ha progettate, e come furono costruite.

Più saggio parlare di potenza. In tal modo si trova una unità di misura fondamentale. Infatti ogni organismo vivente, dal fiorellino I alla balena, ha una potenza propria, il metabolismo, espresso in watt. Il metabolismo non è qualsivoglia, all'opposto esprime l'esito della dinamica fondamentale di un individuo complesso. Come tale il metabolismo di un individuo può essere correlato alla sua massa, e i biologi hanno scoperto leggi allometriche che esprimono il metabolismo | di qualsivoglia organismo in funzione della sua massa, così come la durata della vita in funzione della sua massa. Ciò esiste nel mondo del vivente, ma sono note leggi simili per sistemi complessi quali le stelle. Questo è un linguaggio potente. Dunque, sia per i viventi che per le stelle, il metabolismo cresce con la massa. L'unità di misura antropomorfa è il metabolismo di un animale di settanta chili (e || questo include l'uomo), che è di 80 watt circa. Per un atleta in || allenamento il valore può essere 200 watt, per un vecchio può essere I 40, e così via. Insomma 100 watt è l'unità di misura di riferimento j appropriata.

Oltre alla potenza necessaria per vivere c'è la potenza di prestazione esterna, che è all'opposto tipicamente intermittente: valori alti per pochi secondi, poi riposo. Compare dunque la necessità di definire il concetto di potenza esterna mediata sulle 24 ore, il oppure sull'anno. Questa è di nuovo tipica, non è un valore ; arbitrario, è dell'ordine di grandezza dell'uno o due per cento del metabolismo. Per un uomo medio circa due watt, mentre un campione olimpionico negli anni di allenamento esercita una potenza esterna media maggiore. La potenza esterna è più bassa per i vegetali, più alta per gli animali carnivori.

Passiamo dal singolo organismo all'insieme di organismi. Tutti gli organismi viventi interagiscono, sia direttamente lottando oppure cooperando, sia indirettamente nel senso che attingono energia ed espellono scorie nello stesso insieme contenitore, l'ecosistema. Se si segue la morfologia interattiva della catena trofica, ossia la successione del trasporto di 'potenza a partire dai fotoni solari, i vegetali, gli erbivori, i carnivori e infine il decadimento con la morte individuale, si riesce a calcolare la potenza di tutta la biosfera, che è dell'ordine di grandezza di un centesimo della potenza del flusso solare entrante sulla Terra. La biosfera è come un maxi organismo dotato di eternità, o meglio di persistenza ottimale. Questa proprietà è percepita come armonia della biosfera.

Ma c'è qualcosa che turba questa armonia: la specie anomala. Gli organismi sono suddivisi in specie, concetto che incorpora la genetica e fa bisticciare i filosofi, ma che è utile per ragionare. Il numero dei

membri di una specie non è certo una costante, ma è frutto di complesse interazioni che terminano nello stato dinamico globale della biosfera, relativamente stabile. C'è però una specie anomala, è quella umana. La specie umana esce dalle stime allometriche per le popolazioni in due modi. Primo, cresce numericamente, cosa dimostrata dallo studio dei censimenti storici integrati con modelli matematici. Secondo, utilizza nella sua organizzazione collettiva una potenza additiva" artificiale. Tale potenza additiva è variamente distribuita nelle diverse società. Può essere utilmente distinta in due modi:

a) animali o uomini asserviti a un solo uomo,

b) strumenti che il singolo uomo controlla e che moltiplicano la sua potenza esterna naturale.

Nel caso b) c'è da scavare ulteriormente e conviene approfondire il concetto.

L'arco moltiplica la velocità di lancio della freccia perché è caricato dalla forza muscolare in un intervallo di tempo più lungo di quello del lancio stesso. È il principio della leva, una delle famose scoperte di Archimede. A voler essere rigorosi, questa non è una vera potenza additiva. La barca a vela è invece un esempio pulito, poiché fa uso di una porzione di energia cinetica del vento che l'uomo, tramite vela e timone, governa a sua scelta. Qui c'è vera addizione di potenza. A partire dalla fine del Settecento compaiono i motori termici, e in questo sottocaso di b) la sorgente di energia è la combustione. Il motore termico trasforma una piccola parte dell'energia di combustione in lavoro meccanico. Tutto ciò è capito e codificato dalla termodinamica teorica. I motori termici segnano in pochi decenni la fine delle gerarchie monarchiche assolute, sostituite dalle gerarchie industriali. Il servo è il motore, il cittadino è il consumatore dell'opera del motore. La sottomissione servile diventa la libertà" democratica. Nasce il concetto di leggi economi che del libero mercato. I motori accelerano ! le guerre del potere industriale nella ricerca di espansione della produzione e delle sorgenti di energia. C'è un intero universo nascosto sotto le tabelle nazionali del Pil pro capite e dell'energia consumata pro capite.

Il mondo dei motori forma un sistema complesso energivoro. Che sia un sistema complesso lo capiamo con questa osservazione. Tutti noi guidiamo l'automobile, viaggiamo in aeroplano, guardiamo la televisione e non sappiamo come tali macchine funzionano, ne come sono state costruite, ne come si riparano, ne cosa succede quando si buttano via. Opportune persone compiono tali servizi. L'insieme delle macchine non esiste senza i servizi a esso connessi. I servizi a loro volta costano energia e soldi, ed è in tal modo che la società consumista avanza col suo PIL e il suo consumo energetico sulla strada della complessità viziosa. Voglio sottolineare il fatto che nessuno sa come funziona il sistema complesso delle macchine. Non esiste l'uomo che sa tutto, da come è fatta una navetta spaziale, una barca a vela da regata, l'acceleratore LHC, o come funziona la metropolitana di Tokyo. Il grande insieme tecnologico funziona in un modo che sfugge alla comprensione del singolo. L'immagine rinascimentale dell'uomo di sapere universale nella società tecnologica non c'è più. Queste osservazioni servono a introdurre il concetto di efficienza per macchine singole e per sistemi complessi. Prima di tutto dobbiamo ricordare che, dato un volume delimitato da una superficie chiusa, per qualunque evento fisico che avviene in tale dominio l'energia si conserva; se ciò che avviene implica sia particelle che onde all'eventuale variazione di energia delle particelle corrisponde esattamente lo stesso ammontare di energia fluita per radiazione attraverso la superficie delimitante. Le particelle sono molecole, i atomi, nuclei con le loro tipiche interazioni distinte in gravitazionale, elettrodebole, forte. Se all'interno del dominio chiuso consideriamo una macchina che compie certe trasformazioni definite da canali diversi, ci chiediamo quale relazione ci può essere fra l'energia che entra e l'energia che esce in un determinato canale, quindi definiamo l'efficienza di uno specifico processo, fermo restando che l'energia entrante deve sempre essere uguale alla somma delle energie che vanno in tutti canali, dato che l'energia si ' conserva sempre. L'efficienza è definita come rapporto fra l'energia η uscente in un certo canale e l'energia entrante, ed è quindi un numero ; sempre minore di 1. Come detto all'inizio è più interessante riferirci i alla potenza, ossia energia trasferita nell'unità di tempo, oppure ; alla densità di potenza, ossia potenza riferita all'unità di volume, ' ρ perché nel valutare le macchine è essenziale

distinguere fra processi I veloci e processi lenti. Nei processi macroscopici compare l'energia J sotto forma di calore. Calore implica temperatura, e dal binomio | calore e temperatura viene il concetto di entropia, quella cosa che I cresce sempre. Anche qui conviene parlare di entropia generata nell'unità di tempo, in watt/kelvin. Per processi che implicano reazioni chimiche o nucleari occorre ulteriormente conteggiare le molecole, o in generale le particelle e le onde che entrano nel | processo e quelle che escono. A questo punto si è imparato a conteggiare proprio tutto e possiamo incominciare a mettere un po' di ordine.

Alle nozioni macroscopiche di termochimica occorre aggiungere la conoscenza delle interazioni fondamentali citate all'inizio. Dobbiamo scavare un po' all'interno delle interazioni fondamentali. La gravita classica è retta da equazioni dotate di questa proprietà: una massa che compie una curva o accelera, non emette radiazione. L'elettromagnetismo è retto da equazioni dotate di questa proprietà: una carica elettrica che compie una curva, o accelera, emette onde elettromagnetiche. Segue dalla proprietà fondamentale della carica elettrica totale di essere sempre zero che le correnti elettriche devono chiudersi e i campi elettromagnetici devono chiudersi nello spazio-tempo. Naturalmente vale sempre la legge di conservazione, per cui a onde elettromagnetiche emesse verso lo spazio esterno deve corrispondere una perdita di energia da parte del sistema delle cariche che generarono le onde stesse. Per finire, l'equilibrio termico fra salto quantico, radiazione emessa e radiazione assorbita, è descritto dalla legge di Planck del corpo nero, che esprime la termodinamica dei fotoni.

La gravita classica si sviluppa nel 700, l'elettromagnetismo nell'800, la meccanica quantistica all'inizio del 900. Dal confluire di queste conoscenze nella prima metà del 900 si riesce a capire il funzionamento delle macchine fondamentali esistenti in Natura: le stelle, che sono il sostegno della vita fotosintetica.

Alcuni esempi di efficienza di macchine:

- Macchine che operano fra dislivelli termici; l'efficienza è il rapporto fra lavoro in uscita e calore in entrata. Vale la legge di Carnot, efficienza $= (T_1 - T_2) / T_1 = 1 - T_2 / T_1$ dove T_1 è la parte calda e T_2 è la parte fredda. Da qui si vede che l'efficienza di una bomba H, cioè il rapporto fra la potenza in uscita dell'onda d'urto di plasma e di fotoni e la potenza in entrata della combustione rapida, cioè l'esplosione, in cui T_1 corrisponde a circa 5 MeV per particella e T_2 a una frazione di eV per particella, è vicina al valore uno².

Al polo opposto c'è l'efficienza della macchina atmosferica che opera fra i dislivelli termici delle molecole disuniformemente scaldate dai fotoni solari, e che implica salti termici $T_1 - T_2$ di pochi kelvin;

² L'elettronvolt, eV, è una unità di misura di energia. Una particella dotata di una certa energia cinetica può trovarsi in equilibrio statistico con una moltitudine di altre particelle; oppure può avere tale energia cinetica a seguito di una reazione chimica o nucleare avvenuta localmente entro un mezzo materiale esteso che incorpora tale reazione. Nel primo caso, l'equilibrio statistico, si deve parlare di energia cinetica media e nel caso del gas perfetto vale la relazione

$$e = 3kT/2 (*)$$

dove k è la costante di Boltzmann e T è la temperatura assoluta, che si misura in kelvin. Si ha dunque una relazione ben definita fra energia (in eV) e temperatura T. In particolare si ha dalla precedente formula la relazione

$$1 \text{ eV} = 7736 \text{ kelvin} (**)$$

Nel secondo caso è necessario vedere che relazione c'è tra l'energia cinetica della particella considerata e la temperatura del mezzo materiale esteso in cui tale particella risiede. Qui entrano in gioco differenze enormi. Per esempio in una bomba H il combustibile nucleare è praticamente puro, ogni particella emessa nell'atto di fusione coopera alla termodinamica del processo di esplosione e vale la relazione (*), dove e è dell'ordine di 5 MeV e T è il numero enorme che viene dalla relazione (**) scritta sopra. A tali temperature straordinarie non possono esistere atomi neutri e tantomeno molecole. All'opposto, in un reattore a fissione gli atti di fissione dei nuclei di U235 sono relativamente rari in seno alla massa ospitante/- infatti il mezzo combustibile contiene l'isotopo fissile U238 in una percentuale inferiore al dieci per cento. Ne segue che la temperatura del core del reattore è molto bassa, non vale la relazione (*). Il core del reattore è essenzialmente un produttore di entropia, cioè è una stufa nucleare invece che a legna. Come produttore di energia elettrica è dunque meno efficiente di una centrale a carbone.

è la macchina del sostentamento dei venti, l'efficienza è bassa, dell'ordine di 5/1000. Naturalmente il termine entrante, cioè il flusso solare, è grande, e anche i cinque millesimi sono un numero grande.

-Macchine che operano fra dislivelli cinetici. Una macchina idroelettrica trasforma la potenza del salto d'acqua in rotazione della dinamo e quindi in potenza elettrica ordinata, cioè senza termalizzazione, le uniche perdite essendo gli attriti meccanici e le minime fughe di potenza per emissione di onde elettromagnetiche: efficienza vicina. Il vettore è un flusso di acqua, dunque la macchina idroelettrica è un artefatto che appartiene alla grande macchina del clima, e più in particolare al ciclo dell'acqua planetaria. La fisica fondamentale sottesa è l'accoppiamento del campo della gravità (il salto d'acqua) al campo elettromagnetico (la dinamo). Questo accoppiamento non l'ha inventato la tecnica dell'uomo ma appartiene alla Natura, e infatti l'interazione fra gravità ed elettromagnetismo si manifesta in molti modi sulla scala planetaria, stellare, galattica. Gli ingegneri hanno fatto il passo tecnico antropomorfo.

- Macchina di produzione di luce visibile all'occhio umano; qui interviene la meccanica quantistica. Se l'emissione è di corpo nero l'efficienza è bassissima perché solo una piccola banda dello spettro di Planck è visibile (i fotorecettori dell'occhio rispondono a una certa banda di frequenze); si è termalizzata l'energia entrante e si è creata entropia per dispersione di radiazione. Se all'opposto si è partiti da correnti sinusoidali o salti quantici selezionati che emettono radiazione monocromatica, l'efficienza può essere alta, vicino a 1.

- Centrale elettroneucleare. E' una macchina termica, e fra queste è la più inefficiente di tutte. Si parte in entrata dall'energia cinetica altissima dell'evento di fissione, ordine del MeV per particella, si modera la reazione a catena onde scaldare il fluido operativo a una frazione di eV, poche centinaia di kelvin, e si aziona la turbina immersa nell'ambiente con un salto termico di cento o duecento kelvin, e infine c'è la dinamo che alimenta la rete elettrica in uscita. Efficienza miserabile. Le centrali elettroneucleari sono essenzialmente delle stufe a uranio.

E' interessante il confronto fra combustione nucleare e combustione chimica. Abbiamo visto che nella combustione nucleare la bomba è efficientissima, ma il motore (la centrale) no. Nella combustione chimica la temperatura di esplosione della bomba e la temperatura di esplosione nel motore (quello endotermico a pistoni delle automobili) sono approssimativamente uguali. Nella camera di scoppio dei motori si cerca di evitare l'onda di detonazione, naturalmente, poiché essa danneggia il pistone, e questo lo si ottiene non moderando la combustione ma con astuti artifici di fluidodinamica. I cari vecchi motori endotermici sono dunque molto efficienti. Da questo confronto si vede che la scienza dei motori a combustibile chimico è valida e si equipartisce le astuzie con la scienza dei bombardieri. Nel caso del combustibile nucleare si vede all'opposto che i bombardieri sono enormemente più astuti. Non per niente la vocazione dell'energia nucleare è quella militare, come mostra l'evidenza storica.

Per finire, se si usa una centrale elettroneucleare per produrre idrogeno dall'acqua per poi mettere l'idrogeno nei motori termici, si va nell'idiozia pura. Infatti la successione dei processi è: neutroni di fissione ad altissima temperatura, moderazione della stessa fino alla temperatura del bollitore, produzione di entropia come stufa nucleare, turbina con salto termico piccolo rispetto all'ambiente e quindi con bassa efficienza, energia elettrica, uso della stessa per creare idrolisi, cioè energia per particella di nuovo più elevata da cui arriva l'idrogeno, poi combustione di idrogeno e ossigeno atmosferico col salto termico tipico della termochimica nel motore dell'automobile. Bocciato in termodinamica, promosso grande manager dell'elettroneucleare.

Da questa breve analisi si vede che la fisica sa capire la connessione fra le forze fondamentali e la dinamica dei sistemi macroscopici. Partendo da gravità, elettromagnetismo e termodinamica, la fisica è in grado di definire ogni tipo di macchina e affrontare lo studio dell'efficienza corrispondente. Sa inoltre posizionare il funzionamento delle macchine nel contesto più ampio della realtà esterna, ossia la dinamica del pianeta Terra e la dinamica del sistema solare con i relativi bilanci energetici. Abbiamo capito un primo passo, quello che va dalle leggi della Natura alla realizzabilità delle macchine. Il secondo passo è quello fattuale della realizzazione. Le scelte, e le realizzazioni delle tecnologie di

frontiera storicamente sono sempre state militari. All'interno di queste scelte ci sono due estremi: le opere permanenti, le fortezze che durano secoli, e le armi che devono essere rinnovate costantemente - nascono per essere obsolete, il massimo della caducità. La tecnologia non militare segue come corollario. Il settore della tecnologia nucleare ne è il più vistoso esempio. Data l'alta energia per particella propria delle reazioni nucleari di fissione e fusione ne segue che la combustione veloce (bomba) è la più facile da realizzare. La produzione di bombe nucleari è nel periodo di tempo successivo al 1943 la più grande impresa industriale delle Nazioni tecnologicizzate. La combustione lenta per uso civile nel sottocaso fissione è stata realizzata, nel sottocaso fusione non funziona. Se consideriamo le macchine che si muovono sulla terra, che galleggiano, che volano, vediamo che sempre la tecnologia di frontiera è stata generata dall'inventività militare. Chiunque abbia avuto accesso a un museo della guerra ha avuto ampia e meticolosa dimostrazione di questo fatto. Infine, al presente, consideriamo le macchine che vedono nel piccolo e nel grande: vale la stessa priorità militare. La triangolazione satellitare che mappa ogni punto della Terra con precisione spazio-temporale estrema, figlia della meccanica quantistica (orologio atomico), ha come proposito originario la guida missilistica, dove ha moltiplicato di tre ordini di grandezza l'efficienza di puntamento dell'arsenale nucleare. Come corollario serve anche per la navigazione civile e persino per le gite in montagna. La matrice militare è correlata alla continua crescita numerica della specie umana e alla conseguente necessità di conquista. Dato che la Terra è sferica la proliferazione sta raggiungendo, o ha superato, la saturazione. Nessun'altra specie vivente ha la proprietà di occupare tutta la superficie terrestre: questo è un problema particolare dell'uomo. Nel futuro la spinta tecnologica di natura espansiva è destinata ad autoestingersi. L'unica strada verso il futuro è l'invenzione di tecnologie di coesistenza.

Il futuro è nello studio delle macchine fotochimiche di cui la fotosintesi e il fotovoltaico sono due esempi. Le macchine fluido- elettriche (ossia idriche ed eoliche) dovranno essere studiate in modo sistemico, perché entrambe attingono alla circolazione climatica. E la circolazione climatica è il sistema più complesso di tutti, noto nelle linee generali ma non ancora in modo soddisfacente.

Nota.

Eolico e idrico. Nella macchina idrica si trasforma energia potenziale in movimento rotatorio, e in acqua è riportata alla quota superiore rispetto alla quota della turbina dal ciclo climatico. Nella macchina eolica si trasforma energia di traslazione in rotazione, e l'energia di traslazione di nuovo appartiene al ciclo climatico. Ne consegue che le due tecniche sono accoppiate attraverso il maxi ciclo climatico. Come nascono i cicli in Natura? Questa è una bellissima domanda per un fisico. Tutto parte dal gioco congiunto di gravità ed elettromagnetismo: dalle accelerazioni delle cariche elettriche nascono le onde elettromagnetiche e i moti del plasma delle stelle; sulla Terra l'elettromagnetismo mette in azione le reazioni fotochimiche. L'orbita di due masse gravitazionali è stabile, anzi il sistema a due corpi è stato il prototipo per studiare il concetto matematico di stabilità. Nella dinamica del Sole le emissioni di energia e massa verso l'esterno sono proprio dovute ad accoppiamenti fra gravità e moti fluidi dotati di carica elettrica organizzati in cicli. Nel Sole la sorgente primaria è la fusione nucleare. Nel clima planetario la sorgente primaria è il flusso solare incidente. Dalla combinazione fra moto orbitale e rotazione propria della Terra nascono infine le stagioni e le periodicità che segnano il ritmo della vita. La Natura ha separato nettamente le fornaci nucleari, cioè le stelle, dai pianeti sedi della vita. Il meccanismo della fusione nucleare è abbondantissimo in Natura, le stelle appunto, mentre il meccanismo della fissione è rarissimo. Pensare di affidare il futuro dell'umanità all'arte fatto tecnologico della fissione nucleare è dunque un progetto destinato a fallire.

Tabella delle macchine calore-lavoro

Canale prescelto	Sorgente di energia	
	Reazioni chimiche	Reazioni nucleari
Calore → onda d'urto Bombe	Innesco termico Innesco meccanico	Fissione, innesco massa critica Fusione, innesco magnetotermico e inerziale
Calore → spinta Aereonautica	Funzionamento endotermico Due modalità di erogazione della spinta dei gas di combustione: <ul style="list-style-type: none"> • Razzo, con vari sottocasi di alimentazione; • Turbina(turbo jet) 	Funzionamento endotermico. Fluido attivo: ioni, fotoni. E' il razzo nucleare, prototipo.
Calore → coppia torcente Trazione Generatore elettrico	Funzionamento endotermico <ul style="list-style-type: none"> • Motore alternativo aziona ruota o elica • Turbina (turboelica) 	In questo caso il funzionamento endotermico non esiste. Né motore a pistoni né turbina nucleare.
	Funzionamento endotermico: Fluido attivo: vapore d'acqua d'acqua(la vecchia locomotiva a carbone)	Funzionamento esotermico. Fissione (fluido attivo:vapore d'acqua) Fissione (fluido attivo:gas inerte) Fusione controllata, non esiste ancora.
Calore → radiazione elettromagnetica . Emissione secondo la legge di Stefan-Boltzmann.	Ogni corpo caldo emette radiazioni.	La macchina per eccellenza è la stella La radiazione avviene alla superficie esterna. Il controllo avviene per virtù della gravità.

8. Osservazioni sull'ignoranza

La fisica nucleare è affascinante per il fisico, è argomento arcano per le persone di formazione umanistica, è terreno totalmente ignoto agli uomini che per professione si dedicano alla politica. Questo non sarebbe un gran male se la scienza e la tecnologia, non solo quella nucleare, fossero patrimonio dell'umanità. Ma non è così. Le invenzioni della tecnologia sono usate da uomini che non sanno come sono nate né che conseguenze avranno, ma sanno benissimo come fare a impadronirsene per vantaggio proprio escludendo gli altri. L'uso può avvenire in tempi brevissimi, se l'opportunità è percepita e l'attuabilità è matura. È questa percezione di opportunità che viene gestita con propositi di potere e con modalità e tempi in cui prevale il caso, non secondo un progetto del pensiero. Sono questi propositi e 24 modi le radici dei conflitti che accompagnano la storia della specie umana. Tutto l'opposto della scienza patrimonio dell'umanità. Non c'è solo la scienza usata male, c'è anche la scienza ignorata. Per esempio la fisica e la biologia stanno compiendo progressi congiunti nel capire il sistema complesso ecosfera". È scienza ignorata perché è vista come dottrina di limiti, non come sorgente di regali, quei regali che furono i giacimenti di petrolio e di minerali uraniferi e i relativi canali di movimentazione del denaro. Naturalmente sono canali che diedero all'inizio la sensazione della bonanza. Gioia temporanea. All'opposto, lo studio del sistema complesso ecosfera ci permette di capire come funziona la dinamica naturale che, è perenne, dove perenne sta per tempi dell'ordine di grandezza del miliardo di anni. Di fronte a questi problemi così affascinanti come si fa a rivolgere il pensiero su proposte che sono congetture presumibilmente valide per pochi decenni? Che triste senso di ammuffito danno i discorsi sui reattori elettronucleari.

Conclusione.

Il programma elettronucleare può essere visto in questi due modi:

- A. Procrastinazione dell'andamento consumista presente.
- B. Ponte verso il futuro non alimentato da energia fossile.

A. In questo caso il programma è inadeguato per i seguenti motivi:

- è insufficiente come quantità;
- è inadatto come tipo di prestazione essendo poco flessibile, mentre il modello consumista è proprio basato sulla richiesta variabile;
- è inadatto perché caratterizzato da tecnologia complessa e costosa, anche se non particolarmente raffinata, laddove la prima proprietà del modello consumista è l'accesso facile e relativamente semplice.

B. In questo caso il programma è inadeguato perché lega il progetto a un rifornimento rigido, dato che le risorse uranifere sono localizzate e non uniformemente distribuite, e i processi di preparazione del combustibile sono accentrati e governati in maniera intrinsecamente legata alle strategie militari su larga scala, che contengono prevaricazioni e ritorsioni: vicende nelle quali l'Italia ha ruolo di osservatore passivo. Quindi il progetto sposa una partecipazione italiana a interazioni internazionali di alto rischio.

9. Transizione o estinzione

Consideriamo un animale onnivoro allo zoo, cibato solo di croccantini al massimo di due marche diverse. Posto in libertà muore. Se l'animale è un orso di mille chili, prima di morire fa disastri. Gli zoologi conoscono esempi di specie viventi che si sono trovate ad affrontare modifiche nel loro modo di alimentazione. Specie vegetali per le quali sono cambiate le condizioni di flusso di acqua, di anidride carbonica e di fotoni; specie erbivore per le quali sono cambiate le condizioni ambientali nella distribuzione spaziale e temporale delle piante; specie carnivore che similmente hanno dovuto fronteggiare cambiamenti nella dinamica delle specie predate. Di fronte a questi si sono estinte o si sono modificate. La differenza fra le due alternative peraltro non è netta e fa discutere gli zoologi da sempre.

La storia della specie umana non riceve molto aiuto dal paragone con le vicende delle altre specie perché incorpora una caratteristica peculiare, cioè l'intervento autoprodotta degli strumenti tecnologici. Nella storia della specie umana non ha senso ragionare considerando una data del passato e ripartire da lì come se fosse la condizione iniziale modificabile in un problema deterministico. Il corso della storia è stocastico, irripetibile e non simulabile. Tuttavia è possibile cercare di imparare dagli errori del passato. Arte non certo praticata dai politici il cui ruolo è quello di rappresentare la stocasticità, come vediamo giorno dopo giorno nella comunicazione democratica. Imparare dal passato sarebbe essenziale per togliersi di dosso gli errori di uno sviluppo drogato dall'accesso alle risorse fossili. Imparare dagli errori appartiene all'individuo nell'intervallo di tempo della propria vita. Non appartiene alla collettività. L'interscambio fra gli individui che imparano e la società che compie un percorso con modalità stocastiche, rispondendo alle continue sollecitazioni della tecnica, è in gran parte misterioso. L'economista Adam Smith aveva una visione utopica, la mano invisibile che guida la specie umana nelle sue estrinsecazioni motivate dal denaro. Però Smith viveva in un periodo in cui l'interazione denaro-Natura era prevalentemente di tipo solare, dove le merci prodotte e i traffici erano connaturati alla catena trofica della biosfera. La trasformazione della specie umana dalla fase di società operosa alla fase di società parassita delle risorse fossili è posteriore, e l'insegnamento degli economisti classici non è sensatamente applicabile al presente. Il dilemma transizione o estinzione resta aperto.

10. La luce del Sole.

Alternative e futuro La fisica e la biologia hanno fatto molti progressi nella comprensione dell'interazione Sole-Terra. Poiché questa interazione contiene al suo interno la vita dell'uomo è comprensibile che il percorso scientifico, soprattutto in biologia, sia stato accidentato e inquinato

dall'intervento di dogmi e ideologie, tutte comprensibili se si segue il fluire degli eventi storici, ma in ogni caso portatrici di ostacoli.

L'ultima ideologia dominante è che il flusso dell'energia solare sia un dono della Natura all'uomo. Questo è un frutto del teocentrismo accoppiato al tecnocentrismo. Le proposte di fare centrali fotovoltaiche o eoliche che raccolgano potenze dell'ordine del terawatt provengono da questa matrice.

La specie umana è una delle tante componenti della biosfera, e la biosfera interagisce con la sfera inorganica. L'insieme è potente e armonico se visto su una scala di spazio e tempo appropriata. In questo modo si capisce che la specie umana non è destinata a sottomettere ciò che la circonda se è destinata a esistere, dato che esistere vuoi dire coesistere.

L'umanità deve imparare a vivere partendo dalla dinamica completa in cui è posizionata: le reazioni di fusione all'interno del Sole, i fenomeni della complicatissima emissione solare verso lo spazio che include il dominio occupato dalle orbite planetarie. Tutto ciò è complesso, e il funzionamento della biosfera, che dipende da tale interazione essendone un componente, è complesso.

La Terra è un pianeta portatore di vita fotosintetica, non per arbitrio divino ma in ubbidienza a fenomeni che possono realizzarsi in condizioni opportune di stazionarietà di concentrazioni chimiche, di campi gravitazionali, di flussi di particelle, e tali condizioni potrebbero ripetersi altrove nell'universo. La scienza contemporanea si sta aprendo verso questi orizzonti della conoscenza che inducono a un'umiltà verso l'ignoto. L'arroganza che fa credere l'uomo onnipotente e immortale è proprio la cosa più stupida che possa essere proposta nel tempo presente, in cui le sciagure dello sviluppo illimitato sono sempre più evidenti. Nel paragrafo 8 si osserva che i progetti nucleari non sembrano dare indicazioni sul futuro post - fossile. Nel paragrafo 9 si osserva che il linguaggio della fisica e della biologia ha già raggiunto notevoli progressi nella comprensione dei sistemi complessi; però è solo un inizio e c'è tanto da fare in questa direzione. Ogni uomo intelligente, quando osserva le stelle oltre l'orizzonte terrestre, capisce intuitivamente il concetto di finitezza congiunta ad assenza di confini. Verrà il passaggio da intuizione del singolo a conoscenza patrimonio dell'umanità?

Conclusione.

Il futuro dell'umanità dovrà essere non più come specie infestante ma come specie coesistente. A tal fine la comprensione della dinamica dell'ecosfera, che oggi è al livello di un concetto nascente, dovrà diventare conoscenza avanzata. La potenza additiva dovrà venire da reti fluido-elettriche e da reti fotochimiche. La combustione, caso particolare dei processi termochimici, dovrà essere limitata e integrata nel processo generale del funzionamento della catena trofica. Incominciamo a insegnare tutto ciò all'università.