

La relazione tra capitale umano, Ricerca & Sviluppo e innovazione a livello di impresa: un'analisi su un panel di imprese italiane.

di

Rosamaria d'Amore¹

Roberto Iorio²

Giuseppe Lubrano Lavadera³

Abstract

Utilizzando dei dati *panel*, per un arco di nove anni, su imprese italiane, si vuole verificare se esiste un legame diretto tra il capitale umano presente in impresa (inteso come livello di istruzione del personale) e l'innovazione di processo e di prodotto, anche a parità di una serie di fattori ritenuti cruciali per l'innovazione, tra cui soprattutto la Ricerca & Sviluppo. L'effetto del capitale umano sull'innovazione risulta essere positivo, mentre l'effetto della sua interazione con la Ricerca & Sviluppo risulta essere negativa, segnalando un possibile effetto di sostituzione tra queste due componenti del capitale cognitivo dell'impresa.

Parole chiave: capitale umano, Ricerca&Sviluppo, innovazione, funzione di produzione

Classificazione JEL: I25, J24.

1. Introduzione

Dalla fine del primo decennio del XXI secolo l'Italia sta vivendo una fase di profonda recessione economica, in cui al ciclo economico negativo, che ha portata internazionale, si affianca una situazione di bilancio pubblico particolarmente difficile. In questo contesto la spesa pubblica per l'istruzione, già particolarmente bassa in Italia, ha subito un'ulteriore riduzione. Lo stesso tasso di iscrizione all'università, dopo una fase di espansione dovuta all'introduzione di lauree più brevi, è in calo, anche qui nel contesto di una posizione internazionale arretrata dell'Italia (la percentuale di laureati sul totale della popolazione è sensibilmente inferiore a quella dei principali paesi europei: vedi Bugamelli *et alii*, 2011). E' lecito domandarsi se e quanto questa riduzione degli investimenti, pubblici e privati, in capitale umano riduca le possibilità di ripresa economica. Infatti si ritiene generalmente che gli investimenti in istruzione aumentino le capacità innovative delle imprese, la produttività

¹ Università di Salerno: rmdamore@unisa.it

² Università di Salerno: riorio@unisa.it

³ IRAT-CNR Napoli: glubrano@unisa.it

delle stesse e dunque siano centrali per la crescita economica. Se questo è un quadro teorico largamente condiviso, quando si fa specifico riferimento all'Italia si ritiene che la dimensione generalmente medio-piccola delle imprese, la specializzazione prevalente in settori a medio-bassa tecnologia rendano non particolarmente evidente e rilevante il legame tra istruzione formale e capacità innovativa delle imprese. Alcuni studi si discostano però da questo pensiero comune e sottolineano, ad esempio, come il basso livello di adozione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione non derivi tanto dal tipo di specializzazione produttiva, quanto dalla carenza di lavoratori qualificati capaci di utilizzare le nuove tecnologie, di adattarsi e di promuovere nuovi modelli organizzativi (Bugamelli e Pagano, 2004; Fabiani, Schivardi e Trento, 2005).

In questo lavoro vogliamo sottoporre a verifica empirica proprio il legame tra capitale umano ed innovazione. Più precisamente, vogliamo verificare se il capitale umano "incorporato" nella forza lavoro ha di per sé un effetto sulle capacità innovative dell'impresa. Scendendo ancora più nel dettaglio, analizziamo se una forma specifica di capitale umano, l'istruzione di livello universitario, ha un impatto sull'innovazione d'impresa. Inoltre vogliamo verificare se, nella capacità di generare innovazione, ci sia un rapporto di complementarità o sostituibilità tra la forza lavoro occupata nella Ricerca e Sviluppo all'interno dell'impresa e la forza lavoro altamente qualificata.

E' facile supporre che vi sia una relazione tra istruzione dei lavoratori e capacità innovativa delle imprese: persone più istruite possono introdurre più innovazioni; persone più istruite sono necessarie per importare in impresa innovazioni effettuate altrove e per "gestirle" una volta introdotte (capacità di assorbimento). Ma c'è una sufficiente verifica empirica di questo legame "ovvio"? In realtà il nesso tra capitale umano ed innovazione è stato ampiamente analizzato, sia sul piano teorico che empirico, a livello macroeconomico, con una forte enfasi sulle esternalità; raramente l'analisi si è svolta a livello di impresa (microeconomico).

Inoltre, va sottolineato che la relazione tra istruzione e innovazione è palese se si considera il personale con elevata istruzione che lavora nei laboratori di Ricerca & Sviluppo (gli scienziati), specificamente impegnati nella ricerca di prodotti innovativi. La domanda però è se l'istruzione elevata della forza lavoro sia importante per l'innovazione anche a prescindere dalle attività di Ricerca & Sviluppo.

Di qui deriva la semplice idea empirica del presente lavoro: verificare la relazione tra il numero di lavoratori con istruzione universitaria presenti in impresa e l'innovazione, *a parità* del numero di lavoratori direttamente impegnati in attività di Ricerca & Sviluppo (ma anche a parità di una serie di altri fattori in grado di influenzare l'innovazione). Il contesto teorico di riferimento può essere considerato quello della funzione di produzione della conoscenza, in cui l'innovazione a livello d'impresa è posto in relazione con il capitale cognitivo presente nell'impresa stessa, dove questo è rappresentato appunto non solo dalle spese formalizzate in R&S ma anche dal livello del capitale umano interno (Audretsch e Feldman, 2004).

Un altro aspetto della nostra analisi, anch'esso giustificabile in un contesto di *knowledge production function*, è rappresentato dall'indagine sull'interazione tra queste due componenti del "capitale cognitivo" dell'impresa, sempre in relazione all'innovazione. E' possibile ipotizzare sia una relazione di complementarità che di sostituibilità; è infatti possibile immaginare che una forza lavoro qualificata sia in grado di moltiplicare il potenziale innovativo insito nel lavoro dei laboratori di ricerca: in questo caso l'effetto della Ricerca & Sviluppo sull'innovazione sarà tanto più elevato quanto più elevato sarà il "capitale umano" incorporato nella forza lavoro (e viceversa): questo è il possibile rapporto di complementarità; dall'altro lato si può ipotizzare che, in assenza o in caso di basse spese esplicite in Ricerca & Sviluppo, l'impegno ad innovare ricada interamente o maggiormente sul personale qualificato non operante in laboratori: in quest'ottica, l'effetto del capitale umano sull'innovazione sarà tanto più alto quanto più basse saranno le spese in R&S: in questo caso vi sarà dunque un effetto di sostituzione.

Le implicazioni di *policy* di un tale tipo di analisi sono evidenti: in un paese che investe poco in capitale umano, in cui la percentuale di laureati rimane bassa nei confronti internazionali, scoprire che la percentuale di laureati presenti in impresa è *di per sé* un importante fattore innovativo diretto (a prescindere dunque da qualunque considerazione di esternalità, valore sociale dell'istruzione superiore, considerazioni ovviamente pure importanti) rappresenta un'indicazione importante a stimolare gli investimenti in capitale umano come fattore primario della produttività e della competitività delle imprese italiane. A fronte di una "narrazione" che vede come protagoniste dell'economia nazionale le piccole e medie imprese *low-tech* e *middle-tech* in cui prevale l'innovazione incrementale, basata sul *learning-by-doing* di una forza lavoro a media qualificazione, una storia diversa in cui

l'elevata qualificazione della forza lavoro sia essa stessa alla base di innovazioni di prodotto, oltre che di processo, può offrire prospettive diverse alla economia nazionale e rafforzare l'idea che si sta finalmente affermando, che non si possa rilanciare l'economia nazionale senza investire fortemente in formazione ed istruzione.

Il segno dell'interazione tra capitale umano e R&S può fornire poi delle indicazioni diverse in termini di *policy*: un'interazione positiva rappresenta un'indicazione ad investire sia in R&S che in capitale umano, dato che gli effetti positivi di entrambi si rafforzano a vicenda; un segno negativo dell'interazione significa che, laddove le spese in R&S sono basse o inesistenti, il capitale umano è particolarmente importante per generare innovazione: ne consegue che, dove ci fossero dei vincoli strutturali o finanziari ad investire in R&S (e l'Italia è appunto un paese in cui la spesa soprattutto privata in R&S è molto bassa: si veda Bugamelli *et alii*, 2011), una politica efficace consisterebbe proprio nell'investire in istruzione, ad esempio incentivando i settori "low-tech" ad investire particolarmente in personale qualificato.

L'analisi empirica viene compiuta su un *panel* a rotazione di imprese italiane, per un periodo di nove anni, che va dal 1998 al 2006: si tratta di tre *wave* consecutive (VIII, IX e X) del questionario Capitalia (ora Unicredit) su un campione di imprese italiane (per una più precisa descrizione si rimanda al paragrafo 3). Tra le domande poste alle imprese, una chiede se sia stata o no introdotta, nel periodo considerato, un'innovazione di prodotto; un'altra chiede se sia stata introdotta o no un'innovazione di processo. Le risposte a queste domande rappresentano le variabili dipendenti della nostra analisi. Le determinanti oggetto di indagine sono il numero di laureati, il numero di addetti alla R&S e l'interazione tra queste due variabili; c'è poi una serie di variabili di controllo, su dimensione, investimenti e settore dell'impresa.

I risultati delle stime evidenziano una relazione positiva e statisticamente significativa tra il numero di laureati e il numero di addetti alla R&S, da un lato, e la probabilità di introdurre sia un'introduzione di prodotto sia di processo dall'altro. Il termine di interazione tra laureati e R&S ha un segno negativo: sembra dunque prevalere, nella realtà industriale italiana, un effetto di "sostituzione" tra le due componenti del capitale cognitivo dell'impresa, per cui la relazione tra capitale umano e innovazione è più forte dove il livello di R&S è più basso.

L'articolo è così strutturato: nel secondo paragrafo si espone una rassegna della letteratura più rilevante sulla relazione tra capitale umano, Ricerca & Sviluppo e innovazione; nel terzo paragrafo si descrivono i dati analizzati e si illustra l'analisi empirica; seguono quindi le conclusioni all'articolo.

2. Capitale umano, Ricerca & Sviluppo e innovazione: la letteratura rilevante

Nella società basata sulla conoscenza, in cui le nuove idee e le abilità professionali rappresentano l'elemento fondamentale dell'innovazione e dello sviluppo economico e sociale, le risorse umane costituiscono l'elemento centrale. Nell'era della conoscenza la crescita economica dipende in misura sempre maggiore dalla quantità e qualità dei processi di apprendimento, dalla possibilità di accedere alle conoscenze distribuite all'interno di network relazionali, dalla capacità di estrarre il massimo valore possibile dalle conoscenze possedute (Rullani, 2004). Il capitale intellettuale a disposizione dell'impresa ne determina, pertanto, le potenzialità innovative; in questo senso le risorse intangibili sono l'elemento chiave per sviluppare e gestire l'innovazione all'interno delle imprese, consentendo loro di competere ed essere sostenibili nel nuovo contesto dell'economia globale basata sulla conoscenza. Dal canto suo, poi, l'innovazione contribuisce a determinare la crescita del capitale intellettuale, diventando così lo strumento fondamentale per rigenerare ciclicamente gli *assets* competitivi delle imprese (Ronca, 2010). Il capitale intellettuale in questo modello cresce e si arricchisce man mano che viene usato, questo perché la conoscenza è una risorsa moltiplicabile e auto-generativa. (Rullani, 2004).

Da questa premessa si evince come, nell'evidenziare il ruolo del capitale intellettuale per la crescita, l'analisi economica contemporanea prenda in considerazione soprattutto la dimensione dell'impresa, pur tenendo ben presenti i processi di esternalità. Ma la riflessione sul ruolo del capitale intellettuale nell'ambito della crescita economica nasce e si sviluppa in un ambito macroeconomico. È infatti dalla teoria della crescita economica sviluppata da Solow negli anni cinquanta del secolo scorso che bisogna partire per ricostruire la riflessione sul legame tra capitale umano, capitale intellettuale in senso più ampio, innovazione, produttività e crescita. Secondo Solow (1956) un'economia capitalista si colloca all'interno di un sentiero di crescita equilibrata e stabile: il tasso di crescita del prodotto tende ad essere costante nel tempo così come quello dei fattori produttivi, capitale e lavoro, determinanti della produzione complessiva dell'economia. All'interno di questo

sentiero il tasso di crescita dell'economia non dipende solo dal tasso di crescita dei fattori che sono accumulati, bensì dall'evoluzione di fattori come la dinamica della popolazione e quella delle scoperte scientifiche e tecnologiche. Se la dinamica dei fattori esogeni è simile in economie diverse fra loro, esse dovrebbero tendere verso un unico e comune tasso di crescita. Nella realtà questo non accade: l'evidenza empirica mostra che i tassi di crescita sono molto diversi fra le varie economie, anche nel lungo periodo. Questo vuol dire che gran parte della crescita dipende dalla dinamica dei fattori esogeni. Nell'ambito della teoria di Solow la dinamica di questi fattori, proprio perché esogeni, non è spiegata dal modello, ma essi sono contenuti in una sorta di "scatola nera". Le indagini successive cominciano a chiarire il contenuto ed il funzionamento di questa scatola. Il capitale umano è immediatamente riconosciuto come uno di questi fattori: al pari del capitale fisico, da un punto di vista economico l'accumulazione di capitale umano è il risultato di una decisione di investimento che risponde a criteri di redditività. L'investimento in capitale umano ha, infatti, l'effetto di accrescere la produttività del lavoratore esattamente come quello in capitale fisico. Partendo da queste considerazioni, numerosi economisti si sono cimentati a misurare il contributo dei vari fattori contenuti nella scatola nera sulla crescita economica.

Denison (1967, 1979) ad esempio, stimando una funzione di produzione che ha come input il capitale e il lavoro, dove la qualità di quest'ultimo è misurata da un indice degli anni di istruzione mediamente acquisiti dai componenti della forza lavoro, ha dimostrato che l'istruzione contribuisce positivamente alla crescita del prodotto, stimandone un valore fra il 15% e il 25% della crescita complessiva; inoltre tale contributo è aumentato nel tempo.

Successivamente Mankiw, Romer e Weil (1992), estendendo il modello di Solow con l'inclusione del capitale umano (misurato dai tassi di iscrizione alla scuola secondaria), sono riusciti a spiegare una quota abbastanza ampia (circa i due terzi) della variabilità dei tassi di crescita fra le diverse economie nazionali.

In questa visione rivoluzionaria per la teoria economica il capitale umano conquista il ruolo centrale, insieme allo sviluppo delle conoscenze scientifiche e tecnologiche. A differenza del capitale fisico, la cui capacità trainante tende a ridursi fino a scomparire via via che l'accumulazione procede, per via della sua produttività marginale decrescente, il capitale umano può essere un motore inesauribile della crescita. In altri termini, l'investimento in capitale umano dà luogo a una crescita continua nel tempo, dipendente, tra l'altro, da fattori

interni alla logica di funzionamento del sistema economico. Per questo ragione questo processo di crescita può essere definito come 'endogeno'.

Secondo Lucas (1988) il capitale umano, producendo esternalità positive, aumenta la produttività di altri individui; sicché il fatto che più individui investano in capitale umano accresce il rendimento dello stesso investimento per altri individui: ad esempio, tanto maggiore è il numero di ingegneri e di coloro che fanno Ricerca e Sviluppo, tanto più rapida è la produzione di nuove conoscenze tecnologiche e tanto più importante diventa acquisire tali conoscenze attraverso l'istruzione e l'apprendimento per ottenere una più elevata remunerazione nel mercato del lavoro. L'input fondamentale nella produzione del capitale umano è, in conclusione, lo stesso capitale umano: aumentando la domanda di istruzione cresce il suo rendimento e, nello stesso tempo, anche l'offerta. Il risultato è un aumento del tasso ottimale di investimento in capitale umano nell'economia.

In questo modo il capitale umano, interagendo con l'evoluzione delle conoscenze tecnologiche, diviene il motore di una crescita costante nel tempo e interamente determinata dalle decisioni degli agenti economici, ovvero una crescita endogena. Una forza lavoro istruita e con un' elevata esperienza è un input cruciale nella ricerca di base e applicata. E' necessario investire in capitale umano per generare nuove idee e tecnologie.

Per converso, questa interazione spiega anche la stagnazione delle economie arretrate. Ogni circolo virtuoso ne presuppone uno vizioso e l'uno o l'altro possono prevalere a seconda delle condizioni. Se il capitale umano è l'input fondamentale nella Ricerca & Sviluppo, un'economia con un basso livello di istruzione della forza lavoro avrebbe difficoltà a produrre nuove conoscenze tecnologiche. Questo, a sua volta, ridurrebbe l'incentivo all'investimento in capitale umano, precipitando l'economia in una trappola del sottosviluppo. Si potrebbe obiettare che un'economia arretrata potrebbe comunque sfruttare la distanza tecnologica che la separa da quelle più avanzate, imitando e adottando le tecnologie sviluppate in queste ultime. Anche in questo caso, però, la disponibilità di una massa critica di forza lavoro istruita è una pre-condizione necessaria perché questo processo possa avere luogo (Nelson e Phelps, 1966). Non sempre, infatti, il motore della crescita sta nella capacità di sviluppare nuove tecnologie all'interno dell'economia: per molti paesi, soprattutto i più poveri e meno dotati sul piano tecnologico, è cruciale la capacità di imitare tecnologie sviluppate altrove e di adattarle alle proprie, specifiche esigenze. Il Giappone rappresenta l'esempio storicamente più significativo di crescita attraverso l'imitazione, ma

le cosiddette 'tigri asiatiche' non sono state da meno. Anche in questo processo imitativo il ruolo del capitale umano è decisivo. Molti studi hanno posto in evidenza come la disponibilità di una forza lavoro adeguatamente istruita abbia costituito una condizione cruciale del miracolo economico di alcuni paesi asiatici (Amsden 1989, Lucas 1992) che si sono aperti al commercio internazionale. La necessità di produrre manufatti competitivi sul mercato internazionale ha creato in questi paesi una domanda di competenze tecnologiche, accrescendo i salari della forza lavoro qualificata e aumentando in questo modo il rendimento dell'investimento in istruzione.

Queste concezioni teoriche, che leggono il legame tra capitale umano e crescita economica alla luce del concetto di esternalità e della capacità di assorbimento delle tecnologie altrove prodotte, fanno da guida all'interpretazione dei risultati di diverse analisi empiriche. Barro (1991, 1997, 1998) verifica l'esistenza di una correlazione positiva, in un campione molto ampio di paesi, fra tasso di crescita in un certo periodo e livelli di istruzione ed interpreta questo risultato nel senso che tanto maggiore è il livello di istruzione iniziale tante più esternalità si generano e tanto più cresce l'economia. Anche Benhabib e Spiegel (1994) trovano che lo stock di istruzione ha un impatto positivo sulla crescita e ciò avviene, nella loro lettura, sia perché livelli di istruzione più elevati favoriscono l'innovazione tecnologica nella struttura produttiva interna di ciascun paese, sia perché consentono di sfruttare meglio le possibilità di imitazione di tecnologie sviluppate in paesi più avanzati. In pratica l'analisi di Benhabib e Spiegel offre una conferma empirica alle ipotesi avanzate da Nelson e Phelps (1966) e, più in generale, a tutta la letteratura teorica che vede nell'interazione fra capitale umano e sviluppo delle conoscenze tecnologiche il motore della crescita.

Altri modelli teorici della crescita, poi, pur non assegnando un ruolo centrale al capitale umano, ne evidenziano la sua posizione rilevante. Romer (1990 a, b), ad esempio, sostiene che il motore della crescita è la produzione di nuove conoscenze tecnologiche e il motivo che garantisce una crescita costante nel tempo è, anche in questo caso, la presenza di esternalità positive, basate, in questa visione, sulla natura peculiare della conoscenza, vista come non rivale (una specifica conoscenza può essere usata da più individui contemporaneamente, senza che diminuisca la quantità usata da ciascuno dei due) e autoaccumulantesi (l'accumulazione di conoscenze ha l'effetto di rendere più facile e meno costoso lo sviluppo di nuove conoscenze, per il semplice motivo che le vecchie idee sono il principale input nella produzione delle nuove e possono essere usate senza costi aggiuntivi;

le possibilità di creare nuove idee e di migliorare quelle esistenti sono pressoché inesauribili). Tutto ciò fa sì che l'accumulazione delle conoscenze non comporti una riduzione della loro capacità di creare valore economico e quindi non diminuisca l'incentivo a investire. In altri termini, la produzione di conoscenze può crescere senza limiti. Questa è nella visione di Romer la chiave della crescita delle economie capitalistiche. Qual è, in questo contesto, il ruolo del capitale umano? La produzione di conoscenza ha due input fondamentali: lo stock di conoscenza già accumulata e le capacità dei ricercatori e sviluppatori. Scrive lo stesso Romer: "una persona dotata di istruzione ed esperienza è l'input cruciale nel processo per tentativi ed errori, formazione e articolazione delle ipotesi che, in ultima analisi, genera una valida nuova idea che può essere trasmessa e usata da altri". Ne consegue che tanto maggiore è il numero dei ricercatori impegnati nella Ricerca & Sviluppo (e tanto maggiori le loro capacità), tanto più rapido sarà il ritmo di creazione di nuove conoscenze e, di conseguenza, il tasso di crescita dell'economia. In questo caso l'elemento cruciale non è l'accumulazione di capitale umano ma, piuttosto, la sua allocazione in attività di ricerca. Resta comunque il suo ruolo determinante nel sostenere la crescita dell'economia.

Da quanto detto finora possiamo dire che, qualunque sia la teoria della crescita presa in considerazione, il ruolo del capitale umano è comunque centrale. Si può discutere sui meccanismi economici sottostanti alla relazione fra capitale umano e crescita, ma sul fatto che questa relazione esista e sia positiva non sembrano sussistere dubbi. In ogni caso però, l'analisi teorica, pur microfondata, almeno nei più recenti modelli della crescita endogena, ha pur sempre uno sguardo macroeconomico e macroeconomici sono i più importanti studi empirici sul legame tra capitale umano e produttività.

Un'importante svolta teorica ed empirica è rappresentata dall'introduzione della funzione di produzione di Griliches (1979), sia perché l'ambito teorico di formulazione è esplicitamente microeconomico, sia perché in questa formulazione l'output non è più la produzione ma direttamente l'innovazione e l'input è la conoscenza. Essendo quest'ultimo un termine con un significato economico chiaro, ma empiricamente astratto, esso va poi esplicitato: come sottolineano Audretsch e Feldman (2004), richiamando Cohen e Klepper (1991 e 1992), la principale fonte di conoscenza in impresa è generalmente considerata la Ricerca & Sviluppo, che è dunque il termine su cui si focalizza la maggior parte delle indagini empiriche; gli altri elementi in cui si "traduce" la conoscenza variano a seconda

dell'obiettivo specifico dello studio. La formulazione con cui Audretsch e Feldman (2004) espongono la funzione di produzione di conoscenza include, oltre alla R&S, il capitale umano, ma appunto l'adozione di questo secondo termine è ben lungi dall'essere universale. Anche l'ambito empirico di applicazione nasce come microeconomico (studi a livello di impresa) ma si allarga a livello di industria, di area geografica o di paese, evidenziando il ruolo degli *spillovers* e delle esternalità: l'output innovativo di ciascuna impresa dipende solo in parte dalle fonti di conoscenza interne; in larga parte dipende dalla ricerca fatta nelle altre imprese, nei centri pubblici e privati di ricerca, geograficamente contigui, dal capitale umano presente nell'area geografica di riferimento (si vedano, per un'analisi relativa al caso italiano, Audretsch e Vivarelli, 1996); quindi, nel momento in cui si studia il nesso tra input e output di conoscenza a livello di singola impresa, questo risulta spesso debole, mentre, se l'unità di analisi è più ampia, la relazione diventa più chiara.

Nei decenni successivi all'introduzione del modello teorico della *knowledge production function* sono numerosi ed importanti i contributi, anche empirici, che sostanziano tale approccio (Griliches e Mairesse, 1983; Hall e Mairesse, 1995; Crépon, Duguet e Mairesse, 1998). L'idea è che un'impresa, un settore industriale o anche un'area geografica (cfr. Jaffe, 1986; Acs, Audretsch e Feldman, 1992; Feldman, 1994) debbano investire in spese in R&S (input) al fine di aumentare la produzione di innovazioni (output), a loro volta in grado di sostenere l'incremento del valore aggiunto (specie tramite innovazioni di prodotto) e della produttività (specie tramite innovazioni di processo).

Negli anni tale formulazione originaria è stata notevolmente ed opportunamente arricchita tramite la considerazione degli effetti di *feedback* (Kline e Rosenberg, 1986), così come dalla constatazione che gli *spillovers* di conoscenza possano attecchire solo in presenza di un livello sufficiente di *absorptive capacity* (cfr. Cohen e Levinthal, 1989), cioè di un adeguato livello di risorse conoscitive interne in grado, appunto, di "assorbire" la conoscenza esterna. Si riprende così, nel sofisticato contesto della teoria evolutiva dell'impresa, l'antica e già qui illustrata idea di Nelson e Phelps (1966), nata in ambito macroeconomico, per cui la conoscenza "interna" è necessaria ad assorbire le nuove conoscenze prodotte all'esterno, evidenziando una sorta di processo causale inverso tra capitale intellettuale e innovazione. In ogni caso, nonostante questi importanti raffinamenti teorici, l'impostazione prevalente di questo filone di studi rimane incentrata sul ruolo

dell'R&D come fattore primario in grado di generare l'innovazione, dunque di sostenere la produttività, la competitività dei prodotti e, in ultima istanza, la crescita economica.

Come ulteriore sviluppo di questo ambito di studi, menzioniamo l'attenzione posta in tempi più recenti al nesso tra tecnologia, cambiamenti organizzativi e *skills*. A partire dalla seconda metà degli anni '90 ci si è resi conto che le particolari tecnologie dominanti la nostra epoca (quelle relative all'informazione e alla comunicazione, le ICT) possiedono caratteristiche e pervasività tali da farle considerare *general purpose technologies* (Bresnahan e Trajtenberg, 1995). Questa constatazione, che sottolinea il carattere multiforme e flessibile delle nuove tecnologie e ne evidenzia i molteplici e tuttora inesplorati campi di applicazione, apre le porte ad un'analisi più ravvicinata del cambiamento organizzativo. Se infatti le nuove tecnologie possiedono le caratteristiche sopra menzionate, l'impresa che le voglia adottare non potrà prescindere dalla necessità di procedere a rilevanti e complessivi cambiamenti nella propria struttura organizzativa.

Rispetto all'abbondanza di studi sugli effetti del capitale umano a livello macroeconomico o sugli effetti della R&S a livello di impresa, meno frequenti sono gli studi sugli effetti del capitale umano su performance e innovazione a livello di impresa. In molti casi il legame evidenziato è indiretto, nel senso che il capitale umano è visto come presupposto dell'investimento in altri fattori o di altri cambiamenti di impresa che a loro volta determinano l'innovazione. Ad esempio Arrighetti, Landini e Lasagni (2011), in uno studio su dati italiani, richiamandosi ad una visione dell'impresa basata sulle *capabilities*, sottolineano come la propensione ad investire in *intangibile assets*, il cui impatto sull'innovazione e sulle performance d'impresa è accertato, dipenda dal livello di capitale umano presente in impresa, oltre che dalle dimensioni d'impresa, dalla complessità organizzativa e da una serie di altri fattori fortemente specifici dell'impresa. Abowd *et alii* (2002), studiando dati statunitensi, evidenziano che il capitale umano agisce sulla produttività d'impresa o in maniera diretta oppure col suo ruolo di complementarità rispetto a tecnologie più avanzate, modelli d'impresa e pratiche organizzative. Anche Piva, Santarelli e Vivarelli (2005), ancora su dati italiani, sottolineano il nesso tra cambiamenti organizzativi e domanda di lavoratori con elevati livelli di *skills*. Delle indagini che si avvicinano, senza tuttavia coincidere, con quella esposta nel presente lavoro sono compiute da Ballot, Fakhfakh e Taymal (2001) e Bugamelli *et alii* (2011): entrambi i lavori, infatti,

prendono in considerazione sia il capitale umano che la R&S a livello d'impresa. Il primo lavoro, basato su dati francesi e svedesi, considera l'effetto della R&S e del capitale umano sulle performance d'impresa, misurate con il valore aggiunto, trovando un effetto positivo; analogamente al nostro lavoro, è considerata anche l'interazione tra questi due fattori (l'effetto di tale interazione sul valore aggiunto è stimato come positivo); rispetto al nostro studio il capitale umano è però inteso come la formazione svolta a livello d'impresa. Il secondo lavoro si basa sui dati EGIFE, che sono uno sviluppo in direzione internazionale degli studi considerati nel nostro lavoro (la rilevazione è fatta tra imprese italiane, tedesche, spagnole, francesi e britanniche), con il questionario che è rimasto in larga parte invariato; pertanto anche in questo caso si ha il dato sulla quota dei laureati presenti in impresa, che viene posta in relazione con l'introduzione di un'innovazione in impresa, oltre che con il numero di brevetti depositati presso l'Ufficio Brevetti Europeo (la relazione trovata è positiva); la spesa in R&S non viene inclusa nella stessa stima delle determinanti dell'innovazione, ma viene posta in relazione al capitale umano, nel senso che quest'ultimo (misurato appunto con la quota dei laureati) influenza positivamente la spesa in R&S.

3. Descrizione del *database* e analisi empirica

I dati analizzati sono stati estratti da tre indagini Capitalia-Unicredit consecutive sulle imprese manifatturiere italiane (Capitalia 2002, Capitalia 2005, Unicredit 2008). Il campione è stato reso omogeneo nei valori in euro e deflazionato utilizzando le statistiche sul valore dei prezzi alla produzione a livello di macro settore D del codice Ateco forniti dall'ISTAT⁴. Ogni singola indagine contiene informazioni su un triennio: l'VIII dal 1998 al 2000, la IX dal 2001 al 2003 e la X dal 2004 al 2006. Il campione è stato costruito in modo da coprire l'intero territorio nazionale (quattro macro regioni), diverse dimensioni (5 classi definite in base al numero di addetti) e dei diversi settori produttivi (i quattro settori della tassonomia individuata da Pavitt, 1984). Il campione è a rotazione, ovvero le imprese non sono presenti nel campione in tutte le indagini, ma le imprese che escono dal campione sono rimpiazzate da altre con caratteristiche simili. La Tabella 1 mostra, in ciascuna colonna, quante imprese presenti in una data rilevazione permangono poi nelle rilevazioni successive (ad esempio, nell'VIII rilevazione sono presenti 4680 imprese: di queste, 2097 permangono

4 Dal sito www.istat.it

nella IX wave e 451 permangono nella X wave); sulle righe si legge invece la “provenienza” delle imprese (ad esempio, nella X wave ci sono 5137 imprese, delle quali 451 erano già presenti nell’VIII wave e 1049 nella IX).

Tabella 1 – Composizione del campione e permanenza nelle diverse wave

Indagini	VIII	IX	X
VIII wave	4680		
IX wave	2097	4289	
X wave	451	1049	5137

I fenomeni in analisi sono l’innovazione di prodotto e di processo. La Tabella 2 mostra, in ciascuna wave, la percentuale di imprese che hanno introdotto un’innovazione di prodotto, una di processo e entrambe le innovazioni. Appare evidente un *trend* di aumento delle imprese innovative.

Tabella 2- Percentuale di imprese che innovano nelle diverse wave

Indagini	Innovazione di prodotto	Innovazione di processo	Innovazione di prodotto e di processo
VIII wave	23,91%	36,88%	14,97%
IX wave	40,76%	41,90%	23,93%
X wave	49,04%	42,65%	32,86%

L’obiettivo di questo lavoro consiste nel mettere in relazione l’innovazione di prodotto e di processo con il capitale cognitivo presente nelle imprese, essendo quest’ultimo misurato con il numero di personale laureato e di personale addetto alla Ricerca & Sviluppo.

Rifacendoci alla rassegna di letteratura del precedente capitolo, possiamo dire che il nostro riferimento teorico è la funzione di produzione di conoscenza *à la* Audretsch e Feldman (2004), in cui l’innovazione a livello di impresa (I) è funzione della Ricerca & Sviluppo (RD) e del capitale umano interno (HK), oltre che di un termine di errore; la formulazione

non lineare della funzione presuppone poi l'esistenza di effetti di interazione tra i due input (l'effetto di uno dipende dalla grandezza dell'altro):

$$I_i = \alpha R D_i^\beta H K_i^\gamma \varepsilon_i$$

Una prima indicazione dell'esistenza di questa relazione viene dalla constatazione che all'incremento visto poc'anzi delle capacità innovative delle imprese fa riscontro, nello stesso arco di tempo, un incremento del capitale cognitivo presente nelle imprese: il valore che ci sembra interessante riportare è la percentuale di imprese che, nelle diverse *wave*, non hanno personale laureato e non hanno personale addetto alla R&S: le imprese del primo tipo (senza personale laureato) sono il 47% nell'VIII *wave*, il 36% nella IX *wave* e il 26% nella X *wave*; le imprese del secondo tipo (senza addetti alla R&S) sono il 62% nell'VIII *wave*, il 55% nella IX *wave* e il 59% nella X *wave*.

La Tabella 3 mostra poi, nel nostro campione, la correlazione tra le predette variabili. Come si vede, tutte le correlazioni sono positive e significative al 99%. Esiste quindi una relazione positiva tra componenti del capitale cognitivo dell'impresa e i due tipi di innovazione. D'altro canto, però, c'è una forte relazione tra numero di laureati e numero di addetti alla R&S: ciò è naturale se si considera che tra gli addetti alla R&S c'è sicuramente un'alta percentuale laureati in discipline scientifiche. Per poter evidenziare l'effetto di ciascuna delle due componenti del capitale cognitivo sui due tipi di innovazione è dunque necessaria un'analisi multivariata, che tenga anche conto di una serie di altre variabili "di controllo" correlate sia all'innovazione sia al capitale cognitivo dell'impresa.

Tabella 3- Correlazioni di Pearson tra le principali variabili

	Innovazione di prodotto	Innovazione di processo	Personale laureato
Innovazione di prodotto	-		
Innovazione di processo	0,3673***	-	
Personale laureato	0,1010***	0,0795***	-
Personale addetto alla R&S	0,0969***	0,0654***	0,5148***

***Significativo al 99%

L'introduzione o non introduzione di un'innovazione di prodotto/di processo saranno dunque le variabili dipendenti di tale analisi multivariata. Si tratta di variabili dicotomiche (le imprese potevano indicare solo *se* avevano introdotto un'innovazione, non *quante* innovazioni avevano eventualmente introdotto), pertanto i modelli di stima adeguati sono il *probit* o il *logit*. Poiché le due variabili sono tra loro molto correlate si è percorsa anche la strada della *bivariate probit* (detta anche *biprobit*), che analizza l'effetto delle variabili indipendenti sulla probabilità congiunta di ottenere un'innovazione di processo o di prodotto.

La *bivariate probit* è una metodologia di stima che si applica a due variabili dicotomiche o latenti contemporaneamente tenendo conto che vi possa essere una forma di correlazione tra di loro (Cameron e Trivedi, 2005). Qualora le due variabili non presentino alcuna correlazione questo modello converge a due *probit*. Le due variabili nel nostro caso sono *innoprod* e *innoproc* che assumono valore 1 se l'impresa ha introdotto rispettivamente una innovazione di prodotto e una di processo. Come detto, le due variabili risultano significativamente correlate, quindi la *biprobit* è un modello adeguato di stima. Le stime sono state compiute tenendo conto della eteroschedasticità attraverso stime robuste secondo White (1980).

Le variabili indipendenti di nostro interesse sono: *lglaui*, il logaritmo del numero dei lavoratori laureati (la trasformazione logaritmica è consueta e lo stesso vale per le variabili successive), *lgocres*, il logaritmo degli addetti in ricerca e sviluppo e *Xcreslaui*, interazione tra le due variabili precedenti. Le variabili di controllo sono: *lgwork*, logaritmo del numero di lavoratori medi nell'azienda nel corso del triennio, in modo da controllare per le dimensioni dell'impresa; *lginv*, logaritmo degli investimenti compiuti nel corso del periodo di indagine; *lginfo*, logaritmo degli investimenti in informatica, che sono dunque distinti dal totale degli investimenti e sono certamente un indicatore fondamentale del livello tecnologico dell'impresa; *preseste*, percentuale delle spese in R&D compiute *extramoenia* (parte della R&S compiuta fuori dall'impresa); vi sono poi delle variabili *dummy* che indicano l'appartenenza delle imprese ai gruppi individuati dalla tassonomia di Pavitt (la categoria di riferimento è la terza, quella degli *specialised suppliers*, che è quella che introduce il maggior numero di innovazioni; il primo gruppo è quello delle imprese *supplier dominated*, il secondo gruppo è quello delle imprese *scale intensive*, il quarto gruppo quello

delle *science based*); vi è infine la variabile *waves*, che indica il numero di wave a cui l'osservazione fa riferimento, utile a cogliere eventuali trend temporali⁵.

Gli effetti marginali delle variabili indipendenti sono mostrati nelle prime due colonne della Tabella 4, rispettivamente per innovazione di prodotto e di processo.

Il segno positivo dei coefficienti mostra, conformemente a quanto ipotizzato, una relazione positiva del numero di laureati e del numero di addetti alla R&S con l'introduzione di un'innovazione sia di processo che di prodotto, con una significatività del 99%.

L'interazione tra numero di laureati e del numero di addetti alla R&S ha segno negativo e significativo (al 99% per l'innovazione di prodotto, al 95% per l'innovazione di processo): questo vuol dire che l'effetto del numero di lavoratori laureati sulla probabilità di introdurre un'innovazione è tanto più alto quanto più basso è il numero di addetti alla R&S. Si noti anche la relazione positiva tra innovazione e investimenti, sia complessivi che in informatica, e tra innovazione e percentuale di spese *extramoenia* in R&S. Per quel che riguarda la classificazione di Pavitt, mentre il settore degli *specialised supplier* conferma di essere anche *ceteris paribus* quello che introduce più innovazioni di prodotto, non vi sono differenze significative per quel che riguarda l'innovazione di processo. Si conferma inoltre un *trend* temporale positivo per i due tipi di innovazione. Si noti anche il peso significativo della dimensione d'impresa (espressa da *lgwork*) sull'innovazione di processo, mentre non sembrano esserci effetti significativi sull'innovazione di prodotto.

L'analisi fatta con la *biprobit*, se ha il pregio di considerare congiuntamente i due tipi di innovazione, ha però il limite di essere un'analisi di tipo *cross-section*, di non considerare, dunque, le specificità individuali, date dal fatto che numerose imprese sono reintervistate nell'anno successivo⁶. Per tale motivo abbiamo effettuato anche un tipo di analisi che tenesse in considerazione il carattere *panel* dei dati: si tratta delle *probit* con effetti casuali, distinte per i due tipi di innovazione (prodotto e processo).

⁵ Sono state prese in considerazione anche altre variabili, come il numero dei lavoratori con contratto coordinato e continuativo, l'interazione tra numero di laureati e gli investimenti in informatica, ecc. ma tali variabili non sono risultate significative (al 90%) in quasi nessuna specificazione testata e comunque non lo erano nelle specificazioni qui presentate.

⁶ Quando dei dati *panel* sono trattati come *cross-section* si parla di *pooled cross section*.

La terza e quarta colonna della Tabella 4 mostrano i risultati della *probit* con *random effects* rispettivamente per l'innovazione di prodotto e per l'innovazione di processo.

I risultati sono analoghi a quelli ottenuti con la *biprobit*, sia per quel che riguarda le variabili di nostro diretto interesse (effetto positivo e significativo di *lglau* e *lgcres*, negativo e significativo della loro interazione), sia per le variabili di controllo⁷.

Tabella 4 – Risultati delle analisi *biprobit* e *probit* con *random effects* per l'innovazione di prodotto e di processo

	Biprobit		Probit random effects	
	Var. Dip. Innoprod	Var. Dip. Innoproc	Var. Dip. Innoprod	Var. Dip. Innoproc
lglau	0,0950*** (0,0195)	0,0679*** (0,0176)	0,0284*** (0,0198)	0,0745*** (0,0189)
lgcres	0,4410*** (0,0257)	0,2268*** (0,0223)	0,4805*** (0,0271)	0,2439*** (0,0244)
Xocreslau	-0,0565*** (0,0094)	-0,0186** (0,0091)	-0,0624*** (0,0099)	-0,0206** (0,0096)
lginv	0,0165*** (0,0039)	0,0515*** (0,0037)	0,0166*** (0,0043)	0,0544*** (0,0042)
lginfo	0,0322*** (0,0039)	0,0183*** (0,0036)	0,0361*** (0,0044)	0,0196*** (0,0039)
preseste	0,0068*** (0,0007)	0,0039*** (0,0007)	0,0075*** (0,0007)	0,0042*** (0,0007)
lgwork	0,0210 (0,0195)	0,0423** (0,0185)	0,0284 (0,0214)	0,0462** (0,0201)
Pavitt1	-0,1928*** (0,0341)	-0,0251 (0,0331)	-0,2155*** (0,0388)	-0,0260 (0,0361)
Pavitt2	-0,2003*** (0,0433)	0,0423 (0,0415)	-0,2236*** (0,0490)	0,0457 (0,0452)
Pavitt4	-0,0386 (0,0717)	-0,0352 (0,0692)	-0,0445 (0,0799)	-0,0300 (0,0754)
waves	0,4262*** (0,0254)	0,2782*** (0,0241)	0,4736*** (0,0309)	0,2966*** (0,0268)
_costante	-4,8794*** (0,2447)	-3,7225*** (0,2301)	-5,4156*** (0,3072)	-3,9720*** (0,2629)
N,osservazioni	9705		9705	9705
Wald chi2 (gradi di libertà)	2501,49 (22)		936,70 (11)	742,70 (11)
Prob>chi2	0,0000		0,0000	0,0000
Log pseudolikelihood	-10.944,859		-5.315,6151	-5.972, 4859

*** Significativo al 99%

** Significativo al 95%

⁷ Sono stati stimati anche gli equivalenti modelli *logit* con *random effects*, che danno risultati del tutto analoghi, in termini di segno e significatività dei coefficienti, al modello *probit*.

Come è noto, il modello *random effects* ipotizza che il termine di errore sia composto da effetti individuali costanti nel tempo ed effetti variabili nel tempo; questo tipo di stima tiene conto sia della variabilità *between* (tra gli individui: nel nostro caso tra le imprese), sia di quella *within* (per ciascuna impresa nel tempo). Un tipo alternativo di stima che tenga conto della natura *panel* dei dati è dato dalle stime con effetti fissi, in cui vi sono sempre degli effetti individuali costanti nel tempo, ma questi sono deterministici. Questo tipo di stima tiene conto della sola variabilità *within*, permettendo di evidenziarne l'effetto; per questo motivo è particolarmente interessante, perché, applicata al nostro caso, consente di dire, in media per ciascuna impresa, quali sono gli effetti sull'innovazione di una variazione, tra una *wave* e l'altra, del numero di laureati e di addetti alla R&S. La stima ad effetti fissi in un *panel* non bilanciato, qual è quello che stiamo analizzando, richiede di interrogarsi su possibili problemi di *attrition bias*. Come si è potuto vedere dalla Tabella 1 c'è un'elevata percentuale di imprese che escono dal campione tra una *wave* e l'altra. La perdita informativa legata a questa forte *attrition* nei dati può condurre ad una distorsione dei risultati (*attrition bias*) qualora le variabili in analisi siano responsabili dell'uscita delle imprese dal campione, come già hanno approfondito O'Higgins e Nese (2007) per indagini antecedenti su dati Capitalia. Si sono operati due test per verificare se si è in presenza di *attrition bias*. Il primo è il test della variabile aggiunta: consta nella costruzione di variabili di *attrition* che sono incluse come variabili indipendenti nella regressione. Se queste risultano significative con un semplice Wald test allora si è in presenza di *attrition bias* (Verbeek e Nijman, 1992). Le tre variabili costruite sono: *nextwave*, una variabile dicotomica che ha valore uno se l'impresa è presente nella indagine successiva, *allwave*, anche questa dicotomica che assume valore 1 se l'impresa è presente in tutte e tre le indagini, ed infine *numwave*, che rappresenta il numero di indagini in cui l'impresa è presente. I risultati dei tre *Wald test* mostrano chiaramente la presenza di *attrition bias* nel campione (Tabella 5).

Tabella 5 – Test per l' "attrition"

Variabile	Valore di F	Probabilità > F
<i>nextwave</i>	4.34	0.037
<i>allwave</i>	17.38	0.000
<i>numwave</i>	65.39	0.000

Per ulteriore sicurezza si è operato anche un altro test, suggerito da Beckett e altri (1998), che inserisce una variabile di *attrition* e la combinazione di questa con le variabili indipendenti per poi testarle contemporaneamente. Anche questo test supporta la presenza di *attrition bias* nel campione con un' elevata probabilità.

Una possibile soluzione per correggere le stime in presenza dell'*attrition bias* è illustrata in Wooldridge (2002). La correzione implica la costruzione di pesi che possano correggere la distorsione delle osservazioni del campione. Adottando tale soluzione si è proceduto nella stima dopo aver calcolato i pesi tramite la procedura indicata. La correzione della stima porta a valori dei coefficienti non molto diversi da quelli non pesati e non influisce sulla significatività dei risultati.

Pur avendo ovviato al problema dell'*attrition bias*, rimane un problema non risolvibile: la stima *logit* con effetti fissi (la *probit* con effetti fissi non è possibile) viene effettuata solo sulle imprese per cui varia, tra una *wave* e l'altra, l'entità della variabile dipendente; poiché questa può assumere solo due valori, i casi esclusi dall'analisi sono molto numerosi. Il basso numero di osservazioni rimasto pone dei problemi di efficienza delle stime, che rendono necessario affrontare con prudenza il discorso sulla significatività dei coefficienti.

I risultati delle stime con effetti fissi sono esposti nella Tabella 6. Nelle prime due colonne si hanno i risultati delle stime non pesate, rispettivamente per l'innovazione di prodotto e di processo; nella terza e quarta colonna si hanno i risultati delle stime con i pesi per la correzione dell' "*attrition*", sempre per i due tipi di innovazione. Per quanto riguarda l'innovazione di prodotto, relativamente alle variabili di nostro interesse, si confermano i segni trovati nelle stime precedenti: è positivo l'effetto del capitale umano e della R&S, mentre la loro interazione è negativa; per quanto riguarda la significatività, che però ricordiamo può essere inficiata da problemi di scarsa efficienza, l'effetto della R&S è significativo al 99% sia nelle stime pesate che non pesate; la variabile di interazione è significativa in entrambi i casi al 95%. Per quanto riguarda invece l'innovazione di processo, oltre al numero di laureati e di addetti alla R&S, anche la loro interazione ha segno positivo (ci sarebbe un rapporto di complementarità tra le due variabili: il capitale umano avrebbe un peso maggiore dove la R&S è più alta); si tratta però di un coefficiente non significativo, come non lo è il coefficiente del numero dei laureati; il coefficiente per gli addetti alla R&S è invece significativo al 99%.

Tabella 6 – Risultati delle analisi *logit* con *fixed effects* per l’innovazione di prodotto e di processo, con e senza pesi per l’*attrition*

	Logit fixed effects senza pesi per l’ <i>attrition</i>		Logit fixed effects con pesi per l’ <i>attrition</i>	
	Var. Dip. Innoprod	Var. Dip. Innoproc	Var. Dip. Innoprod	Var. Dip. Innoproc
lglau	0,0604 (0,0943)	0,0649 (0,0905)	0,0488 (0,1071)	0,0603 (0,1031)
lgocres	0,7917*** (0,1442)	0,4475*** (0,1192)	0,7980*** (0,1594)	0,4541*** (0,1342)
Xocreslau	-0,1429** (0,0590)	0,0231 (0,0537)	-0,1323** (0,0675)	0,0329 (0,0631)
lginv	0,0203 (0,0174)	0,0540*** (0,0151)	0,0287 (0,0194)	0,0588*** (0,0169)
lginfo	0,0624*** (0,0177)	0,0345** (0,0146)	0,0556*** (0,0191)	0,0341** (0,0158)
preseste	0,0035 (0,0031)	0,0013 (0,0028)	0,0031 (0,0033)	0,0007 (0,0031)
lgwork	0,1766 (0,2336)	0,2158 (0,1880)	0,1690 (0,2638)	0,2692 (0,2177)
waves	0,9705*** (0,1042)	0,3153*** (0,0871)	0,9830*** (0,1112)	0,3155*** (0,0931)
N,osservazioni	1522	1702	1522	1702
LR chi2 (gradi di libertà)	215,42 (8)	91,73 (8)	179,90 (8)	78,01 (8)
Prob>chi2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Log likelihood	-425,54397	-550,36424	-361,10416	-466,1989

*** Significativo al 99%

** Significativo al 95%

Un potenziale problema delle stime fin qui presentate riguarda una possibile endogenità delle variabili di nostro interesse. Infatti, come si evince dalla sintesi della letteratura in materia esposta nel precedente paragrafo, se da un lato un incremento della qualificazione dei lavoratori e del personale addetto alla R&S è in grado di generare innovazione, può verificarsi anche la relazione inversa: se un’impresa introduce un’innovazione può essere necessario aumentare la qualificazione del personale per “gestire” tale innovazione e gli stessi laboratori di R&S svolgono anche una funzione di “assorbimento” dell’innovazione precedentemente introdotta. Questo tipo di relazione, che va dall’innovazione al capitale cognitivo, è stata teorizzata ma raramente testata empiricamente; qualora però questa relazione ci fosse, essa non potrebbe essere trascurata, perché potrebbe provocare una correlazione tra le variabili indipendenti di nostro interesse ed il termine di errore, generando un *bias* nelle stime. Una soluzione, almeno parziale, al problema, può essere rappresentata dall’introdurre nelle stime delle variabili ritardate per le grandezze in esame; cioè l’innovazione al tempo *t* può essere posta in relazione con il numero di laureati e di

addetti alla R&S al tempo t-1 (l'innovazione in una data *wave* è posta in relazione al numero di laureati e addetti alla R&S nella *wave* precedente). In questo modo, se anche la relazione inversa tra innovazione e capitale cognitivo fosse vera, non vi sarebbe endogenità, perché le variabili indipendenti (laureati e addetti alla R&S al tempo t-1) non dipenderebbero dalla variabile dipendente (l'innovazione al tempo t), ma dipenderebbero dall'innovazione introdotta al tempo t-1 (o anche t-2!); in questo modo le variabili indipendenti non sarebbero più correlate con il termine di errore, almeno non più con la parte di errore variabile nel tempo (rimarrebbe la correlazione con l'eventuale parte di errore individuale, invariante nel tempo). D'altro canto, porre in relazione l'innovazione al tempo t con il capitale cognitivo al tempo t-1 può essere ipotesi realistica, se si considera che le ricerche, le sperimentazioni, le idee hanno bisogno di un certo tempo per giungere a maturazione e generare dunque innovazione.

Dunque, effettuando una stima con variabili ritardate per laureati e addetti alla R&S, si ha la seguente situazione: se non c'è una componente individuale costante nel tempo, le stime *pooled cross-section* sono corrette; se questa componente individuale esiste, le stime *panel* con *random effects* vedono ridursi l'eventuale *bias* nelle stime (le variabili indipendenti sono correlate con i soli errori individuali), mentre delle stime *panel* con *fixed effects* eliminerebbero del tutto il problema dell'endogenità (gli effetti individuali sono deterministici, quindi non genera *bias* la correlazione tra questi e le variabili indipendenti). Il prezzo da pagare in tutti i tipi di stima è però la perdita di osservazioni, perché si perdono i dati del primo momento della rilevazione (nel nostro caso, l'innovazione nell'VIII *wave* andrebbe messa in relazione con laureati e addetti all'R&S della VII *wave*, ma non abbiamo quest'ultima informazione); la perdita di osservazioni non inficia la correttezza delle stime, ma ne riduce l'efficienza, dunque riducendo la significatività dei coefficienti.

La Tabella 7 mostra nelle prime due colonne i risultati della *bivariate probit* per i due tipi di innovazione, nella terza e quarta colonna i risultati della *probit* con *random effects* rispettivamente per l'innovazione di prodotto e di processo; tutte le stime sono effettuate con le variabili ritardate (il suffisso *_rit* indica appunto la variabile ritardata), ad eccezione del numero di addetti. Come si vede, i risultati sono analoghi a quelli ottenuti con le variabili contemporanee, sia pure con un minor grado di significatività per quel che riguarda l'effetto del numero di laureati (il coefficiente è significativo al 95% per l'innovazione di prodotto, 90% per l'innovazione di processo) ma appunto la perdita di significatività può

essere dovuta al calo di efficienza dovuto alla riduzione del numero di osservazioni. Queste osservazioni suffragano dunque la nostra ipotesi che ci sia una relazione positiva tra capitale umano, espresso dal numero di laureati, ed innovazione, sia di processo che di prodotto e questo vale anche a parità di addetti alla R&S (i quali a loro volta hanno un effetto positivo sull'innovazione); inoltre sembra esistere una relazione di sostituibilità tra capitale umano e R&S poiché un incremento del capitale umano ha un impatto sulla probabilità di innovare tanto più alto quanto più bassa è l'intensità della R&S⁸.

Tabella 7 – Risultati delle analisi *biprobit* e *probit* con *random effects* con variabili ritardate per l'innovazione di prodotto e di processo

	Biprobit		Probit random effects	
	Var. Dip. Innoproduct	Var. Dip. Innoproduct	Var. Dip. Innoproduct	Var. Dip. Innoproduct
lglauc_rit	0,1047** (0,0430)	0,0712* (0,0427)	0,1138** (0,0458)	0,0769* (0,0447)
lgocres_rit	0,3159*** (0,0548)	0,1371*** (0,0527)	0,3331*** (0,0576)	0,1425*** (0,0541)
Xocreslau_rit	-0,0489*** (0,0188)	-0,0370** (0,0175)	-0,0519*** (0,0198)	-0,0387** (0,0187)
lginv_rit	0,0025 (0,0079)	0,0271*** (0,0080)	-0,0036 (0,0083)	0,0275*** (0,0083)
lginfo_rit	0,0096 (0,0065)	0,0060 (0,0067)	0,0108 (0,0070)	0,0061 (0,0068)
preseste_rit	0,0066*** (0,0016)	0,0026* (0,0015)	0,0068*** (0,0017)	0,0027* (0,0016)
lgwork	0,0712* (0,0373)	0,1662*** (0,0374)	0,0284* (0,0407)	0,1720*** (0,0401)
Pavitt1	-0,2910*** (0,0664)	-0,0860 (0,0654)	-0,3093*** (0,0720)	-0,0901 (0,0691)
Pavitt2	-0,3338*** (0,0830)	-0,0121 (0,0825)	-0,3582*** (0,0910)	0,0103 (0,0868)
Pavitt4	-0,1331 (0,1414)	-0,0282 (0,1382)	-0,1347 (0,1520)	-0,0258 (0,1468)
waves	0,2106*** (0,0617)	0,1762*** (0,0600)	0,2232*** (0,0644)	0,1824*** (0,0628)
_costante	-0,5999*** (0,1423)	-1,3500*** (0,1425)	-0,6281*** (0,1561)	-1,3951*** (0,1628)
N,osservazioni	2402		2402	2402
Wald chi2 (gradi di libertà)	384,99 (22)		172,54 (11)	130,34 (11)
Prob>chi2	0,0000		0,0000	0,0000
Log pseudolikelihood	-2916,4607		-1490,8063	-1541,8526

*** Significativo al 99%

** Significativo al 95%

* Significativo al 90%

⁸ Anche nel modello con le variabili ritardate è stata effettuata la corrispondente stima *logit* con *random effects* ed anche in questo caso i risultati sono analoghi a quelli ottenuti col modello *probit*. Unica differenza da segnalare una significatività al 95% (anziché al 99% come nella *probit*) per la variabile *Xocreslau* per l'innovazione di prodotto.

Il problema della perdita di osservazioni quando si introducono le variabili ritardate si rivela particolarmente serio nel caso di stime *fixed effects*, il cui numero di osservazioni è già molto ridotto, come abbiamo visto, senza introdurre questi ritardi temporali; con questi ritardi, il numero di osservazioni si riduce ulteriormente, ponendo problemi molto seri di efficienza delle stime⁹. Non sorprende, pertanto, che le variabili di nostro interesse non risultino mai significative (al 90%), con l'unica eccezione del numero dei laureati per l'innovazione di processo (che ha un effetto positivo e significativo al 95%)

4. Conclusioni

Numerosi studi teorizzano o sottopongono a verifica empirica il legame tra capitale umano e crescita economica su un piano macroeconomico. Meno frequenti sono gli studi che studiano questa relazione su un piano microeconomico. A livello di impresa il legame tra capitale umano e innovazione è visto spesso come indiretto, nel senso che una forza lavoro qualificata è considerata una preconditione per quegli elementi (Ricerca & Sviluppo, investimenti in informatica, organizzazione aziendale, settore merceologico, ecc.) che avrebbero un nesso più immediato con l'innovazione. L'intento di questo lavoro è invece quello di verificare empiricamente se esiste una relazione diretta tra la qualificazione della forza lavoro e la capacità innovativa dell'impresa, anche a parità degli altri fattori cruciali per l'innovazione (soprattutto la Ricerca & Sviluppo). La relazione è studiata con riferimento alla realtà industriale italiana, in un contesto, dunque, dove il premio salariale per l'istruzione è relativamente basso, in cui gli investimenti privati e pubblici in istruzione sono anch'essi relativamente bassi e basse sono le spese, soprattutto private, in Ricerca & Sviluppo. L'analisi, condotta su un ampio *panel*, confrontando i risultati ottenuti con diverse tecniche di analisi, rivela che ad un aumento del numero dei laureati presenti in impresa corrisponde un aumento delle probabilità di introdurre un'innovazione di prodotto o di processo; l'efficacia, in senso innovativo, del "capitale umano" incorporato nella forza lavoro è più elevata in quelle imprese, numerose in Italia, in cui non ci sono o sono poco numerosi gli addetti alla Ricerca & Sviluppo; cioè l'istruzione elevata della forza lavoro sostituisce in qualche misura la Ricerca & Sviluppo. Alla luce di questi risultati si

⁹ Nella *logit* con effetti fissi le osservazioni sono 232 per l'innovazione di prodotto e a 240 per l'innovazione di processo, il che vuol dire circa il 2,5% delle osservazioni stimate con la *probit random effects* senza variabili ritardate e circa l'1,7% del totale delle osservazioni.

comprende come il ruolo della formazione e del capitale umano sia fondamentale anche per la realtà industriale italiana e risulta dunque chiaro che la strada per invertire la tendenza al calo della produttività e della competitività delle imprese passi necessariamente per un aumento negli investimenti, pubblici e privati, in capitale umano.

Bibliografia

- Abowd J. M., Haltiwanger J., Jarmin R., Lane J., Langermann J., McCue K., McKinney K., Sandusky K. (2002): "The Relation among Human Capital, Productivity and Market Value: Building up from Microevidence", U.S. Census Bureau, Technical paper n. TP-2002-14.
- Acs, Z., Audretsch, D., Feldman, M. (1992): "Real Effects of Academic Research", *American Economic Review*, vol.82, pp.363-367.
- Amsden A.H. (1989): "Asia's next giant. South Korea and late Industrialization", Oxford University Press.
- Arrighetti A., Landini F., Lasagni A. (2011): "Intangible assets and firm heterogeneity: evidence from Italy", Working paper del Dipartimento di Economia dell'Università degli studi di Parma, n.2-2011.
- Audretsch D.B., Feldman M.P. (2004): "Knowledge Spillovers and the Geography of Innovation" in Henderson J.V. e Thisse J.F (a cura di): *Handbook of regional and urban economics*, vol.4, pp.2713-2739.
- Ballot G., Fakhfakh F., Taymal E. (2001): "Firm's Human Capital, R&D and Performance: a Study on French and Swedish firms", *Labour Economics*, vol.8, pp. 443-462.
- Barro R.J. (1991): "Economic Growth in a Cross Section of Countries", *Quarterly Journal of Economics*, vol.106(2), pp.407-43.
- Barro R.J. (1997): "Determinants of Economic Growth: A CrossCountry Empirical Study", MIT Press.
- Barro R.J. (1998): "Human Capital and Growth in Cross Country Regressions", Harvard University, mimeo.
- Becketti, S., Gould, W. Lillard, L., and Welch, F. (1998) "The Panel Study of Income Dynamics after Fourteen Years: An Evaluation," *Journal of Labor Economics*, vol.6, pp.472-92.
- Benhabib J., Spiegel M.M. (1994): "The Role of Human Capital in Economic Development: Evidence from Aggregate Cross-Country Data", *Journal of Monetary Economics*, vol.34(2), pp.143-73.
- Bresnahan, T.F., Trajtenberg, M. (1995): "General purpose technologies: "engine of growth"?", *Journal of Econometrics*, 65, 83-108.

- Bugamelli M., Cannari L., Lotti F., Magri S. (2012): "Il gap innovativo del sistema produttivo italiano: radici e possibili rimedi", *Questioni di Economia e Finanza*, n.121, aprile 2012, Banca d'Italia.
- Bugamelli M., Pagano (2005): "Business in Investment in ICT", *Applied Economics*, vol.36 n.20, pp.2275-2286.
- Cameron A.C., Trivedi P.K. (2005): *Microeconometrics: Methods and Applications*, Cambridge University Press.
- Capitalia-Gruppo Bancario, Osservatorio sulle piccole e medie imprese (2002): *Ottavo rapporto sull'industria italiana e sull'economia industriale*.
- Capitalia-Gruppo Bancario, Osservatorio sulle piccole e medie imprese (2005): Indagine sulle imprese italiane. Rapporto sul sistema produttivo e sulla politica industriale.
- Cohen W.M., Klepper S., (1991), "Firm size versus diversity in the achievement of technological advance" in: Z. J. Acs and D. B. Audretsch (a cura di), *Innovation and Technological Change: An International Comparison*, University of Michigan Press, pp.183-203.
- Cohen W. M., Klepper S. (1992): "The tradeoff between firm size and diversity in the pursuit of technological progress", *Small Business Economics*, vol.4(1), pp.1-14.
- Cohen, W.M., Levinthal, D. (1989): "Innovation and learning: the two faces of R&D", *Economic Journal*, vol.99, pp.569-596.
- Crepon B., Duguet E., Mairesse J. (1998): "Research, Innovation, and Productivity: An Econometric Analysis at the Firm Level," *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 7(3), pp.115-56.
- Denison E. (1967): "Why Growth Rates Differ", The Brookings Institution, Washington D.C.
- Denison E. (1979): *Accounting for Slower Economic Growth: The United States in the 1970s*, The Brookings Institution.
- Fabiani S., Schivardi F., Trento S. (2005): "ITC Adoption in Italian Manufacturing: Firm-level Evidence", *Industrial and Corporate Change*, vol.14(2), pp.225-249.
- Feldman M. (1994): "The Geography of Innovation", Kluwer.
- Griliches Z. (1979): "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth", *The Bell Journal of Economics*, vol.10(1), pp.92-116.
- Griliches Z., Mairesse J. (1983): "Comparing productivity growth: An exploration of French and U.S. industrial and firm data", *European Economic Review*, Elsevier, vol. 21(1-2), pp.89-119.
- Hall B.H., Mairesse, J. (1995): "Exploring the Relationship Between R&D and Productivity in French Manufacturing Firms", *Journal of Econometrics*, vol.65, pp.263-293.
- Jaffe A.B. (1986): "Technological opportunity and spillovers of R&D: evidence from firms' patents, profits and market value", *American Economic Review*, vol.76, pp.984-1001.

- Kline S.J., Rosenberg N., (1986): “An overview of innovation”, in R. Landau and N.Rosenberg (a cura di), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, National Academy Press, pp. 275-306.
- Lucas R.E. (1988): “On the Mechanics of Economic Development”, *Journal of Monetary Economics*, vol.22, pp.3-42.
- Lucas R. E. (1992): “Making a Miracle”, *Econometrica*, vol.61(2), pp.251-72.
- Mankiw N.G., Romer D., Weil D.N. (1992): “A Contribution to the Empirics of Economic Growth”, *Quarterly Journal of Economics*, vol.107(2), pp.408-37.
- Nelson R.R., Phelps E.S. (1966): “Investment in Humans, Technological Diffusion and Economic Growth”, *American Economic Review*, vol.56, pp.69-75.
- O’Higgins N., Nese A. (2007): “Panel Attrition in the Capitalia Panel”, *International Review of Economics*, vol.54, pp.383-403.
- Pavitt, K. (1984): “*Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory.*”, *Research Policy*, vol.13, pp.343-73.
- Piva M., Santarelli E., Vivarelli M. (2005): “The Skill Biased Effect of Technological and Organizational Change: Evidence and Policy Implications”, *Research Policy*, vol.34(2), pp.141-157.
- Romer P. (1990a): “Human Capital and Growth: Theory and Evidence”, *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, vol.32, pp.251-286.
- Romer P. (1990b): “Endogenous Technical Change”, *Journal of Political Economy*, vol.98(5), pp.71-102.
- Ronca C. (a cura di) (2010): “Società della conoscenza, sviluppo locale e competitività delle imprese”, *Fondazione Adriano Olivetti Collana Intangibili*, n.14, 2010.
- Rullani E. (2004): *Economia della conoscenza. Creatività e valore nel capitalismo delle reti*, Carocci.
- Unicredit-Corporate Banking, Rapporto Corporate (2008): *Decima indagine sulle imprese manifatturiere italiane*.
- Verbeek M. and Nijman T. (1992): “Testing for selectivity bias in panel data models”, *International Economic Review*, vol. 33, pp. 681–703.
- White H. (1980): “A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity”, *Econometrica*, vol.48(4), pp.817–838.
- Wooldridge, J.M. (2002): *Econometric Analysis of Cross section and Panel Data*, MIT Press.