

IL RUOLO DEL PROGRESSO TECNICO NELL'USO DELL'AMBIENTE E DELLE RISORSE NATURALI

di Laura Castellucci

Abstract

Two opposite views with respect to the sustainability of growth are possible. A pessimistic one, holding that the growth of population is not compatible with the declining quality and fixed amounts of natural resources, and an optimistic one, holding that technical progress is capable both of improving the quality of natural resources and of expanding their quantities by economizing their use and by inventing new ways of production. Technical progress is therefore crucial to overcome scarcity but the problem is that it is not always in favour of natural resources. Overfishing has become an undesired result due not only to the excessive number of fishing vessels but also to their improved "efficiency" in catching their preys. What is needed is therefore to direct technical progress towards an environmental friendly evolution. If we simply rely on the spontaneous working of technical progress we may end up with an even increased rate of deterioration of the state and the quality of natural resources. State intervention is therefore necessary.

Dip.to SEFEMEQ, Facoltà di Economia, Università di Roma Tor Vergata
via Columbia snc. 00133 Roma. tel. 06/ 72595915; 06/72595924 (dir); fax 06/2040219
Laura.Castellucci@uniroma2.it
Paper presentato al Convegno dell' Accademia dei Lincei su: Tecnologia e Società
Roma, 5-6 Aprile 2001.
JEL: O3, Q28, H1

Sommario: Premessa. - 1. Teoria della crescita: neoclassica ed endogena. - 2. Teoria dell'ottimo uso delle risorse naturali. - 3. Le modalità della crescita economica in concreto e gli effetti sulle risorse naturali. - 4. Alcuni aspetti controversi. - 5. Conclusioni. *Riferimenti bibliografici.*

IL RUOLO DEL PROGRESSO TECNICO NELL'USO DELL'AMBIENTE E DELLE RISORSE NATURALI.

di

Laura Castellucci

Premessa. La crescita economica (intesa come crescita del Prodotto Interno Lordo pro-capite) e della popolazione esercitano grande pressione sull'ambiente e le risorse naturali. La crescita del reddito pro-capite che ha caratterizzato la storia passata¹ solleva due domande fondamentali, l'una relativa alle ragioni che l'hanno determinata e l'altra alle possibilità che possa persistere. A nessuna di queste domande l'economista può compiutamente rispondere ma ad entrambe può dare una risposta tentativa e parziale, facendo riferimento al progresso tecnico.

Il progresso tecnico è certamente una fonte della crescita economica²

¹Sono molto conosciuti i lavori di Maddison A., "*Phases of Capitalist Development*", Oxford University Press, 1982, (che ricostruisce l'evoluzione del prodotto pro-capite dal lontano 500) e della World Bank, *World Development Report 1991*, Oxford University Press.

² Il residuo di Solow "spiegherebbe" circa i 3/4 della crescita. Questi risultati, inizialmente ottenuti dallo stesso autore, sono stati poi sostanzialmente confermati

ed è anche l'unico elemento sul quale possano basarsi le aspettative ottimistiche della sua persistenza futura. In assenza di progresso tecnico si avvererebbero le previsioni catastrofiche già ampiamente alla ribalta negli anni '70 e confluite nel noto libretto: *The limits to growth* del '72³. Basta fare l'assunzione di risorse naturali date (il "global village" nel linguaggio odierno, o la "navicella spaziale" secondo l'espressione di Boulding 1966) e di popolazione (esponenzialmente) crescente, per immaginare un tempo futuro (più o meno lontano) al quale il meccanismo si arresta. Se e come la disponibilità di risorse naturali possa spiegare la crescita e l'indisponibilità determinarne l'arresto, sono questioni ancor oggi ampiamente dibattute.

Le caratteristiche del progresso tecnico non sono perciò marginali quando si affrontano i problemi della disponibilità presente e futura di risorse naturali e delle condizioni ambientali o, in altri termini, quando ci si ponga il problema della sostenibilità dello sviluppo in linea con quanto contenuto nel noto Rapporto Brundtland (1987). I legami tra l'ambiente naturale e la crescita economica con progresso tecnico sono molteplici e non tutti, contrariamente a quanto si potrebbe pensare, positivi.

Senza pretendere di trattare esaustivamente l'argomento e tanto meno di pervenire ad un giudizio definitivo sugli effetti del progresso tecnico, si richiama l'attenzione sulle questioni a nostro avviso più significative e/o controverse. Si inizia col puntualizzare il ruolo del progresso tecnico nelle teorie economiche della crescita e col richiamare gli elementi consolidati della teoria dell'ottimo uso delle risorse naturali. Si riportano poi alcuni risultati di studi empirici volti a cogliere le modalità

da studi successivi come quelli di Denison. Solow R., "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, 1957. Denison E., "Trends in American Economic Growth, 1929-1982", The Brookings Institution, 1985.

³Per non citare noti e meno noti lavori economici precedenti.

della crescita e i loro effetti sulle risorse naturali. Gli aspetti più controversi o meno consolidati, e qualche considerazione conclusiva, chiudono il lavoro.

1. Del modello di crescita di Solow, ormai notissimo e molto studiato in tutte le sue implicazioni, ci interessano i seguenti aspetti. Il primo riguarda il capitale, il secondo il progresso tecnico e il terzo il processo di convergenza. Nel mondo molto stilizzato, eppure efficace, di Solow il capitale ha produttività marginale decrescente e ciò comporta due conseguenze importanti: i. ad un certo punto la crescita si arresta ovvero il consumo pro-capite resta costante nonostante un'accumulazione di capitale positiva; ii. il tasso di rendimento del capitale dovrebbe diminuire in sintonia con la produttività marginale. Soltanto il progresso tecnico può controbilanciare queste due tendenze ed infatti soltanto il progresso tecnico permette che la funzione di produzione "salti" su un sentiero di crescita più alto⁴ e dunque che la crescita non si arresti e che il rendimento del capitale non diminuisca. In questo mondo il progresso tecnico ha perciò compiti pesanti e cruciali da assolvere. D'altra parte che il progresso tecnico abbia compiti pesanti lo si può inferire dalle stime che sono state fatte, inizialmente da Solow stesso e successivamente da altri, del modello teorico per capire "quanto" la crescita sia effettivamente dovuta alla accumulazione del capitale e quanto ad altro. Come si sa (vedi quanto richiamato nella nota 2) il "residuo" può essere pensato come progresso tecnico oppure come ciò che non si conosce della crescita, ma quale che sia l'accezione nella quale lo consideriamo, le stime disponibili sono concordi nel mostrare quanto poco della crescita sia dovuto all'accumulazione di capitale e quanto invece al nostro fattore. Sul modo di operare di questo fattore il modello di Solow però non illumina perchè poggia sull'ipotesi di esogeneità del progresso tecnico. Il ruolo del progresso tecnico è qualitativamente importante e quantitativamente misurabile ma il suo modo di esplicitarsi non è descritto (ipotesi appunto di esogeneità). Il modello di Solow consente invece di dare

⁴ Si veda la figura 1.

delle risposte sui perchè dei divari tra i tassi di crescita dei diversi paesi e di fare delle congetture sulla loro futura evoluzione. Come si sa esso predice convergenza tra i tassi di crescita dei paesi proprio per l'ipotesi di produttività marginale del capitale decrescente. I paesi nel primo stadio della crescita sono caratterizzati da relativa scarsità di capitale e dunque dalla sua elevata produttività mentre i paesi negli stadi più maturi hanno maggiore disponibilità di capitale a minore produttività. I tassi di crescita dei paesi nella prima condizione accelerano mentre quelli dei paesi nella seconda condizione decelerano e dunque convergono⁵.

I modelli di crescita endogena, anche se condividono la filosofia di fondo del modello di Solow, rimuovono entrambe le ipotesi di produttività del capitale decrescente e di esogeneità del progresso tecnico⁶. La rimozione di queste ipotesi porta sia a negare che in futuro si abbia il processo di convergenza tra i tassi di crescita dei vari paesi, (ciò che per alcuni sarebbe un grande merito della teoria perchè empiricamente scettici sulle reali convergenze dei redditi pro-capite tra i paesi), che a predire la tendenza all'espansione continua: non vi sono meccanismi impliciti di arresto (era infatti l'ipotesi di produttività marginale decrescente del capitale che portava all'arresto della crescita a meno che non fosse controbilanciata dall'esogeno progresso tecnico). Nel contesto di crescita endogena il ritmo di espansione dipende dall'esistenza e diffusione del progresso tecnico che perciò costituisce il

⁵ Questo processo di convergenza si sarebbe realizzato sia tra gli stati degli Stati Uniti che tra quelli dell'Europa occidentale nel secondo dopoguerra mentre in altre aree geografiche il processo sarebbe stato alquanto più debole. Si veda per esempio Barro R.J.-Sala-i-Martin X., "Convergence Accross States and Regions", *Brookings Papers on Economic Activity*, 1991, n.1.

⁶Ovviamente esistono varie versioni dell'iniziale modello Solow che rimuovono l'ipotesi di esogeneità del progresso tecnico ma ritengono l'ipotesi di produttività del capitale decrescente mentre quelli di crescita endogena rimuovono anche questa anzi la negano.

cuore dell'analisi. L'obiettivo primario sta nel modellarne l'esistenza e la propagazione. Ovviamente non è facile definire con precisione analitica questo fattore ma piuttosto che esaltarne gli aspetti sconosciuti può benissimo accettarsi la posizione, emblematicamente riassunta da Blanchard, e ritenere che: "nelle economie moderne la maggior parte del progresso tecnologico sia il risultato di un processo molto più banale: l'attività di R&S svolta dalle imprese"⁷. E infatti, per molta parte della teoria economica moderna, le spiegazioni della crescita poggiano sull'analisi delle spese in R&S.

Il ruolo del progresso tecnico, esogeno o endogeno, che emerge dalla teoria economica della crescita, è quello di elemento essenziale per la persistenza futura della crescita dei paesi sviluppati e per la possibile convergenza di quelli in via di sviluppo⁸. Complessivamente considerati gli effetti del progresso tecnico sembrano perciò positivi.

2. Anche la teoria dell'ottimo uso delle risorse naturali ha un suo corpo consolidato al quale possiamo far riferimento per approfondire l'indagine sul ruolo, funzioni e definizioni del progresso tecnico. Lo studio dell'uso delle risorse naturali affronta i problemi legati alle risorse "rinnovabili" separatamente da quelli relativi alle risorse "non-

⁷ Blanchard O. J., "Macroeconomia", Il Mulino, 1998, p. 649.

⁸Sebbene le risorse naturali non compaiono nelle versioni dei modelli di Solow e di crescita endogena sopra richiamati, la loro introduzione non richiede altro che distinguere il capitale in capitale naturale e capitale prodotto dall'uomo. Per l'integrazione nel modello di Solow si può vedere lo stesso Solow e Hartwick. Solow R., "Neoclassical Growth Theory" in Taylor J.-Woodford M. (eds), *Handbook of Macroeconomics*, North Holland, 1999, p. 637. Hartwick J.M., "Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources", in *American Economic Review*, 1977, 66, p. 972. Per i modelli di crescita endogena Smulders fornisce un utile prospetto riassuntivo. Smulders S., "Entropy, Environment, and Endogenous Economic Growth", *International Tax and Public Finance*, 1995, n.2.

rinnovabili" per le evidenti diverse caratteristiche intrinseche dei due gruppi.

Le risorse rinnovabili sono quelle che hanno una loro capacità di riproduzione e rigenerazione, e tali sono per esempio i pesci e le foreste, mentre quelle non-rinnovabili non hanno tale capacità (almeno in un'ottica di tempo umanamente significativa) e sono per esempio il petrolio e i minerali in genere. Molti studi sono stati prodotti relativamente alla pesca e molti altri specificatamente sulle foreste. Per inquadrare il problema dell'uso ottimo delle "risorse comuni", ad esempio pesci nell'oceano⁹, occorre in prima istanza integrare la dinamica naturale della risorsa pesci con la logica economica tipica della massimizzazione del profitto dati i prezzi dell'output e i costi degli inputs. In ogni momento esiste un certo stock di pesci al quale è legato uno specifico ritmo "naturale" di accrescimento ovvero, per ogni specie animale è possibile esprimere il legame tra il flusso di accrescimento e lo stock tramite la curva logistica. La curva logistica ha, per tutti gli animali, un andamento prima crescente e poi dopo un massimo (o più massimi) un andamento discendente. In altri termini, tra il flusso di accrescimento e lo stock (numero) di esemplari viventi di una certa specie, corre una relazione inizialmente positiva (entrambi sono crescenti) che si inverte nel tempo finché, raggiunta una data coppia di valori del flusso e dello stock, si inverte (il flusso di accrescimento si riduce nonostante lo stock continui a crescere)¹⁰. Se adesso l'esercizio di massimizzazione del profitto viene combinato con la logistica dei pesci che si stanno pescando, si ottiene l'informazione sulla sostenibilità dell'operato economico nel senso di mostrare come il flusso economicamente ottimo di pesce pescato potrà essere minore, uguale

⁹ Non mancano ovviamente sforzi di applicazione di diritti di proprietà quali license e quote.

¹⁰ L'unico animale per il quale la relazione tra flusso e stock rimane sempre (fino ad oggi) positiva è l'uomo.

o maggiore di quello di accrescimento della dinamica naturale implicando nei rispettivi casi sostenibilità della pesca o insostenibilità, nel senso di costanza nello stock o di esaurimento della risorsa naturale. La regola, intuitiva ma anche analiticamente derivabile, di sostenibilità, consiste pertanto nel pescare ad un flusso minore o uguale a quello di riproduzione della risorsa naturale. L'inserimento del progresso tecnico in questo schema è piuttosto semplice in quanto basta ipotizzare che aumenti l'efficienza del capitale prodotto dall'uomo (barche e mezzi di pesca) o, se si preferisce, che riduca i costi di produzione. Questa maggiore efficienza si traduce in incremento di produzione ovvero di pescato e dunque non aiuta la sostenibilità. Può anzi condurre all'estinzione del prodotto se lo stock è già tanto basso da non consentire un flusso positivo. In questo caso il progresso tecnico può accelerare il rischio di estinzione. Di tutto ciò può aversi una percezione immediata tramite la figura 2. Nel lato destro di essa è riportata la logistica per una data specie di pesce il cui stock (X) figura in ascisse e il flusso di accrescimento nelle ordinate (y). Al disotto di un dato stock minimo (X_{\min}) il flusso è nullo e la specie va verso l'estinzione mentre al disopra di uno stock massimo (X_{cc}) il flusso torna ad annullarsi perchè è stata raggiunta l'ampiezza massima della specie che l'ambiente naturale può sostenere. Nel lato sinistro è riportata la situazione economica in termini di costi (C) e prezzi (P) della quantità di pescato (y). I costi, come di consueto crescenti al crescere delle quantità prodotte (in questo caso pescate), sono stati definiti per dati stocks proprio perchè la numerosità dello stock influisce sul costo per unità di pescato. Più alto il numero degli esemplari esistenti più basso il costo per quantità di pescato (i.e. minor numero di ore-uomo per quantità di pescato). Le curve di costo in grassetto indicano pertanto il costo per quantità di pescato in due differenti ipotesi di stock (X_{01} , X_{02}) e relativamente ad un identico progresso tecnico (A). La massimizzazione del profitto conduce ad individuare il sentiero di pesca ottimo (y_A), noto come *catch locus*. Le freccette indicano come la massimizzazione del profitto sia compatibile con uno stock costante dei pesci (i.e. uguaglianza tra il flusso di accrescimento naturale e quello di sottrazione dovuto all'attività umana di pesca). Il quadro muta quando

ipotizziamo l'esistenza di progresso tecnico che riduce i costi del pescato (linee di costo leggere definite per gli stessi stocks X_{01} , X_{02} ma per un diverso progresso tecnico (B)). Come si vede ciò produce l'effetto di spostare il *catch locus* verso sinistra (y_B) ovvero verso l'insostenibilità e eventualmente l'estinzione.

Per le risorse non rinnovabili, e l'esemplare più interessante è senz'altro il petrolio, vale la regola di Hotelling che risolve il problema di massimizzazione del profitto, sotto il vincolo della disponibilità di risorsa all' inizio e alla fine del periodo, dati prezzo dell'output e costi degli inputs. Si individua così la quantità ottima di produzione (i.e. barili di petrolio estratti) in ogni periodo e la corrispondente quantità non prodotta (i.e. barili non estratti lasciati in loco) ovvero lo stock disponibile per i periodi successivi. Lungo il sentiero ottimo il prezzo del prodotto (barile estratto) cresce nel tempo ad un tasso pari a quello di interesse. Anche qui possiamo chiederci in che senso possa agire e agisca il progresso tecnico. La questione trova una sua risposta nel contributo di Nordhaus e cioè nell'individuazione di un "limite" alla crescita del prezzo rappresentato proprio dal progresso tecnico che , quando il prezzo del prodotto raggiunge un certo livello, consente di aumentare l'offerta tramite l'utilizzazione di prodotti di minore qualità o localizzati a maggiori profondità nel sottosuolo. Nel caso delle risorse non-rinnovabili è perciò rilevabile un ruolo positivo del progresso tecnico in quanto frena la crescita del prezzo perchè, rendendo possibile l' utilizzazione di risorse diverse, ne aumenta l'offerta. Tale meccanismo è conosciuto come tecnologia di *backstop*. (Evidentemente la crescita del prezzo secondo la regola di Hotelling, incoraggia proprio lo sviluppo del progresso tecnico perchè stimola la ricerca sulle alternative alla risorsa non rinnovabile¹¹. La figura 3 raffigura il caso. Il prezzo P_0 cresce esponenzialmente finchè raggiunge il costo marginale della risorsa di backstop MC_b).

¹¹Hotelling H., "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy*, 1931, n.39. Nordhaus W.D., "The Allocation of Energy Resources", *Brookings Papers*, 1973, n.3.

In sintesi, l'effetto positivo che generalmente si attribuisce al progresso tecnico, non sembra così univoco: protegge (con qualche precisazione, si veda avanti) le risorse non rinnovabili ma danneggia quelle rinnovabili.

3. La teoria consolidata sull'ottimo uso delle risorse naturali appena richiamata ci dà delle indicazioni su quali risultati possiamo attenderci in termini di disponibilità di risorse a seconda delle specifiche condizioni economiche. L'indagine su come in passato è effettivamente avvenuta la crescita economica può rafforzare o contraddire le (alcune) indicazioni teoriche e può costituire la base per aspettative ottimistiche o pessimistiche. A questo riguardo si possono citare i seguenti fatti. Il primo riguarda l'intensità energetica, il secondo l'efficienza ambientale, il terzo le curve di Kuznets ambientali. Dai dati di contabilità nazionale è possibile con relativa semplicità pervenire a misurare l'intensità energetica come quantità di energia impiegata per unità di prodotto interno lordo prodotta. In effetti tale indice "segnala" come le economie, pur seguendo uno stesso sentiero di crescita del PIL, possano ottenerlo con diversi ammontari di energia per unità di prodotto. L'intensità energetica si è generalmente ridotta nei paesi industrializzati¹² e ciò, in termini di risorse naturali, corrisponde a un miglioramento di efficienza nel loro uso (minore energia per unità di prodotto significa minore impiego di risorse naturali per produrla). Tale miglioramento sarebbe evidentemente da ascrivere al progresso tecnico che dunque giuoca un ruolo positivo. In effetti risultati del genere (si veda la figura 4) inducono all'ottimismo anche se esso risulta alquanto ridimensionato quando si passi alla disaggregazione dell'intensità energetica per settori. Mentre l'intensità energetica del settore industriale si è drasticamente ridotta e quella del settore

¹²OECD, *Towards Sustainable Development. Environmental Indicators*, Parigi, 1998, p. 81.

residenziale/commercio si è ridotta ma in misura ben minore, quella del settore dei trasporti non si è ridotta affatto (si veda la figura 5). Le prospettive non appaiono certamente rosee dato che, com'è noto, l'importanza del settore industriale è destinata a ridursi in futuro mentre quella del settore dei trasporti è destinata a crescere. Analogamente può ottenersi un altro indicatore, chiamato efficienza ambientale, che misura direttamente la quantità di risorse naturali impiegate per unità di prodotto interno lordo. Se anch'esso, come l'evidenza pare indicare, mostrasse un trend decrescente, potremmo ritenere che il sentiero di crescita seguito sia di tipo virtuoso in quanto risparmia risorse naturali¹³. Il merito di questo miglioramento spetterebbe di nuovo al progresso tecnico che ha reso possibile la sostituzione tra risorse naturali e prodotte dall'uomo. Infine e sempre sul versante delle rassicurazioni o dell'ottimismo, troviamo le curve di Kuznets ambientali¹⁴. Sono le note curve a campana che indicano come nelle prime fasi dello sviluppo di un paese, quando cioè il reddito pro-capite è basso, scarse risorse sono destinate alla protezione ambientale e la crescita avviene ai danni dell'ambiente mentre oltre un certo livello di reddito pro-capite la relazione si inverte e crescita del reddito e protezione ambientale si muovono nella stessa direzione. L'inversione della relazione è il frutto di vari effetti tra i quali prevale quello noto come effetto composizione del PIL che provoca la sostituzione di prodotti sempre più favorevoli all'ambiente ovvero la sostituzione di prodotti altamente inquinanti con prodotti via via meno inquinanti la cui produzione è resa possibile dal maggior reddito pro-capite che consente

¹³Questo indice è però più opinabile dell'intensità energetica. Esso varia a seconda di quali risorse naturali si includano o meno nel calcolo di quelle consumate. Un bel paesaggio distrutto deve essere incluso o escluso e per quale valore.

¹⁴ Per una recente e molto ampia rassegna di studi empirici relativi alle ipotesi di curve di Kuznets ambientali, si veda: Panayoton T., "Economic Growth and the Environment", *Center for International Development at Harvard, CID Working Paper*, n. 56, July, 2000.

di destinare risorse crescenti alla protezione ambientale anche intesa nel senso di investimenti in ricerca di tecnologie più pulite. Del resto anche la domanda di protezione ambientale cresce con il crescere del reddito pro-capite, implicitamente relegando i beni ambientali tra quelli di lusso¹⁵. Dunque se quando il reddito pro-capite raggiunge un certo livello, la crescita si accompagna a miglioramenti ambientali, le aspettative in riferimento ai paesi sviluppati dovrebbero essere ottimistiche mentre nel caso dei paesi arretrati, nei quali le situazioni ambientali sono notoriamente molto deteriorate per una molteplicità di ragioni che qui non affrontiamo, si tratterebbe di riuscire ad innescare il processo di crescita, con il che la protezione ambientale seguirebbe spontaneamente. (La crescita sanerebbe i problemi ambientali così come generalmente si ritiene che possa ridurre la povertà, la criminalità, far nascere e prosperare le democrazie ecc.). In verità mentre per alcuni inquinanti la relazione a campana è stata individuata, per altri essa non sembra sussistere. (In figura 6 può vedersi come relazioni di tipo Kuznets siano riscontrabili in riferimento al particolato e al biossido di zolfo ma non lo siano rispetto all'accumulazione di rifiuti pro-capite e rispetto all'emissione di biossido di carbonio pro-capite. E' forse appena il caso di richiamare l'attenzione sul problema praticamente esplosivo dei rifiuti).

Nei limiti della loro portata, i tre indicatori consentirebbero un giudizio positivo sulla crescita passata che, se si perpetuasse nel futuro, potrebbe indurre all'ottimismo. Ma anche supponendo che il futuro continui come il passato, cosa che evidentemente non è scontata, non sembra che questi indicatori segnalino comportamenti economici effettivamente "amichevoli verso l'ambiente" come alcuni

¹⁵Non entriamo nel campo di studio degli effetti distributivi dell'offerta di beni ambientali, del resto poco esplorato, ma ci limitiamo a porre in evidenza come la maggioranza dei beni ambientali siano da considerarsi fondamentali o essenziali, mentre invece si debbano in concreto classificare come di lusso dato il loro rilevato legame con il reddito. Riteniamo che questo tipo di contraddizione, sebbene si possa capire, contribuisca a produrre una "sottodimensionata" offerta di beni ambientali.

pretenderebbero. Innanzitutto la riduzione dell'intensità energetica, indicatore importante di risparmio energetico, è avvenuta non per un fine ambientale di "conservazione" delle risorse naturali ma per il tipico fine economico della profittabilità che spinge verso l'impiego di inputs meno costosi. Sono infatti gli aumenti dei prezzi, sperimentati e attesi, delle fonti di energia, che spingono verso la ricerca di risparmio dell'input energetico. Perciò sebbene questo risparmio energetico sia senz'altro positivo e ugualmente lo sia il progresso tecnico che lo consente, esso non avviene per fini ambientali di conservazione ma risponde ai prezzi e costi. Secondo, nonostante l'individuazione di curve a campana tra alcuni indici di deterioramento ambientale e il reddito pro-capite dei paesi sviluppati, che, sotto ogni punto di vista rappresentano un aspetto positivo della crescita, non si può ignorare nè che, essendo la gran parte del globo costituita da paesi arretrati, la dinamica economica in questi paesi avviene ai danni dell'ambiente e nè che esistono studi in riferimento ai paesi avanzati dai quali emerge un trend crescente di emissioni industriali nocive e sia rispetto al PIL che alla produzione manifatturiera¹⁶. C'è pertanto da chiedersi quanto le curve a campana siano riscontrabili, con quale certezza e per quali inquinanti. Infine non va dimenticato che molte questioni relative all'inquinamento ambientale di ogni tipo, come le emissioni di gas nell'aria, non vengono neanche considerate perchè, non dando luogo a transazioni monetarie, i danni economici che producono non sono percepiti.

4. La fiducia che il progresso tecnico possa come in passato assicurare

¹⁶Hettige H.- Lucas R.E.B.-Wheeler D., "The Toxic Intensity of Industrial Production: Global Patterns, Trends, and Trade Policy", *American Economic Review*, 1992, p.478. In altre parole l'ottimismo ci sembra debba essere alquanto ridimensionato perchè i paesi arretrati sono certamente sul lato "sinistro" della campana mentre quelli avanzati sono sì sul lato "destro" ma soltanto per alcuni componenti del danno ambientale.

la crescita del reddito pro-capite o che addirittura, nella forma di conoscenza umana, secondo quanto ipotizzato dalla teoria della crescita endogena, "possa conciliare lo sviluppo economico con la conservazione ambientale"¹⁷, sembra al momento poco fondata. Alcuni aspetti decisamente controversi e altri contraddittori autorizzano a ritenere che i misteri della crescita si siano trasformati nei misteri del progresso tecnico e che questo non sia, per sè, un fattore positivo per l'ottimizzazione nell'uso delle risorse naturali e/o per la sostenibilità dello sviluppo.

Quattro diverse tipologie di questioni non risolte fanno da sostegno a questa posizione. La prima riguarda il concetto di sviluppo sostenibile, la seconda l'effettiva conciliabilità tra la crescita e la protezione ambientale, la terza i prezzi delle materie prime e la quarta l'adeguatezza degli strumenti con i quali pretendiamo di spiegare le interrelazioni ambiente-economia.

i. In generale può sottolinearsi come, in tutti i casi nei quali si trovi che la società "sovrautilizza" le risorse naturali, la dottrina economica prevalente ne attribuisce la responsabilità al fatto che i mercati dei servizi ambientali sono "imperfetti" e che basterebbe conoscere il "vero valore" di tali servizi per poterli usare efficientemente. In verità la questione è assai più complessa e l'efficienza nell'uso dell'ambiente non coincide con la sostenibilità dello sviluppo che è principalmente una questione di equità intergenerazionale¹⁸. Ovviamente l'uso efficiente migliora le prospettive per la sostenibilità ma non la garantisce. Nè d'altra parte può risolversi una questione di equità intra e

¹⁷Smulders S., Entropy, Environment and Endogeneous Economic Growth,*International Tax and Public Finance*, 1995, n.2, p.335.

¹⁸Howarth R.B.-Norgaard R.B., "Environmental Evaluation under Sustainable Development", *American Economic Review*, 1992, p.473.

intergenerazionale senza una precisa esplicitazione di ciò che riteniamo equo. Se, per esempio, siamo disposti a ritenere equo passare alle generazioni future uno stock di capitale complessivo (naturale e prodotto dall'uomo) che assicuri un consumo pro-capite per le generazioni future almeno uguale a quello delle generazioni presenti, come propone Hartwick, allora si è in grado di determinare il sentiero di sviluppo sostenibile (che evidentemente è anche efficiente) e potenzialmente di percorrerlo tramite il reinvestimento della rendita ottenuta sul capitale naturale. (La regola di Hartwick del reinvestimento della rendita si basa sull'ipotesi di completa sostituibilità tra capitale naturale e prodotto dall'uomo). Occorre perciò rendere espliciti i termini dell'equità e poi cercare le regole economiche che possano soddisfarli.¹⁹

ii. La supposta conciliazione tra crescita e protezione ambientale che la teoria della crescita endogena dovrebbe riuscire ad assicurare grazie all'enfasi sul progresso tecnico come "conoscenza", non esce certo rafforzata dagli studi empirici, per esempio di Denison, sulla riduzione del tasso di crescita della produttività negli Stati Uniti manifestatosi negli anni '70. Questi studi troverebbero che tra le cause del rallentamento vi sarebbe l'introduzione e l'applicazione di stringenti regolamentazioni per la protezione ambientale. Senza attribuire maggiore importanza a questi risultati di quanto non facciano gli autori, ci sembra però che debbano almeno contribuire a non ritenere automatica questa conciliazione via progresso tecnico. Può anche darsi che non siano conciliabili. Rafforzano l'argomentazione gli studi sull'esportazione delle sostanze tossiche verso paesi a regolamentazioni

¹⁹Oltre alla soluzione Hartwick sono stati elaborati altri criteri anche con diversa filosofia, come per esempio il "safe minimum standard" (Bishop R.C., "Endangered Species and Uncertainty: the Economics of a Safe Minimum Standard", *American Journal of Agricultural Economics*, 1978, 60), o i principi operativi di Daly H., "Toward some operational principles of Sustainable Development", *Ecological Economics*, 1990, n.2.

ambientali meno stringenti²⁰.

iii. Secondo la teoria dei prezzi delle materie prime non rinnovabili, tuttora esprimibile nella regola di Hotelling, essi dovrebbero crescere esponenzialmente al tasso di interesse. Questa loro crescita non sarebbe però infinita perchè raggiunto un certo livello, ed ad un tempo imprevedibile, entrerebbe in funzione la tecnologia di *backstop* che costringe il prezzo a rimanere costante o a ridursi. Nonostante l'estrema semplificazione del quadro di riferimento teorico qui riferito, esso sembra in grado di spiegare la dinamica dei prezzi delle materie prime (escluso il legno vivo). Essi sono infatti cresciuti significativamente in dati periodi, si sono ridotti in altri, hanno ripreso a crescere e così via, ma hanno mostrato un trend decrescente²¹. In questo caso il progresso tecnico sembra svolgere un ruolo decisamente positivo in quanto arresta la crescita dei prezzi ma dal punto di vista delle risorse naturali l'effetto non è facilmente registrabile come tale. Se consideriamo infatti l'aumento del prezzo (relativo) di una risorsa come indice di scarsità, il fatto che il progresso tecnico ne freni la crescita nell'immediato, impedisce semplicemente il diffondersi del segnale della scarsità di tale risorsa e con ciò riduce le informazioni utili per giudicare la sostenibilità della crescita piuttosto che allentarne i vincoli. Ovviamente la questione dei prezzi delle materie prime è molto complessa sia dal punto di vista teorico che empirico ma ciò su cui ci sembra si debba riflettere è il tipo di progresso tecnico sul quale contiamo. Per essere positivo nei confronti delle risorse non rinnovabili deve consentirne la sostituzione e non semplicemente arrestare l'aumento dei prezzi nel breve periodo.

²⁰World Bank, Symposium on International Trade and the Environment, Washington, D.C., 1991.

²¹Ciò è quanto ottenuto da Nordhaus W.D., "Lethal Model II: the Limits to Growth Revisited", *Brookings Papers on Economic Activity*, 1992, n.2. Una precisazione: la riduzione dei prezzi di queste materie è in termini relativi rispetto al salario.

iv. E' appena il caso di puntualizzare che per affrontare i temi dell'ottimo uso delle risorse naturali in relazione allo sviluppo sostenibile bisognerebbe dotarsi di una strumentazione adeguata all'ambiziosità del tema. Tale esigenza non ci sembra possa essere soddisfatta dalla semplice introduzione nei modelli di crescita, sia neoclassici che di crescita endogena, di qualche variabile che rappresenti le risorse naturali o capitale naturale (studi già disponibili) perchè ciò non permette di cogliere le conseguenze economiche delle interazioni tra le dinamiche dei due sistemi, quello economico e quello naturale. In altri termini sarebbero necessari modelli dinamici integrati del tipo RICE di Nordhaus²² o quello elaborato dall' OECD conosciuto come GREEN e utilizzato, per esempio, per verificare la capacità di risposta dei vari strumenti di intervento al cambiamento climatico²³. Soltanto questo tipo di modelli, al momento piuttosto rari, possono consentire di simulare gli effetti dei sentieri di crescita che stiamo seguendo e chiarire quanto e in che senso possano ritenersi sostenibili.

5. *Conclusioni.* Il progresso tecnico è certamente una fonte della crescita ma cosa effettivamente sia o come lo si possa favorire è piuttosto oscuro. In linea di massima esso sarebbe il frutto di spese in R&S che per la maggior quota sono affrontate dalle imprese. La motivazione di efficienza è perciò alla base di esso e dunque soltanto per una fortunata coincidenza può essere favorevole alla conservazione, come nel caso dell'efficienza energetica sopra richiamato. Ancora una volta possiamo ribadire che la sostenibilità, come oggi diciamo, o i limiti

²²Nordhaus W.-Yang Z., "A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies", *American Economic Review*, 1996, settembre.

²³OECD, *The Costs of Cutting Carbon Emissions: Results from Global Models*, Parigi, 1993.

alla crescita come si diceva negli anni 70, è sì legata al progresso tecnico ma non abbiamo motivi validi, teorici o di evidenza empirica, per aspettarci che questo si evolva spontaneamente in modo favorevole alla sostenibilità. Perciò per quanto sia importante attribuire un valore ai servizi ambientali, il loro semplice inserimento nel processo decisionale può portare all'efficienza ma non necessariamente alla sostenibilità. La sovrautilizzazione delle risorse ittiche non è dovuta ad assenza di prezzi ombra ma all'efficienza negli strumenti per la pesca (capitale prodotto dall'uomo) che riducono i costi (per esempio il tempo) per unità di prodotto. Se questo è il progresso tecnico che conoscono gli economisti (quando appunto non l'assumono esogeno ma tentano di spiegarlo) bisogna che lo stato lo indirizzi verso gli obiettivi di sostenibilità che si è dato. Se non lo indirizza, seguirà gli impulsi che gli vengono dai prezzi e dalle imprese. Quest'ultime non possono che ragionare in termini di "fertilità" delle spese di R&S, di diritti di proprietà ovvero di "brevetti" che rendano appropriabile il frutto della innovazione tecnologica e simili e non certo in termini di "conservazione". Se gli stati hanno davvero nella funzione del benessere sociale le generazioni future, ovvero la crescita sostenibile, dovranno indirizzare il progresso tecnico in una direzione che non è quella cui automaticamente esso è diretto e lo potranno fare sia aumentando le loro spese in R&S, dirette evidentemente alla ricerca di base, che ricorrendo agli strumenti tradizionali e meno per la protezione ambientale. Il pregio delle molto raccomandate (e pochissimo usate) tasse ambientali starebbe proprio nella loro efficacia dinamica ovvero nell'indirizzare l'impresa verso l'impiego di tecnologie pulite e di conseguenza anche verso la ricerca di nuove tecnologie quando quelle disponibili risultino inquinanti. Ciò che riteniamo poco fondato è aspettarsi che il progresso tecnico, di per sè, concili la crescita economica con la sostenibilità. Non a caso ci è sembrato istruttivo richiamare gli studi relativi alla riduzione nel tasso di crescita della produttività in USA dai quali risulterebbe che tale riduzione sarebbe proprio l'effetto del ricorso a rigide regole di protezione ambientale. Infine, anche quando i prezzi segnalano correttamente la scarsità del bene o risorsa, lasciare l'allocazione al mercato potrebbe non essere

ottimo. Pensiamo per esempio al caso del legno. Come abbiamo già avuto modo di menzionare, esso è l'unica risorsa naturale il cui prezzo (relativo) mostra un trend crescente e cionostante la produzione della carta è solo in minima parte interessata all'uso della risorsa secondaria (carta riciclata). Nonostante il prezzo crescente, il mercato è "lento" nel recepire la scarsità e se si aspetta che il prezzo della materia prima (legno) cresca di quanto è necessario a rendere economico l'uso della materia secondaria, probabilmente la quota di foreste nel globo sarà ridotta a livelli "insostenibili" sia come riproducibilità della risorsa che come capacità della stessa di produrre quelle esternalità positive per la vita sul pianeta come l'assorbimento di CO₂ e la regolazione climatica complessiva. Anche in questo caso l'intervento pubblico tramite l'uso di imposte sulla "materia prima naturale" (legno vivo) potrebbe rendere immediatamente economico l'uso della materia secondaria, con ciò favorendo la conservazione e riproducibilità delle foreste. In ultima analisi non sorprende che continui ad emergere la necessità dell'intervento pubblico: il bene ambientale in quanto bene pubblico (o privato con forti esternalità) è evidentemente sottoprodotto dal mercato.

Riferimenti Bibliografici

- Blanchard O. J., *Macroeconomia*, Il Mulino, 1998.
- Barro R.J., Sala-i-Martin X., "Convergence Accross States and Regions", *Brookings Papers on Economic Activity*, 1991, n.1
- Bishop R.C., "Endangered Species and Uncertainty: the Economics of a Safe Minimum Standard", *American Journal of Agricultural Economics*, 1978, 60.
- Boulding K.E., "The Economics of the Coming Spaceship Earth" in Jarret H. (ed), *Environmental Quality in a Growing Economy*, Baltimore: Johns Hopkins press, 1966.
- Daly H., "Toward Some Operational Principles of Sustainable Development", *Ecological Economics*, 1990, n.2.
- Denison E., *Trends in American Economic Growth , 1929-1982*, The Brookings Institution, 1985.
- Hartwick J.M., "Intergeneretional Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources", *American Economic Review*, 1977, 66.
- Hettige H.-Lucas R.E.B.-Wheeler D., "The Toxic Intensity of Industrial Production: Global Patterns, Trends and Trade Policy", *American Economic Review*, 1992, p.478.
- Hotelling H., "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy*, 1931, 39.
- Howarth R.B.-Norgaard R.B., "Environmental Evaluation under Sustainable Development", *American Economic Review*, 1992, p.473.
- Maddison A., *Phases of Capitalist Development*, Oxford University Press, 1982.
- Nordhaus W.D., "Lethal Model II: the Limits to Growth Revisited", *Brookings Papers on Economic Activity*, 1992, n.2.
- Nordhaus W.D.-Yang Z., "A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies", *American Economic Review*, 1996, settembre.
- OECD, *The Cost of Cutting Carbon Emissions: Results from Global Models*, Paris, 1993.

- OECD, *Energy Policies of IEA Countries. 1999 Review*, Paris, 2000.
- OECD, *Towards Sustainable Development. Environmental Indicators*, Paris, 1998.
- Panayoton T., "Economic Growth and the Environment", *CID Working Paper*, n.56, 2000
- Rapporto della Commissione Brundtland, "Our Common Future", World Commission on Environment and Development, 1987.
- Smulders S., "Entropy, Environment and Endogeneous Economic Growth", *International Tax and Public Finance*, 1995, n.2.
- Solow R., "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, 1957.
- Taylor J.-Woodford M. (eds), *Handbook of Macroeconomics*, North Holland, 1999.
- World Bank, *World Development Report 1992. Development and the Environment*, Oxford University Press, 1992.
- World Bank, Symposium on International Trade and Environment, Washington D.C., 1991.