

DINAMICA DELLA TECNOLOGIA

Angelo Bonomi

Il Cobianchi, Verbania 2020, pp. 10-22

Nel luglio di quest'anno è stato pubblicato un mio libro "*Technology Dynamics: the generation of innovative ideas and their transformation into new technologies*" dall'editore americano CRC Press che appartiene al gruppo editoriale Taylor & Francis, uno dei quattro gruppi editoriali più importanti in campo scientifico e tecnologico. Questo libro descrive i processi e le strutture, come la ricerca e sviluppo (R&S) e le startup, che trasformano le idee innovative in nuove tecnologie utilizzabili. Esso ha avuto una storia curiosa e contiene argomenti che riguardano l'innovazione tecnologica ma anche risvolti che interessano il Cobianchi come istituto tecnico superiore, e per questo penso che meriti la scrittura di un articolo. Mi sono sempre interessato al processo d'innovazione tecnologica dall'inizio della mia carriera come ricercatore neolaureato presso il Centro di Ricerche di Ginevra del Battelle Memorial Institute, una fondazione americana che rappresenta una delle più grandi organizzazioni di ricerca su contratto per l'industria al mondo. Mi chiedevo allora come mai l'industria continuasse a finanziare progetti di R&S quando essi per la maggior parte erano abbandonati e solo pochi diventavano una nuova tecnologia utilizzabile, e ho cercato di dare una risposta a questo quesito proprio in questo libro. Dopo una carriera piuttosto varia, ma sempre nel campo dell'innovazione, che mi ha portato ad attivarmi nel campo delle startup, a consulenze nei distretti industriali italiani e a interessarmi dei problemi ambientali, ho infine accettato una posizione di ricercatore associato presso l'Istituto di Ricerche sulla Crescita Economica Sostenibile del CNR, che ha sede a Moncalieri, e che mi ha permesso, con il sistema di documentazione e di contatti dell'istituto, di condurre degli studi sui processi d'innovazione tecnologica e dei sistemi innovativi territoriali. Inoltre, come membro dell'Associazione "L Storia nel Futuro", che organizza viaggi studi per studenti nella Silicon Valley, a cui anche studenti del Cobianchi hanno partecipato, mi sono interessato al sistema innovativo di questo territorio. È stato in questo contesto che mi è venuta l'idea di scrivere un libro sull'innovazione tecnologica, basato su un'esperienza diretta, e non solo su studi sulla carta e documentazioni statistiche come la maggior parte dei lavori fatti in questo campo. Mi sono però subito reso conto della difficoltà di trovare un editore interessato a un'opera di questo tipo. Questa situazione si è sbloccata in occasione di un incontro nel giugno del 2019 con il mio professore di tesi Sergio Pizzini a cui esponevo le mie idee del libro. Sergio mi disse subito che non avrei mai trovato un editore italiano per questi argomenti, e mi promise di mettermi in contatto con il suo editore americano con il quale pubblica dei libri. Così, dopo avermi consigliato la preparazione di un documento in cui descrivevo il libro con le sue originalità, lo spedì all'editore con un suo messaggio di presentazione. L'editore si mostrò subito interessato e, alla fine di luglio, ebbi l'accordo per presentare il manoscritto entro febbraio 2020. Il lungo rapporto che ho avuto con Sergio Pizzini, professore di chimica fisica all'Università di Milano e poi a Milano Bicocca, data dal 1969 quando, laureando in chimica industriale presso l'Istituto di Elettrochimica diretto dal Prof. Bianchi, ebbi l'occasione di fare la mia tesi sperimentale nel centro di ricerche dell'Euratom, ora CRC, a Petten in Olanda dove Sergio era capo di un gruppo di ricerca nel quale conducevo il lavoro. Nell'autunno dello stesso anno tornammo in Italia, io per presentare la tesi, lui per diventare docente di Scienza dei Materiali dell'Università di Milano per poi occuparsi lungamente del campo del silicio solare e delle sue applicazioni. Da quel momento sono sempre rimasto in contatto con lui, ultimamente incontrandolo periodicamente per discutere il tema dei rapporti della ricerca scientifica con l'innovazione tecnologica.

Il libro parla di tecnologia e innovazione tecnologica, termini che devono essere definiti. Ci sono le più varie definizioni di tecnologia che si trovano nei libri e nelle enciclopedie ma, sulla base della mia esperienza, vale la semplice definizione data dall'economista americano Brian Arthur in un suo

libro sulla natura della tecnologia, e che la definisce semplicemente *un'attività per soddisfare uno scopo umano*. Lo stesso autore definisce l'innovazione tecnologica come il risultato di combinazioni di tecnologie preesistenti che sfruttano un nuovo fenomeno scoperto dalla scienza. Ad esempio il laser è il risultato di una combinazione di specchi contenuti in una cavità ottica, un oscillatore elettronico ed adeguati circuiti elettronici in grado di generare un fascio di luce coerente sulla base di un fenomeno previsto dalla fisica quantistica. In realtà molte tecnologie importanti sono state realizzate senza sfruttare direttamente un nuovo fenomeno che può però essere presente nelle tecnologie preesistenti usate per la combinazione. Una tecnologia importante che ha sfruttato un fenomeno della scienza mai usato prima è stata la fotocopiatrice inventata da Chester Carlson negli anni 30. Essa si basa su un fenomeno scoperto verso la fine dell'ottocento in cui la luce può caricare elettricamente alcuni materiali come il selenio. La sua idea era di sfruttarlo illuminando la pagina da fotocopiare in modo da caricare elettricamente per riflesso un film di materiale sensibile, che a sua volta attira elettricamente della polvere fine di carbone ricostruendo lo scritto, e servendo poi per la stampa su un foglio bianco di carta. Chester Carlson, era diplomato in fisica al California Institute of Technology, occupandosi in seguito di brevetti, e provò questa possibilità lavorando nella sua cucina ottenendo un brevetto. Nel 1945 fece un accordo con Battelle per sviluppare la tecnologia nei laboratori di Columbus (Ohio) con buoni risultati, e poi cedere il brevetto a una media azienda di materiale fotografico per l'industrializzazione, la Haloid, che diventerà in seguito la ben conosciuta Xerox generando grandi guadagni in royalties sia per Carlson che per Battelle. Un'invenzione puramente combinatoria è stata invece quella del PC di Steve Wozniak. Egli era un tecnico elettronico che lavorava alla HP a quel tempo sulla connessione tra una tastiera e un monitor con un minicomputer centralizzato. Hobbista di elettronica frequentava le riunioni del Homebrew Computer Club. In una riunione in cui si parlava del microprocessore, tra l'altro inventato da Federico Faggin, un perito aeronautico di Vicenza poi laureatosi in fisica all'università di Padova, e quindi emigrato a lavorare per l'INTEL, gli venne l'idea di collegare una tastiera con la televisione domestica attraverso il microprocessore per sfruttarne le capacità di calcolo e scrittura, cosa che gli riuscì la domenica 29 giugno 1975, fondando poi nel 1976 la Apple con il suo amico Steve Jobs. Possiamo anche citare per questo tipo di innovazione combinatoria un'importante tecnologia inventata vicino a noi, la Moka Express di Alfonso Bialetti. Emigrato in Francia all'inizio del '900, ritornò in Italia nel 1918 con esperienza nella fonderia di alluminio aprendo un'officina a Omegna. Inventò la caffettiera iniziando a produrla nel 1934. L'idea gli venne osservando il funzionamento di una pentola per il lavaggio dei panni in cui l'acqua bolliva nella parte inferiore per andare a irrorare i panni nella parte superiore attraverso un tubo. Le sue conoscenze nella fonderia di alluminio furono essenziali per avere una caffettiera leggera ottenuta con la pressofusione dell'alluminio. Nel dopoguerra suo figlio Renato portò al grande successo nazionale e internazionale la Moka Express con un'opportuna campagna pubblicitaria. La differenza tra le innovazioni ottenute sfruttando nuovi fenomeni scientifici o per semplice combinazione è importante poiché quest'ultime non necessitano di ricerca scientifica per l'invenzione. Nei distretti industriali italiani l'innovazione di questo tipo ne ha permesso lo sviluppo negli anni 60 e 70 senza ricorrere veramente alla R&S. Possiamo citare, oltre la Moka Express anche l'invenzione della lavatrice a cilindro orizzontale della Candy, che permise di fare il lavaggio e la centrifugazione con lo stesso cestello. Tuttavia questa via verso l'innovazione non è sempre un successo, e la ricerca anche per i distretti diviene importante per poter diversificare e restare competitivi.

La tecnologia può anche essere vista, non solo come attività per uno scopo umano, ma anche da un punto di vista scientifico. Essa può essere considerata infatti come un insieme di fenomeni fisici, chimici e biologici che producono un effetto che può essere sfruttato per uno scopo umano, e da cui risulta evidente l'importante relazione che la tecnologia ha con la scienza. Questa definizione è importante poiché dimostra la neutralità della tecnologia e che i danni che gli contestano non sono attribuibili alla tecnologia stessa ma agli umani che decidono di utilizzarla dannosamente per loro scopi. Così ad esempio la semplice tecnologia dell'arco e la freccia si compone di fenomeni elastici

realizzati dall'arco che impongono alla freccia un'energia cinetica che si scarica colpendo il bersaglio. Questo può essere indifferentemente una preda che assicura la sopravvivenza o un uomo durante un conflitto. La maggior parte delle tecnologie vengono sviluppate per uno scopo preciso ma questo non impedisce di poterle utilizzarle eventualmente per scopi completamente differenti. La bomba atomica fu sviluppata per vincere la guerra ed evitare un ulteriore gran numero di morti. Usata in un conflitto mondiale potrebbe mettere in pericolo l'esistenza dell'umanità, usata nello spazio per vaporizzare un asteroide che precipita sulla terra potrebbe invece salvare l'umanità.

La maggior parte degli studi sulla tecnologia e l'innovazione tecnologica si occupano dei suoi effetti economici e di come l'economia influenzi lo sviluppo tecnologico. L'originalità del mio libro consiste nel fatto che studia la formazione delle tecnologie indipendentemente dagli effetti che producono nel sistema sociale ed economico. In realtà considerare la tecnologia strettamente legata all'economia non è sbagliato ma è una visione limitata. In effetti la storia della tecnologia mostra che essa è stata sviluppata non solo per scopi economici ma anche scientifici e soprattutto militari. Sappiamo ad esempio che Galileo fece le sue scoperte astronomiche perfezionando la tecnologia del cannocchiale, e che attualmente per nuove scoperte in fisica si sviluppano tecnologie complesse come l'acceleratore di particelle del CERN a Ginevra o i grandi interferometri usati per rilevare le onde gravitazionali. Le tecnologie di origine militare sono state molto importanti per la tecnologia de XX secolo. Durante la prima guerra mondiale la Germania non poteva importare guano dal Cile contenente i nitrati necessari per gli esplosivi a causa del blocco navale inglese. Tuttavia Fritz Haber, uno scienziato tedesco, aveva dimostrato nel 1908 la possibilità di ottenere ammoniaca facendo reagire idrogeno e azoto proveniente dall'aria. L'ammoniaca poteva poi facilmente essere ossidata producendo i nitrati. Durante la guerra questa sintesi venne industrializzata in Germania con il processo Haber – Bosch per la produzione di esplosivi senza il bisogno del guano. Nel dopoguerra la sintesi dell'ammoniaca venne utilizzata invece per produrre nitrati come fertilizzanti migliorando enormemente le produzioni agricole mondiali. Durante la seconda guerra mondiale venne sviluppata la bomba atomica con il progetto Manhattan, le tecnologie utilizzate per questo progetto furono poi utilizzate per molte applicazioni civili, in particolare per la produzione di energia nucleare, ma anche per molte applicazioni minori come l'uso degli isotopi radioattivi in medicina e agricoltura, e una nuova plastica, il Teflon, usata poi come strato antiaderente per il pentolame. Infine durante la guerra fredda e di Corea il Pentagono finanziò le ricerche per la miniaturizzazione dei circuiti elettronici per strumentazioni di uso militare tra cui il microprocessore usato nei computer. Lo sviluppo di microcircuiti sempre più piccoli, secondo gli economisti, non sarebbe mai stato finanziato dalle industrie che consideravano questi prodotti senza un mercato che giustificasse gli investimenti in ricerca. Fu Steve Jobs a capire la possibilità di utilizzarli in un PC, non destinato ai professionisti ma al grande pubblico, sbloccando un enorme mercato che fece lo sviluppo della Silicon Valley. È sicuramente paradossale come le realizzazioni tecnologiche militari per la guerra fredda e di Corea abbiano generato gran parte delle tecnologie informatiche e di comunicazione che usiamo oggi.

Tecnologia e innovazione tecnologica

Per lo studio del processo che trasforma idee innovative in nuove tecnologie utilizzabili è utile avere un modello generale di tecnologia valido per tutte le tecnologie. Il modello descritto nel libro deriva da un modello ideato verso la fine degli anni 80' da Stuart Kauffman, un biologo teorico dell'università di Pennsylvania che studiava modelli sull'interazione genetica al computer, e che osservò l'analogia tra l'attività dei geni biologici e quella delle operazioni che avvengono in una tecnologia. Il modello considera quindi una tecnologia come un insieme strutturato di operazioni tecnologiche che hanno esse stesse la natura di una tecnologia. Possiamo dare un semplice esempio di struttura tecnologica considerando la tecnologia del trattamento termico, come riportato nella Fig. 1, usata per temprare i metalli come le lame di acciaio. Questa tecnologia si compone di tre operazioni: riscaldamento fino a una certa temperatura, mantenimento per un certo tempo alla

temperatura e raffreddamento rapido a temperatura ambiente, Per tutte queste tre operazioni si hanno dei parametri di funzionamento che possono assumere vari valori. Per il riscaldamento abbiamo la temperatura che deve raggiungere il metallo e la velocità di riscaldamento, per il mantenimento il tempo che si mantiene in temperatura e per il raffreddamento la velocità di caduta della temperatura. Per ogni tecnologia è quindi possibile stabilire le operazioni tecnologiche che la compongono e la sua struttura che determina la sequenza delle operazioni da fare in serie o in parallelo. Per ogni operazione si possono stabilire poi i parametri che le regolano con i rispettivi valori che possono assumere. Per una tecnologia avremo quindi molte ricette tecnologiche per ogni scelta dei vari valori dei parametri che consideriamo. Tutto questo può essere modellizzato usando la cosiddetta matematica discreta, che tra l'altro è anche alla base dei linguaggi usati nella programmazione. In questo modo una tecnologia può essere rappresentata in uno spazio costituito da punti che corrispondono ognuno alle varie ricette e che è chiamato *spazio tecnologico*. Tanto più le ricette sono differenti tanto più saranno distanti tra di loro i punti nello spazio. Ogni ricetta tecnologica può essere più o meno efficiente o costosa e, a ogni punto corrispondente dello spazio tecnologico, può essere associato un valore di efficienza o un costo ottenendo una rappresentazione che è chiamata *paesaggio tecnologico*. L'ottimizzazione dell'uso di una tecnologia può essere vista come la ricerca nel suo paesaggio tecnologico di una ricetta ottimale di maggiore efficienza o di minor costo. Nel modello l'innovazione tecnologica è vista come un cambiamento della struttura di una tecnologia preesistente eliminando, aggiungendo o cambiando le operazioni ottenendo così una nuova struttura tecnologica. Se consideriamo ora lo scopo di una tecnologia, possiamo avere per questo varie tecnologie, alcune già esistenti, altre nuove, ognuna con la sua struttura differente dalle altre. Matematicamente la struttura di una tecnologia può essere descritta con una matrice matematica e rappresentata, analogamente alle ricette tecnologiche, in uno spazio che è chiamato *spazio delle tecnologie*. Tanto più le strutture delle tecnologie per uno stesso scopo saranno differenti, tanto più saranno distanti in questo spazio. Se consideriamo una tecnologia preesistente, l'innovazione potrà creare una nuova tecnologia che avrà pochi o molti cambiamenti nelle operazioni e si troverà vicina o lontana alla tecnologia preesistente nello spazio delle tecnologie. Una nuova tecnologia molto differente e lontana nello spazio dalla tecnologia preesistente è detta *radicale* come l'innovazione che l'ha prodotta, mentre una nuova tecnologia poco differente e vicina nello spazio è detta *incrementale* come l'innovazione che l'ha prodotta. Questa differenza è molto importante poiché le grandi trasformazioni tecnologiche sono tutte originate da innovazioni radicali piuttosto che da quelle incrementali che hanno invece il ruolo di migliorare, diversificare e aumentare le applicazioni di una tecnologia.

Il modello generale di tecnologia, con le sue definizioni di spazio tecnologico, paesaggio tecnologico e spazio delle tecnologie può essere utilizzato per spiegare numerosi processi tecnologici che si osservano durante lo sviluppo e l'uso delle tecnologie. A questi processi va aggiunta la descrizione del processo innovativo che parte con la fase di generazione dell'idea innovante, seguita da quella dello sviluppo della tecnologia e poi dall'uso della tecnologia. Questo uso non interrompe il processo innovativo poiché durante l'uso di una tecnologia possono nascere idee innovative di natura incrementale che la migliorano o ne estendono le applicazioni, e qualche volta perfino innovazioni radicali. Nella Fig. 2 abbiamo riportato lo schema del processo innovativo in cui la fase di sviluppo è stata suddivisa in tre tappe, la prima di studio della fattibilità, seguita da uno studio delle performance possibili e della sua economia, e infine da una tappa di industrializzazione. La fase iniziale di generazione dell'idea innovante è poco considerata nelle attività di promozione dell'innovazione tecnologica che spesso considerano soluzioni basate semplicemente sull'aumento degli investimenti in ricerca. In realtà senza idee innovanti non vi possono essere nuove tecnologie. La generazione può essere individuale ma può anche essere il risultato di discussioni tra più individui come tra ricercatori o tra ricercatori e industriali in una discussione su progetti di ricerca possibili. La promozione della generazione può avvenire in vari modi. Uno di questi è di promuovere l'imprenditorialità giovanile con viaggi studio in territori

particolarmente favorevoli alla generazione di idee come la Silicon Valley. Questa via è percorsa dall'Associazione "La Storia nel Futuro" con viaggi studio a cui hanno partecipato anche studenti del Cobianchi. Uno studio fatto sulla sua attività tra il 2005 e il 2017, con l'invio di un totale di 314 studenti, ha dimostrato la formazione di ben 20 startup da parte dei partecipanti.

Non è compito di questo articolo descrivere tutti i vari processi tecnologici in relazione con il modello di tecnologia ma ne descriviamo però uno che ha molte implicazioni con l'istruzione tecnica e scientifica e che riguarda la ramificazione delle tecnologie. Quando nello spazio delle tecnologie nasce un'innovazione radicale di successo, rappresentata da un punto in questo spazio, si osserva frequentemente la nascita di ulteriori tecnologie, tipicamente più incrementali che costituiscono miglioramenti, ampliamenti nelle applicazioni e diversificazione della tecnologia iniziale. Queste tecnologie, rappresentate da punti nello spazio, se collegate temporalmente con la tecnologia iniziale formano una ramificazione che si estende sempre più con il tempo. Possiamo avere un'idea di questa ramificazione considerando non le tecnologie ma i loro brevetti rappresentati da punti che corrispondono a brevetti di miglioramento o diversificazione che avvengono nel tempo. Uno studio di questo tipo è stato fatto ad esempio per il brevetto della tomografia computerizzata, una tecnologia radiologica ampiamente usata in campo medico. Il brevetto è apparso nel 1975, e la Fig. 3 rappresenta la ramificazione dei brevetti, ovvero delle tecnologie, che si presentava nel 1994. Considerando le ramificazioni tecnologiche che si formano, se la tecnologia iniziale, o le tecnologie che gli sono più vicine, sono il risultato della R&S, le altre tecnologie che si formano ulteriormente sono spesso realizzate da tecnici che usano le tecnologie, e che ne vedono i possibili miglioramenti e nuove applicazioni durante il loro uso. Il successo di una tecnologia dipende moltissimo dai contributi di questi tecnici che amplificano le sue possibilità costituendo l'impatto reale che una tecnologia ha nel campo economico e sociale. Occorre osservare che questi tecnici, non sono necessariamente ricercatori laureati ma diplomati universitari o di scuole secondarie come il Cobianchi, da cui l'enorme importanza che hanno anche i gradi intermedi di istruzione scientifica e tecnica in un paese per l'utilizzo e sviluppo delle tecnologie. In Italia questo aspetto delle tecnologie non è stato mai compreso, basta pensare al ritardo con cui sono stati ammessi i periti industriali all'università, o come l'introduzione dei diplomi universitari non sia stata sempre ben compresa nella sua funzione. Ho avuto esperienze dirette personali sulla validità dei diplomi di perito perfino nella ricerca, prima di tutto nell'Istituto di Elettrochimica dell'Università di Milano in cui mi sono laureato. Questo istituto era diretto dal Prof. Bianchi, un ingegnere del Politecnico di Milano con idee avanzate nella ricerca per l'industria. Aveva fatto la fortuna dell'azienda di impianti elettrochimici Oronzio De Nora con lo sviluppo di un nuovo anodo per la produzione di cloro che risparmiava il 20% di energia. In questo istituto vi era un perito chimico che effettuava esperienze per le ricerche, e quando queste ricerche venivano pubblicate il Prof. Bianchi metteva anche il suo nome tra gli autori della ricerca scandalizzando molti colleghi accademici. Quando raggiunsi il centro di ricerca di Petten per il mio lavoro di tesi, conobbi Morlotti di Laveno, diplomatosi al Cobianchi, che mi insegnò le tecniche sperimentali per le mie ricerche. Anche in questo caso il Prof. Pizzini, che dirigeva il gruppo di ricerca e seguiva la mia tesi, metteva il nome di Morlotti sulle pubblicazioni dei lavori di ricerca che faceva. Morlotti lasciò poi Petten per il centro di ricerche di Battelle a Ginevra, e devo a lui la possibilità che ebbi di andare a lavorare in questo centro. Morlotti lasciò poi Battelle per andare a lavorare nel laboratorio di ricerca della 3M a Ferrania in campo fotografico. Raggiungendo Battelle incontrai nel mio gruppo di ricerca Herbert Giess, un altoatesino diplomatosi perito chimico a Bolzano, anche lui arrivato da Petten, che mi spiegò il funzionamento del centro dandomi anche consigli tecnici. Herbert Giess riuscì a Battelle a far partire e gestire un grande progetto con numerose industrie di batterie per studiare la lega piombo-calcio, che permetteva di avere batterie senza necessità di manutenzione, lega ora usata comunemente. Dopo il progetto Giess emigrò negli Stati Uniti in un'industria di batterie.

Le strutture organizzative per l'innovazione tecnologica

Dopo aver discusso di tecnologia e processi tecnologici, il libro si occupa delle strutture organizzative nelle quali avviene lo sviluppo di nuove tecnologie e che si basano sull'utilizzo di capitali e conoscenze. Queste strutture sono principalmente l'attività di R&S, il sistema startup-venture capital e la recente struttura chiamata piattaforma industriale. Prima dell'avvento della R&S le nuove tecnologie erano realizzate da singoli inventori anche se la bottega d'arte rinascimentale, dove Leonardo aveva ricevuto la sua istruzione, può essere considerata antesignana del laboratorio di ricerca anche se a quel tempo non erano disponibili risultati della ricerca scientifica da sfruttare. L'attività di R&S è nata in Germania, attorno al 1870 nell'industria dei coloranti, supportata dalla ricerca universitaria di nuove molecole che venivano verificate nei laboratori di R&S per vedere se erano utilizzabili come coloranti. Sempre in Germania Carlo Zeiss realizzò nel 1876 un laboratorio per applicazioni ottiche e, nello stesso anno, negli USA, Thomas Edison realizzò il famoso laboratorio situato a Menlo Park nel New Jersey. Per tutta la prima metà del XX secolo la R&S restò un'attività essenzialmente industriale tipicamente svolta nella segretezza per proteggersi dalla concorrenza, anche se apparvero organizzazioni che fornivano servizi di R&S, in particolare, il Battelle Memorial Institute, nato su un lascito di Gordon Battelle, un industriale dell'Ohio, che creò nel 1929 un laboratorio a Columbus con venti ricercatori. Battelle ebbe un grande sviluppo nel dopoguerra con la creazione di centri di ricerca in Europa a Francoforte e a Ginevra. Nel 2000 assunse anche la gestione di importanti laboratori di ricerca governativi e attualmente gestisce l'attività di studi e ricerche di circa 22.000 persone con un budget oltre i sei miliardi di dollari. Nella seconda metà del XX secolo la situazione della R&S cambiò radicalmente con l'avvento di numerosi attori oltre ai laboratori industriali come università e laboratori di ricerca pubblici e privati che facevano R&S in collaborazione con l'industria. In questo modo si aveva molto più scambio di conoscenze che aiutavano enormemente la generazione di idee innovanti e creavano un grande sviluppo tecnologico. Negli anni 70' nasceva nella Silicon Valley un nuovo modo di generare nuove tecnologie con le startup finanziate dal venture capital, questo, a differenza del capitale industriale non sviluppa tecnologie per usarle ma per venderle. Infine all'inizio del XIX secolo è nata una nuova struttura, la piattaforma industriale che, non solo fornisce nuove tecnologie alle industrie o ai consumatori, ma ha anche un forte scambio di conoscenze sull'uso della tecnologia che favorisce miglioramenti e nascita di nuove tecnologie. Questo sistema è usato d'esempio nella fornitura di sistemi operativi per computer o smartphone, e nel campo della robotica e la digitalizzazione della manifattura. Bisogna infine sottolineare che questi tre sistemi per l'innovazione non sono alternativi ma evolutivi. Infatti l'attività di R&S è presente nelle startup e le startup possono essere presenti nelle piattaforme industriali.

Sistema della R&S

La struttura del sistema della R&S può essere rappresentato schematicamente nella Fig. 4. L'attività di R&S produce essenzialmente due cose: nuove tecnologie e conoscenze che si formano, non solo nei progetti di successo che generano nuove tecnologie, ma anche nei progetti di R&S abbandonati. Le nuove tecnologie entrano poi in uso nel sistema con capitali industriali e generano, se valide, ritorni di investimento. Il sistema industriale decide poi l'entità dei finanziamenti per nuovi progetti di R&S eventualmente in concomitanza anche con finanziamenti pubblici. Le conoscenze sviluppate dall'attività di R&S, unite a conoscenze esterne di natura scientifica, tecnica, economica, ambientale, ecc. costituisce la base della generazione di nuove idee innovanti che possono essere messe in forma di proposte di progetti di R&S, e sottoposte a una selezione per il finanziamento. In caso positivo entrano a far parte dell'attività di R&S. Nel libro viene presentato anche un modello di simulazione matematica del sistema R&S basato sulle conoscenze generate dall'attività e sulla probabilità di successo dei progetti. Questo modello mostra risultati interessanti, coerenti con l'esperienza. In particolare si osserva che vi è un limite critico al numero i progetti finanziati in un territorio, e quindi agli investimenti in R&S, al di sotto del quale non si osserva nessuna formazione di nuove tecnologie o solo di tecnologie di poco conto. Questo fatto solleva interrogativi sulle

possibilità di sviluppo tecnologico dell'Italia che presenta livelli di investimento in R&S ben al di sotto di quella di altri paesi industrializzati. Un altro risultato riguarda il numero di nuove tecnologie generate in un territorio che risulta dal modello funzione della quantità e capacità di sfruttamento delle conoscenze disponibili. Questo fatto avvantaggia i paesi con elevata attività di R&S che generano con essa grandi quantità di conoscenze. Nell'attività di R&S assume un ruolo chiave la generazione di conoscenze dai progetti fatti, e sfruttabili per nuove tecnologie che possono coinvolgere campi di applicazione differenti da quelli relativi ai progetti dove sono generate. Questo avvantaggia i laboratori di R&S indipendenti che possono sfruttare qualsiasi idea nata dalle loro attività di ricerca mentre nei laboratori industriali di R&S le idee finanziabili sono limitate dalle scelte strategiche dell'impresa. Ho vissuto personalmente un caso di questo tipo. All'inizio degli anni 80' un'importante società farmaceutica svizzera finanziava a Battelle un progetto di granulazione basato sugli ultrasuoni in grado di produrre piccoli granuli perfettamente uguali che potevano contenere principi attivi e costituire un farmaco. Nonostante il successo tecnico, dopo alcuni anni la società abbandonò il progetto scegliendo altre tecnologie di granulazione. Una discussione tra l'esperto di ultrasuoni e un metallurgista del centro di ricerche fece nascere l'idea di utilizzare questa tecnologia per la granulazione di metalli facilmente fusibili ma troppo molli per essere macinati. Con questa idea lasciarono Battelle e crearono un laboratorio nella vicina Francia con mezzi propri e aiuti pubblici per dimostrare la fattibilità dell'idea. A metà degli anni 80' con i risultati positivi ottennero capitali da varie venture capital francesi per creare una società, la Extramet Industrie poi diventata IPS, per la produzione di granuli metallici, in particolare di leghe di stagno usate per la saldatura di circuiti elettronici. Questa società si espanse fino ad occupare una trentina di persone e rimase in attività per una trentina di anni fino al 2017. Possiamo notare che, se il progetto di granulazione fosse stato condotto nei laboratori dell'industria farmaceutica, non avrebbe avuto nessun seguito, non avendo l'azienda interessi in campo metallurgico. D'altra parte se un'industria metallurgica avesse avuto l'idea di usare gli ultrasuoni per granulare i metalli avrebbe potuto avere successo, ma con costi di sviluppo e tempi più elevati non avendo a disposizione le conoscenze sulla granulazione con ultrasuoni sviluppata per prodotti farmaceutici. Questo esempio mostra l'importanza delle conoscenze legate alla R&S e la loro importanza nel loro sfruttamento nei campi più diversi.

Sistema startup – venture capital

Una startup è una azienda, all'inizio di piccole dimensioni, il cui sviluppo è finanziato da capitali differenti da quelli industriali e detti *venture capital*. L'obiettivo è di sviluppare una tecnologia fino al punto da poter essere venduta oppure di raccogliere capitali per trasformarsi in una società industriale. Una startup, in particolare se ha obiettivi tecnologici, svolge progetti di R&S e genera anch'essa conoscenze che possono essere utilizzate per altri progetti di startup ma si differenzia dai progetti di R&S industriali poiché sviluppa anche modelli di business adatti alle tecnologie sviluppate. Lo sviluppo di un modello di business consiste nell'identificare specifici mercati adatti alla tecnologia sviluppata e il modo con cui aggredirli. L'attività della startup è quindi libera da condizionamenti dovuti a specifiche strategie aziendali, ma piuttosto si ricercano aziende che si interessano specificatamente alla loro tecnologia e modello di business per acquisizioni, oppure a trovare capitali per formare una società che usa la tecnologia e il modello di business sviluppati. Il venture capital ha strategie differenti da quelle dei capitali industriali. Infatti, mentre i capitali industriali finanziano lo sviluppo di tecnologie per utilizzarle, il venture capital finanzia lo sviluppo di tecnologie per venderle e rifinanziare nuove startup con i capitali ottenuti dalle vendite. Questo sistema può essere simulato come un ciclo rappresentabile con un modello matematico. Il ciclo inizia con le proposte per nuove startup, alcune delle quali sono selezionate dal venture capital per il finanziamento e altre scartate. Le startup finanziate si sviluppano ma parte sono abbandonate mentre altre hanno successo e raggiungono la cosiddetta *exit* e vendute dal venture capital. I capitali ottenuti dalle vendite sono in parte ritenuti dal venture capital per coprire le sue spese ed effettuare un guadagno e il resto utilizzato per finanziare nuove startup. Questo ciclo finanziario ha un punto

di equilibrio in cui i capitali delle vendite devono eguagliare i capitali investiti sia nelle startup di successo che in quelle abbandonate e le somme per coprire i costi del venture capital, altrimenti il ciclo presenta una perdita finanziaria. Al contrario se i capitali delle vendite sono superiori, si rendono disponibili capitali per nuove startup e se si susseguono cicli positivi i capitali disponibili sono continuamente crescenti e, in presenza di un numero sempre elevato di proposte di finanziamento di startup, si ha un grande sviluppo tecnologico ed economico come si è osservato nella Silicon Valley. Riguardo al finanziamento delle startup esistono due tipi di strategia di selezione. Il primo, diffuso in Europa, si basa sulle possibilità di successo della startup, il secondo, diffuso negli USA, si basa sul potenziale ritorno di investimento e capacità del management della startup. In quest'ultima strategia si finanzia un numero più elevato di startup che porta a un maggior numero di abbandoni. In effetti in Europa il tasso di abbandono delle startup è dell'ordine del 70 – 80% mentre nella Silicon Valley è dell'ordine del 90%. Nonostante questa differenza la strategia americana, ottiene grandi guadagni dalle vendite, dovute agli alti ritorni di investimento, che compensano il numero più elevato di abbandoni e porta a risultati economici più elevati, e questo è dovuto alla scelta di startup con alti ritorni di investimento, capacità di management elevata e un venture capital con un know-how di selezione e capacità di aiuto alle startup superiore. In Europa è inoltre diffuso l'errore di considerare l'insuccesso del management in una prima startup come un fattore negativo per un ulteriore finanziamento. Al contrario nella Silicon Valley gli insuccessi sono considerati come utili esperienze, e il successo è ottenuto spesso solo dopo due o tre tentativi di sviluppo. Occorre notare per la strategia basata sui ritorni di investimento è interessante solo per progetti con un alto ritorno d'investimento potenziale. Tipicamente questo è posseduto da innovazioni radicali ad alto rischio di insuccesso ma anche ad alto valore potenziale di ritorno di investimento. Il sistema dei progetti di R&S è invece adatto a considerare innovazioni di tipo incrementale, con un minore potenziale di ritorno di investimento ma anche meno rischio di insuccesso.

Sistema piattaforma industriale

Il sistema di innovazione tecnologica basato sulla *piattaforma industriale* è un recente sistema derivato dal concetto generale di *piattaforma*, nato agli inizi del XXI secolo, e che rappresenta in realtà un nuovo sistema di business per le aziende e, nella sua versione industriale, viene coinvolta anche l'innovazione tecnologica. A differenza del sistema R&S e del sistema startup-venture capital, che si differenziano nelle strategie di finanziamento delle nuove tecnologie, la piattaforma industriale si differenzia nel sistema di diffusione e sfruttamento delle conoscenze generate, e può coinvolgere nella sua struttura anche attività di R&S e di startup. Come sistema che ottimizza la generazione di conoscenze e il loro sfruttamento, la piattaforma industriale rappresenta il sistema potenzialmente più efficace per la generazione di nuove tecnologie e usato nella Silicon Valley dove è nato. Attualmente esso è applicato ad esempio nelle tecnologie dei sistemi operativi per computer e smartphone, e comincia a essere utilizzato nella fornitura di tecnologie per la robotica e digitalizzazione della produzione con le cosiddette tecnologie informatiche e di comunicazione (ICT). La piattaforma e la piattaforma industriale hanno una struttura simile composta da particolari attori e si differenzia in parte nel tipo di attività. Gli attori della struttura di una piattaforma denominati secondo la terminologia inglese sono i seguenti:

Owners: sono generalmente società a cui appartiene la piattaforma e ne gestiscono l'attività che, nella piattaforma industriale, si occupa di fornire nuove tecnologie.

Partners: sono società o filiali della società proprietaria della piattaforma che hanno un rapporto continuativo con la piattaforma fornendo servizi e tecnologie.

Peer producers: sono società, anche startup, che nella piattaforma industriale hanno rapporti discontinui di fornitura di tecnologie alla piattaforma, ad esempio le cosiddette app per i sistemi operativi.

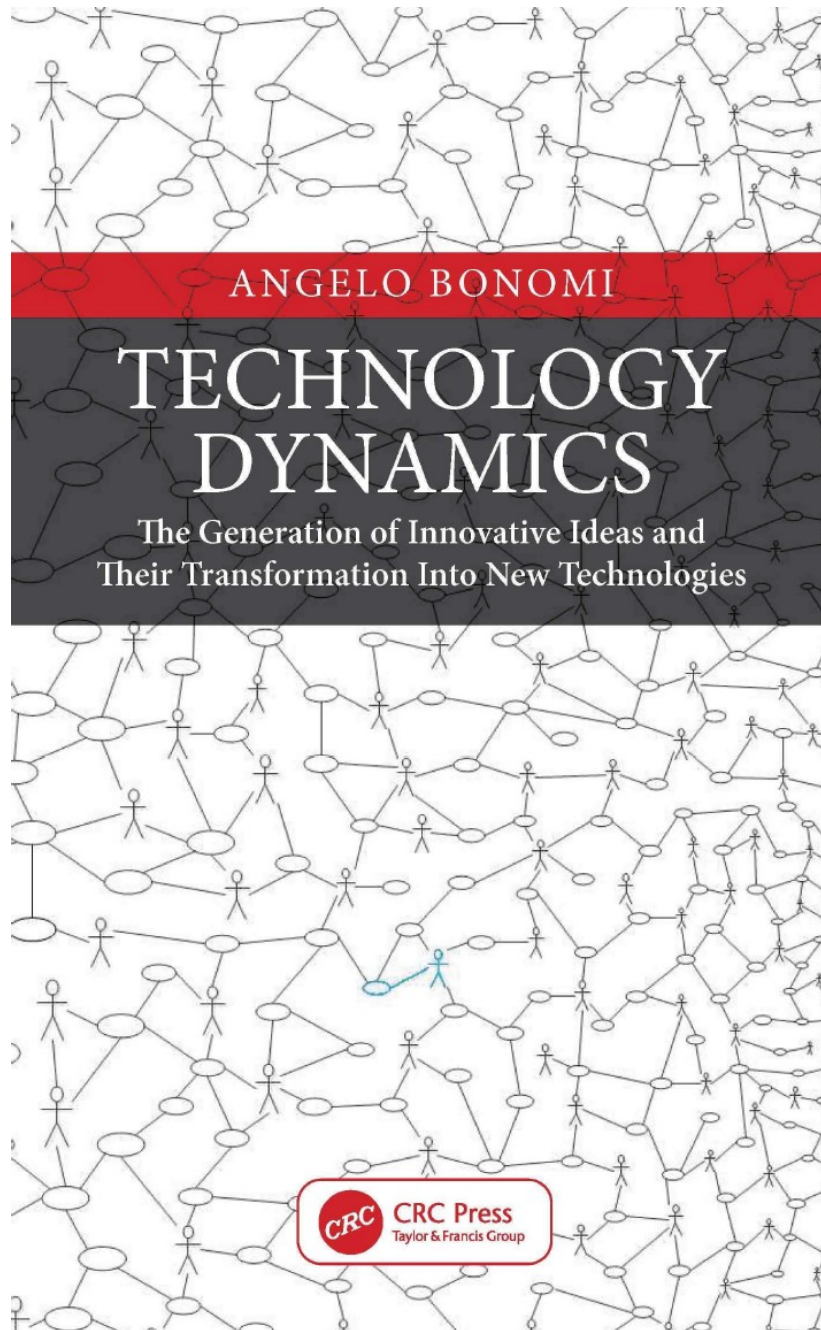
Peer consumers: sono consumatori o aziende che acquistano tecnologie dalla piattaforma industriale con cui hanno una relazione tipicamente continuativa.

All'esterno della struttura della piattaforma vi sono poi i cosiddetti *stakeholders*, organizzazioni che promuovono e regolano le attività della piattaforma. La piattaforma industriale è caratterizzata da un grande scambio di conoscenze tra i vari attori della piattaforma. In particolare lo scambio di conoscenze tra la piattaforma e gli utilizzatori della tecnologia, in questo modo la piattaforma viene a conoscenza di tutti gli aspetti e i problemi dell'uso della tecnologia facilitando i miglioramenti e anche la nascita di idee per nuove tecnologie. Questo scambio di conoscenze avviene già adesso ad esempio tra gli ascensori e la casa produttrice e per i prodotti dell'*internet of things* che sono stati progettati per essere in comunicazione continua con il produttore. Anche le automobili possono essere in contatto con i produttori, in maniera continua, come nel caso delle Tesla, oppure scaricando i dati di funzionamento del motore durante i controlli periodici che sono poi inviati al produttore. La piattaforma industriale può cambiare certi aspetti del sistema di innovazione tecnologica. La competizione tecnologica invece che tra aziende diventa tra piattaforme, i laboratori di ricerca invece di avere contratti per progetti con le aziende li hanno con le piattaforme, inoltre le aziende possono ridurre le loro attività di R&S contando sulle nuove tecnologie fornite dalle piattaforme. In definitiva le piattaforme potrebbero evolvere formando un sistema innovativo a rete composto da piattaforme con i loro partner, specializzate in un particolare tipo di tecnologia, peer producer che forniscono nuove tecnologie a seconda dei casi a varie piattaforme, e aziende che ottengono varie tecnologie dalle varie piattaforme per realizzare i loro prodotti, tutto questo in uno scambio di conoscenze che renderebbe la piattaforma più efficace nella generazione di nuove tecnologie rispetto alle altre strutture organizzative per l'innovazione. Ad esempio nel futuro un'azienda produttrice di automobili elettriche a guida autonoma potrebbe, per il suo prodotto, essere in relazione con una piattaforma specializzata in batterie, una specializzata in motori a trazione elettrica e una specializzata in sistemi di guida autonoma, sfruttando le innovazioni tecnologiche prodotte dalla rete di piattaforme per i suoi prodotti.

Concludendo il libro da una visione di cosa avviene alle idee d'innovazione tecnologica che si sviluppano in nuove tecnologie attraverso i vari tipi di strutture organizzative per l'innovazione, come quella dei progetti di R&S finanziati da capitali industriali, o sottoforma di startup finanziate da venture capital, o ancora trovare lo sviluppo nel quadro di una piattaforma industriale. La scelta del tipo di strutture organizzative dipende da vari fattori ma in particolare dal grado di radicalità dell'innovazione in sviluppo che, come abbiamo già scritto, se è alta è favorito il sistema startup-venture capital, se è bassa il sistema R&S. Lo studio della dinamica tecnologica mette poi in risalto l'importanza delle conoscenze che si generano durante lo sviluppo delle innovazioni e dall'uso di tecnologie per la generazione di idee innovanti. In queste condizioni la dinamica tecnologica considera i finanziamenti per l'innovazione semplicemente un mezzo i cui risultati dipendono dall'efficienza del sistema innovativo nello sviluppare nuove tecnologie. Questi fatti portano ad alcune riflessioni per il caso dell'Italia che ha un basso tasso di investimenti nella ricerca e in cui si considera come soluzione semplicemente il loro aumento. In realtà il sistema innovativo italiano presenta problemi di inefficienza sia da parte della ricerca universitaria, che dovrebbe fornire risultati applicabili per nuove tecnologie, sia da parte industriale che dovrebbe prendere più rischi e investire in ricerca. Nelle università il problema non è tanto nelle capacità dei ricercatori, la cui validità delle ricerche scientifiche è ben riconosciuta, ma dalla mancanza di finanziamenti pubblici e privati, da un sistema burocratico e gerarchico che sfavorisce lo sfruttamento dei risultati delle ricerche, e da uffici di trasferimento tecnologico sottodimensionati e con pochi mezzi. In questo modo sono inibite le iniziative per preparare e proporre progetti specifici o generare startup che

hanno portato al successo università straniere come Stanford e Berkley. Si è così diffusa l'idea che la ricerca scientifica sia essenzialmente un'attività culturale che deve essere separata dalla R&S, cosa che non avviene ad esempio nelle università americane. Dalla parte industriale vi è invece un'attitudine diffusa da molto tempo a evitare di prendere troppi rischi nello sviluppo di innovazioni attraverso la ricerca. Un esempio storico è stata l'invenzione della telegrafia senza fili di Marconi che dovette ricorrere a capitali britannici per lo sviluppo, o più recentemente quello della Olivetti, che aveva sviluppato tecnologie interessanti per i computer ma, entrata in difficoltà, per un rifinanziamento fu obbligata da Mediobanca e dalla Fiat a venderle alla General Electric impedendo lo sviluppo di un'industria informatica in Italia. Riguardo invece le piccole e medie imprese dei distretti industriali, esse hanno perseguito soprattutto innovazioni di tipo combinatorio che non necessitavano di ricerca, politica che ha avuto successo nel primo dopoguerra ma non nella situazione attuale dove lo sfruttamento della ricerca scientifica potrebbe favorire diversificazioni e mantenimento della competitività dei distretti.

FIGURE



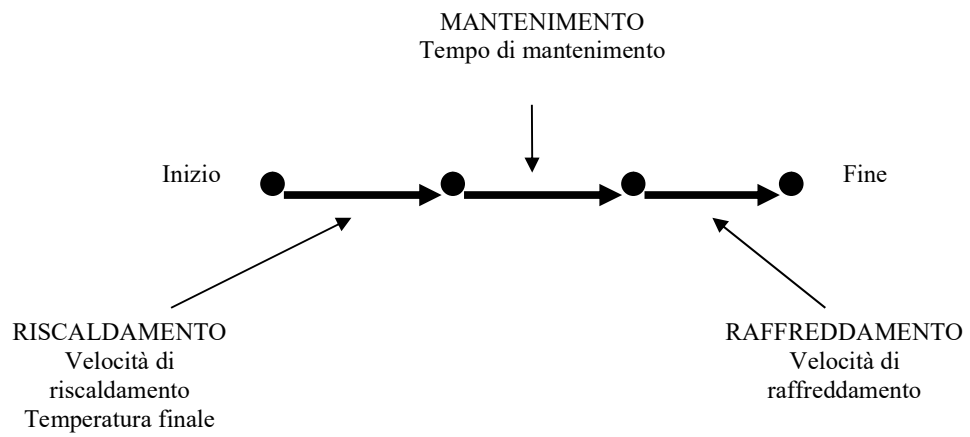


Fig. 1. Struttura operativa della tecnologia di trattamento termico

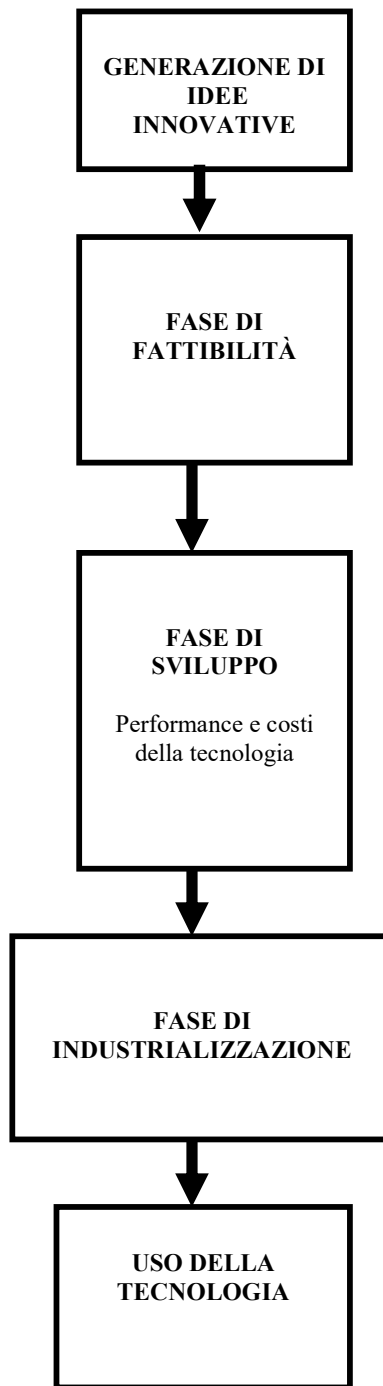


Fig. 2. Schema delle varie tappe del processo d'innovazione tecnologica

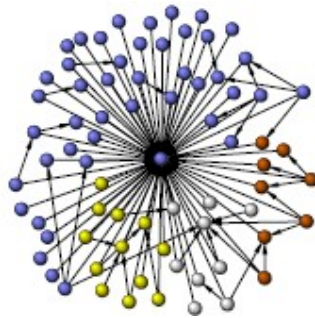


Fig. 3. Ramificazione dei brevetti (tecnologie) della tomografia computerizzata (dal brevetto iniziale del 1973 fino alla situazione del 1994)

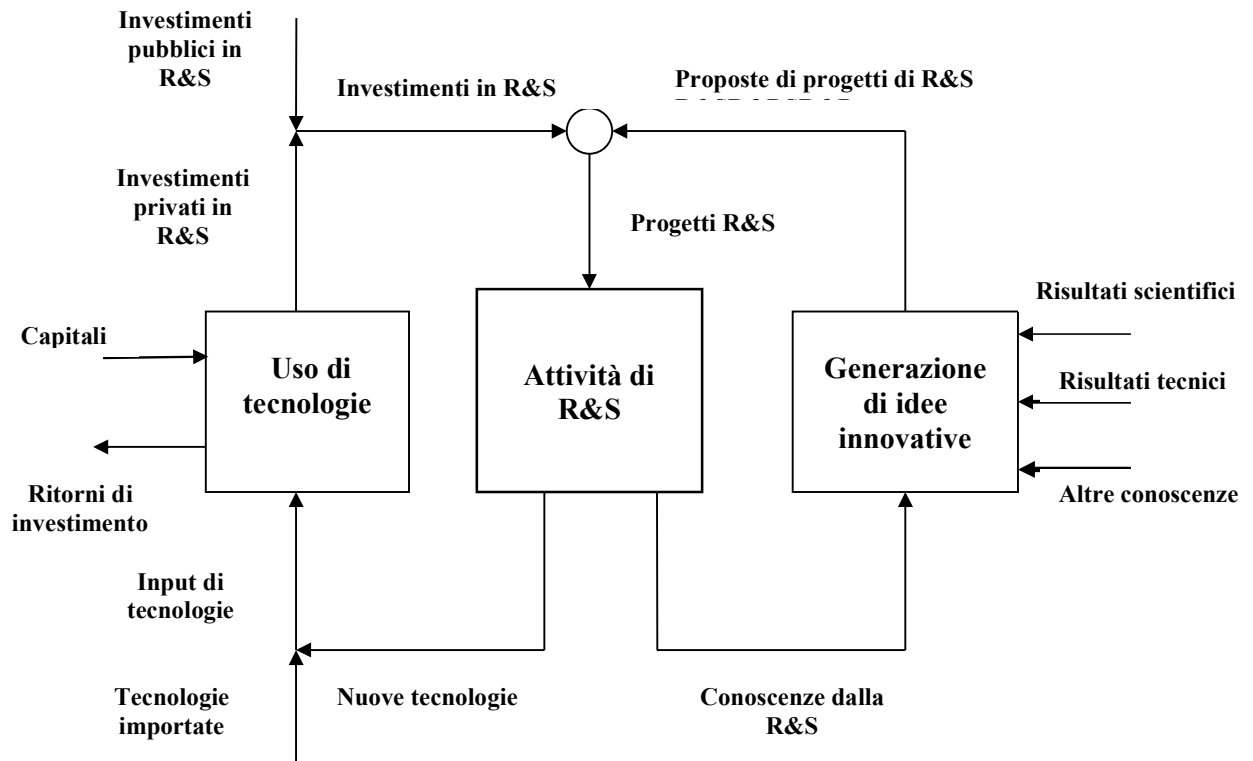


Fig. 4. Schema della struttura organizzativa dell'attività di R&S