

# QUADERNI



Università degli Studi di Siena

**DIPARTIMENTO DI ECONOMIA POLITICA**

Roberto Esposti  
Pier Paolo Pierani

Investimento in ricerca e stock di capitale tecnologico  
Un'applicazione all'agricoltura italiana

n. 282 - Febbraio 2000

# Investimento in ricerca e stock di capitale tecnologico

## Un'applicazione all'agricoltura italiana

ROBERTO ESPOSTI

*Dipartimento di Economia – Università di Ancona*

PIERPAOLO PIERANI\*

*Dipartimento di Economia Politica – Università di Siena*

### ***Abstract***

*The paper focuses on the theoretical and empirical issues concerning the definition of the R&D stock. R&D stock is not technical change and therefore it should be considered only as a proxy of it. What enters the usual production function is rather the stock of technological knowledge. The search of a proper relation between R&D investments and this knowledge stock is the main purpose of the paper. According to the different typologies of research projects, we model a stochastic gestation lag of the research investment and a geometric depreciation of the knowledge stock. The approach is applied to public R&D expenditure in Italian agriculture (J.E.L.: Q16)*

***Keywords:*** *Knowledge Stock, Technical Change, Research and Development*

---

\* Il lavoro è responsabilità comune dei due autori; per quanto riguarda il testo, R. Esposti ha svolto i paragrafi 1, 3, e 5 e P. Pierani i paragrafi 2, 4 e 6. Desideriamo ringraziare Pier Luigi Rizzi per le osservazioni ad una precedente stesura. Naturalmente la responsabilità di quanto scritto resta nostra.

## ***1. Introduzione***

Negli ultimi decenni, la letteratura sulla produttività totale dei fattori (TFP) e sul progresso tecnico si è soffermata prevalentemente su tre evidenze empiriche, così solide da assurgere a “fatti stilizzati”. Tali fatti sono: il rallentamento della crescita della TFP rispetto agli anni '50 e '60 (il cosiddetto *productivity slowdown*), l'andamento pro-ciclico della stessa e, infine, l'elevato rendimento degli investimenti in Ricerca e Sviluppo (R&S). Relativamente a quest'ultimo aspetto, peraltro, ciò che più colpisce è l'enorme variabilità delle stime (Hall, 1996).

L'andamento ciclico della TFP, da un lato, ne segnala la forte dipendenza da shock di breve periodo sia da domanda sia da offerta (Basu, 1996), dall'altro, ne indebolisce la valenza come *proxy* del progresso tecnologico. Di fatto, il *productivity slowdown* è di difficile interpretazione: esso potrebbe essere il frutto di una reale difficoltà delle economie avanzate di generare ulteriore crescita tecnologica, ovvero dipendere da altri fenomeni reali ma congiunturali e ciclici, oppure, infine, rappresentare solo l'effetto cumulato di errori di misura (Griliches, 1994; Sichel, 1997).

Questa difficoltà di interpretare la variazione della TFP come misura reale del progresso tecnico spinge verso l'impiego di indicatori alternativi e l'elaborazione di un modello che li colleghi alla stessa TFP. La variabile cruciale in questo senso è proprio la spesa in R&S. Tuttavia, gli alti rendimenti riportati in letteratura suggeriscono un livello di investimenti del tutto insufficiente, oppure, più probabilmente, considerata l'enorme variabilità, un trattamento non appropriato della variabile R&S che solleva seri dubbi sulla qualità delle stime. L'uso di questo indicatore del progresso tecnico rischia dunque di non dare alcun contributo aggiuntivo di conoscenza, rispetto a quanto già non ci dica la tradizionale TFP.

Obiettivo del presente lavoro è proprio quello di analizzare alcuni dei principali problemi che s'incontrano nell'uso della variabile R&S nelle indagini empiriche. A tal fine, si utilizza uno schema che consente sia di valutare il contributo dell'investimento in ricerca alla crescita della produttività totale, sia di far vedere come il metodo di costruzione dello stock di conoscenza influenzi il suo stesso rendimento. Lo studio riguarda l'investimento pubblico in ricerca e sviluppo nell'agricoltura italiana nel periodo 1970-96.

Il resto dell'articolo è organizzato come segue. Il paragrafo 2 richiama un quadro teorico largamente adottato che riconduce il trattamento della R&S alla costruzione di uno stock di capitale. Nel paragrafo 3 si rileva come tale capitale possieda alcune caratteristiche che rendono inapplicabili le procedure standard adottate per la definizione degli stock fisici. Nel paragrafo 4

si cerca di far fronte alle peculiarità di questo stock, il cui livello, peraltro, dipenderà dalle ipotesi sulla natura della ricerca: teorica o di base, applicata, di sviluppo o di divulgazione e delle diverse combinazioni tra queste. Nel paragrafo 5 si cerca di misurare, secondo le diverse ipotesi, l'impatto sulla produttività agricola italiana. Un breve riepilogo dei risultati e alcune considerazioni di sintesi chiudono il lavoro.

## ***2. La tecnologia e le sue proxy***

Un punto di partenza condiviso è che l'investimento in ricerca non rappresenta il progresso tecnico quanto piuttosto l'insieme delle risorse spese per ottenerlo. Rappresenta, in altre parole, l'input di un processo il cui risultato ultimo sarà nuova conoscenza tecnologica. La figura 1 sintetizza questo aspetto (Pakes e Griliches, 1994). La variabile di interesse è la variazione di conoscenza tecnologica ( $\dot{T}$ )<sup>1</sup> che, tuttavia, non è direttamente osservabile. Sappiamo solo che questa grandezza si pone all'incrocio di due processi: un processo di generazione dell'innovazione e l'attività produttiva vera e propria. Di questi possiamo osservare: l'input del primo processo, in pratica l'investimento in ricerca ( $\dot{R}$ ), l'output del secondo processo ( $\dot{TFP}$ ) e una misura dei risultati del primo processo, cioè le innovazioni che sono ufficialmente registrate o dichiarate; tipicamente i brevetti ma, in agricoltura, anche le nuove varietà vegetali ( $\dot{P}$ ).

Sarebbe riduttivo interpretare quest'insieme di relazioni in maniera deterministica<sup>2</sup>. Di fatto, è impossibile prefigurare con certezza l'esito dello sforzo in ricerca, né è chiara la bontà di  $\dot{P}$  nel misurare la nuova conoscenza. Per esempio, non tutte le innovazioni sono brevettate o brevettabili e, soprattutto, non esistono standard qualitativi e/o quantitativi su cui basarsi per misurare il contenuto di nuova conoscenza dei brevetti. A sua volta, l'innovazione genera variazioni di TFP che dipendono anche da numerosi altri shock, solo alcuni noti e misurabili (Esposti, 2000).

Uno degli aspetti più rilevanti, sul quale non ci soffermiamo per motivi di spazio, riguarda appunto il cosiddetto problema della simultaneità (Pardey e Craig, 1989; Makki *et al.*, 1999)<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Il punto sulla generica variabile indica la derivata rispetto al tempo.

<sup>2</sup> I termini  $v$ ,  $\varepsilon$ ,  $u$  della figura sono, infatti, termini di errori stocastici.

<sup>3</sup> I risultati di questi lavori non sono univoci; mentre sembra statisticamente appurato che vi sia un nesso causale che va dalla spesa in ricerca al livello di produzione, più controversa risulta l'esistenza di una causazione inversa.

L'investimento in R&S, cioè, potrebbe non essere esogeno, ma legato all'output prodotto in termini di nuova conoscenza. A sua volta, la registrazione brevettuale o varietale condiziona l'attività di ricerca. Le imprese, in particolare, investiranno in ricerca sulla base delle condizioni di difesa della proprietà intellettuale; potranno altresì evitare di registrare l'innovazione per mantenere il segreto industriale. Le due grandezze possono essere dunque in relazione funzionale. In tal senso, la figura 1 rappresenta una forma ridotta; essa evidenzia cioè solo le relazioni tra le grandezze osservabili e quelle non osservabile, mentre trascura l'insieme dei legami incrociati e di feed-back (le linee tratteggiate). Tuttavia, nell'agricoltura italiana questo problema non sembra essere così decisivo. Almeno in prima approssimazione, la ricerca pubblica si può ritenere svincolata rispetto al suo impatto quantitativo sulla produzione e, di norma, non guidata da aspettative riguardanti la difesa della proprietà intellettuale o del segreto industriale.

Per capire se questo semplice schema sia un utile strumento d'analisi, si traduca la figura 1 in termini di relazioni funzionali:

$$(1) \quad \dot{T} = \dot{R} + u$$

$$(2) \quad \dot{P} = a\dot{T} + v = a\dot{R} + au + v$$

$$(3) \quad TFP = b\dot{T} + \varepsilon = b\dot{R} + bu + \varepsilon$$

Tutte e tre le variabili osservabili sono delle *proxy* della grandezza che vogliamo misurare e la loro bontà dipenderà dall'entità relativa degli errori. Rispetto al caso dell'innovazione agricola da ricerca pubblica, è evidente che  $\dot{P}$  non è un buon indicatore (ammesso che sia disponibile). E' noto, infatti, che in agricoltura molte innovazioni non sono brevettabili né brevettate e ciò a maggior ragione nel caso della ricerca pubblica che si concentra di norma proprio nei settori con esiti non brevettabili. Inoltre, il valore degli eventuali brevetti agricoli varierà secondo il tipo dell'innovazione e nel tempo. Quindi, si può concludere che l'errore  $v$  tende ad essere maggiore di  $u$ .

Si tratta dunque di scegliere tra  $R$  e  $TFP$  sulla base dei termini  $\varepsilon$  ed  $u$ . D'altro canto, non è sempre utile mettere in diretta relazione le due variabili osservabili  $\dot{R}$  e  $\dot{TFP}$ <sup>4</sup>. Infatti,  $var(bu + \varepsilon)$

---

<sup>4</sup> E' questa la soluzione adottata dai cosiddetti modelli a due stadi (Fernandez-Cornejo e Shumway, 1997).

$> \text{var}(\varepsilon)^5$  e quindi, da un punto di vista statistico, le due rischiano di essere poco correlate. Esse sono in relazione dal punto di vista funzionale, ma solo attraverso la variabile non osservabile. Al fine, quindi, di poter sfruttare opportunamente le informazioni provenienti da entrambe, è necessario adottare opportune tecniche econometriche che ricorrono al concetto di variabile latente (Esposti e Pierani, 1996); alternativamente, ed è questo l'obiettivo del lavoro, ridurre la  $\text{var}(bu + \varepsilon)$  agendo sui due termini di errore, quindi raffinando la relazione tra le due variabili osservate e la variabile non osservabile.

Le ragioni che depongono a favore della R&S come *proxy* del progresso tecnico sono diverse. In primo luogo, vi è un interesse specifico nel considerare la variabile che causa la crescita piuttosto che quella che ne è l'effetto, potendo, tra l'altro, valutarne il rendimento e ricavarne indicazioni per politiche settoriali. Inoltre, vi è la convinzione di poter meglio controllare gli elementi stocastici ( $u$ ) relativi alla R&S rispetto a quelli ( $\varepsilon$ ) relativi alla TFP. Appare, infatti, assai arduo definire gli elementi congiunturali e ciclici che intervengono sulla TFP e non sono rilevanti in termini tecnologici (Basu, 1996). Al contrario, si può ragionevolmente pensare di minimizzare  $u$ , rappresentando adeguatamente il processo di generazione della tecnologia; ipoteticamente, ciò elimina il termine di errore nella (1) e riduce quello della (3).

### 2.1. R&S e funzione di produzione

Il problema è affrontato mediante il concetto di funzione di produzione della tecnologia che si affianca alla tradizionale funzione di produzione neoclassica. Si consideri il caso di un settore produttivo e lo si rappresenti con la funzione di produzione:

$$(4) \quad Y = F(L, K, T, \varepsilon)$$

ove  $L$  e  $K$  sono lavoro e capitale, e  $T$  indica l'input tecnologico ottenuto tramite la cosiddetta funzione di produzione della conoscenza:

$$(5) \quad T = G(W(B)R, u)$$

ove  $W(B)R$  è una generica funzione degli investimenti in R&S e  $B$  l'operatore dei ritardi. Per semplicità, si assume che entrambe le funzioni appartengano al tipo Cobb-Douglas. Quindi:

$$(6) \quad Y = L^\alpha K^{1-\alpha} T^\gamma e^{\lambda t + \varepsilon}$$

$$(7) \quad T = [W(B)R]^\eta e^{\mu t + u}$$

---

<sup>5</sup> Ciò è vero se si assume indipendenza statistica degli errori.

Il trend temporale  $t$  dovrebbe catturare la componente esogena, non altrimenti spiegata, mentre i termini  $\varepsilon$  e  $u$  costituiscono la parte stocastica, transitoria e casuale. Combinando le due relazioni si ottiene:

$$(8) \quad Y = L^\alpha K^{1-\alpha} [W(B)R]^{\eta\gamma} e^{(\lambda+\mu\gamma)t+\varepsilon+u\gamma}$$

È possibile calcolare un indice di produttività totale dei fattori come:

$$(9) \quad TFP = \frac{Y}{L^\alpha K^{1-\alpha}} = [W(B)R]^{\eta\gamma} e^{(\lambda+\mu\gamma)t+\varepsilon+u\gamma}$$

che in termini di tasso di variazione diventa:

$$(10) \quad \frac{\dot{TFP}}{TFP} = (\lambda + \mu\gamma) + \eta\gamma \left[ \frac{\dot{W(B)R}}{W(B)R} \right] + (\varepsilon + u\gamma)$$

Quest'ultima espressione esplicita il senso della generica (3) e, mettendo in relazione due variabili osservabili, consente di calcolare il tasso di rendimento dell'investimento in R&S. Da un punto di vista empirico, il problema maggiore è rappresentato dalla specificazione di  $W(B)R$ , cioè come passare dalla spesa in R&S allo stock di conoscenza minimizzando l'errore  $u$ .

### 3. I caratteri dello stock di conoscenza

In letteratura è prevalsa l'idea di considerare l'investimento in ricerca come un qualsiasi investimento e lo stock di conoscenza analogamente ad uno stock di capitale fisico. La rappresentazione della  $W(B)R_t$  si basa sul metodo dell'inventario perpetuo che determina lo stock al tempo  $t$  come somma degli investimenti passati, misurati in unità di efficienza:

$$(11) \quad W(B)R_t = (\omega_0 + \omega_1 B + \omega_2 B^2 + \dots + \omega_s B^s + \dots) R_t = \omega_0 R_t + \omega_1 R_{t-1} + \omega_2 R_{t-2} + \dots + \omega_s R_{t-s} + \dots$$

dove  $t$  è l'anno corrente e  $s$  l'età dell'investimento. Il sistema dei pesi  $W(B)$  misura come varia l'efficienza relativa in funzione dell'età. Per convenzione, l'efficienza del nuovo è massima ( $\omega_0=1$ ), mentre un'unità di capitale d'annata  $t-s$  produce una quantità di servizi pari a  $\omega_s$  unità di capitale nuovo dello stesso tipo. Su questa base, l'aggregato  $W(B)R_t$  è una stima dello stock produttivo di conoscenza al tempo  $t$ , poiché rappresenta l'ammontare di investimento nuovo in ricerca che sarebbe necessario per ottenere un servizio pari a quello fornito dai capitali di vecchie annate ancora operativi.

Nella prassi, la specificazione della (11) è guidata più da esigenze empiriche che da questioni teoriche; questo fatto, secondo Alston *et al.* (1998a, 1998b), è la causa principale dell'enorme variabilità dei rendimenti stimati. Al fine di ottenere risultati plausibili, è necessario affrontare almeno tre ordini di problemi: la natura dello stock di conoscenza, la linearità di  $W(B)$ , il rischio dell'attività di ricerca.

Nel caso di capitale fisico, l'entità dello stock dipende sostanzialmente dal tasso di decadimento dell'investimento dall'inizio della sua vita di servizio. Esistono due ragioni per il decadimento. La prima è l'usura, cioè l'azione del tempo, anche atmosferico nel caso dell'agricoltura, sullo stato del capitale. Macchine, fabbricati e infrastrutture sono sottoposte ad un deterioramento e ad un degrado che li rendono sempre meno efficienti. La seconda è l'obsolescenza, cioè l'effetto del minor grado di utilizzazione. Anche quando il capitale non deperisce fisicamente, il suo impiego può ridursi perché sempre meno utile<sup>6</sup>. Ciò avviene perché è soppiantato da altre tecniche oppure da capitale di nuova generazione.

Fino a che punto tali concetti sono applicabili allo stock di capitale tecnologico? Questo non ha natura fisica, l'idea del decadimento è dunque difficile da mantenere. Se davvero tale capitale si logorasse, in mancanza di nuovi investimenti in R&S, secondo la (6), la (7) e la (11), prima o poi la stessa produzione cesserebbe. Il punto cruciale è che la conoscenza acquisita, se intesa come immateriale, non può scomparire. Certo, può essere sostituita da altra più recente e, dunque, divenire obsoleta. Allorché nuove conoscenze si rendono disponibili il grado di utilizzazione capitale tecnologico preesistente decresce. Nuovi investimenti in R&S ne sostituiscono altri precedenti. Può altresì accadere che, anche in assenza di nuova R&S, la vecchia conoscenza perda di utilità in quanto sono cambiate le condizioni esterne; anche in questo caso, si può affermare che diviene obsoleta, ma certo non si può sostenere che essa scompare<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Non ci si sofferma, qui, sulla importante distinzione tra utilità privata e sociale del capitale, distinzione assai rilevante nel caso della conoscenza tecnologica (Griliches, 1998; cap. 12). Poiché si considera lo stock di conoscenza agricola in Italia, si ritiene plausibile affrontare il problema prevalentemente in termini di utilità sociale.

<sup>7</sup> L'agricoltura è certo un esempio fertile in questo senso. Si può certo dire che la conoscenza scientifico-tecnologica rispetto alle razze bovine tradizionali e locali sia divenuta obsoleta in seguito all'introduzione delle razze geneticamente modificate. Ma queste, a loro volta, sono il frutto di altra conoscenza che ha soppiantato la precedente. Analogamente, la conoscenza scientifico-tecnologica relativa a vitigni e processi di vinificazione non DOC perde di valore allorché i consumatori mostrano un minore gradimento per tali prodotti; ciò non significa, però, che essa venga interamente perduta.

Ne consegue che la (11) dovrebbe essere specificata in modo tale che gli effetti dell'investimento in R&S siano decrescenti ma abbiano potenzialmente una durata infinita. In questo modo, si ammette che l'investimento in R&S abbia in parte anche natura di investimento lordo, perché soppianta precedente ricerca, ma comunque si impedisce che la conoscenza tecnologica scompaia.

Empiricamente, solo se l'efficienza diminuisce ad un tasso costante l'inventario perpetuo richiede un minimo di informazioni: una stima iniziale dello stock di conoscenza e gli investimenti nuovi e permette allo stock di non azzerarsi mai<sup>8</sup>. La relazione di riferimento è la seguente (Park, 1995):

$$(12) \quad T_t = T_{t-1}(1-\delta) + R_t$$

dove  $T$  è la stima dello stock di conoscenza,  $R$  l'investimento lordo a prezzi costanti,  $\delta$  il tasso di decadimento. Il valore iniziale dello stock si può ricavare dalla (12) per sostituzione successiva a ritroso:

$$(13) \quad T_t = R_t + (1-\delta)R_{t-1} + (1-\delta)^2R_{t-2} + \dots + (1-\delta)^sR_{t-s} = \omega_0R_t + \omega_1R_{t-1} + \omega_2R_{t-2} + \dots + \omega_sR_{t-s} + \dots$$

dove  $\omega_s = (1-\delta)^s$ . Se indichiamo con  $g$  il tasso di variazione della spesa,  $(1+g) = R_t/R_{t-1}$ , che per semplicità assumiamo costante, dopo alcuni semplici passaggi è possibile riscrivere la precedente espressione come:

$$(14) \quad T_t = R_t(1+g)/(g+\delta)$$

che sarà  $>0$  se lo sono  $(1+g)$  e  $(g+\delta)$ . In questo caso, una stima dello stock iniziale<sup>9</sup> si ottiene dalla (14), ponendo  $t=0$ .

Pur ammettendo che l'inventario perpetuo possa rappresentare un valido metodo per il calcolo dello stock di conoscenza, non vi sono particolari ragioni per ritenere che la relazione tra  $T$  e  $R$  sia di tipo lineare. Al contrario, possono essere avanzate alcune motivazioni per ritenerla non lineare.

Da un lato, lo stock di conoscenza preesistente può avere un effetto negativo sulla ricerca attuale in quanto, riducendosi le opportunità tecnologiche, risulta sempre più difficile la scoperta o l'invenzione di nuove soluzioni. Si tratta, cioè, dell'ipotesi di rendimenti decrescenti della

---

<sup>8</sup> In tutti gli altri casi, il metodo richiede serie storiche degli investimenti di tutte le età da combinare con il sistema dei pesi che si ricava dalla funzione età/efficienza. Su questo punto si tornerà nel paragrafo 4.

<sup>9</sup> Rimane il problema di definire correttamente  $\delta$ ; nel caso del capitale fisico il suo valore dipende da considerazioni tecniche sul tipo di capitale; la natura immateriale dello stock di conoscenza rende la questione più articolata (si veda il paragrafo 5).

R&S nella generazione di conoscenza tecnologica (Evenson, 1984; Jones, 1995)<sup>10</sup>. Verosimile è, però, anche l'ipotesi che la ricerca passata possa rappresentare, a livello di settore, uno stimolo per quella in essere, rendendola più efficace. Si tratta del cosiddetto *spillover* tecnologico, in questo caso intertemporale. La possibile non-linearità, quindi, ha a che fare con la fondamentale questione di come la ricerca produca nuova conoscenza nel tempo.

Per tentare di rappresentare questo aspetto si potrebbe formulare una relazione del tipo<sup>11</sup>:

$$(15) \quad \dot{T}_t = f(R_t, T_t) = R_t T_t^\phi$$

ove  $\phi$  indica se prevalgono rendimenti decrescenti ( $\phi < 0$ ) o *spillover* intertemporale ( $\phi > 0$ ). In realtà, il significato di tale parametro è più ampio e comprende anche i fenomeni di decadimento sopra richiamati<sup>12</sup>. Ad esempio, l'inventario perpetuo, assumendo  $\dot{T}_t = R_t - \delta T_{t-1}$ , almeno implicitamente introduce rendimenti decrescenti della R&S ( $\phi < 0$ ) sotto forma di maggiori investimenti lordi necessari per avere lo stesso investimento netto<sup>13</sup>.

Molto meno affrontato è l'aspetto riguardante il rischio intrinseco all'attività di R&S, l'incertezza, nei tempi e negli esiti, che si interpone tra la spesa e il suo contributo allo stock. Pur considerando progetti omogenei, di base o applicati, teorici o empirici, lo sforzo, e quindi il costo dell'investimento non si traduce automaticamente in stock di conoscenza, poiché, per definizione, i risultati della ricerca possono essere più o meno felici e utili. Tale aspetto è comunemente colto dal termine  $u$  della (5) e della (8).

Più nel dettaglio, si può affermare che parte dell'incertezza non riguarda tanto l'esito quanto la sua scansione temporale. Ciò che è incerto, insomma, è soprattutto il momento in cui le innovazioni si rendono disponibili. Il problema è di norma affrontato ipotizzando *ex-ante* un profilo temporale degli esiti della R&S. Questo andamento prevede un *periodo di gestazione* in

<sup>10</sup> Tali rendimenti non vanno confusi con quelli della R&S rispetto alla produttività secondo la (10) e di cui si parlerà nel resto del lavoro. E' evidente, peraltro, che i due sono in relazione in quanto rendimenti decrescenti della R&S nel generare stock inducono anche rendimenti decrescenti della R&S nell'aumentare TFP.

<sup>11</sup> Tale fenomeno è rappresentato nella figura 1 dalla linea doppia di feed-back.

<sup>12</sup> Non a caso alcuni autori scelgono una rappresentazione che combina la (12) e la (15) (Griliches, 1998; cap. 12)

<sup>13</sup> Non si tratta di una soluzione pienamente soddisfacente giacché non è in grado di catturare eventuali fenomeni di rendimenti crescenti da *spillover* intertemporale; peraltro, è altresì vero che la (15) prevede solo investimenti netti, quindi crescita del capitale tecnologico, mentre l'inventario perpetuo ammette investimenti lordi e, quindi, anche declino; in questo senso sembra in grado di cogliere meglio i possibili andamenti dello stesso. Non si vuole qui approfondire ulteriormente tale aspetto, non essendo lo scopo del lavoro. Si vuole solo evidenziare da un lato come la costruzione dello stock mediante l'inventario perpetuo non colga tutte le possibili interrelazioni tra T ed R; dall'altro che, in questa ottica, la scelta di maggiori tassi di decadimento corrisponde implicitamente all'introduzione di maggiori rendimenti decrescenti della R&S.

cui l'investimento o non produce alcun effetto o ha un effetto inizialmente scarso ma crescente fino ad un massimo, raggiunto il quale inizia a diminuire (struttura a V rovesciata), oppure rimane costante per alcuni anni per poi declinare (struttura trapezoidale). Anche se sono possibili forme più complesse (Alston et al., 1998a e 1998b), l'idea di fondo rimane quella di una distribuzione temporale predeterminata, valida per categorie omogenee di investimento in R&S.

Questa strategia risponde all'esigenza di rappresentare adeguatamente la formazione dello stock T, ma non affronta l'aspetto dell'aleatorietà. Se è vero che dal momento in cui diviene operativo, l'investimento segue la logica dell'inventario perpetuo, è anche vero che questo momento non si può conoscere con certezza. In alcuni casi, inoltre, la ricerca può fallire e non uscire mai dal periodo di gestazione. Questo aspetto specifico della R&S ovviamente incide in modo rilevante nel calcolo dello stock.

#### ***4. Dalla spesa in R&S allo stock di conoscenza***

##### *4.1. Il calcolo dello stock produttivo di conoscenza*

Come descritto, la vita utile di un investimento in ricerca si può pensare suddivisa in due fasi. La prima riguarda il periodo necessario perché s'inizi a ottenere qualche risultato e si pongano le basi per la produzione di nuova conoscenza. Tale processo non sarà istantaneo né se ne conosce a priori la durata; in questo lavoro assumiamo che la fase di gestazione si distribuisca come una variabile casuale normale con i momenti primo e secondo prefissati. Dopo un certo numero di anni, la R&S produce il massimo dei possibili effetti e questi divengono capitale di conoscenza tecnologica. Si tratta della vita di servizio, il periodo in cui l'innovazione entra nel contesto produttivo generando effetti virtuosi (crescita della TFP); tale impatto è declinante ma di durata infinita (figura 2).

Come accennato, il metodo dell'inventario perpetuo cerca di inferire il livello dello stock di capitale dalla storia degli investimenti pregressi misurati in unità di efficienza:

$$(16) \quad T_t = \omega_0 R_t + \omega_1 R_{t-1} + \omega_2 R_{t-2} + \dots + \omega_s R_{t-s} + \dots$$

Il sistema dei pesi indica come varia l'efficienza relativa in funzione dell'età. Per definire la struttura dei pesi abbiamo seguito il metodo che consiste nel definire la funzione di efficienza di tutti i capitali di un determinato tipo e dello stesso *vintage* (Harper, 1982). La struttura dei pesi è stata modificata per tenere conto delle due fasi nel modo seguente:

$$\omega_s = 0, \quad s = 0$$

$$(17) \quad \omega_s = [(1-\beta)s]/[G - \beta s], \quad 0 < s < G$$

$$\omega_s = 1, \quad s = G$$

$$\omega_s = (1-\delta)^{s-G}, \quad s > G$$

ove  $s$  è l'età dell'investimento,  $G$  è la durata della gestazione e  $\beta$  il parametro di forma che controlla come varia l'efficienza al variare dell'età durante la gestazione, cioè per  $s < G$  (figura 3). Il valore  $\beta=0$  descrive l'andamento lineare, pari ad una crescita costante  $1/G$ . Con  $\beta < 0$ , la curva è concava: l'efficienza cresce a tassi decrescenti e il fenomeno risulta tanto più accentuato quanto più  $\beta$  è negativo. Infine, con  $0 < \beta < 1$  la curva diventa convessa; in questo caso, gran parte dell'efficienza si realizza verso la fine del periodo di gestazione e ciò sarà tanto più vero quanto più  $\beta$  è vicino ad 1. Per  $\beta = 1$ , si ottiene l'andamento *a scalino*, per modo che durante tutto il periodo di gestazione l'efficienza è nulla. In ogni caso, secondo la (17),  $\omega_G = 1$  e da  $G$  in poi lo stock declina ad un tasso costante.

A questo punto, la pratica corrente è quella di fissare una gestazione media per ogni tipo di ricerca e calcolare con la (17) il sistema dei pesi. Ciò implica che gli investimenti di un determinato tipo e messi in opera nella stessa data ( $t-s+1$ ) entrano in servizio tutti insieme a efficienza piena dopo  $G$  anni. Oltre a quanto accennato, l'idea di un periodo di gestazione predeterminato è contraddetta da almeno altri due fatti. Da un lato, le classificazioni disponibili degli investimenti contengono voci di spesa largamente eterogenee; dall'altro lato, anche due ricerche simili possono avere una scansione temporale molto diversa. Per questo si ipotizza una durata stocastica della gestazione e ciò comporta la necessità di costruire la funzione aggregata età/efficienza.

Se si assume che la durata  $G$  della gestazione si distribuisca come un v.c. normale con media  $\mu$  e deviazione standard  $\sigma$ , allora:

$$(18) \quad P(G) = (2\pi\sigma^2)^{-0.5} \exp[-(G-\mu)^2/2\sigma^2]$$

fornisce, per ogni  $G$ , un valore non nullo della funzione di densità e per ogni intorno di  $G$  una probabilità diversa da zero di quell'evento.

Il problema con questo approccio è che le code della distribuzione si estendono all'infinito. Nella prassi, si trascurano questi casi estremi e si considerano solo periodi di gestazione compresi entro un intervallo ragionevole, simmetrico rispetto alla media e di ampiezza data. In questo modo, l'investimento non potrà avere effetto per  $s < 0$  né il periodo di gestazione potrà

estendersi indefinitamente. Sarà, inoltre, possibile un periodo iniziale minimo, detto *periodo di latenza*, in cui non si avrà alcun effetto ed una scadenza oltre la quale la ricerca stessa sarà dichiarata fallita ed abbandonata. Operativamente, bisogna determinare l'ampiezza di questo intervallo  $\Delta$ , troncare la distribuzione in corrispondenza degli estremi  $\mu \pm \Delta$ , infine riportare all'unità l'area residua.

Questo aggiustamento può essere fatto in due modi: troncando verticalmente le code della distribuzione, oppure traslando orizzontalmente verso l'alto l'asse delle ascisse (Caiumi *et al.*, 1995). Nel caso più semplice di troncamento verticale, la v.c. normale aggiustata diventa:

$$(19) \quad P(G) = \frac{\exp\left[-(G-\mu)^2/2\sigma^2\right]}{\sigma \int_{\frac{\mu-\Delta}{\sigma}}^{\frac{\mu+\Delta}{\sigma}} \exp\left[-Z^2/2\right] dZ}$$

ove  $Z$  è la normale standardizzata. Con  $P(G)$  si calcola la probabilità che la gestazione termini in un intorno di  $G$ , una volta fissati il periodo medio  $\mu$ , la deviazione standard  $\sigma$  e l'intervallo  $\Delta$ .

La funzione età/efficienza, durante il periodo di gestazione, è costruita come somma ponderata delle funzioni elementari (con lo stesso valore di  $\beta$ ) associate a tutti gli eventi compresi nell'intervallo prefissato. Si può immaginare la procedura d'aggregazione come una somma delle funzioni elementari, in cui il peso di ciascuna è la probabilità calcolata dalla normale troncata. Formalmente:

$$(17a) \quad \omega(s/\beta, \Delta, \mu, \sigma) = \int_{\mu-\Delta}^{\mu+\Delta} \omega(s/\beta, G) P(G/\Delta, \mu, \sigma) dG,$$

$$\omega(s/\beta, G) = 0 \quad \text{per } s \geq G \quad \text{e} \quad G = \mu + \Delta$$

ove  $\omega(\cdot)$  è la funzione di età/efficienza elementare (con parametri  $\beta$  e  $G$ ) descritta nella (17) e  $P(\cdot)$  la funzione di densità generatrice dei pesi. La seconda relazione della (17a) esprime il fallimento del programma di ricerca allorché la gestazione supera la durata massima. Dato che l'integrale non ha soluzione analitica, in quanto la funzione integranda non è continua per ogni età, è stato approssimato numericamente con il metodo di Simpson (Johnson e Rees, 1982).

Va notato che la (17a) implica che per ogni anno l'efficienza è la somma dei pesi di quell'anno relativi ad ogni evento probabilistico ponderato dalla probabilità che accada; peraltro, vi è un solo anno in cui, per ogni possibile evento, il massimo effetto (efficienza =1) viene raggiunto e

questo anno è evidentemente diverso per ogni evento. A parte il caso deterministico, quindi, la funzione età/efficienza non raggiunge mai l'unità. Ciò che la (17a) definisce, peraltro, è l'impatto dell'investimento in R&S nel corso del tempo a partire dal momento in cui viene realizzato, non tanto il declinare della sua efficienza rispetto alla condizione iniziale, cioè il capitale da nuovo, come normalmente si intende nel caso del capitale fisico (Caiumi *et al.*, 1995). Per tale ragione, è più appropriato definire la (17a) *funzione età/efficacia* dell'investimento in R&S.

#### 4.2. Costo d'uso del capitale

L'analisi condotta finora non esaurisce il problema della corretta misurazione del capitale tecnologico. Infatti, ciò che costituisce input della funzione di produzione non è lo stock di capitale produttivo quanto i servizi associati ad esso (Jorgenson, 1989). Nella (6), cioè, l'input non dovrebbe essere lo stock di capitale tecnologico quanto il valore del servizio da esso fornito; questo è sua volta dato dallo stock di capitale per il suo prezzo. Per questo tipo particolare di capitale il concetto di prezzo è tutt'altro che scontato; esso dovrebbe indicare il costo da pagare per l'uso del capitale per un certo periodo. Tuttavia, in questo caso non ha alcun senso riferirsi ad un inesistente mercato dell'usato; il capitale tecnologico a differenza di buona parte del capitale fisico non è scambiabile.

A ben vedere, però, anche questo tipo di capitale ha un prezzo implicito che consiste nell'attualizzazione di tutti i servizi futuri che da esso possono essere ricavati. Tale costo d'uso è determinato da tre componenti (Caiumi *et al.*, 1995): il costo opportunità della moneta investita, i guadagni o perdite di capitale dovute all'inflazione, il deprezzamento del capitale. Jorgenson (1989) propone questa specificazione del costo d'uso:

$$(20) \quad U_t = P_{t-1}[i_t - \pi_t + (1 + \pi_t)\rho_t]$$

ove  $P$  è il prezzo dell'investimento,  $i$  un tasso d'interesse,  $\pi$  il tasso atteso di guadagno (o perdita) di capitale e  $\rho$  il tasso di deprezzamento. In questa relazione,  $P_{t-1}(i_t - \pi_t)$  rappresenta il costo opportunità reale per unità di capitale investito, mentre  $P_{t-1}(1 + \pi_t)\rho_t$  misura il deprezzamento corretto per l'inflazione.

Per definire il tasso di deprezzamento è necessario conoscere il valore deprezzato dello stock al tempo  $t$ , dato da:

$$(21) \quad TW_t = \theta_0 R_t + \theta_1 R_{t-1} + \dots + \theta_s R_{t-s}$$

ove  $\theta_s$  è il valore di un'unità di capitale di età  $s$  rispetto al suo prezzo da nuovo. Seguendo Harper (1982), il valore di  $\theta_s$  è stato calcolato con la seguente formula:

$$(22) \quad \theta_s = \frac{\sum_{h=s} \omega_h [1-r]^{(h-s)}}{\sum_{h=0} \omega_h [1-r]^h}, \quad s \geq 0$$

ove  $r$  è il tasso reale di sconto (posto uguale a 0.04) e  $\omega_s$  è la funzione età/efficacia della coorte.

Infine, l'ammortamento economico  $D_t$  è calcolato come differenza tra investimento lordo e variazione del valore deprezzato dello stock:

$$(23) \quad D_t = R_t - (TW_t - TW_{t-1})$$

e, di conseguenza, il deprezzamento risulta:

$$(24) \quad \rho_t = D_t / T_{t-1}$$

E' dunque possibile, date le serie storiche di stock e costo d'uso del capitale di conoscenza tecnologica, definire il valore dei servizi:

$$(25) \quad V_t = U_t \cdot T_t$$

## ***5. Il rendimento della ricerca nell'agricoltura italiana***

### *5.1. Ricerca di base, applicata e sviluppo*

I valori di  $\beta$ ,  $\Delta$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  e  $\delta$  dipendono dalle caratteristiche "tecniche", in senso lato, dell'investimento in R&S. A tal fine è rilevante riuscire a definire i seguenti aspetti:

- l'aleatorietà del programma di ricerca;
- il carattere innovativo della ricerca;
- il funzionamento istituzionale del settore della ricerca;
- la potenziale fertilità della ricerca.

$\sigma$  definisce l'incertezza riguardante il periodo di gestazione e, in parte, il rischio di fallimento del progetto. Il carattere innovativo determina la durata media di gestazione  $\mu$ , nel senso che quanto più il programma è di frontiera e originale, tanto più difficile sarà attingere a conoscenze già disponibili; la necessità di un maggior periodo di indagine e sperimentazione, inciderà anche su  $\Delta$ . Il funzionamento istituzionale fa riferimento al titolare del programma ed ai meccanismi con cui esso viene compensato in seguito all'ottenimento di risultati. La ricerca pubblica tende a concentrarsi su programmi più rischiosi anche perché può permettersi di attendere gli esiti per

più lungo tempo. La ricerca privata, invece, prevede l'ottenimento dei risultati entro determinate scadenze e potrà abbandonare il progetto se esso non rispetta tali date. L'esistenza di forti forme di difesa dei diritti di proprietà intellettuale, inoltre, a sua volta, spingerà verso la scelta di programmi che possano produrre risultati in tempi relativamente brevi, condizionando di nuovo  $\sigma$ ,  $\Delta$  e  $\mu$ . Infine, per fertilità s'intende la capacità della ricerca di dare risultati più duraturi, quindi di divenire obsoleta più lentamente; il riferimento immediato è al parametro  $\delta$ .

Questi aspetti sono tipicamente riassunti nella tradizionale distinzione tra:

- Ricerca di base (prevalentemente pubblica)
- Ricerca applicata (sia pubblica sia privata)
- Sviluppo (prevalentemente privata)

Questa tassonomia nel caso del settore agricolo mantiene un suo interesse, sebbene in Italia tutte le tre forme tendano a confondersi nel pubblico. Sulla base di precedenti lavori, abbiamo scelto i valori della gestazione media  $\mu$  (Namatame, 1989) e del tasso di decadimento geometrico  $\delta$ <sup>14</sup> (Japan Economic Institute, 1996) per ciascun tipo di investimento. La scelta dei rimanenti parametri è guidata dalle esigenze pratiche sopra richiamate. Per quanto riguarda la dispersione, abbiamo optato per distribuzioni relativamente piatte; ricordando che il rischio è tanto più elevato quanto più la ricerca è teorica, originale e di frontiera, si è espresso  $\sigma$  in funzione di  $\mu$ . Analogamente, si esprime  $\Delta$  in funzione di  $\sigma$ , per modo che il periodo di latenza ed il limite del fallimento vengono a dipendere dal tipo di ricerca. Infine, per quanto riguarda  $\beta$  si assume che la curva età/efficacia durante la gestazione si avvicini tanto più all'andamento a scalino quanto più la ricerca è di base. Sulla scorta di queste considerazioni siamo giunti alla seguente specificazione:

R&S	$\beta$	$\delta$	$\mu$	$\sigma$	$\Delta$	$\mu-\Delta$	$\mu+\Delta$
Ricerca di base	0.98	0.10	7	$0.5\mu$	$2\sigma$	0	14
Ricerca applicata	0.95	0.20	6	$0.4\mu$	$2\sigma$	1.2	10.8
Sviluppo	0.90	0.25	4	$0.3\mu$	$2\sigma$	1.6	6.4

<sup>14</sup> In questo caso si sceglie di assumere *ex-ante*, sulla scorta dei dati riportati in letteratura, un tasso di deprezzamento costante. E' possibile, tuttavia, stimare tale parametro insieme agli altri parametri della tecnologia di breve periodo (Nadiri e Prucha, 1993).

Ad esempio, nel caso della ricerca applicata, l'intervallo di gestazione si può estendere da poco più di un anno a circa undici anni (circa il 95% dell'area sotto la normale).

Le funzioni età/efficacia ed età/prezzo, calcolate sulla base di questi parametri, sono riportate in tabella 1 e nelle figure 4 e 5. Si noti come la struttura dei pesi sia molto differente per tipo di ricerca, pur rimanendo il profilo quello tipico di una *V* rovesciata. L'età in cui si registra il massimo rendimento è di 5 anni nel caso dello sviluppo, 8 nella ricerca applicata e 11 in quella di base. Dopo il ventesimo anno, l'effetto di ricerca applicata e sviluppo risulta praticamente annullato mentre è ancora ben presente per la ricerca di base. Infine, è interessante notare come l'andamento del prezzo colga un aspetto cruciale del metodo cioè la gradualità con cui emergono risultati della ricerca. Infatti, ha per definizione valore unitario al momento dell'investimento ma non è questo il prezzo massimo, come di norma accade per il capitale fisico, poiché raggiunge il suo più alto valore dopo alcuni anni, quando cioè è massimo il valore dei benefici futuri attualizzati. Ciò accade perché i benefici nei primi anni sono molto scarsi, per poi crescere rapidamente nel periodo intermedio e tornare ad essere ridotti nella fase finale della vita dello stock. Per questa stessa ragione, peraltro, il prezzo si riduce drasticamente prima dello stock. Si noti che, come anticipato, la funzione età/efficacia non raggiunge mai l'unità per effetto della durata stocastica del periodo di gestazione. Infatti, quanto più si riduce tale aleatorietà, tanto più sarà relativamente certo il momento della massima efficacia e, quindi, tanto più il rispettivo peso risulterà vicino all'unità; è questo il caso dell'investimento in Sviluppo.

Si vuole ora mostrare l'applicazione di tale schema analitico alla R&S nell'agricoltura italiana.

### *5.2. Il caso dell'agricoltura italiana*

A differenza di altre agricolture (Chavas et al., 1997), non esiste in Italia una ricerca agricola privata significativa<sup>15</sup>. Quindi, si considera solo l'investimento pubblico per la ricerca in agricoltura. I dati sono di fonte INEA e CNR o direttamente provenienti dai bilanci ministeriali (MAF e Ministero per la Ricerca Scientifica) o di altri enti pubblici coinvolti. Si tratta della spesa del Ministero dell'Agricoltura e Foreste, degli istituti ed enti pubblici coinvolti nella ricerca agricola e delle università impegnate in ricerca agricola (in particolare Facoltà di Agraria e Medicina Veterinaria).

Accanto a questi dati sulla R&S, vengono anche considerati quelli relativi alla spesa in assistenza tecnica e divulgazione, per le quali si sono considerate le spese sia del Ministero sia degli enti locali competenti. Le voci di spesa sono espresse in miliardi di lire a prezzi 1985 e sono disponibili a partire dal 1956<sup>16</sup>. Poiché per la ricerca di base è prevista una durata massima della gestazione di 14 anni, la costruzione dello stock è definita a partire dal 1970.

La figura 6 riporta, per le tre categorie (ricerca di base, applicata o sviluppo), una stima dello stock di conoscenza ottenuto sommando con i pesi della funzione età/efficacia le annate di investimenti a prezzi costanti. In questo modo si può apprezzare come il metodo diversifichi significativamente lo stock in relazione alla categoria di spesa. Una seconda applicazione, invece, consiste nel considerare l'investimento pubblico come misto. Parte è sviluppo; a questa è assegnata la spesa in assistenza tecnica e divulgazione. Parte è invece ricerca di base; questa è assegnata alla quota di R&S svolta dalle università. Un'altra quota è, infine, ricerca applicata che è assegnata alla R&S pubblica svolta dagli enti non universitari. Il risultato è riportato in figura 7.

Ciò che si vuole porre in evidenza è il ruolo delle differenti ipotesi sulla natura della ricerca. A parità di investimento lordo (figura 6), l'ipotesi ricerca di base genera uno stock maggiore, soprattutto negli ultimi anni, rispetto alle altre due ipotesi, tra loro molto simili. Considerando, invece, investimenti lordi misti (figura 7), si nota che lo stock in sviluppo è predominante fino agli anni '90, da quel momento in poi diventa prevalente lo stock in ricerca di base. Lo stock in sviluppo, peraltro, rimane costante a partire dalla seconda metà degli anni '80 al punto da venire praticamente uguagliato dallo stock in ricerca di base nel 1996. Oltre a questi aspetti quantitativi, va ricordato come le diverse ipotesi condizionino anche la valutazione dell'impatto produttivo.

Si consideri, al proposito la (10). In essa, come puntualizzato, la variazione della TFP non dipende tanto dallo stock quanto dal suo valore d'uso. E' stato calcolato, perciò, il valore dei servizi del capitale di conoscenza secondo la (25), sotto le diverse ipotesi di categorie di spesa in R&S, adottando i valori di tasso di interesse e di tasso di guadagno (o perdita) di capitale riportati nella banca dati AGRIFIT (Caiumi et al., 1995). Causa la disponibilità di dati, la stima riguarda l'intervallo 1970-91.

---

<sup>15</sup> Si esclude, in questo caso, lo *spillover* tecnologico proveniente dai settori produttori di input per l'agricoltura.

<sup>16</sup> Per una più dettagliata descrizione dei dati relativi a R&S si veda Esposti (1998); inoltre, per una descrizione minuziosa delle diverse fonti di spesa pubblica per la ricerca agricola italiana si veda Galante e Sala (1989).

La tabella 2 riporta i risultati ottenuti stimando la (10)<sup>17</sup> sotto le varie ipotesi<sup>18</sup>: tutta ricerca di base, o applicata o sviluppo oppure ricerca mista. La prima colonna riporta il coefficiente relativo all'impatto dello stock sulla produttività totale dei fattori, la seconda altro non è che l'intercetta, ovvero la componente esogena del progresso tecnico (data dal trend temporale). Il tasso di rendimento interno marginale (TRI) è calcolato interpretando la variazione della TFP in termini di riduzione del costo per effetto del progresso tecnico (Esposti e Pierani, 2000)<sup>19</sup>.

Si noti come il coefficiente relativo allo stock di R&S sia sempre positivo anche se non sempre significativo; lo è solo nel caso in cui si assuma tutta la ricerca come spesa di sviluppo oppure nel caso misto. Da un punto di vista statistico, quindi, vi è uno scarso supporto a considerare tutta la ricerca nell'agricoltura italiana come ricerca di base od applicata; il valore degli  $R^2$  conferma tale interpretazione. Detto altrimenti, l'investimento in ricerca sembra orientato prevalentemente verso orizzonti di breve periodo ma anche minore incertezza.

Peraltro, era da attendersi che lo stock cosiddetto misto fosse quello capace di produrre risultati più robusti proprio perché costruito cercando di individuare gli investimenti in ricerca diretti alle tre diverse attività. Il dato è confermato anche dalla quota di progresso tecnico (la cui media annua è dello 1.8%) spiegato dalla componente esogena; questa è relativamente ridotta (42%), e comunque inferiore agli altri casi. Lo stock di R&S, cioè la componente endogena, riesce quindi a spiegare una parte rilevante della variazione della produttività dei fattori nell'agricoltura nazionale.

Infine, il calcolo del TRI suggerisce alcune riflessioni. Esso oscilla ampiamente (dal 13% al 42%) e, nel caso misto, come detto il più plausibile, si ha un rendimento del 26%. Ciò conferma

---

<sup>17</sup> La (10) è ricavata dall'ipotesi di funzioni Cobb-Douglas per la (4) e la (5). Tale ipotesi è arbitraria e, come noto, fortemente restrittiva. Potrebbe, quindi, generare errori dovuti a scorretta specificazione e sarebbe preferibile ricorrere a forme funzionali flessibili. Tuttavia, lo scopo della stima della (10) è qui puramente esemplificativo, volendo mostrare come diverse ipotesi sulla specificazione dello stock possano condizionare i risultati. Altro problema spesso riportato in letteratura nella stima di relazioni tra TFP e indicatori tecnologici, è il problema della non-stazionarietà delle serie che potrebbero originare regressioni spurie (Makki *et al.*, 1999). Tuttavia, il problema non sembra porsi nel caso della (10) dal momento che la relazione è espressa nei tassi di variazione invece che nei livelli.

<sup>18</sup> La misura della TFP per la stima della (10) è ricavata da Esposti (1998).

<sup>19</sup> La formula è:  $\sum_{j=0}^L (\eta\gamma) C_{t-j} / T_{t-L} (1 + TRI)^j = 1$ , ove  $C$  esprime il costo totale e  $L$  è il ritardo massimo con cui l'investimento in ricerca è efficace. Per il calcolo, si sono considerate le medie geometriche del costo totale dei fattori nell'agricoltura italiana riportato in AGRIFIT e dello stock di conoscenza. Nonostante la procedura di attualizzazione non sia univoca e possa quindi condizionare la stima del rendimento (Davis, 1981), si ricorre a questo criterio di valutazione degli investimenti in quanto, essendo quello prevalente, permette un confronto con altri studi.

come le ipotesi sul tipo di ricerca incidano notevolmente sui rendimenti. La valutazione *ex-post* della spesa in R&S, se condotta su queste basi, quindi, non può prescindere da un'appropriata definizione dello stock di conoscenza.

Si noti, inoltre, che i valori ottenuti sono inferiori o in linea con i risultati riportati in letteratura (tabella 3). A conferma del fatto che, pur rimanendo i nostri rendimenti elevati, una maggiore attenzione nella costruzione dello stock, che tenga cioè conto della incertezza e della possibilità di fallimento, consente di ottenere un TRI più contenuto e quindi più plausibile. Infine va notato che la stima del TRI dipende da due fattori: dal coefficiente stimato per l'impatto della R&S sulla TFP e dalla dimensione dello stock; entrambi dipendono dalle ipotesi sulla natura della ricerca. Sulla base dei nostri risultati, una ricerca di più breve durata ma anche meno rischiosa, incrementa il TRI; ciò non significa, evidentemente, che lo Sviluppo ha rendimenti più alti, quanto piuttosto che le assunzioni sottostanti la costruzione dello stock con quelle caratteristiche tendono ad incrementare il TRI.

## **6. Conclusioni**

In questo lavoro si è voluto affrontare il tema della costruzione dello stock di R&S a partire dagli investimenti lordi e si è applicata l'analisi al caso dell'agricoltura italiana. Si tratta di un argomento molto dibattuto nella letteratura economico-agraria recente. Da un lato, infatti, la spesa in R&S costituisce una *proxy* importante del reale progresso tecnico settoriale; d'altro canto, le rilevanti risorse pubbliche destinate alla ricerca agricola rendono necessaria una corretta misurazione del loro impatto nel contesto produttivo.

Al fine di costruire adeguatamente questo stock, tuttavia, è necessario individuarne le peculiarità principali che lo rendono sostanzialmente differente rispetto al capitale fisico. Si è perciò proposto un impianto analitico che, in relazione ad alcuni parametri di riferimento, tiene conto di tale specificità ed in particolare dell'incertezza che caratterizza i progetti di ricerca, della possibilità di fallimento, del particolare significato del deprezzamento nel caso della conoscenza. Inoltre, tali specificità differiscono nel caso si parli di ricerca di base, applicata o di sviluppo.

Il caso italiano mostra come le diverse ipotesi nella definizione dello stock incidano significativamente sul suo rendimento, facendo sembrare appropriata l'idea di una ricerca più spostata verso lo sviluppo che non verso un'attività di base o applicata., Considerando la

composizione mista della ricerca pubblica agricola in Italia, emerge, comunque, la capacità del metodo di spiegare una parte rilevante della variazione di produttività per un rendimento intorno al 26%.

Al di là di tali risultati, però, il lavoro suggerisce un quadro analitico che può consentire una ulteriore analisi empirica dell'impatto e del rendimento della R&S secondo due distinti, e per certi versi opposti, punti di vista. In primo luogo, è possibile ricostruire la serie degli impatti dell'investimento in R&S nel corso del tempo, definendo la tipologia dello stesso e quindi assumendo la natura dei parametri che condizionano il calcolo dello stock. Questo è l'approccio che si è voluto seguire nell'indagine empirica presentata e che ha mostrato la necessità, da un lato, di una più accurata raccolta dei dati sulla spesa in R&S che meglio consenta di definirne le caratteristiche ai fini del calcolo dello stock, e dall'altro, di un approfondimento di ricerca sugli aspetti economici che intervengono nel definire caratteristiche e valori dei parametri stessi.

Alternativamente, però, è possibile impiegare l'analisi proposta con lo scopo di stimare i parametri suddetti che quindi consentono di indagare, piuttosto che assumere, le caratteristiche dell'investimento stesso; infatti, come si è cercato di mostrare, a tali parametri può essere attribuito un preciso significato economico. In questo caso, si deve disporre della serie degli effetti dell'investimento nel tempo. Si tratta di una prospettiva di ricerca al momento assai problematica. In primo luogo, è arduo disporre della serie degli impatti della spesa in R&S; la loro stima econometrica richiederebbe serie storiche molto lunghe, di certo non disponibili benché esse possano essere ottenute mediante procedure non parametriche (Chavas *et al.*, 1997). In secondo luogo, risalire da tali serie ai parametri di interesse, appare difficilmente trattabile mediante la strumentazione econometrica disponibile. In ogni caso, si tratta di una prospettiva di ricerca verso cui cercare di muovere i primi passi.

## Bibliografia

- Annunziato, P., Ganoulis, I. (1998): Stock e costo del capitale con misure di deprezzamento non geometrico. *Rivista di Politica Economica*, anno LXXXVIII, serie III, fascicolo I, 31-68.
- Alston, J.M., Craig, B. e Pardey, P. (1998): *Dynamics in the creation and depreciation of knowledge and the returns to research*. EPTD Discussion Paper n. 35, IFPRI, Washington D.C.
- Alston, J.M., Marra, M.C., Pardey, P.G. e Wyatt, T.J. (1998): *Research returns redux: A meta-analysis of the returns to agricultural R&D*. EPTD Discussion Paper n. 38, IFPRI, Washington D.C.
- Ball, V.E., Bureau, J.C., Butault, J.P. e H.P. Witzke (1993): The Stock of Capital in European Community Agriculture. *European Review of Agricultural Economics*, 20, 437-50.
- Basu, S. (1996): Procyclical Productivity: Increasing Returns or Cyclical Utilization? *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 111, 719-751.
- Caiumi, A., Pierani, P., Rizzi, P.L. e Rossi, N. (1995): *AGRIFIT: una banca dati del settore agricolo (1951-1991)*. Milano: Franco Angeli.
- Chavas, J.P., Aliber, M. e Cox T.L. (1997): An Analysis of the Source and Nature of Technical Change: the Case of U.S. Agriculture. *Review of Economics and Statistics* 79(3): 482-492.
- Davis, J. (1981): A Comparison of Procedures for Estimating Returns to Research Using Production Functions. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 25, 60-72.
- Esposti, R. (1998): *Progresso tecnico e crescita. Il caso dell'agricoltura italiana*. Tesi di Dottorato, Università di Trento.
- Esposti, R. (2000): Stochastic technical change and procyclical TFP: the Italian agriculture case. *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 14, n. 2 (prossima pubblicazione).
- Esposti, R. e Pierani, P. (1996): Misura del progresso tecnico nell'agricoltura italiana: un approccio mediante variabile latente. *Rivista di Economia Agraria*, 51, n. 4, pp. 499-527.
- Esposti, R. e Pierani, P. (2000): Investimento in R&D e produttività nell'agricoltura italiana (1963-91): un approccio econometrico mediante una funzione di costo variabile. In *L'agricoltura italiana alle soglie del XXI secolo*, Atti del XXXV Convegno SIDEA, Palermo 10-12/09/'98 (prossima pubblicazione).
- Evenson, R.E. (1984): International invention: implications for technology market analysis. In Griliches, Z. (a cura di): *R&D, patents and productivity*, pp. 89-123. Chicago: University of Chicago Press.
- Evenson, R.E. e Westphal, L.E. (1995): Technology change and technology strategy. In Behrman, J., Srinivasan, T.N. (a cura di): *Handbook of development economics*. Vol. III, Elsevier Science, Amsterdam.
- Fernandez-Cornejo, J. e Shumway, C.R. (1997): Research and productivity in Mexican agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 79, 738-753.
- Griliches, Z. (1994): Productivity, R&D and the Data Constraint. *American Economic Review*, Marzo, 1-23.
- Griliches, Z. (1998): *R&D and Productivity. The Econometric Evidence*. Chicago University Press, Chicago.
- Hall, B.H. (1996): The private and social returns to research and development. In Smith, B. e Barfield, C. (a cura di): *Technology, R&D and the Economy*, 140-62. Washington, D.C.: Brookings Institution and AEI.

- Hall, B.H. e Mairesse, J. (1995): Exploring the Relationship between R&D and Productivity in French Manufacturing Firms. *Journal of Econometrics*, 65 (1), 263-93.
- Harper, M.J. (1982): *The Measurement of Productive Capital Stock, Capital Wealth, and Capital Services*. W.P. 128. Washington, D.C.: U.S. Department of Labor.
- Japan Economic Institute (1986): *Economic Analysis of R&D and Technological Innovation*. Research Report n. 103.
- Jones, C.I. (1995): R&D-based models of economic growth. *Journal of Political Economy*, 103 (4), 759-84.
- Johnson, L.W. e Rees, R.D. (1982): *Numerical Analysis*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- Jorgenson, D.W. (1989): Capital as a Factor of Production. In Jorgenson D.W. e Landau, R. (a cura di): *Technology and Capital Formation*. Cambridge Mass.: The MIT Press, pp. 1-35.
- Makki, S.S., Tweeten, L.G. e Thraen, C.S. (1999): Investing in Research and Education versus Commodity Programs: Implications for Agricultural Productivity. *Journal of Productivity Analysis*, 12, 77-94.
- Nadiri, M.I. e Prucha, I.R. (1993): *Estimation of the depreciation rate of physical and R&D capital in the U.S. total manufacturing sector*. NBER WP 4591. Washington D.C.
- Namatame, A. (1989): Dynamic Comparison of R&D Innovation Process Structures. *Technology Management*, Vol. 1. IV, n. 3.
- Pakes, A. e Griliches, Z. (1994): Patents and R&D at the firm level: a first look. In Griliches, Z. (a cura di): *R&D, patents and productivity*. Chicago: University of Chicago Press, pp. 55-72.
- Pardey, P.G. e Craig, B. (1989): Causal Relationships between Public Sector Agricultural Research Expenditures and Output. *American Journal of Agricultural Economics*, 71, 9-19.
- Park, W.G. (1995): International R&D Spillovers and OECD Economic Growth. *Economic Inquiry*, 33, 571-591.
- Sichel, D.E. (1997): The Productivity Slowdown: Is a Growing Unmesaurable Sector the Culprit? *Review of Economics and Statistics*, 367-70.
- Verughese, J., Sharma, S.C. e Grabowski, R. (1997): Capital Stock Estimates for Major Sector Sectors and Disaggregated Manufacturing in Selected OECD Countries. *Applied Economics*, 29, 563-79.

Tabella 1: Funzione età/efficacia ( $\omega_s$ ) ed età/prezzo ( $\theta_s$ ) del capitale R&S

ETÀ'	RICERCA DI BASE		RICERCA APPLICATA		SVILUPPO	
	Stock ( $\omega_s$ x100)	Prezzo ( $\theta_s$ x100)	Stock ( $\omega_s$ x100)	Prezzo ( $\theta_s$ x100)	Stock ( $\omega_s$ x100)	Prezzo ( $\theta_s$ x100)
0	0,50	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1	4,38	104,07	1,89	104,17	3,62	104,17
2	7,38	107,61	8,72	107,97	13,19	107,36
3	15,39	110,74	15,02	110,00	47,31	107,64
4	20,36	112,54	30,00	110,34	63,02	97,08
5	32,27	113,51	37,85	106,45	75,05	81,08
6	37,82	112,33	53,08	100,18	55,58	60,60
7	49,89	110,10	54,41	89,34	41,68	45,45
8	53,31	105,56	57,80	77,66	31,26	34,09
9	60,83	100,20	51,25	64,55	23,45	25,56
10	60,46	93,25	45,21	52,74	17,59	19,17
11	61,82	86,08	36,01	42,15	13,19	14,38
12	58,37	78,36	28,80	33,72	9,89	10,78
13	55,48	70,95	23,04	26,97	7,42	8,09
14	49,84	63,75	18,43	21,58	5,56	6,07
15	44,86	57,29	14,75	17,26	4,17	4,55
16	40,37	51,48	11,80	13,81	3,13	3,41
17	36,33	46,24	9,44	11,04	2,35	2,56
18	32,70	41,52	7,55	8,83	1,76	1,92
19	29,43	37,26	6,04	7,07	1,32	1,44
20	26,49	33,43	4,83	5,65	0,99	1,08
21	23,84	29,98	3,87	4,52	0,74	0,81
22	21,45	26,87	3,09	3,61	0,56	0,61
23	19,31	24,07	2,47	2,89	0,42	0,46
24	17,38	21,54	1,98	2,31	0,31	0,34
25	15,64	19,26	1,58	1,85	0,23	0,26
26	14,08	17,20	1,27	1,48	0,18	0,19
27	12,67	15,34	1,01	1,18	0,13	0,14
28	11,40	13,66	0,81	0,94	0,10	0,11
29	10,26	12,15	0,65	0,75	0,07	0,08
30	9,24	10,77	0,52	0,60	0,06	0,06
31	8,31	9,53	0,42	0,48	0,04	0,05
32	7,48	8,41	0,33	0,38	0,03	0,03
33	6,73	7,39	0,27	0,30	0,02	0,03
34	6,06	6,47	0,21	0,24	0,02	0,02
35	5,45	5,63	0,17	0,19	0,01	0,01
36	4,91	4,87	0,14	0,15	0,01	0,01
37	4,42	4,17	0,11	0,12	0,01	0,01
38	3,98	3,54	0,09	0,09	0,01	0,01
39	3,58	2,96	0,07	0,07	0,00	0,00
40	3,22	2,43	0,06	0,05	0,00	0,00
41	2,90	1,94	0,04	0,04	0,00	0,00
42	2,61	1,49	0,04	0,03	0,00	0,00
43	2,35	1,08	0,03	0,02	0,00	0,00
44	2,11	0,69	0,02	0,01	0,00	0,00

Tabella 2: Stime dei parametri della (10) sotto diverse ipotesi (e.s. in parentesi)

Tipologia	$\eta\gamma$	$(\lambda + \mu\gamma)$	$R^2$	TRI	Quota P.T. esogeno*
Base	0,050 (0,061)	0,012 (0,011)	0,04	20%	69%
Applicata	0,030 (0,067)	0,013 (0,012)	0,02	13%	78%
Sviluppo	0,100 (0,039)	0,010 (0,009)	0,26	42%	58%
Mista	0,117 (0,051)	0,008 (0,009)	0,22	26%	42%

\* % della TFP spiegata dalla componente esogena del progresso tecnico nel punto medio

Tabella 3: Tasso di rendimento interno medio della R&S agricola secondo alcune recenti rassegne

RASSEGNA	TRI
Evenson e Westphal (1995): media nei paesi sviluppati, R&S pubblica	48 %
Evenson e Westphal (1995): media nei paesi in via di sviluppo, R&S pubblica	80 %
Alston et al. (1998): media di 50 studi, R&S pubblica e privata	74%

Figura 1: Relazione tra indicatori tecnologici e progresso tecnico non osservabile

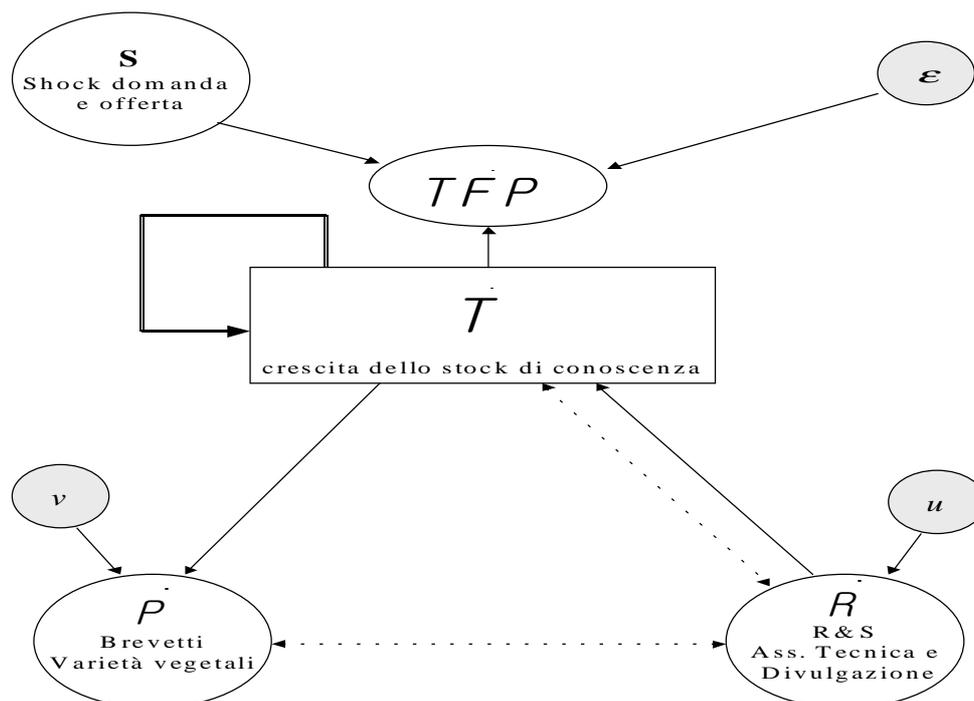


Figura 2: Durata stocastica della gestazione ed efficienza relativa dell'investimento in R&S

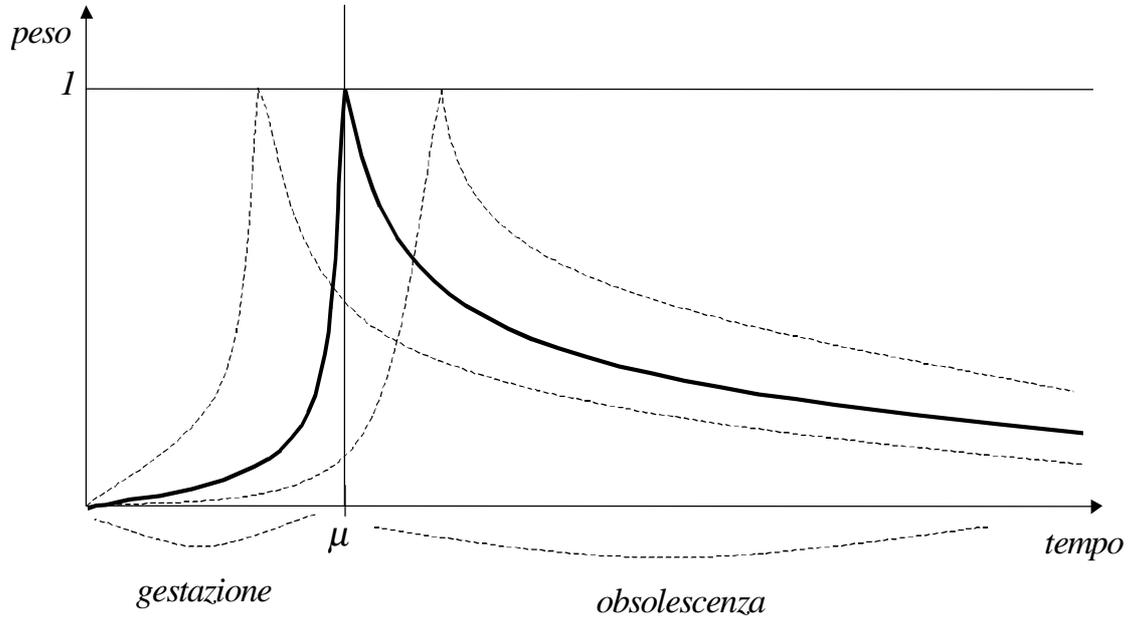
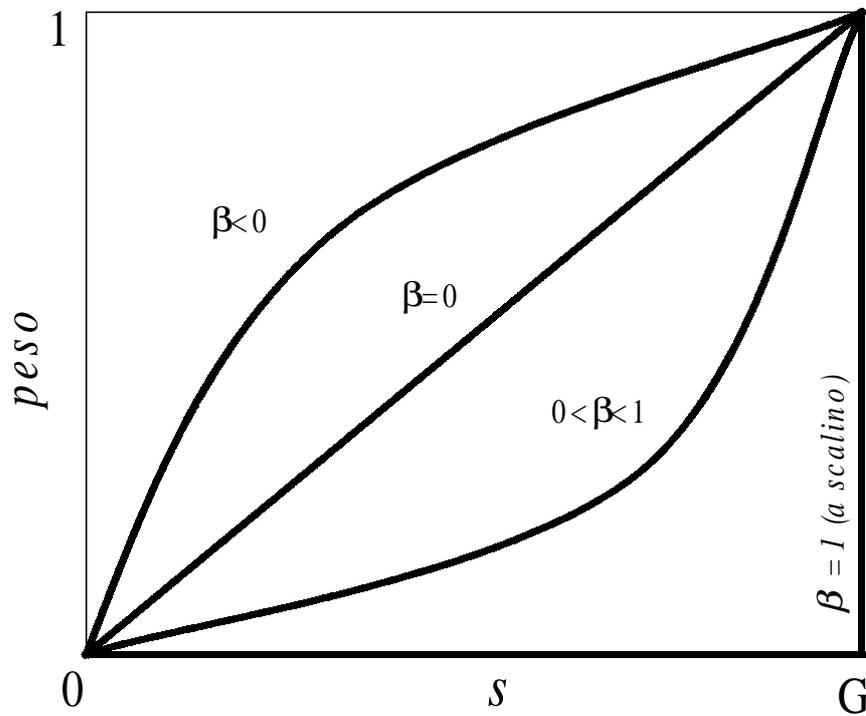


Figura 3 – Efficienza relativa dell'investimento in R&S con gestazione  $G$ , sotto diverse ipotesi di  $\beta$



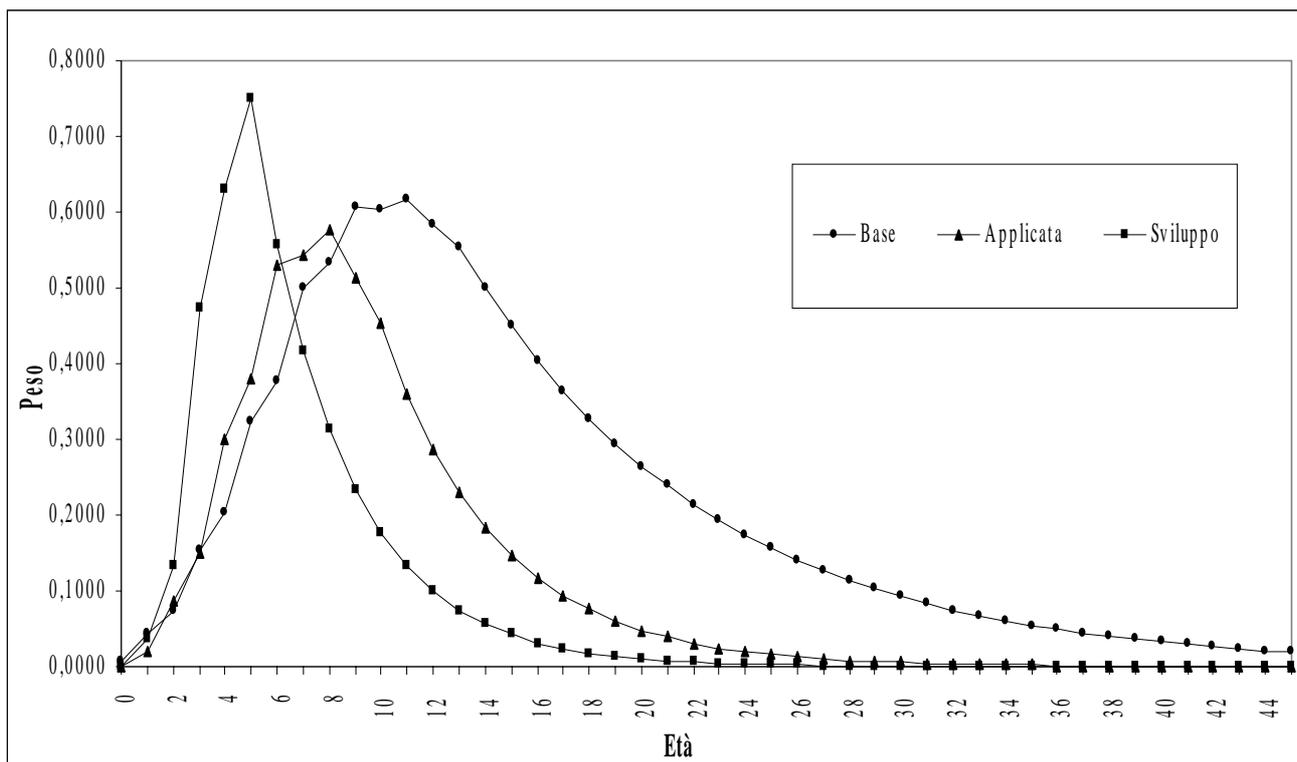


Figura 4: Funzione età/efficacia dell'investimento

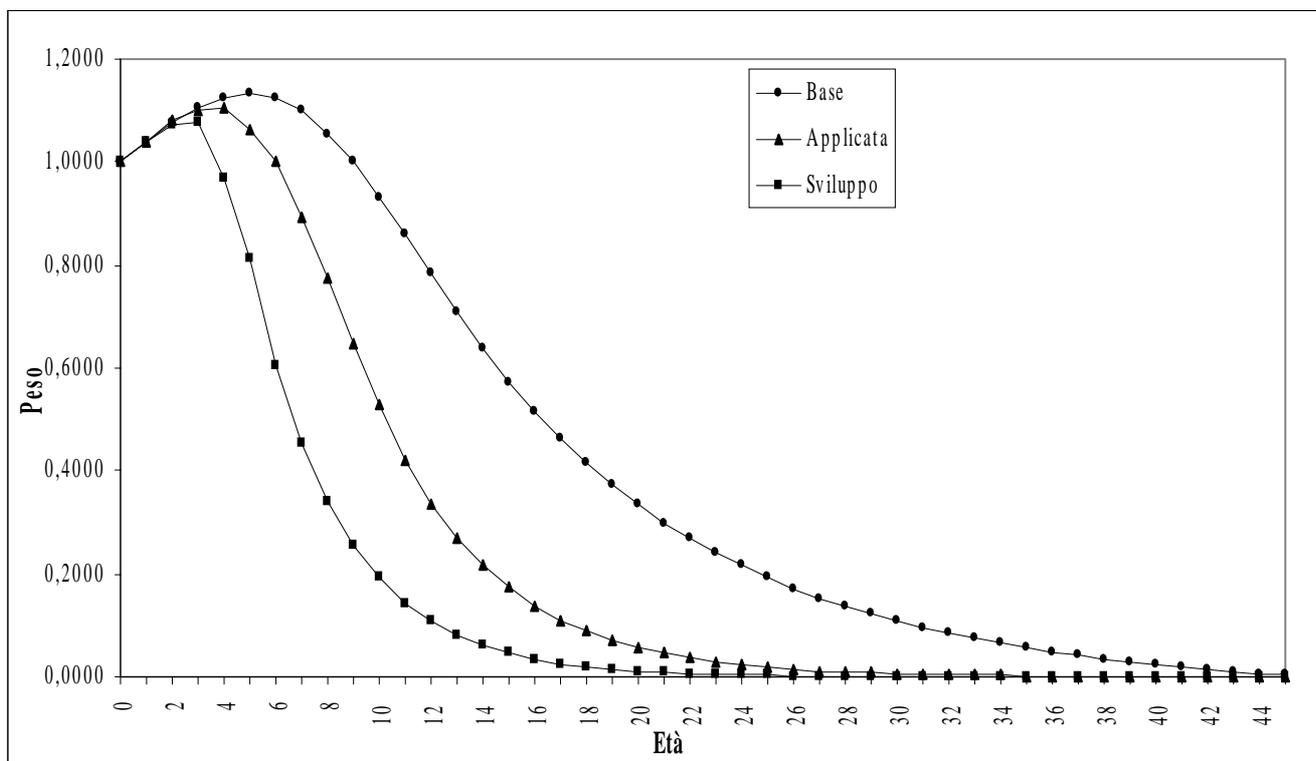


Figura 5: Funzione età/prezzo dell'investimento

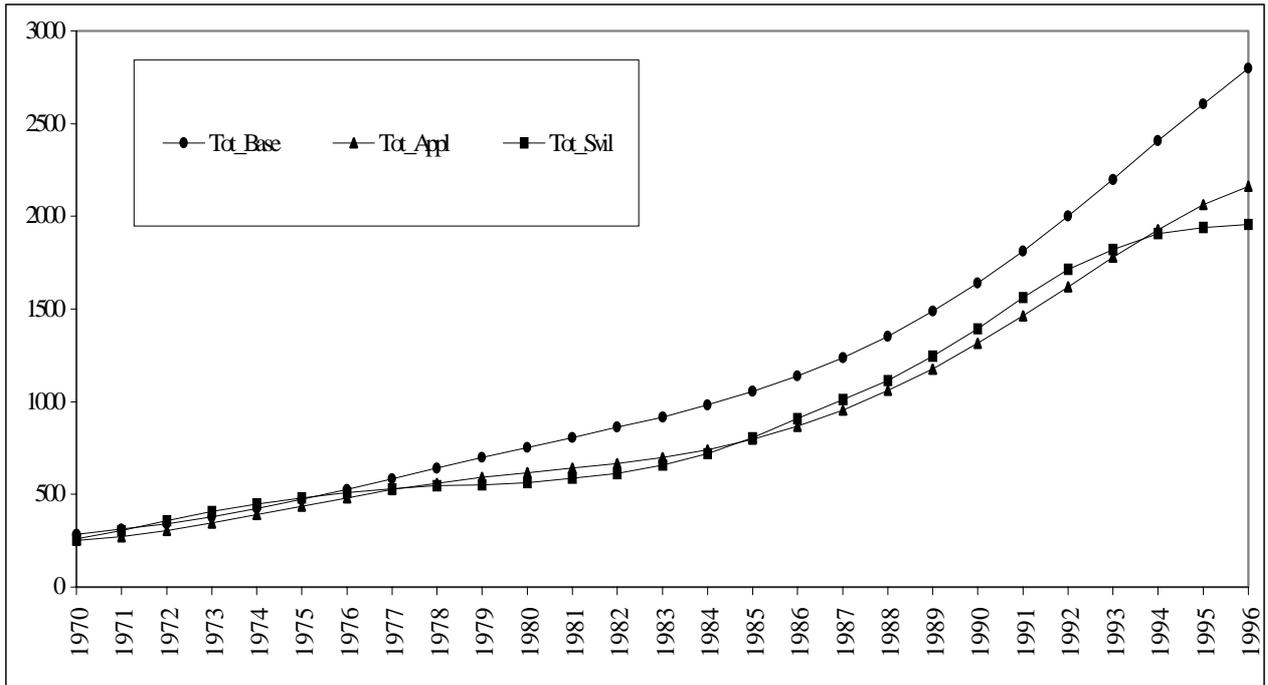


Figura 6: Andamento degli stock nelle tre ipotesi (miliardi di lire a prezzi 1985)

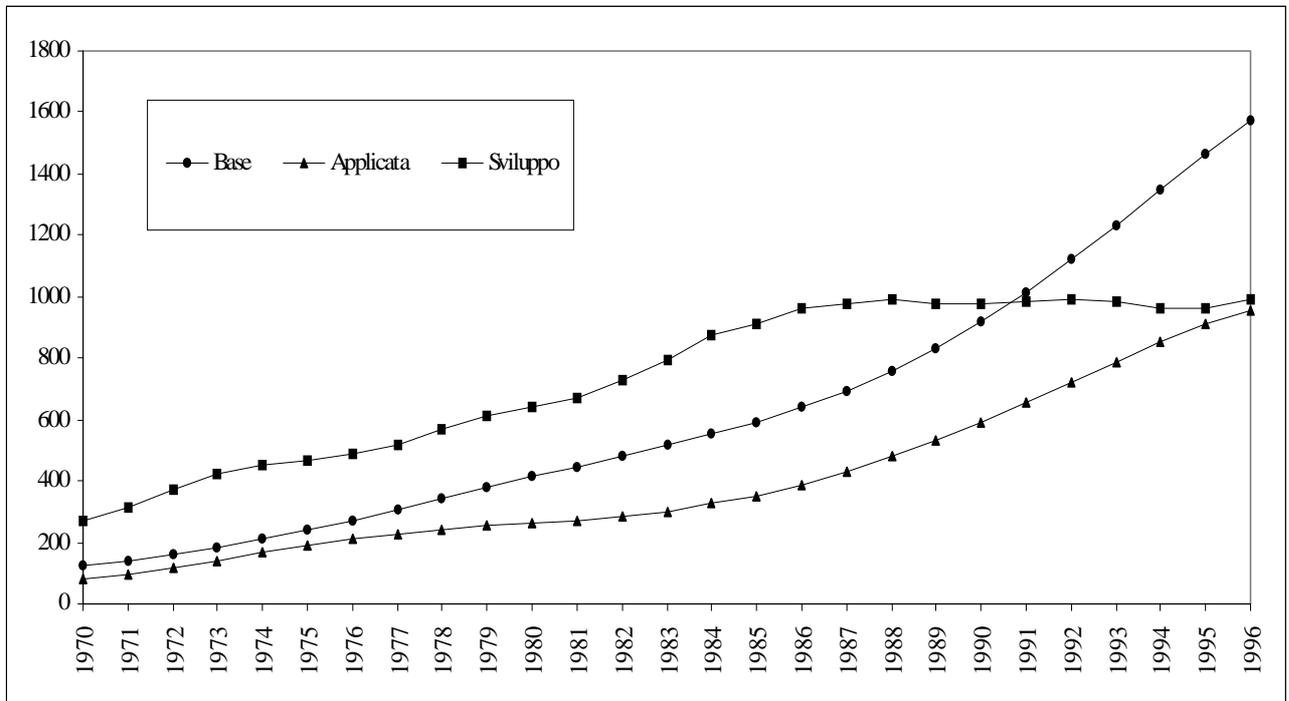


Figura 7: Andamento delle tre categorie di stock (miliardi di lire a prezzi 1985)