



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE E AZIENDALI
"MARCO FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA INTERNAZIONALE
L-33 Classe delle lauree in SCIENZE ECONOMICHE

Tesi di laurea
**Sostenibilità ambientale nella crescita neoclassica: il modello di
Solow verde**

Environmental sustainability in the neoclassical growth: the green Solow model

Relatore:
Prof. BASSETTI THOMAS

Laureando:
SECCAFIEN MASSIMO

Anno Accademico 2015-2016

INDICE

1. Introduzione	3
2. componenti fondamentali del modello	4
2.1 Motivazione, significato ed obiettivi	4
2.2 Crescita secondo una prospettiva neoclassica	6
2.3 la curva di Kuznets ambientale	10
3. the Green Solow model	12
3.1 Struttura generale	12
3.2 Crescita sostenibile	15
3.3 Analisi e considerazioni	19
4 Conclusioni	24
Bibliografia	25

1. Introduzione

Il seguente elaborato ha lo scopo di fornire un punto di vista critico al contributo scientifico che la ricerca economica offre ogni giorno ad una delle sfide più gravi ed imminenti del nostro secolo: l'inquinamento globale.

Più precisamente, in questa sede si procede alla spiegazione ed all'analisi di uno dei paradigmi di economia ambientale che in questi ultimi anni ha riscontrato più approvazione. Si tratta del modello, pubblicato nel 2010 dai docenti e ricercatori americani William A. Brock e M. Scott Taylor, noto come "The Green Solow model". Tale composizione ha velocemente guadagnato notorietà poiché evidenzia con una certa naturalezza l'intima relazione che intercorre tra il modello di crescita neoclassica e la curva di Kuznet ambientale. Rappresenta inoltre un esempio eloquente di come la comunità scientifica economica mondiale non sia miope ai problemi causati dall'esponentiale crescita nella produzione degli ultimi anni e si adoperi efficacemente per risolverli.

In un contesto in cui si è da poco concluso a Parigi il più grande summit dedicato al tema dai tempi del protocollo di Kyoto, è estremamente stimolante occuparsi di un articolo scientifico che interpreti attraverso la lente della macroeconomia, materia cardine del mio corso di studi, un'attualità così pressante. Questa, accompagnata ad una spiccata sensibilità personale al tema della sostenibilità intergenerazionale dell'economia, è esattamente la ragione che mi ha spinto alla scelta del presente oggetto per la stesura del mio lavoro conclusivo del percorso di laurea. Nello sviluppare il lavoro, mi sono reso conto che la dimensione del tema trattato richiede una solida contestualizzazione in grado di porre le basi per la comprensione dell'elaborato. Questa è stata precisamente la mia intenzione nel redigere la prima parte della trattazione, in cui è presente:

- Una prima sezione dedicata al concetto di sviluppo sostenibile e alla sua nascita, alla letteratura scientifica in tema negli anni '90 e come questa abbia portato alla concezione del modello di Solow verde;
- Un secondo capitolo in cui si illustra ed esamina l'idea di crescita secondo l'approccio tradizionale nell'economia neoclassica; vengono inoltre introdotti i concetti fondamentali di progresso tecnologico e rendimenti marginali decrescenti, ampiamente sfruttati nel modello;
- La terza sezione invece si occupa di spiegare la così detta "*environmental Kuznets curve*", cardine della tesi su cui si fonda il modello.

Successivamente, l'attenzione si sposta verso il *Green Solow model* vero e proprio. La seconda parte, infatti, si articola in ulteriori due sezioni in cui viene illustrata la fusione dei concetti espressi nella prima parte e il funzionamento del risultato finale.

Quest'ultima sezione è particolarmente importante poiché rappresenta l'oggetto delle riflessioni personali espresse nell'ultimo capitolo.

Il lavoro quindi, nei limiti delle mie possibilità, è atto a dimostrare la capacità, sviluppata negli anni di studio universitario, di comprendere ed interpretare in modo critico un articolo scientifico, riuscendo al contempo a comunicare in modo chiaro, semplice ed efficace le opinioni sviluppate a riguardo.

2. componenti fondamentali del modello

2.1 Motivazione, significato ed obiettivi

Nel 1983 l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite affidò all'allora ministro dell'ambiente norvegese Gro Harlem Brundtland un compito estremamente significativo. L'obiettivo era guidare una commissione speciale incaricata di stilare un rapporto sulla situazione complessiva dell'ambiente e dello sviluppo mondiale, dal cui raggiungimento, tre anni più tardi, emerse una delle testimonianze più importanti nella storia nella politica ambientale globale.

Il documento in questione, noto principalmente come Rapporto Brundtland (anche se originariamente fu presentato con il titolo più evocativo di "Our Common Future": il nostro futuro comune), fu la chiave di volta nella letteratura scientifica in ambito di politica ambientale ed economia sostenibile. Il rapporto infatti ebbe il pregio di introdurre per la prima volta in assoluto il concetto di *sviluppo sostenibile*, la cui intuizione suggeriva al mondo come le politiche perseguenti la mera crescita economica si potessero rivelare miopi nel lungo periodo e che, dal punto di vista macroeconomico, era necessario focalizzare l'attenzione in modelli che tenessero in considerazione, oltre alle variabili più classiche come output, lavoro e capitale, anche fattori in grado di risolvere il problema della sostenibilità ambientale nella produzione.

Da un punto di vista storico, il concetto di sviluppo sostenibile introdotto dal Rapporto Brundtland non fu rivoluzionario ma suscitò un indubbio e profondo interesse in ambito scientifico poiché per la prima volta il problema degli effetti ambientali della crescita incontrollata venne riconosciuto e legittimato da un'organizzazione di importanza mondiale come le Nazioni Unite.

Fu grazie a ciò che gradualmente l'attenzione degli economisti si orientò verso questioni relative al rapporto tra ambiente e crescita economica, acquisendo a pari passo però anche la

consapevolezza che il cammino davanti a loro sarebbe stato particolarmente ostico ed impegnativo. La complessità dei rapporti che legano il sistema socioeconomico a quello ambientale infatti è estremamente ampia e, come si può ben immaginare, la difficoltà nel trovare modelli teorici che restituiscano risultati coerenti con la realtà e chiaramente interpretabili è assolutamente elevata.

Cionondimeno, soprattutto a partire dagli anni '90, sono emerse dalla letteratura scientifica alcune teorie di rilevanza fondamentale che, sebbene siano lontane dal risolvere il problema in maniera esauriente, offrono delle intuizioni capaci di portare significativi progressi nella politica della sostenibilità ambientale.

Una di queste in particolare gode di ampio successo in quanto trova un significativo riscontro nelle evidenze empiriche: la curva di Kuznets ambientale. Si tratta dell'ipotizzata relazione parabolica, individuata per la prima volta da Grossman e Krueger negli anni novanta¹, tra degrado ambientale, espresso in termini di emissioni di componenti nocive per l'atmosfera, e reddito pro capite di un'economia. La curva di Kuznets ambientale (d'ora in avanti EKC) si basa infatti su l'intuizione che, in un sistema economico, il degrado ambientale cresce al crescere della produzione fino a raggiungere un punto di massimo, oltre al quale fattori come il progresso nella tecnologia di abbattimento delle emissioni o una maggiore sensibilità sociale prevalgono riducendo il grado di inquinamento.

Il dibattito sulla EKC è stato particolarmente fervido ed ha generato numerosi articoli sia da parte dei sostenitori dell'idea sia da chi afferma la debolezza teorica degli argomenti a favore. In ogni caso, l'evidenza empirica a sostegno della curva è innegabile, ragion per cui è stata utilizzata spesso come strumento di supporto nello sviluppo di altri più completi modelli di economia sostenibile tra i quali il modello di Solow verde, tema centrale di questo elaborato.

In verità, la EKC funge molto più che da strumento di supporto per il *green Solow model*: si può tranquillamente affermare che essa è uno dei due pilastri che lo sorregge. La peculiarità del modello di Solow verde è, infatti, di considerare due modelli macroeconomici apparentemente distanti tra loro (uno lo conosciamo già, ed è la EKC; l'altro è il più fondamentale modello di crescita neoclassica, il modello di Solow, che introdurremo a breve) e, con delle opportune modifiche, metterli in relazione dimostrando che sono fortemente correlati. Ciò avviene con sorprendente naturalezza: W.A. Brock e M.S. Taylor, gli ideatori del modello, sfruttano i concetti di utilità marginale decrescente del capitale e progresso tecnologico per creare un

¹ G.M. GROSSMAN, A.B. KRUEGER, 1995, economic growth and the environment, *quarterly Journal of Economics*, 110, 353-377

modello abbastanza intuitivo che è in grado di esprimere previsioni in linea con le evidenze empiriche delle emissioni per gli Stati Uniti e l'Europa.²

Nel fare ciò si sono proposti di offrire uno strumento veramente utile ai decisori politici per le scelte in ambito di politica ambientale. Infatti, se la relazione descritta nel modello fosse coerente con la realtà, i ricercatori avrebbero dimostrato che, in qualche modo, la crescita economica è la chiave per il miglioramento delle condizioni ambientali. Secondo le credenze più comuni, questa potrebbe sembrare un'affermazione piuttosto contraddittoria ma le evidenze empiriche della EKC suggeriscono il contrario; se oltre a ciò consideriamo anche il progresso tecnologico nell'abbattimento dell'inquinamento ed un aumento marginale delle emissioni decrescente, ecco che il modello risultante potrebbe essere una svolta nelle decisioni in politica ambientale, nonché un contributo di tutto rispetto per le ricerche future.

2.2 Crescita secondo una prospettiva neoclassica

Le fondamenta della concezione neoclassica in materia di crescita economica sono esposte nel famoso articolo del 1956 di Robert Solow "*a Contribution to the Theory of Economic Growth*", al quale si affianca anche il lavoro, svolto indipendentemente nello stesso anno, dell'economista australiano Trevor Swan. Lo schema logico che emerge da questi articoli è comunque molto simile e si rivela tuttora utile per la comprensione delle dinamiche preponderanti nella crescita economica. In particolare, i concetti di variazione di capitale e progresso tecnologico risultano qui particolarmente importanti.

È intuibile che tale argomento risulti sufficientemente ampio e complesso da meritare una trattazione separata; ciò non toglie che nell'esposizione di questo capitolo vengano riassunti tutti i concetti chiave del modello di crescita neoclassica, con enfasi particolare su quelli che rappresentano il cardine del *Green Solow model*. Per una trattazione esaustiva comunque, si rimanda ad Acemoglu (2009), Solow (1956) e Swan (1956).

Il punto di partenza per l'esposizione dell'idea in questione dev'essere la funzione di produzione aggregata, cioè la relazione che spiega il rapporto tra output complessivo e input produttivi in un sistema economico. Più specificatamente, nel modello di Solow si assume che il risultato della produzione sia un unico bene omogeneo, l'output nella sua interezza, indicato dalla variabile Y, e che gli input esistenti siano due, capitale e lavoro, indicati rispettivamente con K e L. La relazione tra i fattori è descritta con la seguente equazione:

$$(1) \quad Y = F(K,L)$$

² Evidenze estratte dalle serie storiche messe a disposizione dall' E.P.A.

Ciò che determina la quantità di output Y , date K e L , è la funzione F .³

Ma cosa rappresenta in realtà F ? Da come è espressa l'equazione (1), si evince che a parità di capitale e lavoro, due economie che relazionano i fattori di produzione in maniera diversa ottengono un valore di Y diverso. Il concetto chiave è quindi la relazione che intercorre tra capitale e lavoro o, detto in altre parole, lo stato della tecnologia di un'economia.

Da tale intuizione si deriva anche il concetto successivo: se ipoteticamente le quantità di K e L all'interno della funzione raddoppiassero, raddoppierebbe anche Y ? La risposta a questa domanda incorpora l'idea di economia di scala: la variazione dell'output è più o meno proporzionale alla variazione degli input a seconda che la funzione goda di rendimenti di scala rispettivamente crescenti o decrescenti. Nel caso in cui la variazione sia esattamente proporzionale, si parla di rendimenti di scala costanti. Per quest'ultima ipotesi, da un punto di vista analitico si ha:

$$(2) \quad xY = F(xK, xL)$$

il che significa esattamente che per ogni variazione x degli input, l'output varierà precisamente nella stessa maniera.

Un'altra proprietà fondamentale emerge nel momento in cui si immagina come varia l'output al variare di un solo fattore produttivo. Supponiamo che K aumenti mentre L resti costante: la produzione aumenterà ma il contributo dato dal capitale alla crescita sarà tanto minore quanto più alto è il livello che lo stesso ha complessivamente raggiunto: il capitale gode di ciò che in microeconomia viene chiamato rendimento marginale decrescente. Analogamente, della stessa proprietà gode anche il lavoro.

In virtù della equazione (2), si assume ora che x sia uguale a $1/L$. Da ciò si deriva:

$$(3) \quad Y/N = F(K/L, L/L) = F(K/L, 1)$$

³ Chiaramente, le variabili così descritte rappresentano la realtà in maniera drasticamente semplificata. Il capitale, che si tratti di macchinari o fabbricati, contribuisce in maniera diversa alla produzione: un modello completamente realista infatti dovrebbe considerare differenti tipi di capitale come diversi fattori di produzione; lo stesso ragionamento vale per il lavoro di un operaio specializzato con anni di esperienza o un neofita appena uscito dalla scuola. È necessario ricordare che si tratta pur sempre di un modello teorico e la teoria, per sua natura, si basa su assunzioni che non rispecchiano esaurientemente la realtà.

Questa particolare relazione descrive la relazione tra produzione e capitale in termini pro capite, cioè per ogni unità del fattore lavoro. In altre parole, la suddetta equazione suggerisce che il reddito per lavoratore dipende dalla quantità di capitale che questo ha a disposizione.

D'ora in poi si indicheranno le variabili pro capite con le lettere minuscole. L'equazione (3) verrà quindi indicata:

$$(4) \quad y_t = f(k_t)$$

Dove il pedice t indica l'unità temporale.

A questo punto, si deve capire come varia il capitale nel tempo e per far ciò è necessario introdurre i concetti di risparmio e deprezzamento del capitale.

Se si assume di operare in un'economia chiusa, allora il risparmio, che coincide con gli investimenti, viene definito come la differenza tra reddito disponibile e consumi. Si assume inoltre che il risparmio sia proporzionale al reddito complessivo. In termini algebrici:

$$(5) \quad S = sy_t$$

Dove S maiuscolo indica il risparmio complessivo, s minuscolo la porzione di reddito destinata al risparmio (tasso di risparmio) e y_t il reddito al tempo t .

Viene inoltre ipotizzata una perdita di valore del capitale nel tempo, dovuta a due ragioni:

1. Una prima legata all'obsolescenza del capitale, indicata con il simbolo δ
2. Una seconda individuata nell'aumento della popolazione; in questa sede in fatti si discute di capitale pro capite quindi, come si legge dall'equazione (3), all'aumentare di N il rapporto diminuisce.

Alla luce di queste ultime considerazioni, la variazione del capitale nel tempo appare definita come segue:

$$(6) \quad k_{t+1} = k_t + sy_t - (n + \delta)k_t$$

Dove k_{t+1} indica il capitale al tempo $t+1$, sy_t è l'equazione numero (5), n è il tasso di crescita della popolazione e δ il tasso di obsolescenza. A parole, l'equazione soprastante esprime come il capitale pro capite aumenti nel tempo grazie al risparmio e diminuisca a causa dell'aumento della popolazione e del deprezzamento naturale del capitale già esistente.

L'equazione (6), in fine, ci permette di derivare la legge di accumulazione del capitale nel tempo:

$$(7) \quad \dot{k} = sf(k_t) - (n + \delta)k_t$$

In cui la variabile k caratterizzata dal punto sovrascritto indica la variazione del capitale pro capite rispetto al tempo e $f(k_t)$ sostituisce y_t in virtù dell'equazione (4).

Quest'ultima relazione può dare origini a tre diverse situazioni:

- a) $\dot{k} > 0$: ciò significa che il risparmio, e la creazione di valore che ne deriva, supera la perdita generata dal deprezzamento e dall'aumento della popolazione. L'economia si trova in una situazione di crescita, ma con una caratteristica che vale la pena ricordare: in virtù dei rendimenti marginali decrescenti la crescita tenderà a diminuire man mano che il capitale aumenta.
- b) $\dot{k} < 0$: questo caso, opposto al precedente, identifica una situazione in cui l'obsolescenza del capitale e la crescita sostenuta della popolazione prevalgono sull'effetto positivo del risparmio: la crescita è negativa.
- c) $\dot{k} = 0$: questo è di gran lunga il caso più interessante poiché si tratta della previsione finale del modello. In tale ipotesi il capitale creato dal risparmio ha raggiunto un'entità tale da essere esattamente pari alla quantità dello stesso distrutta dal deprezzamento: si è arrivati ad un punto di convergenza.

In uno scenario come quello appena descritto, il reddito non aumenta nel lungo periodo poiché l'unico fattore di crescita endogeno, il capitale, raggiunge un livello detto stazionario che rappresenta il punto di equilibrio dinamico del sistema economico⁴. L'unica ipotesi di crescita di lungo periodo è data dalla possibilità di uno shock di natura puramente esogena che, in genere, viene identificato con un'innovazione tecnologica, cioè un aumento di efficienza del parametro F espresso nell'equazione (1).

L'equazione (7) sintetizza il processo di crescita economica immaginato da Solow: all'interno di essa sono presenti quasi tutti gli elementi per comprendere le dinamiche della crescita sfruttate nel *Green Solow model*; è inoltre il punto di partenza da cui W.A. Brock e M.S. Taylor derivano le loro ipotesi sulla relazione tra crescita ed emissioni.

⁴ Naturalmente, in quanto variabili pro capite, anche un cambiamento nella popolazione avrebbe un effetto significativo nel determinare il reddito, ma non è questo il punto su cui si vuole focalizzare l'attenzione.

2.3 la curva di Kuznets ambientale

La teoria nota come curva di Kuznets ambientale (Environmental Kuznets Curve, EKC) trae le sue origini dalle ricerche effettuate da Simon Kuznets, economista statunitense e premio Nobel nel 1971 conosciuto soprattutto per il suo studio riguardante il rapporto tra struttura sociale e crescita del reddito nell'economia. Ciò che contraddistingue più di ogni altra cosa le sue ricerche è l'intuizione che, all'aumentare della produzione pro capite, la disuguaglianza nella distribuzione dei redditi aumenta solo inizialmente per poi gradualmente diminuire, descrivendo cioè un andamento di tipo parabolico.

Le ricerche sulla EKC si ispirano fortemente a questa scoperta, con la differenza di considerare però, in luogo della disuguaglianza sociale, il degrado ambientale. L'anima della EKC risiede infatti nell'idea che il deterioramento della qualità ambientale proceda parallelamente alla crescita di un sistema economico solo in una fase iniziale del suo sviluppo: oltre un certo livello si nota un'inversione di tendenza, e, per incrementi ulteriori di reddito, si ottiene una quantità di emissioni minore.

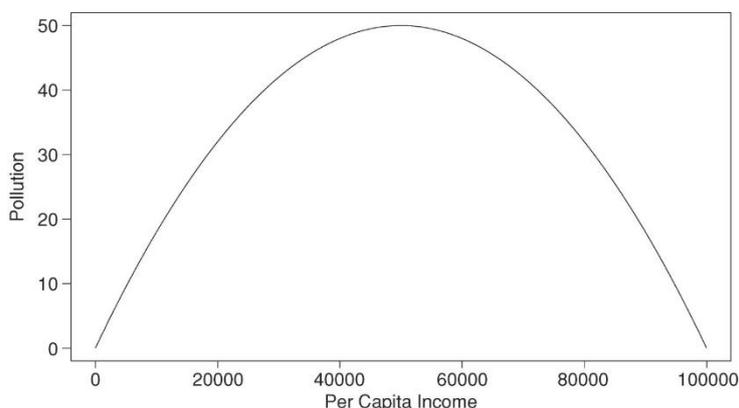


Figura 1: Environmental Kuznets Curve; fonte: reep.oxfordjournals.org

La teoria EKC ha goduto di una certa notorietà in ambiente scientifico soprattutto a partire dagli anni novanta, periodo in cui si ha iniziato ad affiancare alla mera intuizione anche una serie di ricerche empiriche mirate a raffinare modelli statistici ed econometrici in grado di stimare la curva. Particolarmente pionieristico è lo studio condotto da Grossman e Krueger (1994), in cui, esaminando l'impatto ambientale del NAFTA in Messico e negli Stati Uniti, ricavano una

relazione ad U rovesciata tra la presenza di fattori inquinanti nell'aria e aumento del reddito generato dagli accordi di libero scambio.

Da tale relazione, supportata da forti evidenze empiriche, emerge chiaramente l'influenza della variazione del reddito sull'ambiente ma, al contempo, non affiorano le ragioni per cui esiste. Il modello in questione infatti è di carattere puramente descrittivo. Ciò non significa che non siano state avanzate ipotesi sull'origine di questa relazione: al contrario, nella letteratura EKC sono individuati diversi fenomeni che contribuiscono alla creazione della curva, alcuni dei quali menzionati direttamente nella costruzione del *Green Solow model*.

Tre fenomeni in particolare sono considerati prevalenti:

1. Effetto scala
2. Composizione della struttura produttiva
3. Stato della tecnologia.

Innanzitutto l'effetto scala: è ciò che descrive il rapporto caratterizzante la curva nelle prime fasi dello sviluppo economico. La relazione tra output e degrado ambientale è diretta poiché non ci sono fattori che spingono nella direzione opposta. L'aumento della produzione causa un impiego maggiore di risorse naturali dal quale consegue una crescita delle emissioni inquinanti e rifiuti. Va inoltre tenuto a mente che, da un punto di vista sociale, la domanda di qualità ambientale è bassa.

Successivamente, c'è da considerare il fatto che industrie diverse hanno impatti ambientali diversi. Nelle prime fasi dello sviluppo di un sistema economico infatti, la struttura produttiva è prevalentemente agricola e il grado di emissioni inquinanti e impatto ambientale è relativamente basso. In un secondo momento, il sistema primario si evolve in un'economia dal carattere industriale, dal quale emerge un livello di degrado ambientale superiore: ecco che in questa fase si assiste ad una relazione positiva tra crescita ed inquinamento.

Infine, a questi due elementi c'è da aggiungere l'importante effetto causato dalla tecnologia, peraltro fortemente correlato al precedente concetto di composizione della struttura produttiva. L'avanzamento tecnologico inoltre è la spiegazione più convincente per la forma a campana della EKC. Lo stato della tecnologia influisce infatti su due fronti: da un punto di vista produttivo, un'innovazione tecnologica permette di ottenere la stessa quantità di output impiegando un minore ammontare di input e producendo quindi meno rifiuti; da un punto di vista delle emissioni vere e proprie permette un grado di abbattimento delle emissioni per unità di output maggiore.

Nella formazione della EKC quindi, si può ipotizzare che nelle prime fasi dello sviluppo dell'economia l'effetto scala e la composizione della struttura produttiva siano protagonisti nella relazione tra reddito ed ambiente ma, nel lungo periodo, l'innovazione tecnologica possa

prevalere portando i livelli di degrado ambientale ad un punto precedente lo sviluppo industriale, pur mantenendo alto il reddito complessivo.

Un ulteriore aspetto particolarmente interessante nella formazione della EKC è il concetto di domanda di qualità ambientale. Un aumento del reddito infatti implica una richiesta di standard di vita più elevati da parte dei cittadini, che si concretizza anche in una maggiore attenzione nelle questioni relative alla salvaguardia dell'ambiente. L'aumento della sensibilità ambientale è indubbiamente un incentivo alla ricerca e allo sviluppo di tecnologie più pulite, nonché all'adozione da parte dei governi di politiche specifiche orientate allo scopo.

Nella spiegazione del *Green Solow model*, Brock e Taylor (2010) cercano di andare oltre la letteratura EKC principale qui appena esposta: essi infatti sostengono che le ragioni sottostanti la curva siano implicitamente spiegate già nel modello di Solow. Per dimostrare ciò, si ricorre ad una variante del modello tradizionale in cui la crescita tecnologica negli abbattimenti delle emissioni e, ancora una volta, il concetto di rendimenti marginali decrescenti recitano un ruolo primario.

Alla luce del contesto in cui il *Green Solow model* va inserito, il capitolo seguente sarà interamente incentrato nell'esposizione dell'idea che costituisce il modello: saranno esposti i principali argomenti a sostegno di essa e ne saranno evidenziati sia i punti di forza sia quelli dubbi e poco incisivi.

3. the Green Solow model

3.1 Struttura generale

Il cuore del *Green Solow model* è - come del resto il nome stesso suggerisce - il modello di Solow, al quale vengono però aggiunte delle considerazioni che, ancora una volta mediante il concetto di crescita tecnologica, dimostrano il parallelismo tra aumento del reddito e miglioramento nelle condizioni ambientali.

Nel modello come presentato da William e Taylor, le variabili riguardanti il tasso di risparmio e di abbattimento sono considerate costanti ed esogene. Ciò non influisce sul risultato finale e rende il ragionamento più semplice. L'assunzione di un tasso di abbattimento fisso, inoltre, contribuisce a rendere più evidente l'influenza dell'utilità marginale decrescente dei fattori produttivi e del progresso tecnologico nella generazione di una EKC.

Iniziamo quindi considerando il modello di Solow standard come presentato nel secondo capitolo di questo elaborato. La produzione Y è un prodotto di capitale K e lavoro L , come descritto nella funzione (1). Il capitale aumenta nel tempo in virtù del tasso di risparmio s e diminuisce a causa del deprezzamento δ . La prima vera differenza con il modello standard è data dalla variabile B , quella che nell'articolo è definita come “*labour augmenting technological progress*”. Questa caratteristica è necessaria per esprimere in forma analitica l'idea che ogni aumento tecnologico rende ogni lavoratore più produttivo. Un buon modo per comprendere tale concetto è il classico esempio della segretaria che, passando da un'obsoleta macchina da scrivere ad un innovativo computer, riesce facilmente a modificare, duplicare e migliorare il proprio lavoro.

Alla luce di ciò, la funzione di produzione per il *Green Solow model* diventa:

$$(8) \quad Y = F(K, BL)$$

Dove B , appunto, esprime il parametro di efficacia del lavoro risultante dallo stato della tecnologia.

È utile riprendere in forma analitica inoltre l'andamento nel tempo delle variabili appena espresse:

$$(9) \quad \dot{K} = sY - \delta K$$

$$(10) \quad \dot{L} = nL$$

$$(11) \quad \dot{B} = gbB$$

Da cui si evince che la variazione del capitale dipende dal risparmio e dal deprezzamento, il lavoro cambia in funzione della crescita della popolazione n e lo stato della tecnologia progredisce ad un tasso esogeno gb .

A questo punto, è necessario iniziare ad introdurre il ruolo che l'inquinamento recita in tutto questo. A tal fine, si procede utilizzando l'approccio descritto per la prima volta da Copeland and Taylor (1994), in cui si assume che ogni unità di attività produttiva F genera, oltre all'output stesso, anche ΩF unità di agenti inquinanti. Si assume che la quantità complessiva di inquinamento provocato dalla produzione in assenza di attività di abbattimento sia sempre maggiore della stessa in presenza di abbattimento. L'attività di abbattimento, indicata con ΩA , è data dalle risorse indirizzate alla diminuzione degli inquinanti ed è caratterizzata da rendimenti di scala costanti e marginali decrescenti. Si assume inoltre che l'inquinamento abbattuto dipenda sia dagli sforzi impiegati dal sistema economico per combattere

l'inquinamento, indicati con la variabile F^A , sia dall'ammontare totale dell'attività economica F . Ciò significa che il totale degli agenti inquinanti emessi in un'economia risulta dal totale dell'inquinamento prodotto (che dipende direttamente dall'attività produttiva) diminuito dell'inquinamento eliminato grazie alle attività di abbattimento (che dipendono dall'ammontare dell'attività produttiva e dalle risorse impiegate per lo scopo). In forma analitica diventa:

$$(12) \quad E = \Omega F - \Omega A(F, F^A)$$

Che può essere riscritta come:

$$(13) \quad E = \Omega F[1 - A(1, F^A/F)]$$

Ovvero:

$$(14) \quad E = \Omega F a(\theta)$$

Dove $a(\theta) = [1 - A(1, F^A/F)]$ e $\theta = F^A/F$.

Si nota che l'equazione scritta in questo modo esprime chiaramente nel parametro θ la frazione di attività economica dedicata all'abbattimento degli inquinanti.

Affinché le assunzioni appena esplicitate su inquinamento e abbattimento si armonizzino con il modello di Solow, è necessario fare alcune considerazioni.

La prima riguarda la produzione: nel modello neoclassico il reddito, al netto delle tasse, è destinato esclusivamente a consumi ed investimenti. Da ciò che è stato detto sull'abbattimento nel precedente paragrafo si deve considerare anche una terza destinazione, rappresentata dal parametro θ . Il reddito disponibile per consumi ed investimenti infatti diventa tale solo dopo aver tolto dall'ammontare complessivo i costi destinati all'abbattimento, cioè, in termini analitici, $Y = [1 - \theta]F$.

In secondo luogo, è necessario accordare il modello standard con quello che è stato detto riguardo il parametro B e, più precisamente, al suo tasso di crescita gb . Per far ciò si nota innanzitutto che un'assunzione di questo tipo modifica l'equazione (7), aggiungendo un addendo alla parentesi del secondo termine. Il tasso di crescita della produttività del lavoro infatti va ad influenzare il rapporto delle grandezze in termini pro capite, sminuendo il valore relativo del capitale. Si assume inoltre che, parallelamente al progresso tecnologico nell'attività lavorativa, sia presente anche un progresso tecnologico nell'attività di abbattimento che diminuisce il parametro Ω di un tasso $ga > 0$.

Quindi, riassumendo gli ultimi punti in termini analitici e pro capite, si ottiene:

$$(15) \quad y = f(k)[1 - \theta]$$

$$(16) \quad \dot{k} = sf(k)[1 - \theta] - [\delta + n + gb]k$$

$$(17) \quad e = f(k)\Omega\alpha(\theta)$$

Dove $k = K/BL$, $y = Y/BL$, $e = E/BL$ e $f(k) = F(k, 1)$, in virtù dello stesso ragionamento fatto per l'equazione (3).

Come il modello tradizionale, anche la sua versione *green* prevede un punto di convergenza, ugualmente individuato nella coincidenza tra distruzione e creazione di valore del capitale pro capite. Sebbene in questa sede si consideri anche il progresso tecnico B , l'idea di base non cambia: il risparmio contribuisce positivamente alla produzione, gli ammortamenti negativamente e finché il primo prevale sui secondi si assiste ad un processo di crescita guidato dall'aumento del fattore capitale. Nel momento in cui queste forze si eguagliano allora anche la loro influenza viene meno. Ciò non vuol dire però che la crescita sia assente, significa solamente che l'aumento è determinato da gli altri due elementi della funzione (8) e cioè forza lavoro (L) e progresso tecnico (B). In altre parole, da un punto di vista assoluto (quindi non pro capite), la crescita del capitale, il suo consumo e la crescita complessiva della produzione sono uguali all'aumento demografico n e del progresso tecnico gb .

$$(18) \quad g_y = g_c = g_k = g_b + n$$

Questa situazione prende il nome di crescita bilanciata e rappresenta un importante passo avanti verso la comprensione di sostenibilità come intesa dagli autori del modello.

3.2 Crescita sostenibile

Partendo dal presupposto appena illustrato, e sfruttando le informazioni fornite dall'equazione (17), si può derivare un primo risultato identificativo riguardo l'andamento delle emissioni nel sistema economico in una situazione di crescita bilanciata:

$$(19) \quad g_E = g_B + n - g_A$$

I primi due termini nella parte destra dell'equazione soprastante rappresentano la crescita dell'attività produttiva nello stato stazionario, dalla quale, come spiegato in precedenza, secondo il modello dipendono direttamente le emissioni. Il terzo termine invece è il progresso tecnologico nelle attività di abbattimento, anch'esso precedentemente annunciato.

Tale uguaglianza peraltro regala il primo punto veramente interessante nell'articolo di Brock e Taylor: se ipotizzassimo una situazione in cui la crescita è positiva e il progresso tecnologico in tema di abbattimento sufficientemente alto, il risultato sarebbe un aumento del reddito accompagnato da una contestuale diminuzione del livello di emissioni; in altre parole la circostanza ipotizzata dalla EKC.

Sempre di crescita si parla quindi, ma con una differenza basilare: la sostenibilità.

In questa occasione infatti si discute di un tipo di crescita congrua al sentiero di crescita bilanciata in cui si assiste, oltre che ad un aumento del reddito complessivo, anche ad un miglioramento delle condizioni ambientali dovuto alla riduzione delle emissioni.

In termini dell'equazione (19), la crescita sostenibile è garantita dalle seguenti condizioni:

A. $g_B > 0$

B. $g_A > g_b + n$

Il progresso tecnologico nella produzione è necessario per garantire la crescita ma, affinché questa sia sostenibile, il progresso tecnologico nelle attività di abbattimento deve superare la crescita del reddito aggregato.

Il modello di Solow verde fin ora descritto, benché non particolarmente complicato, è in grado di fornire una spiegazione piuttosto suggestiva riguardo l'evidenza empirica dei dati su reddito pro capite e qualità ambientale. Ad ulteriore sostegno di ciò, viene fornita anche un'utile, sebbene ad un primo impatto complessa, rappresentazione grafica in grado di chiarire ulteriormente il fatto che dal modello così descritto deriva naturalmente una EKC (*figura 2*).

Il piano superiore prende in considerazione, nell'asse delle ordinate, il tasso di crescita delle emissioni e del capitale mentre, nell'asse delle ascisse, considera il livello di capitale pro capite. Si nota che è molto simile ad uno dei metodi di rappresentazione del modello di Solow

tradizionale. Il secondo diagramma deriva direttamente dal primo e illustra il livello di emissioni come funzione del capitale pro capite. L'andamento risultante è direttamente riconducibile a quello di una EKC.

Per comprenderlo a fondo però, è necessario derivare analiticamente le grandezze descritte nei grafici e a tal fine si è scelto di adottare una formulazione di tipo Cobb-Douglas caratterizzata da un'influenza costante del capitale nella produzione α , con $0 < \alpha < 1$. Si ricorda inoltre l'assunzione iniziale dei rendimenti di scala costanti.

Alla luce di ciò, Brock e Taylor sviluppano un'equazione differenziale che permette di individuare il livello di emissioni aggregate, per ogni tempo t , come segue:

$$(20) \quad E = B(0)L(0)\Omega(0)a(\theta)e^{gEt}k^\alpha$$

Dove $B(0)$, $L(0)$ e $\Omega(0)$ rappresentano le condizioni iniziali, il quarto e il quinto fattore sono utilizzati in virtù delle informazioni nelle equazioni (17) e (19) e k^α deriva da ciò che è stato detto nel paragrafo immediatamente precedente a questo.

Sebbene quest'ultima uguaglianza possa risultare più complessa rispetto alle precedenti, ha il pregio di consentire la determinazione del tasso di crescita delle emissioni in un periodo t . In particolare, differenziandola rispetto al tempo, si ottiene:

$$(21) \quad \frac{\dot{E}}{E} = g_e + \alpha \frac{\dot{k}}{k}$$

Dove il tasso di cambiamento del capitale pro capite è derivato direttamente dall'equazione (16) in questo modo:

$$(22) \quad \frac{\dot{k}}{k} = sk^{\alpha-1}(1 - \theta) - (\delta + n + g_B)$$

A questo punto, è possibile avvalersi delle due equazioni appena illustrate per collegare le dinamiche di accumulazione del capitale ed evoluzione dell'inquinamento usando i due grafici della figura 2.

Nell'asse verticale del grafico superiore è stata indicata, sotto il nominativo di *Rates of Change*, l'equazione (21) cioè i tassi di capitale pro capite ed emissioni aggregate; la grandezza indicata nell'asse orizzontale è invece chiara ed è, come già detto, il livello di capitale pro capite. La curva con coefficiente angolare negativo indicata con $\alpha s(1 - \theta)k^{\alpha-1}$

rappresenta il risparmio e quindi la creazione di valore del capitale nel modello. In virtù dei rendimenti marginali decrescenti del capitale, l'investimento diminuisce man mano che il livello di capitale pro capite aumenta. Le due rette parallele all'asse verticale sono tali poiché considerate costanti, il loro andamento infatti non dipende per nessuna delle grandezze considerate dal capitale. È interessante notare inoltre che il parametro g_E è negativo: si deduce quindi che, in base alle affermazioni all'inizio del capitolo, implicitamente la crescita è sostenibile.

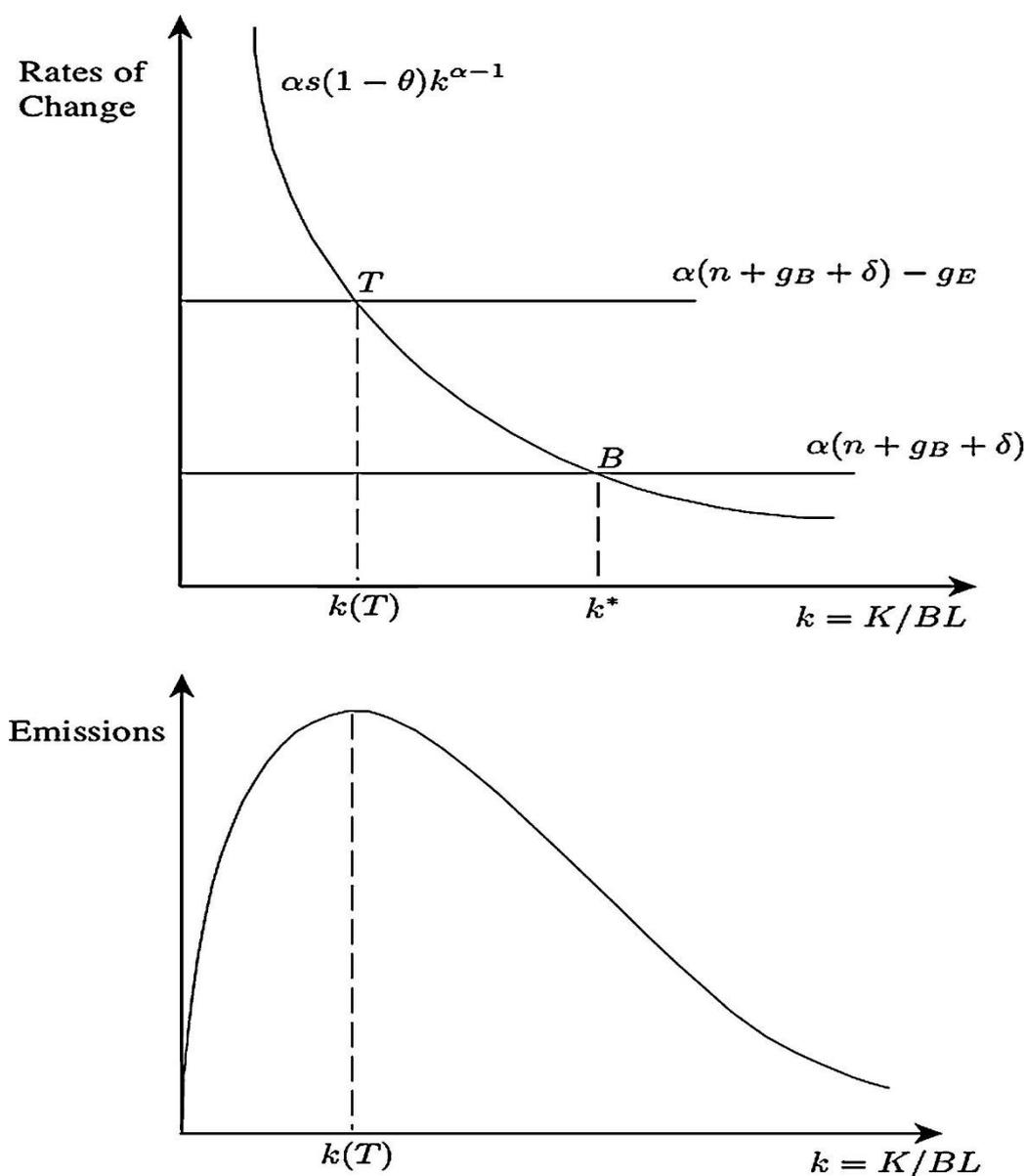


Figura 2: rappresentazione grafica del modello di Solow verde.

Fonte: Brock, W. A., and Taylor M. S., "The green Solow model." 2010

Prendiamo in considerazione ora il punto di intersezione B. Alla sua sinistra la curva del risparmio è maggiore rispetto alla retta che indica il deprezzamento relativo pro capite: il capitale perciò aumenta. Al contrario, alla destra del punto B si osserva la condizione opposta: la perdita di valore è maggiore rispetto all'investimento, di conseguenza il capitale tende a diminuire. Il punto B quindi indica un punto di convergenza in cui il livello di capitale pro capite k^* garantisce una situazione di crescita bilanciata. Nel momento in cui si raggiunge tale livello, \dot{k} si annulla e la crescita complessiva è uguale a $g_b + n$. Si nota inoltre che il tasso di crescita è maggiore per livelli di capitale più bassi e tende a zero man mano che k aumenta.

Ora un passo avanti. In base a come è costruita l'equazione (21) e a come è impostato il grafico, g_E è considerata costante; di conseguenza il tasso di variazione delle emissioni nel tempo gode delle stesse proprietà del tasso di variazione del capitale pro capite nel modello tradizionale.

Questo significa che esiste un punto in cui la variazione delle emissioni complessive $\frac{\dot{E}}{E}$ è uguale semplicemente a g_E , poiché la crescita di capitale pro capite è uguale a zero. Nella figura 2, questo punto corrisponde all'intersezione tra la curva degli investimenti e la retta $(\delta + n + g_B) - g_E$, cioè al punto T. la caratteristica peculiare di T è che la crescita delle emissioni, per quel livello di capitale pro capite, è nulla. La relazione tra il punto T e il tasso di emissioni segue lo stesso ragionamento valido per k^* e il reddito nel modello di Solow tradizionale. A sinistra di T la crescita delle emissioni è positiva mentre alla sua destra il fenomeno è contrario. Il passo veramente interessante è che, a differenza del modello di Solow, questo non è il punto di convergenza dell'economia. La stazionarietà infatti è prevista comunque nel punto in cui creazione e distruzione di capitale convergono. Di conseguenza, per una distanza che va dal livello T al livello B del capitale, l'economia sarà in crescita pur presentando tassi di variazione delle emissioni negativi.

3.3 Analisi e considerazioni

Come già accennato nell'introduzione, lo scopo del presente elaborato non è limitarsi a riportare ciò che Brock e Taylor hanno creato. L'obiettivo è contestualizzare, sottolineare e, nei limiti delle mie conoscenze, evidenziare gli aspetti più interessanti e le eventuali lacune del loro prodotto. La funzione del precedente capitolo quindi è stata di esporre i tratti salienti dell'oggetto su cui successivamente sono state sviluppate le seguenti valutazioni.

La prima idea significativamente rilevante deriva dal fatto che il punto di forza del modello è, per certi versi, la sua stessa debolezza. La colonna portante dell'articolo infatti è il modello tradizionale di crescita neoclassica, al quale sono state presentate molte critiche che per analogia possono essere dirette anche al *green Solow model* stesso. Primo fra tutti, il fatto che le

assunzioni che costruiscono il mondo rappresentato dal modello inducono il lettore ad interpretare la realtà in maniera, in qualche modo, troppo semplicistica. Chiunque abbia avuto modo di confrontarsi con l'ambiente della macroeconomia è a conoscenza che questa è una regola imprescindibile del gioco: come una cartina geografica in scala 1:1, anche un modello che tenga conto di ogni singolo aspetto della realtà sarebbe inutile, poiché troppo complicato per permettere di avere una visione globale del fenomeno analizzato. Ciò non toglie però che passi troppo audaci in questa direzione possano avere effetti controproducenti. Alcune assunzioni implicite in particolare, come di fatto considerare gli agenti inquinanti un insieme unico ed omogeneo o generalizzare il modello per ogni sistema senza tener conto delle caratteristiche individuali di ogni paese, possono minare l'efficacia della tesi esposta nel precedente capitolo.

È plausibile pensare che Brock e Taylor, nel redigere il loro articolo, non si ponessero l'obiettivo di affrontare esaurientemente il problema della relazione tra crescita e sostenibilità, quanto piuttosto di fornire una solida connessione tra teoria ed evidenza empirica che rappresentasse una base stabile per ulteriori ricerche future. In questo il loro lavoro è interessante, seppur caratterizzato da alcuni interrogativi irrisolti.

I dati da loro utilizzati infatti, riassumibili nella figura 3, si basano esclusivamente sull'andamento dei sei degli agenti inquinanti più comuni negli Stati Uniti in relazione ad un periodo che va dal 1948 al 1998.

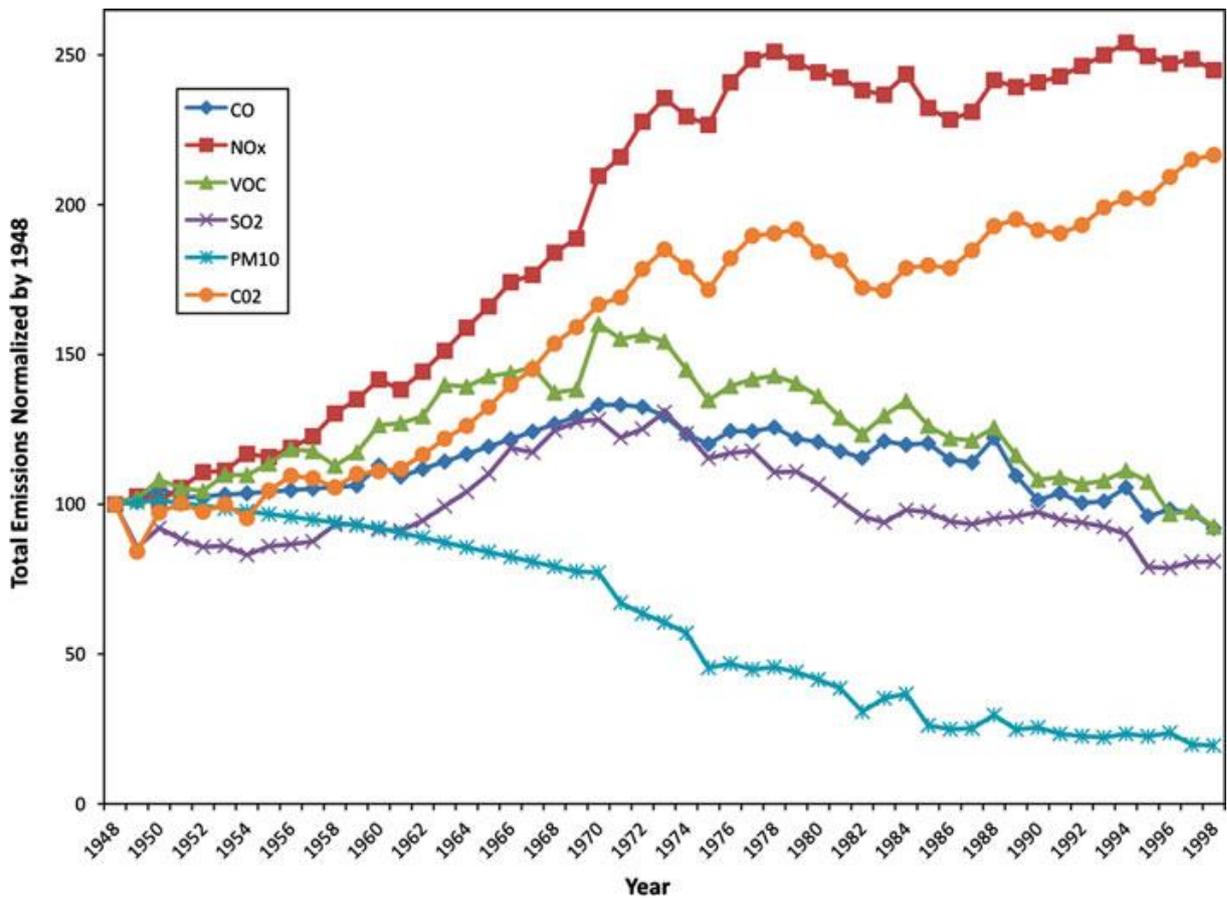


Figura 3: emissioni totali nel tempo negli Stati Uniti. Anno base 1948

Fonte: Brock, W. A., and Taylor M. S., "The green Solow model." 2010

Ad una prima analisi l'immagine soprastante giustifica un modello strutturato sulla EKC poiché ben quattro dei sei agenti presenti tracciano la curva già nel periodo considerato. Ciò che merita un approfondimento ulteriore però è l'andamento dei due inquinanti segnati in rosso e arancione: il diossido di azoto e l'anidride carbonica. Questi ultimi infatti, quantomeno per il periodo in analisi, non presentano l'inversione di tendenza dalla crescita persistente che caratterizzerebbe una EKC. Affinché si eviti di dar adito ad argomenti a sfavore della stessa quindi, è necessario investigare ulteriormente questo aspetto dell'evidenza. Iniziamo dicendo che esistono diversi studi (il più eloquente dei quali è di Holts-Eakin e Selden, 1995) che analizzano la relazione intercorrente tra reddito e CO2 nello specifico, dai quali sembra emergere una relazione di proporzionalità diretta tra emissioni di anidride carbonica e produzione complessiva, che sarebbe in netto contrasto con una delle ragioni d'essere del *green Solow model*. Nell'articolo viene comprensibilmente dato molto risalto alle forti evidenze empiriche a sostegno della EKC, colonna portante dell'intera tesi; non sono mai citati o confutati però studi degni di nota (tra i quali il già nominato Holts-Eakin e Selden del 1995) in cui vengono argomentate con efficacia posizioni opposte.

La stessa fonte (www.epa.gov) da cui si è attinto per ottenere i dati dell'articolo conferma il trend sostanzialmente lineare delle emissioni di diossido di carbonio nel periodo che va dal 1998 al 2014, nonostante la crescita reale della produzione negli Stati Uniti sia stata di quasi il 43% per quel periodo (fonte: <https://fred.stlouisfed.org/series/GDPC1>). Secondo l'EPA risulta infatti questo:

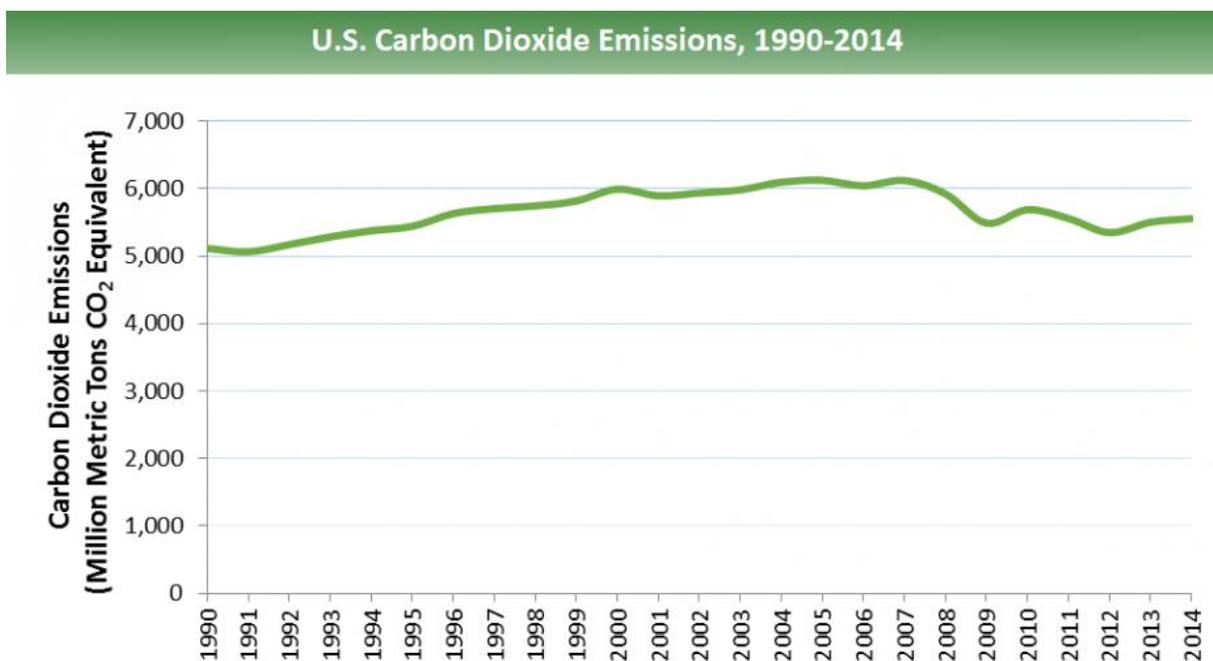


Figura 4: emissioni di CO₂ negli Stati Uniti.

Fonte: <https://www.epa.gov/air-trends/air-quality-national-summary>

Sebbene in quest'ultimo grafico i dati non siano normalizzati con base 1948 come nel precedente, il punto è chiaro: malgrado una crescita sostenuta dell'economia, dal 1998 al 2014 non si è assistito ad un declino veramente significativo nelle emissioni di anidride carbonica. Questo significa quantomeno che l'assunzione di omogeneità tra gli agenti atmosferici può portare, in alcuni casi, ad una rappresentazione non veritiera della realtà. Ciò non implica assolutamente che il modello debba considerarsi invalido, denota solamente che il problema è assai ampio, e che probabilmente la EKC è consistente solo con una parte di esso.

Quest'ultima considerazione, del resto, non esprime nulla di rivoluzionario: si notano infatti numerosi studi di altrettanti ricercatori che, consapevoli di ciò, forniscono interessanti spiegazioni alternative. Tra queste spicca la teoria esposta in un famoso articolo di Dasgupta et al. (2002) in cui si ipotizzano almeno quattro diverse relazioni tra inquinanti e reddito, una sola delle quali direttamente riconducibile alla EKC come intesa nel modello di Solow verde. Nel suddetto articolo è affrontato il tema della distinzione tra tipi di inquinanti, presentando

contestualmente anche una spiegazione per l'andamento dell'anidride carbonica. Secondo gli autori infatti, sarebbe necessario innanzitutto distinguere tra gli agenti inquinanti che hanno un impatto locale e quelli caratterizzati da una dispersione geografica più ampia, come il diossido di carbonio. Per questi ultimi, il progresso tecnologico nell'abbattimento degli inquinanti sarebbe una condizione necessaria ma non sufficiente alla diminuzione delle emissioni complessive, poiché, essendo l'effetto inquinante ad ampio spettro, si renderebbe necessario anche il coordinamento e la cooperazione tra diversi sistemi economici, concetto che nel lavoro di Brock and Taylor è affrontato solo da un punto di vista di politiche ambientali governative, le quali però avrebbero un effetto unicamente sul livello complessivo di inquinanti e non sul loro tasso di emissione, rendendole di fatto irrilevanti ai fini del modello.

Un altro aspetto interessante da considerare è quello dei così detti *New Toxic*, cioè quel tipo di inquinanti che, essendo di nuova generazione, non sono regolamentati e per i quali non esiste ancora un'efficace tecnologia di abbattimento. Meritano un'attenzione particolare perché questa categoria risulta direttamente collegata alla crescita tecnologica nella produzione. Il concetto di aumento tecnologico gode di una particolare considerazione nei modelli macroeconomici poiché, come già spiegato, è il catalizzatore della crescita economica. Raramente vengono analizzati però i possibili aspetti negativi che questa comporta. Uno di essi è sicuramente l'impatto ambientale. Per definizione infatti, un'innovazione tecnologica dà origine a qualcosa di inedito, dal quale potrebbe emergere un tipo di emissioni per cui non esiste un piano di abbattimento. Se, in riferimento al modello del capitolo precedente, si considerasse che per ogni variazione positiva della crescita tecnologica ci fosse anche una variazione positiva nel livello di emissioni con la peculiarità di non poter essere immediatamente abbattuto, ecco che si viene a creare una relazione monotona positiva tra emissioni e reddito.

Pur mantenendo la consapevolezza che il modello si riferisce al sistema economico nel suo aggregato, esprimere il tasso di variazione delle emissioni con un solo parametro complessivo g_E è quindi un limite. Non è credibile infatti che il livello di tecnologia nell'abbattimento di un sistema economico sia riassumibile in un solo parametro g_A . Un'economia che ha raggiunto il punto di convergenza k^* potrebbe operare sotto la condizione di crescita sostenibile per agenti come il pulviscolo atmosferico o i composti organici volatili mentre la stessa potrebbe mancare per i *new toxic* o, più semplicemente, il diossido di carbonio. Espresso in termini del grafico nella figura 2, potrebbe esistere una tecnologia di abbattimento per alcuni inquinanti tale per cui il parametro g_E rispecchia la situazione descritta nell'immagine, ma contestualmente potrebbero esserci altri agenti per cui il parametro g_E è positivo con la conseguenza che nello stato stazionario la EKC lascia spazio ad una meno auspicabile crescita monotona.

4. Conclusioni

All'alba della ratifica degli accordi di Parigi da parte di Cina e Stati Uniti, il tema della sostenibilità ambientale splende di rinnovata importanza. Nell'immediato futuro, si pensa che molti altri paesi, tra i quali Italia e Unione Europea, condivideranno l'impegno siglato in Francia nel dicembre 2015 e imporranno il carattere di esecutività alle previsioni del trattato. Questi accordi rappresentano un passo ancora maggiore rispetto al protocollo di Kyoto in materia di cambiamento climatico e sintetizzano l'avanguardia mondiale in termini di efficacia nel prevenire il surriscaldamento globale. Oltre al controllo periodico dei risultati ottenuti, i tre principali obiettivi fissati sono:

- Mantenere l'aumento delle temperature al di sotto dei 2°, con un target auspicabile di 1,5°;
- Raggiungere un tasso di emissioni nocive tale per cui queste possano essere riassorbite naturalmente;
- Sostenere finanziariamente in maniera significativa i paesi meno abbienti affinché siano in grado di sviluppare autonomamente fonti di energia meno inquinanti.

È estremamente stimolante e significativo notare come due dei tre obiettivi sopracitati siano anche, in qualche modo, la soluzione al problema proposto dal modello di Solow verde. In particolare l'ultimo punto, dal quale dipende direttamente il secondo, è la rivisitazione in linguaggio politico del concetto di progresso tecnologico nell'abbattimento ampiamente trattato nel lavoro di Brock e Taylor. Aldilà delle possibili critiche che si possono o meno rivolgere al loro esposto, è indubbio che questo modello sia l'esempio di come la ricerca si stia muovendo in una direzione che probabilmente condurrà a risultati significativi poiché compresa dai leader mondiali. Il problema comunque è ancora distante dall'essere risolto e necessita di ricerche ulteriori per determinare in maniera meno generica quali fattori possano portare ad una decrescita delle emissioni.

Lo spazio per nuove ricerche ed investigazioni è, come riconfermato al summit di Parigi, sconfinato: dagli studi sugli effetti delle politiche nella qualità dell'aria, salute e sicurezza energetica, all'analisi dei costi opportunità generati dai ritardi nelle bonifiche ambientali, gli spunti utili sono innumerevoli. Lo spirito che li accumuna tutti resta comunque uno: la volontà di rendere questo momento storico il periodo di irreversibile transizione verso una società in armonia con il mondo in cui vive.

Bibliografia

Acemoglu, D., 2009. *Introduction to Modern Economic Growth*. Princeton: Princeton University Press.

Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (1994). *North-South trade and the global environment*. *Quarterly Journal of Economics*, 109, 755–787.

Barbier, E. B. (1997). *Introduction to the Environmental Kuznets Curve special issue*. *Environment and Development Economics*, 2, 369–381.

Brock, W. A., and Taylor M. S., (2010) "*The green Solow model*." *Journal of Economic Growth* 15.2: 127-153.

Dasgupta S., Laplante B., Wang H., Wheeler D., (2002) *Confronting the Environmental Kuznets Curve*, *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 16, No. 1. (Winter, 2002), pp. 147-168.

Gro Brundtland and others, (1987). *Our Common Future ('Brundtland report')*. London, Oxford University Press, 1987, pp.383

“Grossman G.M., Krueger A.B. (1995). *Economic growth and the environment*. *Quarterly Journal of Economics*, 110: 353- 377”

Grossman, G. M., Krueger, A. B. (1994). *Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement*. In P. Garber, *The US-Mexico Free Trade Agreement*. Cambridge, MA: MIT Press.

Holtz-Eakin D., Selden T.M. (1994). *Stoking the fires? CO 2 emissions and economic growth*. *Journal of Public Economics* 57 (1995) 85-101

Solow, R. M. (1956). *A contribution to the theory of economic growth*. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65–94.

Swan T.W., 1956, "*Economic growth and capital accumulation*" *Economic record*, 32(2), 334–361.