



Management della Tecnologia e Problemi Ambientali

⇒ Angelo Bonomi, libero professionista (✉ abonomi@bluewin.ch)

Non si può certo negare l'importanza delle attività attuali di sviluppo nel campo delle tecnologie ambientali come anche attestato dal grande numero di articoli, conferenze e mostre che si tengono in questo campo. Questo sviluppo avviene in un quadro del tutto simile a quello che si ha per altri tipi di tecnologie e cioè basato principalmente su iniziative private indotte da scelte politiche dei governi e da aiuti pubblici mentre la competizione e selezione delle migliori nuove tecnologie avviene principalmente sui mercati e nel corso della loro utilizzazione industriale. Ci si può tuttavia chiedere, a fronte di uno dei più importanti problemi ambientali quale il riscaldamento della terra per l'effetto serra, se questa strategia di sviluppo tecnologico sia efficace per contrastarlo e se non vi sia, almeno in linea di principio, una strategia alternativa che potrebbe essere più efficace. L'evoluzione degli accordi internazionali su questi problemi, a partire dal Protocollo di Kyoto, ha sempre premiato interventi di natura politica, economica e ambientale e non è mai stata esaminata la possibilità di mettere la tecnologia con le sue potenzialità come cuore delle soluzioni; questo forse a causa di un certo ambientalismo che la guarda con sospetto. Il punto fondamentale a sostegno della scelta tecnologica risiede in fondo nel credere che la non economicità delle nuove tecnologie ambientali, che ne rallenta la diffusione, sia un falso problema che dipende dal fatto di non fare un sufficiente sforzo, non solo per il loro sviluppo, ma anche per cambiare il sistema ecotecnologico che le deve accogliere. In precedenti articoli su questa rivista ho già avuto occasione di trattare il rapporto tra tecnologia e ambiente su vari argomenti quali la scelta di tecnologie per lo smaltimento dei rifiuti urbani e l'importanza dell'elaborazione di scenari evolutivi per effettuare le scelte ^[1], il problema della gestione delle tecnologie ambientali e come queste possano essere in realtà più economiche di quelle convenzionali ^[2] e del rapporto tra ricerca & sviluppo e le tecnologie per l'ambiente e quanto sia delicato dare valutazioni economiche prematuramente sulle nuove tecnologie in un processo innovativo che modifica continuamente lo stato delle cose ^[3]. Vorrei concludere questa serie di articoli prendendo in considerazione la tecnologia come base per la soluzione dei problemi ambientali, come quelli del riscaldamento terrestre, con le strategie tecnologiche possibili, traendo spunti anche da osservazioni generali sul rapporto tra tecnologia e ambientalismo oggetto di una mia altra pubblicazione ^[4]. Si tratta essenzialmente di affrontare l'argomento dal punto di vista del management delle tecnologie, disciplina, poco conosciuta in Italia, che riguarda la gestione dei cambiamenti tecnologici e delle migliori strategie per affrontarli. Essa non è da confondere con la gestione della produzione o altre discipline che fanno oggetto della cosiddetta ingegneria gestionale che in generale non approfondisce temi come la ricerca & sviluppo e l'innovazione tecnologica. D'altra parte non riguarda la descrizione di nuove tecnologie esistenti o in sviluppo e le loro prospettive, ma piuttosto quale possa essere una strategia tecnologica ottimale per risolvere i problemi citati. In un primo capitolo si discutono alcuni aspetti delle controversie esistenti sul problema del riscaldamento globale che condizionano necessariamente le strate-

gie tecnologiche da considerare. In un secondo capitolo si tratta il Protocollo di Kyoto con la sua evoluzione discutendo i limiti del suo ruolo riguardo lo sviluppo di tecnologie atte a risolvere i problemi ambientali considerati, e di un'alternativa possibile a questo tipo di protocollo che prenda in considerazione direttamente le tecnologie. In un terzo e ultimo capitolo si discutono vari aspetti di una strategia tecnologica, alternativa a quella attuale, per affrontare questi problemi ambientali considerando le sorprendenti e paradossali analogie che esistono, tra questi problemi e quelli che dovettero affrontare gli Alleati durante la seconda guerra mondiale con la decisione di sviluppare ordigni nucleari, per terminare infine con qualche riflessione conclusiva sulla strategia tecnologica discussa e le sue possibilità di essere implementata.

Controversie ambientali e strategie tecnologiche

L'esame delle controversie ambientali riguardanti il problema del riscaldamento terrestre è essenziale nel determinare la scelta di strategie tecnologiche utili alla soluzione di questi problemi. Le controversie ambientali sul riscaldamento terrestre possono essere suddivise in questo modo:

- la controversia sull'esistenza o no di un effettivo riscaldamento durevole della terra;
- la controversia sull'esistenza o no di un contributo antropico per questo riscaldamento;
- l'entità del contributo antropico, se esiste, a questo riscaldamento;
- la validità delle previsioni che si possono fare sull'evoluzione del riscaldamento.

Prima di discutere la situazione di queste controversie, e trarne le conclusioni, è utile precisare cosa sia esattamente una controversia scientifica, aspetto non sempre chiaro, soprattutto per le persone che non sono coinvolte in attività scientifiche ma che comunque intervengono in discussioni su questo tema. I processi che compongono una controversia scientifica sono stati studiati ad esempio da Latour, un antropologo francese, in un suo libro dedicato allo studio delle attività scientifiche ^[5]. Una controversia si sviluppa essenzialmente attorno a un numero, generalmente elevato, di studi che sostengono punti di vista contrapposti. Spesso questi studi invece di convergere verso una soluzione della controversia ne mostrano nuovi aspetti che richiedono ulteriori studi. Poiché la scienza non è una democrazia, la controversia non si risolve sulla base dell'esistenza di una maggioranza di studi a favore di una tesi ma quando la quantità e i risultati degli studi è tale per cui la totalità o quasi dei ricercatori coinvolti nella controversia li accettano come conclusivi. Certe controversie, come quella sul riscaldamento terrestre, hanno durate piuttosto lunghe, e prima della loro conclusione vi è una situazione di incertezza che bisogna gestire a fronte di una eventuale necessità di dover comunque scegliere nell'immediato strategie tecnologiche per la soluzione dei problemi.

Prendendo ora in considerazione i punti controversi precedenti, alla luce di quanto si conosce dai voluminosi studi fatti su questi argomenti, si può concludere quanto segue: riguardo all'esistenza o meno di una fase di riscaldamento duraturo della terra vi è un gran numero di prove e studi che lo sostengono e quindi questa controversia si può considerare praticamente risolta; riguardo l'esistenza di un contributo antropico al riscaldamento vi è meno certezza, resta comunque il fatto che la quantità di gas serra emessa dalle attività antropiche è rilevante ed è quindi molto probabile che l'emissione antropica influenzi il riscaldamento; molto meno sicura è invece la stima sull'entità del contributo antropico al riscaldamento che è poi strettamente legata alle possibilità di prevedere l'evoluzione a lungo termine delle temperature terrestri. Quest'aspetto è studiato attraverso lo sviluppo di modelli del funzionamento termico della terra che portano a previsioni di variazione della temperatura nell'arco di alcune decine di anni, anche in funzione di scenari sull'evoluzione delle emissioni antropiche di gas serra. Ho già avuto modo di discutere l'affidabilità di questi modelli^[3] che non possono avere una conferma scientificamente sicura, come invece è possibile per i modelli meteorologici, non avendo evidentemente i dati sperimentali decisivi da confrontare con i risultati dei modelli e che esisteranno solo tra 20 o 30 anni. D'altra parte non si può escludere che il sistema terrestre studiato sia, come nel caso della meteorologia, a forte dipendenza delle condizioni iniziali, il che porta a un riscaldamento che è funzione del percorso termico precedente sotto l'influenza di fattori indeterminabili (effetto farfalla) che poi ne influenzano l'andamento a lungo termine. La conclusione è che non vi è nessuna certezza nelle previsioni che si possono fare sul riscaldamento terrestre a lungo termine e che la situazione può essere migliore o peggiore di quanto previsto nei modelli. Volendo trarre le conclusioni per quanto riguarda le strategie tecnologiche da adottare possiamo considerare molto prudentemente questa situazione:

- sembra accertato che siamo di fronte a un riscaldamento durevole della terra;
- sembra probabile che per questo riscaldamento vi sia un contributo antropico;
- il sistema è troppo complesso perché si possano sviluppare modelli di previsione affidabili e il livello di riscaldamento possibile della terra a lungo termine resta quindi del tutto incerto.

Queste osservazioni suggeriscono quindi le seguenti strategie tecnologiche:

- occorre sviluppare tecnologie di produzione di energia che non incidano sull'effetto serra. Questo non solo per eliminare l'emissione antropica di gas serra, il cui effetto non è facilmente quantificabile ma molto probabilmente esistente, ma anche per l'importanza che hanno queste tecnologie nel quadro della riduzione del consumo di materie prime ed emissione di inquinanti;
- occorre sviluppare tecnologie in grado di contrastare i vari e numerosi problemi che possono nascere dal riscaldamento terrestre, vista l'insicurezza che si ha sulla tempistica dello sviluppo e diffusione delle energie rinnovabili, e della loro incidenza sull'effetto serra, di fronte a una grande incertezza sull'evoluzione temporale del riscaldamento terrestre che si dovrebbe affrontare;
- non risulta invece particolarmente strategico lo sviluppo di tecnologie di captazione dei gas serra. Queste risulterebbero in un inutile costo aggiuntivo a quello della produzione convenzionale di energia a fronte di un uso alternativo di energie rinnovabili, prevedibilmente meno costose, se introdotte in un ecosistema tecnologico adatto al loro uso. Si tratta della competizione tra tecnologie convenzionali e tecnologie ambientali già discussa in un mio precedente articolo^[2].

Nella situazione attuale vi è certamente attenzione verso lo sviluppo di energie rinnovabili, e anche se in misura molto minore verso la cap-

tazione dei gas serra, mentre sembra invece che il problema delle tecnologie atte a risolvere i problemi che nascono dal riscaldamento terrestre non abbia l'attenzione che merita.

Protocollo di Kyoto e tecnologia

Il protocollo di Kyoto, adottato nel dicembre 1997, e la sua ulteriore evoluzione, rappresenta il più importante accordo sul piano internazionale nel tentativo di far fronte ai problemi dovuti al riscaldamento terrestre causato dall'effetto serra. Si tratta essenzialmente di un accordo politico, che si riferisce ai risultati dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), con risvolti di tipo economico e in modo solo indiretto per quanto riguarda le tecnologie. Esso impegna le nazioni che lo sottoscrivono a seguire un piano prefissato di riduzione delle emissioni di gas serra sulla base di risparmi energetici e sviluppo dell'uso di energie rinnovabili aiutato anche da interventi come tasse sull'emissione di gas serra e un mercato per lo scambio di diritti di emissione. Per quanto riguarda lo sviluppo di nuove tecnologie che dovrebbero affrontare i problemi del riscaldamento esse sono essenzialmente indotte da aiuti pubblici delle singole nazioni e da pressioni economiche quali le tasse sul carbonio e lo scambio di diritti di emissione. Il protocollo è stato oggetto di critiche da varie parti. Gli ambientalisti lo hanno criticato considerando il piano di riduzione delle emissioni come insufficiente per contrastare l'effetto serra. Altri paesi importanti hanno invece considerato il piano di riduzione irrealistico da un punto di vista economico nel quadro delle tecnologie disponibili e delle incertezze delle previsioni su cui si basa e non l'hanno sottoscritto. Un'altra limitazione del protocollo riguardava invece l'esclusione dal rispetto del piano da parte di importanti paesi emergenti quali la Cina e l'India che, per la loro dimensione e sviluppo, sono diventati poi i paesi a più forte emissione di gas serra anche per l'uso, in assenza di migliori tecnologie, di fonti tradizionali di energia come il carbone. Sugli scenari che collegano investimenti e aiuti pubblici con lo sviluppo e diffusione di nuove tecnologie e le loro economie sono stati sviluppati molti modelli per prevedere come i cambiamenti tecnologici possano influire sull'ambiente su larga scala e a lungo termine. In uno studio dell'OECD pubblicato nel 2002^[4] questi modelli sono stati criticati riguardo alla loro affidabilità e si sono portati alla luce elementi che indicano una reale impossibilità di fare previsioni valide in questo campo che è composto da processi di grande complessità (*non linearity*) e che dipendono fortemente dal loro percorso storico nel determinare l'evoluzione (*path dependance*). Questo studio mostra quindi l'esistenza di una grande incertezza sulla prevedibilità dei tempi in cui nuove tecnologie ambientali economicamente valide possano essere sviluppate e diffuse per contrastare i cambiamenti climatici in atto. D'altra parte non possiamo dimenticare che il problema dei cambiamenti climatici non può essere isolato da quello dei paesi in via di sviluppo ed emergenti i quali, anche semplicemente per raggiungere livelli di vita accettabili per le loro popolazioni, non possono non richiedere, viste le dimensioni in atto, che un forte aumento dei consumi energetici. Questi aumenti non possono essere certo compensati semplicemente dai risparmi, per quanto spinti, che si possono realizzare nei paesi industrializzati da cui l'essenziale necessità di nuove tecnologie energetiche per una vera soluzione dei problemi ambientali. In conclusione il Protocollo di Kyoto, e la sua attuale evoluzione, appare più un segno di buona volontà da parte dei paesi che lo sottoscrivono che una soluzione realistica di contrasto all'effetto serra. A questo punto ci si può chiedere se esiste un'alternativa più valida dell'approccio politico-economico di questo protocollo. Questa, indipendentemente da considerazioni sulla sua realizzabilità, esiste ed è quella di prendere in considerazione un approccio politico-tecnologico invece che politico-economico. Questo nuovo approccio, a differenza di quello del Protocollo di Kyoto, non prenderebbe in considerazione piani di riduzione dell'emissione di gas, ma



piuttosto la realizzazione di un grande progetto internazionale coordinato di sviluppo tecnologico per risolvere i problemi ambientali il più rapidamente possibile e in cui le riduzioni delle emissioni di gas serra non ne sarebbero che la conseguenza. Queste nuove tecnologie verrebbero sviluppate e diffuse per la loro validità economica, ottenuta anche modificando l'ecosistema tecnologico in cui operano. In altre parole la fonte di energia solare ad esempio è disponibile a costo nullo mentre altre fonti come il carbone e il petrolio hanno costi rilevanti di estrazione, ora non esiste nessuna ragione che impedisca di poter pensare di sviluppare tecnologie che sfruttano l'energia solare meno costose di quelle tradizionali. Il punto importante è quello di modificare anche l'ecosistema tecnologico, cioè quel sistema di relazioni che esiste tra le varie tecnologie e che ne influenzano tra l'altro le loro economie rispettive ¹⁹.

Protocollo politico-tecnologico e progetto ambientale

Un approccio politico-tecnologico ai problemi ambientali porterebbe quindi a un protocollo basato sulla partecipazione da parte dei paesi sottoscrittori in un grande progetto di sviluppo che non si limita alle sole energie rinnovabili ma a tutto il contesto in cui sarebbero utilizzate per inquadrarle in un nuovo ecosistema tecnologico che le renda più economiche ed ambientalmente più efficienti delle tecnologie energetiche attuali. Un progetto quindi che è alternativo alla situazione attuale di sviluppo solo indotto, non coordinato e ben lontano dal poter raggiungere rapidamente obiettivi di importanti riduzioni di emissione di gas serra. Se ora ricerchiamo per questo progetto esempi storici che ci suggeriscano con la loro esperienza i migliori metodi di approccio, è sorprendente trovare condizioni analoghe, dal punto di vista del management delle tecnologie, nel Progetto Manhattan per lo sviluppo della bomba atomica, e paradossale che un progetto considerato un pericolo per l'umanità possa invece dare suggerimenti per salvarla. Agli inizi degli anni '40 gli Alleati si trovarono di fronte al dilemma se affrontare o no lo sviluppo di un'arma risolutoria basata su principi fisici completamente nuovi e mai sfruttati prima con tutta l'incertezza tecnologica associata, a fronte di una guerra che doveva essere terminata al più presto possibile per le migliaia di vittime che ogni giorno mieteva e soprattutto per il pericolo che la stessa Germania la sviluppasse per prima risolvendo la guerra in suo favore. Segnali in questo senso erano presenti poiché i tedeschi difendevano seriamente gli impianti norvegesi di produzione di acqua pesante, utilizzabile per questo scopo, anche se le informazioni sul reale avanzamento delle loro ricerche non era disponibile. Gli Alleati, come sappiamo, decisero di affrontare il problema con il cosiddetto Progetto Manhattan per lo sviluppo della bomba atomica da realizzare il più presto possibile. Si tratta sotto certi punti di vista di una situazione analoga a quella che abbiamo attualmente a fronte di una minaccia di un disastroso cambiamento del clima accompagnato dall'incertezza sulla sua evoluzione e sulla disponibilità in tempo di tecnologie per arrestarlo o affrontarlo, da cui la necessità di svilupparle il più presto possibile. Indipendentemente dal giudizio morale che si può dare al Progetto Manhattan, esso raggiunse pienamente i suoi obiettivi attraverso una serie di decisioni efficienti riguardo la gestione del progetto che possono servire da guida per un progetto di grande respiro che affronta i problemi ambientali che conosciamo. Nel 1986 è stato pubblicato un voluminoso libro sull'invenzione della bomba atomica ²¹ che rappresenta una referenza da cui si possono trarre i suggerimenti ricercati. Quest'opera tra l'altro non si limita a una descrizione del Progetto Manhattan ma entra nel dettaglio di tutta la storia scientifica che ne ha gettato le basi, la storia politica che ne ha accompagnato lo sviluppo e gli sforzi fatti senza risultati da una buona parte degli scienziati che contribuirono al progetto, tra cui Robert Oppenheimer che ne fu il direttore scientifico, per mettere sotto controllo in-

ternazionale quest'arma. Ne esce quindi da questo libro un quadro completo delle condizioni in cui questo progetto venne sviluppato. Per le nostre considerazioni è utile richiamare qualche dettaglio di questo progetto per poi comprendere meglio le considerazioni generali che se ne possono trarre. Il Progetto Manhattan è stato probabilmente il più grande progetto di ricerca & sviluppo mai affrontato finora, superiore anche al progetto NASA di inviare l'uomo sulla luna, se non altro per il fatto che esso sia riuscito ad utilizzare leggi fisiche scoperte solo poco più di dieci anni prima ed esperienze scientifiche ancora più recenti dando un carattere di radicalità eccezionale alle tecnologie sviluppate, e di averlo fatto in tempi molto rapidi di solo quattro anni. Il progetto già dall'inizio prevedeva di effettuare lo sviluppo di due tipi di bomba molto differenti basate rispettivamente sull'isotopo dell'uranio U235 e il plutonio Pu234. Se la base di generazione energetica era la fissione nucleare di questi due isotopi, le tecnologie di produzione e la concezione stessa della bomba erano molto differenti rendendo i due sviluppi completamente indipendenti. Nel caso dell'uranio si doveva estrarlo dal minerale secondo tecniche già conosciute e poi separare l'isotopo U235. Per questo vennero studiate in parallelo varie tecnologie basate sulla separazione elettromagnetica, la diffusione termica o gassosa e la centrifugazione. Attualmente si usa la centrifugazione, ma ai tempi l'U235 venne prodotto essenzialmente per separazione elettromagnetica poiché era la sola tecnica al momento che si era potuto sviluppare a una dimensione industriale sufficiente per gli scopi del progetto. Nella bomba all'uranio 235 la massa critica necessaria per innescare l'esplosione era ottenuta unendo rapidamente due masse di U235 in una specie di cannone contenuto nell'ordigno nucleare. Il plutonio era invece ottenuto dal combustibile esausto dei reattori nucleari di cui se ne era costruita un'intera batteria unitamente a grandi impianti per la sua separazione sviluppati su esperienze che partirono dal campo della microchimica. Nella bomba al plutonio non era utilizzabile il sistema del cannone e la massa critica, o meglio il volume critico, era ottenuto con una forte compressione del plutonio per l'effetto implosivo dell'esplosivo che circondava tutta la massa. Mentre nel caso dell'uranio 235 fu possibile condurre un'esperienza che ne provava il funzionamento senza ricorrere a una vera e propria esplosione nucleare, nel caso del plutonio questo non era possibile e quindi la prima esplosione nucleare avvenuta nel deserto del New Mexico fu realizzata con una bomba al plutonio mentre la bomba all'uranio venne utilizzata per la prima volta su Hiroshima. Vi sono due insegnamenti fondamentali che si possono dedurre dal Progetto Manhattan che ne assicurano il successo e che devono essere presi in considerazione per un progetto di grande respiro che affronti i problemi ambientali discussi. Il primo riguarda il fatto di aver avuto la forza di affrontare la ricerca in parallelo di più soluzioni alternative basandosi sul fatto che, all'inizio dello sviluppo di nuove tecnologie concorrenti, l'incertezza non permette di selezionarne una a priori e che è quindi necessario perseguirle tutte per avere una certa sicurezza di trovare la buona soluzione. Il secondo insegnamento riguarda l'importanza di coordinare il lavoro di sviluppo confrontando in maniera continua i risultati che si ottengono dagli sviluppi di tecnologie alternative in modo da decidere le migliori vie da perseguire riducendo costi e tempi per lo sviluppo. Il fatto che il progetto Manhattan abbia avuto successo per ambedue le vie perseguite con l'uranio 235 e il plutonio non era qualcosa di prevedibile all'inizio e questo risultato è sicuramente in parte casuale. Possiamo ora vedere come la situazione attuale di sviluppo di nuove tecnologie per il grande problema ambientale discusso non segua per niente le regole citate. Lo sviluppo necessario avviene in modo separato indotto da aiuti pubblici e da considerazioni economiche e senza alcun coordinamento, fiduciosi in una naturale evoluzione positiva dei risultati tecnologici. La selezione delle migliori tecnologie avviene, come in generale succede per le attività industriali, una volta che esse sono sviluppate e si possono confrontare sui mer-

cati o sulle economie reali nella loro prima fase industriale. Risulta chiaro che, a fronte del problema di dover sviluppare il più presto possibile le alternative tecnologiche necessarie, l'approccio attuale non da certo le migliori garanzie, né di trovarle, né di averle disponibili in tempo. Un progetto importante come quello che potrebbe risultare da un protocollo politico-tecnologico avrebbe sicuramente una maggiore efficienza e rapidità permettendo di studiare le varie possibili tecnologie, confrontarle con continuità durante il loro sviluppo, scegliendo le vie da perseguire sulla base di risultati reali e non di valutazioni incerte o tardive, rendendo allo stesso tempo i lavori più rapidi e meno costosi. Non si può negare comunque che gli assetti tecnologici da sviluppare che si presentano per il progetto tecnologico ambientale siano di gran lunga più ampi di quelli affrontati nel caso del Progetto Manhattan, e che sia praticamente impossibile poterli affrontare in maniera completa in un solo progetto per quanto ampio. Il progetto quindi potrebbe occuparsi prioritariamente degli sviluppi tecnologici più critici, che richiedono attività sperimentali importanti, ma dando indirizzi anche per attività di sviluppo esterne per la realizzazione di quell'ecosistema tecnologico alternativo in cui le nuove tecnologie basate sulle energie rinnovabili trovano quella giustificazione economica necessaria per la loro diffusione.

Riflessioni conclusive

In conclusione in questo articolo si sostiene l'idea che non vi è nessuna vera soluzione per i problemi ambientali, quali il riscaldamento globale, senza soluzioni tecnologiche, e che è importante rendersi conto come ci si trovi di fronte a una minaccia globale accompagnata da due grandi incertezze riguardo sia i tempi in cui sarà possibile una diffusione di tecnologie energetiche rinnovabili tale da incidere seriamente sull'effetto serra, sia sui tempi e le temperature che si raggiungeranno con il riscaldamento terrestre lasciando aperto lo scenario peggiore in cui ci troveremo ancora lontani dal controllo dell'effetto serra e allo stesso tempo disarmati a contrastare i suoi effetti negativi. Certo la via tecnologica non è da sola sufficiente per la soluzione di questi problemi, basti pensare ai problemi politici e finanziari legati alla diffusione di tecnologie ambientali alternative, tuttavia essa appare indispensabile e deve puntare a risolvere in maniera definitiva l'economicità delle nuove tecnologie. Le politiche sul risparmio energetico, per essere in grado di incidere seriamente sui problemi, non possono basarsi solo su comportamenti virtuosi ma necessitano anch'esse di nuove tecnologie. D'altra parte le politiche diffuse di dare incentivi alle nuove tecnologie per ridurre i loro svantaggi economici, non possono essere che interventi temporanei che non posso-

no prolungarsi illimitatamente e le nuove tecnologie, se vogliono veramente diffondersi adeguatamente, devono dimostrarsi economiche rispetto a quelle convenzionali. Non si possono comunque negare le grandi difficoltà che fanno apparire quasi utopica la realizzazione di un grande progetto di sviluppo tecnologico internazionale per l'ambiente come quello descritto. La storia della tecnologia insegna che i grandi salti di sviluppo tecnologico sono stati quasi tutti legati alla guerra. La gran parte dello sviluppo tecnologico attuale è tributario degli sforzi tecnologici fatti durante la seconda guerra mondiale e la guerra fredda. L'aeronautica civile attuale discende dalle tecniche di costruzione dei bombardieri e da nuove leghe e materiali sviluppati per questo, le batterie al litio utilizzate nelle auto a trazione elettrica, così favorevoli da un punto di vista ambientale, sono state sviluppate sulla base di conoscenze della chimica del litio ottenute per la produzione dell'idruro di litio necessario per la costruzione della bomba H. Anche la rivoluzione informatica risale agli studi fondamentali di Alan Turing e di Von Neumann sviluppati durante la guerra per la decifrazione dei codici dei messaggi criptati tedeschi. Perfino il fenomeno della Silicon Valley, che ha portato alle tecnologie informatiche e di telecomunicazione attuali, trae origine da un gruppo di aziende della Silicon Valley attive nell'elettronica militare. Queste, negli anni 70, perduti i finanziamenti dell'esercito per il bisogno di investire sui problemi energetici originati dalla crisi petrolifera di quegli anni, si orientarono con il loro know how disponibile verso le applicazioni civili. A questo punto ci si può chiedere se non è venuto il momento per l'umanità, di fronte alle sfide per la sopravvivenza causate dall'evoluzione del clima terrestre, di affrontare i necessari salti tecnologici senza dover aspettare qualche altra disastrosa futura guerra.

Bibliografia

1. A. Bonomi, *La scelta di tecnologie di smaltimento dei rifiuti urbani*, L'Ambiente, 2003, 4, pp. 10-14.
2. A. Bonomi, *La gestione delle tecnologie ambientali*, L'Ambiente, 2005, 4, pp. 8-13.
3. A. Bonomi, *Ricerca & Sviluppo e le tecnologie per l'ambiente*, L'Ambiente, 2006, 1, pp. 24-31.
4. A. Bonomi, *Tecnologia e Ambientalismo*, Il Cobiانchi, Verbania 2010 pp. 20-28. Disponibile sul sito www.complexitec.org come pubblicazione nella sezione Tecnologia e Ambiente.
5. B. Latour, *Science in action* 1987, Harvard University Press, (traduzione: *La Scienza in Azione*, Edizioni Comunità, 1998).
6. M. Grubb, J. Koehler, *Technical Change and Energy/Environmental Modelling*, Workshop on Technology Policy and Environment, Paris 21.06.2001, OECD 2002.
7. R. Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb* 1986, Simon & Schuster Paperbacks (traduzione: *L'invenzione della bomba atomica*, Rizzoli, 1990).