

# Progresso tecnico endogeno

## Modello di Romer

- Nei modelli precedenti i fattori di crescita sostenuta erano rappresentati da capitale e lavoro ed eventualmente dalle esternalità derivanti dall'accumulazione dei fattori.
- Tali teorie sono pertanto basate sull'accumulazione dei fattori e non sul progresso tecnico
- Il modello che presenteremo ora attribuisce al progresso tecnico endogeno il ruolo di motore della crescita

- Le conoscenze tecnologiche sono rappresentate da tutte le tecniche e modalità di produzione di beni e servizi efficienti che fanno parte del patrimonio di conoscenze di un'impresa o di un paese.
- A determinare la crescita del reddito non è il livello della conoscenza tecnologica ma il suo miglioramento (progresso tecnologico).
- I modelli con progresso tecnico endogeno, che generalmente sono modelli a 3 settori, sono particolarmente complessi.

- Le idee che sottostanno alla costruzione dei modelli sono, molto semplici e facilmente comprensibili.
- Le domande alle quali dobbiamo rispondere sono:
- perché la tecnologia migliora nel tempo?
- che cosa la produce?
- che cosa determina il livello di conoscenza  $A$  e come viene accumulata ?
- (Per un a lettura introduttiva sul progresso tecnico e la sua evoluzione si veda Weil, cap.9)

# Assunzioni

- la conoscenza specifica, utile a fini produttivi, viene prodotta dalle imprese nei loro laboratori di ricerca e di sviluppo
- L'impresa che riesce ad essere innovativa sia nei processi che nei prodotti può: i) contare su più vasti mercati, ii) eliminare altre imprese concorrenti dal mercato e iii) realizzare maggiori profitti

- Il problema fondamentale è che le innovazioni possono essere imitate e l'impresa che ha sostenuto costi per l'innovazione può vedere eroso il suo vantaggio iniziale da parte di altre imprese in grado, attraverso l'imitazione, di produrre un bene simile ad un costo più basso.
- Come si risolve, dunque, il paradosso di Arrow secondo cui nessuno vorrà produrre innovazioni di processo o di prodotto se altri potranno imitarle?
- In pratica le imprese tendono a sfruttare gratuitamente o a un basso costo le conoscenze sviluppate da altre imprese.
- Tutto ciò perché la conoscenza o le idee godono di alcune proprietà che sono molto simili alle proprietà che caratterizzano i beni pubblici.

- Le caratteristiche fondamentali del capitale “conoscenza” sono infatti:
- **non rivalità.** Il bene conoscenza si produce nei settori di ricerca e sviluppo (*R&S*) e non ha le caratteristiche di un bene normale (privato). Un'idea o una scoperta è un bene **non rivale in quanto può essere utilizzato simultaneamente da più soggetti o imprese senza che ciò comporti riduzioni del godimento del bene da parte di alcuno.**
- Si ricordi che un bene non rivale ma escludibile (vedi dopo) assume la forma di un monopolio naturale (costo fisso elevato e le unità aggiuntive del bene hanno un costo marginale prossimo allo zero). Si pensi al design per produrre una nuova generazione di computer. Qualsiasi impresa in possesso del progetto può utilizzarlo simultaneamente ad altre imprese in tutto il mondo.

- **non escludibilità.** il bene conoscenza è anche “non escludibile”, ovvero non si può impedire ad alcune imprese di utilizzarlo. Questo vale soprattutto per la ricerca di base (si pensi alle scoperte scientifiche).
- Più precisamente il concetto di escludibilità ha a che fare con la capacità del suo possessore di chiedere un prezzo per il suo uso.
- Se oltre ad essere non rivale il progresso tecnico fosse anche non escludibile, assumerebbe tutte le caratteristiche di un bene pubblico e nessuno avrebbe interesse a produrlo. Si rende, pertanto, necessario rendere la conoscenza tecnologica o specifica (escludibile attraverso un sistema di brevetti) o di protezione della proprietà intellettuale (diritti d'autore).

- Si ricordi che i beni non rivali implicano un costo fisso  $F$  iniziale molto elevato e costi marginali molto bassi (la prima unità di un processore del computer è elevato, le altre unità sono ottenute semplicemente copiando il software della prima unità. Questo significa che l'economia è caratterizzata da rendimenti crescenti di scala (livelli di produttività crescenti con la scala di produzione)
- Con RCRS il costo medio è decrescente e superiore al costo marginale per cui si potrebbe incorrere in perdite economiche se si fissasse  $P=MC$
- Le imprese entreranno nel mercato solo se possono fissare un prezzo che permetta loro di recuperare il  $F$  e quindi di stabilire  $P>MC$
- La produzione di nuovi beni richiede pertanto l'allontanamento dal regime di concorrenza perfetta. L'inventore deve possedere un diritto di monopolio

# WIPO (World Intellectual Property Organization , Ginevra)

1. Usa
2. Giappone
3. Germania
4. Cina
5. Corea
6. Francia
7. Regno Unito
8. Olanda

Degno di menzione il dato Cinese, 7900 brevetti nel 2009, 12337 nel 2010

# Un semplice modello (R&S)

- Come abbiamo già accennato a questa classe di modelli appartiene il secondo modello di Romer (1990) che include nuove varietà di prodotti (progresso tecnico **di tipo orizzontale** il che significa che le innovazioni di processo o di prodotto si aggiungono alle innovazioni già esistenti)
- il modello di Aghion e Howitt (1992) ( progresso tecnico di **tipo verticale** che prevede beni di differente qualità il che significa che il processo innovativo produce nuovi beni che rimpiazzano quelli vecchi)
- una serie di modelli di Grossman & Helpman raccolti nel noto volume dei due autori (1991).

Questi modelli hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- la variabile che rappresenta lo stock di conoscenza è creata in uno specifico settore di R&S;
- l'attività delle imprese che operano nel settore è motivata dal profitto;
- il regime di mercato è di concorrenza imperfetta in quanto le innovazioni creano rendite monopolistiche.

- La differenza che può essere tracciata tra questi modelli riguarda:
- i diversi benefici che è possibile trarre dalla R&S: implementazione di processi che riducono i costi di produzione, miglioramenti nella qualità dei prodotti finali già esistenti, creazione di nuove varietà di prodotti e/o processi produttivi.
- Per comprendere gli elementi comuni dell'intera classe basta illustrare il modello di Romer essendo gli altri modelli degli affinamenti ulteriori che non modificano i risultati e le implicazioni fondamentali

# Adozione delle nuove tecnologie

- Atteso che le motivazioni che portano a innovare sono spinte dal profitto come avviene l'adozione delle nuove tecnologie da parte dei paesi arretrati?
- **Teoria accumulazionista** ( i paesi arretrati adottano gradualmente le innovazioni data l'insufficiente accumulazione di capitale fisico e umano
- **Teoria assimilazionista** ( l'adozione delle innovazioni sviluppate in ambienti sociali diversi non è un fatto acquisito, molte conoscenze possono essere difficilmente trasmissibili in ambienti culturali diversi

- La struttura decentralizzata dell'economia è formata da:
  1. Un settore R&D dove la conoscenza è creata,
  2. un settore dove si producono beni intermedi
  3. Un settore dove si producono beni finali.

Nel settore R&D, la produzione di nuove idee dipende dal capitale umano (che è in ammontare fisso ). Le imprese usano la conoscenza esistente e capitale umano per produrre nuova conoscenza (**PROGETTI**) che vendono al secondo settore

Nel settore dei beni intermedi le imprese usano le nuove idee del settore di R&D e capitale fisico per produrre nuovi beni capitali differenziati. La scelta di questo settore di comprare le nuove idee (design) dipende dal confronto tra costo marginale e la somma scontata dei profitti attesi. In questo settore le imprese acquistano brevetti (perpetui) venduti dal primo settore e questo permette loro di praticare un prezzo di monopolio.

Nell'ultimo settore quello dei beni ifinali le imprese usano beni intermedi e capitale umano per produrre un bene omogeneo (bene finale)

# La f p aggregata è

$$Y = K^\alpha (AH_Y)^{1-\alpha} \quad (1)$$

- Dato A , la fp esibisce RCS
- Se A può essere accumulato  $\rightarrow$  fp  $\rightarrow$ RCRS w.r ai 3 input  $\rightarrow f(x) > 2f(x)$
- Equazione di accumulazione del :

$$\dot{K} = s_K Y - dK$$

$$\frac{\dot{H}}{H} = n$$

$$H \text{ R.Capolupo\_Appunti}$$

- **SETTORE DELLA RICERCA**

- Nella sua forma più semplice, la produzione di nuove *idee* dipende dal capitale umano, dalla produttività del settore di R&S, secondo la seguente funzione di produzione

- 

$$\dot{A} = \bar{\delta} H_A$$

**Dove  $(\bar{\delta})$  è il tasso di scoperta di nuove idee.**

# Qual è l'implicazione di questa formulazione?

- La funzione di produzione del progresso tecnico dipende dal numero di scienziati e ricercatori impiegati nel settore della ricerca.
- Il primo passo da fare per verificare se al crescere del numero dei ricercatori impiegati cresce il tasso di progresso tecnico basta guardare i dati empirici.
- E' ciò che ha fatto Jones (2002). Ha infatti dimostrato che nei paesi più industrializzati (Usa, GB, Francia, Germania e Giappone) dal 1950 ad al 2000 il numero dei ricercatori nei settori di R&D è cresciuto enormemente (passati da 2500 a 2 .500.000) ma il tasso di progresso tecnico è stato all'incirca pari all'1,5%. Ciò significa che **lo sforzo di ricerca deve essere sempre maggiore per avere un tasso costante di progresso tecnico**
- Questo mostra una persistenza del tasso di crescita  $g_A$  e non una sua crescita nel corso degli stessi anni
- Sebbene questa sia una misura imperfetta dell'innovazione tecnologica i dati non mostrano nessun incremento nel tasso di crescita del progresso tecnico.

# Le critiche di Jones

- Un modo più realistico di modellare ( $\delta$  bar) è quello di assumere che le nuove idee possano essere una funzione crescente di A ovvero **dall'ammontare esistente di idee o conoscenza** (dipende positivamente dallo stato corrente di conoscenza)
- Oppure una funzione decrescente di A (il fatto che le idee siano già conosciute rende le scoperte di nuove idee più difficili)
- Per tener conto di questi fatti riformuliamo la tecnologia di scoperta di nuove idee

$$\overline{\delta} = \delta A^\phi$$

- $\phi < 0$  corrisponde al **fishing out effect** (una zona di pesca è detta fished out se tutti i pesci migliori sono già stati catturati, ovvero le innovazioni più importanti sono già state fatte ed è più difficile scoprire cose nuove )
- $\phi > 0$  corrisponde a the **standing on shoulders effect**
- $\phi = 0$  la produttività della ricerca è indipendente da A
- Esiste la possibilità di altri effetti negativi ( negative externalities) dovuti alla duplicazione dello sforzo di ricerca e si verifica quando troppe persone sono coinvolte nella scoperta della stessa innovazione. Un modo per modellare questo effetto è:

$$H_A^\lambda$$

# Riformulazione di Jones

Jones utilizza una forma più generale che contiene l'equazione originaria di Romer come caso speciale ( $\lambda = 1$  e  $\phi = 0$ ) IN CUI LA CRESCITA DELLA TECNOLOGIA NON DIPENDE SOLO DALLE RISORSE IMPIEGATE (input di capitale umano) ma anche dal livello di tecnologia già esistente:

$$\dot{A} = \bar{\delta} H_A^\lambda A^\phi$$

# Spiegazione dei parametri

- $\lambda$  è un parametro compreso tra zero e uno che riflette esternalità positive o negative associate con la ricerca ( $0 < \lambda < 1$ ). ( $\lambda < 1$  per esempio può indicare effetti di congestione o duplicazioni della ricerca quando troppi ricercatori sono impegnati in uno stesso progetto). Si verifica la corsa al brevetto e lo sforzo parallelo di altri ricercatori sulla stessa invenzione risulta essere uno spreco di risorse. Ne risulta che dalla R&D si possono avere rendimenti decrescenti (metodo bessemer per la produzione di acciaio).
- Il parametro  $\phi$  misura gli spillover della conoscenza (**standing on shoulders**):  $\phi > 0$  indica che la produttività della ricerca aumenta con lo stock di idee già esistenti, mentre  $\phi < 0$  corrisponde al caso di produttività della ricerca decrescente rispetto al livello già esistente. Con  $\phi = 0$  si vuole indicare che la ricerca è indipendente dallo stock di conoscenze già esistente. Noi assumeremo che  $\phi > 0$  (le scoperte di Newton sono state possibili grazie alle scoperte di Keplero). Newton affermò: se ho potuto vedere più in là degli altri è stato solo perché ho potuto appoggiarmi sulle spalle di titani.
- $\delta$  (barra) è la produttività media della ricerca dell'intera economia. Il ricercatore singolo considererà questo parametro come dato

- **SETTORE DEI BENI INTERMEDI**
- le imprese utilizzano la conoscenza offerta dal settore della ricerca e capitale fisico (beni intermedi) per produrre nuovi beni capitali .
- La scelta di questo settore di acquistare conoscenza ( progetti e design) sarà effettuata secondo le regole marginalistiche dei costi e dei ricavi attesi dal loro utilizzo.
- Il nuovo bene intermedio prodotto gode di protezioni legali perpetue che consentono alle imprese del settore di fissare prezzi di monopolio. Le imprese di questo settore venderanno **la varietà dei beni intermedi prodotti (innovazioni)** alle imprese che producono beni finali

- **SETTORE DEI BENI FINALI**
- le imprese utilizzano i vari beni intermedi e capitale umano per produrre un bene omogeneo (concorrenza nel settore dei beni finali)
- Il capitale fisico pertanto è formato da un continuum di differenti beni capitali  $x(i)$ :

$$K = \int_0^A x(i) di$$

- dove  $A$  è il numero totale di beni intermedi esistenti, e  $x(i)$  rappresenta la varietà dei beni intermedi. ( $x_1, x_2 \dots x_A$ ). E' importante notare che l'aumento dello stock di capitale avviene attraverso un aumento del numero dei beni intermedi (aumento di  $A$ ).
- La funzione di produzione per ciascuna impresa nel settore dei beni finali, tenendo conto della equazione precedente che rappresenta lo stock di capitale, è

$$y_i = H_y^{1-\alpha} \int_0^A x(i)^\alpha di$$

- dove  $H_Y$  è l'ammontare di capitale umano impiegato per produrre l'output finale. La funzione di produzione esibisce rendimenti costanti di scala per la singola impresa
- In equilibrio dove tutte le imprese producono lo stesso ammontare di beni intermedi ( ogni impresa aumenterà la produzione del bene intermedio fino a quando la sua produttività è maggiore di quella degli altri beni intermedi). Quindi in equilibrio le produttività dei diversi beni intermedi devono essere uguali

$$x(i) = \bar{x}$$

- Il valore di  $\bar{x}$  è determinato dalle condizioni usuali di costo marginale = ricavo marginale per ciascuna impresa . La funzione di produzione aggregata può essere scritta:

$$Y = A^{1-\alpha} H_Y^{1-\alpha} \bar{x}^\alpha$$

- In questa formulazione ( $\bar{x}$ ) non è un fattore di crescita ma una costante mentre il fattore di crescita è  $A$  che genera crescita endogena. Il progresso tecnico prende la forma della potenziale espansione del numero di varietà ( $A$ ) cioè della quantità di beni intermedi
- Infatti se riconosciamo che  $A$  non è dato ma è un fattore di produzione esso stesso che può essere accumulato ne discende che la funzione di produzione esibisce rendimenti crescenti di scala.
- $A$  è prodotto nel settore di R&S ed evolve secondo la specificazione già data.

- Con RCS si può assumere che le imprese fronteggiano libera concorrenza e normalizzando il prezzo dell'output  $Y=1$ , l'impresa tipica risolve il problema di max profitto:

$$\max_{H, x_j} H_Y^{1-\alpha} \int_0^A x_j^\alpha dj - wH_Y - \int_0^A p_j x_j^\alpha dj$$

- Dove  $p_j$  è il prezzo dei beni capitali ( $j$ ) e  $w$  è il salario. Dalle condizioni di primo ordine si ricava la domanda dell'impresa di ciascun bene intermedio  $x(i)$  e aggregando le varie domande delle imprese si ottiene quella complessiva

FOC

$$\text{PMH} = w \rightarrow (1-\alpha)Y/H_Y = w$$

$$p_j = \alpha H_Y^{1-\alpha} x_j^{\alpha-1}$$

- Questa seconda eguaglianza si applica a tutti i beni intermedi e dice che le imprese utilizzano beni capitali fino al punto in cui la  $MPX_j$  è uguale al prezzo  $p_j$

- Definiamo il valore presente della scoperta di un nuovo bene intermedio con  $V(t)$ . Ne risulta che se il costo di produrre il bene è un costo fisso pari al costo fisso della ricerca e sviluppo  $\eta$  in equilibrio dovremo avere  $V(t) = \eta$ . Per chiudere il modello occorre inserire la funzione di utilità (simile a quella già utilizzata). Il processo di massimizzazione dell'utilità porta a un tasso di crescita che è pari a:

$$\gamma = (1/\theta) \left[ (L/\eta) A^{1/1-\alpha} \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \alpha^{2/1-\alpha} - \rho \right]$$

# Crescita bilanciata

- Quale sarà il tasso di crescita lungo il sentiero di crescita bilanciata nel modello di Romer?
- Si può procedere sapendo che in steady state l'output, il capitale e il progresso tecnologico devono crescere allo stesso tasso, dovrà aversi

$$g_y = g_K = g_A$$

$$\dot{A} = \delta \bar{H} A^\lambda A^\phi$$

- Per trovare i tassi di crescita di output e capitale, quindi, basta trovare il tasso di crescita di A. Questo è facilmente ottenuto dall'equazione dinamica che descrive la produzione di conoscenza

in cui

$$\frac{\dot{A}}{A} = \delta \frac{H A^\lambda}{A^{1-\phi}}$$

è costante e determina la crescita di lungo periodo.

Naturalmente il tasso di crescita della conoscenza sarà costante se il numeratore e il denominatore cresceranno allo stesso tasso.

$$\frac{\dot{A}}{A} \equiv g_A$$

Prendendo i logaritmi e derivando rispetto al tempo l'equazione diventa:

$$0 = \lambda \frac{\dot{H}_A}{H_A} - (1 - \phi) \frac{\dot{A}}{A}$$

lungo il sentiero di crescita bilanciata il tasso di crescita della forza lavoro impegnata nel settore della R&S non può essere superiore al tasso di crescita della popolazione, per cui  $\frac{\dot{H}_A}{H_A} = n$  e sostituendo si ha:

$$g_A = \frac{\lambda n}{1 - \phi}$$

- si deduce che il tasso di crescita dell'economia dipende dai parametri tecnologici nel settore R&S e dal tasso di crescita del capitale umano nel settore della ricerca (pari al tasso di crescita della popolazione).
- Nel caso in cui  $\lambda = 1$  e  $\phi = 0$  la crescita dell'economia dipende solo dal parametro di produttività nel settore della R&D ossia  $\delta$

- In tal caso l'equazione che descrive l'accumulazione del capitale conoscenza ha la semplice forma lineare
- e il suo tasso di crescita e quindi l'accumulazione di A non dipende dallo stock di idee già esistenti
- e non vi sono esternalità negative dovute alla duplicazione della ricerca.

$$\dot{A} = \delta H_A$$

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\delta H_A}{A}$$

- La principale implicazione del modello è che un'economia con ampie dotazioni di capitale umano crescerà maggiormente di un'economia con più basso livello di capitale umano impiegato nel settore della produzione di conoscenza.
- In termini di prescrizioni di politica sussidi al settore della ricerca ( aumenti in  $\delta$ ) e all'istruzione ( aumento di H) determineranno un aumento del tasso di crescita.

- Da notare che a causa di spillover il tasso di crescita è inferiore a quello ottimale.
- Se infatti ci chiediamo se l'ammontare di capitale umano impiegato nel settore della ricerca è quello ottimale la risposta è negativa.
- L'introduzione di un settore specifico per la ricerca non è compatibile con l'equilibrio concorrenziale.
- Forme di mercato di concorrenza imperfetta nei settori dei beni intermedi e della ricerca permetterà alle imprese di stabilire prezzi superiori al costo marginale in modo tale che l'attività di ricerca possa essere remunerata e rappresentare l'incentivo a intraprendere tale attività (nella forma di brevetti).

# Il valore ottimale della produzione di conoscenza

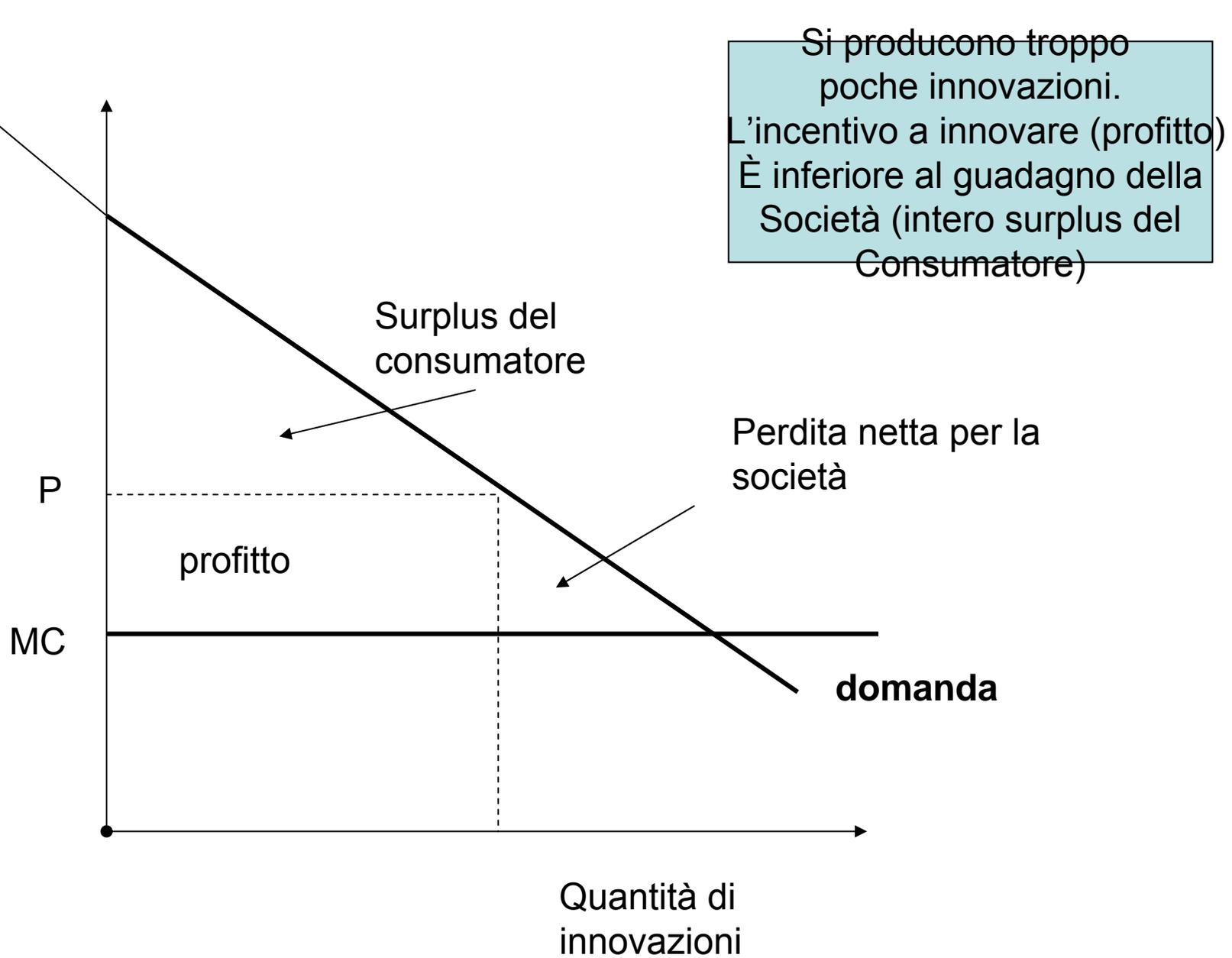
- In questo tipo di modelli la produzione di conoscenza può non essere al suo valore ottimale per 5 ordini di motivi legati alla presenza di altrettanti tipi di esternalità:
  1. The standing on shoulders effect
- La ricerca di oggi dipende dal suo valore passato e  $\delta$  è crescente in  $A$ . Si produrrà poca ricerca rispetto a quella ottimale in assenza di sussidi da parte del governo

## The fishing out effect

- Quando tutte le imprese intraprendono attività di ricerca per l'ottenimento di certe innovazioni si possono verificare esternalità negative dovute agli effetti di congestione. Quando tutti ricercano una stessa innovazione i costi possono essere relativamente alti rispetto ai benefici ricavabili dall'innovazione

- The stepping on toes effect
- È anch'essa una esternalità classica simile a quella precedente e si verifica quando gli agenti non essendo a conoscenza dei progetti di ricerca degli altri agenti intraprendono gli stessi progetti creando duplicazione della ricerca. In tal caso  $\delta$  è decrescente in  $A$  e si produce troppa ricerca

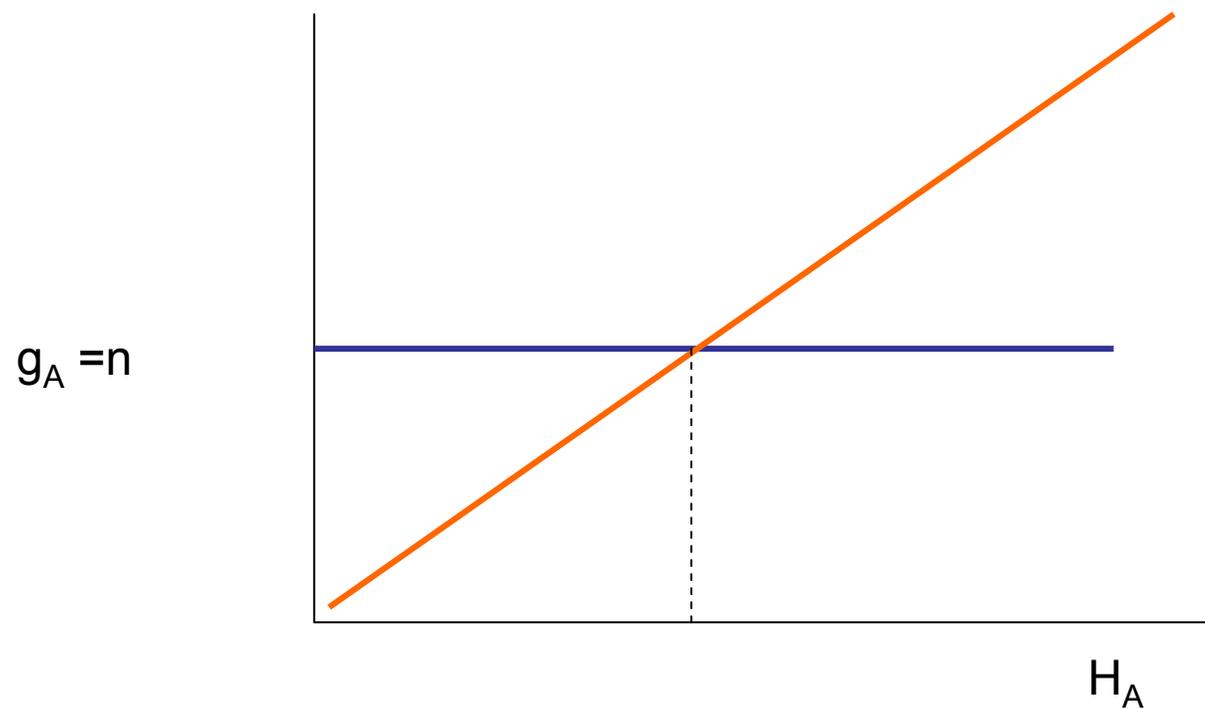
- The consumer surplus effect
- L'effetto è abbastanza noto: basti ricordare il guadagno per la società misurato, come avviene in una situazione di monopolio , dal surplus del consumatore e il guadagno del monopolista misurato invece dal surplus del produttore. Il primo è molto più elevato rispetto al secondo
- Questa distorsione tende a generare la produzione di troppo poche innovazioni



- The creative destruction effect
- Gli effetti di distruzione creativa di origine schumpeteriana sono noti sebbene siano stati recentemente riformulati. Quando si verificano cambiamenti tecnologici rilevanti accanto ai guadagni di produttività dovuti all'introduzione di nuove tecnologie occorre considerare le perdite considerevoli imposti dalla dismissione degli impianti già esistenti per obsolescenza tecnologica (modello di A-H)

# Stato stazionario

- Nell'ipotesi che  $\phi = 0$   
e  $\lambda = 1$  allora  $g_A = n$



$$\frac{\dot{A}}{A} = \delta H_A / A$$

- Nello stato stazionario il tasso di crescita del progresso tecnico deve essere uguale al tasso di crescita della popolazione
- Se siamo alla destra del punto di incontro tra  $\frac{\dot{A}}{A}$
- e  $n$  allora il tasso di progresso tecnico sta crescendo più della popolazione.
- Ne consegue che rapporto  $H_A / A$
- Diminuisce e questo induce una riduzione della crescita del progresso tecnico che si riporta al livello di stato stazionario in cui  $\frac{\dot{A}}{A} = n$

**Evidenza empirica:  
Paesi sulla frontiera tecnologica (brevetti registrati negli  
USA(2002))**

Paese	N. brevetti	Brevetti per milione di abitanti
Taiwan	6545	298.9
Giappone	34.891	274.7
Svezia	1935	217.4
Svizzera	1557	216.3
Israele	1031	161.1
Germania	11.895	144.5
Francia	4456	75.3
Singapore	304	74.1
Regno Unito	4356	74.1
Norvegia	283	62.9
Italia	1978	34.2