

Capitale Umano e Differenze Internazionali nei Livelli di Reddito^{*}

Massimiliano BRATTI

Università Politecnica delle Marche e University of Warwick (Coventry, UK)

Alberto BUCCI

Università di Milano e Université catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve, Belgio)

^{*} Ringraziamo, per i commenti ricevuti, Renato Balducci, Stefano Staffolani e tutti i partecipanti al workshop tenuto ad Ancona (3 e 4 ottobre 2003) su “*Crescita Economica e Distribuzione del Reddito*”, nell’ambito dell’omonima ricerca co-finanziata dal Miur (2002). Tutti i restanti errori e/o omissioni sono di nostra esclusiva responsabilità.

1. Introduzione

La letteratura di crescita esogena ha posto l'accento sull'importanza dell'accumulazione di *capitale fisico* come fattore di crescita economica (almeno nel medio periodo). Più recentemente, tuttavia, la nuova teoria della crescita ha chiarito che il processo di sviluppo di una nazione è endogeno al sistema economico nel senso di essere determinato da una consapevole attività di accumulazione di capitale soprattutto immateriale (ad esempio capitale umano) da parte di agenti (individui e/o imprese) motivati dalla ricerca di un rendimento (salari e/o profitti) più elevato.

Questo lavoro si propone di fondere queste due branche della letteratura e propone il più semplice modello *à la* Solow (1956)-Uzawa (1965)-Lucas (1988) con l'obiettivo di analizzare il ruolo delle differenze internazionali nei *livelli di capitale umano* nella spiegazione delle *differenze nei livelli di reddito pro-capite* tra Paesi. Esso è motivato dal fatto che finora scarso interesse ha destato nella comunità scientifica, specialmente a livello empirico, lo studio di questo specifico argomento di ricerca (la spiegazione dei livelli di reddito),¹ mentre molta più attenzione è stata invece prestata all'analisi della correlazione tra *accumulazione di capitale umano* e *crescita del reddito*. Peraltro, in quest'ultima area di ricerca empirica i risultati non appaiono nemmeno conclusivi, dipendendo fortemente dal metodo utilizzato (*cross-country growth accounting*² vs *cross-country growth regressions*³), dalla misura di capitale umano impiegata⁴ (alcuni studi impiegano una misura-flusso di capitale umano⁵ - *tassi di iscrizione scolastica* o *school enrollment rates* - mentre altri più recenti usano lo stock di capitale umano⁶ - *anni medi di scolarizzazione* o *total mean years of schooling*) e infine dal tipo di dati utilizzati (*cross-country* vs *panel*)⁷.⁸

¹ Ciò appare curioso soprattutto se si riflette sul fatto che la teoria della crescita endogena nasce, tra gli altri, anche con l'obiettivo di spiegare le differenze *cross-country* nei livelli di reddito.

² Benhabib e Spiegel (1994); Krueger e Lindahl (2001); Pritchett (2001).

³ Si vedano Barro (1999); Barro e Sala-I-Martin (1995); Easterly e Levine (1997) e Islam (1995).

⁴ Wößmann (2003) compie una completa rassegna su tutte le principali misure di capitale umano impiegate fino ad oggi negli studi empirici di crescita (in particolare considera "*adult literacy rates*", "*school enrollment ratios*" e "*average years of schooling of the working-age population*") e per ciascuna di esse analizza pro e contro e soprattutto valuta la loro coerenza/incoerenza rispetto alla originaria *teoria del capitale umano* sviluppata da Becker (1964) e Schultz (1964) e più tardi ripresa da Mincer (1974).

⁵ Si vedano, in particolare, i contributi di Barro (1991), Mankiw, Romer e Weil (1992) e Levine e Renelt (1992).

⁶ Barro e Sala-I-Martin (1995), Barro (1997, 2001), Benhabib e Spiegel (1994), Gundlach (1995), Islam (1995), Krueger e Lindahl (2001), O'Neill (1995) e Temple (1999a).

⁷ Gli studi che usano dati del tipo *cross-section*, contrariamente a quelli basati su dati *panel*, trovano in genere un effetto positivo dell'accumulazione del capitale umano sul tasso di crescita del reddito pro-capite. Al riguardo Islam (1995) nota che: "...*whenever researchers have attempted to incorporate the temporal dimension of human capital variables into growth regressions, outcomes of either statistical insignificance or negative sign have surfaced*".

⁸ Si veda Kalaitzidakis *et al.* (2001, pp. 229-234) per una breve rassegna degli studi empirici sul legame tra accumulazione di capitale umano e crescita. Impiegando tecniche di stima semi-parametriche, ed estendendo i lavori di Durlauf e Johnson (1995) e di Liu e Stengos (1999), gli autori citati trovano che l'effetto del capitale umano (variamente definito e disaggregato per gradi di istruzione e per sesso) sul tasso di crescita del reddito pro-capite è non lineare (è negativo per bassi livelli di capitale umano, è positivo per livelli intermedi di capitale umano ed è non significativo per i paesi che manifestano livelli di capitale umano estremamente elevati). Come detto sopra, è nostro obiettivo in questo articolo studiare l'impatto del capitale umano (in livelli) sulle differenze internazionali nei livelli di reddito pro-capite.

Un'importante eccezione è rappresentata dall'influente lavoro di Mankiw-Romer-Weil (1992), che studiano estensivamente, attraverso la metodologia delle regressioni *cross-country*, l'impatto del capitale umano sul *livello del reddito pro-capite* e trovano un effetto elevato, positivo e statisticamente significativo. Il tema risulta di indubbia attualità dato che, sebbene la stima di *earnings regressions* à la Mincer su micro-dati confermi il ruolo fondamentale dell'istruzione formale nella spiegazione dei livelli di reddito da lavoro o del salario, l'evidenza ottenuta utilizzando dati a livello macro è tutt'altro che definitiva.⁹

Rispetto a Mankiw-Romer-Weil (1992), nel nostro contributo proponiamo due importanti novità: una è empirica e l'altra strettamente teorica. Mentre sul piano empirico usiamo una *proxy* diversa (e oggi più utilizzata in letteratura, ovvero gli anni medi di istruzione scolastica) per misurare lo stock di capitale umano¹⁰ e, ovviamente, una banca dati più recente, su quello teorico il nostro contributo endogenizza l'allocazione delle abilità individuali (*skills*) tra le diverse attività economiche che domandano questo fattore di produzione¹¹ nell'ambito di un modello aggregato nel quale il capitale fisico e quello umano crescono al medesimo tasso costante nell'equilibrio di lungo periodo (*balanced growth path equilibrium*).

Più nel dettaglio, il modello teorico che presentiamo ipotizza l'esistenza di due soli settori produttivi perfettamente concorrenziali. Quello finale produce un bene omogeneo combinando, con una tecnologia a rendimenti di scala costanti, capitale fisico ed umano, mentre quello dell'istruzione produce abilità individuali. Come nel modello di Solow (1956), il capitale fisico viene accumulato destinando a questa attività in ciascun periodo una frazione positiva, costante ed esogena dell'output (bene finale) complessivamente prodotto. Nell'equilibrio di *steady state* risulta che il rapporto tra capitale fisico ed umano è costante e quindi questi due fattori produttivi crescono al medesimo saggio. Tale saggio risulta essere una funzione dei parametri esogeni (tecnologici e di preferenza) dell'economia e dipende positivamente dall'ammontare di risorse investite in accumulazione di

⁹ Temple (1999b, p. 139) afferma a proposito: "Another problem to emerge is that changes in human capital appear to explain little of the variation in changes in output, casting doubt on the augmented Solow formulation. This macroeconomic evidence conflicts with the finding of the micro literature that schooling has a significant return in terms of higher wages. The failure to discern this effect at the macro level is worrying".

¹⁰ Mankiw-Romer-Weil (1992) usano i tassi di iscrizione alla scuola secondaria superiore ("...the percentage of the working-age population that is in secondary school", Mankiw-Romer e Weil, 1992) e quindi una misura *flusso* del livello di istruzione raggiunto da un paese come *proxy* per il saggio di accumulazione del capitale umano. L'impiego di un simile indicatore per misurare l'accumulazione di capitale umano è stato criticato da Klenow e Rodriguez-Clare (1997) e più recentemente anche da Judson (2002, pag. 211) e gli stessi Mankiw, Romer e Weil sono consapevoli dei limiti di questa misura ("...this variable...is clearly imperfect:...the variable does not include the input of teachers, and it completely ignores primary and higher education"). Grazie al fatto che oggi anche i dati sullo stock di capitale umano sono disponibili (si veda Barro e Lee, 2001), crediamo che una misura *stock* sarebbe più appropriata (e quindi preferibile a una *flusso*) quando si intendono studiare gli effetti del capitale umano sul livello di benessere (reddito) di una nazione.

¹¹ In Mankiw-Romer-Weil (1992) l'allocazione delle risorse disponibili (bene di consumo finale) tra i settori di accumulazione di capitale fisico ed umano è esogenamente data.

capitale umano. Il modello ci consente di concludere che nel lungo periodo, mentre la crescita del reddito è sostenuta esclusivamente dall'investimento in istruzione, il livello del reddito pro-capite, oltre che da quelle grandezze già evidenziate dall'approccio neoclassico con progresso tecnico esogeno¹² (tra le quali soprattutto il saggio di risparmio), dipende anche e in maniera cruciale (e cioè con elasticità unitaria) dallo *stock* di capitale umano a disposizione di ciascun individuo.

Alla luce di quanto detto, l'articolo risulta organizzato nel seguente modo. Nella prossima sezione illustriamo le caratteristiche del sistema economico di riferimento e scriviamo le leggi di accumulazione del capitale fisico ed umano. Nella sezione 3 descriviamo l'equilibrio di *steady state* del modello e determiniamo l'allocazione del capitale umano tra le due attività nelle quali questo fattore produttivo può essere impiegato (produzione ed istruzione), il tasso di crescita di equilibrio e il rapporto tra capitale umano e fisico nello *steady state*. Nella quarta sezione otteniamo il livello del reddito pro-capite di equilibrio, che rappresenterà la nostra equazione di stima. Nella sezione 5 svolgiamo l'applicazione empirica. Essa considera diverse *cross-section* relative, rispettivamente, agli anni 1980, 1985, 1990 e 1995 ed un totale di 92 Paesi a differente stadio di sviluppo economico. L'obiettivo prioritario che ci proponiamo di raggiungere in questa sezione non è tanto quello di sottoporre il modello teorico ad una vera e propria "*verifica empirica*", quanto piuttosto quello di analizzare con l'impiego dei dati l'importanza del capitale umano nella spiegazione delle differenze nel Pil pro-capite tra Paesi nonché la coerenza dei risultati con il modello teorico. Infine la sezione 6 conclude e fornisce possibili suggerimenti di ricerca futura.

2. Il Modello

L'economia che consideriamo in questo lavoro è composta da due settori produttivi, entrambi di concorrenza perfetta. Nel settore finale viene prodotto un bene di consumo omogeneo (che funge da numerario) usando come *input* capitale fisico ed umano attraverso la seguente tecnologia a rendimenti di scala costanti del tipo *Cobb-Douglas*:

$$(1) \quad Y_t = K_t^\alpha (H_{Yt})^{1-\alpha}, \quad \alpha \in (0,1).$$

Nella (1), Y_t rappresenta la quantità del bene finale (il numerario)¹³ complessivamente prodotta al tempo t , mentre K_t e H_{Yt} rappresentano le quantità aggregate di fattori impiegate nel processo produttivo sempre al tempo t (rispettivamente il capitale fisico ed umano). Nella relazione sopra

¹² Si veda Barro e Sala-I-Martin (1995), Cap.1, pp. 34-35.

¹³ $P_Y = 1$.

riportata, α è un parametro tecnologico strettamente compreso tra zero ed uno ed è facilmente interpretabile come la quota del reddito nazionale che va a remunerare il capitale fisico.¹⁴ La popolazione esistente al tempo t (L_t) è costituita solo da individui istruiti e ciascun membro di essa è dotato di uno stock di capitale umano *per unità di popolazione effettiva* pari a h_t , che è definito come:

$$(2) \quad h_t \equiv \frac{H_t}{A_t L_t},$$

dove H_t e A_t rappresentano rispettivamente lo stock di capitale umano complessivamente disponibile nell'economia (il numero totale di anni di istruzione nella popolazione) e lo stato della tecnologia al tempo t . Dalla (2) segue che H_t può anche essere scritto come:

$$(2') \quad H_t \equiv (A_t h_t) L_t.$$

Nella (2') il termine tra parentesi ($A_t h_t$) rappresenta il *capitale umano* a disposizione di ciascun membro della popolazione (o capitale umano *pro-capite*, ovvero il numero medio di anni di istruzione).

In questa economia esiste piena occupazione e tutto il capitale umano disponibile (H_t) può essere usato in due attività alternative. Una frazione u_t di esso (pari a H_{Y_t}) è impiegato, al tempo t , nella produzione dell'omogeneo bene di consumo finale, mentre il suo complemento ad uno ($1-u_t$) è usato per accumulare nuovo capitale umano. In altri termini, lo stock di capitale umano usato per produrre il bene finale in t è pari a:

$$(3) \quad H_{Y_t} = u_t H_t = u_t [(A_t h_t) L_t].$$

Usando la (3), la funzione di produzione aggregata può quindi essere scritta come:

$$(1') \quad Y_t = K_t^\alpha [u_t (A_t h_t) L_t]^{1-\alpha}$$

e il *reddito per unità effettiva di popolazione* è pari a:

$$(4) \quad y_t \equiv \frac{Y_t}{A_t L_t} \equiv f(k_t; u_t; h_t; \alpha) = k_t^\alpha (u_t h_t)^{1-\alpha}, \quad k_t \equiv \frac{K_t}{A_t L_t}.$$

¹⁴ Nel modello tutti i mercati sono concorrenziali e non esistono distorsioni o fallimenti di mercato.

2.1 Le leggi di accumulazione del capitale fisico ed umano

Come nei modelli di Solow (1956) e Mankiw-Romer-Weil (1992), assumiamo che l'investimento aggregato in capitale fisico venga finanziato destinando ad esso in ciascun istante una frazione positiva, esogena e costante (pari a s) dell'output totale disponibile. Seguendo i due lavori appena citati, ipotizziamo inoltre che tanto la popolazione (L) quanto lo stato della tecnologia (A) crescano anch'essi ad un tasso (rispettivamente n e g_A) positivo, esogeno e costante ($L_t = e^{nt}$, $L_0 \equiv 1$; $A_t = e^{g_A t}$, $A_0 \equiv 1$) e che la somma di n e g_A (che indichiamo con δ) sia strettamente compresa tra zero ed uno. Pertanto:

$$(5) \quad \dot{k}_t = sf(k_t; u_t; h_t; \alpha) - \delta k_t, \quad 0 < s < 1, \quad 0 < \delta \equiv g_A + n < 1, \quad \frac{\dot{A}_t}{A_t} \equiv g_A > 0, \quad \frac{\dot{L}_t}{L_t} \equiv n > 0.$$

L'equazione (5) si ottiene considerando un sistema economico chiuso agli scambi con l'estero e nel quale in equilibrio il risparmio aggregato (sY_t) eguaglia l'investimento aggregato ($I_t \equiv \dot{K}_t$) in ogni t . Per semplicità assumiamo che lo stock aggregato di capitale materiale (K) non sia soggetto a deprezzamento fisico.

A differenza di quello di Solow (1956), nel nostro modello vi è anche accumulazione di capitale immateriale (capitale umano). Al riguardo, e diversamente da Mankiw-Romer-Weil (1992), dove questo fattore viene prodotto usando la stessa tecnologia di produzione dell'output finale,¹⁵ qui assumiamo invece che una frazione (pari a $1 - u_t$) del capitale umano complessivamente disponibile al tempo t venga impiegata per accumulare e produrre nuovo capitale umano (in altri termini, la nostra ipotesi è che il settore dell'istruzione sia *skill-intensive*).

Più in dettaglio, ipotizziamo che nell'unità di tempo \dot{H}_t unità di nuove abilità individuali (*skills*) vengano prodotte con la seguente funzione di produzione aggregata:

$$(6) \quad \dot{H}_t = (1 - u_t)H_t = (1 - u_t)[(A_t h_t)L_t].$$

Dunque, nel nostro modello incorporiamo esplicitamente la stessa tecnologia di accumulazione di capitale umano usata da Uzawa (1965) e Lucas (1988).

¹⁵ "...We are assuming that the same production function applies to human capital, physical capital and consumption. ...Lucas (1988) models the production function for human capital as fundamentally different from that for other goods. We believe that, at least for an initial examination, it is natural to assume that the two types of production functions are similar" (Mankiw-Romer-Weil, 1992).

Dall'equazione (6) è inoltre evidente che stiamo postulando che la produzione di capitale umano avvenga con rendimenti di scala costanti. Questa ipotesi, peraltro condivisa da molti altri modelli,¹⁶ può essere giustificata o pensando all'esistenza di effetti esterni nell'attività di istruzione (e tali da convertire la presenza di rendimenti decrescenti nello svolgimento di questa attività a livello individuale in rendimenti costanti a livello aggregato), oppure immaginando che nella produzione di nuovo capitale umano, oltre al tempo speso in pura attività di istruzione, entrino anche altri fattori produttivi (in questo caso, il capitale umano andrebbe considerato in senso lato).¹⁷

Usando l'equazione (6) e la definizione di h_t , è possibile trovare la legge di accumulazione (lorda) del capitale umano in unità di popolazione effettiva:

$$(7) \quad \dot{h}_t + \delta h_t = (1 - u_t) h_t, \quad 0 < u_t < 1, \quad \forall t. \quad ^{18}$$

Dalla (7) si noti che, come lo stock di capitale fisico, anche quello di capitale umano è soggetto, quando viene espresso in unità di popolazione effettiva, ad un processo di obsolescenza (effettiva) nella produzione di nuovo capitale umano (il termine δ). La ragione è intuitiva: se il tasso di investimento in capitale umano ($1 - u_t$) fosse pari a zero, allora h_t tenderebbe a ridursi nel corso del tempo, in parte a causa della crescita della popolazione (al tasso n) e in parte a causa del progresso tecnologico (g_A). Questo equivale ad affermare che più rapido è il progresso tecnico e maggiore è la crescita della popolazione, e più velocemente diventa antiquato quello stock di conoscenze (h_t), disponibili al momento ma accumulate in una fase precedente, a partire dalle quali viene formato il nuovo capitale umano.

Nella prossima sezione caratterizziamo l'equilibrio di *steady-state* del modello presentato.

¹⁶ Tra gli altri, Azariadis e Drazen (1990), Becker, Murphy e Tamura (1990), Stokey (1991), Glomm e Ravikumar (1992), Buiter e Kletzer (1995) e Redding (1996).

¹⁷ Si vedano Rebelo (1991), Milesi-Ferretti e Roubini (1994). Per una più ampia discussione attorno all'uso di una tecnologia di produzione di capitale umano lineare nei modelli di crescita endogena, si veda Blackburn-Hung-Pozzolo (2000, pag. 195).

¹⁸ Il vincolo che imponiamo sulla u lo prendiamo come disuguaglianza in senso stretto in quanto siamo interessati ad una soluzione di equilibrio in cui il capitale umano viene sempre impiegato contemporaneamente nel settore che produce il bene finale e in quello dell'istruzione.

3. L'equilibrio di *Steady state*

In questa sezione determiniamo il livello di reddito (per unità di popolazione effettiva) che prevale nell'equilibrio di *steady state*. Prima, però, partiamo con una definizione formale di *Equilibrio di Steady-State*:

Definizione: Equilibrio di *Steady state*

Definiamo Equilibrio di Steady state una situazione nella quale tutte le variabili di stato endogene crescono a saggio costante.

Nel modello che stiamo analizzando le variabili di stato endogene sono il capitale fisico ed umano (entrambi misurati in unità di popolazione effettiva, rispettivamente k e h). Applicando la definizione appena riportata all'equazione (7) troviamo che nel lungo periodo, con $\delta \equiv g_A + n$ costante ed esogeno, le frazioni di capitale umano dedicate rispettivamente alla produzione dell'omogeneo bene di consumo finale (u_t) e alla produzione di nuovo capitale umano ($1-u_t$) sono costanti. Inoltre, dalle equazioni (4) e (5) otteniamo (per rendere meno pesante la notazione, d'ora in avanti non riporteremo più il pedice t accanto alle variabili che dipendono dal tempo):

$$(8) \quad \frac{\dot{k}}{k} = \frac{sk^\alpha (uh)^{1-\alpha}}{k} - \delta = \text{costante} \Rightarrow s \cdot u^{1-\alpha} \left(\frac{h}{k} \right)^{1-\alpha} = \text{costante} + \delta.$$

Con s e δ costanti (ed esogenamente dati) ed u anch'esso costante, dall'equazione (8) è possibile trarre due importanti conclusioni:

(8a) nell'equilibrio di *steady state* h e k crescono al medesimo saggio costante rappresentato da $\gamma = (1-u) - \delta$;

(8b) $\frac{uh}{k} = f(\gamma; \delta; s; \alpha) = \left(\frac{\gamma + \delta}{s} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} = \left(\frac{1-u}{s} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$, e quindi è anch'esso costante.

Il fatto che nel lungo periodo h e k crescano allo stesso tasso implica che nello *steady state* il loro rapporto è costante in ogni t (equazione 8b). Dall'equazione (4), e tenuto conto che in *steady state*

$\frac{\dot{h}}{h} = \frac{\dot{k}}{k} = \gamma$ e u è costante, è agevole ricavare:

$$(9) \quad \frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{h}}{h} \equiv \gamma = (1-u) - \delta.$$

L'equazione (9) suggerisce che sotto le ipotesi del nostro modello esiste un *equilibrio di steady state* che si configura come una situazione di crescita bilanciata: lungo il sentiero di crescita bilanciata reddito, capitale fisico e capitale umano (tutti misurati in unità di popolazione effettiva) crescono allo stesso tasso costante (che è una funzione lineare di u , che dobbiamo ancora determinare).

Per caratterizzare il livello del reddito per unità di popolazione effettiva nell'equilibrio di *steady state* (y_{ss}), dobbiamo prima trovare k_{ss} . A questo scopo riconsideriamo l'equazione (8) di cui sopra (sapendo che in *steady state* il tasso di crescita di k è pari a γ), e otteniamo:

$$(10) \quad k_{ss} = \left(\frac{s}{\gamma + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot (u_{ss} h_{ss}),$$

dove x_{ss} rappresenta il livello che la variabile x assume nell'equilibrio di *steady state*.

Dato k_{ss} , y_{ss} è immediatamente ottenibile dall'equazione (4):

$$(4') \quad y_{ss} = (k_{ss})^\alpha (u_{ss} h_{ss})^{1-\alpha} = \left(\frac{s}{\gamma + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot (u_{ss} h_{ss}).$$

3.1 Equilibrio generale e allocazione di *steady state* del capitale umano tra produzione ed istruzione

Nel modello abbiamo tre variabili endogene: 1) il rapporto tra le due variabili di stato, $\frac{h}{k}$; 2) l'allocazione inter-settoriale del capitale umano (u), e infine 3) il tasso di crescita delle variabili espresse in unità di popolazione effettiva (γ).

Poiché il settore dell'istruzione è di concorrenza perfetta, in equilibrio deve essere verificata la seguente condizione:

$$(11) \quad P_h = (1-\alpha) \left(\frac{k}{uh} \right)^\alpha \equiv w.$$

Questa equazione ci dice che il prezzo (ombra) del capitale umano in unità di beni (P_h) deve essere uguale al rapporto tra il prodotto marginale del capitale umano impiegato nel settore manifatturiero (il salario, w) e il prodotto marginale del capitale umano impiegato nel settore dell'istruzione.¹⁹

¹⁹ Si veda Barro e Sala-Martin (1995, p. 181). In particolare, si veda la loro equazione (5.16) con $A=B=v=1$ e $\eta = 0$.

Detto diversamente, la produttività (in valore) del capitale umano impiegato nel settore dell'istruzione (il lato sinistro della (11)) deve essere uguale alla produttività (in valore) del capitale umano impiegato nella produzione dei beni (il lato destro della (11)). In questo senso, l'equazione (11) può essere interpretata alla stregua di una condizione di arbitraggio (*arbitrage condition*) per l'allocazione del capitale umano disponibile tra i due settori che domandano questa risorsa come input. Il rispetto di questa condizione assicura che in equilibrio entrambe le attività in cui il capitale umano è utilizzato come fattore di produzione vengano intraprese e quindi possano co-esistere.

In presenza di un mercato dei capitali perfettamente concorrenziale, detenere capitale fisico o capitale umano deve essere indifferente (dal punto di vista del rendimento che è possibile ottenere da queste due forme di *asset*) per ogni agente economico. Poiché il rendimento (in termini di beni) di detenere un'unità di capitale umano coincide con il salario (w), mentre quello di detenere un'unità di capitale fisico coincide con il tasso di interesse reale (r , ovvero con la produttività del capitale fisico nel settore dei beni), la seconda condizione che imponiamo è la seguente:

$$(12) \quad r = (1 - \alpha) \left(\frac{k}{uh} \right)^\alpha, \quad \text{essendo} \quad r = \alpha \left(\frac{uh}{k} \right)^{1-\alpha}.$$

Risolvendo questa equazione in (uh/k) , si ottiene:

$$(13) \quad \frac{uh}{k} = \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right).$$

La (13) ci dice che in equilibrio il rapporto tra il capitale umano (uh) e il capitale fisico (k) impiegati nella produzione dei beni deve essere uguale al rapporto tra le rispettive quote distributive ($1 - \alpha$ e α).²⁰

Con l'equazione (13) abbiamo ottenuto un'altra espressione per il rapporto tra uh e k . Eguagliando questa equazione con l'equazione (8b), è possibile ottenere una soluzione in forma chiusa per u_{ss} e $(1 - u_{ss})$ - rispettivamente la frazione di capitale umano impiegata in *steady state* da ciascun agente nella produzione dell'omogeneo bene di consumo finale e nella produzione di *skills*:

$$(14) \quad u_{ss} = 1 - s \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha};$$

$$(15) \quad (1 - u_{ss}) = s \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha}.$$

Dato u_{ss} , dall'equazione (8a), il tasso di crescita bilanciata di questa economia è pari a:

²⁰ Cfr. Barro e Sala-I-Martin (1995), p.174, equazione 5.6.

$$(16) \quad \gamma = s \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} - \delta.$$

Infine, dato u_{ss} , dall'equazione (8b) - o, alternativamente, dall'equazione (13) - otteniamo:

$$(17) \quad \left(\frac{h}{k} \right)_{ss} = \frac{(1-\alpha)}{\alpha - s\alpha^\alpha(1-\alpha)^{1-\alpha}}.$$

Nell'equilibrio di *steady state* u , γ e h/k dipendono esclusivamente dalle variabili esogene del modello ($g_A; n$) e dai parametri tecnologici (o distributivi, α) e di preferenza (s). Tuttavia, il tasso di crescita (γ) è endogeno in quanto dipendente da u (che abbiamo determinato endogenamente). In questo senso possiamo considerare il nostro modello alla stregua di uno di crescita *semi-endogena*.²¹

Si noti infine che, a differenza del modello con sola accumulazione di capitale fisico (Solow, 1956) la possibilità da parte degli agenti di investire anche in capitale umano permette di ottenere un tasso di crescita bilanciata (γ) che è costante e positivo anche in assenza di progresso tecnico e di dinamica demografica esogeni (cioè quando $g_A = n = 0$).

Il modello presentato ci suggerisce anche la seguente:

Proposizione 1

La relazione tra i parametri del modello che deve essere soddisfatta affinché sia simultaneamente vero che:

$$\gamma > 0, \quad 0 < u_{ss} < 1 \quad e \quad \left(\frac{h}{k} \right)_{ss} > 0$$

è che sia:

$$\delta \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} < s < \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} < 1.$$

La dimostrazione di questa proposizione segue immediatamente dalle equazioni (14), (16) e (17).

In altri termini, quando il saggio di risparmio (s) è strettamente compreso tra i due estremi appena riportati, allora l'equilibrio che abbiamo trovato (equazioni dalla (14) alla (17)) assicura:

²¹ Secondo Jones (1995) e Funke e Strulik (2000, p.492) un modello di crescita è *semi-endogeno* quando il tasso di crescita di *steady state* è determinato dai parametri (di preferenza e tecnologici) che sono esogeni all'interno dello stesso modello. Questo è esattamente quello che si verifica nel nostro caso. Si veda Bucci (2003, paragrafo 5) per una discussione su alcuni dei più importanti e recenti modelli di crescita *semi-endogena*.

- l'esistenza di un tasso positivo di crescita bilanciata;
- l'esistenza di un'allocatione decentralizzata del capitale umano tra i due settori che ne fanno uso tale per cui entrambi impiegano simultaneamente questo fattore di produzione.

Si noti che stiamo ipotizzando che sia $\alpha < \frac{1}{2}$, cosicché la restrizione $\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} < 1$ è sempre verificata. Tale ipotesi è in linea con l'evidenza secondo cui la quota del reddito che va al capitale è circa pari a 1/3 (e comunque inferiore a 1/2).

Allo scopo di dare l'intuizione che sta dietro la proposizione appena scritta, vediamo cosa succederebbe se invece il saggio di risparmio fosse “troppo” piccolo ($s \rightarrow 0$) o “troppo” grande ($s \rightarrow 1$). Se il tasso di risparmio fosse “troppo” piccolo ($s \rightarrow 0$), nel lungo periodo non ci sarebbe capitale fisico ($k \rightarrow 0$) e per produrre il bene finale verrebbe impiegato solo capitale umano ($u \rightarrow 1$). Ciò sottrarrebbe naturalmente risorse all'investimento in istruzione ($1-u \rightarrow 0$) e porterebbe il tasso di crescita a valori via via inferiori fino a diventare negativi ($\gamma \rightarrow -\delta$). Questa possibilità viene esplicitamente esclusa dalla nostra proposizione. Se invece il tasso di risparmio fosse “troppo” grande ($s \rightarrow 1$), si verificherebbe la situazione opposta. Infatti, continuando ad ipotizzare che la quota del reddito che va a remunerare il capitale fisico è inferiore a 1/2 ($\alpha < 1/2$), notiamo che se s tendesse a uno, allora $(1-u)$ e u tenderebbero rispettivamente a uno (dall'alto) e a zero (dal basso). Ciò implicherebbe che, a differenza del caso precedente, ora verrebbe impiegato solo capitale fisico nella produzione dei beni, mentre tutto il capitale umano verrebbe impiegato nel settore dell'istruzione, con un chiaro vantaggio in termini di crescita economica. Ma anche questa seconda estrema possibilità, come la prima, viene esclusa dalla proposizione enunciata sopra.

Prima di introdurre, nella prossima sezione, l'equazione che stimiamo nella parte empirica dell'articolo, nella tabella seguente riportiamo i risultati di statica comparata che si riferiscono alle principali variabili del modello:²²

a) $\frac{\partial u_{ss}}{\partial s} < 0$	e) $\frac{\partial u_{ss}}{\partial \alpha} > 0$
b) $\frac{\partial(1-u_{ss})}{\partial s} > 0$	f) $\frac{\partial(1-u_{ss})}{\partial \alpha} < 0$
c) $\frac{\partial \gamma}{\partial s} > 0$	g) $\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} < 0$
d) $\frac{\partial(h/k)_{ss}}{\partial s} > 0$	h) $\frac{\partial(h/k)_{ss}}{\partial \alpha} < 0$

Tabella 1: Risultati di statica comparata sulle principali variabili del modello

²² I risultati e), f) e g) sono stati ottenuti sotto l'ipotesi che sia $\alpha < 1/2$, mentre tutti gli altri risultati riportati in tabella valgono per ogni $\alpha \in (0,1)$ e per ogni $s \in (0,1)$.

Tutti i risultati di statica comparata riportati in tabella sono di semplice intuizione economica. Un aumento di s , per esempio, aumenterà lo stock di capitale fisico disponibile (k). La maggiore disponibilità di k , unitamente al fatto che il capitale fisico viene impiegato esclusivamente nella produzione dei beni, avrà due effetti: il primo sarà quello di sostituire il capitale umano nel settore manifatturiero (in equilibrio u si ridurrà), mentre il secondo sarà quello di aumentare il prezzo-ombra del capitale umano (P_h aumenterà sia perché k è più elevato, sia perché ora u è più piccolo). L'aumento di P_h stimolerà l'investimento in istruzione ($(1-u)$ sarà in equilibrio maggiore) e renderà il capitale umano relativamente più abbondante rispetto al capitale fisico (in equilibrio anche h/k aumenterà). Tutto questo sarà compatibile con un tasso di crescita (γ) più elevato. Viceversa, un aumento della quota del reddito che va al capitale fisico (α), in equilibrio ridurrà, a parità di u , il rapporto h/k (il capitale fisico disponibile sarà relativamente più abbondante rispetto a quello umano) e ciò determinerà un aumento della produttività del capitale umano nel settore dei beni e della frazione di questo fattore impiegata nello stesso settore (u aumenta in equilibrio). Alla fine, l'aumento di u porterà ad una riduzione dell'investimento in nuovo capitale umano ($1-u$) e del tasso di crescita bilanciata (γ).

4. L'equazione di stima: il livello del reddito pro-capite di steady state

L'equazione che stimiamo per un campione di Paesi a diverso stadio di industrializzazione è quella del logaritmo del reddito *pro-capite* di *steady state* (y_{ss}^{pc}). Dalle equazioni (4), (4') e (9) il reddito *pro-capite* di *steady state* è uguale a:

$$(18) \quad y_{ss}^{pc} \equiv y_{ss} A_{ss} = \left(\frac{s}{1-u_{ss}} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot u_{ss} \cdot (A_{ss} h_{ss}) = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{\alpha} \cdot \left[1 - s \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} \right] \cdot (A_{ss} h_{ss}),$$

dove $(A_{ss} h_{ss})$ è il capitale umano *pro-capite* di *steady state*.

Prendendo il logaritmo della (18) l'equazione che consideriamo nell'esercizio empirico della sezione che segue è dunque:

$$(18') \quad \ln y_{ss}^{pc} = \alpha \ln \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) + \ln \left[1 - s \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} \right] + \ln(A_{ss} h_{ss}).$$

Dato l'obiettivo dell'articolo, l'equazione appena riportata suggerisce che, oltre al saggio di risparmio, anche il livello del capitale umano pro-capite è una variabile di potenziale interesse nella determinazione del livello di reddito pro-capite di equilibrio di una nazione. Essa, inoltre, appare simile all'equazione che Mankiw-Romer-Weil (1992) stimano nel loro celebre lavoro, sebbene, a

differenza di questi ultimi, è stata da noi ottenuta considerando un modello teorico notevolmente più ricco nel quale il capitale umano e fisico sono due fattori produttivi che nel lungo periodo crescono allo stesso tasso costante e l'allocazione del capitale umano tra le diverse attività economiche è endogena. Infine, l'equazione (18') sembra anche predire che l'elasticità del reddito pro-capite rispetto allo stock pro-capite di capitale umano è esattamente pari ad uno nello *steady state*. In questo le previsioni del nostro modello differiscono da quelle di Mankiw-Romer-Weil (1992) che nell'equazione del reddito pro-capite che riporta il livello del capitale umano tra le variabili esplicative (l'equazione 12 a p. 418 del loro articolo) predice un'elasticità del pil pro-capite rispetto allo stock di capitale umano per lavoratore effettivo²³ pari a $\beta/(1-\alpha)$, dove α e β sono le quote distributive del capitale fisico e di quello umano, rispettivamente. Attribuendo ai due parametri dei valori coerenti con l'evidenza empirica e che gli stessi due autori prendono come riferimento (p.417), ovvero $\alpha=1/3$ e $1/3 < \beta < 1/2$ si ottiene un *range* per l'elasticità che va da un minimo di 0.5 ad un massimo di 0.75. Anche su quest'ultimo aspetto cercheremo di focalizzare la nostra attenzione nella parte empirica del presente lavoro.

Tuttavia, prima di passare ai dati, in quanto segue compiamo alcuni semplici esercizi di statica comparata sull'equazione (18'). In particolare, analizziamo l'impatto di s su $\ln y_{ss}^{pc}$, come suggerito dal modello. Il risultato che otteniamo è il seguente (supponiamo che nello stato stazionario A_{ss} e h_{ss} siano dati):

$$(19) \quad \frac{\partial \ln y_{ss}^{pc}}{\partial s} = \frac{-\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha}}{1-s\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha}}.$$

Il segno di questa derivata prima è *a priori* ambiguo e dipende dal segno del denominatore della frazione appena riportata. Dato il reddito pro-capite di *steady state*:

$$y_{ss}^{pc} = \left(u_{ss} \cdot \frac{h_{ss}}{k_{ss}}\right)^{1-\alpha} \cdot (A_{ss} k_{ss}),$$

e dati A_{ss} e k_{ss} , questa ambiguità dipende dal fatto che un aumento di s contemporaneamente

riduce u_{ss} ed aumenta h_{ss}/k_{ss} (vedi tabella 1). Tuttavia, sotto la condizione che sia $s < \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha}$,

allora il segno della derivata prima di cui sopra diventa senza alcun dubbio negativo. In questo specifico caso, quindi, l'effetto negativo che un aumento di s ha su u_{ss} domina sempre quello positivo che lo stesso incremento nel saggio di risparmio ha su h_{ss}/k_{ss} , portando così ad una

²³ Nel nostro caso anche l'elasticità del pil pro-capite rispetto al capitale umano per lavoratore effettivo è unitaria.

riduzione di y_{ss}^{pc} . Questo risultato appare altresì evidente guardando l'equazione (5), che possiamo riscrivere come:

$$\left(\frac{\dot{k}_t}{k_t} \right)_{ss} = s \cdot \left(\frac{y_t}{k_t} \right)_{ss} - \delta.$$

A parità di δ e k_{ss} , un aumento esogeno di s deve tradursi in *steady state* in una proporzionale riduzione di y_{ss} per mantenere costante $\left(\frac{\dot{k}}{k} \right)_{ss}$.

L'esercizio empirico che proponiamo nella prossima sezione, sebbene focalizzato soprattutto sul capitale umano come fonte delle differenze internazionali nei livelli di reddito, si preoccuperà anche di analizzare il ruolo dell'investimento in capitale fisico nella determinazione del livello individuale di benessere di una nazione.

5. Un'applicazione empirica

In questa sezione sviluppiamo un'applicazione empirica del modello teorico presentato nelle sezioni precedenti. In particolare, l'interesse primario dell'applicazione empirica verterà sulle previsioni del modello circa le differenze tra Paesi nel livello di reddito pro-capite di *steady state* con particolare enfasi sul ruolo del capitale umano.

Come noto, un modello costituisce sempre una semplificazione della realtà. Nel nostro caso specifico abbiamo deciso di trascurare un gran numero di fattori che nella realtà potrebbero spiegare le differenze nel Pil pro-capite tra paesi al fine di concentrarci solo sull'effetto di alcune variabili ritenute in questa sede di particolare interesse. Ci sembra utile ricordare che tutta l'analisi teorica contenuta nelle sezioni 3-4 è riferita allo *steady state*. Ovvero le espressioni ricavate per il livello del Pil pro-capite (18), e per lo stesso espresso in logaritmi (18'), sono equazioni di *steady state*. In altri termini, forniscono i valori delle suddette variabili quando il processo di aggiustamento di breve termine è già avvenuto. Pertanto, passando dal modello teorico all'applicazione empirica una semplificazione che si rende subito necessaria è l'uso di variabili *proxy* per i livelli di *steady state* del reddito pro-capite, del saggio di risparmio (quest'ultimo ipotizzato nel modello teorico esogeno e costante) e dello stock di capitale umano. Da questo punto di vista, quindi, l'analisi econometrica contenuta in questa sezione non va considerata strettamente come una 'verifica' empirica, ma soltanto come un'applicazione del modello teorico il cui obiettivo principale è quello di ricavare delle implicazioni qualitative sul ruolo del capitale umano nella spiegazione delle differenze internazionali nel livello del reddito pro-capite. Tale esercizio sarà tanto più prossimo ad una

‘verifica’ empirica del modello quanto più le *proxy* da noi utilizzate per le grandezze di *steady state* del modello sono buone.

Allo scopo di analizzare l’importanza del capitale umano e del saggio di accumulazione di capitale fisico nella spiegazione delle differenze nel Pil pro-capite tra Paesi abbiamo utilizzato l’analisi di regressione multivariata e dati di tipo *cross-country*. L’equazione stimata deriva dall’equazione (18’) nella sezione 4. Il modello che abbiamo stimato col metodo dei minimi quadrati ordinari (*ordinary least squares* - OLS) nelle *cross-section* è allora il seguente:

$$(20) \quad ly_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 inv_{it} + \alpha_2 lh_{it} + \varepsilon_{it},$$

dove i e t sono rispettivamente i pedici per il Paese i ed il periodo t .

Segue una breve descrizione della variabile dipendente e delle variabili esplicative:

1. ly_{it} : è il logaritmo naturale del Pil per membro della popolazione in età lavorativa²⁴ (cioè nella fascia di età compresa tra i 15 e i 64 anni) espresso in termini di parità di potere d’acquisto (PPA) nell’anno t (fonte Penn World Table version 6.1, 2002).²⁵ Questa variabile costituisce la nostra variabile dipendente nelle regressioni, variabile che consideriamo come una *proxy* del livello di Pil pro-capite di *steady state* in logaritmo naturale ($\ln y_{ss}^{pc}$, nel modello teorico);
2. inv_{it} : è la media del saggio di investimento (sul Pil reale) nel quinquennio che termina nell’anno t , cioè nel quinquennio precedente all’anno in cui le differenze nel Pil pro-capite vengono analizzate. inv_{it} è considerato come una *proxy* del saggio di risparmio esogeno e costante (s) del modello teorico (fonte Penn World Table version 6.1, 2002). Abbiamo considerato la media quinquennale per attenuare l’effetto di eventuali fluttuazioni cicliche.
3. lh_{it} : è il logaritmo naturale dello stock di capitale umano per individuo di età superiore a 14 anni cinque anni prima dell’anno t , usato come una *proxy* per lo stock di capitale umano pro-capite di *steady state* ($A_{ss}h_{ss}$ nel modello teorico).²⁶ Abbiamo considerato l’ultimo anno disponibile prima del periodo analizzato in quanto, in base ad un processo di convergenza delle variabili economiche allo *steady state*, il valore assunto negli anni più recenti può essere considerato

²⁴ Nel proseguo dell’articolo ci riferiremo allo stesso anche come Pil pro-capite, anche se ‘pro-capite’ deve sempre intendersi per membro della popolazione in età compresa tra i 15 e i 64 anni. Evidentemente, abbiamo considerato la popolazione in età attiva piuttosto che la forza lavoro. Ciò è stato fatto principalmente perché per la seconda le statistiche nei Paesi in via di sviluppo sono scarsamente affidabili. Lo stesso approccio è seguito in Mankiw-Romer-Weil (1992).

²⁵ Vedi Summers e Heston (1988) per una introduzione a versioni precedenti della Penn World Table.

²⁶ Nel presente articolo utilizziamo una *proxy* migliore per lo stock di capitale umano rispetto a quella impiegata in studi precedenti. Mankiw-Romer-Weil (1992), ad esempio, e come già ricordato, considerano la frazione della popolazione in età attiva che è iscritta alla scuola secondaria superiore, mentre Bucci e Checchi (2003) utilizzano i tassi di scolarizzazione. Si veda Judson (2002) per una critica di queste ultime *proxy* per il capitale umano.

come una *proxy* migliore per le grandezze nello *steady state*. Tale variabile è disponibile nella banca dati Barro-Lee (vedi Barro e Lee 2001).

4. ε_{it} è un termine di errore che assumiamo, per il momento, non essere correlato con le variabili esplicative incluse sul lato destro della (20). Esso coglie l'effetto di tutte le variabili omesse dal nostro modello, o perché non costituiscono l'interesse specifico della nostra analisi oppure perché sono non osservabili.

Innanzitutto è da notare che non stiamo stimando esattamente la (18'), che è evidentemente non lineare in s . Per questa ragione abbiamo riportato nella sezione 4 gli effetti di statica comparata per s non in logaritmo, ed inv è stato pertanto incluso nella (20) non in logaritmo. Nella sezione 4 abbiamo calcolato i segni attesi degli effetti di tutte le variabili esplicative incluse nell'equazione (20). Teniamo ancora una volta a sottolineare che con l'analisi empirica che stiamo svolgendo vogliamo soltanto verificare se le previsioni qualitative del modello teorico sono supportate dai dati, in particolare quella relativa all'importante ruolo del capitale umano. Il nostro non è un 'test' del modello, dato che l'equazione che stimiamo non è esattamente la (18') e non conosciamo i valori di *steady state* sia della variabile dipendente che dei regressori.

Nelle regressioni ci concentriamo su un campione di 92 paesi. L'elenco completo dei Paesi inclusi nel campione è riportato nell'Appendice 1. Al fine di testare la robustezza dei risultati rispetto al periodo analizzato abbiamo provveduto a stimare la regressione su diverse *cross-section*, 1980, 1985, 1990 e 1995, includendo in ogni *cross-section* lo stesso insieme di paesi, ovvero quelli per cui le variabili di interesse risultavano *non missing* nel 1980.

Alcune delle nostre scelte necessitano di una ulteriore qualificazione. Innanzitutto, abbiamo focalizzato la nostra attenzione su delle *cross-section* relativamente recenti (dal 1980 in poi) al fine di ridurre al minimo la possibile incidenza del *sample selection bias* (Heckman 1979). E' stato evidenziato altrove, infatti, l'effetto che una selezione non casuale del campione potrebbe avere sulle stime.²⁷

²⁷ Si veda a riguardo De Long (1988). Questi, nel contesto di una analisi di convergenza tra Paesi nei tassi di crescita del Pil pro-capite, osserva come quelli con delle serie storiche piuttosto lunghe, dato che queste ultime sono costruite in maniera retrospettiva, siano anche quelli attualmente più industrializzati. Ciò implica che in un dato periodo se consideriamo un campione di Paesi in via di sviluppo per cui i dati sui tassi di crescita (o sul Pil pro-capite) sono disponibili, essi risultano anche quelli che all'inizio erano relativamente poveri e che hanno manifestato una crescita sostenuta nel periodo considerato. Ciò ha delle ovvie implicazioni in termini dei risultati ottenuti qualora si studi la convergenza (nel senso che il *bias* è evidentemente nella direzione di trovare tale risultato). Un simile *bias* si ha anche nel caso di studi sul livello di Pil pro-capite (che in un certo istante è dato dal Pil pro-capite all'inizio del periodo considerato moltiplicato per il relativo tasso di crescita).

Le variabili esplicative esogene nel modello teorico che abbiamo incluso nella regressione sono state considerate ad una data anticipata (l'inizio del quinquennio precedente per le variabili di stock e la media del quinquennio precedente per quelle di flusso) rispetto alla data a cui si riferisce la variabile da spiegare (il livello di Pil pro-capite) allo scopo di far fronte ai potenziali problemi di endogeneità delle stesse. Il problema dell'endogeneità potrebbe sorgere dal fatto che, oltre al capitale umano, anche altre variabili da noi considerate nel modello teorico come esogenamente determinate rispetto al livello del Pil pro-capite potrebbero essere in realtà variabili di scelta per l'individuo. In particolare, la letteratura economica offre esempi di come il saggio di risparmio possa essere il frutto di una scelta consapevole da parte di agenti economici razionali (si veda, ad esempio, il modello neoclassico di crescita di Ramsey, 1928). In altri termini, il problema dell'endogeneità potrebbe sorgere dal fatto che i livelli del Pil pro-capite, del saggio di risparmio e del capitale umano potrebbero essere determinati simultaneamente dalle 'vere' variabili esogene del modello. In tal caso le correlazioni stimate nell'equazione (20) sarebbero delle semplici correlazioni spurie e non rifletterebero alcun nesso di causalità tra la variabile dipendente e quelle indipendenti. Al contrario, il fatto di considerare le stesse variabili indipendenti ad una data anticipata rende queste ultime *predeterminate* rispetto al livello corrente del Pil pro-capite che vogliamo spiegare. Tale procedura è molto simile a quella che consiste nell'utilizzo del metodo delle variabili strumentali (*instrumental variables*, IV), in cui i valori ritardati delle variabili esplicative endogene vengono considerati come "strumenti". Nel nostro caso, invece di applicare il metodo IV, gli "strumenti" vengono inclusi direttamente come variabili esplicative nella regressione stimando una sorta di forma ridotta.²⁸ Quanto detto vale a maggior ragione per il livello dello stock di capitale umano pro-capite in logaritmo (*lh*), che risulta endogeno nel nostro modello teorico.

La Tabella 2 riporta le stime delle regressioni *cross-country* relative agli anni 1980, 1985, 1990, 1995.

E' possibile notare come i risultati qualitativi delle stime siano robusti al variare del periodo di stima. Il potere esplicativo delle regressioni (R^2) è considerevole, anche in virtù del limitato numero di variabili esplicative incluse nel nostro modello. Esso tende generalmente a crescere man mano che si considerano le *cross-section* più recenti e va da un minimo di 0.65 nel 1980 ad un massimo di 0.73 nel 1995. L'aumentare del potere esplicativo delle regressioni col passare del tempo è ciò che ci dovremmo aspettare in un'ottica di transizione dei diversi paesi all'equilibrio di *steady state*, nel senso che sia la variabile da spiegare (il livello del Pil pro-capite) che le variabili esplicative incluse

²⁸ Tale prassi è comunemente diffusa nell'ambito dell'econometria delle serie storiche al fine di ottenere valida inferenza condizionale (si veda Davidson e MacKinnon 1993, p. 624).

sul lato destro della regressione (20) risulterebbero delle *proxy* migliori per i valori assunti dalle stesse nello *steady state*.

L'effetto del livello di capitale umano sul livello di Pil pro-capite è sempre positivo e statisticamente significativo al livello dell'1%. Il relativo coefficiente tende a crescere nel tempo e varia tra 0.81 nel 1980 e 1.27 nel 1995. E' allora chiaro come l'evidenza empirica sia coerente con un importante ruolo del livello di capitale umano pro-capite sul livello del Pil pro-capite, teorizzato dal nostro come anche da altri modelli. I nostri risultati confermano pertanto quelli di Mankiw-Romer-Weil (1992): anche considerando un diverso campione di paesi e diversi periodi emerge il ruolo fondamentale del capitale umano per la spiegazione delle differenze nel livello del Pil pro-capite.²⁹ Inoltre dai Wald test riportati nella Tabella 1 è anche evidente come in tutte le *cross-section* analizzate non sia possibile rifiutare (al 5%) l'ipotesi che l'elasticità del Pil procapite rispetto allo stock di capitale umano procapite sia unitaria.

Un passo ulteriore nell'analisi potrebbe essere quello di utilizzare il fatto che abbiamo a disposizione diverse osservazioni temporali per alcuni Paesi e sfruttare, pertanto, la natura longitudinale dei dati. Ciò consente di stimare modelli in cui è possibile tenere esplicitamente conto dell'eterogeneità non osservata tra Paesi, considerando allo stesso tempo fattori specifici per cui non controlliamo esplicitamente e che possono caratterizzare un Paese, influenzandone il livello di Pil pro-capite. L'utilizzo di stime di tipo panel è anche suggerita da Temple (1999b), come un ulteriore controllo della robustezza dei risultati ottenuti. Nel caso di stime di tipo *panel* l'equazione stimata diventa:

$$(21) \quad ly_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 inv_{it} + \alpha_2 lh_{it} + u_i + \varepsilon_{it}$$

dove u_i può rappresentare, a seconda del tipo di modello (*fixed effects* o *random effects*) utilizzato, rispettivamente un effetto fisso-Paese (o variabile *dummy*) o un effetto *random* non correlato per ipotesi con le variabili esplicative incluse sul lato destro della (21).³⁰ Come già fatto per le *cross-section*, abbiamo limitato anche per il panel il periodo di indagine tra 1980 e 1995 al fine di limitare l'incidenza del *sample selection bias*. Infatti, i panel in cui la dimensione temporale è più lunga (che partono cioè da un periodo più lontano nel tempo) sono generalmente non bilanciati (cioè non tutti i Paesi sono osservati un eguale numero di volte nel tempo) e gli anni per

²⁹ Per completezza abbiamo riportato nell'Appendice 2 i risultati delle stime delle singole *cross-section* 1980-1995 ottenute considerando un campione simile a quello di Mankiw-Romer-Weil (1992), in pratica tutti i paesi da loro considerati per cui le variabili di interesse risultano *non-missing*, e la specificazione da loro suggerita nell'equazione 12 del loro articolo (p. 418).

³⁰ Abbiamo indicato tale effetto con u_i , come viene spesso fatto nella letteratura. Tuttavia, tale variabile non ha nulla a che fare con la frazione di capitale umano impiegata nella produzione del bene di consumo finale, indicata anch'essa con u nel modello teorico (vedi sezione 2).

cui i dati sono *missing* non sono distribuiti in maniera casuale tra periodi e tra Paesi. Tipicamente si hanno *missing* per i Paesi meno sviluppati e man mano che si considerano periodi meno recenti. Pertanto la disponibilità dei dati (la probabilità che i dati siano *non-missing*) è generalmente correlata al livello di sviluppo di un Paese e quindi al suo livello di Pil pro-capite (o per addetto), che costituisce la nostra variabile da spiegare, generando nelle stime delle potenziali distorsioni da *sample selection*. A questo riguardo, scegliendo degli anni abbastanza recenti è possibile ottenere dei panel bilanciati, riducendo al contempo il rischio di considerare dei campioni affetti da problemi di selezione.

La Tabella 3 riporta le stime dei modelli con effetti *random* (*random effects*) e con effetti fissi (*fixed effects*).³¹ Nel primo caso si ipotizza che l'errore nella (21) possa essere scomposto in una componente *country-specific* che non varia nel tempo (u_i), ed una componente che varia nel tempo (ε_{it}). Nel secondo caso si controlla per l'eterogeneità non osservata semplicemente includendo tra i regressori una variabile *dummy* per ogni Paese. Si noti che a causa del breve lasso temporale osservato alcune variabili potrebbero presentare una scarsa variabilità nel tempo a livello di singolo Paese. Questo potrebbe essere il caso dello stock di capitale umano pro-capite, che dipende da variabili (come la struttura per età della popolazione, i tassi di iscrizione scolastica) che cambiano in maniera sostanziale solo nel medio e lungo termine. La matrice delle correlazioni tra i livelli del capitale umano per Paese negli anni 1975-1990 riportata nella Tabella 4 mostra in effetti la scarsa variazione nel tempo della *proxy* del capitale umano da noi utilizzata. Ciò implica che il livello del capitale umano potrebbe essere fortemente correlato alle *dummy* per Paese nel modello ad effetti fissi. Pertanto, gli effetti fissi-Paese (che non variano nel tempo) potrebbero cogliere in parte l'effetto del capitale umano, ciò che è evidenziato anche in Temple (1999a, p. 132).³² Inoltre, data la breve lunghezza del *panel* (per ogni Paese abbiamo soltanto due osservazioni temporali), le stime degli effetti fissi non risultano consistenti e il modello risulta fortemente sovra-parametrizzato.

Nella specificazione con effetti fissi otteniamo un coefficiente negativo ma non statisticamente significativo. Questo rappresenta un fatto non inusuale e già osservato nell'ambito delle *cross-country growth regressions*.³³ Riteniamo che due siano i problemi principali connessi all'utilizzo di modelli ad effetti fissi quando si utilizzano dei *panel* con un orizzonte temporale relativamente breve, sia che si stimino regressioni sui livelli di Pil pro-capite che *growth regressions*. Il primo, che abbiamo già accennato, è che per la sua natura il numero medio di anni di istruzione per membro della popolazione in età attiva (15 anni o più), come altre misure del capitale umano, varia

³¹ Si veda Greene (1997).

³² Si veda a questo proposito anche Griliches e Mairesse (1995).

³³ Vedi Islam (1995).

molto lentamente nel tempo, per cui presenta scarsa variazione nei periodi quinquennali³⁴ considerati nel panel e risulta fortemente correlato agli effetti fissi-Paese. Come noto infatti il *fixed effects model* viene talvolta indicato anche come *within-groups estimator*,³⁵ in quanto utilizza per le stime soltanto la varianza *within-groups*, ovvero per un Paese nel tempo, mentre trascura del tutto la varianza *between-groups*, cioè tra Paesi. Anche il secondo problema deriva in parte dalla natura della *proxy* del capitale umano utilizzata. Il numero medio di anni di istruzione formale della popolazione in età attiva si riferisce alla popolazione con 15 anni o più indipendentemente dal fatto che essa sia effettivamente impiegata nella produzione o stia completando la propria formazione scolastica. Soprattutto quando si considerano periodi relativamente brevi (5 anni) è molto probabile che gran parte delle variazioni nel numero medio di anni di istruzione sia generata da coloro che ancora sono studenti,³⁶ e che non hanno fatto il loro ingresso nel mercato del lavoro. Per questa ragione sarebbe possibile attendersi un effetto non significativo, o addirittura negativo, dell'istruzione sul prodotto per membro della popolazione attiva nel breve periodo, dato che coloro che stanno acquisendo istruzione non sono proficuamente impiegati nella produzione e che le risorse dedicate all'istruzione potrebbero essere sottratte ad altri investimenti più immediatamente produttivi. Inoltre, a prescindere dai problemi della *proxy* del capitale umano utilizzata, che considera solo l'istruzione formale, esiste anche il problema del *timing* con cui l'istruzione esercita il proprio effetto sulla produttività. Le nuove generazioni di individui più istruiti che entrano nel mercato del lavoro sono immediatamente più produttive delle precedenti, con minore istruzione, o l'investimento in istruzione richiede un certo lasso di tempo per espletare il suo effetto sulla produttività? I modelli teorici hanno dato scarsa attenzione al problema del *timing* dell'effetto dell'istruzione sulla produttività. E' tuttavia molto probabile che esso si manifesti con un certo ritardo.³⁷ Inizialmente, individui meno istruiti, che sono pertanto entrati nel mercato del lavoro prima, potrebbero anch'essi avere accumulato uno stock sostanziale di altre forme di capitale umano diverse dall'istruzione, ad esempio nella forma di *on-the-job training*, e la loro produttività potrebbe essere persino più alta di quella degli individui con istruzione più elevata ma con minore esperienza.³⁸ Alla luce di tutto ciò, riteniamo che non ci si debba stupire dell'eventuale non

³⁴ La correlazione tra il livello di capitale umano nel tempo risulta estremamente elevata anche qualora si considerino variazioni decennali.

³⁵ Vedi Greene (1997).

³⁶ Questo effetto è anche attribuibile al fatto che l'istruzione risulta generalmente organizzata in cicli e che gli individui tendono ad entrare nel mondo produttivo al termine dei diversi cicli. Questo problema della variabile proxy del capitale umano potrebbe affliggere in particolare i paesi più sviluppati dove l'entrata nel mercato del lavoro si ha in media ben oltre i 15 anni di età.

³⁷ Temple (1999b, p. 139) osserva che: "Certainly it has been much harder to find an effect of human capital in panel data studies, although it is also true that too few researchers think carefully about the specification. Rather optimistically, they tend to expect a change in school enrollments to raise growth almost instantly".

³⁸ Per una discussione relativa ad analisi di tipo micro-econometrico si veda ad esempio Light (1998). Per una definizione più ampia di capitale umano che non comprende soltanto l'istruzione formale si veda Kendrick (1976).

significatività dello stock di anni medi di istruzione e persino di un effetto negativo quando si utilizzano modelli ad effetti fissi (che considerano solo la varianza *over-time*) su *panel* con breve orizzonte temporale. A questo proposito la disponibilità in futuro di serie storiche più lunghe potrebbe alleviare il primo problema evidenziato, di natura econometrica, e contribuire anche a fare luce sul tema del *timing* dell'effetto dell'istruzione.

Quando si utilizza il *between-groups estimator*, che si pone agli antipodi rispetto al *within-groups estimator*, dato che utilizza nelle stime solo la varianza tra Paesi mentre trascura completamente la varianza *within-groups*, otteniamo dei risultati molto simili a quelli ottenuti per le *cross-section*: l'effetto del capitale umano risulta statisticamente significativo (all'1%), positivo e di entità considerevole. I risultati delle stime del modello ad effetti casuali (*random effects*), essendo una media ponderata dei due stimatori *within-groups* e *between-groups* (vedi Greene 1997, p. 625) si collocano a metà strada tra quelle del modello ad effetti fissi e del *between-groups estimator*. Anche dal modello con *random effects* emerge un effetto positivo e statisticamente significativo del capitale umano, minore tuttavia rispetto a quello ottenuto nelle stime *cross-section* o con il *between-groups estimator*.

Sebbene i risultati qualitativi (in termini di segno e di significatività) delle nostre regressioni *cross-section* siano generalmente robusti rispetto a specificazioni di tipo *panel*, se si fa eccezione per il modello ad effetti fissi che riteniamo tuttavia problematico per le ragioni suddette, si pone però il problema di spiegare le differenze nella grandezza dei coefficienti quando si considerano modelli *panel*. Come abbiamo già detto, una possibile ragione è dovuta alla “viscosità” del livello del capitale umano, per cui esso risulta fortemente correlato alle *dummy* per Paese (nel modello ad effetti fissi) o alla parte *time invariant* dell'errore della regressione (nel caso del modello ad effetti casuali) nei modelli *panel* che vengono tipicamente stimati (in cui la dimensione temporale è relativamente ridotta), per cui il coefficiente stimato risulta ridotto rispetto alle stime *cross-section*. Una spiegazione alternativa è che l'effetto positivo dell'accumulazione del capitale umano sulla crescita (e la correlazione positiva tra livello di capitale umano e Pil pro-capite) sia il risultato di un processo solo di lungo periodo. Questo fatto potrebbe spiegare il perché le differenze tra Paesi nei livelli di capitale umano pro-capite siano generalmente correlate (nei modelli che utilizzano *cross-section* o *panel* ed il *between-groups estimator*) a differenze nei livelli di reddito pro-capite, dato che le differenze nel livello di capitale umano sono maturate nel corso di numerosi decenni ed hanno avuto tempo sufficiente ad espletare il loro effetto positivo sul processo di crescita del Pil pro-capite e conseguentemente anche sul livello di Pil pro-capite. Al contrario, un effetto altrettanto importante (e talvolta neppure statisticamente significativo o del segno opposto a quello atteso) del capitale umano non viene rilevato a livello di singoli Paesi quando si considerano solo le variazioni

nel tempo (*fixed effect models*) e delle serie storiche relativamente brevi in cui l'effetto positivo dell'accumulazione del capitale umano potrebbe ancora non aver avuto sufficiente tempo per manifestarsi.

Temple (1999b) nella sua rassegna osserva come l'eterogeneità tra Paesi nei parametri della regressione potrebbe costituire un problema. Detto in altri termini, Paesi diversi potrebbero avere coefficienti diversi nell'equazione (20). Ciò che viene talvolta fatto è stimare i coefficienti in sotto-campioni, sebbene la definizione dei sotto-campioni è spesso arbitraria. Al fine di rendere conto dei possibili effetti dell'eterogeneità nei parametri tra Paesi abbiamo stimato anche un modello a coefficienti casuali (*random coefficient model*),³⁹ che può essere espresso come:

$$ly_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 s_{it} + \alpha_2 lh_{it} + u_{0i} + u_{2i} inv_{it} + u_{3i} lh_{it} + \varepsilon_{it}$$

dove $(u_0, u_1, u_2) \sim N(0, \Sigma)$, e la matrice varianza-covarianza Σ è stimata insieme agli altri coefficienti del modello. I risultati delle stime sono riportati nella Tabella 5. E' possibile notare come il coefficiente del capitale umano rimanga statisticamente significativo al livello dell'1% e la sua dimensione risulta ridotta rispetto alle stime *cross-section*. Sebbene qui soltanto dal punto di vista qualitativo, il ruolo positivo e significativo del capitale umano risulta ancora una volta confermato.

6. Conclusioni

Obiettivo di questo articolo è stato quello di studiare, all'interno di un modello in cui è possibile accumulare sia capitale fisico che umano, l'impatto che alcune variabili di interesse (soprattutto il livello di capitale umano posseduto e il saggio di risparmio) hanno, nel lungo periodo, sul livello del reddito pro-capite. Rispetto ad altri più noti contributi esistenti sullo stesso argomento (tipicamente quello di Mankiw-Romer-Weil, 1992), il nostro articolo si caratterizza per una maggiore ricchezza sia sul piano del modello teorico presentato, che su quello dell'esercizio empirico proposto. Dal primo punto di vista, abbiamo costruito un modello di crescita bilanciata all'interno del quale abbiamo determinato endogenamente l'allocazione di equilibrio del capitale umano tra impieghi alternativi (produzione ed istruzione). Infine, un'altra implicazione del modello è stata che l'elasticità del reddito pro-capite rispetto al capitale umano pro-capite è unitaria.

Sul piano empirico abbiamo utilizzato (rispetto a Mankiw-Romer-Weil, 1992) una *proxy* migliore per lo stock di capitale umano e una banca dati più recente. Obiettivo di questa seconda

³⁹ Per la stima di questi modelli si veda Rabe-Hesketh *et al.* (2001).

parte dell'articolo è stato quello di verificare se le implicazioni qualitative (relative cioè al segno dell'effetto del capitale umano) e quantitative (relative, invece, alla dimensione dell'effetto suddetto) del modello teorico siano riscontrabili nei dati. A questo scopo abbiamo stimato il modello su un campione di Paesi a differente stadio di sviluppo economico considerando diverse *cross-section* (1980, 1985, 1990 e 1995) e dati quinquennali di tipo *panel* (1980-1995). L'effetto trovato del capitale umano è del segno previsto dal modello teorico. In particolare, in tutti i modelli stimati, sia sulle *cross-section* che di tipo *panel*, e ad eccezione del modello *panel* ad effetti fissi (nella sezione 5 abbiamo fornito alcune possibili spiegazioni per questa eccezione), lo stock di capitale umano pro-capite ha un effetto positivo, statisticamente significativo e di dimensione rilevante sul livello di Pil pro-capite. Nelle stime *cross-section* poi neppure l'implicazione quantitativa del nostro modello di un'elasticità unitaria del Pil pro-capite rispetto allo stock di capitale umano pro-capite viene mai rifiutata.

Dal punto di vista della ricerca futura sarebbe secondo noi interessante verificare empiricamente come e in che direzione potrebbero cambiare i risultati raggiunti nel presente lavoro nel caso in cui il progresso tecnico (via spese in Ricerca e Sviluppo) e/o il risparmio venissero resi endogeni all'interno del modello teorico di riferimento.

Tabelle

Tabella 2: Stime *cross-section* (OLS) delle determinanti del Pil per membro della popolazione in età attiva

Variabili	Anni			
	1980	1985	1990	1995
	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
inv	0.02 *	0.03 **	0.04 ***	0.03 ***
	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)
lh	0.81 ***	0.89 ***	0.94 ***	1.27 ***
	(0.11)	(0.12)	(0.13)	(0.16)
costante	7.49 ***	7.17 ***	6.91 ***	6.28 ***
	(0.13)	(0.12)	(0.14)	(0.22)
N. osservazioni	92	92	92	92
R ²	0.65	0.69	0.73	0.73
Wald test lh=1 ^(a) (p-value)	3.05 (0.08)	0.82 (0.37)	0.22 (0.64)	2.75 (0.10)

Note. * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo all'1%. ^(a) Wald test per l'elasticità dello stock di capitale umano uguale ad uno.
Errori standard robusti alla presenza di eteroschedasticità tra parentesi

Tabella 3: Stime *panel* 1980-1995 delle determinanti del Pil per membro della popolazione in età attiva

Variabili	Within-groups estimator	Between-groups estimator	Random effects model
	Coef.	Coef.	Coef.
inv	0.01 ***	0.03 ***	0.02 ***
	(0.00)	(0.01)	(0.00)
lh	-0.08	0.96 ***	0.27 ***
	(0.05)	(0.11)	(0.05)
costante	8.88 ***	6.96 ***	8.16 ***
	(0.10)	(0.14)	(0.11)
N. gruppi	92	92	92
N. osservazioni	368	368	368
F-test (p-value)	7.88 (0.00)	114.41 (0.00)	-
Wald test (p-value)	-	-	74.14 (0.00)
Wald test lh=1 ^(a) (p-value)	410.99 (0.00)	0.12 (0.73)	195.63 (0.00)

Note. * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo all'1%. ^(a) Wald test per l'elasticità dello stock di capitale umano uguale ad uno.
Errori standard robusti alla presenza di eteroschedasticità tra parentesi. Il *panel* è bilanciato e include quattro osservazioni quinquennali (1980, 1985, 1990, 1995) per 92 Paesi.

Tabella 4: Matrice di correlazione tra le misure dello stock di capitale in logaritmo naturale $\ln(h_t)$ relative alle diverse *cross-section*

	1975	1980	1985	1990
1975	1			
1980	0.9796	1		
1985	0.9706	0.9919	1	
1990	0.9453	0.9683	0.9799	1

Tabella 5: Stime del *random coefficients model* delle determinanti del Pil per membro della popolazione in età attiva per il periodo 1980-1995

Variabile	Coef.	
inv	0.01 (0.00)	***
lh	0.21 (0.10)	**
costante	8.19 (0.19)	***
N. gruppi	92	
N. osservazioni	368	
Log-verosimiglianza	65.60	

Note. * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo all'1%.

Errori standard robusti alla presenza di eteroschedasticità tra parentesi. Il campione include quattro osservazioni quinquennali (1980, 1985, 1990, 1995) per 92 Paesi. Le covarianze stimate tra i coefficienti random (vedi sezione 5) sono rispettivamente (con gli errori standard tra parentesi): $\text{cov}(2,1) = -0.011$ (.004); $\text{cov}(3,1) = -.529$ (.276); $\text{cov}(3,2) = 0.004$ (.003).

Appendice 1 – Elenco dei paesi inclusi nel campione di stima (n=92)

Argentina, Australia, Austria, Belgium, Benin, Bangladesh, Bolivia, Brazil, Barbados, Botswana, Central African Republic, Canada, Switzerland, Chile, China, Cameroon, Colombia, Costa Rica, Cyprus, Denmark, Dominican Republic, Algeria, Ecuador, Egypt Arab Rep., Spain, Finland, Fiji, France, United Kingdom, Ghana, The Gambia, Greece, Guatemala, Guyana, Hong Kong (China), Honduras, Haiti, Hungary, Indonesia, India, Ireland, Iran Islamic Rep., Iceland, Israel, Italy, Jamaica, Jordan, Japan, Kenya, Korea Rep., Sri Lanka, Lesotho, Mexico, Mali, Mozambique, Mauritius, Malawi, Malaysia, Niger, Nicaragua, Netherlands, Norway, Nepal, New Zealand, Pakistan, Panama, Peru, Philippines, Papua New Guinea, Poland, Portugal, Paraguay, Rwanda, Senegal, Sierra Leone, Singapore, El Salvador, Sweden, Syrian Arab Republic, Tanzania, Togo, Thailand, Trinidad and Tobago, Tunisia, Turkey, Uganda, Uruguay, United States, Venezuela RB, South Africa, Zambia, Zimbabwe.

Appendice 2 – Stime del modello di Mankiw-Romer-Weil (1992)

In questa appendice utilizziamo la stessa specificazione econometrica ed il set di paesi considerato da Mankiw-Romer-Weil (1992), ma dei periodi diversi (1980, 1985, 1990, 1995) ed il nostro *data set* al fine di comparare le stime risultanti con quelle riportate nella sezione 5. La specificazione econometrica utilizzata è data dall'equazione 12 in Mankiw-Romer-Weil (1992, p. 418), ovvero:

$$\ln(y_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(inv_{it}) + \alpha_2 \ln(n_{it} + g_A + \delta) + \alpha_3 \ln(h_{it}) + \varepsilon_{it},$$

dove trascurando per semplicità i pedici per i paesi ed il tempo, y è il Pil pro-capite (o per lavoratore dato che nel modello tutta la popolazione lavora), inv il tasso di investimento, n il tasso di crescita della popolazione in età attiva (fonte World Bank 2002), g_A il tasso di progresso tecnico, δ il tasso di deprezzamento del capitale fisico e h lo stock di capitale umano per membro della popolazione effettiva. Come abbiamo già osservato nella sezione 5 il modello predice un'elasticità del Pil per addetto rispetto allo stock di capitale umano per lavoratore effettivo pari a $\beta/(1-\alpha)$.⁴⁰ Come gli autori, abbiamo ipotizzato che $g_A + \delta = 0.05$ (= 5%). Il numero di paesi utilizzati nelle diverse *cross-section* è differente da quello utilizzato nell'articolo originario di Mankiw-Romer-Weil (1992) - 98 paesi - per due motivi. Il primo è che noi utilizziamo lo stock di capitale umano (il numero medio di anni di istruzione fornito da Barro e Lee 2001), che per alcuni paesi non risulta disponibile, e non il saggio di accumulazione di capitale umano (ovvero i tassi di scolarizzazione secondaria). Il secondo, invece, è che noi consideriamo per le variabili di flusso i tassi quinquennali (e non dal 1960 al 1985, come Mankiw-Romer-Weil),⁴¹ e per alcuni paesi e per alcuni periodi l'argomento del logaritmo naturale può risultare negativo o nullo, per cui l'osservazione relativa è

⁴⁰ L'elasticità è la stessa anche rispetto allo stock di capitale umano per lavoratore.

⁴¹ Questo affinché le stime risultino comparabili con quelle della sezione 5.

omessa dall'analisi. E' immediato osservare come il livello di capitale umano pro-capite entri in logaritmo naturale sia nella specificazione di Mankiw-Romer-Weil (1992) che nella nostra. Tutto ciò si riflette immediatamente nel potere esplicativo delle regressioni e nell'effetto stimato del capitale umano che risultano simili a quelli riportati nella sezione 5.

Tabella A2: Stime *cross-section* (OLS) delle determinanti del Pil per membro della popolazione in età attiva, modello e campione Mankiw-Romer-Weil (1992)

Variabili	Anni							
	1980		1985		1990		1995	
	Coef.		Coef.		Coef.		Coef.	
ln(n+g _A +d)	-1.45	***	-1.72	***	-1.89	***	-1.80	***
	(0.29)		(0.36)		(0.30)		(0.42)	
ln(inv)	0.34	***	0.44	***	0.54	***	0.61	***
	(0.13)		(0.13)		(0.16)		(0.13)	
ln(h)	0.70	***	0.72	***	0.74	***	0.94	***
	(0.09)		(0.11)		(0.12)		(0.14)	
costante	10.04	***	10.17	***	10.20	***	9.27	***
	(0.69)		(0.81)		(0.77)		(1.04)	
N. osservazioni	81		81		82		84	
R ²	0.74		0.78		0.83		0.84	

Note. * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo all'1%.
Errori standard robusti alla presenza di eteroschedasticità tra parentesi.

Riferimenti Bibliografici

- Azariadis, C. e Drazen, A. (1990), "Threshold Externalities in Economic Development", *Quarterly Journal of Economics*, 105 (2), 501-26.
- Barro, R.J. (1991), "Economic Growth in a Cross Section of Countries", *Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 407-43.
- Barro, R.J. (1997), *Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Barro, R.J. (1999), "Human Capital and Growth in Cross-Country Regressions", *Swedish Economic Policy Review*, 6(2), 237-77.
- Barro, R.J. (2001), "Human Capital and Growth", *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 91(2), 12-17.
- Barro, R.J. e Lee, J.W. (2001), "International Data on Educational Attainment: Updates and Implications", *Oxford Economic Papers*, 53(3), 541-63.
- Barro, R.J. e Sala-i-Martin, X. (1995), *Economic Growth*, McGraw Hill, New York.
- Becker, G.S. (1964), *Human Capital*, Columbia University Press, New York.
- Becker, G.S., Murphy, K.M. e Tamura, M. (1990), "Human Capital, Fertility and Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 98(5), S12-37, Part 2.
- Benhabib, J. e Spiegel, M.M. (1994), "The Role of Human Capital in Economic Development: Evidence from Aggregate Cross-Country Data", *Journal of Monetary Economics*, 34(2), 143-73.
- Blackburn, K., Hung, V.T.Y. e Pozzolo, A.F. (2000), "Research, Development and Human Capital Accumulation", *Journal of Macroeconomics*, 22(2), 189-206.
- Bucci, A. (2003), "Potere di Mercato e Crescita Economica Aggregata nei Modelli con Innovazione Tecnologica Endogena", *Giornale degli Economisti e Annali di Economia*, vol.62, n.2, ottobre.
- Bucci, A. e Checchi, D. (2003), "Crescita e Disuguaglianza nei Redditi a Livello Mondiale", *Rivista Italiana degli Economisti*, a. VIII, n.1, pp.59-97.
- Buiter, W.H. e Kletzer, K.M. (1995), "Capital Mobility, Fiscal Policy and Growth under Self-Financing of Human Capital Formation", *Canadian Journal of Economics*, 28(0), S163-94.
- Davidson, R. e MacKinnon, J.G. (1993), *Estimation and Inference in Econometrics*, Oxford University Press, New York e Oxford.
- De Long, J. B. (1988), "Productivity Growth, Convergence, and Welfare: Comment", *American Economic Review* 78(5), 1138-54.
- Durlauf, S.N. e Johnson, P.A. (1995), "Multiple Regimes and Cross-Country Growth Behaviour", *Journal of Applied Econometrics*, 10(4), 365-84.
- Easterly, W. e Levine, R. (1997), "Africa's Growth Tragedy: Policies and Ethnic Divisions", *Quarterly Journal of Economics*, 112(4), 1203-50.

- Funke, M. e Strulik, H. (2000), "On Endogenous Growth with Physical Capital, Human Capital and Product Variety", *European Economic Review*, 44(3), 491-515.
- Glomm, G. e Ravikumar, B. (1992), "Public Versus Private Investment in Human Capital: Endogenous Growth and Income Inequality", *Journal of Political Economy*, 100(4), 813-34.
- Greene, W.H. (1997), *Econometric Analysis*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Griliches, Z. e Mairesse, J. (1995), "Fundamental Determinants of Output per Worker across Countries", Stanford University, manoscritto.
- Gundlach, E. (1995), "The Role of Human Capital in Economic Growth: New Results and Alternative Interpretations", *Weltwirtschaftliches Archiv*, 131(2), 383-402.
- Heckman, J. J. (1979), "Sample Selection Bias as a Specification Error", *Econometrica* 47(1), 153-161.
- Islam, N. (1995), "Growth Empirics: A Panel Data Approach", *Quarterly Journal of Economics*, 110(4), 1127-70.
- Jones, C.I. (1995), "R&D-Based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 103(4), 759-84.
- Judson, R. (2002), "Measuring Human Capital like Physical Capital: What Does It Tell Us?", *Bulletin of Economic Research*, 54(3), 209-31.
- Kalaitzidakis, P., Mamuneas, T.P., Savvides, A. e Stengos, T. (2001), "Measures of Human Capital and Nonlinearities in Economic Growth", *Journal of Economic Growth*, 6(3), 229-54.
- Kendrick, J. (1976), *The Formation and Stocks of Total Capital*. New York, N.Y.: Columbia University Press for NBER.
- Klenow, P.J. e Rodriguez-Clare, A. (1997), "The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far?", in B.S. Bernanke e J.J. Rotemberg (eds.), *NBER Macroeconomics Annual*, 73-103.
- Krueger, A.B. e Lindahl, M. (2001), "Education for Growth: Why and For Whom?", *Journal of Economic Literature*, 39(4), 1101-36.
- Levine, R.E. e Renelt, D. (1992), "A Sensitivity Analysis of Cross-Country Growth Regressions", *American Economic Review*, 82(4), 942-63.
- Liu, Z. e Stengos, T. (1999), "Non-Linearities in Cross-Country Growth Regressions: A Semiparametric Approach", *Journal of Applied Econometrics*, 14(5), 527-38.
- Light, A. (1998), "Estimating Returns to Schooling: When Does the Career Begin?", *Economics of Education Review*, 17(1), 31-46.
- Lucas, R.E. (1988), "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.
- Mankiw, N.G., Romer, D. e Weil, D.N. (1992), "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-37.
- Milesi-Ferretti, G.M. e Roubini, N. (1994), "Taxation and Endogenous Growth in Open Economies", *IMF Working Paper*, No.94/77.

- Mincer, J. (1974), *Schooling, Experience, and Earnings*, National Bureau of Economic Research, New York.
- O'Neill, D. (1995), "Education and Income Growth: Implications for Cross-Country Inequality", *Journal of Political Economy*, 103 (6), 1289-1301.
- Pritchett, L. (2001), "Where Has All the Education Gone?", *World Bank Economic Review*, 15(3), 367-91.
- Rabe-Hesketh, S., Pickles, A. e Skrondal, A. (2001), *GLLAMM Manual*. Technical Report 2001/01, Department of Biostatistics and Computing, Institute of Psychiatry, King's College, University of London.
- Ramsey, F. P. (1928), "A Mathematical Theory of Savings", *Economic Journal*, 38, 543-559.
- Rebelo, S. (1991), "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, 99(3), 500-21.
- Redding, S. (1996), "The Low-Skill, Low-Quality Trap: Strategic Complementarities between Human Capital and R&D", *Economic Journal*, 106(435), 458-70.
- Schultz, T. (1964), *The Economic Value of Education*, Columbia University Press, New York.
- Solow, R. (1956), "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Stokey, N.L. (1991), "Human Capital, Product Quality and Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 587-616.
- Summers, R. e Heston, A. (1988), "A New Set of International Comparisons of Real Product and Price Levels Estimates for 130 Countries, 1950-1985", *Review of Income and Wealth*, 34(1), 1-25.
- Temple, J. (1999a), "A Positive Effect of Human Capital on Growth", *Economics Letters*, 65(1), 131-34.
- Temple, J. (1999b), "The New Growth Evidence", *Journal of Economic Literature*, 37(1), 112-156.
- Uzawa, H. (1965), "Optimum Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth", *International Economic Review*, 6, 18-31.
- World Bank (2002), *World Development Indicators 2002 on CD-ROM*. World Bank, Washington D.C.
- Wößmann, L. (2003), "Specifying Human Capital", *Journal of Economic Surveys*, 17(3), 239-70.